บทที่ 3

ผลการทดลอง และวิจารณ์

3.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในระดับขวดเขย่า

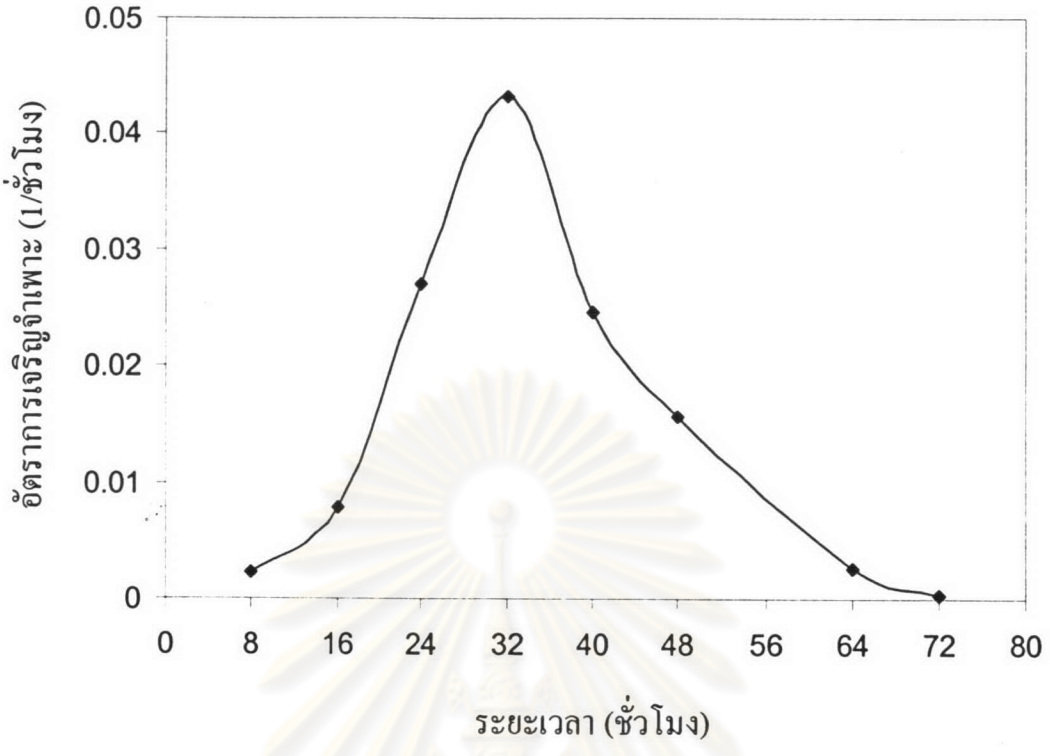
3.1.1 การเจริญของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารเตรียมหัวเชื้อ

การทดลองนี้ศึกษาการเจริญของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารเตรียมหัวเชื้อ ตามวิธีการทดลองในข้อ 2.4.2 ติดตามการเจริญเติบโต โดยหาน้ำหนักเซลล์แห้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตามวิธีข้อ 2.6.1 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1 พบว่า การเจริญของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 จะเข้าสู่ระยะกึ่งกลางของการเจริญช่วงทวีคูณ (mid log phase) ในชั่วโมงที่ 32 โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 4.99 กรัมต่อลิตร และมีอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.0432 ต่อชั่วโมง หลังจากชั่วโมงที่ 48 จะเริ่มเข้าสู่ระยะของการเจริญแบบคงที่ ดังนั้นจะเลือกใช้หัวเชื้อที่มีอายุ 32 ชั่วโมงเป็นหัวเชื้อสำหรับการทดลองผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อไป

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักเซลล์แห้ง และอัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารสำหรับเตรียมหัวเชื้อ ในระดับขวดเขย่าที่ช่วงเวลาเพาะเลี้ยงต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	อัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อชั่วโมง)
0	0.26	-
8	0.28	0.0023
16	0.36	0.0078
24	0.91	0.0271
32	4.99	0.0432
40	11.47	0.0246
48	19.19	0.0157
64	22.78	0.0027
72	23.02	0.0003

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.1 รูปแบบการเจริญของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารสำหรับเตรียมหัวเชื้อ

3.1.2 ผลของปริมาณของซูโครส และปริมาณของแอมโมเนียมซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย *Gibberella fujikuroi* N9-34

จากรายงานของศุภชัย สมัปปิโต (2537) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในถังหมัก 5 ลิตร โดยใช้หัวเชื้ออายุ 48 ชั่วโมง ในอาหารเลี้ยงเชื้อ 1 ลิตรประกอบด้วย น้ำตาลซูโครส 100 กรัม แอมโมเนียมซัลเฟต 1.89 กรัม กากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้วปริมาณ 5.9 กรัม โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 5.0 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 1.0 กรัม อลูมิเนียมออกไซด์ 0.1 กรัม และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 0.2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเท่ากับ 7 ทำการหมักในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm เชื้อจะผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ 1,091 และ1,534 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 และ11 ของการเลี้ยงจึงทำการทดลองผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้ภาวะเดียวกับศุภชัย สมัปปิโต ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

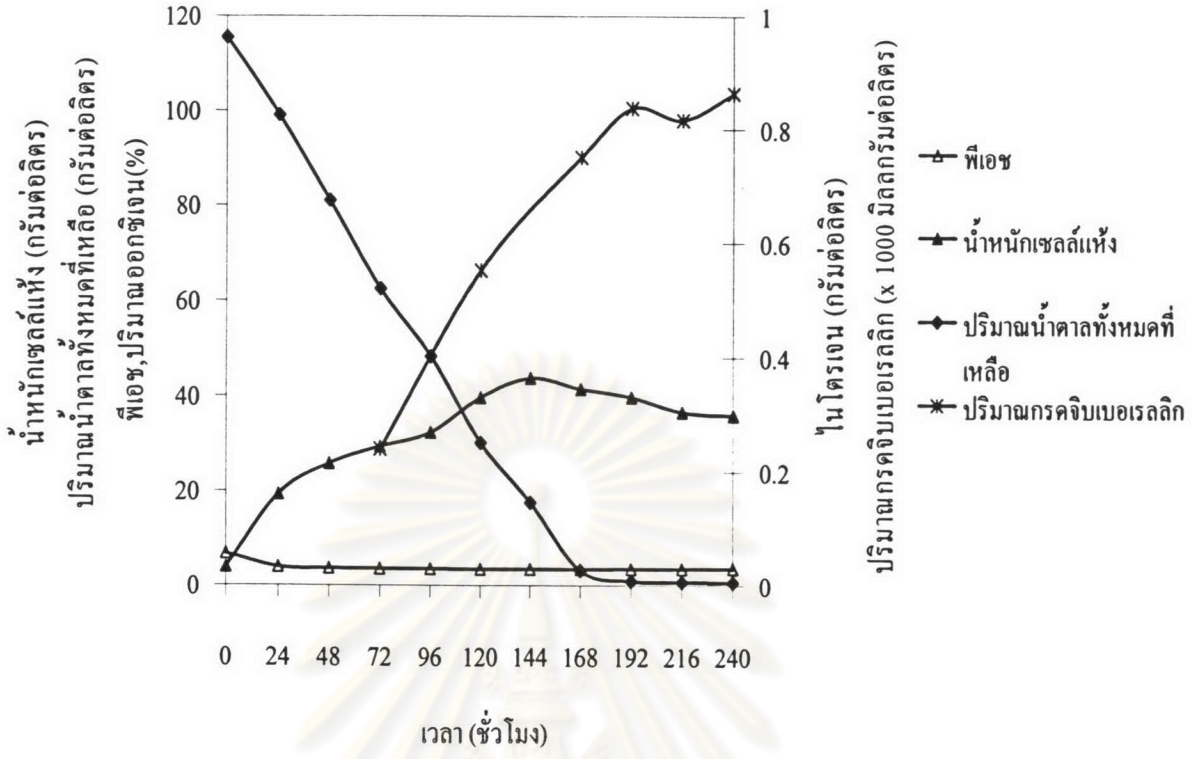
จากผลการทดลองตามตารางที่ 3.2 พบว่า เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ 750.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 ของการหมัก และให้กรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 862.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 10 ของการเลี้ยง โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดในชั่วโมงที่ 144 เท่ากับ 43.74 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้น

น้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่เชื้อผลิตได้ พบว่า เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ในปริมาณที่ต่ำกว่าการทดลองของศุภชัย สมัปปิโต เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ และภาวะเดียวกัน ดังนั้น จึงได้ทำการแปรปริมาณซูโครส และปริมาณแอมโมเนียม-ซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อในระดับขวดเขย่า เพื่อให้ได้อาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.2 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในสูตรอาหารสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.78	3.92	115.43	-
24	3.93	19.33	99.05	-
48	3.65	25.79	81.04	-
72	3.58	29.35	62.52	240.30
96	3.52	32.35	48.33	-
120	3.47	39.76	30.22	553.49
144	3.44	43.74	17.56	-
168	3.46	41.47	3.20	750.85
192	3.50	39.70	0.93	837.25
216	3.56	36.59	0.74	816.37
240	3.60	35.86	0.68	862.90

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.2 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ค่าพีเอชของน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในสูตรอาหารสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการหมักในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

ดังนั้น จึงทำการทดลองแปรผันปริมาณซูโครส และแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อใช้ร่วมกับกากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้วปริมาณ 5.9 กรัมต่อลิตร ในอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับขวดเขย่า โดยทำการแปรปริมาณซูโครสเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร และแปรปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตเป็น 1.31, 1.49, 1.68 และ1.89 กรัมต่อลิตร ทำการทดลองตามวิธีการในข้อ 2.4.2 และ 2.4.3.1 หาค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.3 -3.6 และรูปที่ 3.3 -3.6 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณซูโครส และแอมโมเนียมซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อจะมีผลต่อการเจริญ และการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอมโมเนียมซัลเฟต 1.31 กรัมต่อลิตร เมื่อแปรปริมาณซูโครสเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 192 เท่ากับ 673.15, 848.37 และ 823.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณซูโครส 100 กรัมต่อลิตร นอกจากจะให้ผลผลิต

กรดจิบเบอเรลลิกสูงที่สุดแล้วยังมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 4.823 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ในชั่วโมงที่ 144 ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีปริมาณซูโครส 80 และ120 กรัมต่อลิตร

สำหรับสูตรอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟต 1.49 กรัมต่อลิตร และปริมาณซูโครสเป็น 80 กรัมต่อลิตร เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 192 เท่ากับ 703.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อมีปริมาณซูโครสในอาหารเท่ากับ 100 และ120 กรัมต่อลิตร เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 216 เท่ากับ 893.21 และ856.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในอาหารที่มีปริมาณซูโครส 100 กรัมต่อลิตร จะสูงกว่าการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีปริมาณซูโครส 80 และ120 กรัมต่อลิตร โดยผลิตได้ 5.421 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ในชั่วโมงที่ 120

ส่วนสูตรอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟต 1.68 กรัมต่อลิตร และปริมาณซูโครสเป็น 80 กรัมต่อลิตร เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 192 เท่ากับ 724.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อมีปริมาณซูโครสในอาหารเท่ากับ 100 และ120 กรัมต่อลิตร เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 216 เท่ากับ 1,046.38 และ916.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 เป็น 4.713, 6.158 และ5.118 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณซูโครส 100 กรัมต่อลิตรจะให้ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกและมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงกว่าเมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณซูโครส 80 และ 120 กรัมต่อลิตร

เมื่อแปรสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อให้มีแอมโมเนียมซัลเฟต 1.89 กรัมต่อลิตร และปริมาณซูโครสเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 216 เท่ากับ 789.19, 1,089.22 และ 939.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอ-เรลลิกสูงสุด และมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 6.993 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ในชั่วโมงที่ 96 เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีปริมาณซูโครส 100 กรัมต่อลิตรเช่นเดียวกัน

จากการเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อ เมื่อแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส และแอมโมเนียมซัลเฟตเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อตามตารางที่ 3.7 พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในอาหารเลี้ยงเชื้อจาก 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตรจะได้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟต แสดงว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในอาหารเลี้ยงเชื้อจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อมากขึ้น ขณะเดียวกันการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจะสูงสุดในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครส 100 กรัมต่อลิตร และการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตสูงขึ้นจาก 1.31, 1.49, 1.68 และ1.89 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดเพิ่มขึ้นตามลำดับเช่นเดียวกัน โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตเริ่มต้น1.68 และ 1.89 กรัมต่อลิตร จะให้ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกใกล้เคียงกัน คือ 1,046.38 และ1,089.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 ได้ 6.158 และ6.993 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

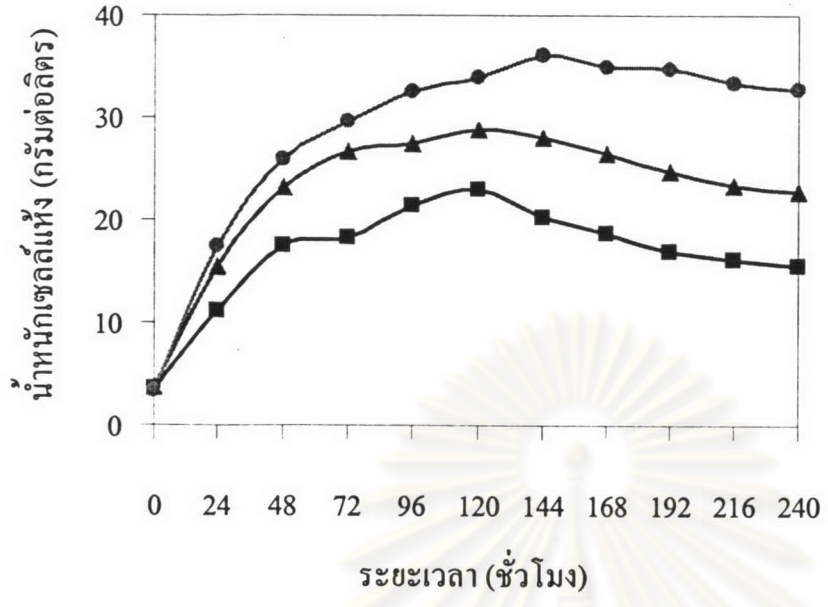
ดังนั้นในการศึกษาการผลิตจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตรจะเลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณซูโครสเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร และแปรปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตเป็น 1.89, 1.68 และ 1.49 กรัมต่อลิตร ร่วมกับกากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้วปริมาณ 5.9 กรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่มีต่อการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตรต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

