

การขยายส่วนการผลิตจิบเบอเรลลิน โดย *Gibberella fujikuroi* N9-34

นายสันติ เหมศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-273-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SCALE-UP OF GIBBERELLIN PRODUCTION
BY *Gibberella fujikuroi* N9-34

Mr. Santi Hemsri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Programme of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
1996
ISBN 974-634-273-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การขยายส่วนการผลิตจิบเบอเรลิน

โดย *Gibberella fujikuroi* N9-34

โดย

นายสันติ เหมศรี

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์

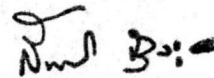
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ

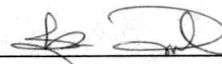
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

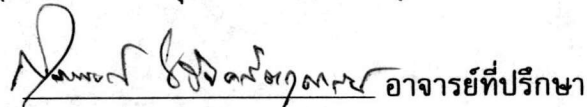
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเอียร)



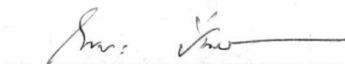
อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)



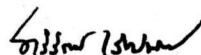
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สันติ เหมศรี : การขยายส่วนการผลิตจิบเบอเรลลิน โดย Gibberella fujikuroi N9-34 (SCALE-UP OF GIBBERELLIN PRODUCTION BY Gibberella fujikuroi N9-34) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. นลิน นิลอุบล และ รศ.ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ, 162 หน้า. ISBN 974-634-273-8

งานวิจัยนี้ศึกษาเกณฑ์และปัจจัยที่สำคัญ เมื่อมีการขยายส่วนในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิน (GA_3) จากเชื้อ Gibberella fujikuroi N9-34 โดยอาศัยข้อมูลเบื้องต้นจากการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร ทำการขยายส่วนการผลิตจากถังหมัก 5 ลิตร เป็น 30 และ 300 ลิตร ตามลำดับ ซึ่งการขยายส่วนจะทำการผลิตแบบแบทช์กำหนดให้รูปร่างและสัดส่วนทางเรขาคณิตของเครื่องหมักแบบถังกวนขนาด 30 และ 300 ลิตร มีลักษณะเหมือนกัน และกำหนดให้ ค่าเรโนลด์ัมเบอร์ หรือ ความเร็วรอบของปลายใบพัด หรือ อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก หรือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน มีค่าคงที่เป็นเกณฑ์การขยายส่วน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (K_La) ทาด้วยวิธี Dynamic measurement ในการผลิตทำการติดตามปริมาณเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณกลูโคส ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณ GA_3 ด้วยวิธี HPLC และคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิต เมื่อทำการผลิตโดยกำหนดเกณฑ์การขยายส่วนให้มีค่าคงที่เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำได้ในถังหมัก 30 ลิตร แต่สามารถกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดเป็นเกณฑ์การขยายส่วน ซึ่งจะใช้อัตราการกวนเริ่มต้น 400 รอบต่อนาที ร่วมกับการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10% ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิมิตัวลดการทดลอง หลังจากทำการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1.5 VVM สามารถผลิต GA_3 ปริมาณ 1118.80 มิลลิกรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 156 ส่วนการขยายส่วนในถังหมัก 300 ลิตร สามารถกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดเป็นเกณฑ์การขยายส่วน โดยใช้อัตราการกวนเริ่มต้น 250 รอบต่อนาที ร่วมกับการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้คงที่ หลังจากปริมาณออกซิเจนลดลงเป็น 20% ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิมิตัว เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1.5 VVM สามารถผลิต GA_3 ปริมาณ 1299.19 มิลลิกรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 168 การขยายส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิน โดยเชื้อ Gibberella fujikuroi N9-34 พึงกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดคงที่ เป็นเกณฑ์การขยายส่วนร่วมกับการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักได้อิมิตัว

ภาควิชา
สาขาวิชา หลักสูตร เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C526576 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: Gibberella fujikuroi / GIBBERELLIN PRODUCTION / SCALE-UP

SANTI HEMSRI : SCALE-UP OF GIBBERELLIN PRODUCTION BY Gibberella fujikuroi N9-34. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURAPONG

NAVANKASATTUSAS, Ph.D. AND THESIS CO-ADVISOR : ASSO. PROF. NALINE

NILUBOL, Ph.D. AND ASSO. PROF. PAIROH PINPHANICHAKARN, Ph.D. 162 pp.

