

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตบีตา-กลูแคนจากยีสต์โดยการเพาะเลี้ยงในถังหมักระบบอากาศลอยตัว

Production of Yeast Beta-glucan by Cultivation in Air-lift Fermenter

โดย

นายอริปิตย์ คลังบุญครอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (จุลชีววิทยา)

พ.ศ. 2550

อธิปัทย์ คลังบุญครอง 2550: การผลิตบีตา-กลูแคนจากยีสต์โดยการเพาะเลี้ยงในถังหมักระบบ
อากาศลอยตัว ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (จุลชีววิทยา) สาขาจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์สาวตรี ลิ้มทอง, Dr.Eng. 147 หน้า

Saccharomyces cerevisiae TJ3 เป็นสายพันธุ์ที่คัดเลือกสำหรับการผลิตบีตา-กลูแคน เนื่องจากมี
ปริมาณบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์สูงกว่า *S. cerevisiae* อื่น 9 สายพันธุ์ เมื่อเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* TJ3 ในพลาสติก
ด้วยอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่น 0.5 ที่ความยาวคลื่น
660 นาโนเมตร บ่มโดยการเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่
เหมาะสมต่อการผลิตบีตา-กลูแคน ผลิตบีตา-กลูแคนได้ 1,215.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์
127.1 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง และผลิตเซลล์ได้ 9.6 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้งต่อลิตร เมื่อขยายขนาดการ
ผลิตโดยเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* TJ3 ในถังหมักที่บรรจุอาหารเหลวจากน้ำตาลปริมาตร 3 ลิตร ที่มีองค์ประกอบ
ที่เหมาะสมต่อการผลิตบีตา-กลูแคนที่ได้จากการศึกษาในพลาสติก และใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาใน
พลาสติก พบว่าถังหมักแบบถังกวนไม่เหมาะสมต่อการผลิตบีตา-กลูแคน และถังหมักแบบอากาศลอยตัวสามารถ
ผลิตบีตา-กลูแคนได้ดีกว่า เมื่อพัฒนาถังหมักแบบอากาศลอยตัวให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตบีตา-กลูแคน
โดยปรับให้มีอัตราส่วนระยะก้นถังหมักกับ draught tube ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของ draught tube อัตราส่วน
ความสูงของ draught tube ต่อความสูงของอาหาร และอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง draught tube ต่อเส้นผ่าน
ศูนย์กลางถังหมัก เท่ากับ 4, 1.4 และ 1.65 ตามลำดับ สามารถผลิตบีตา-กลูแคน 1,004.6 มิลลิกรัมต่อลิตร มี
บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ 127.8 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง และผลิตเซลล์ได้ 8.5 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง
ต่อลิตร เพื่อเพิ่มการผลิตบีตา-กลูแคนจึงขยายขนาดการเพาะเลี้ยงเป็น 100 ลิตร ในถังหมักขนาด 150 ลิตร พบว่า
การเพาะเลี้ยงแบบแบตช์ ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาที่ 20 *S. cerevisiae* TJ3
ผลิตบีตา-กลูแคน 764.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหลือน้ำตาลในอาหารต่ำกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ การเพาะเลี้ยงแบบ
แบตช์ ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ *S. cerevisiae* TJ3 ผลิตบีตา-กลูแคน 783.3 มิลลิกรัมต่อ
ลิตร และมีน้ำตาลเหลือในอาหาร 2.1 เปอร์เซ็นต์ จึงเลือกอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อ
การเพาะเลี้ยงแบบเฟด-แบตช์ ส่วนการเพาะเลี้ยงแบบเฟดแบตช์โดยมีการเติมอาหารเหลวจากน้ำตาลแบบ linear
incremental feeding *S. cerevisiae* TJ3 ผลิตบีตา-กลูแคนได้สูงที่สุด 1,165.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเวลาที่ 20 ใช้
น้ำตาลเพียง 2.9 เปอร์เซ็นต์ และผลิตเซลล์ได้ 10 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้งต่อลิตร ส่วนการเติมอาหารเหลว
จากน้ำตาลแบบ exponential incremental feeding และ sigmoidal incremental feeding ผลิตบีตา-กลูแคน
991.8 และ 1,038.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้น้ำตาลมากกว่าและเวลานานกว่า

Athipat Klangboonkrong 2007: Production of Yeast Beta-glucan by Cultivation in Air-lift Fermenter. Master of Science (Microbiology), Major Field: Microbiology. Department of Microbiology. Thesis Advisor: Associate Professor Savitree Limtong, Dr.Eng. 147 pages.