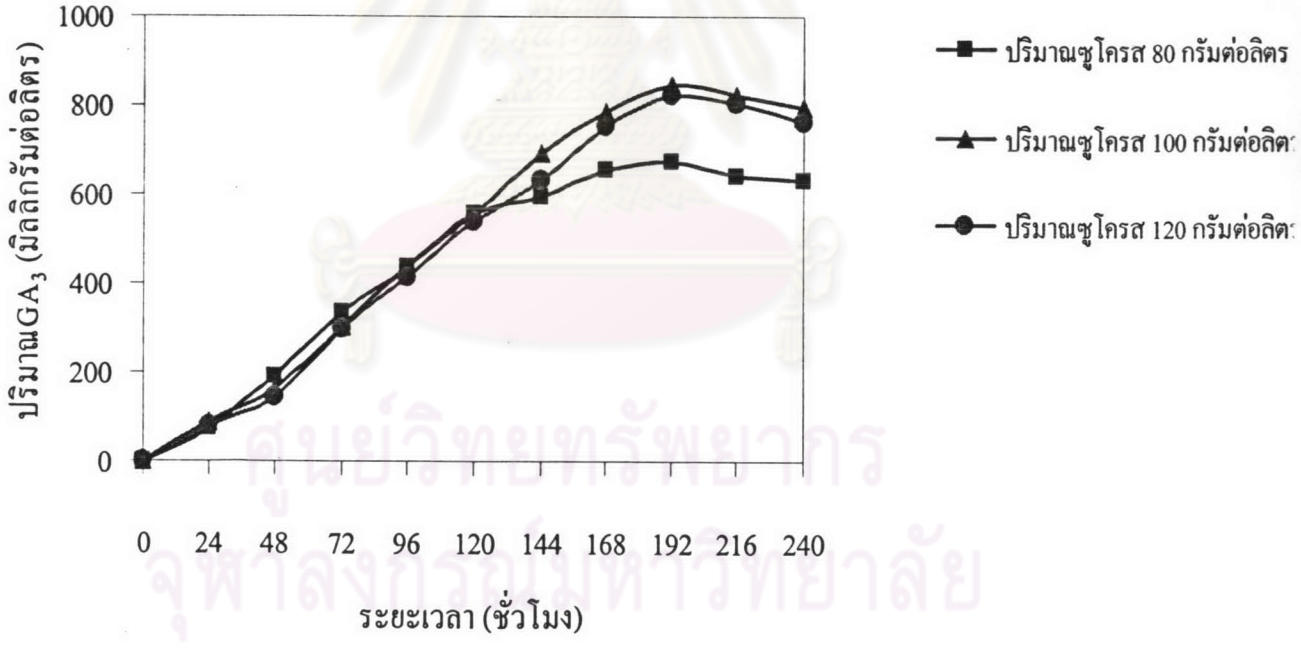
ตารางที่ 3.3 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.31 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณซูโครสเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ (กรัมต่อลิตร)								
	80			100			120		
	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	3.56	-	-	3.67	-	-	3.32	-	-
24	11.18	76.45	3.185	15.40	89.12	3.713	17.40	80.54	3.356
48	17.40	189.56	3.949	23.05	164.58	3.429	25.86	142.36	2.966
72	18.23	337.12	4.682	26.70	300.64	4.176	29.70	295.61	4.106
96	21.34	438.47	4.567	27.52	438.12	4.564	32.52	413.62	4.309
120	22.94	556.67	4.639	28.87	557.63	4.647	33.87	541.55	4.513
144	20.26	594.34	4.127	28.10	694.55	4.823	36.10	634.28	4.405
168	18.69	656.13	3.906	26.55	787.12	4.685	34.95	752.71	4.480
192	16.92	673.15	3.506	24.62	848.37	4.419	34.62	823.69	4.290
216	16.06	642.03	2.972	23.34	822.59	3.808	33.34	803.12	3.718
240	15.42	630.78	2.628	22.78	795.39	3.314	32.78	763.21	3.180

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ก.



ข.

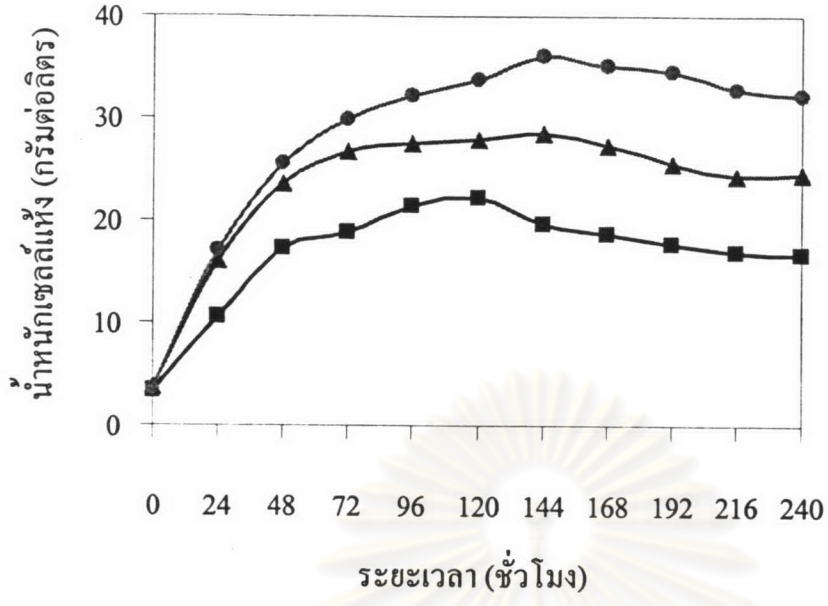
รูปที่ 3.3 น้ำหนักเซลล์แห้ง (ก)และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข)ที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.31 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

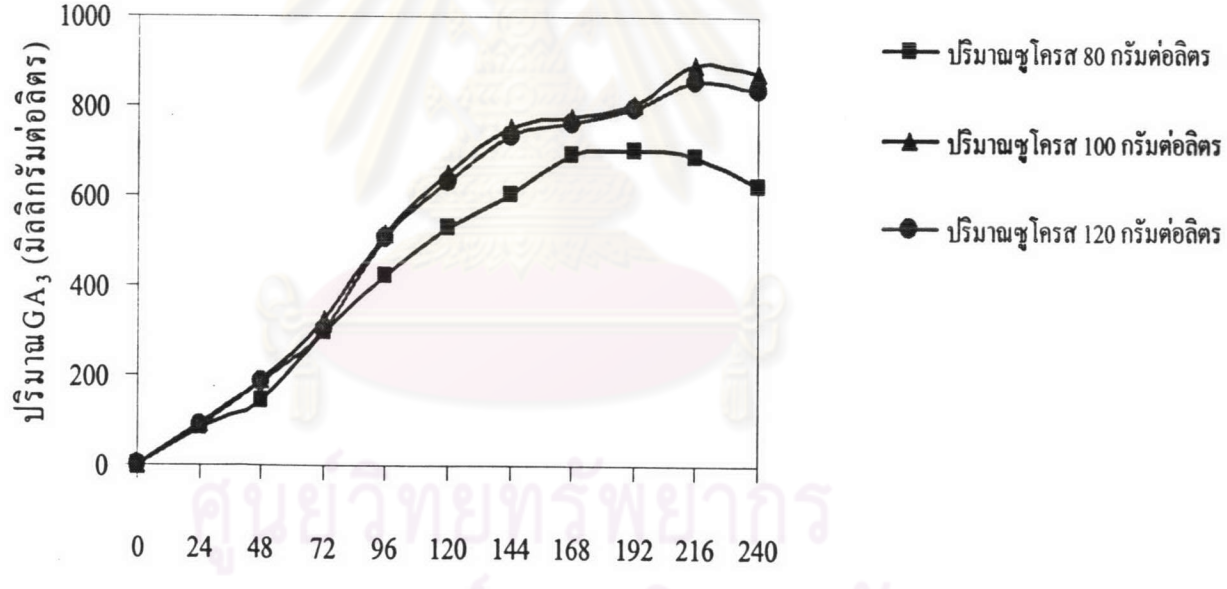
ตารางที่ 3.4 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.49 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณซูโครสเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ (กรัมต่อลิตร)								
	80			100			120		
	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	3.42	-	-	3.75	-	-	3.45	-	-
24	10.67	85.42	3.559	16.16	93.65	3.902	17.02	90.23	3.760
48	17.32	142.37	2.966	23.57	191.58	3.991	25.57	184.35	3.841
72	18.79	297.26	4.129	26.70	326.45	4.534	29.78	302.86	4.206
96	21.35	421.24	4.388	27.49	516.88	5.384	32.09	506.87	5.280
120	22.09	529.34	4.411	27.78	650.46	5.421	33.79	632.15	5.268
144	19.70	603.23	4.189	28.49	751.25	5.217	36.03	734.29	5.099
168	18.70	694.87	4.136	27.17	778.36	4.633	35.12	764.52	4.551
192	17.58	703.41	3.664	25.47	806.51	4.201	34.47	794.67	4.139
216	16.79	687.23	3.182	24.27	893.21	4.135	32.67	856.23	3.964
240	16.62	621.82	2.591	24.42	876.24	3.651	32.23	836.28	3.485

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ก.



ข.

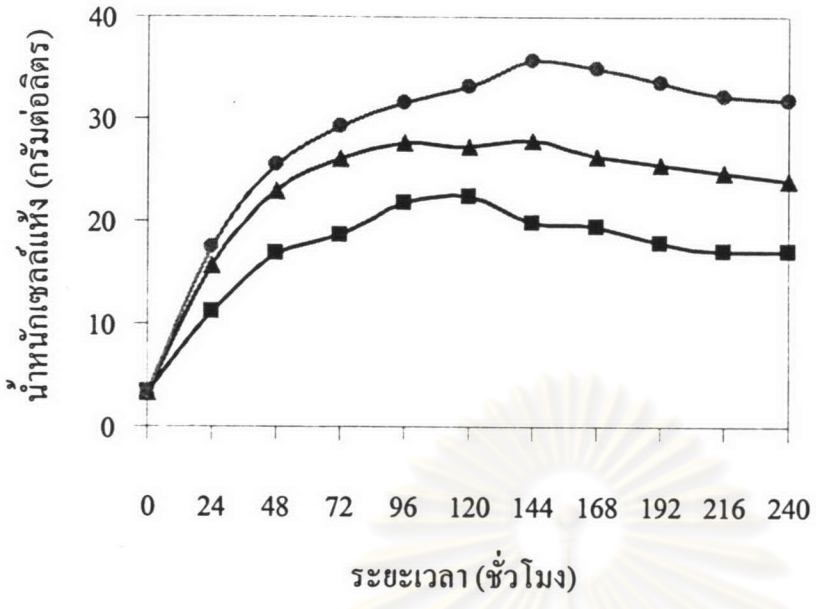
รูปที่ 3.4 น้ำหนักเซลล์แห้ง (ก)และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข)ที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.49 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

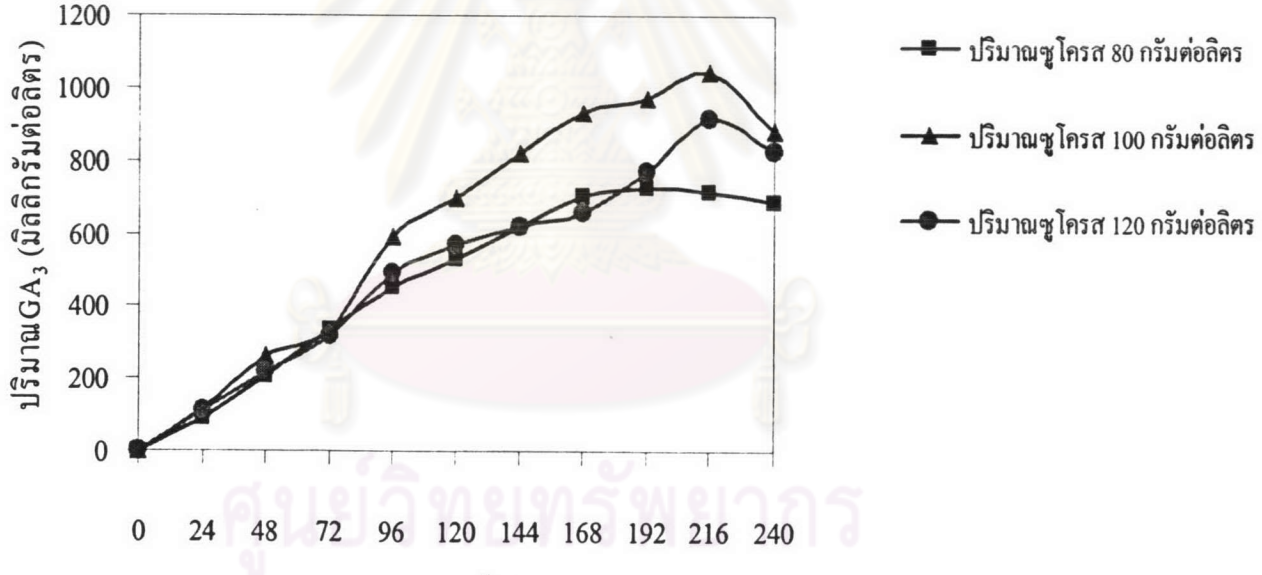
ตารางที่ 3.5 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.68 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณซูโครสเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ (กรัมต่อลิตร)								
	80			100			120		
	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	3.37	-	-	3.35	-	-	3.25	-	-
24	11.22	90.24	3.760	15.59	115.23	4.801	17.45	110.15	4.590
48	16.82	204.13	4.253	22.85	265.01	5.521	25.42	215.46	4.489
72	18.70	337.22	4.684	26.10	337.28	4.684	29.16	317.24	4.406
96	21.70	452.41	4.713	27.55	591.16	6.158	31.55	491.31	5.118
120	22.37	532.11	4.434	27.19	699.34	5.828	33.19	570.49	4.754
144	19.87	621.33	4.315	27.77	818.21	5.682	35.77	618.31	4.294
168	19.45	704.16	4.191	26.27	929.42	5.532	34.99	658.12	3.917
192	17.87	724.09	3.771	25.46	971.43	5.060	33.46	771.42	4.018
216	17.09	712.38	3.298	24.80	1,046.38	4.844	32.12	916.20	4.242
240	17.08	689.17	2.872	23.83	884.36	3.685	31.83	824.33	3.435

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ก.



