บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย *Gibberella fujikurol* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อเลี้ยงในภาวะของ ศุภชัย สมัปปิโต (2537) เป็นภาวะอ้างอิง

จากรายงานของ ศุภชัย สมัปปิโต (2537) ได้คัดเลือกสายพันธุ์จากสายพันธุ์กลายพันธุ์ และหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับขวดเขย่าและถังหมัก 5 ลิตร จากการคัดเลือกสายพันธุ์พบว่าสายพันธุ์ N9-34 ให้ผลผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด และศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร พบว่าอาหารเลี้ยงที่เหมาะสมใน 1 ลิตร ประกอบด้วย น้ำตาลซูโครส 100 กรัม แอมโมเนียมซัลเฟต 1.89 กรัม กากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้ว 5.9 กรัม โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 5.0 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 1.0 กรัม อลูมิเนียมออกไซด์ 0.1 กรัม น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 0.2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 7 ทำการหมักในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 vvm.ได้กรดจิบเบอเรลลิกประมาณ 1092 และ 1534 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 และ 11 ตามลำดับ ซึ่งการทดลองเบื้องต้นนี้จะทดลองผลิตกรดจิบเบอเรลลิกภายใต้ภาวะเดียวกับ ศุภชัย สัมปปิโต เพื่อใช้เป็นภาวะอ้างอิงให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นและเปรียบเทียบกับผลการผลิตในระดับขยายส่วน โดยเลี้ยงเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในอาหารเลี้ยงสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก (ภาคผนวก ก. 4) ที่ใช้หัวเชื้อร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ทำการหมักในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที เลี้ยงเป็นเวลา 10 วัน เก็บตัวอย่างทุกวัน ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาหาน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ตามวิธีการทดลอง 2.5.1

จากผลการทดลองตามตารางที่ 3-1และ รูปที่ 3-1 พบว่าการผลิตให้กรดจิบเบอเรลลิก 933.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 ของการหมัก และ ให้กรดจิบเบอเรลลิกสูงสุด 1223.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 10 ของการเลี้ยง ส่วนการเจริญพบว่าเชื้อมีน้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 144 ได้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 34.97 กรัมต่อลิตรจากนั้นน้ำหนัก

เซลล์แห้งจะลดลงจนสิ้นสุดการหมัก เชื้อใช้น้ำตาลไม่หมดเมื่อสิ้นสุดการหมักในชั่วโมงที่ 240 มีน้ำตาลรีดิวซ์เหลือประมาณ 1.28 กรัมต่อลิตร และมีการใช้ไนโตรเจนหมดในชั่วโมงที่ 72 ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักพบว่าลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง ชั่วโมงที่ 24 โดยมีค่าประมาณ 8 % ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิ่มตัว จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเลี้ยงต่อจนสิ้นสุดการหมัก ส่วนค่าทางจลนพลศาสตร์แสดงดังตารางที่ 3-2 ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นขณะทำการหมัก เมื่อการผลิตมีขนาดเพิ่มขึ้นแต่จะยังคงค่าทางจลนพลศาสตร์ของการหมักให้มีค่าใกล้เคียงกัน

ดังนั้นการทดลองต่อไปจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเปรียบเทียบการผลิต

ตารางที่ 3-1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อใน ถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที โดยเชื้อ *Gibberella fujikuroi* N9-34

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.61	3.32	4.05	106.77	2.54	0.69	99	-
24	4.13	21.30	15.81	68.76	7.76	0.42	8	-
48	3.77	24.42	42.20	25.90	15.43	0.28	34	119.49
72	3.51	26.67	65.81	0	28.10	0	32	295.53
96	3.50	31.05	51.61	0	18.69	0	26	406.93
120	3.43	32.22	27.26	0	7.086	0	32	584.23
144	3.43	34.97	9.64	0	1.39	0	42	786.42
168	3.42	33.66	1.61	0	0	0	68	933.20
192	3.41	31.38	1.48	0	0	0	76	958.96
216	3.46	30.36	1.40	0	0	0	80	1092.47
240	3.39	29.48	1.28	0	0	0	82	1223.67

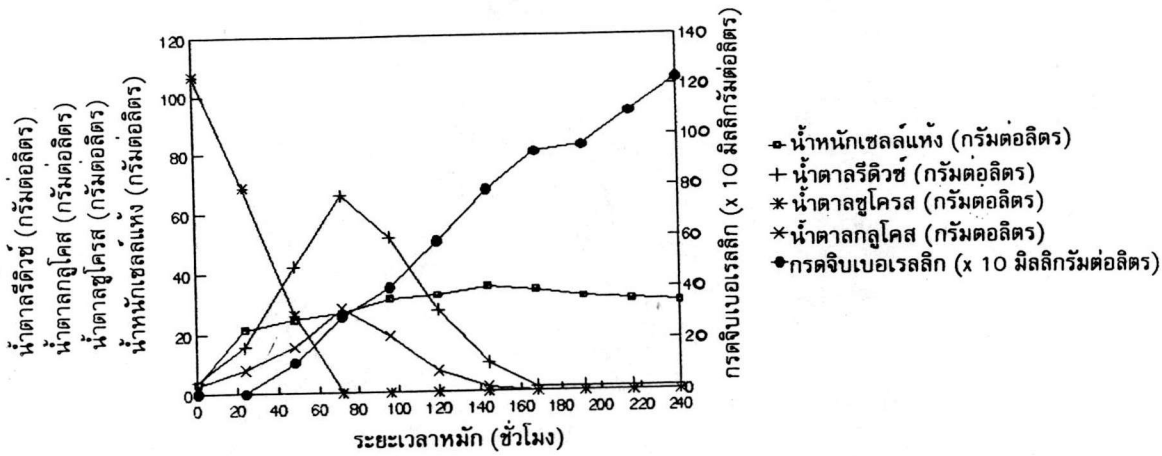
หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3-2 ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1ปริมาตร อากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

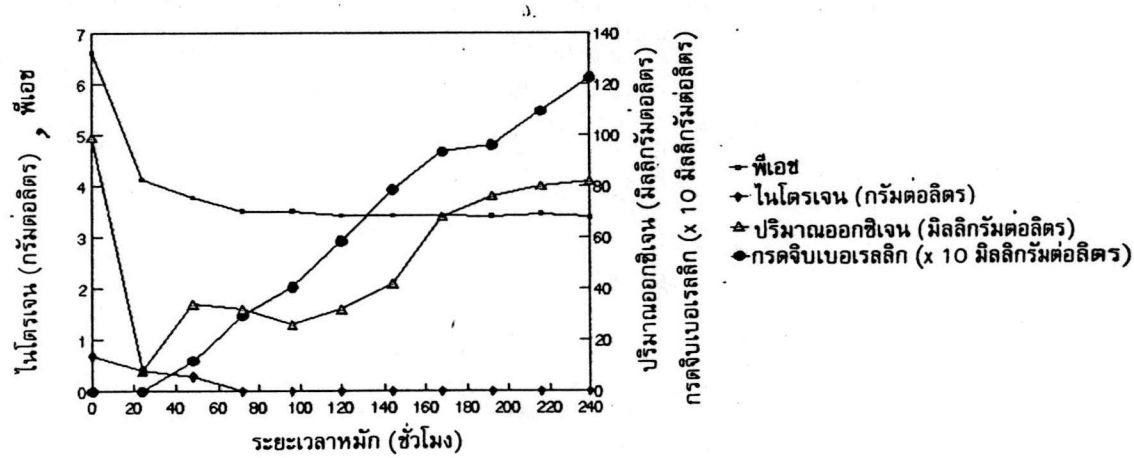
ค่าทางจลนพลศาสตร์	การผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมัก 5 ลิตร
อัตราการเจริญจำเพาะ [a] (μ) (hr^{-1})	0.016
Biomass yield [a] ($Y_{X/S}$) (g cell /g total reducing sugar)	0.31
Product yield [b] ($Y_{P/S}$) (mg GA_3/g total reducing sugar)	11.25
Specific rate of substrate consumption [b] (q_S); (hr^{-1})	0.022
Productivity (mg GA_3/l/hr)	5.55
Specific rate of product formation [b] (q_P) (hr^{-1})	0.00025
Substrate consumption rate (g total reducing sugar/l /hr)	0.65

หมายเหตุ : a = หาค่าในช่วงที่มีการเจริญ

b = หาค่าในช่วงที่เริ่มมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจนการผลิตสูงสุด



ก.



ข.

รูปที่ 3-1 น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (ก) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก(ข) ในระหว่างการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการหมักในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีอัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

3.2 การศึกษาผลการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อให้อากาศที่มีการผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากรายงานของ Borrow และคณะ เมื่อปี 1958 ได้ทำการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก พบว่าถ้าหัวเชื้อ (inoculum) ที่ใช้มีปริมาณต่ำ การผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 จะทำให้ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ได้เพิ่มขึ้น จากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดยเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อใช้หัวเชื้อร้อยละ 10

การทดลองนี้จะทำการเติมอากาศที่ผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5 % โดยปริมาตรต่อปริมาตรของอากาศ ในชั่วโมงที่ 72 ของการเลี้ยง ในถังหมักขนาด 5 ลิตร และควบคุมปริมาณก๊าซไว้ตลอดการทดลอง ตามวิธีการทดลอง 2.5.2

จากผลการทดลองตามตารางที่ 3-3 น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่ 168 ชั่วโมง ประมาณ 36.07 กรัมต่อลิตร ปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวซ์หมดที่ 240 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 72 ชั่วโมง ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดประมาณ 1050.66 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 216 ชั่วโมง

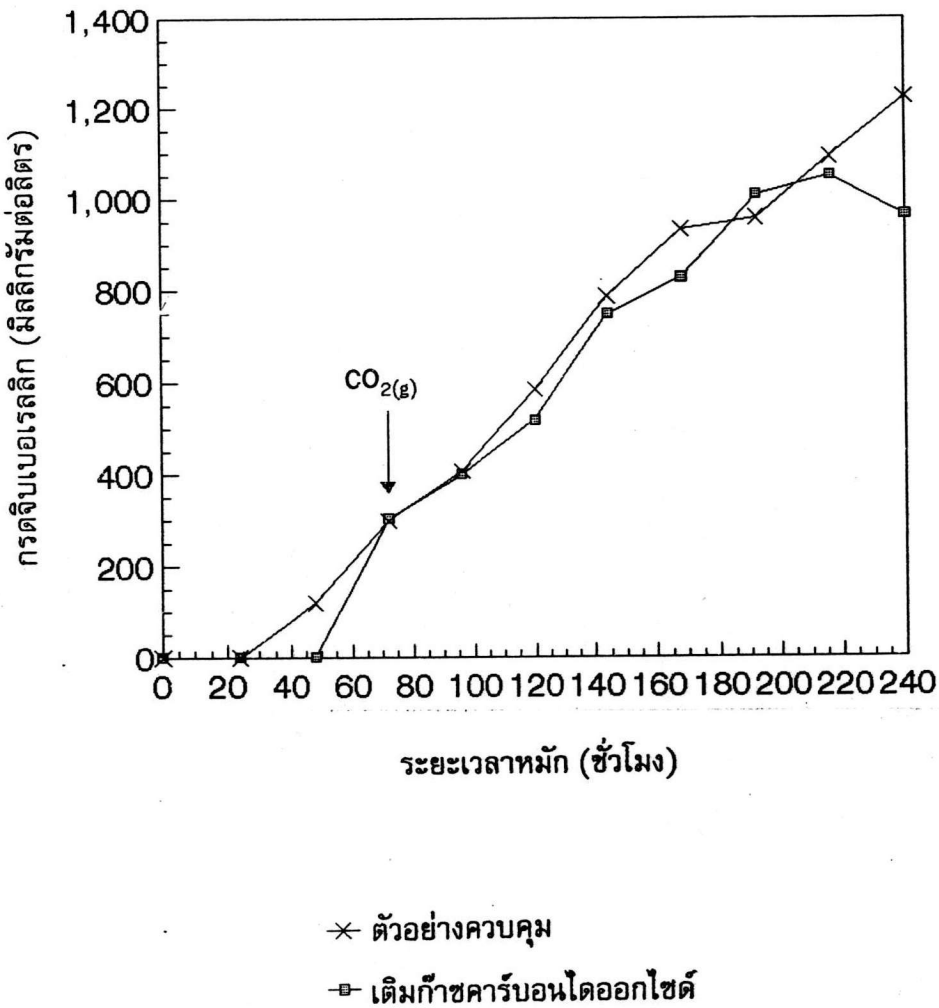
เมื่อทำการเปรียบเทียบการเจริญ และ การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ตามผลการทดลองที่ 3.1 ที่ไม่มีการเติมก๊าซผสม จากตารางที่ 3-1 และ 3-3 พบว่าการผลิตที่มีการเติมก๊าซผสมจะมีการใช้น้ำตาลดีกว่าเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หมดเร็วกว่าคือในชั่วโมงที่ 240 ของการเลี้ยง พร้อมกับมีน้ำหนักเซลล์แห้งมากกว่าเล็กน้อย เมื่อพิจารณาการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ตามรูปที่ 3-2 พบว่าปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นการเติมอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 5 % สำหรับการเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 เมื่อใช้หัวเชื้อร้อยละ 10 ไม่ส่งผลให้มีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเพิ่มขึ้น ซึ่งการทดลองต่อไปจะใช้หัวเชื้อในระดับนี้ต่อไป

ตารางที่ 3-3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยเติมอากาศผสมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 5 % ในชั่วโมงที่ 72 ของการหมัก และควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.72	4.32	4.29	110.88	3.22	0.62	98	-
24	3.96	18.84	33.87	74.06	14.71	0.27	9	-
48	3.47	23.12	62.74	18.77	26.83	0.14	35	-
72	3.39	25.41	68.87	0	37.12	0	28	303.17
96	3.33	30.22	64.68	0	30.96	0	20	400.65
120	3.23	31.32	46.94	0	19.96	0	18	518.48
144	3.17	32.18	21.94	0	5.72	0	17	748.51
168	3.25	36.07	9.50	0	0	0	35	827.48
192	3.25	36.07	1.39	0	0	0	62	1009.35
216	3.00	34.29	0.70	0	0	0	76	1050.66
240	3.15	32.41	0	0	0	0	85	964.86

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3-2 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่มีการผลิต ณ เวลาต่างๆของการเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อเติมอากาศผสมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 5 % ในชั่วโมงที่ 72 กับการหมักที่ไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามการทดลองที่ 3.1

3.3 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อเพิ่มและลดปริมาณเซลล์ในช่วงต้นของการผลิต โดย *Gibberella fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

การทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของการเพิ่มและลดปริมาณเซลล์ในช่วงต้นคือชั่วโมงที่ 72 ของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยมีแนวความคิดว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ในช่วงต้นของการผลิตมากขึ้น ทำให้เชื้อเข้าสู่ช่วงของการผลิตได้เร็ว เป็นผลให้มีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้มากขึ้น ดังนั้นการทดลองนี้จะเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที จนครบ 72 ชั่วโมง จากนั้นทำการเพิ่มและลดปริมาณเซลล์ และนำมาเลี้ยงต่อในภาวะเดิมเป็นเวลา 8 วัน ตามวิธีการทดลอง 2.5.3 เก็บตัวอย่างทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เลี้ยงตามการทดลองที่3.1

จากตารางที่ 3-4,3-5,3-6 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก พบว่าตัวอย่างที่เพิ่มและลดปริมาณเซลล์มีความสามารถใช้น้ำตาลได้หมดเช่นเดียวกับตัวอย่างควบคุม แต่ตัวอย่างที่ลดปริมาณเซลล์มีการใช้น้ำตาลได้ช้ากว่าเมื่อดูปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่หมดลงในชั่วโมงที่ 264 และจากรูปที่ 3-3 พบว่า น้ำหนักเซลล์แห้งของตัวอย่างที่มีการเพิ่มปริมาณเซลล์ มีปริมาณสูงสุด คือ 42.35 กรัมต่อลิตร ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณเซลล์สูงสุดประมาณ 33.29 กรัมต่อลิตร ตัวอย่างที่มีการลดปริมาณเซลล์มีปริมาณเซลล์สูงสุดประมาณ 30.65 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 120 ทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาการผลิตกรดจิบเบอเบเรลลิกตามรูปที่ 3-4 พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดประมาณ 1237.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างที่มีการเพิ่มปริมาณเซลล์ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดประมาณ 1156.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวอย่างที่ลดปริมาณเซลล์มีปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกประมาณ 1027.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทั้ง 3 ส่วน มีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ดั้งนั้นเมื่อเพิ่มและลดปริมาณเซลล์ในชั่วโมงที่ 72 และนำมาเลี้ยงต่อ เชื้อสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ซึ่งในการทดลองต่อไปจะทำการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดยไม่มีการเพิ่มและ ลดปริมาณเซลล์

ตารางที่ 3-4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของตัวอย่างควบคุม โดยใช้ภาวะดังระบุในการทดลองที่ 3.1 หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

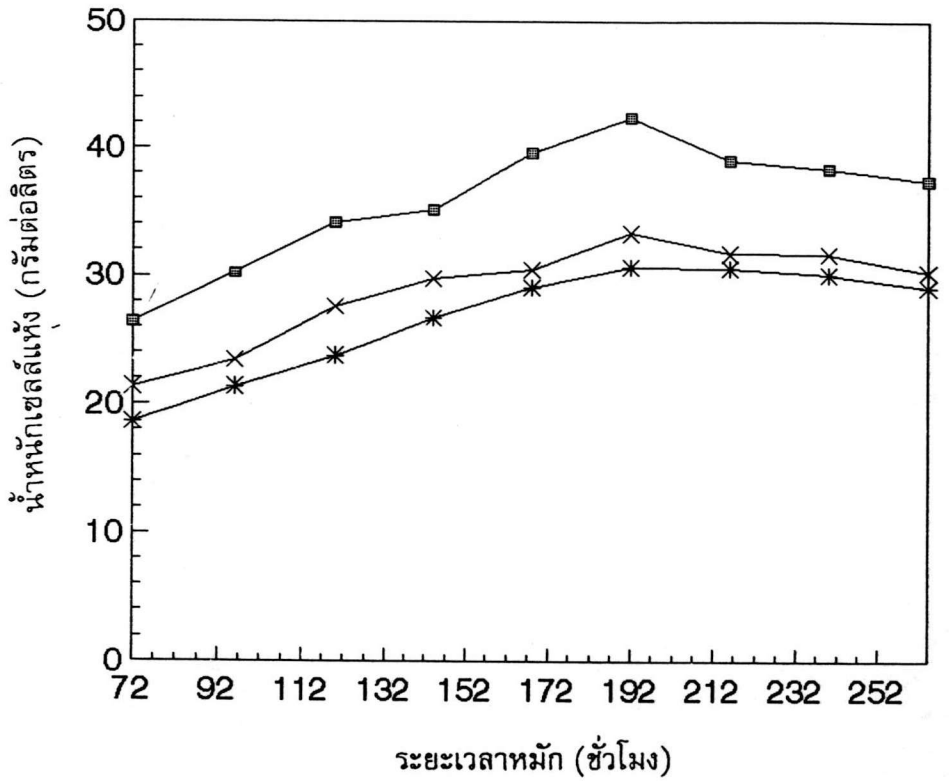
เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
72	3.15	21.37	76.08	82.95	31.72	0.14	34	96.00
96	2.73	23.38	48.70	71.51	32.47	0	24	211.42
120	2.67	27.61	57.82	0	19.59	0	32	421.29
144	2.85	29.76	36.52	0	12.13	0	40	609.98
168	2.73	30.44	25.87	0	5.41	0	33	719.94
192	2.85	33.29	10.35	0	0	0	40	864.58
216	2.88	31.70	1.83	0	0	0	63	1048.79
240	2.67	31.68	0	0	0	0	76	1156.41
264	2.79	30.25	0	0	0	0	78	1237.05