Saccharomyces cerevisiae TJ3 was selected for β -glucan production because its β -glucan content was higher than the other nine strains of *S. cerevisiae*. Cultivation of *S. cerevisiae* TJ3 in molasses medium containing 2% sugar, 0.1% urea, 0.03% KH_2PO_4 , no pH adjustment (pH 5.3), initial cells concentration as optical density 0.5 at 660 nm, and in a rotary shaker at 150 rpm, 30 °C, resulted in the maximal β -glucan production at 1,215.3 mg/l equivalent to 127.1 mg β -glucan/g cell dry weight and cell mass produced at 9.6 g cell dry weight/l. To select the fermenter type for scaling up of β -glucan production, *S. cerevisiae* TJ3 was cultivated in two fermenter types namely stirred tank and air-lift fermenter by using 3 litre of the same molasses medium and cultivation conditions as obtained by optimization in shaking flask cultivation. The result showed that β -glucan production in air-lift fermenter was higher than in stirred tank fermenter. Development of air-lift fermenter by adjustment ratio of height between draught tube and bottom of fermenter and diameter of fermenter, height of draught tube and height of medium and diameter of draught tube and diameter of fermenter for 4, 1.4 and 1.65 respectively, resulted in high β -glucan production at 1,004.6 mg/l (equivalent to 127.8 mg β -glucan/g cell dry weight) and cell mass production at 8.5 g cell dry weight/l. To scale up β -glucan production, 150 l, air-lift fermenter with 100 l working volume was developed. By batch cultivation in molasses medium containing 2% sugar, *S. cerevisiae* TJ3 produced β -glucan at 764.2 mg/l at 20 h cultivation with less than 0.2% sugar remained in the medium while in molasses medium containing 5% sugar, *S. cerevisiae* TJ3 produced β -glucan at 783.3 mg/l at 20 h with 2.1% sugar remained in the medium. Therefore, the molasses medium containing 5% sugar was used for fed-batch cultivation. In fed-batch cultivation with linear incremental feeding the highest production of β -glucan, 1,165.4 mg/l, with the highest cell mass production, 10 g cell dry weight/l at 20 h cultivation was obtained. In fed-batch cultivation with exponential incremental and sigmoidal incremental feeding, the production of β -glucan at 991.8 and 1,038.9 mg/l was obtained but with higher sugar consumption and longer cultivation time than with linear incremental feeding.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สาวิตรี ลุ่มทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา แนะนำ อบรมสั่งสอนสิ่งที่ดีงาม และอนุเคราะห์อุปการณ์การทำวิจัย
กราบขอบพระคุณ ดร. วิเชียร ขงมานิตชัย และ ดร. นันทนา สีสุข กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่ให้
คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย กราบขอบพระคุณ
ผศ. ดร. มังกร โรจน์ประภากร กรรมการวิชาการ ผู้ให้คำปรึกษาและกรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์
และกราบขอบพระคุณ ดร. ดวงพร วรสุนทรโรสด ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้กรุณาตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งอดีต และปัจจุบัน ที่ได้อบรมสั่งสอนผู้วิจัยให้คิดดี ทำดี
และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และสมาชิกในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และ
สนับสนุนในด้านต่างๆ มาด้วยดีโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณ คุณิต วรวิรุฬวงศ์ คุณ รัชณี มิ่งมา และเพื่อนๆ พี่ ทุกคน ที่คอยสนับสนุนใน
ด้านต่างๆ และมอบกำลังใจที่ดีเสมอมา

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่ บิดา-มารดา และ
รศ. ดร. สาวิตรี ลุ่มทอง ผู้ให้การช่วยเหลือ และสนับสนุน ในด้านต่างๆ วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงสำเร็จ
ลงได้ด้วยดี

อธิปัตย์ คลังบุญครอง

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	40
สรุป	126
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	131
ภาคผนวก	144

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของกากน้ำตาลจากอ้อยที่ผลิตในอเมริกา	17
2	เวลาและปริมาณอาหารเหลือกากน้ำตาลที่เติมแบบ exponential incremental feeding	110
3	เวลาและปริมาณอาหารเหลือกากน้ำตาลที่เติมแบบ sigmoidal incremental feeding	116

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของบีตา 1,3 กลูแคน และบีตา 1,6 กลูแคนของยีสต์	4
2	แบบจำลองการจับกันระหว่างบีตา 1,6 กลูแคน กับโครงข่ายของผนังเซลล์ โดยอาศัย GPI โปปรีน (GlcNH ₂ คือ กลูโคซามีน, Man คือ แมน โนส, Glc คือ กลูโคส และ EtN-P คือ ฟอสโฟเอทานอลามีน)	8
3	การสังเคราะห์ Curdlan ในแบคทีเรีย เมื่อ 1 คือ hexokinase, 2 คือ phosphoglucomutase, 3 คือ UDP-glucose pyrophosphorylase, 4 คือ transferase, 5 คือ polymerase, Lipid-P คือ isoprenoid lipid phosphate	11
4	ถังหมักแบบถังกวน	25
5	ถังหมักแบบอากาศลอยตัว	27
6	ปริมาณบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ในรูปกลูโคสของ <i>S. cerevisiae</i> ทั้ง 10 สายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยง ในอาหารเหลว YPD (ก) และอาหารเหลวกากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 เปอร์เซ็นต์ (ข) ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นานโนเมตรเป็น 0.5 บมแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	42
7	การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) และน้ำหนักรวมเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวกากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 เปอร์เซ็นต์ ปรับ pH ของอาหารเหลวกากน้ำตาลเป็น 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 1.0 บมแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
8	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) และน้ำหนักรักเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 1.0 บ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส</p>	48
9	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) และน้ำหนักรักเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0, 0.03, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 1.0 บ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส</p>	51
10	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) และน้ำหนักรักเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียมซัลเฟต 0, 0.05, 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 1.0 บ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส</p>	54
11	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) และน้ำหนักรักเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0, 0.03 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 1.0 บ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส</p>	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนต่อเซลล์ (ข) และน้ำหนักรเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	60
13	การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนต่อเซลล์ (ข) และน้ำหนักรเซลล์แห้ง (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 1.0 บ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 28, 30, 33 และ 35 องศาเซลเซียส	62
14	การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) น้ำหนักรเซลล์แห้ง (ค) pH (ง) เอทานอล (จ) และน้ำตาล (ฉ) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบถังกวน อัตราการกวน 100 และ 400 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวจากน้ำตาลปริมาตร 3 ลิตร ที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตรเป็น 0.5	66