ข.

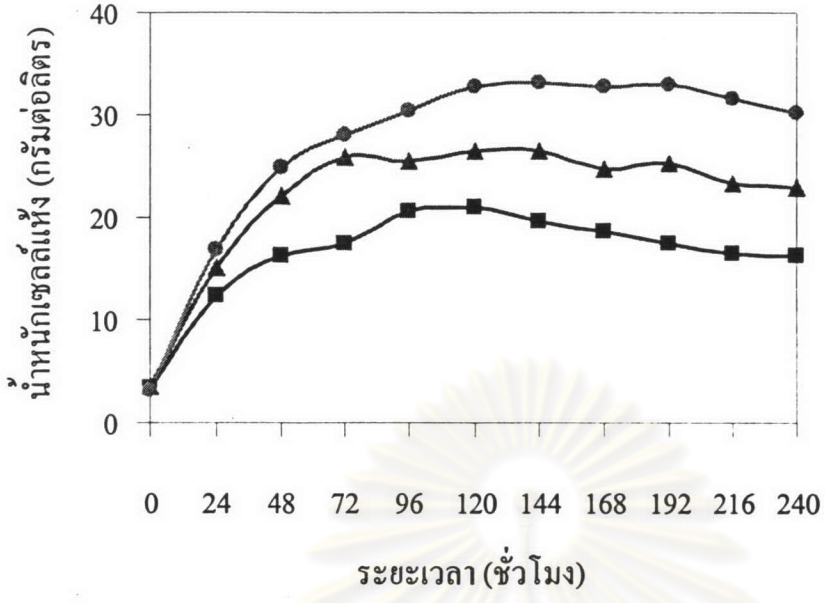
รูปที่ 3.5 น้ำหนักเซลล์แห้ง (ก)และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข)ที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.68 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

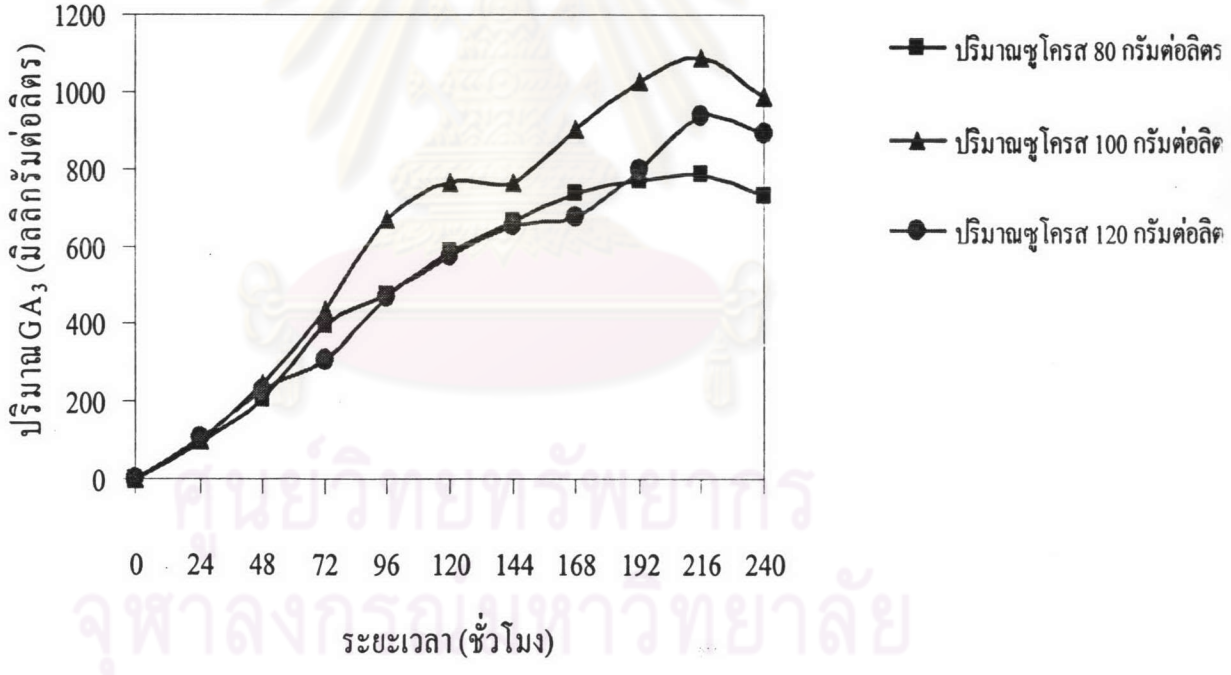
ตารางที่ 3.6 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.89 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณซูโครสเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ (กรัมต่อลิตร)								
	80			100			120		
	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3(มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	3.32	-	-	3.55	-	-	3.04	-	-
24	12.43	93.15	3.881	15.07	103.23	4.301	16.80	103.47	4.311
48	16.19	208.24	4.338	22.25	248.25	5.172	24.87	228.34	4.757
72	17.43	394.52	5.479	25.89	433.14	6.016	28.01	309.25	4.295
96	20.63	471.63	4.913	25.52	671.28	6.993	30.36	471.33	4.910
120	21.01	588.21	4.902	26.39	765.34	6.378	32.67	577.21	4.810
144	19.61	663.87	4.610	26.45	763.26	5.300	33.12	653.34	4.537
168	18.72	737.12	4.388	24.71	904.17	5.382	32.82	674.22	4.013
192	17.41	768.31	4.002	25.33	1,029.33	5.361	33.01	799.40	4.164
216	16.55	789.19	3.654	23.37	1,089.22	5.043	31.52	939.15	4.348
240	16.30	733.21	3.055	22.85	985.26	4.105	30.28	892.09	3.717

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ก.



ข.

รูปที่ 3.6 น้ำหนักเซลล์แห้ง (ก)และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข)ที่ผลิตโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต 1.89 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด เมื่อเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่แปรปริมาณซูโครสเริ่มต้นเป็น 80, 100 และ120 กรัมต่อลิตร และแปรปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตเป็น 1.31, 1.49, 1.68 และ 1.89 กรัมต่อลิตร ในระดับขวดเขย่า

ปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟต (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณซูโครสเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ (กรัมต่อลิตร)								
	80			100			120		
	น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3 สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3 สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราการผลิต GA_3 สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
1.31	22.94	673.15	4.682	28.87	848.37	4.823	36.10	823.69	4.513
1.49	22.09	703.41	4.411	28.49	893.21	5.421	36.03	856.23	5.280
1.68	22.37	724.09	4.713	27.77	1,046.38	6.158	35.77	916.20	5.118
1.89	21.01	789.19	5.479	27.05	1,089.22	6.993	34.12	939.15	4.910

3.2 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้กระบวนการหมักแบบแบตช์

3.2.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่มีต่อการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากผลการทดลองในข้อ 3.1.2 เมื่อเลี้ยงเชื้อในระดับขวดเขย่าที่มีปริมาณซูโครสเริ่มต้นเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร และแปรปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตในอาหารเริ่มต้นเท่ากับ 1.89, 1.68 และ 1.49 กรัมต่อลิตร ร่วมกับกากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้วปริมาณ 5.9 กรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 71, 81 และ88 ตามลำดับ จะได้ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด เท่ากับ 1,089 มิลลิกรัมต่อลิตร 1,046 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 893.21 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 216 ชั่วโมง ตามลำดับ

ดังนั้น จึงทำการทดลองเปรียบเทียบรูปแบบการเจริญ และผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 71, 81 และ88 ตามลำดับเช่นเดียวกับในระดับขวดเขย่า โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 7 ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1vvm. เป็นเวลา 10 วัน เก็บตัวอย่างทุก 24 ชั่วโมง วิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลืออยู่ภายหลังการหมัก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ตามวิธีการทดลองข้อ 2.6 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.8-3.12 และรูปที่ 3.7-3.9 พบว่า เชื้อใช้ไนโตรเจนหมดในชั่วโมงที่ 72 ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงชั่วโมงที่ 24 หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นตามลำดับจนสิ้นสุดการหมัก

เมื่อเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 เชื้อมีการเจริญเติบโตโดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 46.07 กรัมต่อลิตรที่ 144 ชั่วโมง หลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลง ตามลำดับ โดยผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุด 910.08 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 216 ชั่วโมง และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าสูงสุด 4.862 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงที่ชั่วโมง 120 ของการหมัก จากการคำนวณผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 24 ของการหมักเท่ากับ 0.847 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 216 ของการหมักเท่ากับ 7.195 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล และผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 216 ของการหมักเท่ากับ24.478 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในระดับขวดเขย่าโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเดียวกัน พบว่า การเลี้ยงในระดับขวดเขย่าจะให้ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร ซึ่งจะให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงกว่าในระดับขวดเขย่า และน้ำตาลจะถูกใช้ไปในการสร้างเซลล์มากกว่าที่จะใช้ในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก (ตารางที่ 3.8-3.9)

เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 เชื้อมีการเจริญโดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ได้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 37.30 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 240 จากผลการทดลองพบว่า เชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 มีการผลิตเซลล์และกรดจิบเบอเรลลิกเพิ่มขึ้นตามลำดับโดยไม่มีการสลายตัวของเซลล์ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตได้สูงสุด เท่ากับ 1,162.31 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 216 ชั่วโมง และอัตราการผลิตกรดจิบเบอ-เรลลิกมีค่าสูงสุด 5.381 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ที่ชั่วโมง 216 ของการหมัก จากการคำนวณผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s)มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 216 ของการหมักเท่ากับ 10.497 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล และผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 24 ของการหมักได้เท่ากับ 0.483 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล แสดงว่า เซลล์มีแนวโน้มในการนำน้ำตาลไปใช้ในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมากกว่าสร้างเซลล์ เมื่อเทียบกับการใช้อาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนค่าอื่นๆ ซึ่งผลการสอดคล้องกับการทดลองในระดับขวดเขย่า (ตารางที่ 3.10-3.11)

เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 88 เชื้อมีการเจริญเติบโตโดยได้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 46.06 กรัมต่อลิตรในเวลา 192 ชั่วโมง จากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงตามลำดับ เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุด 795.34 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 192 ชั่วโมง และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าสูงสุด 4.142 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ที่ชั่วโมง 192 ของการหมัก จากการคำนวณผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 48 ของการหมักเท่ากับ 0.456 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 192 ของการหมักเท่ากับ 7.108 มิลลิกรัม กรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) มีค่าสูงสุดที่ชั่วโมง 240 ของการหมักเท่ากับ 21.420 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ (ตารางที่ 3.12-3.13)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีค่าอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 เชื้อมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดในชั่วโมงที่ 24 ของการหมัก ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 และ88 แต่เมื่อเลี้ยงโดยใช้อาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงกว่าโดยผลิตได้สูงสุดเท่ากับ 1,162.31 มิลลิกรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 216 และมีค่าผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าสูงสุด สำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ88 เชื้อมีการเจริญช้าโดยมีค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดในชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก และเริ่มผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ปริมาณสูงในระยะเริ่มต้น และอัตราการผลิตจะลดลงในช่วงท้ายของการผลิต อาจเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจน

ในอาหารเลี้ยงเชื้อต่ำกว่าสูตรอื่นจึงไม่เพียงพอในการรักษาสภาพของเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการสลายตัว และผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกไม่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.8 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.64	3.32	127.30	-	0.59	100
24	4.45	16.93	111.11	84.23	0.38	0
48	4.15	20.42	85.73	108.45	0.18	13
72	4.18	27.67	69.46	291.18	0	11
96	3.92	30.48	55.24	421.32	0	7
120	3.83	33.97	43.86	583.40	0	5
144	3.82	46.07	28.55	612.16	0	5
168	3.91	43.74	9.96	751.03	0	5
192	3.93	41.97	0.98	837.25	0	9
216	3.89	40.40	0.82	910.08	0	18
240	3.83	39.84	0.68	863.27	0	16