ตารางที่ 3-5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของตัวอย่างที่มีการเพิ่มปริมาณเซลล์ในชั่วโมงที่ 72

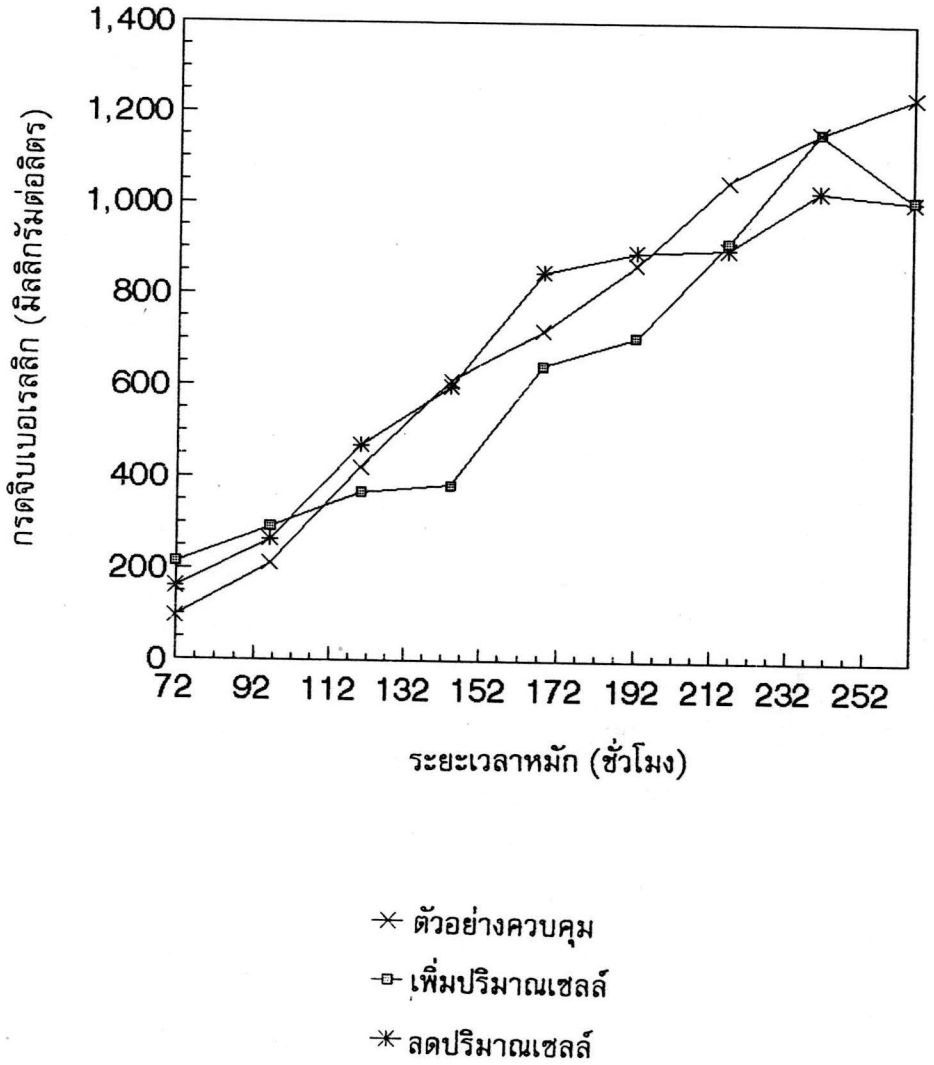
เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
72	2.88	26.38	85.21	85.82	34.67	0	2	214.34
96	2.78	30.22	68.47	57.21	31.20	0	8	291.49
120	2.74	34.10	50.21	0	21.96	0	6	366.89
144	2.91	35.11	35.00	0	9.63	0	3	381.94
168	2.74	39.57	21.30	0	0.77	0	1	643.68
192	3.12	42.35	7.92	0	0	0	2	705.68
216	3.12	39.00	1.52	0	0	0	39	914.93
240	2.79	38.27	0	0	0	0	63	1156.63
264	3.09	37.40	0	0	0	0	59	1011.82

ตารางที่ 3-6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของตัวอย่างที่มีการลดปริมาณเซลล์ในชั่วโมงที่ 72

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
72	2.77	18.66	76.08	74.37	32.74	0	74	160.38
96	2.87	21.36	65.43	54.35	31.20	0	64	264.76
120	2.77	23.74	57.82	0	24.84	0	45	470.24
144	2.85	26.66	48.69	0	16.18	0	32	598.00
168	2.77	29.06	24.35	0	6.55	0	32	848.57
192	2.89	30.65	18.26	0	0.12	0	38	892.30
216	2.89	30.54	7.61	0	0	0	51	900.02
240	2.75	30.09	1.37	0	0	0	67	1027.41
264	2.81	29.70	0	0	0	0	76	1007.67



รูปที่ 3-3 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้งที่เวลาต่างๆ ของการเพาะเลี้ยงในถังหมัก ขนาด 5 ลิตร เมื่อมีการเพิ่มและ ลดปริมาณเซลล์กับตัวอย่างควบคุมหลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 3-4 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตขึ้น ณ เวลาต่างๆ ของการเพาะเลี้ยง ในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อมีการเพิ่มและลดปริมาณเซลล์กับตัวอย่างควบคุม หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3.4 ศึกษาผลของการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และ ขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อต่อการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก

เนื่องจากการผลิตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะต้องมีการเตรียมหัวเชื้อหลายขั้นตอน และ มีการถ่ายเชื้อลงในถังหมักที่มีขนาดต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ให้มากขึ้นก่อนทำการถ่ายเชื้อลงในถังหมักที่ต้องการผลิต ซึ่งในส่วนของการเตรียมหัวเชื้อที่มีหลายขั้นตอนและขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลต่อการใช้เป็นหัวเชื้อของการผลิตได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และ ขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อที่เพิ่มขึ้นโดยใช้ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 และ 250 มิลลิลิตร สำหรับการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้งกับตัวอย่างควบคุม จากนั้นถ่ายหัวเชื้อลงในอาหารสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ตามวิธีการทดลอง 2.5.4

จากตารางที่ 3-7 และ 3-8 เมื่อทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน น้ำหนักเซลล์แห้งของขั้นตอนที่ 2 จะสูงกว่าการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 ในทั้ง 2 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาการเตรียมหัวเชื้อที่มีการเพิ่มขนาดของขวดเพาะเลี้ยง จะให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจากตารางที่ 3-9และ 3-10 เมื่อทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และนำมาใช้ในการผลิตพบว่ามีการใช้น้ำตาลหมด ในวันที่ 7 ของการหมัก และ ไนโตรเจนหมดในวันที่ 2 ของการหมักของการผลิตในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร เช่นกัน และปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่เวลา 6 วัน โดยมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 33.03 และ 33.09 กรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกจะมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 7 คือ 1067.19 และ 1078.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร ตามลำดับ

จากการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และ ขนาดของขวดเพาะเลี้ยงสำหรับเตรียมหัวเชื้อที่เพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักเซลล์แห้งมากขึ้นและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดการผลิต ผลการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกไม่ต่างกัน แต่การทดลองนี้อุปกรณ์ที่ใช้นั้นมีความแตกต่างของขนาดการผลิตน้อย คือ จากขนาด 250 เป็น 500 มิลลิลิตร ซึ่งอาจทำให้ผลการผลิตไม่ต่างกันมาก ดังนั้นการทดลองต่อไปจะทำการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกต้องทำการเตรียมหัวเชื้อหลายขั้นตอน และ มีการเพิ่มขึ้นของขนาดการเตรียมหัวเชื้อทำให้ได้น้ำหนักเซลล์แห้งมากขึ้น และ สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร จะต้องทำการเตรียมหัวเชื้อจากระดับขวดเขย่าเป็นขั้นตอนที่ 1 และการเตรียมหัวเชื้อจากถังหมักขนาด 5 ลิตร เป็นขั้นตอนที่ 2 และ ทำการศึกษาผลการผลิต เมื่อใช้ภาวะการผลิตของ ศุภชัย สมัปปิโต (2537)ที่ให้กรดจิบเบอเรลลิกมาก ต่อไป

ตารางที่ 3-7 น้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อเพิ่มขึ้น โดยมีขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 และ 250 มิลลิลิตร เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 2 ตามลำดับ ทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที

เวลา (วัน)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)
หัวเชื้อขั้นตอนที่ 1	
0	-
1	0.74
2	22.20
หัวเชื้อขั้นตอนที่ 2	
0	2.05
1	20.38
2	34.58

หมายเหตุ : - หมายถึง น้ำหนักเซลล์แห้งน้อยมาก

ตารางที่ 3-8 น้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน และขนาดของขวดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อเพิ่มขึ้น โดยมีขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้น ตอนที่1และ 2 ตามลำดับ ทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที

เวลา (วัน)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)
หัวเชื้อขั้นตอนที่1	
0	-
1	0.54
2	15.22
หัวเชื้อขั้นตอนที่ 2	
0	1.13
1	21.01
2	31.53

หมายเหตุ : - หมายถึง น้ำหนักเซลล์แห้งน้อยมาก

ตารางที่ 3-9 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และทำการผลิตในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาที

เวลา (วัน)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.45	6.56	6.23	113.68	4.18	0.69	-
1	3.94	16.55	10.65	75.17	6.93	0.27	-
2	3.70	24.30	13.69	57.82	8.47	0	201.02
3	3.56	28.70	30.43	21.06	16.18	0	435.61
4	3.38	35.34	18.26	4.82	10.40	0	632.80
5	3.37	33.66	10.65	0	5.18	0	830.43
6	3.21	33.03	1.52	0	0	0	967.45
7	3.14	28.97	0	0	0	0	1067.19

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 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

เวลา (วัน)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.74	6.34	6.39	113.75	4.24	0.69	-
1	3.85	15.33	12.17	85.09	8.09	0.14	-
2	3.78	22.28	19.78	54.59	9.24	0	325.73
3	3.67	26.28	27.39	35.54	14.45	0	550.38
4	3.43	28.27	33.48	3.71	16.47	0	765.60
5	3.47	31.67	19.78	0	8.09	0	838.62
6	3.44	33.09	1.52	0	0	0	992.09
7	3.20	28.22	0	0	0	0	1078.42

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

3.5 การหาอายุของหัวเชื้อในถังหมักขนาด 5 ลิตร สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมัก 30 ลิตร ของเชื้อ *Gibberella fujikurol* N9-34

จากการทดลองที่ 3.4 การเตรียมหัวเชื้อ 2 ครั้งทำให้น้ำหนักเซลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร ต้องทำการเตรียมหัวเชื้อ 2 ขั้นตอน คือ การใช้หัวเชื้อในขวดรูปชมพู่เป็นการเตรียมหัวเชื้อขั้นที่ 1 โดยจะใช้อายุของหัวเชื้อจากรายงานของ ศุภชัย สมัปปิโต (2537) มีอายุประมาณ 48 ชั่วโมงของการเลี้ยง และ ใช้ถังหมักขนาด 5 ลิตร สำหรับเตรียมหัวเชื้อขั้นตอนที่ 2 สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร ดั้งนั้นต้องทำการหาอายุของหัวเชื้อที่เหมาะสมในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-11 เมื่อดูการเจริญพบว่า ชั่วโมงที่ 24 ให้ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดประมาณ 0.111 ชั่วโมง$^{-1}$ ซึ่งมีน้ำหนักแห้งประมาณ 20.26 กรัมต่อลิตร ดังนั้นในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมัก 30 ลิตร จะใช้หัวเชื้อที่มีอายุ 24 ชั่วโมงในถังหมัก 5 ลิตร

ตารางที่ 3-11 น้ำหนักเซลล์แห้ง ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ ของเชื้อ *G. fujikuroi* N9- 34 ในอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเตรียมหัวเชื้อ ในถังหมัก 5 ลิตร ที่ช่วงการเพาะเลี้ยงต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญจำเพาะ (μ ; ชั่วโมง$^{-1}$)
0	1.42	-
12	5.10	0.107
24	20.26	0.111
36	30.82	0.085
48	33.91	0.066
60	38.05	0.055
72	42.62	0.047
84	45.65	0.041
96	47.19	0.037

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้ เนื่องจากเป็นค่าอ้างอิง

3.6 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร โดย *Gibberella fujikuroi* N9-34

3.6.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร ในภาวะการเลี้ยงเช่นเดียวกับ 5 ลิตร

จากการทดลองการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของ ศุภชัย สมัปปิโต (2537) พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการหมักเพื่อให้ได้กรดจิบเบอเรลลิกสูง คือ มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นการทดลองนี้จะทำการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อมีการขยายส่วนการผลิต คือ ในถังหมักขนาด 30 ลิตร โดยอาศัยภาวะการเลี้ยงเช่นเดียวกับในถังหมักขนาด 5 ลิตร ของ ศุภชัย สัมปปิโต ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน ตามวิธีการทดลองข้อ 2.5.6.1 เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการขยายส่วนการผลิต และเปรียบเทียบกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ตามการทดลองที่ 3.1 เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน

จากตารางที่ 3-12 พบว่า ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเป็น 44.80 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 144 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนหมดในชั่วโมงที่ 48 ส่วนปริมาณน้ำตาลพบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสหมดที่ 96 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์คงมีเหลือประมาณ 1.13 กรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมักในชั่วโมงที่ 168 และปริมาณน้ำตาลกลูโคสหมดในวันสุดท้ายของการหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่ำสุดที่ 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 48 % ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิ่มตัว เมื่อทำการหมักครบ 7 วัน ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกจะเริ่มผลิตที่ 36 ชั่วโมง มีปริมาณ 70.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงสุดในชั่วโมงที่ 156 มีปริมาณ 810.57 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นจะลดลง

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ตามผลการทดลองที่ 3.1 พบว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตรและถังหมักขนาด 30 ลิตร มีการใช้น้ำตาลได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลือในระดับเดียวกันเมื่อสิ้นสุดการหมัก แต่น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดในถังหมักขนาด 5 ลิตร มีปริมาณน้อยกว่าในถังหมักขนาด 30 ลิตร และ เมื่อพิจารณาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักของถังหมักขนาด 30 ลิตร พบว่ามีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่ำสุดที่ 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่าประมาณ 48 % ซึ่งสูงกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร ส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร มีการผลิตได้น้อยกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสำหรับการผลิตในถังหมัก 30 ลิตร เท่ากับในถังหมัก 5 ลิตร จึงต้องมีการปรับปรุงภาวะการผลิตให้เหมาะสมสำหรับการผลิตเมื่อมีการขยายส่วน และต้องศึกษาหาเกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อทำการผลิตเมื่อมีการขยายส่วน

ตารางที่ 3-12 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย *G. fujikuroi* N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 600 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.25	4.73	6.61	107.34	3.38	0.69	97	-
12	4.63	10.56	12.90	95.62	6.95	0.55	79	-
24	4.01	19.19	22.58	80.51	8.75	0.42	48	-
36	3.78	23.59	25.81	69.15	12.32	0.28	55	70.48
48	3.67	26.18	40.32	49.21	19.87	0	60	201.80
60	3.57	29.62	45.16	25.38	21.46	0	64	286.58
72	3.49	30.86	50.00	15.11	23.84	0	63	364.98
84	3.41	31.24	58.06	1.68	27.42	0	63	445.94
96	3.36	32.46	56.45	0	27.02	0	62	505.32
108	3.31	33.38	51.16	0	23.05	0	60	540.32
120	3.29	34.00	38.70	0	15.90	0	58	592.77
132	3.31	41.04	29.03	0	12.32	0	58	601.55
144	3.18	44.80	20.96	0	7.15	0	58	617.95
156	2.86	44.20	6.45	0	1.25	0	59	810.57
168	2.81	42.10	1.13	0	0	0	71	695.16

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

3.6.2 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดเกณฑ์การขยายส่วนให้คงที่ ในถังหมักขนาด 30 ลิตร

เนื่องจากเมื่อทำการผลิตในระดับขยายส่วน คือถังหมักขนาด 30 ลิตร โดยใช้ภาวะการผลิตเหมือนในห้องปฏิบัติการ คือถังหมักขนาด 5 ลิตร จากผลการทดลองที่ 3.6.1พบว่าปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกที่ผลิตได้ลดลง ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับการขยายส่วนการผลิตเป็นอย่างมาก เนื่องมาจากเมื่อทำการขยายส่วน จะพบว่าเกิดความแตกต่างในด้านต่างๆ ได้แก่ เทคนิคการให้อากาศและการกวน การทำให้อาหารปลอดเชื้อ การเตรียมหัวเชื้อ เป็นต้น สำหรับการพิจารณาการขยายส่วนนั้นจะมีเกณฑ์ที่นิยมใช้กำหนดให้คงที่ในการขยายส่วนของเครื่องหมักแบบถังกวน ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก(P_g/V) สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน(k_La) ความเร็วรอบของปลายใบพัด(πnD_i) ค่าเรโนลนัมเบอร์ (Reynolds number ; N_{Re}) และ เวลาที่ใช้ในการกวน สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกยังไม่มีข้อมูลที่กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการขยายส่วน ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการศึกษาโดยพิจารณาเกณฑ์การขยายส่วนดังนี้ คือ1.ค่าเรโนลนัมเบอร์ (Reynolds number ; N_{Re}) 2.ความเร็วรอบของปลายใบพัด (πnD_i) 3.อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก (P_g/V) 4. สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน (k_La)

3.6.2.1 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์ (Reynold number) ของถังหมักขนาด 30 ลิตรและถังหมักขนาด 5 ลิตรมีค่าเท่ากัน

การทดลองนี้จะทำการศึกษาเมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์ของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน เป็นเกทณ์สำหรับการขยายส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดยทำการทดลองตามวิธีการทดลองที่ 2.5.6.2.1 ซึ่งการกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์มีค่าเท่ากัน จะทำการคำนวณให้อยู่ในรูปของอัตราการกวน โดยที่อัตราการกวนที่ใช้ประมาณ 300 รอบต่อนาที (ตามภาคผนวก จ. 2.4) และให้อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ทำการเลี้ยงที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

จากตารางที่ 3-13 พบว่าน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 26.62 กรัมต่อลิตร ที่ 96 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 48 ชั่วโมง น้ำตาลซูโครสหมดที่ 84 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลกลูโคสเหลือประมาณ 56.45 และ 3.92 กรัมต่อลิตรที่ 168 ชั่วโมง

ตามลำดับ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าเป็น 0 % ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิ่มตัว ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12-60 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนเป็น 93% เมื่อการหมักสิ้นสุดลง ส่วนปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกพบว่าไม่มีการผลิต

จากผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ตามผลการทดลองที่ 3.1 พบว่าการผลิตในถังหมักขนาด 30 ลิตร มีการใช้น้ำตาลได้ช้ากว่า เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่มากเมื่อสิ้นสุดการหมัก และมีน้ำหนักเซลล์แห้งน้อยกว่า เมื่อพิจารณาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักพบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าต่ำสุดเป็น 0 % เป็นเวลานานตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 60 จึงอาจเป็นผลให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 30 ลิตร ไม่สามารถผลิตได้

เมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์คงที่เท่ากับถังหมักขนาด 5 ลิตร ไม่สามารถทำให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมัก 30 ลิตร มีปริมาณเท่ากับในถังหมักขนาด 5 ลิตร ได้ ซึ่งจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่ำจนมีค่าเป็น 0 % อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของเซลล์ ดั้งนั้นการกำหนดค่าเรโนลนัมเบอร์ให้คงที่ไม่สามารถกำหนดเป็นการเกณฑ์การขยายส่วนในถังหมักขนาด 30 ลิตรได้ ซึ่งการทดลองต่อไปจะกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าคงที่เป็นเกณฑ์การขยายส่วนต่อไป