ISBN 974-634-273-8

This research investigates the criteria and the important factors for scaling up the production of Gibberellic acid (GA_3) by Gibberella fujikuroi N9-34 using preliminary data from the process in 5 l-fermenter. Scale-up was made from 5 l-fermenter to 30 l and 300 l-fermenters, respectively. The production was batch culture, maintaining geometric similarity between 30 l and 300 l-fermenters under either constant Reynolds number or impeller tip speed or ratio of agitating power per unit volume or volumetric oxygen transfer coefficient determined by dynamic measurement. Cell dry weight, sucrose, reducing sugar, glucose, total nitrogen, dissolved oxygen, GA_3 determined by HPLC, and calculated parameters of fermentation kinetics were determined through the course of the production. Scale-up of the production at single constant criterion in 30 l-fermenter was not successful. But constant impeller tip speed at initial agitation speed of 400 rpm and subsequently maintaining controlled dissolved oxygen at 10% of saturated dissolved oxygen content after 24 hrs, temperature at 25°C, aeration rate at 1.5 vvm was successfully carried out. The maximum attainable GA_3 concentration was 1118.80 mg/l at 156 hrs. Scale-up of production in 300 l-fermenter was successful by maintaining initial impeller tip speed of agitation at 250 rpm and controlled subsequent dissolved oxygen at 20% of saturated dissolved oxygen content, temperature at 25°C, aeration rate at 1.5 vvm. The maximum attainable GA_3 concentration was 1299.19 mg/l at 168 hrs. Scale-up of GA_3 production by Gibberella fujikuroi N9-34 should use both constant impeller tip speed and controlled dissolved oxygen as criteria.

ภาควิชา.....

สาขาวิชา..... หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต..... สันต์ บุณศิริ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สุรพงศ์ สุวรรณกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความสมบูรณ์ โดยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ รองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล และรองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนให้คำแนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งกระผมขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้อย่างสูงยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเถียร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณะผู้บริหารสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนถึงอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์ นักวิจัย เจ้าหน้าที่ของสถาบันทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกระหว่างการทำวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณปริดา ไชยฤทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในส่วนของการทำงานของถังหมักและให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัย จนงานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้อง ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจด้วยดี มาตลอด

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านเงินทุนอุดหนุนเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้อง ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่สำคัญสำหรับการทำวิจัยตลอดเวลา