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

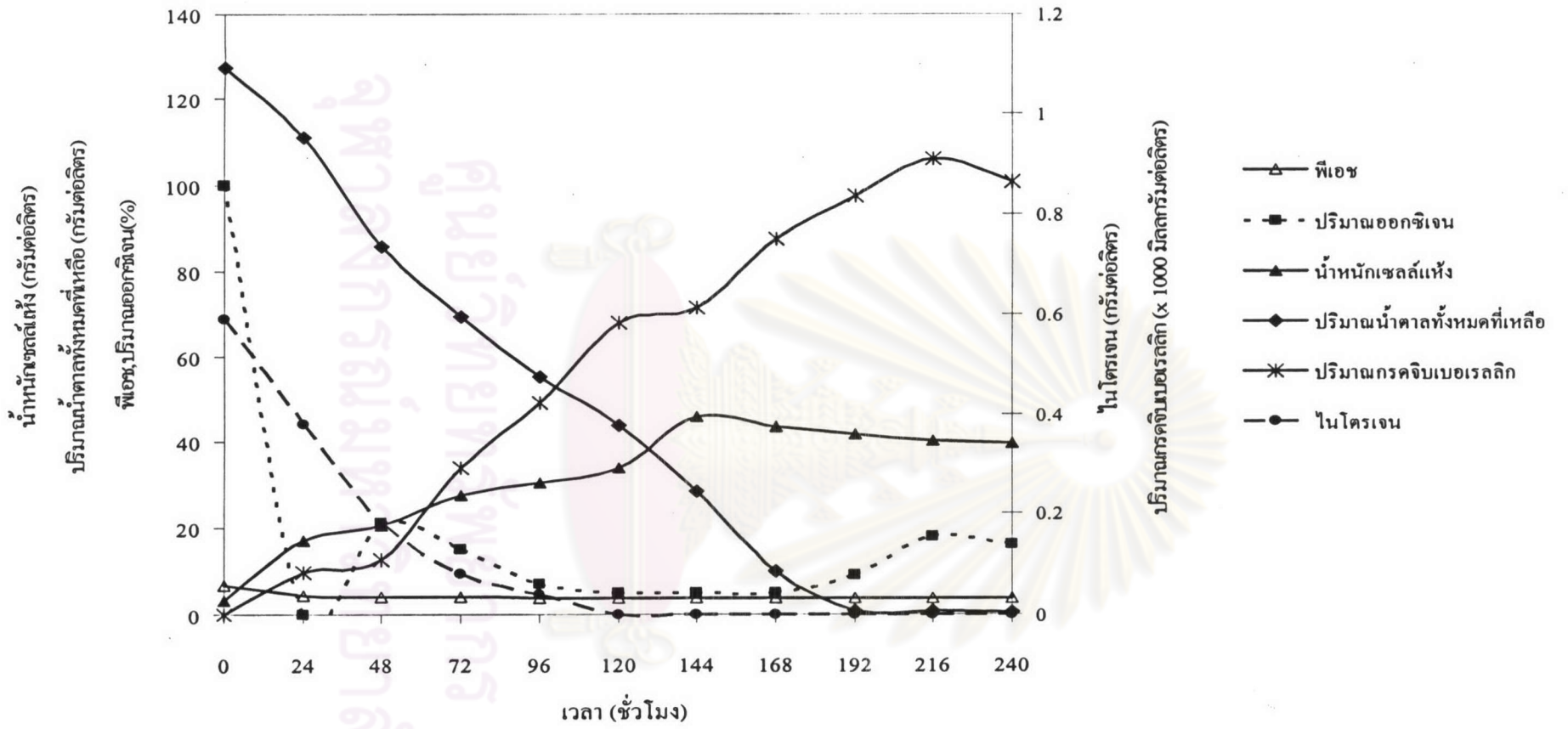
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่3.9 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.847	5.203	6.144	0.571	0.675	3.510
48	0.414	2.609	6.305	0.358	0.866	2.259
72	0.423	5.034	11.909	0.340	0.803	4.044
96	0.378	5.847	15.456	0.284	0.751	4.389
120	0.369	6.992	18.972	0.256	0.695	4.862
144	0.434	6.199	14.286	0.298	0.686	4.251
168	0.345	6.400	18.535	0.241	0.698	4.470
192	0.307	6.628	21.606	0.202	0.658	4.361
216	0.294	7.195	24.478	0.172	0.586	4.213
240	0.289	6.818	23.574	0.153	0.528	3.597

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ค่าพีเอชของน้ำหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการหมัก ในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

ตารางที่ 3.10 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.13	4.77	112.68	-	0.52	100
24	4.44	10.34	101.15	31.41	0.26	0
48	4.32	14.42	88.14	51.26	0.13	9
72	4.28	17.85	71.99	307.18	0	10
96	4.22	21.60	60.49	411.36	0	6
120	4.17	24.03	43.69	564.08	0	5
144	4.16	26.53	26.49	661.02	0	6
168	4.15	27.22	12.92	806.31	0	15
192	4.26	29.86	4.65	915.24	0	18
216	4.28	32.85	1.95	1,162.31	0	18
240	4.28	37.30	1.69	1,043.13	0	18

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

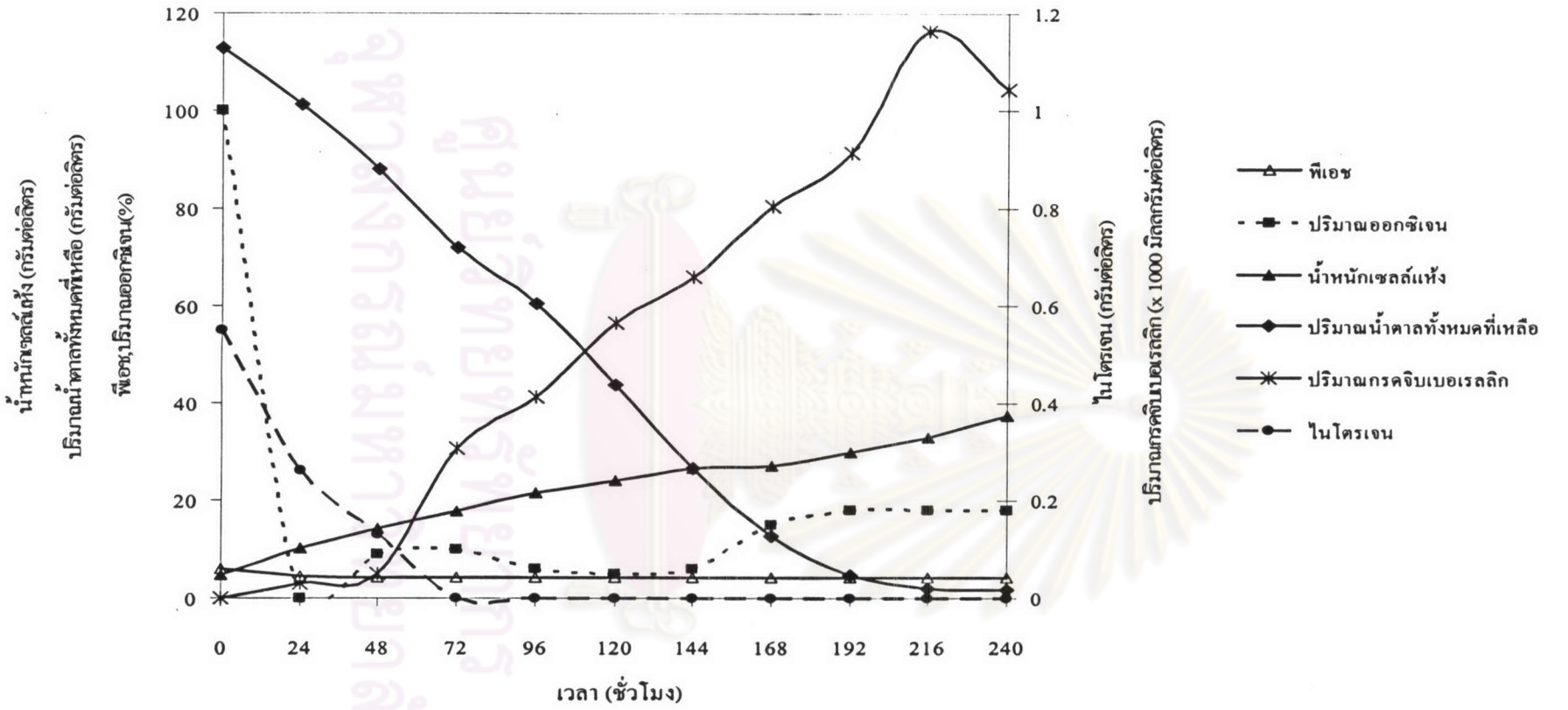
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.11 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 ในถังหมักขนาด 5ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.483	2.724	5.639	0.232	0.480	1.309
48	0.393	2.089	5.312	0.201	0.511	1.068
72	0.321	7.549	23.485	0.182	0.565	4.266
96	0.322	7.882	24.442	0.175	0.544	4.285
120	0.279	8.176	29.288	0.161	0.575	4.701
144	0.252	7.669	30.378	0.151	0.599	4.590
168	0.225	8.082	35.916	0.134	0.594	4.799
192	0.232	8.472	36.478	0.131	0.563	4.767
216	0.254	10.497	41.393	0.130	0.513	5.381
240	0.293	9.398	32.067	0.136	0.462	4.346

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ค่าพีเอชของน้ำหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการหมัก ในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

ตารางที่ 3.12 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 88 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.88	4.77	112.68	-	0.48	100
24	4.70	12.21	95.86	20.11	0.18	0
48	4.65	20.80	77.53	100.15	0.10	9
72	4.70	25.54	66.01	171.32	0	11
96	4.68	28.57	49.49	330.24	0	7
120	4.59	40.99	32.70	417.13	0	5
144	4.55	42.52	17.72	540.22	0	6
168	4.45	44.45	5.42	674.22	0	17
192	4.49	46.06	0.78	795.34	0	17
216	4.40	45.03	0.56	781.20	0	18
240	4.35	41.56	0.39	788.03	0	20

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

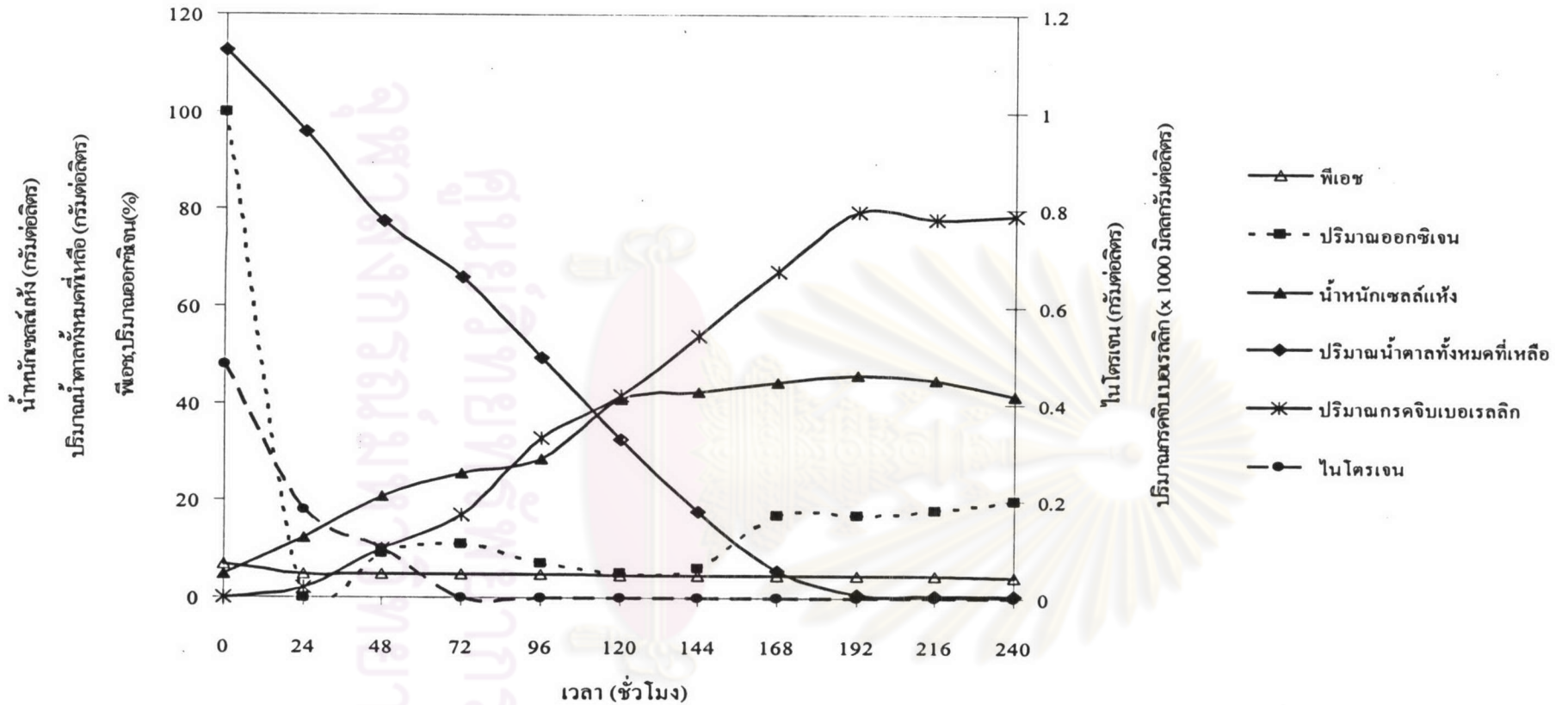
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.13 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 88 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.442	1.196	2.703	0.310	0.701	0.838
48	0.456	2.849	6.248	0.334	0.732	2.086
72	0.445	3.671	8.248	0.288	0.648	2.379
96	0.377	5.226	13.876	0.248	0.658	3.440
120	0.453	5.215	11.517	0.302	0.667	3.476
144	0.398	5.689	14.310	0.262	0.659	3.752
168	0.370	6.286	16.991	0.236	0.638	4.013
192	0.369	7.108	19.262	0.215	0.583	4.142
216	0.359	6.968	19.404	0.186	0.519	3.617
240	0.328	7.018	21.420	0.153	0.468	3.283

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ค่าพีเอชของน้ำหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 88 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการหมัก ในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกของเชื้อ จากตารางที่ 3.14 พบว่า เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดเท่ากับ 1,1162.31 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 จากการคำนวณผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yp/s) เท่ากับ 10.497 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์สูงสุด (Yp/x) เท่ากับ 41.393 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจะสูงสุด เท่ากับ 5.318 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 และ88 และเมื่อพิจารณาผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) เท่ากับ 0.483 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาลในชั่วโมงที่ 24 และหลังจากนั้นจะลดลง (ตารางที่ 3.11) แสดงว่าในระยะแรกเซลล์จะใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโต หลังจากนั้นน้ำตาลส่วนใหญ่จะถูกใช้เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hollmann และคณะ (1995) เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีกลูโคสเริ่มต้น 120 กรัมต่อลิตร เชื้อจะมีการผลิตเซลล์ได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการเลี้ยงเชื้อ แล้วเชื้อจะเริ่มเข้าสู่ระยะการเจริญแบบคงที่ (stationary phase) เนื่องจากเชื้อใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตจนหมดจากนั้นจะเข้าสู่ระยะการเจริญแบบคงที่และเริ่มสร้างกรดจิบเบอเรลลิก

ตารางที่ 3.14 เปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 71 81 และ88 ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm

ค่าจากการทดลอง	อัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน		
	71	81	88
น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	46.07	37.30	46.06
ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	910.08	1,162.31	795.34
ระยะเวลาที่ให้ผลผลิตสูงสุด (ชั่วโมง)	216	216	192
ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) (กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล)	0.847	0.483	0.456
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ สูงสุด(Yp/s) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล)	7.195	10.497	7.108
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์สูงสุด (Yp/x) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์)	24.478	41.393	21.420
อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	4.862	5.381	4.142
อัตราการใช้น้ำตาลสูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.866	0.599	0.732
อัตราการผลิตเซลล์สูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.571	0.232	0.334

ดังนั้นจึงเลือกอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 มาใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2 ผลของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกที่มีแปรปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักแตกต่างกันในถังหมักขนาด 5 ลิตร