ตารางที่ 3-13 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย *G. fujikuroi* N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน (กำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์ของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน)

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.50	4.27	4.84	109.43	1.79	0.69	98	-
12	4.75	10.27	12.90	98.76	2.98	0.55	0	-
24	3.97	14.75	19.35	89.17	7.15	0.42	0	-
36	3.67	16.84	25.81	70.72	9.14	0.28	0	0
48	3.48	19.50	48.71	39.97	11.92	0	0	0
60	3.38	21.36	60.72	20.98	15.37	0	0	0
72	3.28	23.42	70.97	6.97	17.88	0	37	0
84	3.13	24.59	71.57	0	14.32	0	85	0
96	3.07	26.62	69.35	0	12.37	0	88	0
108	3.12	22.08	66.34	0	11.92	0	90	0
120	3.43	18.76	64.51	0	10.33	0	93	0
132	3.23	17.99	62.75	0	9.14	0	93	0
144	3.37	16.46	61.90	0	8.94	0	93	0
156	3.49	15.78	58.32	0	5.96	0	93	0
168	3.50	13.42	56.45	0	3.92	0	93	0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

3.6.2.2 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด (πnD_i) ของถังหมักขนาด 30 ลิตร และถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน

ทำการทดลองตามวิธีการทดลองที่ 2.5.6.2.2 อัตราการกวนที่คำนวณจากภาคผนวก จ (2.2) มีค่าประมาณ 400 รอบต่อนาที

จากตารางที่ 3-14 พบว่า ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 41.40 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 168 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 48 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ น้ำตาลกลูโคสเหลือประมาณ 24.19 และ 1.78 กรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อการหมักสิ้นสุดลง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณต่ำสุดที่ชั่วโมงที่ 24 มีค่าประมาณ 6 % และลดลงจนมีค่าเป็น 2 % เมื่อการหมักสิ้นสุดลง ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดที่ 156 ชั่งโมง ประมาณ 407.19 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ตามการทดลองที่ 3.1 พบว่าถังหมักขนาด 30 ลิตรมีการใช้น้ำตาลที่ช้ากว่า เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลเหลือเมื่อสิ้นสุดการหมัก แต่กลับให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดสูงกว่า เมื่อพิจารณาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง คือ ประมาณ 6 % และคงลดลงอีกจนสิ้นสุดการหมักในชั่วโมงที่ 168 มีค่าประมาณ 2 % ซึ่งต่ำกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกพบว่ามีการผลิตได้น้อยกว่า

เมื่อกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดของถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตร มีค่าเท่ากัน เป็นเกฑณ์ในการขยายส่วนในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกนั้น ไม่สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ในระดับเดียวกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร แต่สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ สูงกว่าการกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์เป็นเกฑณ์สำหรับการขยายส่วน ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ค่าความเร็วของปลายใบพัดของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตรมีค่าเท่ากัน ไม่สามารถกำหนดเป็นเกณฑ์ในการขยายส่วนได้ ซึ่งการทดลองต่อไปจะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าคงที่เป็นเกฑณ์การขยายส่วนต่อไป

ตารางที่ 3-14 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย *G. fujikuroi* 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)

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.42	4.96	7.09	109.57	4.96	0.69	94	-
12	4.20	12.81	17.74	96.21	7.35	0.55	87	-
24	4.21	14.52	24.19	84.33	7.94	0.42	6	-
36	3.44	20.38	29.03	74.06	10.72	0.28	6	-
48	3.88	23.22	59.68	37.99	21.85	0	4	0
60	3.70	25.26	61.29	30.95	25.03	0	5	67.92
72	3.97	26.28	77.42	9.40	28.02	0	5	99.97
84	3.40	28.29	83.87	0	33.38	0	7	178.22
96	4.13	29.50	77.42	0	24.64	0	4	222.92
108	4.07	31.60	70.97	0	19.07	0	4	229.05
120	4.09	32.12	66.12	0	17.88	0	3	236.64
132	3.61	33.80	54.83	0	12.31	0	2	337.49
144	3.98	35.80	51.61	0	9.53	0	2	368.34
156	3.63	38.96	48.38	0	2.38	0	2	407.19
168	3.37	41.40	24.19	0	1.78	0	2	398.28

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

3.6.2.3 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก (P_g/V) ของถังหมักขนาด 30 ลิตร และ ถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน

ทำการทดลองตามวิธีการทดลองที่ 2.5.6.2.3 อัตราการกวนเป็น 500 รอบต่อนาที ตามการคำนวณที่ได้จากภาคผนวก จ(2.1)

จากตารางที่ 3-15 พบว่า ปริมาณน้ำหนักเซลล์สูงสุดที่ 156 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 40.53 กรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 48 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลือประมาณ 8.70 กรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณน้ำตาลกลูโคสหมดลงในวันสุดท้ายของการหมัก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักต่ำลงที่ 24 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 46 % และจะเพิ่มขึ้นในช่วงชั่วโมงที่ 36-108 จากนั้นจะลดลงจนมีปริมาณ 34 % ในวันสุดท้าย ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกมีปริมาณสูงสุดประมาณ 664.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 156

จากผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ตามผลการทดลองที่ 3.1 พบว่าการผลิตในถังหมักขนาด 30 ลิตร มีการใช้น้ำตาลช้ากว่า แต่มีปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดสูงกว่าการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงชั่วโมงที่ 24 เช่นเดียวกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร และผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้น้อยกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักมีค่าเท่ากัน เป็นเกฑณ์การขยายส่วนทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเพิ่มขึ้น และการใช้น้ำตาลได้มากขึ้น ส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีปริมาณสูงขึ้นกว่าผลการทดลองที่ 3.6.2.1 และ 3.6.2.2 แต่ยังคงน้อยกว่าในระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร ดังนั้นการกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักมีค่าเท่ากันไม่สามารถกำหนดเป็นเกณฑ์การขยายส่วนได้ ซึ่งการทดลองต่อไปจะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าคงที่เป็นเกณฑ์การขยายส่วนต่อไป

ตารางที่ 3-15 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ที่ผลิตโดย *G. fujikuroi* N9-34 ในสูตรอาหารสำหรับผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำการหมักที่ควบคุม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่มีการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที และอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ทำการเลี้ยง 7 วัน (กำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน)

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.02	3.75	6.29	102.23	3.17	0.69	97	-
12	5.21	8.50	11.29	86.38	5.76	0.55	88	-
24	4.78	14.18	12.90	73.91	6.36	0.42	46	-
36	4.63	17.43	19.35	56.61	7.55	0.28	48	0
48	4.30	20.02	27.42	43.11	10.73	0	48	113.18
60	4.25	21.35	30.65	37.11	16.09	0	49	184.84
72	4.41	23.73	41.93	23.18	22.65	0	49	263.92
84	4.19	24.90	56.45	5.94	26.82	0	48	312.33
96	4.17	25.67	54.84	0	24.64	0	48	358.10
108	4.08	27.93	51.61	0	22.25	0	48	446.97
120	4.14	28.73	49.99	0	16.58	0	47	533.25
132	4.05	30.06	40.32	0	15.89	0	46	541.14
144	3.99	35.45	30.65	0	13.90	0	40	569.75
156	4.03	40.53	17.70	0	1.68	0	35	664.32
168	3.91	39.88	8.70	0	0	0	34	608.38

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

3.6.2.4 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer coefficient ; k_La) ในถังหมักขนาด 30 ลิตร และถังหมักขนาด 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน

สำหรับการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ในถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร มีค่าเท่ากัน มีความจำเป็นต้องหาค่า Parameter constant คือ α และ β ของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจนสามารถหาได้จากสมการที่ 27 ในภาคผนวก ง โดยที่ค่า α และ β เป็นค่าคงที่ของถังหมักแต่ละถัง ซึ่งการคำนวณค่า α และ β แสดงตามภาคผนวก ง โดยที่การทดลองจะทำตามวิธีการทดลองที่ 2.5.6.2.4 และ 2.5.6.2.5 สำหรับถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตร ตามลำดับ ซึ่งกำหนดให้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้อิ่มตัว 100 % ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 8.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Atkinsonและ Mavituna 1989) และทำการบันทึกค่าออกซิเจนที่ละลายหลังการปิด และ เปิด การให้อากาศ ของถังหมักขนาด 5 ลิตร ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3-16,3-17,3-18 และรูปที่ 3-5 , 3-6,3-7 และ ถังหมักขนาด 30 ลิตร แสดงดังตารางที่ 3-25,3-26,3-27 และรูปที่ 3-8,3-9 ,3-10 จากสมการที่ 27 ภาคผนวก ง ทำการคำนวณค่า $(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) คำนวณได้ดังตารางที่ 3-19,3-20,3-21 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร และ ตารางที่ 3-28,3-29,3-30 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร จากนั้นทำการเขียนกราฟระหว่างค่า $(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ เป็นแกนตั้ง และ $\int C_L dt$ เป็นแกนนอน จะได้ความชันเท่ากับ $-k_La/(t_f - t_o)$ตามสมการที่ 27 ในภาคผนวก ง ทำให้ได้ค่า k_La และ $\ln k_La$ ของถังหมักขนาด 5 ลิตร ที่อัตราการกวนต่างๆ ตามตารางที่ 3-22 และ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่อัตราการกวนต่างๆ ตามตารางที่ 3-31 จากนั้นหาค่า α โดยเขียนกราฟระหว่าง $\ln k_La$ เป็นแกนตั้ง กับ $\ln N_i$(ของอัตราการกวนที่ความเร็วรอบต่างๆ) เป็นแกนนอน ตามตารางที่ 3-23 และ 3-32 ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 1.99 และ 0.45 ของถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตร ตามลำดับ ส่วนค่า β ทำการเขียนกราฟระหว่าง $\ln k_La$ เป็นแกนตั้ง กับ $\ln V_s$ (อัตราการให้อากาศ) เป็นแกนนอน ตามตารางที่ 3-24 และ 3-33 ได้ค่าเท่ากับ 1.48 และ 0.13 ของถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตรตามลำดับ และจากสมการที่ 21 ทำการหาค่า K ของถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตร ตามภาคผนวก จ. (2.5) ทำให้ได้ค่า K ของถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตร เท่ากับ 0.49 และ 7.47 ตามลำดับ และทำการคำนวณอัตราการกวนที่ใช้เมื่อกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจนคงที่ เท่ากับ 500 รอบต่อนาที ตามภาคผนวก จ. (2.5)

ตารางที่ 3-16 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 และ1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	1.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
0 (ปิดอากาศ)	1.70	2.27
5	1.62	2.11
10	1.46	1.94
15	1.22	1.70
20	0.97	1.46
25	0.81	1.22
35	0.57	0.97
45 (เปิดอากาศ)	0.65	1.21
55	0.81	1.46
65	0.89	1.62
75	0.97	1.78
85	1.13	1.86
95	1.22	1.94
105	1.22	2.03
115	1.30	2.11
125	1.38	2.18
135	1.38	2.27
145	1.46	2.27
155	1.54	2.27
165	1.54	2.27
175	1.54	2.27
185	1.62	2.27
195	1.62	2.27
205	1.62	2.27
215	1.62	2.27
225	1.62	2.27
235	1.62	2.27
245	1.62	2.27
255	1.62	2.27
265	1.62	2.27
275	1.62	2.27
285	1.62	2.27
295	1.70	2.27
305	1.70	2.27
315	1.70	2.27
325	1.70	2.27

ตารางที่ 3-17 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	1.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
0 (ปิดอากาศ)	4.37	4.54
5	4.29	4.46
10	4.21	4.21
15	4.13	3.97
20	4.05	3.73
25	3.97	3.48
30	3.56	3.16
35	3.32	2.84
40	3.08	2.59
45	2.84	2.35
50	2.59	2.11
55	2.35	1.78
60	2.11	1.54
65	1.94	1.38
70	1.70	1.05
75	1.54	0.81
80	1.30	0.65
85	1.05	-
90	0.89	1.46 (เปิดอากาศ)
95	-	-
100	1.13(เปิดอากาศ)	2.11
110	1.78	2.75
120	2.35	3.16
130	2.92	3.48
140	3.32	3.73
150	3.56	3.89
160	3.73	4.05
170	3.97	4.05
180	4.05	4.05
190	4.13	4.05
200	4.21	4.13
210	4.21	4.21
220	4.29	4.21
230	4.29	4.29
240	4.29	4.29
250	4.37	4.37

ตาราที่ 3-17 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	1.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
260	4.37	4.37
270	4.37	4.37
280	4.37	4.37
290	4.37	4.46
300	4.37	4.46
310	4.37	4.54
320	-	4.54

ตารางที่ 3-18 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

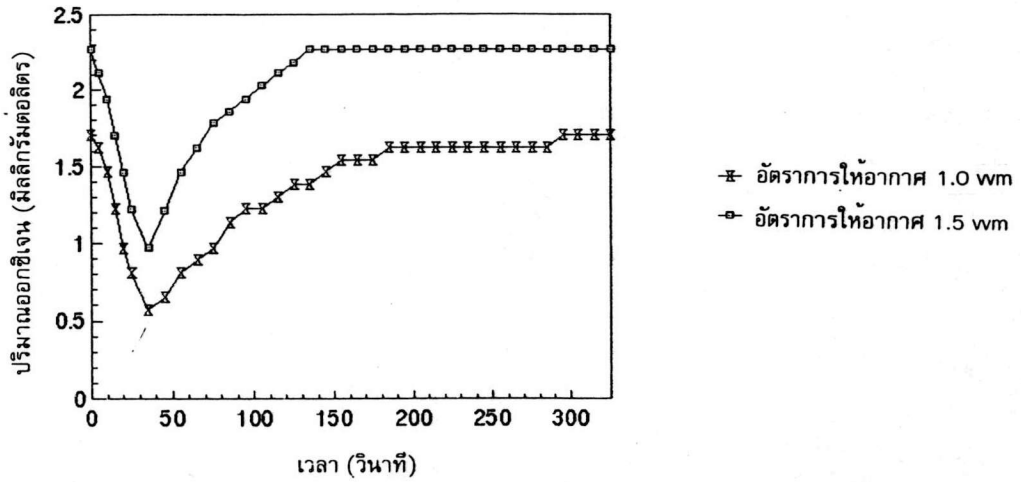
เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	1.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
0 (ปิดอากาศ)	4.86	5.18
5	4.37	4.37
10	4.21	3.89
15	3.81	3.73
20	3.56	3.40
25	3.24	3.08
30	3.16	2.92
35	3.00	2.75
40	2.84	2.51
45	2.67	2.35
50	2.51	2.18
55	2.35	2.11
60	2.27	1.94
65	2.19	1.86
70	2.11	1.78
75	1.94	1.70
80	1.86	1.62
85	1.70	1.54
90	1.62	1.54

ต่อ..

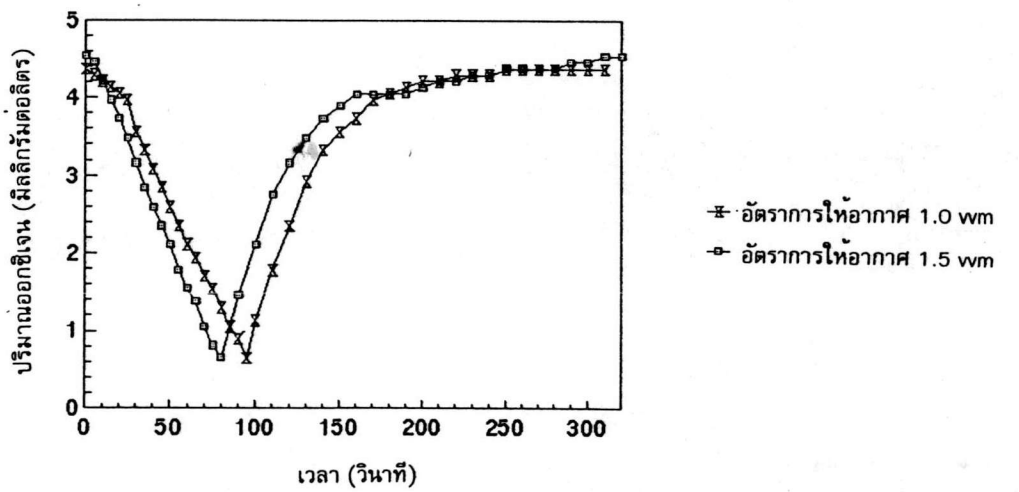
ตารางที่ 3-18 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	1.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที
95	1.54	1.46
100	1.46	1.46
105	1.38	1.38
110	1.30	1.38
115	1.22	1.30
120	1.13	1.22
125	1.05	1.13
130	0.97	1.13
135	0.97	1.13
140	0.89	1.13
145	0.89	1.05
150	0.81	1.05
155	-	0.97
160	1.13 (เปิดอากาศ)	0.97
170	2.27	0.97
180	3.00	0.97
190	3.56	0.89
200	3.97	0.81
210	4.29	1.78 (เปิดอากาศ)
220	4.46	2.98
230	4.62	3.73
240	4.62	4.21
250	4.70	4.54
260	4.78	4.78
270	4.78	4.86
280	4.86	4.94
290	4.86	5.02
300	4.86	5.10
310	4.86	5.10
320	-	5.18
330	-	5.18
340	-	5.18
350	-	5.18
360	-	5.18

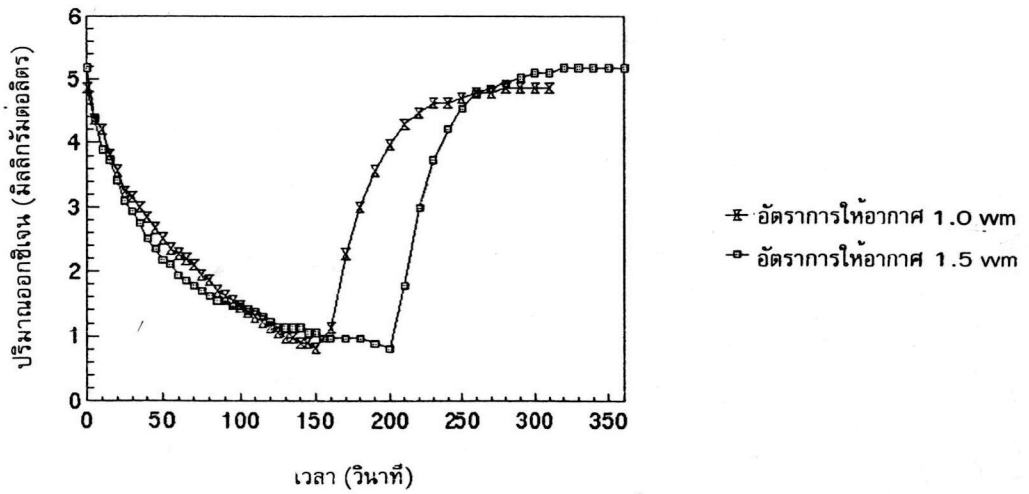
หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการบันทึกผล



รูปที่ 3-5 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิดและเปิดการให้อากาศเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที และ อัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร



รูปที่ 3-6 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิดและเปิดการให้อากาศเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที และ อัตราการให้อากาศ 1.0, 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร



รูปที่ 3-7 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิดและเปิดการให้อากาศเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และ อัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-19 ค่า $(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_La เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆของถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)			
	1.0		1.5	
	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
0	0	0	0	0
10	0.008	6.10	0.024	10.90
20	0.012	13.80	0.0245	24.30
30	0.011	21.90	0.0217	38.85
40	0.010	30.80	0.0202	55.00
50	0.011	42.50	0.0178	70.75
60	0.0108	53.70	0.0161	87.30

ต่อ..