ความดีของการศึกษาและคุณค่าของวิทยานิพนธ์นี้ข้าพเจ้าขออุทิศแด่บูรพจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ป
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ภ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ชนิดและโครงสร้างของจิบเบอเรลลิน.....	1
1.2 แหล่งที่มาของจิบเบอเรลลิน.....	2
1.3 การสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน.....	3
1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตจิบเบอเรลลิน.....	7
1.4.1 หัวเชื้อสำหรับการผลิตจิบเบอเรลลิน.....	7
1.4.2 ปัจจัยของสารอาหาร.....	7
1.4.3 ปัจจัยทางกายภาพ.....	10
1.5 การขยายส่วนการผลิต.....	11
1.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการขยายส่วน.....	12
1.5.2 เกณฑ์ทางกายภาพที่นิยมใช้กำหนดการขยายส่วนของ เครื่องหมักแบบถังกวน.....	14
1.5.2.1 อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตร น้ำหมัก(P_g/V).....	15
1.5.2.2 สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน (K_La).....	18
1.5.2.3 ความเร็วรอบของปลายใบพัด.....	20
1.5.2.4 ค่าเรโนลด์นัมเบอร์.....	21
1.5.2.5 เวลาที่ใช้ในการกวนผสม.....	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
1.6 เหตุจูงใจในการวิจัย.....	25
1.7 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	25
1.8 ขั้นตอนการวิจัย.....	26
2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	27
2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	27
2.1.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	27
2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
2.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย.....	29
2.3 วิธีการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
2.4 การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย.....	30
2.5 วิธีการทดลอง.....	32
2.6 วิธีการวิเคราะห์.....	38
3. ผลการทดลอง.....	41
3.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34 ใน ถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อเลี้ยงในภาวะของ ศุภชัย สมป์ปิโต(2537) เป็นภาวะอ้างอิง.....	41
3.2 การศึกษาผลการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34 ในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อให้อากาศที่มีการผสม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	45
3.3 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อเพิ่มและลดปริมาณเซลล์ในช่วงต้น ของการผลิต โดย <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	48
3.4 ศึกษาผลของการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และขนาดของขวดเพาะ เลี้ยงหัวเชื้อต่อการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก.....	54
3.5 การหาอายุของหัวเชื้อในถังหมักขนาด 5 ลิตร สำหรับการผลิตกรด จิบเบอเรลลิกในถังหมัก 30 ลิตร ของเชื้อ <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34.....	58
3.6 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร โดย <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34.....	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.6.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตรใน ภาวะการเลี้ยงเช่นเดียวกับ 5 ลิตร.....	59
3.6.2 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดเกณฑ์การขยายส่วน ให้คงที่ ในถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	61
3.6.2.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดให้ค่า เรโนลด์นัมเบอร์ (Reynold number) ของถังหมัก ขนาด 30 ลิตรและถังหมักขนาด 5 ลิตรค่า เท่ากัน.....	61
3.6.2.2 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดให้ค่า ความเร็วรอบของปลายใบพัด (πnD_i) ของถังหมัก ขนาด 30 ลิตรและถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่า เท่ากัน.....	64
3.6.2.3 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดให้ค่า อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตร น้ำหมัก (P_g/V) ของถังหมักขนาด 30 ลิตรและ ถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน.....	66
3.6.2.4 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดค่า สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer coefficient ; k_La) ในถังหมักขนาด 30 ลิตร และ ถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน.....	68
3.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อกำหนดเกณฑ์การขยายส่วนใน ถังหมักขนาด 30 ลิตรให้คงที่.....	88
3.8 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมัก ขนาด 30 ลิตร เมื่อมีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายใน น้ำหมัก.....	105
3.9 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมัก ขนาด 30 ลิตร เมื่อมีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายใน น้ำหมัก โดยมีการแปรอัตราการให้อากาศ.....	108