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) น้ำหนักเซลล์แห้ง (ค) pH (ง) เอทานอล (จ) และน้ำตาล (ฉ) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัว อัตราการให้อากาศ 1, 2 และ 3 vvm ในอาหารเหลวจากน้ำตาลปริมาตร 3 ลิตรที่มีน้ำตาลทั้งหมด 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตรเป็น 0.5</p>	72
16	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) น้ำหนักเซลล์แห้ง (ค) pH (ง) เอทานอล (จ) และน้ำตาล (ฉ) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัว อัตราการให้อากาศ 2 vvm มีอัตราส่วน H_u/D_u เท่ากับ 8, 4, 2.7 และ 2 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลปริมาตร 3 ลิตรที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตรเป็น 0.5</p>	80
17	<p>การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) น้ำหนักเซลล์แห้ง (ค) pH (ง) เอทานอล (จ) และน้ำตาล (ฉ) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัว อัตราการให้อากาศ 2 vvm มีอัตราส่วน H_u/H_m เท่ากับ 2, 1.75, 1.6 และ 1.4 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลปริมาตร 3 ลิตรที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตรเป็น 0.5</p>	86

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	การผลิตบีตา-กลูแคน (ก) บีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ข) น้ำหนักเซลล์แห้ง (ค) pH (ง) เอทานอล (จ) และน้ำตาล (ฉ) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัว อัตราการให้อากาศ 2 vvm มีอัตราส่วน D_{dt}/D_t เท่ากับ 2.75, 2.1 และ 1.65 ในอาหารเหลวจากน้ำตาลปริมาตร 3 ลิตรที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตรเป็น 0.5	92
19	การผลิตบีตา-กลูแคนและบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ก) น้ำหนักเซลล์แห้งและน้ำตาล (ข) และ เอทานอลและ pH (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัวขนาด 150 ลิตร แบบแบตช์ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 0.5 อัตราการให้อากาศ 1 vvm และเพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	97
20	การผลิตบีตา-กลูแคนและบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ก) น้ำหนักเซลล์แห้งและน้ำตาล (ข) และ เอทานอลและ pH (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัวขนาด 150 ลิตร แบบแบตช์ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 0.5 อัตราการให้อากาศ 1 vvm และเพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	101

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	<p>การผลิตบีตา-กลูแคนและบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ก) น้ำหนักเซลล์แห้งและน้ำตาล (ข) และ เอทานอลและ pH (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัวขนาด 150 ลิตร แบบเฟด-แบดซ์โดยเติมอาหารเหลวจากน้ำตาลแบบ linear incremental feeding ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 0.5 อัตราการให้อากาศ 1 vvm และเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)</p>	108
22	<p>การผลิตบีตา-กลูแคนและบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ก) น้ำหนักเซลล์แห้งและน้ำตาล (ข) และ เอทานอลและ pH (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัวขนาด 150 ลิตร แบบเฟดแบดซ์โดยเติมอาหารเหลวจากน้ำตาลแบบ exponential incremental feeding ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ ความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 0.5 อัตราการให้อากาศ 1 vvm และเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)</p>	114
23	<p>การผลิตบีตา-กลูแคนและบีตา-กลูแคนที่ผนังเซลล์ (ก) น้ำหนักเซลล์แห้งและน้ำตาล (ข) และ เอทานอลและ pH (ค) เมื่อเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 ในถังหมักแบบอากาศลอยตัวขนาด 150 ลิตร แบบเฟดแบดซ์โดยเติมอาหารเหลวจากน้ำตาลแบบ sigmoidal incremental feeding ในอาหารเหลวจากน้ำตาลที่มีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 0.1 เปอร์เซ็นต์ โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรับ pH (pH 5.3) ปรับให้มีความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ ความขุ่นที่ 660 นาโนเมตร เป็น 0.5 อัตราการให้อากาศ 1 vvm และเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)</p>	120

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ปริมาณอาหารเหลวจากน้ำตาลในถังหมักแบบอากาศลอยตัว ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. cerevisiae</i> TJ3 แบบเฟด-แบดจ์โดยมีการเติมอาหารเหลวจากน้ำตาลแบบ linear incremental feeding, exponential incremental feeding และ sigmoidal incremental feeding	123