Giordano และDomenech (1999) รายงานว่า เชื้อ *Gibberella fujikuroi* จะมีการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน (gibberellin) ไบคาเวอริน (bikaverin) และฟูซาลิน ซี (fusarin C) โดยใช้อะเซทิลโค เอ เป็นสารตั้งต้น และเมื่อเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการให้อากาศสูงจะส่งผลให้เชื้อมีการเจริญเติบโตดี และมีการผลิตจิบเบอเรลลินได้สูง แต่ในภาวะที่มีการให้อากาศต่ำเชื้อจะมีการผลิตกรดไขมัน และฟูซาลิน ซี เป็นผลให้ผลผลิตจิบเบอเรลลินลดลง ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตจิบเบอเรลลินสูงจึงควรมีการควบคุมภาวะของการหมักให้มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำหมักในปริมาณที่เหมาะสม

จากผลการทดลองเมื่อเลี้ยงเชื้อในถังหมักขนาด 5 ลิตรจะให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงกว่าในระดับขวดเขย่า และเชื้อจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมีการใช้น้ำตาลส่วนใหญ่ในการเจริญ โดยมีค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) ที่เวลา 24 ชั่วโมง เป็นผลปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 48-144 ชั่วโมง ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในช่วงก่อน 24 ชั่วโมงของการเลี้ยงเชื้ออาจมีจำกัดไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และมีผลต่อสรีรวิทยาของเซลล์ นอกจากนี้การสังเคราะห์กรดจิบเบอเรลลิกยังเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงต้องการออกซิเจนในช่วงการผลิต ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงทำการทดลองผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้อัตราการกวนเริ่มต้น 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 vvm โดยระหว่างการหมักจะทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อค่าดังกล่าวลดลงจนถึงระดับที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 20 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการทดลองที่ 2.5.2.2

จากตารางที่ 3.15 และรูปที่ 3.10 เมื่อเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 24 -48 ชั่วโมง อัตราการกวนจะเพิ่มขึ้นจนถึง 680 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะลดลง และเชื้อมีการเจริญโดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่เวลา 168 ชั่วโมงมีปริมาณเท่ากับ 43.20 กรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมักจะมีน้ำตาลเหลือประมาณ 0.57 กรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนจะถูกใช้จนหมดที่เวลา 72 ชั่วโมง เชื้อมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดที่เวลา 192 ชั่วโมงมีปริมาณ 1,203.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเมื่อสิ้นสุดการหมัก จากการคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของการเพาะเลี้ยง แสดงดังตารางที่ 3.16 โดยมีผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 24 เท่ากับ 0.696 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 192 เท่ากับ 11.265 มิลลิกรัม

กรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 240 เท่ากับ 36.992 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ และมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 6.454 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงที่เวลา 168 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.15 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวนและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการเลี้ยงเชื้อในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบ/นาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.54	3.50	107.44	-	0.51	600	100
24	5.22	16.51	88.76	-	0.22	675	20
48	4.44	21.65	73.18	108.12	0.10	680	20
72	4.46	35.19	58.25	391.24	0	633	20
96	4.32	38.91	41.58	521.09	0	642	20
120	4.33	41.71	23.49	760.44	0	638	22
144	4.42	42.07	6.55	912.37	0	498	16
168	4.19	43.20	0.81	1,084.29	0	475	18
192	4.07	40.37	0.64	1,203.11	0	461	21
216	4.12	38.40	0.54	1,091.35	0	467	23
240	4.51	29.60	0.57	965.49	0	465	21

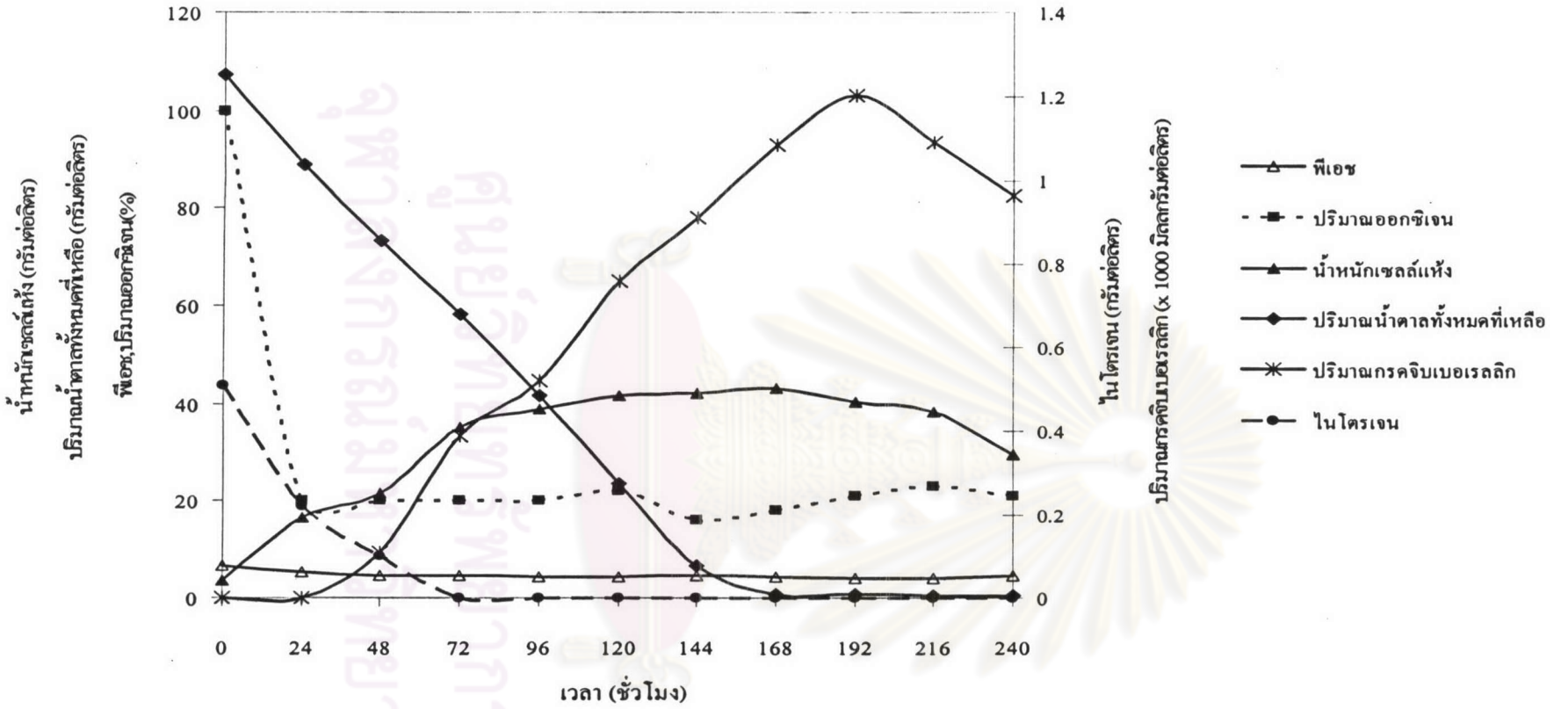
หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.16 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.696	-	-	0.542	0.778	-
48	0.530	3.156	5.957	0.378	0.714	2.253
72	0.644	7.954	12.346	0.440	0.683	5.434
96	0.538	7.912	14.716	0.369	0.686	5.428
120	0.455	9.058	19.902	0.318	0.700	6.337
144	0.382	9.043	23.655	0.268	0.701	6.336
168	0.372	10.169	27.312	0.236	0.635	6.454
192	0.345	11.265	32.631	0.192	0.556	6.266
216	0.326	10.209	31.271	0.162	0.495	5.053
240	0.244	9.034	36.992	0.109	0.445	4.023

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ค่าพีเอชของน้ำหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเลี้ยงเชื้อ ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

จากตารางที่ 3.17 และรูปที่ 3.11 เมื่อเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลงอย่างรวดเร็ว อัตราการกวนจะเพิ่มขึ้นจนถึง 775 รอบต่อนาที ทำให้เซลล์มีการสลายตัวอย่างรวดเร็ว และผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่ำ เชื้อมีการเจริญโดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่ 144 ชั่วโมงมีปริมาณเท่ากับ 43.63 กรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมักจะมีน้ำตาลเหลือประมาณ 0.57 กรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนถูกใช้จนหมดที่ 72 ชั่วโมง เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดที่เวลา 216 ชั่วโมงมีปริมาณ 513.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเมื่อสิ้นสุดการหมัก

ตารางที่ 3.17 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวนและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำการเลี้ยงเชื้อในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบ/นาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.50	3.87	113.07	-	0.51	600	100
24	5.12	11.88	96.26	-	0.18	725	50
48	4.92	20.30	78.89	169.23	0.09	700	50
72	5.05	30.20	64.68	252.31	0	770	49
96	5.25	32.16	48.02	290.11	0	775	50
120	5.07	37.34	30.35	403.27	0	744	50
144	5.04	43.63	11.39	487.41	0	707	49
168	5.11	35.38	2.36	475.30	0	670	50
192	5.21	34.37	1.64	486.15	0	669	50
216	5.14	32.45	0.99	513.09	0	650	50
240	5.16	29.41	0.57	504.38	0	638	48

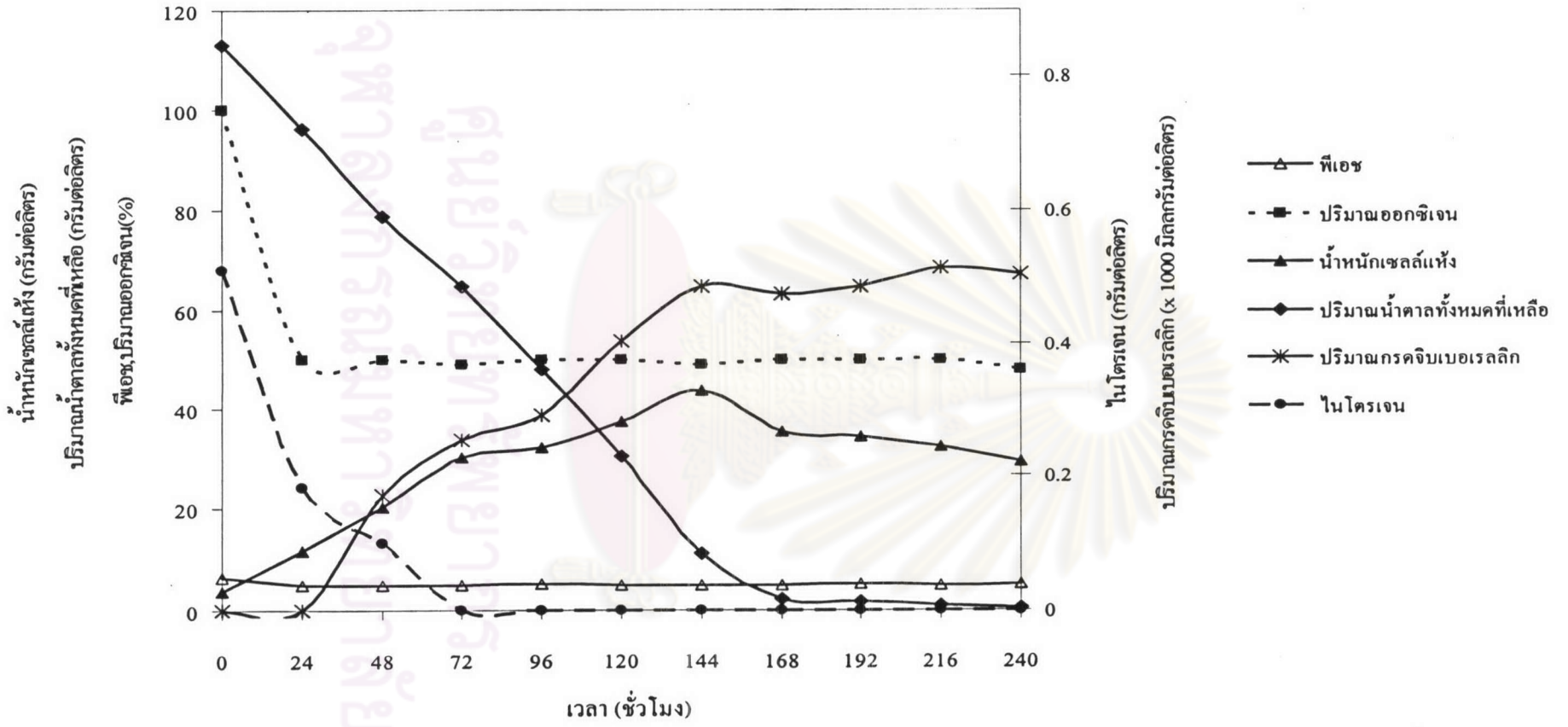
หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากการคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของการเพาะเลี้ยง แสดงดังตารางที่ 3.18 โดยมีผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 72 เท่ากับ 0.544 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 72 เท่ากับ 5.214 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 240 เท่ากับ 19.749 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ และมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 3.526 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงที่เวลา 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.18 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิต GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.477	-	-	0.334	0.700	0.000
48	0.481	4.951	10.300	0.342	0.712	3.526
72	0.544	5.214	9.583	0.366	0.672	3.504
96	0.435	4.460	10.255	0.295	0.678	3.022
120	0.405	4.875	12.049	0.279	0.689	3.361
144	0.391	4.794	12.259	0.276	0.706	3.385
168	0.285	4.293	15.084	0.188	0.659	2.829
192	0.274	4.363	15.939	0.159	0.580	2.532
216	0.255	4.578	17.953	0.132	0.519	2.375
240	0.227	4.483	19.749	0.106	0.469	2.102

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.11 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ค่าพีเอชของน้ำหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักที่ 50 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการเลี้ยงเชื้อ ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อที่เลี้ยงในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก กับภาวะที่ไม่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก พบว่า เชื้อมีการเจริญเพิ่มขึ้นจนได้น้ำหนักเซลล์สูงสุดใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.19) แต่เมื่อเลี้ยงในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุดเท่ากับ 1,203.11 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 192 ชั่วโมง ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้(Yx/s) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.696 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาลในชั่วโมงที่ 24 แสดงว่าเชื้อจะมีการผลิตเซลล์อย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการเลี้ยงเชื้อ และเชื้อจะเริ่มสร้างกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อเข้าสู่ระยะการเจริญแบบคงที่ และเมื่อพิจารณาค่าผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก อัตราการใช้น้ำตาล และอัตราการผลิตเซลล์มีค่าสูงกว่าการเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และในภาวะที่ไม่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจน

ตารางที่ 3.19 เปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในภาวะที่ไม่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก กับภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 20 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวนเริ่มต้น 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm

ค่าจากการทดลอง	ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการควบคุมในระหว่างการหมัก (เปอร์เซ็นต์)		
	ไม่มีการควบคุม	20	50
น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	37.30	43.20	43.63
ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,162.31	1,203.11	513.09
ระยะเวลาที่ให้ผลผลิตสูงสุด (ชั่วโมง)	216	192	216
ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) (กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล)	0.483	0.696	0.544
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ สูงสุด(Yp/s) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล)	10.497	11.265	5.214
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์สูงสุด (Yp/x) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์)	41.393	36.992	19.749
อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	5.381	6.454	3.526
อัตราการใช้น้ำตาลสูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.599	0.778	0.712
อัตราการผลิตเซลล์สูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.232	0.542	0.366

ดังนั้นจึงเลือกอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 และควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์

3.3 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์

Hollmann และคณะ (1995) รายงานว่า เมื่อเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* DSM 893 โดยใช้กลูโคสเริ่มต้น 120 กรัมต่อลิตรจะมีการผลิตเซลล์ได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการเลี้ยงเชื้อ จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ระยะการเจริญแบบคงที่ (stationary phase) เนื่องจากไนโตรเจนถูกใช้จนหมด จากนั้นเชื้อเริ่มผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยใช้น้ำตาลที่เหลืออยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ และจะหยุดผลิตเมื่อน้ำตาลถูกใช้จนหมด ในระหว่างการหมักการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจะลดลง เนื่องจากเกิดการยับยั้งจากผลิตภัณฑ์ หรือเกิดการสลายตัวของกรดจิบเบอเรลลิกจากปฏิกิริยาทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพของเชื้อ จึงได้มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอนลงไป เพื่อรักษาระดับน้ำตาลในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่า เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงขึ้น

3.3.1 ผลของระดับน้ำตาลที่ควบคุมในระหว่างการหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 โดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์

จากผลการทดลองเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 81 และควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์จะทำให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงขึ้น และเมื่อปริมาณน้ำตาลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลืออยู่ประมาณ 40-60 กรัมต่อลิตรในช่วง 72-96 ชั่วโมงซึ่งเป็นช่วงที่ค่าผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ และอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลิกสูงขึ้น เมื่อเทียบกับในช่วงแรกของการเพาะเลี้ยง ดังแสดงในผลการทดลองที่ 3.2.2 ดังนั้นจึงทำการทดลองผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ และแปรปริมาณน้ำตาลที่ควบคุมในระหว่างการหมักเป็น40, 50, และ60 กรัมต่อลิตร ควบคุมภาวะการหมักที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์หลังจากทำการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.20-3.25 และรูปที่ 3.12-3.14 ตามลำดับ

ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงเชื้อถึงชั่วโมงที่ 140 น้ำตาลในถังหมักเหลือน้อยกว่า 40 กรัมต่อลิตร จึงเริ่มมีการเติมน้ำตาลความเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตรเพื่อรักษาระดับของน้ำตาลในถังหมัก เชื้อผลิตเซลล์ได้สูงสุด 49.23 กรัมต่อลิตรที่เวลา 168 ชั่วโมง ผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 1,244.43 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 264 ชั่วโมงและมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 5.250 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงที่ชั่วโมง 168 ของการหมัก จากการคำนวณค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดเท่ากับ 0.924 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาลที่เวลา 24

ชั่วโมง ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) สูงสุดเท่ากับ 9.589 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาลที่เวลา 168 ชั่วโมงจากนั้นค่าจะลดลงเล็กน้อย ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) สูงสุดเท่ากับ 40.623 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ที่เวลา 240 ชั่วโมง เมื่อมีการเติมน้ำตาลเพิ่มลงไปทำให้เชื้อมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในระหว่างการหมักมีการควบคุมอัตราการกวนแบบอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลง อัตราการกวนจึงเพิ่มขึ้น และมีผลต่อการสลายตัวเซลล์ ดังนั้น จึงควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้อัตราการกวนอยู่ในระดับที่เหมาะสม และช่วยลดการสลายตัวของเชื้อ

ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในถังหมักเท่ากับ 50 กรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงเชื้อถึงชั่วโมงที่ 120 น้ำตาลในถังหมักเหลือน้อยกว่า 50 กรัมต่อลิตร จึงเริ่มมีการเติมน้ำตาลความเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตรเพื่อรักษาระดับของน้ำตาลในถังหมัก เชื้อผลิตเซลล์ได้สูงสุด 55.58 กรัมต่อลิตรที่เวลา 144 ชั่วโมง ผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 804.24 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 192 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลงตามลำดับ และมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 4.200 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงที่ชั่วโมง 168 ของการหมัก จากการคำนวณค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดที่ชั่วโมง 24 เท่ากับ 1.894 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) สูงสุดเท่ากับ 10.759 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาลที่ 96 ชั่วโมง หลังจากมีการเติมน้ำตาลในชั่วโมงที่ 120 ค่าดังกล่าวจะลดลง ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) สูงสุดเท่ากับ 17.321 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ที่เวลา 240 ชั่วโมง เมื่อควบคุมปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในถังหมักเท่ากับ 50 กรัมต่อลิตร เชื้อมีการเจริญเติบโตได้ดีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้อัตราการกวนอยู่ในระดับที่เหมาะสม และช่วยลดการสลายตัวของเชื้อจึงควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 15 และ 10 เปอร์เซ็นต์

ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในถังหมักเท่ากับ 60 กรัมต่อลิตร เริ่มมีการเติมน้ำตาลเพื่อรักษาระดับของน้ำตาลในถังหมักในชั่วโมงที่ 112 เชื้อผลิตเซลล์ได้สูงสุด 47.86 กรัมต่อลิตรที่เวลา 144 ชั่วโมง ผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 642.14 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 216 ชั่วโมง และมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 3.550 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ที่ชั่วโมง 120 ของการหมัก จากการคำนวณค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดเท่ากับ 1.613 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาลที่เวลา 24 ชั่วโมง ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) สูงสุดเท่ากับ 9.721 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาลที่เวลา 96 ชั่วโมง เมื่อเติมน้ำตาลค่าดังกล่าวจะลดลง ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์ (Yp/x) สูงสุดเท่ากับ 18.423 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ที่เวลา 240 ชั่วโมงทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 15 และ10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.20 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อโดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักที่ 40 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.79	3.76	114.96	-	0.52	100
24	4.62	14.86	102.95	81.23	0.14	10
48	4.51	25.43	86.65	140.46	0.07	22
72	4.23	32.55	76.36	242.32	0	20
96	4.41	38.37	67.78	404.12	0	20
120	4.57	44.46	45.47	489.34	0	20
144	4.77	45.96	42.47	617.16	0	14
168	4.83	49.23	34.74	882.36	0	10
192	4.74	43.41	47.79	968.43	0	18
216	4.36	45.06	31.37	1098.26	0	25
240	4.15	42.01	44.08	1107.15	0	23
264	4.20	42.73	39.94	1244.43	0	24
288	4.31	33.35	38.56	1202.38	0	23
312	4.32	34.02	25.74	1198.29	0	24

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

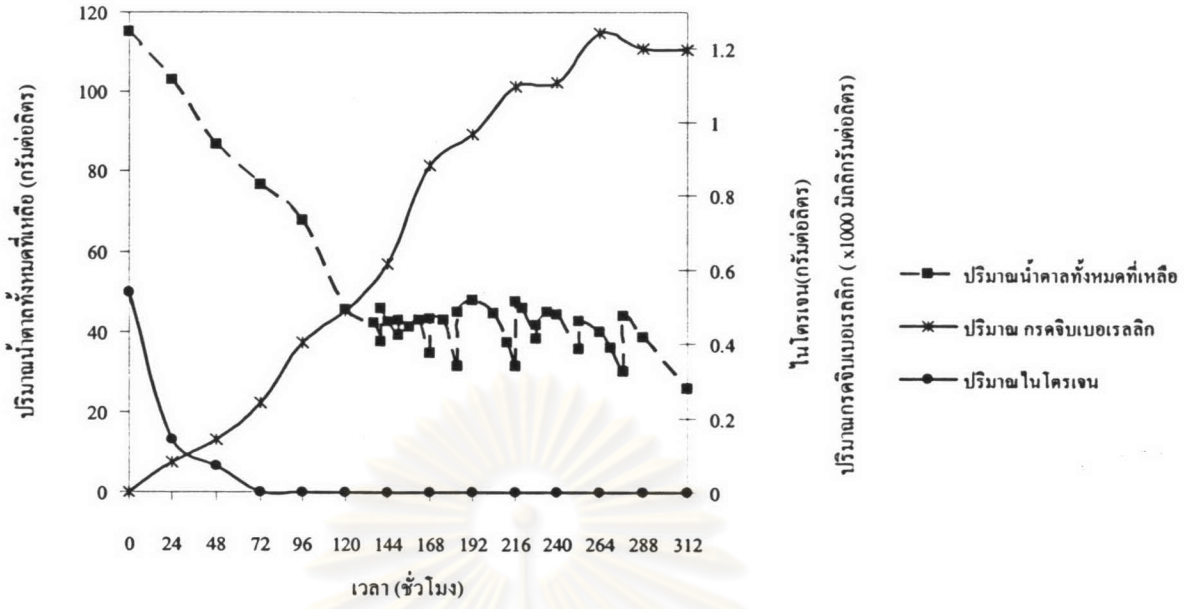
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.21 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด5 ลิตร

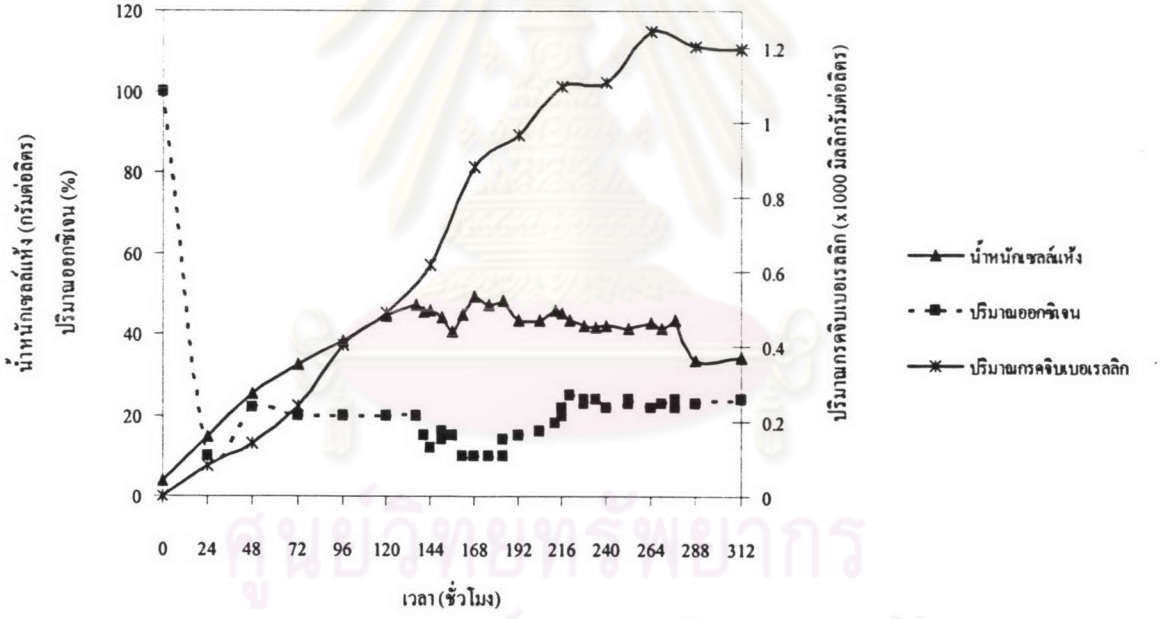
เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.924	6.744	7.300	0.462	0.500	3.375
48	0.765	4.945	6.462	0.451	0.590	2.917
72	0.746	6.269	8.408	0.400	0.536	3.361
96	0.733	8.563	11.674	0.360	0.491	4.208
120	0.586	7.037	12.016	0.339	0.579	4.075
144	0.523	7.651	14.623	0.293	0.560	4.285
168	0.494	9.589	19.398	0.271	0.548	5.250
192	0.372	9.071	24.414	0.207	0.556	5.042
216	0.335	8.917	26.586	0.191	0.570	5.083
240	0.284	8.224	28.947	0.159	0.561	4.613
264	0.267	8.537	31.929	0.148	0.552	4.712
288	0.196	7.968	40.623	0.103	0.524	4.174
312	0.185	7.319	39.596	0.097	0.525	3.840

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.