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.10 การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิ่มตัว ที่ภาวะต่างๆ ในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	1 11
3.11 การหาอายุของหัวเชื้อในถังหมักขนาด 30 ลิตร สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 ลิตร ของเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34.....	1 23
3.12 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 %.....	1 24
3.13 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20 %.....	1 28
4. สรุปผลการทดลอง.....	1 33
รายการอ้างอิง.....	1 38
ภาคผนวก	
ก. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	1 43
ข. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	1 45
ค. สูตรการคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์.....	1 48
ง. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (k_La) และ Parameter constant (α & β)โดยวิธี Dynamic measurment.....	1 50
จ. การคำนวณค่าความเร็วรอบของการกวนเมื่อใช้เกณฑ์ทางกายภาพในการกำหนดการขยายส่วนของถังหมัก.....	1 53
ฉ. กราฟมาตรฐาน.....	1 57
ประวัติผู้เขียน.....	1 62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 แหล่งคาร์บอน ที่ใช้ในการผลิตจิบเบอเรลลิน.....	8
1-2 ปัจจัยที่มีผลต่อการขยายส่วน.....	12
1-3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติที่ใช้ในการขยายส่วน.....	22
1-4 แสดงผลของอัตราการกวนที่เปลี่ยนไปเมื่อกำหนดค่าทางกายภาพต่างๆ คงที่.....	22
1-5 ผลของการขยายส่วนเมื่อกำหนดให้ความเร็วรอบของปลายใบพัดมีค่า เท่ากัน เมื่อมีสัดส่วนทางเรขาคณิตเหมือนกัน.....	23
1-6 ผลของการขยายส่วน เมื่อกำหนดให้ความเร็วรอบของปลายใบพัดมีค่า เท่ากัน เมื่อไม่กำหนดสัดส่วนทางเรขาคณิตให้เหมือนกัน.....	24
2-1 แสดงข้อสารเคมีและบริษัทผู้ผลิต.....	29
3-1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาล ที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิน เมื่อทำการ เลี้ยงเชื้อในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตร น้ำหมักต่อนาที โดยเชื้อ <i>Gibberella fujikuroi</i> N9-34.....	42
3-2 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลินโดยเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	43
3-3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาล ที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิน เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยเติมอากาศผสมที่มี ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 5 % ในชั่วโมงที่ 72 ของการ หมักและควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง.....	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของตัวอย่างควบคุม โดยใช้ภาวะดังระบุในการทดลองที่ 3.1 หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	49
3-5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของตัวอย่างที่มีการเพิ่มปริมาณเซลล์ในชั่วโมงที่ 72.....	50
3-6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของตัวอย่างที่มีการลดปริมาณเซลล์ในชั่วโมงที่ 72.....	51
3-7 น้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และ ขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อเพิ่มขึ้น โดยมีขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 และ 250 มิลลิลิตร เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 2 ตามลำดับ ทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที.....	55
3-8 น้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อเพิ่มขึ้น โดยมีขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที.....	55
3-9 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และทำการผลิตในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-10 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร และขั้นตอนที่ 2 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และทำการผลิตในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที.....	57
3-11 น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ ของเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเตรียมหัวเชื้อ ในถังหมัก 5 ลิตร ที่ช่วงการเพาะเลี้ยงต่าง ๆ.....	58
3-12 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 600 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน.....	60
3-13 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน (กำหนดให้ค่าเรโนลันัมเบอร์ของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน).....	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-14 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 400 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน (กำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน).....	65
3-15 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน (กำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน)..	67
3-16 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	69
3-17 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	70
3-18 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	71
3-19 ค่า $(C_L - C_{Lo}) / (t_f - t_0)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า $k_L a$ เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆของถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-20 ค่า $(C_L - C_{Lo}) / (t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า $k_L a$ เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	76
3-21 ค่า $(C_L - C_{Lo}) / (t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า $k_L a$ เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	77
3-22 ค่า $k_L a$, $\ln k_L a$ ที่ได้จากการหาความชัน เมื่อกำหนดอัตราการกวนและอัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	78
3-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k_L a$ (ที่อัตราการให้อากาศต่างๆ) กับ $\ln N_t$ (อัตราการกวนต่างๆ) ของถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	78
3-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k_L a$ (ที่อัตราการกวนต่างๆ) กับ $\ln V_s$ (อัตราการให้อากาศต่างๆ) ของถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	79
3-25 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0, 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาทีในถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	79
3-26 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0, 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	80
3-27 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0, 1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาทีในถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	81
3-28 ค่า $(C_L - C_{Lo}) / (t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า $k_L a$ เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	83
3-29 ค่า $(C_L - C_{Lo}) / (t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า $k_L a$ เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-30 ค่า $(C_{Lr} - C_{Lo}) / (t_r - t_o)$ และ $\int C_{Lr} dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_{La} เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	85
3-31 ค่า $k_{La}, \ln k_{La}$ ที่ได้จากการหาความชันเมื่อกำหนดอัตราการกวน และอัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	86
3-32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k_{La}$ (ที่อัตราการให้อากาศต่างๆ) กับ ค่า $\ln N_r$ (อัตราการกวนต่างๆ) ของถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	87
3-33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k_{La}$ (อัตราการกวนต่างๆ) กับ $\ln V_s$ (อัตราการให้อากาศต่างๆ) ของถังหมักขนาด 30 ลิตร.....	87
3-34 การเปรียบเทียบน้ำหมักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.. ..	89
3-35 การเปรียบเทียบน้ำตาลซูโครส(กรัมต่อลิตร)เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	91
3-36 การเปรียบเทียบน้ำตาลรีดิวิซ์(กรัมต่อลิตร)เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	93
3-37 การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคส(กรัมต่อลิตร)เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-38 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน(กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	97
3-39 การเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลาย(%)ในน้ำหมัก เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	99
3-40 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก(มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำหมักของเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร..	101
3-41 การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร..	104
3-42 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน อัตราการให้อากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 30 ลิตร หลังจากเลี้ยงครบ 24 ชั่วโมง ควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมักโดยควบคุมอัตราการให้อากาศ และ อัตราการกวน.....	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-43 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณ 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	109
3-44 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงใน ถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณ 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	110
3-45 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง(กรัมต่อลิตร)เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10% ตลอดการหมักหลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	112
3-46 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(กรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	114
3-47 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส(กรัมต่อลิตร)เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10% ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	116
3-48 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10% ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-49 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก(มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ ในถังหมักขนาด 30 ลิตรกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	120
3-50 การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่ภาวะต่างๆ ที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	122
3-51 น้ำหนักเซลล์แห้ง และค่าอัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อ <i>G. fujukuroi</i> N9-34 ในอาหารเลี้ยงตัวเชื้อในถังหมักขนาด 30 ลิตร ในช่วงเวลาต่างๆ.....	123
3-52 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณ 10 % อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	125
3-53 ค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 300 ลิตร ที่ภาวะต่างๆที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก ที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	126
3-54 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 300 ลิตร ทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อลดลงมีปริมาณ 20 % ตลอดการทดลอง อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-55 ค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 300 ลิตร ที่ ภาวะต่างๆที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20 % ตลอดการหมัก ที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อ ปริมาตรน้ำหมักต่อนาที กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	130
3-56 การเปรียบเทียบการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมัก 30 ลิตร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาวะการผลิต.....	131
3-57 การเปรียบเทียบการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมัก 300 ลิตร เมื่อมีการควบคุมปริมาณ DO.....	132
ช-1 การเตรียมสารละลายกรดจิบเบอเรลลิกมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น ต่างๆ วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC.....	147