ตารางที่ 3-19 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)			
	1.0		1.5	
	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
70	0.0093	62.65	0.0151	105.00
80	0.0091	74.80	0.0142	123.20
90	0.0090	87.75	0.0134	141.75
100	0.0081	97.50	0.0130	162.00
110	0.00809	111.65	0.0118	178.20
120	0.00808	126.60	0.0108	194.40
130	0.00746	137.15	0.0100	210.60
140	0.00692	147.70	0.00928	226.80
150	0.0070	164.25	0.00866	243.00
160	0.00656	175.20	0.00812	259.20
170	0.00617	186.15	0.00764	275.40
180	0.00583	197.10	0.00722	291.60
190	0.00552	208.05	0.00680	307.80
200	0.00525	219.00	0.00650	324.00
210	0.00500	229.95	0.00620	340.20
220	0.00477	240.90	0.00590	356.40
230	0.00456	251.85	0.00565	372.60
240	0.00437	262.80	0.00540	388.80
250	0.00420	273.75	0.00520	405.00
260	0.00430	295.10	0.00500	421.20
270	0.00418	306.45	0.00481	437.40
280	0.00403	317.80	0.00464	453.60
290	0.00389	329.15	0.00448	469.80

ตารางที่ 3-20 ค่า $(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_La เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆของถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)			
	1.0		1.5	
	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
0	0	0	0	0
10	0.024	10.10	0.081	10.55
20	0.0445	26.70	0.073	27.60
30	0.0487	48.60	0.070	51.00
40	0.0308	76.20	0.063	76.20
50	0.0486	105.25	0.057	103.25
60	0.0445	133.50	0.051	131.40
70	0.0406	153.30	0.046	158.90
80	0.0385	194.40	0.043	188.00
90	0.0351	222.30	0.038	211.50
100	0.0324	251.00	0.034	235.00
110	0.0302	280.50	0.0320	258.50
120	0.0277	306.00	0.0300	286.80
130	0.0262	336.70	0.0274	315.90
140	0.0243	362.60	0.0260	340.20
150	0.0227	388.50	0.0243	370.50
160	0.0218	420.80	0.0233	395.20
170	0.0205	447.10	0.0219	426.70
180	0.0193	473.40	0.0207	451.80
190	0.0183	499.70	0.0196	476.90
200	0.0174	526.00	0.0191	502.00
210	0.0166	552.30	0.0181	536.55
220	0.0158	578.60	0.0177	562.10
230	-	-	0.0169	596.85
240	-	-	0.0162	622.80

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการคำนวณ

ตารางที่ 3-21 ค่า $(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_La เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆของถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)			
	1.0		1.5	
	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf} - C_{Lo})/(t_f - t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
0	0	0	0	0
10	0.032	9.70	0.097	12.95
20	0.073	30.80	0.109	38.00
30	0.073	57.15	0.097	68.10
40	0.069	87.40	0.085	100.40
50	0.063	119.50	0.075	133.75
60	0.058	153.00	0.066	167.70
70	0.052	184.45	0.058	198.45
80	0.048	217.20	0.052	230.00
90	0.042	244.35	0.047	262.35
100	0.0389	275.50	0.043	295.50
110	0.0361	307.45	0.039	325.05
120	0.0331	335.40	0.036	359.40
130	0.0312	368.55	0.034	389.35
140	0.0290	396.90	0.031	419.30
150	0.0270	425.25	0.029	449.25
160	0.0253	453.60	0.027	479.20

ตารางที่ 3-22 ค่า k_La , lnk_La ที่ได้จากการหาความชัน เมื่อกำหนดอัตราการกวนและอัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 5 ลิตร

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตาน้ำหมักต่อนาที)			
	1.0		1.5	
	k_La (ชั่วโมง$^{-1}$)	lnk_La	k_La (ชั่วโมง$^{-1}$)	lnk_La
400	24.43	3.20	42.66	3.75
500	44.20	3.79	83.99	4.43
600	53.46	3.98	100.31	4.61

หมายเหตุ ; ตัวอย่างการคำนวณค่า K_La แสดงในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 3-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า lnk_La (ที่อัตราการให้อากาศต่างๆ) กับ ln N_i (อัตราการกวนต่างๆ) ของถังหมักขนาด 5 ลิตร

ln N_i	lnk_La		ค่าเฉลี่ย
	1.0 vvm	1.5 vvm	
400 rpm	3.20	3.75	-
500 rpm	3.79	4.43	-
600 rpm	3.98	4.61	-
ความชัน(α)	1.90	20.9	1.99

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการคำนวณ

ตารางที่ 3-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า lnk_La (ที่อัตราการกวนต่างๆ) กับ $ln\ V_s$ (อัตราการให้อากาศต่างๆ) ของถังหมักขนาด 5 ลิตร

$ln\ V_s$	lnk_La			ค่าเฉลี่ย
	400 rpm	500 rpm	600 rpm	
1.0 vvm	3.20	3.79	3.98	-
1.5 vvm	3.75	4.43	4.64	-
ความชัน (β)	1.34	1.56	1.54	1.48

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการคำนวณ

ตารางที่ 3-25 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 ,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาทีในถังหมักขนาด 30 ลิตร

เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตรการให้อากาศต่างๆ(ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)		
	1.0	1.5	2.0
0 (ปิดอากาศ)	3.81	4.30	4.54
5	3.32	3.97	3.89
10	2.75	3.16	2.92
15	2.11	2.43	2.19
20	1.54	1.86	1.62
25	1.05	1.30	1.13
30	0.65	0.81	0.73
35	0.41	0.57	0.41
45 (เปิดอากาศ)	0.81	1.05	0.97
55	1.30	1.62	1.54
65	1.70	2.11	2.03
75	2.03	2.51	2.43
85	2.35	2.84	2.84
95	2.59	3.16	3.08
105	2.84	3.32	3.32
115	3.00	3.56	3.56
125	3.16	3.73	3.73
135	3.24	3.81	3.89
145	3.40	3.89	3.97
155	3.40	3.97	4.13

ต่อ..

ตารางที่ 3-25 (ต่อ)

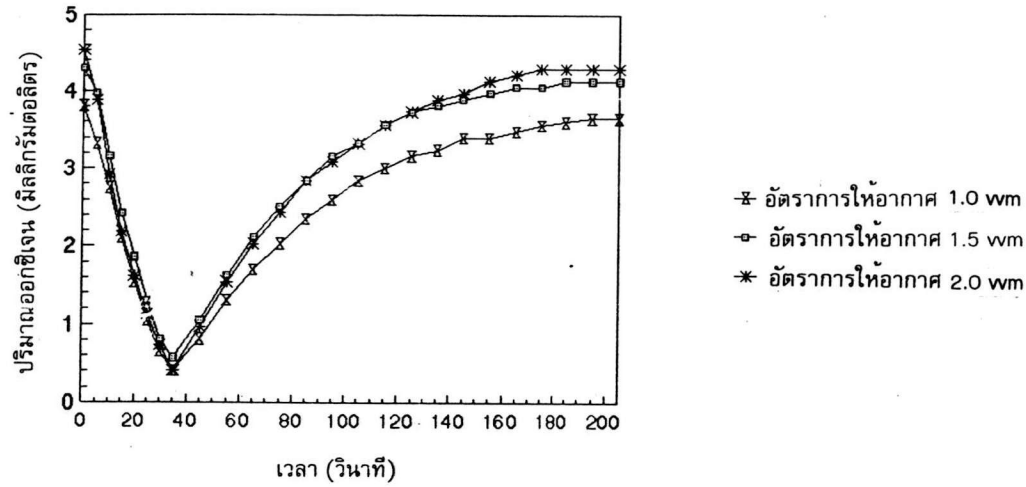
เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตรการให้อากาศต่างๆ(ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)		
	1.0	1.5	2.0
165	3.48	4.05	4.21
175	3.56	4.05	4.29
185	3.60	4.13	4.29
195	3.65	4.13	4.29
205	3.65	4.13	4.29

ตารางที่ 3-26 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 ,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร

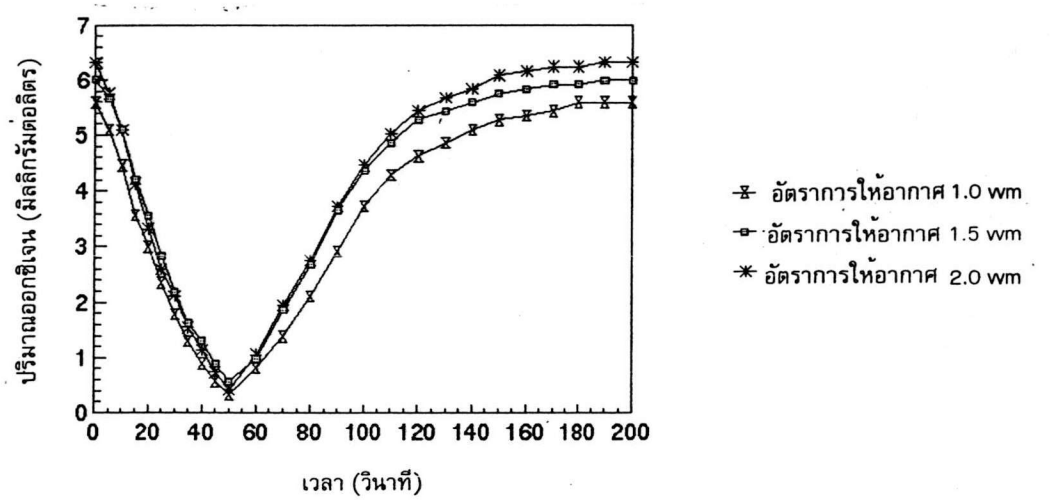
เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตรการให้อากาศต่างๆ(ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)		
	1.0	1.5	2.0
0 (ปิดอากาศ)	5.59	6.00	6.32
5	5.10	5.67	5.75
10	4.46	5.10	5.10
15	3.56	4.21	4.13
20	3.00	3.56	3.32
25	2.35	2.84	2.59
30	1.78	2.19	2.11
35	1.30	1.62	1.54
40	0.89	1.30	1.13
45	0.57	0.89	0.73
50	0.32	0.57	0.41
60 (เปิดอากาศ)	0.81	0.97	1.05
70	1.38	1.86	1.94
80	2.11	2.67	2.75
90	2.92	3.65	3.73
100	3.73	4.37	4.46
110	4.29	4.86	5.02
120	4.62	5.27	5.43
130	4.86	5.43	5.67
140	5.10	5.59	5.83
150	5.27	5.75	6.08
160	5.35	5.83	6.16
170	5.43	5.91	6.24
180	5.59	5.91	6.24
190	5.59	5.99	6.32
200	5.59	5.99	6.32

ตารางที่ 3-27 การละลายของออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการให้อากาศมีค่า 1.0 ,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาทีในถังหมักขนาด 30 ลิตร

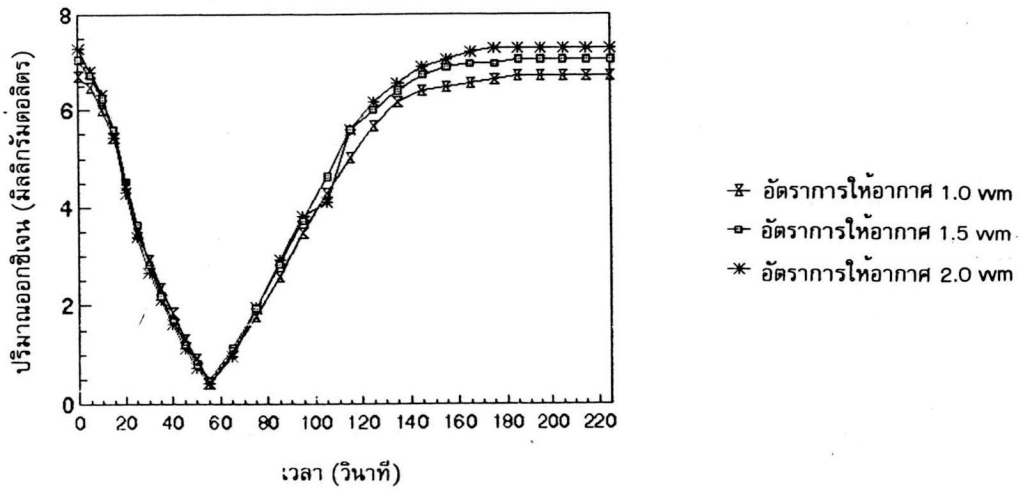
เวลา (วินาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก(มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตรการให้อากาศต่างๆ(ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)		
	1.0	1.5	2.0
0 (ปิดอากาศ)	6.72	7.05	7.29
5	6.48	6.72	6.80
10	6.00	6.24	6.32
15	5.43	5.59	5.43
20	4.46	4.54	4.30
25	3.48	3.65	3.40
30	2.92	2.84	2.67
35	2.35	2.19	2.11
40	1.86	1.70	1.62
45	1.30	1.22	1.13
50	0.92	0.81	0.73
55	0.41	0.49	0.41
65 (เปิดอากาศ)	1.05	1.13	0.97
75	1.78	1.94	1.94
85	2.59	2.84	2.92
95	3.48	3.73	3.81
105	4.29	4.62	4.10
115	5.02	5.59	5.59
125	5.67	5.99	6.16
135	6.16	6.40	6.56
145	6.40	6.72	6.89
155	6.48	6.89	7.05
165	6.56	6.97	7.21
175	6.64	6.97	7.29
185	6.72	7.05	7.29
195	6.72	7.05	7.29
205	6.72	7.05	7.29
215	6.72	7.05	7.29
225	6.72	7.05	7.29



รูปที่ 3-8 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิดและเปิดการให้อากาศเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร



รูปที่ 3-9 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิดและเปิดการให้อากาศเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร



รูปที่ 3-10 การบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายเมื่อปิดและเปิดการให้อากาศเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในชั่วโมงที่ 12 โดยใช้อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.0,1.5 และ 2.0 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในถังหมักขนาด 30 ลิตร

ตารางที่ 3-28 ค่า $(C_{Lf}- C_{Lo})/(t_f -t_0)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_La เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f -t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f -t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f -t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
0	0	0	0	0	0	0
10	0.040	6.10	0.048	8.10	0.056	6.90
20	0.045	17.10	0.053	21.90	0.057	19.50
30	0.043	31.65	0.051	40.20	0.054	36.60
40	0.041	48.80	0.049	61.60	0.051	56.80
50	0.039	69.00	0.045	85.25	0.049	81.25

ต่อ..

ตารางที่ 3-28 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
60	0.037	90.30	0.043	111.90	0.045	104.70
70	0.035	113.75	0.039	135.15	0.042	130.55
80	0.032	136.00	0.037	165.20	0.039	158.80
90	0.031	160.65	0.035	193.50	0.037	186.30
100	0.028	182.50	0.032	219.00	0.035	215.00
110	0.027	209.55	0.030	245.30	0.032	240.90
120	0.025	228.60	0.028	272.40	0.031	272.40
130	0.024	254.15	0.027	300.30	0.029	300.30
140	0.023	280.70	0.025	323.00	0.028	329.00
150	0.021	300.75	0.024	352.50	0.026	352.50
160	0.020	324.80	0.022	376.00	0.024	376.00
170	0.019	345.10	0.021	406.30	0.023	399.50

ตารางที่ 3-29 ค่า $(C_{Lf}- C_{Lo})/(t_f-t_o)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_La เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
0	0	0	0	0	0	0
10	0.049	5.65	0.040	7.70	0.064	7.30
20	0.053	17.00	0.065	24.30	0.077	23.50
30	0.060	36.45	0.070	48.60	0.078	47.40
40	0.065	64.80	0.077	84.40	0.083	82.80
50	0.068	101.25	0.076	123.50	0.081	121.75
60	0.066	138.30	0.072	162.90	0.077	162.90

ต่อ..

ตารางที่ 3-29 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
70	0.061	172.90	0.067	204.40	0.072	204.40
80	0.057	207.20	0.061	240.00	0.066	243.20
90	0.053	243.90	0.056	277.20	0.060	280.80
100	0.050	279.50	0.052	316.00	0.057	324.50
110	0.046	311.85	0.048	352.00	0.052	361.35
120	0.043	345.00	0.045	388.80	0.049	399.00
130	0.040	384.15	0.041	421.20	0.045	432.25
140	0.037	413.70	0.039	459.20	0.042	471.10
150	0.035	447.23	0.036	492.00	0.040	504.75

ตารางที่ 3-30 ค่า $(C_{Lf}- C_{Lo})/(t_f-t_0)$ และ $\int C_L dt$ (พื้นที่ใต้กราฟหลังจากเริ่มพ่นอากาศ) สำหรับหาค่า k_La เมื่อมีอัตราการกวนเท่ากับ 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_0)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
0	0	0	0	0	0	0
10	0.064	7.30	0.064	8.10	0.056	6.90
20	0.069	21.90	0.073	24.30	0.077	23.50
30	0.073	45.00	0.078	49.95	0.084	49.95
40	0.077	77.80	0.081	84.40	0.085	84.40
50	0.078	117.50	0.083	127.75	0.074	112.75
60	0.077	162.90	0.085	182.40	0.086	180.00

ต่อ..

