

การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเด็กซ์แทรนเนส  
โดย *Penicillium* sp. SMCU3-14 ในถังหมัก




นายศิริโรจน์ ศรีสุภากรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2547  
ISBN 974-53-1517-6  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**OPTIMIZATION FOR DEXTRANASE PRODUCTION  
BY *Penicillium* sp. SMCU3-14 IN FERMENTOR**



**Mr. Siroj Srisarakorn**

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Industrial Microbiology**

**Department of Microbiology**

**Faculty of Science**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 2004**

**ISBN 974-53-1517-6**



ศิริจรรย์ ศรีสรการกรณ์ : การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย *Penicillium* sp. SMCU3-14. (OPTIMIZATION FOR DEXTRANASE PRODUCTION BY *Penicillium* sp. SMCU3-14 IN FERMENTOR) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุเทพ ธีนิยวัน, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์, 146 หน้า. ISBN 974-53-1517-6

*Penicillium* sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สามารถผลิตเดกซ์แทรนเนสได้สูงในอาหารสูตรเดิม และให้แอกติวิตีเท่ากับ 321.21 หน่วยต่อมิลลิลิตร เมื่อทำการปรับปรุงสูตรอาหารใหม่โดยใช้กากน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือใช้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล พบว่าให้แอกติวิตีเท่ากับ 637.04 หน่วยต่อมิลลิลิตรภายใต้ภาวะที่เหมาะสม มากขึ้นกว่าเดิม 2 เท่า โดยใช้ส่วนผสมของอาหารเลี้ยงเชื้อดังนี้ กากน้ำตาลเจือจาง 1.5% (โดยปริมาตร) เดกซ์แทรนเกรดอุตสาหกรรม 0.94%, สารสกัดจากยีสต์ 0.387%,  $\text{NaNO}_3$  0.082%,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.2%, KCl 0.05% และ  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.05% (โดยน้ำหนัก) โดยภาวะที่เหมาะสมทางกายภาพในการเลี้ยงในระดับขวดเขย่าคืออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 4.0 และอัตราเร็วในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เพื่อให้แอกติวิตีสูงสุดในวันที่ 6 ของการเลี้ยงเชื้อ และมีช่วงการเจริญเติบโตแบบทวีคูณในระหว่างชั่วโมงที่ 24-48 จึงเลือกใช้เชื้อที่กำลังอยู่ช่วงกึ่งกลางการเจริญแบบทวีคูณคือ 36 ชั่วโมง มีค่าการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.0487 ต่อชั่วโมง เป็นเชื้อตั้งต้นในการผลิตระดับถังหมักต่อไป

เมื่อทำการผลิตเดกซ์แทรนเนสในระดับขยายขนาดโดยใช้ถังหมัก 1 ลิตร ปริมาตรการหมัก 500 มล. เมื่อศึกษาภาวะทางกายภาพที่เหมาะสมคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศเข้าสู่ถังหมัก 2.0 vvm โดยมีอัตราการปั่นกววนของใบพัด 400 รอบต่อนาที โดยให้แอกติวิตีสูงสุดเพียง 296.60 หน่วยต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 7 ของการหมัก ซึ่งน้อยกว่าในระดับขวดเขย่าประมาณ 2 เท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

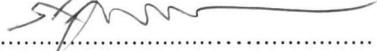
ภาควิชา.....จุลชีววิทยา.....ลายมือชื่อนิติ.....  
สาขาวิชา.....จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา 2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

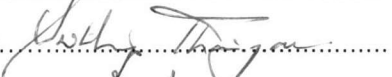
KEY WORD : *Penicillium* sp. SMCU3-14 / DENTRANASE / MOLASSES / FERMENTOR


SIROJ SRISARAKORN : OPTIMIZATION FOR DEXTRANASE PRODUCTION BY *Penicillium* sp. SMCU3-14 IN FERMENTOR. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUTHEP THANİYAVARN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. SEEROONG PRICHANONT, Ph.D. 146 pp. ISBN 974-53-1517-6