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 โครงสร้างของ ent-gibberellane.....	2
1-2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟต.....	3
1-3 ขั้นตอนการสังเคราะห์เทอร์ปีนและเทอร์ปีนอยด์.....	4
1-4 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอนท์-คอร์ริน.....	5
1-5 ขั้นตอนการสังเคราะห์GA ₁₂ อัลดีไฮด์.....	6
1-6 ส่วนต่างๆของเครื่องหมายแบบอังกฤษ.....	13
1-7 สัดส่วนทางเรขาคณิตของอังกฤษมาตรฐาน.....	14
1-8 ความสัมพันธ์ของ N _p และ N _{re}	16
1-9 ความสัมพันธ์ของค่า P _g /P กับค่า N _a	17
3-1 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ก) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข) ในระหว่างการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการหมักในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีอัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที.....	44
3-2 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่มีการผลิต ณ เวลา ต่าง ๆ ของการเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อเติมอากาศผสมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 5 % ในชั่วโมงที่ 72 กับการหมักที่ไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามการทดลองที่ 3.1.....	47
3-3 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้งที่เวลาต่างๆ ของการเพาะเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อมีการเพิ่มและลดปริมาณเซลล์กับตัวอย่างควบคุมหลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง	52
3-4 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตขึ้น ณ เวลาต่างๆของการเพาะเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อมีการเพิ่มและลดปริมาณเซลล์กับตัวอย่างควบคุม หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-5 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิด และเปิดการให้อากาศ เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0 ,1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	73
3-6 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิด และเปิดการให้อากาศ เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0 ,1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	73
3-7 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิด และเปิดการให้อากาศ เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	74
3-8 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิด และเปิดการให้อากาศ เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาทีในถังหมักขนาด 30 ลิตร..	82
3-9 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิด และเปิดการให้อากาศ เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร...	82
3-10 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิด และเปิดการให้อากาศ เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร.	83
3-11 การเปรียบเทียบหน้าหนักเซลล์แห้งเมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-12 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลซูโครสเมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	92
3-13 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	94
3-14 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	96
3-15 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	98
3-16 การเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก เมื่อเลี้ยง เชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	100
3-17 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G. fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมัก ขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	102
3-18 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆกัน กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	113