ตารางที่ 3-30 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)	$(C_{Lf}-C_{Lo})/(t_f-t_o)$ (ppm/sec)	$\int C_L dt$ (ppm.sec)
70	0.075	212.80	0.079	226.80	0.082	229.95
80	0.072	262.80	0.074	275.60	0.077	278.80
90	0.067	306.45	0.069	324.45	0.072	328.50
100	0.061	344.50	0.064	369.00	0.066	373.00
110	0.056	383.35	0.059	410.30	0.062	419.10
120	0.052	423.00	0.054	447.60	0.057	462.00
130	0.049	463.45	0.050	490.10	0.053	500.50
140	0.045	499.10	0.047	527.80	0.049	539.00
150	0.042	534.75	0.044	565.50	0.046	577.50
160	0.039	570.40	0.041	603.20	0.043	616.00
170	0.037	606.05	0.039	640.90	0.040	654.50

ตารางที่ 3-31 ค่า k_La , $\ln k_La$ ที่ได้จากการหาความชัน เมื่อกำหนดอัตราการกวน และอัตราการให้อากาศต่างๆ ของถังหมักขนาด 30 ลิตร

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อัตราการให้อากาศ (ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที)					
	1.0		1.5		2.0	
	k_La (ชั่วโมง$^{-1}$)	$\ln k_La$	k_La (ชั่วโมง$^{-1}$)	$\ln k_La$	k_La (ชั่วโมง$^{-1}$)	$\ln k_La$
400	48.05	3.87	51.68	3.95	52.70	3.96
500	53.75	3.98	58.78	4.07	59.15	4.08
600	57.51	4.05	62.81	4.14	62.03	4.13

ตารางที่ 3-32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า lnk_La(ที่อัตราการให้อากาศต่างๆ) กับค่า $ln\ N_i$ (อัตราการกวนต่างๆ) ของถังหมักขนาด 30 ลิตร

$ln\ N_i$	lnk_La			ความชัน (α)
	1.0 vvm	1.5 vvm	2.0 vvm	
400 rpm	3.87	3.95	3.96	-
500 rpm	3.98	4.07	4.08	-
600 rpm	4.05	4.14	4.13	-
ความชัน(α)	0.45	0.47	0.43	0.45

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการคำนวณ

ตารางที่ 3-33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า lnk_La (อัตราการกวนต่างๆ) กับ $ln\ V_s$ (อัตราการให้อากาศต่างๆ) ของถังหมักขนาด 30 ลิตร

$ln\ V_s$	lnk_La			ค่าเฉลี่ย
	400 rpm	500 rpm	600 rpm	
1.0 vvm	3.87	3.98	4.06	-
1.5 vvm	3.95	4.07	4.14	-
2.0 vvm	3.96	4.08	4.13	-
ความชัน (β)	0.13	0.14	0.12	0.13

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการคำนวณ

จากการหาค่า α และ β ในถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร และนำมาคำนวณหาค่าอัตราการกวน เพื่อนำมาใช้ในการผลิตในถังหมักขนาด 30 ลิตร ตามภาคผนวก จ. (2.4) ได้ค่าอัตราการกวนเท่ากับ 500 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าเท่ากับการกำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักของถังหมักขนาด 5 และ30 ลิตร มีค่าเท่ากัน ซึ่งทำการศึกษาตามการทดลองที่3.6.2.3 ดังนั้นจะใช้ผลของการทดลองที่ 3.6.2.3 แทนการกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจนของถังหมักขนาด 30 และ 5 ลิตร ที่มีค่าเท่ากัน

3.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อกำหนดเกณฑ์การขยายส่วนในถังหมักขนาด 30 ลิตร ให้คงที่

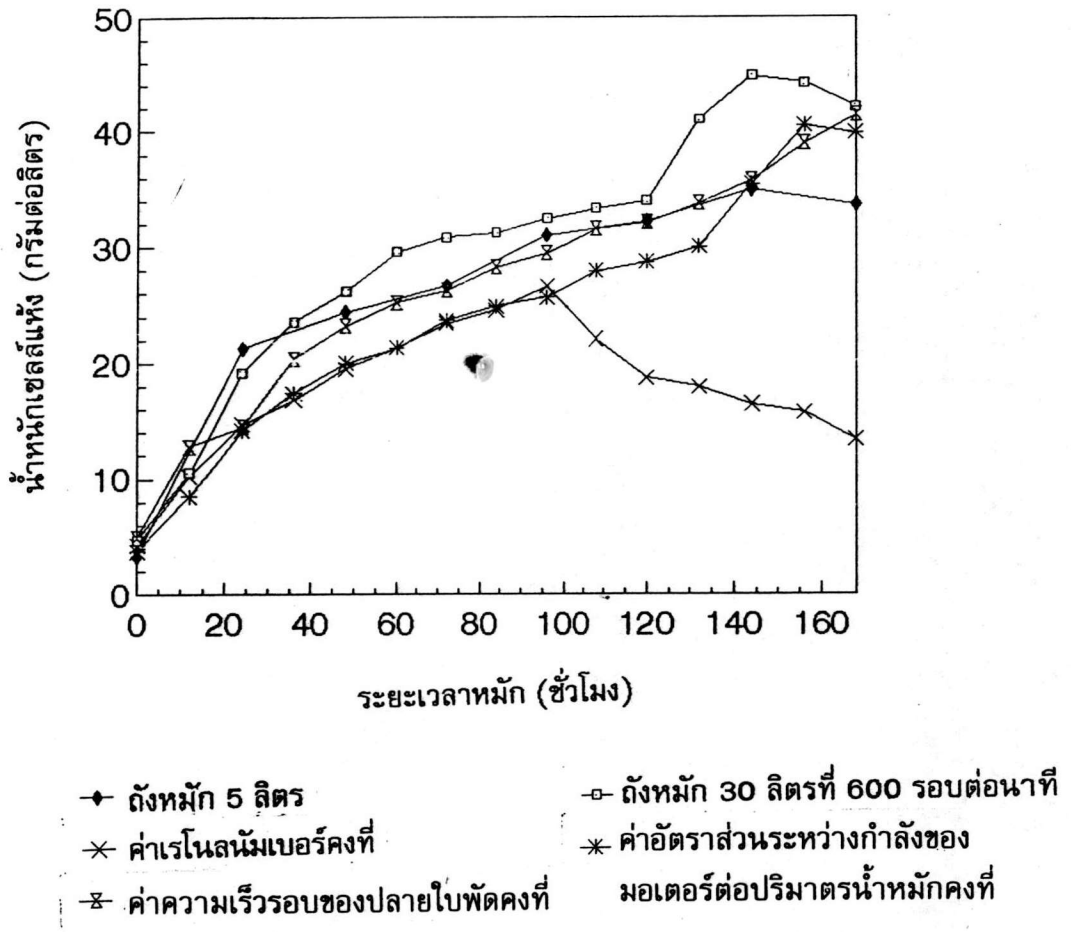
ทำการเปรียบเทียบ น้ำหนักเซลล์แห้ง น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก และ ค่าทางจลนพลศาสตร์ของการหมัก ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อกำหนดให้เกณฑ์การขยายส่วนต่างๆคงที่ และ เมื่อทำการผลิตที่อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-34 และ รูปที่ 3-11 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง พบว่า น้ำหนักเซลล์แห้งของการผลิตในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อกำหนดอัตราการกวนเท่ากับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักมีค่าคงที่ จะให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงกว่าการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ส่วนการกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์มีค่าคงที่ จะให้น้ำหนักเซลล์แห้งน้อยกว่าทุกภาวะรวมทั้งในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-34 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง(กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	4.27	4.96	3.75	4.73	3.32
12	10.27	12.81	8.50	10.56	-
24	14.75	14.52	14.18	19.19	21.30
36	16.84	20.38	17.43	23.59	-
48	19.50	23.22	20.02	26.18	24.42
60	21.36	25.26	21.35	29.62	-
72	23.42	26.28	23.73	30.86	26.67
84	24.59	28.29	24.90	31.24	-
96	26.62	29.50	25.67	32.46	31.05
108	22.08	31.60	27.93	33.38	-
120	18.76	32.12	28.73	34.00	32.22
132	17.99	33.80	30.06	41.04	-
144	16.46	35.80	35.45	44.80	34.97
156	15.78	38.96	40.53	44.20	-
168	13.42	41.40	39.88	42.10	33.66

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



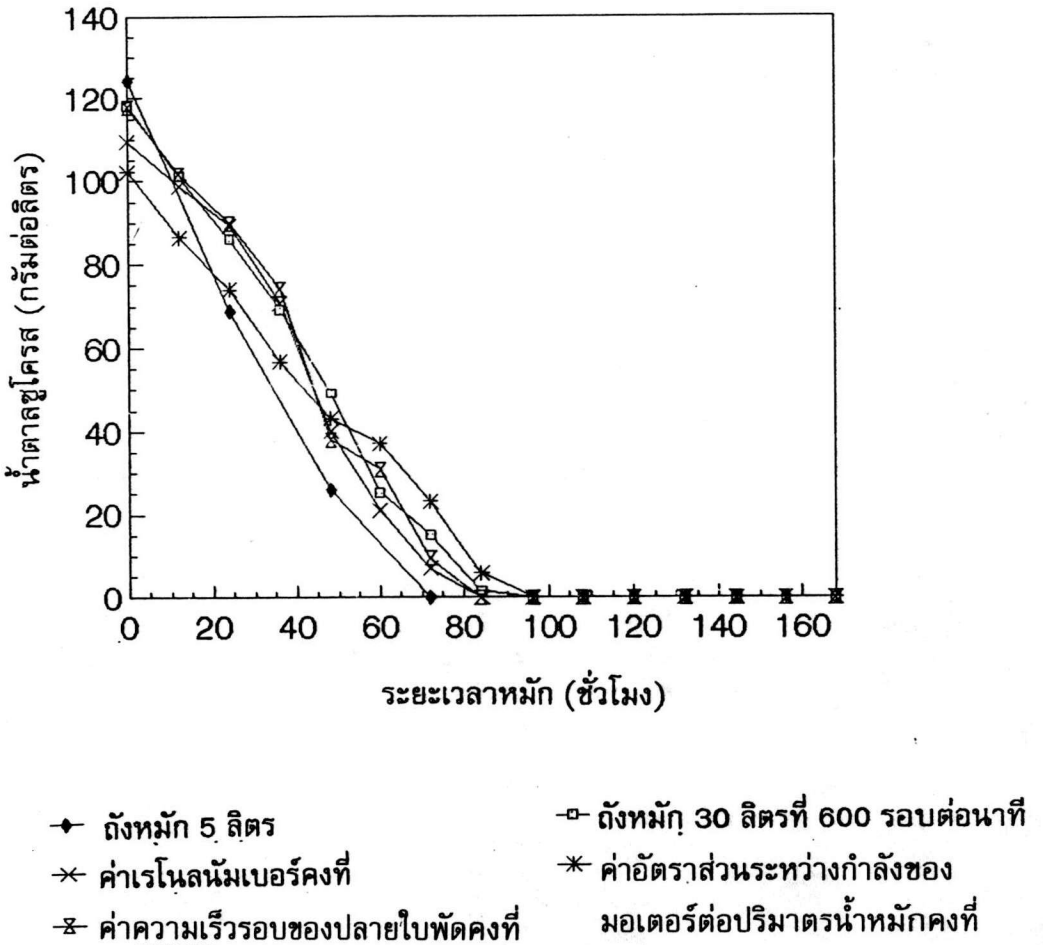
รูปที่ 3-11 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้งเมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่ กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-35 และ รูปที่ 3-12 แสดงการเปรียบเทียบ น้ำตาลซูโครส พบว่าที่ภาวะการหมักเหมือนในถังหมัก 5 ลิตร และการกำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักคงที่ ปริมาณน้ำตาลซูโครสหมดที่ชั่วโมงที่ 96 เช่นเดียวกัน ส่วนการกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์ และค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดคงที่ จะหมดที่ชั่วโมงที่ 84 และการหมักในถังหมัก 5 ลิตร หมดที่ 60 ชั่วโมง ซึ่งทุกภาวะมีการใช้น้ำตาลที่ช้ากว่าการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-35 การเปรียบเทียบน้ำตาลซูโครส (กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำตาลซูโครส (กรัมต่อลิตร)				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	109.43	109.57	102.23	107.34	106.77
12	98.76	96.21	86.38	95.62	-
24	89.17	84.31	73.91	80.51	68.76
36	70.72	74.06	56.61	69.15	-
48	39.97	37.99	43.11	49.21	25.90
60	20.98	30.95	37.11	25.38	-
72	6.97	9.40	23.18	15.11	0
84	0	0	5.94	1.68	-
96	0	0	0	0	0
108	0	0	0	0	-
120	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	-
144	0	0	0	0	0
156	0	0	0	0	-
168	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



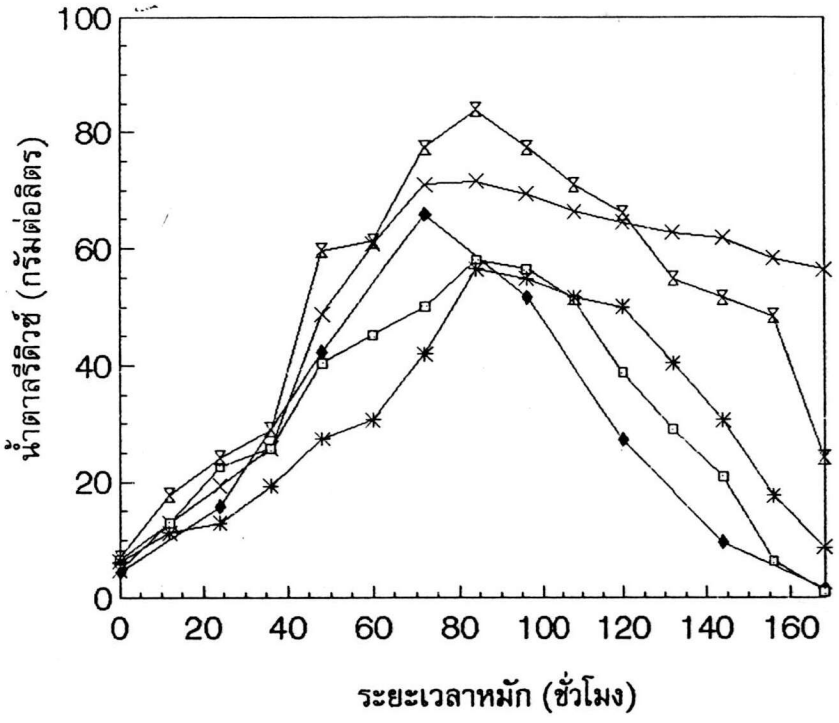
รูปที่ 3-12 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลซูโครส เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ใน ถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-36 และ รูปที่ 3-13 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ที่ภาวะการกำหนด ให้ค่าคงที่ในการขยายส่วน คือ ค่าเรโนลนัมเบอร์ ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก และ ในภาวะที่เหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลือน้อยลง คือ 56.45 , 24.19 , 8.70 , 1.13 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าที่ภาวะการหมักที่เหมือนกับถังหมักขนาด 5 ลิตร จะมีน้ำตาลรีดิวซ์เหลือใกล้เคียงกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-36 การเปรียบเทียบน้ำตาลรีดิวซ์(กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	4.84	7.09	6.29	6.61	4.50
12	12.90	17.74	11.29	12.90	-
24	19.35	24.19	12.90	22.58	15.81
36	25.81	29.03	19.35	25.81	-
48	48.71	59.68	27.42	40.32	42.26
60	60.72	61.29	30.65	45.16	-
72	70.97	77.42	41.93	50.00	65.81
84	71.57	83.87	56.45	58.06	-
96	69.35	77.42	54.84	56.45	51.61
108	66.34	70.97	51.61	51.16	-
120	64.51	66.12	49.99	38.70	27.26
132	62.75	54.83	40.32	29.03	-
144	61.90	51.61	30.65	20.96	9.64
156	58.32	48.38	17.70	6.45	-
168	56.45	24.19	8.70	1.13	1.61

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



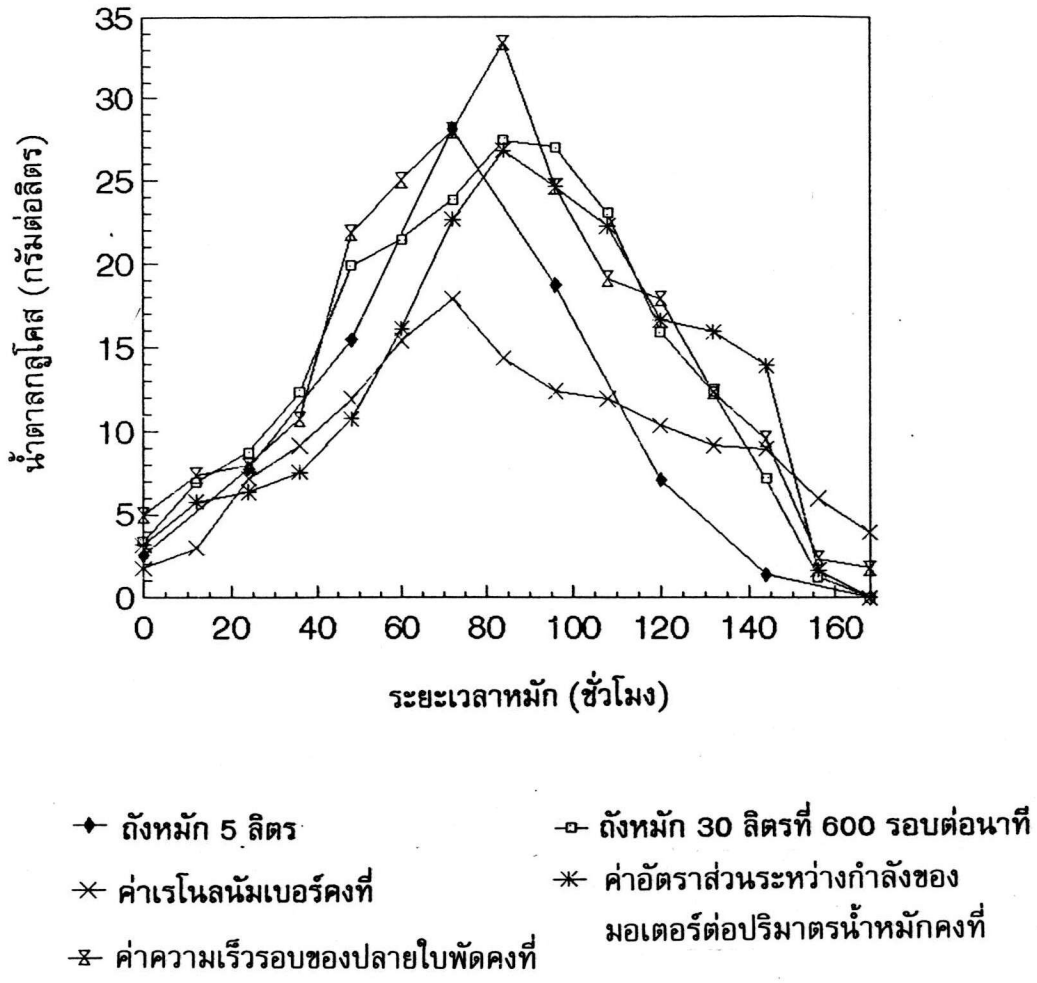
รูปที่ 3-13 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-37 และ รูปที่ 3-14 แสดงการเปรียบเทียบ น้ำตาลกลูโคส พบว่า เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักคงที่ และภาวะการหมักที่เหมือนกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะถูกใช้หมดในวันสุดท้ายของการหมัก เหมือนการหมักในถังหมัก 5 ลิตร ส่วนเมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์ และค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดคงที่ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสยังคงเหลืออยู่ คือประมาณ 3.92 และ 1.78 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3-37 การเปรียบเทียบน้ำตาลกลูโคส(กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำตาลกลูโคส (กรัมต่อลิตร)				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	1.79	4.96	3.17	3.38	2.54
12	2.98	7.35	5.76	6.95	-
24	7.15	7.94	6.36	8.74	7.76
36	9.14	10.72	7.55	12.37	-
48	11.92	21.85	10.73	19.87	15.43
60	15.37	25.03	16.09	21.46	-
72	17.88	28.02	22.65	23.84	28.10
84	14.32	33.38	26.82	27.42	-
96	12.37	24.64	24.64	27.02	18.69
108	11.92	19.07	22.25	23.05	-
120	10.33	17.88	16.58	15.90	7.08
132	9.14	12.31	15.89	12.32	-
144	8.94	9.53	13.90	7.15	1.39
156	5.96	2.38	1.68	1.25	-
168	3.92	1.78	0	0	0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



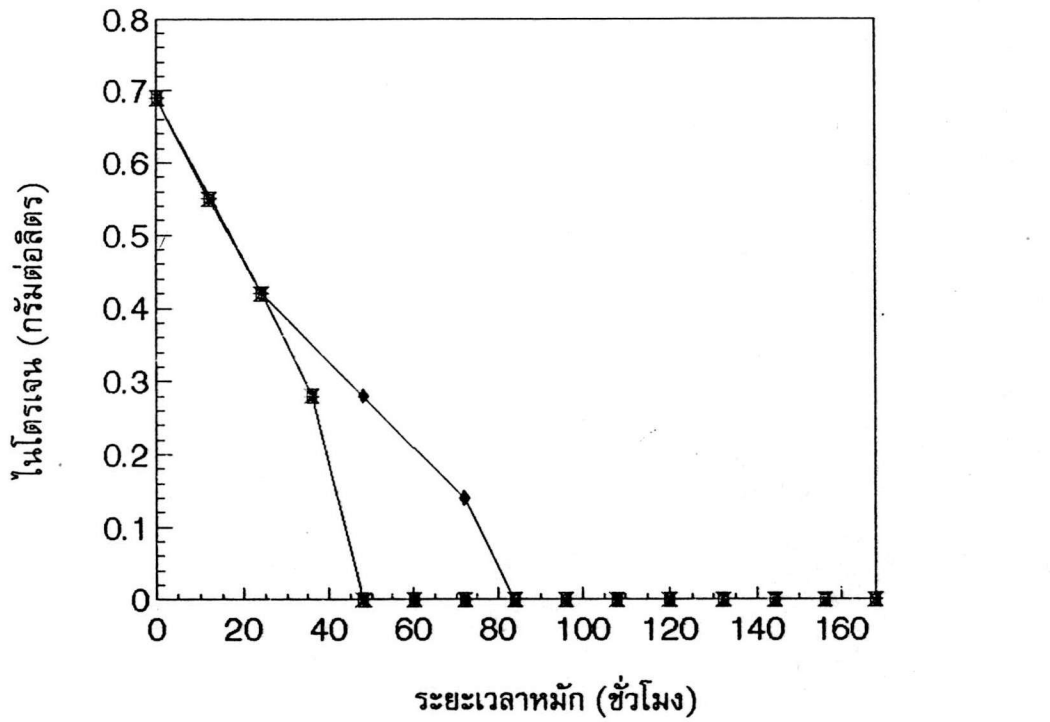
รูปที่ 3-14 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-38 และ รูปที่ 3-15 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน พบว่า เมื่อกำหนดค่าเรโนลนัมเบอร์ ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักให้คงที่ และ ภาวะที่เหมือนกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ปริมาณไนโตรเจนถูกใช้หมดที่ 48 ชั่วโมง ส่วนการหมักในถังหมัก 5 ลิตร ถูกใช้หมดที่ 84 ชั่วโมง ซึ่งการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร จะมีการใช้ไนโตรเจนได้เร็วกว่าการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-38 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
12	0.55	0.55	0.55	0.55	-
24	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
36	0.28	0.28	0.28	0.28	-
48	0	0	0	0	0.28
60	0	0	0	0	-
72	0	0	0	0	0.14
84	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0
108	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0
144	0	0	0	0	0
156	0	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