*Penicillium* sp. strain SMCU3-14 was capable of producing dextranase with high activity at 321.21 units per milliliter in former medium formulation. Molasses, waste material from sugar industrial, was used in new medium formulation and gave the higher activity at 637.04 units per milliliter under the optimal condition which 2 times increase from the former medium. The new medium composition was 1.5% (v/v) molasses, 0.94% (w/v) industrial grade dextran, 0.387% (w/v) yeast extract, 0.082% (w/v) NaNO<sub>3</sub>, 0.2% (w/v) K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.05% (w/v) KCl and 0.05% (w/v) MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O. The physical optimal conditions in shake flask cultivation were 30 degree celcius, initial pH at 4.0 with agitation at 200 rpm. The fungus gave the highest activity when cultivated for 6 days. Its exponential phase was during 24-48 hours of cultivation and the mid-exponential phase (36 hours) culture with the specific growth rate of 0.0487 per hour was used as the inoculum starter in fermentor.

When the fungus was scale-up cultured in the 1 liter fermentor with the working volume of 500 milliliter, the physical optimal condition for dextranase production was at 30°C, pH constant value at 5.0, the highest aeration rate at 2.0 vvm with the agitation rate of 400 rpm. The fungi gave the dextranase activity only at 296.60 units per milliliter on the seventh day of fermentation which was less than that of shake flask scale for 2 times.

Department.....Microbiology..... Student's signature.....

Field of study.....Industrial Microbiology..... Advisor's signature.....

Academic year.....2004..... Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยการอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธีรยวัน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณามอบคำปรึกษาและคำแนะนำอัน เป็นประเสริฐยิ่งต่อทั้งด้านการวิจัย และการใช้ชีวิตของข้าพเจ้าในปัจจุบันและอนาคต ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้ความดูแลข้าพเจ้าในช่วงการทำวิจัยในถึงหมัก และได้ความกรุณาบอข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์เพื่อการ ปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชกร ที่กรุณารับเป็นประธานคณะกรรมการ ในการสอบ และให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งคำแนะนำต่างๆที่ ข้าพเจ้าได้รับมาตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในภาควิชานี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ เจริญพรวัฒนา และอาจารย์ ดร. ปาหนัน เริงสำราญ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ สั่งสอน ให้คำแนะนำและปรึกษาอันเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับข้าพเจ้า อีกทั้งยังสละ เวลาอันมีค่าในการแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สุชาติา จันทร์ประทีป ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมใน ช่วงแรกของกาวิจัยในฐานะเป็นผู้ประสานงานติดต่อขออนุเคราะห์ใช้ถึงหมักให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.มรกต ตันติเจริญ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ผ่องพรรณ เอกอาวุธ ที่ อนุญาตให้ข้าพเจ้าได้ปฏิบัติงานที่ ศช. และทำวิจัยต่อในช่วงท้ายให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ รวมไปถึงบุคลากรประจำศูนย์ พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติท่านอื่น ได้แก่ ดร.จุ วลัยะเสวี, ดร.กัญญวิมลวี กิรติกร, คุณวรรณระวี จันทร์โท, ดร.พัชราภรณ์ วงษา, คุณประเสริฐ ศรีกิตติกุลชัย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหมัก และห้องปฏิบัติการอื่นๆ ทุกๆท่าน รวมถึงนิสิตห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมีชีวภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดเวลาที่ข้าพเจ้าทำงานวิจัยฉบับนี้

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทศาสตร์ความรู้อัน ทรงคุณค่าให้แก่ศิษย์ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลืออัน จำเป็นอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบคุณรุ่นพี่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความห่วงใย คำปรึกษา และเป็นเพื่อนในยามที่ต้องการเสมอมา อย่างไม่มีเหนื่อหน่าย ได้แก่คุณสุหทัยา จิระนันท์พร, ดร.ณัฐพันธ์ สุภกา, คุณนันท์ดา วานิชวงศ์วรรณ, คุณสุพินดา ศิริวราศิลป์, คุณธัญญรัตน์ ชำนาญกิจ, คุณศิริวัตร ปุณชริกพันธ์, คุณอนันตพงศ์ สุขเกษ, และรุ่นพี่ ท่านอื่นๆ