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-19 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กันกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	115
3-20 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กันกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	117
3-21 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กันกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร..	119
3-22 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ของเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กันกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร.....	121
3-23 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก อัตราการกวน ที่บันทึกระหว่างการเลี้ยงเชื้อ <i>G.fujikuroi</i> N9-34 ในถังหมักขนาด 300 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อ นาที โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 %.....	127
ฉ-1 กราฟมาตรฐานสำหรับหาน้ำตาลซูโครส.....	157
ฉ-2 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์.....	158
ฉ-3 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยวิธีของ Huggett และ Nixon.....	159
ฉ-4 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณ GA ₃ โดยวิธี HPLC.....	160

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ฉ-5 ลักษณะโครมาโตแกรมของ GA ₃ เมื่อใช้พาราเซตามอลเป็นสารเปรียบ เทียบภายใน วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC.....	161

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มล.	= มิลลิลิตร
ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย ในน้ำหมักเป็น %	= เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนที่ละลายได้อิมตัว
a	= ค่าคงที่
b	= ค่าคงที่
B	= จำนวนไบพัต
$^{\circ}\text{C}$	= องศาเซลเซียส
C^*	= ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายที่สมดุล (mmoles/l)
C_L	= ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก (mmoles/l)
C_{L0}	= ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่เวลาเริ่มต้น (mmoles/l)
C_{Lr}	= ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่เวลาสุดท้าย (mmoles/l)
cm	= เซนติเมตร
D_i	= เส้นผ่านศูนย์กลางของไบพัต (cm)
D_Q^3	= ปริมาตรน้ำหมัก (cm^3)
F	= อัตราการไหลของอากาศ (cm^3/min)
F_r	= Froude number
g_c	= conversion factor (kg.m/kg.sec^2)
GA_3	= กรดจิบเบอเรลลิก
HPLC	= เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโตกราฟี
J	= ความกว้างของครีป (baffle) (cm)
K_1, K_2	= ค่าคงที่
K_{La}	= สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน (hr^{-1})
n	= ความเร็วรอบของการกวน (sec^{-1} or min^{-1})
N_a	= aeration number
N_i	= ความเร็วรอบของการกวน (rpm)
N_p	= power number

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

- N_{re} = Reynolds number
 N_Q = Flow number
 OTR = อัตราการถ่ายเทออกซิเจน
 P = กำลังของมอเตอร์ (kg.m./sec ; HP)
 P_g = กำลังของมอเตอร์ที่ใช้เมื่อมีการให้อากาศ (kg.m./sec ; HP)
 P_g/V = อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก
 Q = อัตราการไหล (m^3/hr)
 r = อัตราการหายใจจำเพาะของจุลลินทรีย์
 (mmole O_2/g cell/hr)
 rpm = รอบต่อนาที
 t_0 = เวลาเริ่มต้น (sec or hr)
 t_f = เวลาเวลาสุดท้าย (sec or hr)
 t_m = เวลาที่ใช้ในการกวนผสม (sec or hr)
 v = ปริมาตรน้ำหมัก (cm^3)
 v_s = ความเร็วของอากาศ (cm/sec)
 w_m = ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
 x = ความเข้มข้นของเซลล์ (g cell /l)
 % = เปอร์เซ็นต์
 α = ค่าคงที่
 β = ค่าคงที่
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำหมัก (g/cm^3)
 μ = ความหนืดของน้ำหมัก (g/cm.sec)