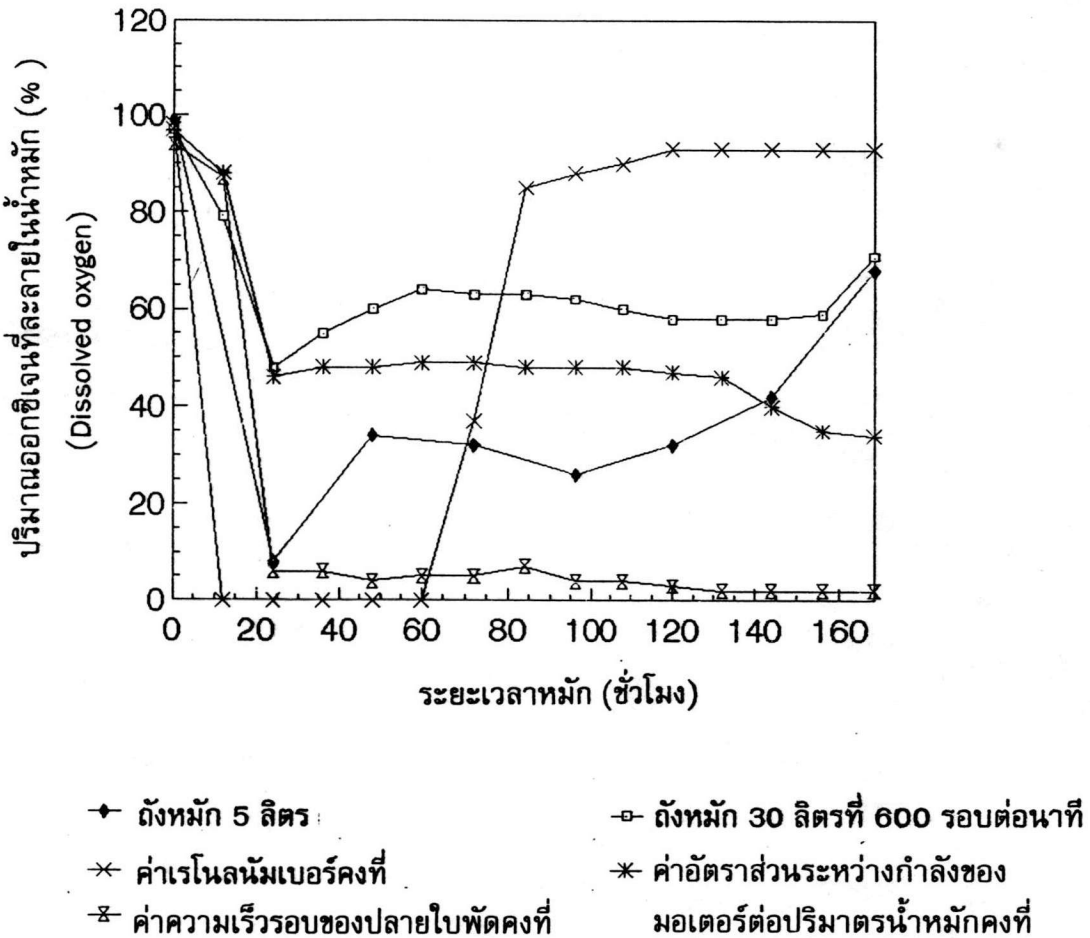
รูปที่ 3-15 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-39 และ รูปที่ 3-16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก พบว่า ที่ภาวะต่างๆปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะลดลงต่ำในชั่วโมงที่ 24 เหมือนกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร และ เพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการหมัก และเมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์คงที่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะลดลงจนเป็น 0 % ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12-60 ส่วนการกำหนดค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก และภาวะที่เหมือนกับการหมักในถังหมัก 5 ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะเพิ่มขึ้นตามลำดับโดยมีค่าสูงกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร ซึ่งอาจเป็นผลจากอัตราการกวนที่เพิ่มขึ้นของภาวะต่างๆ

ตารางที่ 3-39 การเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%) ในน้ำหมัก เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่ กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%) ในน้ำหมัก				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	98	94	97	97	99
12	0	87	88	79	-
24	0	6	46	48	8
36	0	6	48	55	-
48	0	4	48	60	34
60	0	5	49	64	-
72	37	5	49	63	32
84	85	7	49	63	-
96	88	4	48	62	26
108	90	4	48	60	-
120	93	3	47	58	32
132	93	2	46	58	-
144	93	2	40	58	42
156	93	2	35	59	-
168	93	2	34	71	68

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



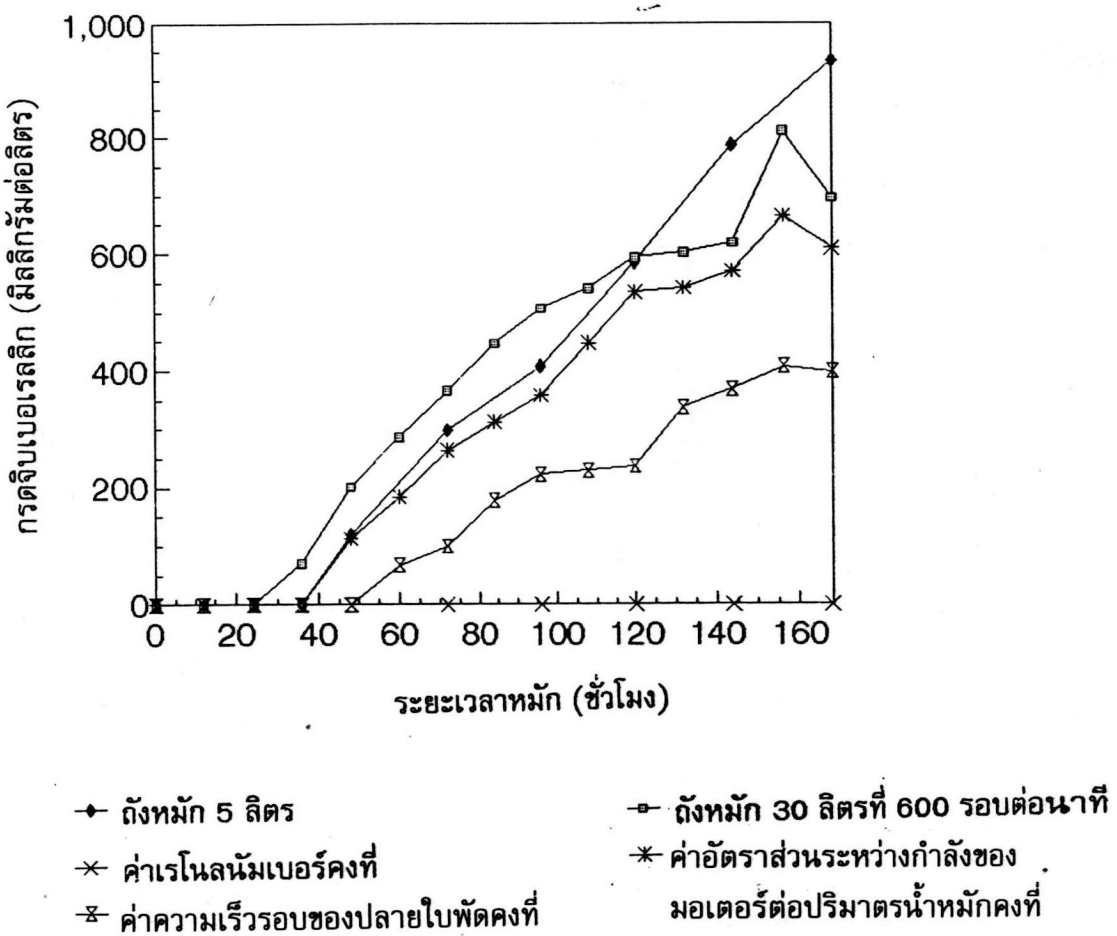
รูปที่ 3-16 การเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-40 และ รูปที่ 3-17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก พบว่า เมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์คงที่ ไม่สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ ส่วนการกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักคงที่ และภาวะที่เหมือนกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร ปริมาณกรดกรดจิบเบอเรลลิก สูงสุดสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 407.19 , 664.32 , 810.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ปริมาณสูงสุดเร็วกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร คือที่156ชั่วโมง ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก น้อยกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-40 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)ในน้ำหมักของเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนในการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
0	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
36	0	0	0	70.48	-
48	0	0	113.18	201.80	119.49
60	0	67.92	184.84	286.58	-
72	0	99.97	263.92	364.98	298.53
84	0	178.22	312.33	445.94	-
96	0	222.92	358.10	505.32	406.93
108	0	229.05	446.97	540.32	-
120	0	236.64	533.25	592.77	584.23
132	0	337.49	541.14	601.55	-
144	0	368.34	569.75	617.95	786.42
156	0	407.19	664.32	810.57	-
168	0	398.28	608.38	695.16	933.20

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3-17 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วน และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากการเปรียบเทียบทั้งหมดพบว่า เมื่อกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักคงที่ และ ภาวะที่เหมือนการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร มีความสามารถในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ ส่วนเมื่อกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์คงที่ไม่สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ เมื่อพิจารณาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักพบว่าที่ภาวะนี้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าเป็น 0 % ในช่วงเวลา 12 - 60 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยาว และ เนื่องจากปริมาณอากาศมีความสำคัญต่อการผลิต และ การเจริญเติบโตของเชื้อ ซึ่งช่วงเวลา 12-60 ชั่วโมงเป็นช่วงเวลาที่เชื้อมีความต้องการอากาศมาก หากขาดอากาศทำให้วิถีการผลิตของเชื้อเปลี่ยนไป ซึ่งไม่สามารถสร้างสารตั้งต้นของการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ทั้งยังมีการใช้น้ำตาลได้น้อยกว่าภาวะอื่นๆ เมื่อพิจารณาค่าทางจลนพลศาสตร์ตามตารางที่ 3-41 พบว่า การหมักในภาวะที่เหมือนในถังหมักขนาด 5 ลิตร ให้ค่าทางจลนพลศาสตร์ต่างๆได้ในระดับใกล้เคียงกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร มากที่สุด คือ ค่าอัตราการเจริญจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.016 ชั่วโมง$^{-1}$ ซึ่งเท่ากับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อพิจารณาอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์จะให้ค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย ในถังหมัก 5 ลิตร คือ เท่ากับ 0.67 กรัมน้ำตาลรีดิวซ์ต่อลิตรต่อชั่วโมง และ ถังหมัก 5 ลิตร มีค่าเท่ากับ 0.65 กรัมน้ำตาลรีดิวซ์ต่อลิตรต่อชั่วโมง ส่วนการใช้น้ำตาลเพื่อนำไปสร้างเซลล์($Y_{X/S}$) มีความสามารถในการสร้างเซลล์ได้สูงกว่าถังหมักขนาด 5 ลิตร คือ มีค่า 0.43 กรัมเซลล์แห้งต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์ แต่การใช้น้ำตาลเพื่อนำไปสร้างผลิตภัณฑ์($Y_{P/S}$) มีค่าต่ำกว่าถังหมักขนาด 5 ลิตร คือ มีค่า 8.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนค่าอัตราการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าน้อยกว่า คือ 5.20 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งที่ภาวะการหมักเหมือนในถังหมักขนาด 5 ลิตร จะให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงกว่าการผลิตที่ภาวะอื่นๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร โดยผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ประมาณ 810.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 156 ชั่วโมง ซึ่งการเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกนั้น ทำเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรม และ การเปลี่ยนแปลงของเชื้อขณะทำการหมักในภาวะต่างๆ

จากการเปรียบเทียบค่าต่างๆ เมื่อทำการผลิตโดยกำหนดให้ค่าเรโนลนัมเบอร์ ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมักให้คงที่รวมทั้งและการกำหนดให้สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจนคงที่ ไม่สามารถกำหนดเป็นเกณฑ์การขยายส่วนได้ และ ภาวะที่เหมือนการหมัก 5 ลิตร ในการผลิตในถังหมัก 30 ลิตร ให้ผลผลิตที่สูงกว่าภาวะการหมักทั้งหมด แต่มีปริมาณน้อยกว่าในการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ดังนั้นการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 3C ลิตร จะอาศัยภาวะการหมักเหมือนการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร และจะพิจารณาถึงปัจจัยรวมอื่นๆต่อไปเพื่อให้กรดจิบเบอเรลลิกใกล้เคียงกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร ต่อไป

ตารางที่ 3-41 การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการผลิตที่กำหนดเกณฑ์การขยายส่วนคงที่ และภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร กับการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร

ค่าทางจลนพลศาสตร์	เรโนลนัมเบอร์	ความเร็วรอบของปลายใบพัด	อัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก	ภาวะที่เหมือนการผลิตในถังหมัก 5 ลิตร	การผลิตในถังหมัก 5 ลิตร
อัตราการเจริญจำเพาะ [a] (μ) (hr^{-1})	0.019	0.013	0.015	0.016	0.016
Biomass yield [a] ($Y_{X/S}$) (g cell/g total reducing sugar)	0.50	0.39	0.40	0.43	0.31
Product yield [b] ($Y_{P/S}$) mg GA_3/g total reducing sugar)	0	8.26	11.40	8.39	11.25
Substrate consumption rate (g total reducing sugar/l/ hr)	0.34	0.44	0.58	0.67	0.65
Specific rate of substrate consumption [b] (q_S) ; (hr^{-1})	-	0.018	0.021	0.027	0.022
Productivity (mg GA_3/l/hr)	0	2.61	4.26	5.20	5.55
Specific rate of product formation [b] (q_P) ; (hr^{-1})	0	0.00015	0.00024	0.00023	0.00025

หมายเหตุ : - = ไม่สามารถหาค่าได้

a = หาค่าในช่วงที่มีเชื้อมีการเจริญ

b = หาค่าในช่วงที่เริ่มมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจนผลิตได้สูงสุด

3.8 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกโดย *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อมีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก

เนื่องจากการกำหนดเกณฑ์การขยายส่วนต่างๆในผลการทดลองที่ 3.6.2 นั้นไม่สามารถใช้กำหนดเป็นเกณฑ์ในการขยายส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก แต่ที่ภาวะการหมักเหมือนการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตรตามการทดลองที่ 3.6.1 คือใช้อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงกว่าภาวะอื่นๆ ซึ่งจะใช้ที่ภาวะนี้ทำการทดลองต่อไปโดยจะพิจารณาปัจจัยในส่วนอื่นๆเพิ่มเติม จากผลการทดลองที่ 3.6.2.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อภาวะการหมักขาดอากาศทำให้ไม่สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ แต่เมื่อมีปริมาณอากาศที่ละลายเพิ่มขึ้น ตามผลการทดลองที่ 3.6.1,3.6.2.2 และ 3.6.2.3 ทำให้เริ่มมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเพิ่มขึ้น แต่ยังมีปริมาณต่ำกว่าการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อพิจารณาจากการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร จะเห็นได้ว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีความสำคัญ โดยเฉพาะชั่วโมงที่ 24 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะลดลงต่ำสุด แล้วจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณอออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักในปริมาณที่ต่ำนี้มีค่าเท่ากับ 8 % ที่ปริมาณนี้น่าจะเป็นค่าที่เพียงพอต่อความต้องการของเชื้อที่ใช้ในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเนื่องจากเมื่อทำการเลี้ยงต่อไป ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะสูงขึ้นจนสิ้นสุดการหมัก ตามการทดลองที่ 3.1 ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10 % ตลอดเวลาจนสิ้นสุดการหมัก เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเริ่มตกลงในชั่วโมงที่ 24 โดยควบคุมอัตราการกวนเริ่มต้นเป็น 600 รอบต่อนาที และ อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ตามภาวะการเลี้ยงที่กำหนดให้เหมือนการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร และเป็นภาวะที่ทำให้มีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกดีที่สุด โดยที่เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลง จึงจะควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้มีค่าเท่ากับ 10 % (การควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักจะควบคุมโดยการควบคุมอัตราการกวนและ อัตราการให้อากาศเป็นไปโดยอัตโนมัติ)ตามวิธีการทดลองที่ 2.5.8

จากตารางที่ 3-42 ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่ 144 ชั่วโมง มีปริมาณ 46.56 กรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 48 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลซูโครสหมดที่ 84 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลือในวันสุดท้ายของการหมักเท่ากับ 14.51 กรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีการใช้หมด จากการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าเป็น 0 % ที่ 144 ชั่วโมง และ มีอัตราการกวนเพิ่มขึ้นจนถึง 660 รอบต่อนาที และ อัตราการให้อากาศเพิ่มขึ้นถึง 2 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ซึ่งที่อัตราการกวนเริ่มสูงขึ้นนี้อาจทำความเสียหายให้เกิดขึ้นกับถังหมักได้ และเนื่องจากถังหมักขนาด 30 ลิตรมีความจำกัดของอัตราการกวนที่ประมาณ 700 รอบต่อนาที

ดังนั้นเมื่อความเร็วรอบสูงจนถึง 660 รอบต่อนาที จึงมีความจำเป็นที่ไม่สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้มีปริมาตร 10 % ได้ แต่ทำการหมักโดยกำหนดอัตราการกวนเป็น 660 รอบต่อนาที แทนและทำการหมักต่อจนสิ้นสุดการทดลองทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักในช่วง 144-168 ชั่วโมงจึงมีค่าเป็น 0 % ส่วนปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกเริ่มมีการผลิตที่ 48 ชั่วโมงมีปริมาณ 70.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกสูงสุดที่ 156 ชั่วโมงมีปริมาณ 1162.37 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเมื่อการหมักสิ้นสุดลง ซึ่งจะเห็นว่าการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้มีปริมาณ 10 % หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้มีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกำหนดเกณฑ์การขยายส่วนตามผลการทดลองที่ 3.6.2 และ ผลการทดลองที่ 3.6.1 แต่เนื่องจากการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก จะทำการควบคุมอัตราการกวน และ อัตราการให้อากาศเป็นไปโดยอัตโนมัติ ทำให้อัตราการกวนสูงขึ้น จนอาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องได้ ซึ่งต้องระวังในส่วนนี้ ดังนั้นในการทดลองต่อไป จะทำการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดยการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้มีค่าประมาณ 10 % หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตลอดการหมัก และปรับภาวะการผลิตให้เหมาะสมมากขึ้น

ตารางที่ 3-42 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน อัตราการให้อากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และ ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 30 ลิตร หลังจากเลี้ยงครบ 24 ชั่วโมง ควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก โดยควบคุมอัตราการให้อากาศ และ อัตราการกวน