ขอบคุณเพื่อนๆร่วมรุ่น และรุ่นน้องที่น่ารักทุกคน ที่เป็นที่ปรึกษาในเรื่องการเรียน การใช้ชีวิตอัน สนุกสนานที่ไม่สามารถหาได้ที่ไหนอีกแล้ว ซึ่งต้องขออภัยที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้หมด นอกจากนี้ขอขอบคุณ บุคคลเพื่อนผู้ให้คำปรึกษาเรื่องจิตปาละ คุณสิทธิชัย สิริวงศนาม มาเป็นเวลาหลายปี

สุดท้ายแต่ไม่ท้ายสุด ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ และ แม่ ที่ให้การสนับสนุนสุดชีวิตกับลูกคนนี้ การศึกษา ต่อและการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่แน่แต่จะได้เริ่ม หากปราศจากทั้งสองคนนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ปรีทรรศน์วรรณกรรม.....	5
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	40
4. ผลการทดลอง.....	56
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	113
รายการอ้างอิง.....	126
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	136
ภาคผนวก ข.....	137
ภาคผนวก ค.....	141
ภาคผนวก ง.....	143
ภาคผนวก จ.....	144
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	146

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ผลผลิตน้ำตาลทรายจากการใช้อ้อยคุณภาพดีและต่ำเป็นวัตถุดิบ.....	9
2.2 จำนวนจุลินทรีย์เปรียบเทียบระหว่างไบอ้อยปกติและไบอ้อยที่เป็นแผล (หน่วยของจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นต่อมิลลิลิตร).....	14
2.3 แสดงเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเดกซ์แทรนเนสได้.....	19
2.4 ปริมาณกากน้ำตาลที่ผลิตขึ้นจากโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ.....	27
2.5 วิตามินและเกลือแร่ที่พบในกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลจากอ้อย .....	28
2.6 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตในระดับขวดเขย่าและระดับขยายส่วน.....	39
3.1 การแปรผันปริมาณแหล่งไนโตรเจนอินทรีย์และอนินทรีย์เริ่มต้น.....	51
4.1 ปริมาณเดกซ์แทรนที่เจือปนในกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลทราย.....	56
4.2 แสดงแอกติวิตี โปรตีน และแอกติวิตีจำเพาะ เมื่อเจือจางกากน้ำตาลด้วยความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร และปรับให้มีเดกซ์แทรนปริมาณสุดท้ายเป็นร้อยละ 1 (โดยน้ำหนัก) และเสริมธาตุอาหารตามสูตร Fukumoto สูตรปรับปรุง เพื่อใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	57
4.3 แอกติวิตี โปรตีน และแอกติวิตีจำเพาะ เมื่อแปรผันค่าการเจือจางกากน้ำตาล และปรับให้มีเดกซ์แทรนปริมาณสุดท้ายเป็นร้อยละ 1 (โดยน้ำหนัก) และเสริมธาตุอาหารตามสูตรอาหาร Fukumoto สูตรปรับปรุง เพื่อใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	58
4.4 แอกติวิตี โปรตีน และแอกติวิตีจำเพาะ เมื่อเจือจางกากน้ำตาลร้อยละ 1 (โดยปริมาตร) โดยแปรผันปริมาณเดกซ์แทรนสุดท้ายในอาหารเลี้ยงเชื้อ และเสริมธาตุอาหารตามสูตรFukumoto สูตรปรับปรุงเดิม เพื่อใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	59
4.5 แอกติวิตี โปรตีน และแอกติวิตีจำเพาะ เมื่อทำการศึกษาความสำคัญของแหล่ง และเสริมธาตุอาหารตามสูตรอาหาร Fukumoto สูตรปรับปรุง เพื่อใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	61
4.6 แอกติวิตี โปรตีน และแอกติวิตีจำเพาะ เมื่อทำการศึกษาแหล่งไนโตรเจนชนิดต่างๆ เพื่อใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	62