รูปที่ 3.12 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ก.)น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข.)โดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักที่ 40 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

ตารางที่ 3.22 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก เมื่อเลี้ยงเชื้อโดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักที่ 50 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.79	3.31	104.65	-	0.51	100
24	4.57	14.35	98.82	13.00	0.12	23
48	4.27	25.14	89.25	86.20	0.06	20
72	4.39	33.40	77.91	227.60	0	20
96	4.40	36.86	67.74	397.10	0	24
120	3.85	47.11	46.91	504.23	0	12
144	3.81	55.58	47.09	553.49	0	15
168	3.80	50.64	58.59	672.44	0	10
192	3.80	52.35	44.81	804.24	0	10
216	3.79	46.03	44.38	729.76	0	18
240	3.76	43.78	40.32	701.31	0	22

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

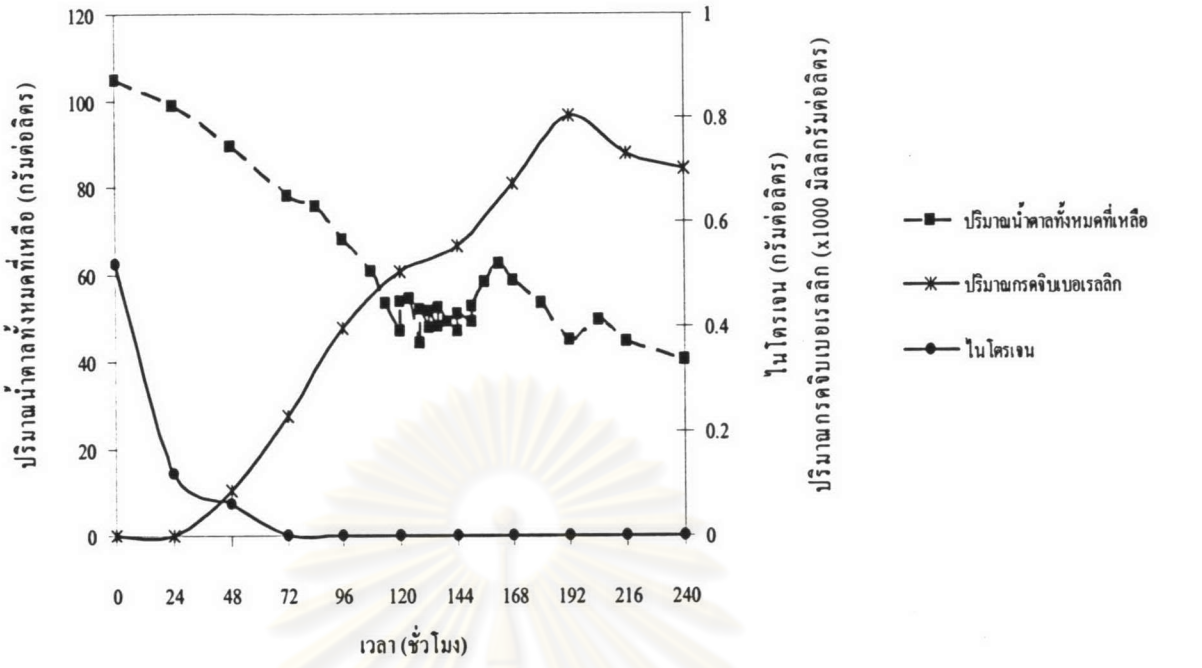
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.23 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักเท่ากับ 50 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

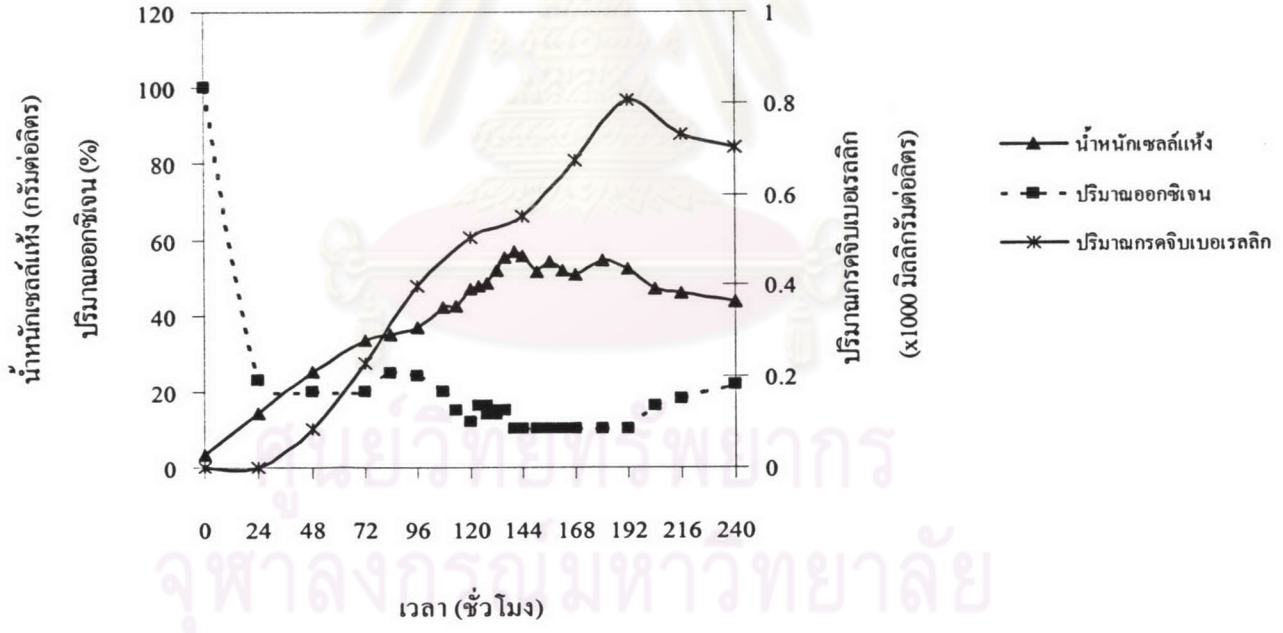
เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	1.894	2.230	1.178	0.460	0.243	0.542
48	1.418	5.597	3.949	0.455	0.321	1.796
72	1.125	8.512	7.564	0.418	0.371	3.161
96	0.909	10.759	11.836	0.349	0.384	4.136
120	0.759	8.729	11.507	0.365	0.481	4.200
144	0.651	6.885	10.580	0.363	0.558	3.840
168	0.579	8.227	14.208	0.282	0.487	4.003
192	0.513	8.420	16.400	0.255	0.498	4.189
216	0.425	7.263	17.082	0.198	0.465	3.379
240	0.387	6.706	17.321	0.169	0.436	2.921

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.

รูปที่ 3.13 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ก.)น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข.)โดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักที่ 50 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.24 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อเลี้ยงเชื้อโดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักที่ 60 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.79	3.21	96.20	-	0.51	100
24	4.62	17.45	87.37	41.31	0.18	10
48	4.49	26.76	77.15	142.09	0.09	22
72	4.80	34.02	69.40	233.25	0	20
96	5.13	40.46	63.59	317.38	0	20
120	5.12	46.81	56.62	426.26	0	12
144	5.30	47.86	64.72	489.27	0	10
168	5.16	47.81	54.17	552.18	0	10
192	5.06	38.87	55.61	594.34	0	15
216	4.98	38.15	50.79	642.14	0	18
240	4.76	37.19	58.16	626.00	0	22

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

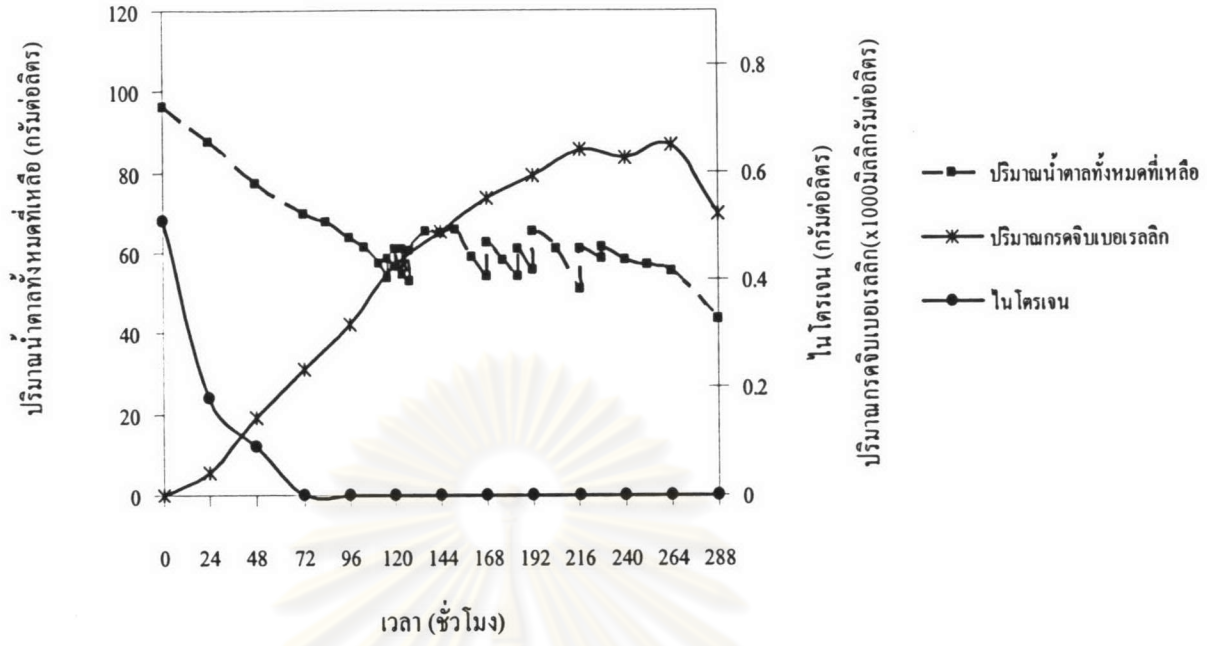
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.25 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักเท่ากับ 60 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

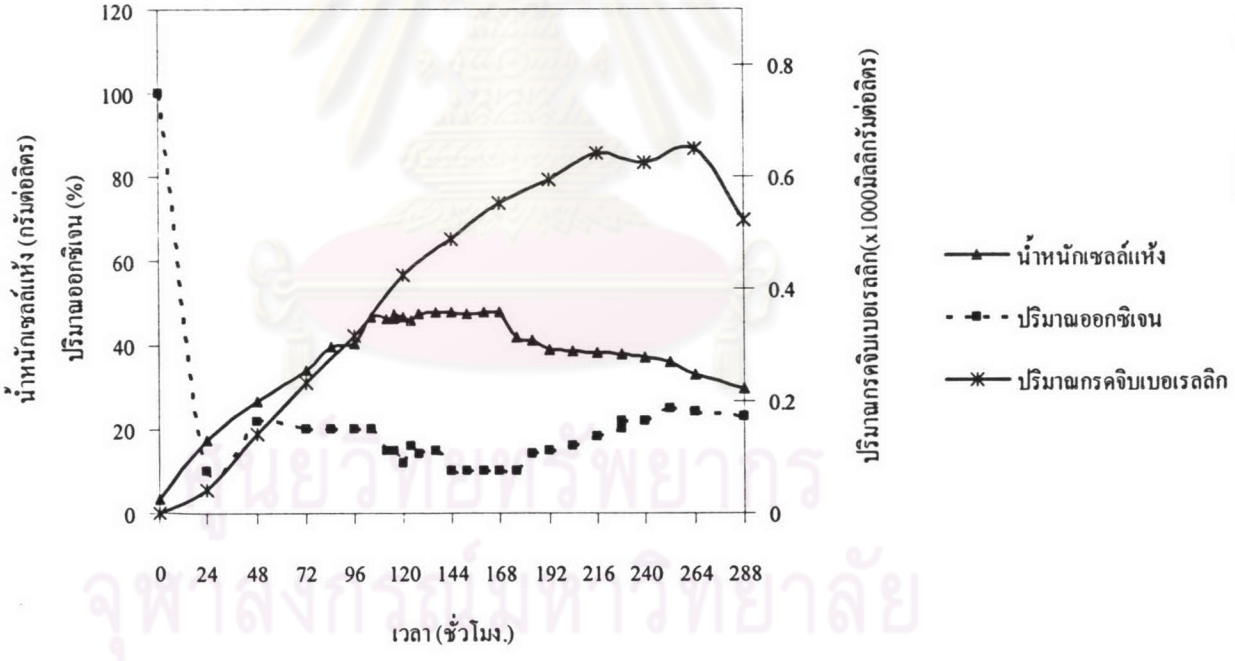
เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	1.613	4.643	2.879	0.593	0.368	1.708
48	1.236	7.454	6.030	0.491	0.397	2.958
72	1.150	8.694	7.562	0.428	0.372	3.236
96	1.142	9.721	8.510	0.388	0.340	3.302
120	0.979	9.562	9.771	0.363	0.371	3.550
144	0.757	8.292	10.952	0.310	0.410	3.396
168	0.642	7.940	12.377	0.265	0.414	3.286
192	0.429	7.144	16.657	0.186	0.433	3.094
216	0.358	6.578	18.374	0.162	0.452	2.972
240	0.330	6.072	18.423	0.142	0.430	2.608

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.

รูปที่ 3.14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ก.)น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข.)โดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักที่ 60 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อที่เลี้ยงในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40, 50 และ60 กรัมต่อลิตร ตามตารางที่ 3.26 พบว่า เชื้อมีการเจริญเติบโตโดยมีน้ำหนักเซลล์สูงสุดเท่ากับ 49.23 55.58 และ47.86 ตามลำดับ เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุด 1,244.43 มิลลกรัมต่อลิตร ในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 50 และ 60 กรัมต่อลิตร ซึ่งผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้เพียง 804.24 และ642.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าสูงสุด 5.250 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงซึ่งมีค่าสูงกว่าการเพาะเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 50 และ 60 กรัมต่อลิตร

นอกจากนั้น การเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 50 และ60 กรัมต่อลิตร เชื้อมีความสามารถในการใช้น้ำตาลสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก (Yp/s) สูงในช่วงต้นของการเพาะเลี้ยง และมีค่าลดลงมากเมื่อเข้าสู่ช่วงที่มีการหมักแบบเฟดแบตช์ อาจเนื่องจากเชื้อมีการใช้น้ำตาลส่วนใหญ่ในการสร้างเซลล์ และเชื้อไม่ได้นำน้ำตาลไปใช้เพื่อผลิตกรดจิบเบอ-เรลลิกเพียงอย่างเดียว แต่นำไปผลิตสารตัวกลาง หรือสารทุติยภูมิเมแทบอไลต์ชนิดอื่น ซึ่งรายงานของ Bu Lock และคณะ (1974) กล่าวว่า ในอาหารที่มีปริมาณคาร์บอนสูงเชื้อจะสร้างไบคาเวอรินขึ้นมาก่อนโดยผ่านการสังเคราะห์มาจากพวกพอลิคีไทด์ซึ่งใช้อะเซทิลโค เอเป็นสารตั้งต้น

ดังนั้นจึงเลือกใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตรสำหรับทำการทดลองต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.26 เปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในกระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 40, 50, และ 60 กรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ค่าจากการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลที่ควบคุมในระหว่างการหมัก (กรัมต่อลิตร)		
	40	50	60
น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	49.23	55.58	47.86
ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,244.43	804.24	642.14
ระยะเวลาที่ให้ผลผลิตสูงสุด (ชั่วโมง)	264	192	216
ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) (กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล)	0.924	1.894	1.613
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด(Yp/s) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล)	9.589	10.759	9.721
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์สูงสุด (Yp/x) (มิลลิกกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์)	40.623	17.321	21.776
อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	5.250	4.200	3.550
อัตราการใช้น้ำตาลสูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.590	0.558	0.457
อัตราการผลิตเซลล์สูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.462	0.460	0.593