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	อัตราการให้อากาศ (vvm)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร).
0	6.34	5.43	3.87	104.65	3.18	0.69	600	1	98	-
12	4.01	10.31	8.06	95.03	6.36	0.55	600	1	73	-
24	3.40	17.01	12.90	84.77	7.55	0.42	475	2	8	-
36	3.35	20.08	27.42	69.45	13.51	0.28	475	2	10	-
48	3.27	20.96	43.55	43.27	20.66	0	475	2	10	70.88
60	3.22	22.23	54.84	29.26	29.81	0	475	2	10	240.65
72	3.19	24.25	74.19	7.20	40.53	0	575	2	10	281.35
84	3.21	32.67	79.03	0	44.70	0	530	2	10	409.91
96	3.20	34.90	75.81	0	33.78	0	530	2	10	457.26
108	3.18	35.73	72.58	0	31.79	0	530	2	10	490.98
120	3.16	44.90	66.13	0	16.89	0	560	2	10	579.77
132	3.15	46.22	58.06	0	15.90	0	600	2	10	582.30
144	3.14	46.56	38.71	0	8.54	0	660	2	0	996.14
156	3.14	42.72	33.87	0	4.77	0	660	2	0	1162.37
168	3.13	42.34	14.51	0	0	0	660	2	0	769.00

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

: ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักตกลงเป็น 0 % ในชั่วโมงที่144 ถึง 168 อาจเนื่องจากหัววัดปริมาณออกซิเจนถูกเซลล์ห่อหุ้มหมดทำให้สูญเสียความสามารถในการอ่านค่าในถังหมักไปชั่วคราว และเมื่อเซลล์หลุดออกจะสามารถอ่านค่าได้ตามปกติ

3.9 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย *G. fujukuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อมีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก โดยมีการแปรอัตราการให้อากาศ

เนื่องจากผลการทดลองที่ 3.8 เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักให้มีปริมาตรเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงขึ้น แต่เนื่องจากการใช้อัตราการกวนเริ่มต้นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที นั้นทำให้เกิดสภาพที่รุนแรง และ การให้อากาศมีค่าสูงทำให้มีการระเหยของน้ำหมักมาก ดังนั้นการทดลองนี้จะทำการหมักโดยลดอัตราการกวนเริ่มต้นลง โดยใช้ประมาณ 400 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นอัตราการกวนที่คำนวณได้จากการกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดคงที่ ซึ่งสามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ตามผลการทดลองที่ 3.6.2.2 และ เป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการกวน ซึ่งการทดลองจะทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเท่ากับ 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการควบคุมอัตราการให้อากาศเป็น 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ซึ่งจะควบคุมอัตราการกวนแบบอัตโนมัติ ตามวิธีการทดลองที่ 2.5.8

จากตารางที่ 3-43 และ 3-44 ที่ภาวะให้อัตราการให้อากาศ 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที มีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกสูงประมาณ 981.20 และ 1118.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ 156 ชั่วโมง โดยมีปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่ 156 ชั่วโมงปริมาณ 41.47 และ 39.88 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 36 ชั่วโมงเหมือนกัน ส่วนปริมาณน้ำตาลมีการใช้หมดทั้ง 2 ภาวะ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อัตราการให้อากาศสูงขึ้นจะทำให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเพิ่มขึ้น และมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมากกว่าเล็กน้อย

ตารางที่ 3-43 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณ 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตารีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร).
0	6.50	3.72	8.06	108.60	4.77	0.69	400	96	-
12	5.11	11.39	24.19	89.76	10.13	0.42	400	34	-
24	4.44	18.22	28.23	80.29	11.52	0.14	465	10	-
36	4.36	25.51	37.09	52.440	15.10	0	497	10	69.06
48	4.19	26.56	48.39	38.43	20.66	0	479	10	192.56
60	4.23	28.86	77.42	0	29.20	0	504	10	291.61
72	4.32	33.74	62.90	0	26.82	0	511	10	319.13
84	4.17	34.34	51.61	0	22.06	0	536	10	499.88
96	4.00	35.10	50.00	0	17.88	0	544	10	586.87
108	3.92	38.46	32.26	0	8.35	0	543	10	684.53
120	3.88	38.96	24.19	0	3.56	0	545	10	706.05
132	3.69	39.05	12.90	0	0.39	0	465	10	784.34
144	3.94	39.35	3.23	0	0	0	444	10	893.86
156	3.71	39.88	1.61	0	0	0	360	10	981.20
168	3.59	39.36	0	0	0	0	350	10	784.86

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3-44 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณ 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.31	4.72	4.68	109.27	3.38	0.69	400	97	-
12	4.46	10.91	6.45	91.22	4.97	0.42	400	35	-
24	3.96	17.41	9.68	82.56	5.17	0.14	427	10	-
36	3.83	22.21	20.97	60.42	10.33	0	409	10	83.00
48	3.69	24.14	27.42	40.41	11.92	0	407	10	192.55
60	3.67	25.72	43.55	21.56	18.48	0	423	10	296.48
72	3.63	28.38	45.16	9.10	25.04	0	449	10	372.93
84	3.67	30.88	53.23	0	26.23	0	446	10	479.64
96	3.54	31.23	45.16	0	21.46	0	440	10	580.38
108	3.55	34.75	37.10	0	13.51	0	470	10	650.01
120	3.45	35.04	29.20	0	7.55	0	480	10	767.76
132	3.84	37.74	19.35	0	4.17	0	491	10	834.35
144	3.53	38.99	8.06	0	0	0	457	10	870.37
156	3.51	41.47	1.61	0	0	0	400	10	1118.80
168	3.45	41.43	0	0	0	0	400	10	1095.84

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

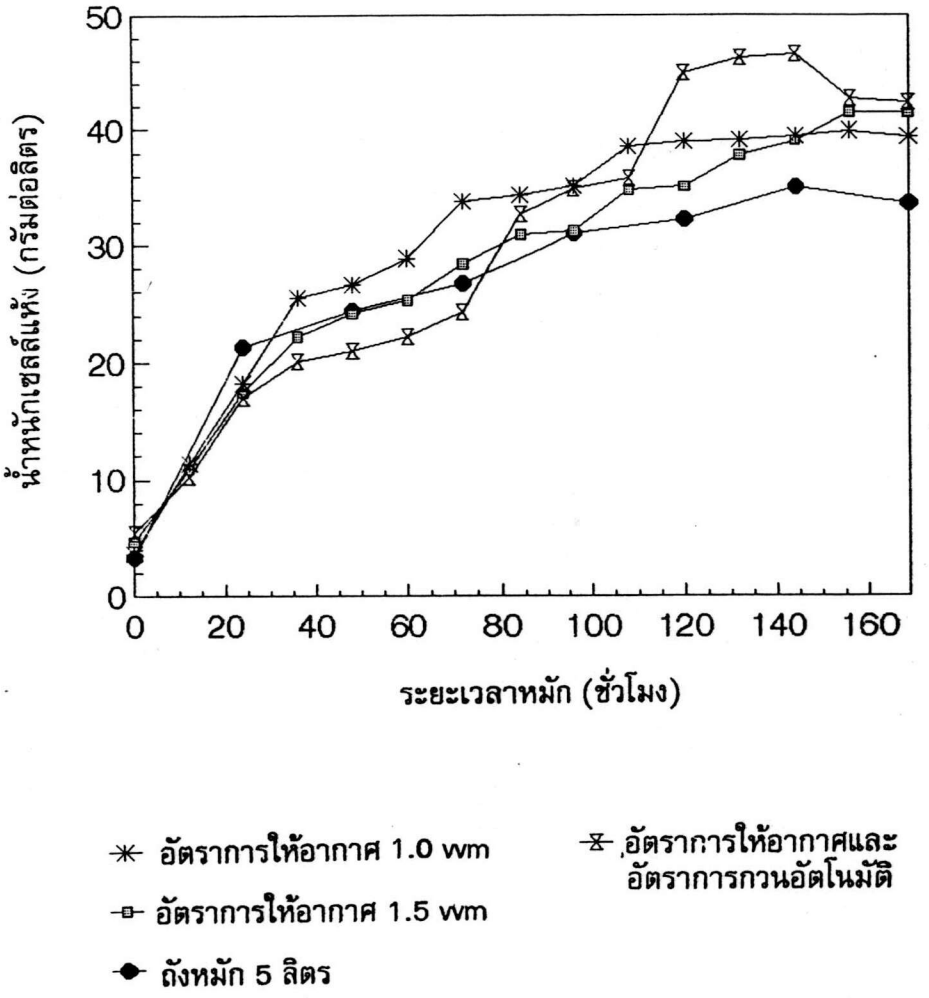
3.10 การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิ่มตัวที่ภาวะต่าง ๆ ในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก และ ค่าทางจลนพลศาสตร์ในถังหมักขนาด 30 ลิตร และถังหมักขนาด 5 ลิตร จากตารางที่ 3-45 และรูปที่ 3-18 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง พบว่า ที่อัตราการให้อากาศ 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที มีปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 39.88 และ 41.47 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 156 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนในภาวะที่ควบคุมอัตราการกวน และ อัตราการให้อากาศอัตโนมัติ มีค่าประมาณ 46.56 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 144 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยมีค่าปริมาณ 34.97 กรัมต่อลิตร ซึ่งทั้ง 3 ภาวะให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดมากกว่าถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-45 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดย ควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			
	อัตราการกวน และอัตราการให้อากาศถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ	อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 vvm	อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
0	5.43	3.72	4.72	3.32
12	10.31	11.39	10.91	-
24	17.01	18.22	17.41	21.30
36	20.08	25.51	22.21	-
48	20.96	26.56	24.14	24.42
60	22.23	28.86	25.27	-
72	24.25	33.74	28.38	26.67
84	32.67	34.34	30.88	-
96	34.90	35.10	31.23	31.05
108	35.73	38.46	34.75	-
120	44.90	38.96	35.04	32.22
132	46.22	39.05	37.74	-
144	46.56	39.35	38.99	34.97
156	42.72	39.88	41.47	-
168	42.34	39.36	41.43	33.66

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



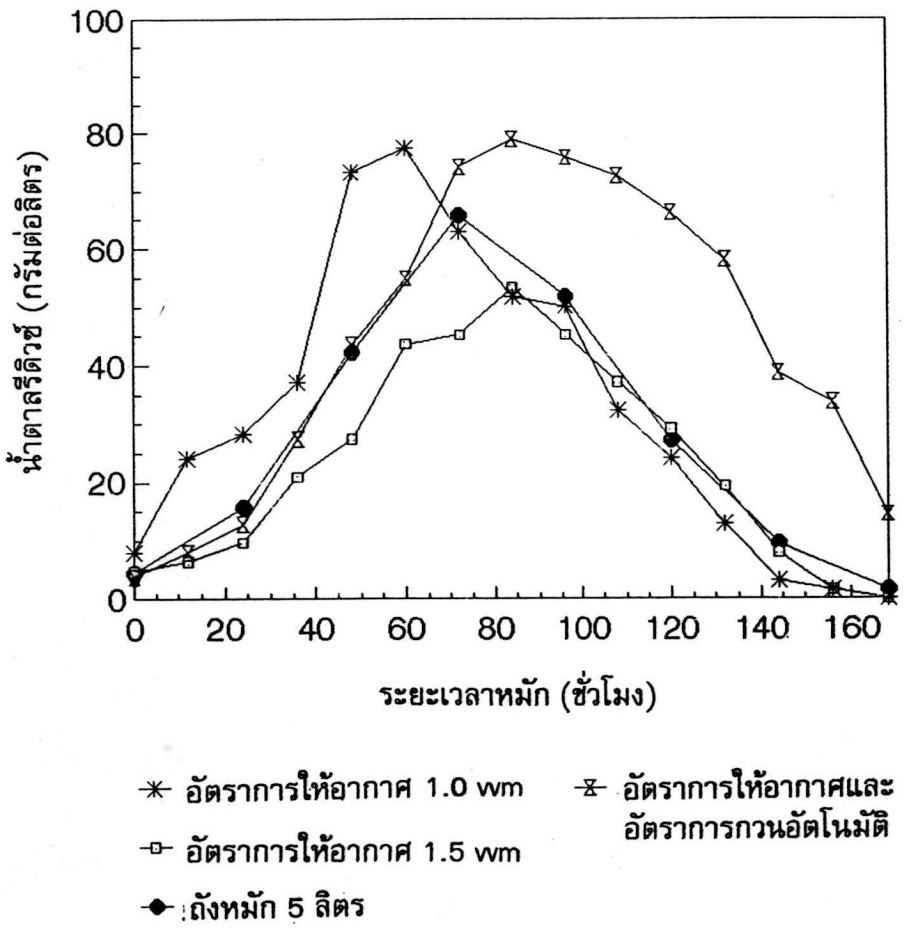
รูปที่ 3-18 การเปรียบเทียบน้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-46 และ รูปที่ 3-19 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ภาวะควบคุมอัตราการกวนและอัตราการให้อากาศโดยอัตโนมัติ มีปริมาณน้ำตาลเหลือประมาณ 14.51 กรัมต่อลิตร มากกว่าทุกภาวะรวมทั้งถังหมักขนาด 5 ลิตร ส่วนที่ภาวะการให้อากาศ 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ปริมาณน้ำตาลถูกใช้หมด โดยที่ในถังหมักขนาด 5 ลิตรมีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณ 1.61 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3-46 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)			
	อัตราการกวน และอัตราการให้อากาศถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ	อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 vvm	อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
0	3.87	8.06	4.68	4.50
12	8.06	24.19	6.45	-
24	12.90	28.23	9.68	15.81
36	27.42	37.09	20.97	-
48	43.55	73.25	27.42	42.26
60	54.84	77.42	43.55	-
72	74.19	62.90	45.16	65.81
84	79.03	51.61	53.23	-
96	75.81	50.00	45.16	51.61
108	72.58	32.26	37.10	-
120	66.13	24.19	29.20	27.26
132	58.06	12.90	19.35	-
144	38.71	3.23	8.06	9.64
156	33.87	1.61	1.61	-
168	14.51	0	0	1.61

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



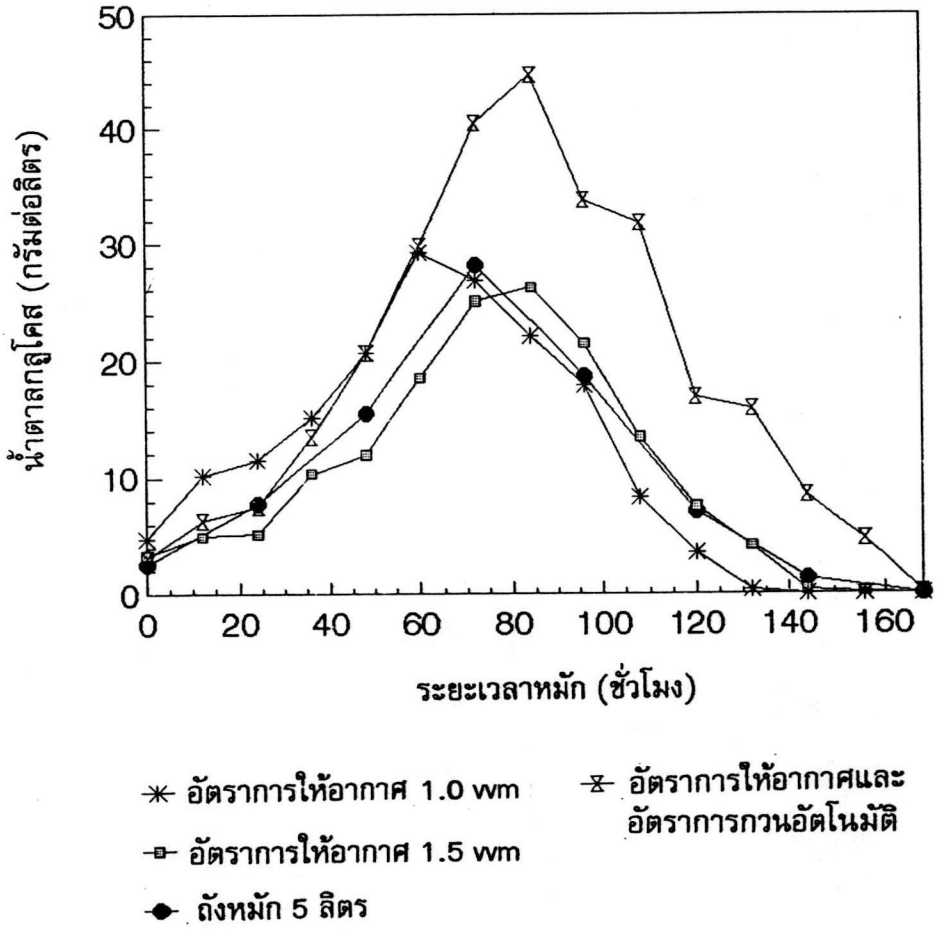
รูปที่ 3-19 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-47 และ รูปที่ 3-20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส พบว่าที่ภาวะควบคุมอัตราการกวนและอัตราการให้อากาศโดยอัตโนมัติ มีการใช้น้ำตาลหมดในชั่วโมงที่ 168 เช่นเดียวกับถังหมักขนาด 5 ลิตร ส่วนที่ภาวะการให้อากาศ 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที มีการใช้น้ำตาลหมดเร็วกว่าการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-47 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับ การหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำตาลกลูโคส (กรัมต่อลิตร)			
	อัตราการกวน และ อัตราการให้อากาศ ถูกควบคุมโดย อัตโนมัติ	อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1.0 vvm	อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
0	3.18	4.77	3.38	2.54
12	6.36	10.13	4.97	-
24	7.55	11.52	5.17	7.76
36	13.51	15.10	10.33	-
48	20.66	20.66	11.92	15.43
60	29.81	29.20	18.48	-
72	40.53	26.82	25.04	28.10
84	44.70	22.06	26.23	-
96	33.78	17.88	21.46	18.69
108	31.79	8.35	13.51	-
120	16.89	3.56	7.55	7.08
132	15.90	0.39	4.17	-
144	8.54	0	0.40	1.39
156	4.77	0	0	-
168	0	0	0	0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



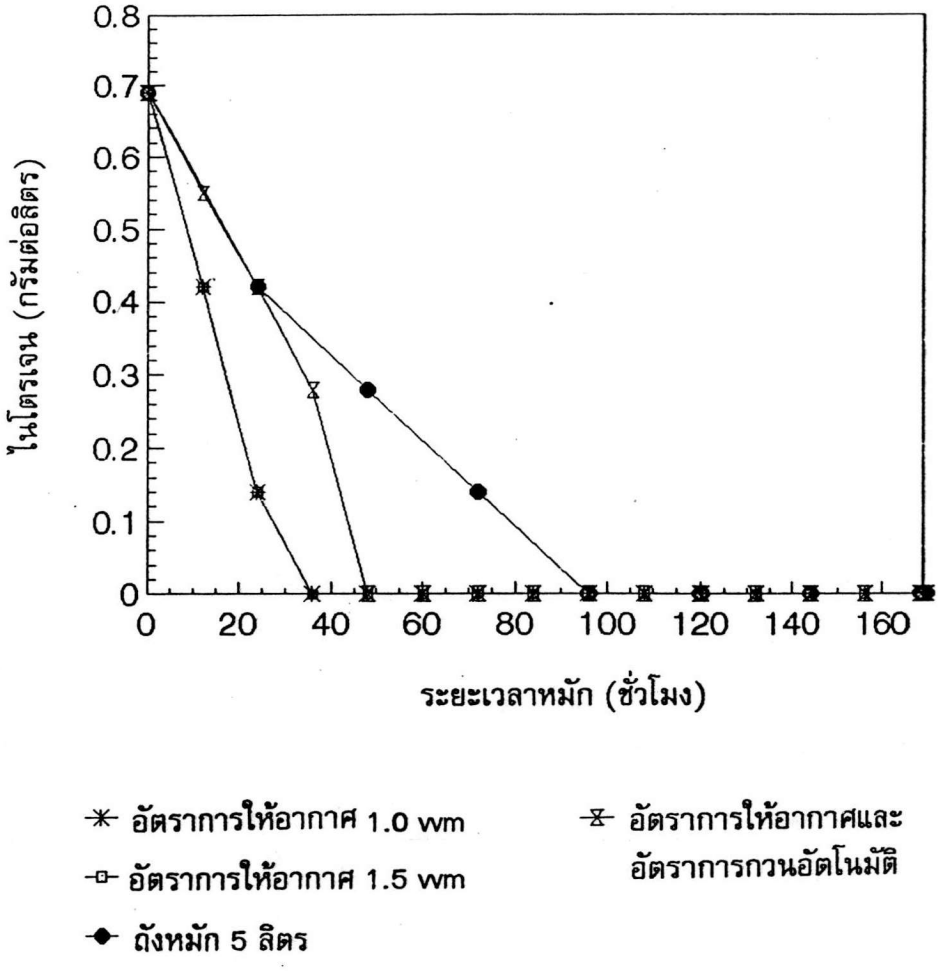
รูปที่ 3-20 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