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.7 แอคติวิตีของเดกซ์แทรนเนสที่ผลิตโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 เมื่อเลี้ยงในอาหารที่ใช้แหล่งไนโตรเจนอนินทรีย์ (ไซเดียมไนเตรต) และแหล่งไนโตรเจนอินทรีย์ (สารสกัดจากยีสต์) ที่สัดส่วนต่างๆ .....	63
4.8 แอคติวิตี โปรตีน และแอคติวิตีจำเพาะ จากการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของแหล่งไนโตรเจนในการผลิตเดกซ์แทรนเนสโดย <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	64
4.9 แอคติวิตี โปรตีน และแอคติวิตีจำเพาะเมื่อทำการแปรผันร้อยละของแมกนีเซียมซัลเฟต (โดยน้ำหนัก) ในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	65
4.10 แอคติวิตี โปรตีน และแอคติวิตีจำเพาะเมื่อทำการแปรผันร้อยละของเฟอร์รัสซัลเฟต (โดยน้ำหนัก) ในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	66
4.11 แอคติวิตี โปรตีน และแอคติวิตีจำเพาะ เมื่อทำการแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	67
4.12 แอคติวิตี โปรตีน และแอคติวิตีจำเพาะ เมื่อทำการแปรผันอุณหภูมิตลอดการทดลองที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	68
4.13 แอคติวิตี โปรตีน และแอคติวิตีจำเพาะ เมื่อทำการแปรผันอัตราความเร็วรอบของการเขย่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	69
4.14 เปรียบเทียบสูตรอาหาร Fukumoto สูตรปรับปรุง (เอก แสงวิเชียร, 2531) ภาวะเดิมกับสูตรอาหารปรับปรุงและภาวะปรับปรุงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 เพื่อผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	70
4.15 ผลการทดลองเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างคั้งที่ 4.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	73
4.16 ผลการทดลองเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างคั้งที่ 5.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	75
4.17 ผลการทดลองเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างคั้งที่ 6.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	77

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.18 ผลการทดลองเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 4.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	79
4.19 ผลการทดลองเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 5.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	81
4.20 แอคติวิตี (หน่วยต่อมิลลิลิตร) ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	84
4.21 ผลการทดลองเมื่อแปรผันอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเป็น 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm...	85
4.22 ผลการทดลองเมื่อแปรผันอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเป็น 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm...	87
4.23 ผลการทดลองเมื่อแปรผันอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเป็น 35 องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm...	89
4.24 แอคติวิตี (หน่วยต่อมิลลิลิตร) ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันอุณหภูมิในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	92
4.25 ผลการทดลองเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 0.50 vvm โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที .....	93
4.26 ผลการทดลองเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 1.00 vvm โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที .....	95

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.27 ผลการทดลองเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 1.50 vvm โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เพอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที .....	97
4.28 ผลการทดลองเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เพอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที ....	99
4.29 แอคติวิตี (หน่วยต่อมิลลิลิตร) ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	102
4.30 ผลการทดลองเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 200 รอบต่อนาที โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เพอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm....	103
4.31 ผลการทดลองเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 300 รอบต่อนาที โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เพอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	105
4.32 ผลการทดลองเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เพอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	107
4.33 ผลการทดลองแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เพอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และปริมาณอากาศที่ให้เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	109

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.34 แอคติวิตี (หน่วยต่อมิลลิลิตร) ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันอัตราเร็วรอบของใบพัดคววนในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	112
5.1 แสดงภาวะที่เหมาะสมบางประการในการผลิตเดกซ์แทรนเนสเมื่อเลี้ยงเชื้อในขวดเขย่า	117