3.3.2 ผลของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อควบคุมระดับน้ำตาลในถังหมัก และเติมสารอาหารที่เป็นแหล่งไนโตรเจนในระหว่างเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 โดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์

จากผลการทดลอง 3.3.1 พบว่า เมื่อเลี้ยงเชื้อโดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ที่ควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร และควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์จะทำให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงขึ้น แต่เมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณเซลล์ และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกจะลดลง เนื่องจากเซลล์มีการสลายตัวทำให้ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกลดลง และเมื่อพิจารณาผลการทดลองการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ที่ผ่านมาแล้วข้างต้น พบว่าในช่วงท้ายของกระบวนการหมักเซลล์จะมีการสลายตัว ทำให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกลดลง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการหมักโดยใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร และทำการเติมสารอาหารที่เป็นแหล่งไนโตรเจน คือแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 168 ของการหมัก ตามวิธีการทดลองที่ 2.5.3.2 เพื่อเปรียบเทียบกับการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.27-3.28 และรูปที่ 3.15

เมื่อเลี้ยงเชื้อในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร และมีการเติมแอมโมเนียมซัลเฟต ในชั่วโมงที่ 168 -216 โดยทำการควบคุมให้มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำหมักเท่ากับ 0.05 กรัมต่อลิตร พบว่า เชื้อมีการเจริญโดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 61.75 กรัมต่อลิตรที่เวลา 216 ชั่วโมง และเริ่มมีการเติมน้ำตาลเพื่อรักษาระดับของน้ำตาลในถังหมักที่เวลา 160 ชั่วโมง เชื้อผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงสุด 1,321.44 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 240 ชั่วโมง และลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการหมัก อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าสูงสุด 5.824 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงที่เวลา 216 ชั่วโมง โดยมีค่าผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yx/s) สูงสุดที่ชั่วโมง 72 เท่ากับ 0.827 กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์(Yp/x)สูงสุดเท่ากับ 26.104 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์ ในชั่วโมงที่ 288 ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) มีค่าสูงขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 168 และจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.574 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล ในชั่วโมงที่ 240 หลังจากนั้นจะลดลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการหมัก

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกของเชื้อที่ใช้กระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์โดยเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว กับการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจน ตามตารางที่ 3.29 พบว่า การเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาลในถังหมักเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตรและมีการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตระหว่างการหมักสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้สูงกว่าการเลี้ยงในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลเพียงอย่างเดียว โดยมีอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 5.824 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ (Yp/s) สูงสุดเท่ากับ 12.574 มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล เนื่องจากในกระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมน้ำตาล และแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เชื้อมีการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ และเชื้อจะมีการสลายตัวในปริมาณที่ต่ำจึงยังมีความสามารถในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ แสดงว่าการรักษาเซลล์ให้มีการสลายตัวต่ำ โดยทำการเติมสารอาหารไนโตรเจนเพียงปริมาณเล็กน้อยในช่วงกลางของการหมักจะทำให้เชื้อยังมีความสามารถในการผลิตกรดจิบเบอ-เรลลิกได้อย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก

ตารางที่ 3.27 ค่าพีเอชของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก เมื่อเลี้ยงเชื้อโดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาล 40 กรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 0.05 กรัมต่อลิตรระหว่างการหมัก ในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)
0	6.79	4.09	107.2	-	0.50	100
24	4.62	18.99	88.07	49.82	0.2	10
48	4.51	25.60	79.54	89.12	0.06	22
72	4.23	28.90	77.20	243.34	0	20
96	4.39	33.48	57.54	346.26	0	20
120	4.43	39.81	51.07	479.06	0	20
144	4.42	42.27	42.47	633.39	0	15
168	4.06	51.54	36.01	887.23	0.05	12
192	4.13	57.22	29.31	1046.45	0.05	14
216	3.61	61.75	29.94	1258.39	0.05	10
240	3.98	57.51	43.99	1321.44	0	10
264	4.13	55.36	42.93	1299.09	0	14
288	4.09	53.35	42.03	1286.35	0	15

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

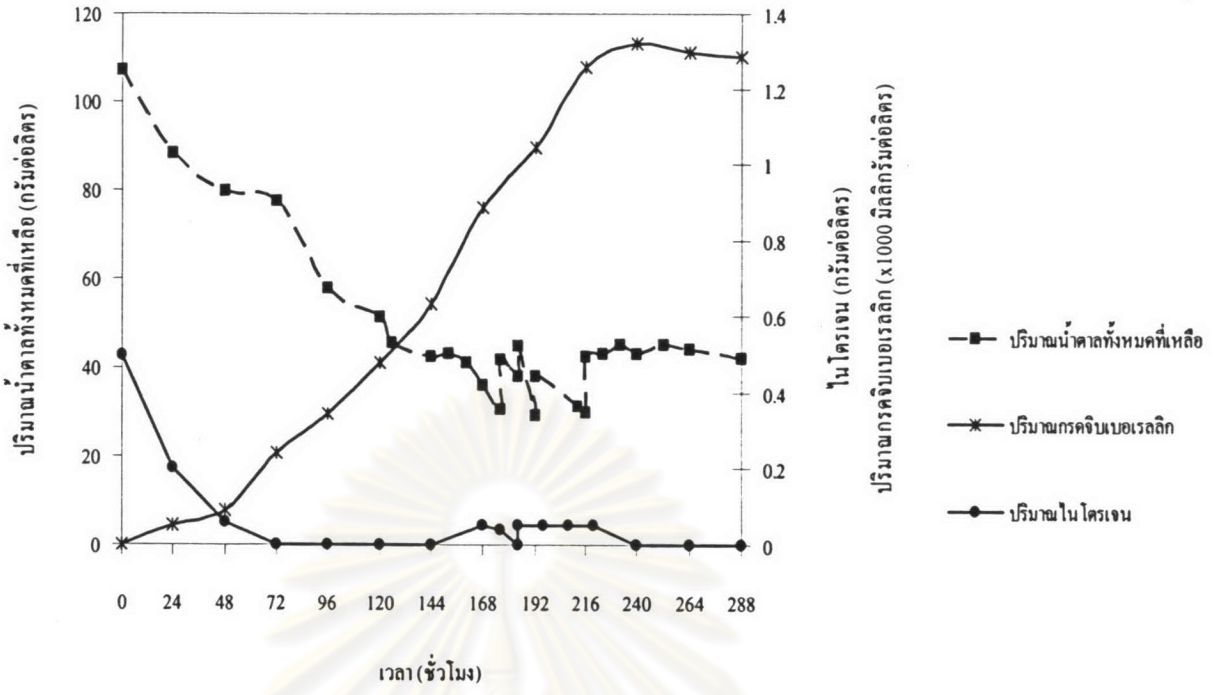
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.28 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีการควบคุมปริมาณน้ำตาล 40 กรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 0.05 กรัมต่อลิตรในระหว่างการหมัก ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

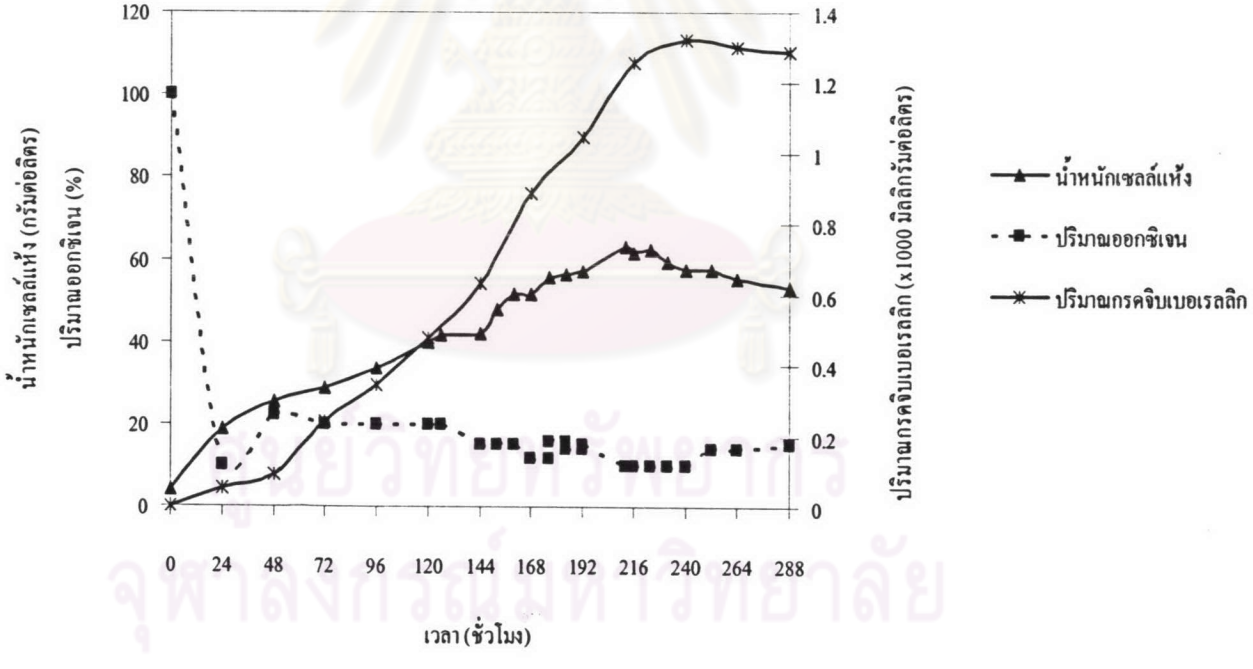
เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yx/s (กรัมเซลล์/กรัมน้ำตาล	ผลผลิต GA_3ต่อน้ำตาลที่ใช้ Yp/s (มิลลิกรัม GA_3/กรัมน้ำตาล)	ผลผลิต GA_3 ต่อเซลล์ Yp/x (มิลลิกรัม GA_3/กรัมเซลล์)	อัตราการผลิตเซลล์ (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการใช้น้ำตาล (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตGA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)
0	-	-	-	-	-	-
24	0.779	2.603	3.341	0.621	0.797	2.075
48	0.778	3.218	4.137	0.448	0.576	1.854
72	0.827	8.100	9.793	0.345	0.417	3.375
96	0.592	6.967	11.771	0.306	0.517	3.604
120	0.636	8.534	13.408	0.298	0.468	3.992
144	0.590	9.779	16.578	0.265	0.450	4.396
168	0.667	12.460	18.691	0.282	0.424	5.280
192	0.555	10.916	19.686	0.277	0.499	5.448
216	0.555	12.110	21.817	0.267	0.481	5.824
240	0.509	12.574	24.725	0.223	0.438	5.504
264	0.483	12.241	25.333	0.194	0.402	4.920
288	0.460	12.118	26.104	0.171	0.368	4.465

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.

รูปที่ 3.15 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ก.)น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ข.)โดยทำการควบคุมปริมาณน้ำตาล 40 กรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 0.05 กรัมต่อลิตรระหว่างการเลี้ยงเชื้อ ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการให้อากาศ 1 vvm

ตารางที่ 3.29 เปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อในกระบวนการหมักแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว กับแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจน เมื่อเลี้ยงในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ค่าจากการทดลอง	กระบวนการหมัก	
	แบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว	แบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน
น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	49.23	61.75
ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,244.43	1,321.44
ระยะเวลาที่ให้ผลผลิตสูงสุด (ชั่วโมง)	264	240
ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) (กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล)	0.924	0.827
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้ สูงสุด (Yp/s) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล)	9.589	12.574
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์สูงสุด (Yp/x) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์)	40.623	26.104
อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	5.250	5.824
อัตราการใช้น้ำตาลสูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.590	0.797
อัตราการผลิตเซลล์สูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.462	0.621

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3. การเปรียบเทียบการเจริญ และการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกของเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 โดยใช้กระบวนการหมักแบบแบตช์ แบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว และแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจนระหว่างการหมักในถังหมัก 5 ลิตร

เมื่อพิจารณาการเจริญของเชื้อ และการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในกระบวนการหมักแบบแบตช์ กับแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว และแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมสารอาหารแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจน เมื่อใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราส่วนอัตราส่วนโดยมวลระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากัน และควบคุมภาวการณ์หมักที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักระหว่างการหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 3.30 พบว่า เชื้อมีการเจริญได้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 43.20, 49.23 และ61.75 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่าการเติมน้ำตาลเพียงอย่างเดียวเชื้อจะผลิตเซลล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อมีการเติมไนโตรเจนร่วมด้วยเชื้อจะผลิตเซลล์ได้สูงกว่าการหมักแบบแบตช์ และแบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมน้ำตาลเพียงอย่างเดียวคิดเป็น 42.94 และ25.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกของเชื้อ พบว่า เชื้อมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมน้ำตาลร่วมกับไนโตรเจน ซึ่งสูงกว่าการหมักแบบแบตช์ และเฟดแบตช์ที่ควบคุมระดับน้ำตาล 9.84 และ6.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.30 เปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 เมื่อเลี้ยงเชื้อในกระบวนการหมักแบบแบตช์ และเฟดแบตช์ เมื่อเลี้ยงในภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1 vvm ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ค่าจากการทดลอง	กระบวนการหมัก		
	แบบแบตช์	แบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว	แบบเฟดแบตช์ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน
น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	43.20	49.23	61.75
ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,203.11	1,244.43	1,321.44
ผลผลิตเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yx/s) (กรัมเซลล์ต่อกรัมน้ำตาล)	0.696	0.924	0.827
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อน้ำตาลที่ใช้สูงสุด (Yp/s) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมน้ำตาล)	11.265	9.589	12.574
ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต่อเซลล์สูงสุด (Yp/x) (มิลลิกรัมกรดจิบเบอเรลลิกต่อกรัมเซลล์)	36.992	40.623	26.104
อัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	6.454	5.250	5.824
อัตราการใช้น้ำตาลสูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.778	0.590	0.797
อัตราการผลิตเซลล์สูงสุด (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	0.542	0.462	0.621