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แสดงโครงสร้างของเดกซ์แทรน.....	2
1.2 ปฏิกริยาการเกิดเดกซ์แทรนจากเดกซ์แทรนซูเครส .....	2
2.1 สัดส่วนของอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ปี 2547...	6
2.2 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ.....	12
2.3 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์.....	13
2.4 รูปแบบถังหมักพื้นฐานที่นิยมใช้ในการทำการผลิตระดับขยายขนาด.....	31
2.5 ใบพัดแบบต่างๆ โดยที่รูปทางด้านซ้ายมือเป็นรูปจากการมองด้านข้าง รูปทางด้านขวามือเป็นรูปจากการมองด้านบน.....	34
3.1 ถังหมักรุ่น Biostat Q, บริษัท B. Braun, เยอรมันนี้ ซึ่งประกอบติดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง.....	41
4.1 ลักษณะการเจริญเติบโตและการสร้างเดกซ์แทรนเนสของ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 เมื่อเลี้ยงในอาหารสูตรปรับปรุงใหม่เป็นเวลา 168 ชั่วโมง.....	71
4.2 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 4.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	74
4.3 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	76
4.4 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 6.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	78
4.5 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 4.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	80
4.6 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 5.0 โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	82

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันค่าความเป็นกรดต่างในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนสโดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	83
4.8 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอุณหภูมิในการหมักเป็น 25 องศาเซลเซียส ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm...	86
4.9 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอุณหภูมิในการหมักเป็น 30 องศาเซลเซียส ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm...	88
4.10 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอุณหภูมิในการหมักเป็น 35 องศาเซลเซียส ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	90
4.11 ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และ ค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันอุณหภูมิที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 ตลอดการทดลอง สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนสโดยค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่เท่ากับ 5.0 ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที และมีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก 2 vvm.....	91
4.12 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 0.50 vvm ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที .....	94
4.13 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 1.00 vvm ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที.....	96
4.14 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 1.50 vvm ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที.....	98

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.15 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที.....	100
4.16 ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และ ค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนสโดยค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่เท่ากับ 5.0 อุณหภูมิภายในถัง 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีความเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที.....	101
4.17 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 200 รอบต่อนาที ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	104
4.18 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 300 รอบต่อนาที ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	106
4.19 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	108
4.20 ค่าพารามิเตอร์ในถังหมักเมื่อแปรผันอัตราความเร็วรอบของใบพัดกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ 5.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังหมักเป็น 2.00 vvm.....	110

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.21 ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) (ต่อชั่วโมง) และ ค่าจำเพาะของการผลิตเดกซ์แทรนเนส ( $q_p$ ) (ต่อชั่วโมง) เมื่อมีการแปรผันอัตราเร็วรอบของไบโอดักวนในการเลี้ยงเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 สำหรับผลิตเดกซ์แทรนเนสโดยค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่เท่ากับ 5.0 อุณหภูมิภายในถัง 30 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีอากาศเข้าสู่ถังหมัก 2.00 vvm.....	111
5.1 การเจริญการเจริญรอบข้างตั้งหมักของรา (Wall growth) ในขณะผลิตเดกซ์แทรนเนส (ถึงหมักรุ่น Biostat Q, B Braun, เยอรมันนี่).....	122
5.2 การเจริญการเจริญรอบข้างขอบเพาะเลี้ยงของรา (Wall growth) ในขณะผลิตเดกซ์แทรนเนส.....	112
5.3 ลักษณะสัณฐานของรา <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14 เมื่อทำการหมักที่อัตราความเร็วรอบไบโอดักวนต่างกัน ในวันที่ 5 ของการหมัก (ขยายขนาด 400 เท่า).	124
ผ1 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร กับน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 0-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร.....	141
ผ2 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร กับน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 0-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร.....	142
ผ3 ชุดกรองสปอร์ของ <i>Penicillium</i> sp. สายพันธุ์ SMCU3-14.....	143