จากตารางที่ 3-48 และ รูปที่ 3-21 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน พบว่าที่ภาวะควบคุมอัตราการกวนและอัตราการให้อากาศโดยอัตโนมัติ ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 48 ชั่วโมง ภาวะการให้อากาศ 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 36 ชั่วโมง ซึ่งมีการใช้ไนโตรเจนหมดเร็วกว่าในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ตารางที่ 3-48 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)			
	อัตราการกวน และอัตราการให้อากาศถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ	อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 vvm	อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
0	0.69	0.69	0.69	0.69
12	0.55	0.42	0.42	-
24	0.42	0.14	0.14	0.42
36	0.28	0	0	-
48	0	0	0	0.28
60	0	0	0	-
72	0	0	0	0.14
84	0	0	0	0
96	0	0	0	0
108	0	0	0	0
120	0	0	0	0
132	0	0	0	0
144	0	0	0	0
156	0	0	0	0
168	0	0	0	0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3-21 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน เมื่อเลี้ยงเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

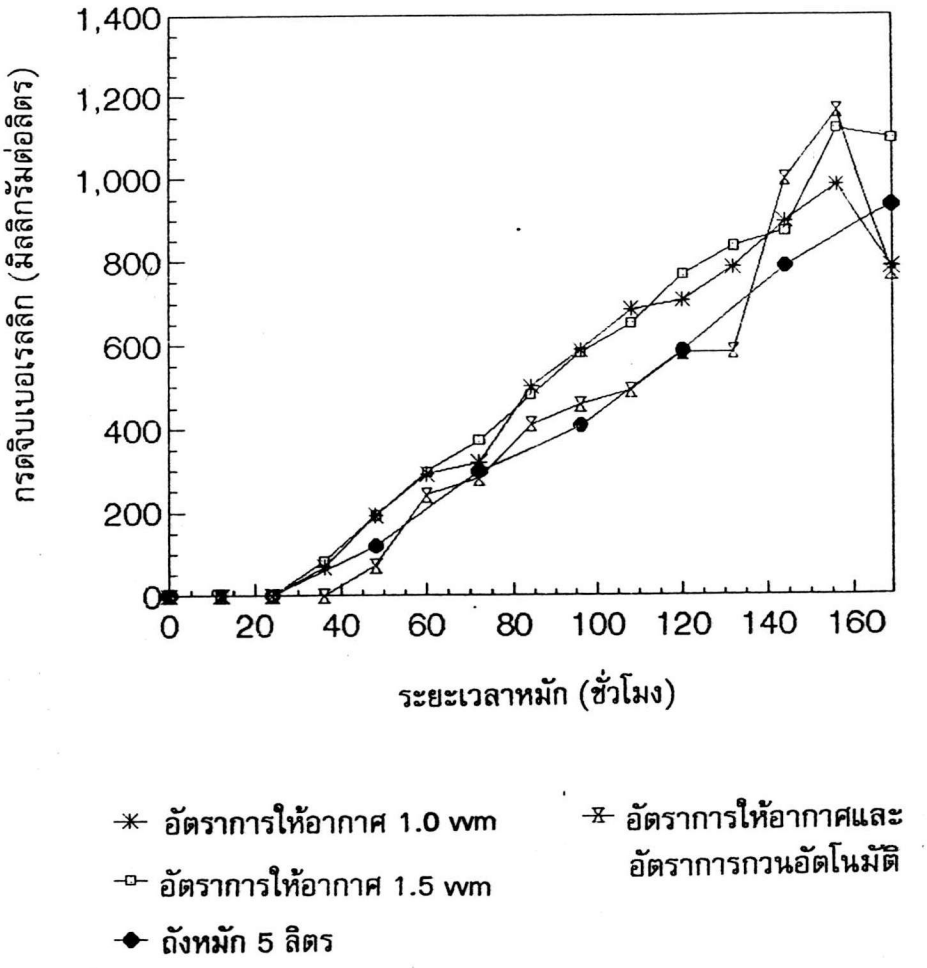
จากตารางที่ 3-49 และ รูปที่ 3-22 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก พบว่าที่ภาวะควบคุมอัตราการกวนและอัตราการให้อากาศโดยอัตโนมัติ ภาวะการให้อากาศ 1 และ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที มีปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกใกล้เคียงกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 1162.37 , 981.20 , 1118.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ 156 ชั่วโมง โดยที่ถังหมักขนาด 5 ลิตร เมื่อทำการหมัก 7 วัน ได้ผลผลิตประมาณ 933.20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3-49 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อทำการหมักโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆในถังหมักขนาด 30 ลิตร กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

	ปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกวน และ อัตราการให้อากาศ ถูกควบคุมโดย อัตโนมัติ	อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1.0 vvm	อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
0	-	-	-	-
12	-	-	-	-
24	-	-	-	-
36	cd	69.06	83.00	-
48	70.88	192.56	192.55	119.49
60	240.65	291.61	296.48	-
72	281.35	319.13	372.93	295.53
84	409.91	499.88	479.64	-
96	457.26	586.87	580.38	406.93
108	490.98	684.53	650.01	-
120	579.77	706.05	767.76	584.23
132	582.30	784.34	834.35	-
144	996.14	893.86	870.37	786.42
156	1162.37	981.20	1118.80	-
168	769.00	784.86	1095.84	933.20

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

cd หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้



รูปที่ 3-22 การเปรียบเทียบปริมาณกรดจิบเบอเรลลิก ของเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 30 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่า 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ภาวะต่างๆ กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์ตามตารางที่ 3-50 ของทั้ง 3 ภาวะ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดพบว่าค่าทางจลนพลศาสตร์มีค่าไม่ต่างกันมากนัก จึงใช้เป็นแนวทางแสดงถึงการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในภาวะต่างๆเมื่อสิ้นสุดการผลิต

ตารางที่ 3-50 การเปรียบเทียบค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่ภาวะต่างๆที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ค่าทางจลนพลศาสตร์	อัตราการกวนและอัตราการให้อากาศถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ	อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm	อัตราการให้อากาศ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) (hr^{-1})	0.015	0.015	0.014	0.016
Biomass yield ($Y_{X/S}$) (g cell/g total reducing sugar)	0.60	0.31	0.33	0.31
Product yield ($Y_{P/S}$) (mg GA_3/g total reducing sugar)	18.45	9.18	12.34	11.25
Substrate consumption rate (g total reducing sugar /l/ hr)	0.48	0.74	0.72	0.65
Specific rate of substrate consumption (q_S) ; (hr^{-1})	0.018	0.027	0.025	0.022
Productivity (mg GA_3/l/hr)	7.45	6.29	7.17	5.55
Specific rate of product formation (q_P) ; (hr^{-1})	0.00034	0.00025	0.00031	0.00025

จากการเปรียบเทียบทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ที่ภาวะต่างๆของการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าเป็น 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมงในถังหมักขนาด 30 ลิตร ทำให้สามารถผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับการผลิตในถังหมักขนาด 5 ลิตร และ เมื่อพิจารณาค่าทางจลนพลศาสตร์พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับขยายส่วนมีความจำเป็นต้องพิจารณาค่าทางจลนพลศาสตร์ของกาเรผลิตให้มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นตัวชี้บ่งถึงพฤติกรรมของการหมักที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากเป็นการยากที่จะทราบถึงลักษณะและพฤติกรรมต่างๆขณะการหมักได้ชัดเจนและเกณฑ์ต่างๆที่ใช้สำหรับการขยายส่วนการผลิตที่กำหนดขึ้นต้องมีการนำมาใช้รวมกับปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดของการผลิต ซึ่งการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในระดับขยายส่วนในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดให้มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าประมาณ 10 % ตลอดการทดลอง โดยการควบคุมอัตราการให้อากาศประมาณ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำ

หมักต่อนาที และใช้อัตราการกวนเริ่มต้น 400 รอบต่อนาที (ได้จากการกำหนดให้ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัดมีค่าคงที่) ดังนั้นการทดลองต่อไปในถังหมักขนาด 300 ลิตรจะใช้ภาวะดังข้างต้นในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก

3.11 การหาอายุของหัวเชื้อในถังหมักขนาด 30 ลิตร สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 ลิตร ของเชื้อ *G. fujikuroi* N9-34

สำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 ลิตร มีความจำเป็นต้องหาอายุของหัวเชื้อในถังหมักขนาด 30 ลิตร ให้เหมาะสม ซึ่งจากตารางที่ 3-51 พบว่าอายุหัวเชื้อที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 12 ชั่วโมง ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดประมาณ 0.113 ชั่วโมง$^{-1}$ มีน้ำหนักเซลล์แห้งประมาณ 8.46 กรัมต่อลิตร

ดังนั้นการทดลองการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 ลิตร จะใช้หัวเชื้อในถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่มีอายุ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-51 น้ำหนักเซลล์แห้ง และ ค่าอัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อ *G. fujukuroi* N9-34 ในอาหารเลี้ยงหัวเชื้อในถังหมักขนาด 30 ลิตร ในช่วงเวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญจำเพาะ (μ ; ชั่วโมง$^{-1}$)
0	2.17	-
12	8.46	0.113
24	24.19	0.100
36	36.10	0.078
48	38.54	0.060
60	27.98	-0.005
72	25.86	-0.001

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้ เนื่องจากเป็นค่าอ้างอิง

3.12 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดยเชื้อ *Gibberella fujikurol* N9-34 ในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 %

จากการทดลองที่ 3.10 เมื่อทำการเปรียบเทียบภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก พบว่าภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในถังหมักขนาด 30 ลิตร คือ การควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าประมาณ 10 % ตลอดการหมัก หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีอัตราการกวนเริ่มต้น 400 รอบต่อนาที (ภาวะที่กำหนดให้ความเร็วรอบของปลายใบพัดคงที่) และอัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ดังนั้นการทดลองในถังหมักขนาด 300 ลิตร จะทำการผลิตโดยใช้ภาวะข้างต้น แต่อัตราการกวนเริ่มต้นจะทำการคำนวณใหม่ เมื่อกำหนดให้ความเร็วรอบของปลายใบพัดคงที่ ซึ่งได้ตามภาคผนวก จ. 2.3 คือ 250 รอบต่อนาที

จากตารางที่ 3-52 และ 3-44 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 และ 30 ลิตร ที่ภาวะการหมักเดียวกัน พบว่าถังหมักขนาด 300 ลิตร มีการใช้น้ำตาลหมดเร็วกว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร แต่มีปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งไม่แตกต่างกันมาก คือ ถังหมักขนาด 300 ลิตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 40.07 กรัมต่อลิตร ที่ 168 ชั่วโมง ส่วนถังหมักขนาด 30 ลิตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 41.47 กรัมต่อลิตร ที่ 156 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 36 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน ส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 ลิตร มีการผลิตช้ากว่า คือเริ่มผลิตที่ 60 ชั่วโมง และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกประมาณ 587.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้อยกว่าการผลิตในถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่ได้กรดจิบเบอเรลลิกประมาณ 1095.84 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมัก และเมื่อพิจารณา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักพบว่ามีการลดลงเร็วกว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร โดยเมื่อทำการเลี้ยงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักลดลงเป็น 2 % ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าที่ควบคุมได้คือ 10 % จึงทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนเป็น 10 % ก่อนถึงชั่วโมงที่ 24 ซึ่งในถังหมักขนาด 30 ลิตร จะทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อทำการเลี้ยงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อดูจากกระดาษบันทึกตามรูปที่ 3-23 จะเห็นว่าที่ชั่วโมงที่ 18 การบันทึกค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเริ่มไม่คงที่และมีปริมาณลดลงจนเป็น 0 % จนถึงชั่วโมงที่ 44 ซึ่งเกิดจากน้ำหมักเริ่มมีความหนืดสูงขึ้น จากนั้นจะคงที่เป็น 10 % จนสิ้นสุดการหมัก ซึ่งช่วงที่ลดลงเป็น 0 % อาจทำให้ขาดอากาศและมีผลต่อการผลิตสารตั้งต้นสำหรับการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ เมื่อพิจารณาค่าจลนพลศาสตร์ตามตารางที่ 3-54 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ และ อัตราการใช้น้ำตาล มีค่าเท่ากับถังหมักขนาด 5 ลิตร คือ 0.016 ชั่วโมง$^{-1}$ และ 0.65 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง แต่การใช้น้ำตาลเพื่อสร้างกรดจิบเบอเรลลิกมีค่าต่ำคือ 9.10 มิลลิกรัมGA_3ต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งให้การผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ต่ำ

ดั้งนั้นเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักขณะที่มีความหนืดสูง จะทำการปรับการควบคุมออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20 % เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนได้ดีขึ้น

ตารางที่ 3-52 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีปริมาณ 10 % อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.55	2.69	9.68	98.84	6.76	0.83	250	91	-
12	5.10	10.00	24.19	68.05	19.47	0.42	268	2	-
24	4.76	14.47	46.77	23.77	29.41	0.28	320	nd	-
36	4.58	18.51	61.29	6.54	35.77	0	300	nd	cd
48	4.44	21.36	64.52	0	40.53	0	343	10	cd
60	4.44	23.75	51.61	0	29.81	0	345	10	72.09
72	4.35	25.50	46.77	0	25.04	0	386	9	125.03
84	4.39	28.28	41.74	0	19.67	0	367	10	164.09
96	4.58	29.32	32.26	0	12.32	0	346	10	220.80
108	4.52	33.12	22.58	0	8.96	0	351	11	289.69
120	4.11	35.66	17.74	0	0.79	0	354	11	359.03
132	4.11	36.82	11.29	0	0	0	339	10	373.94
144	4.05	37.59	0	0	0	0	326	10	422.67
156	4.15	38.56	0	0	0	0	289	10	543.87
168	4.10	40.07	0	0	0	0	318	10	587.31

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

nd = ทำการบันทึกค่าไม่ได้

cd = ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้

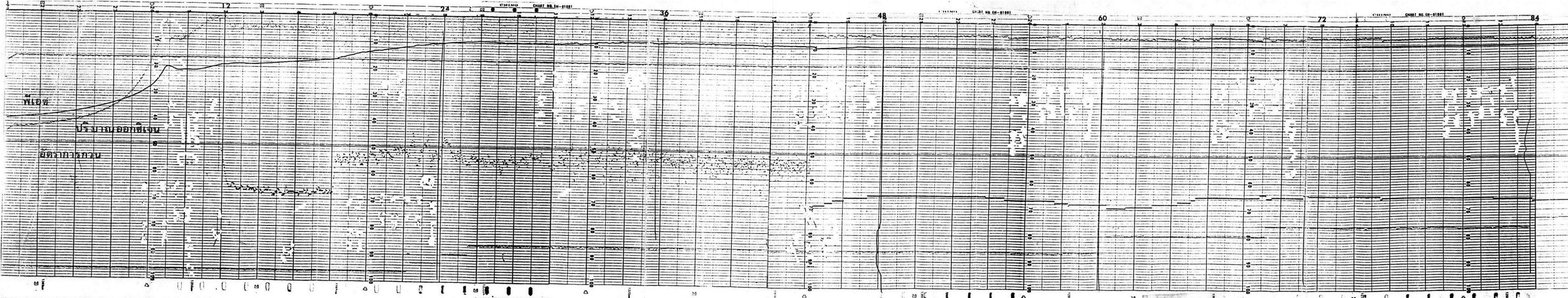
ตารางที่ 3-53 ค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 300 ลิตร ที่ภาวะต่างๆ ที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 % ตลอดการหมัก ที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

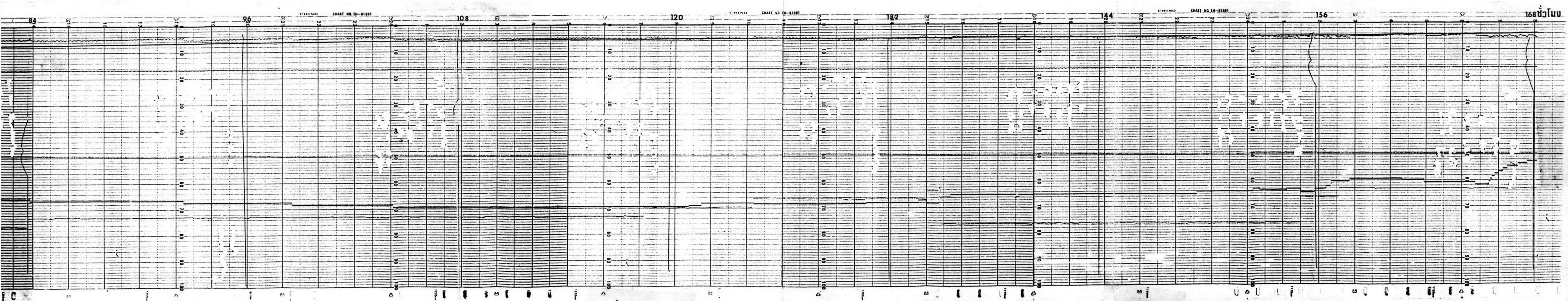
ค่าทางจลนพลศาสตร์	อัตราการให้อากาศ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
อัตราการเจริญจำเพาะ [a] (μ) (hr^{-1})	0.016	0.016
Biomass yield [a] ($Y_{X/S}$) (g cell/g total reducing sugar)	0.34	0.31
Product yield [b] ($Y_{P/S}$) (mg GA_3/g total reducing sugar)	9.10	11.25
Substrate consumption rate (g total reducing sugar /l/ hr)	0.65	0.65
Specific rate of substrate consumption [b] (q_S) ; (hr^{-1})	0.020	0.022
Productivity (mg GA_3/l/hr)	3.50	5.55
Specific rate of product formation [b] (q_P) ; (hr^{-1})	0.00019	0.00025

หมายเหตุ : a = หาค่าในช่วงที่มีการเจริญ

b = หาค่าในช่วงที่เริ่มมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจนการผลิตสูงสุด

รูปที่ 3-23 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก อัตราการกวนที่บันทึกระหว่างการเลี้ยงเชื้อ *G.fujikuroi* N9-34 ในถังหมักขนาด 300 ลิตร เพื่อผลิตกรดจิบเบอเรลลิก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 10 %


ฟีเอช
ปริมาณออกซิเจน
อัตราการกวน


84
96
108
120
132
144
156
168
CHINO
CHART NO. EH-01001

3.13 การผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดยเชื้อ *Gibberella fujikurol* N9-34 ในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20 %

จากการทดลองที่ 3.12 การควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักมีค่าเป็น 10 % ไม่สามารถทำการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกได้ตามการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร เนื่องจากเกิดปัญหาการควบคุมในช่วงชั่วโมงที่18 - 44 ชั่วโมง จึงทำการทดลองโดยการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อลดลงเป็น 20 % ให้คงที่ตลอดการทดลอง ตามวิธีการทดอลงที่ 2.5.13 โดยใช้ภาวะการหมักเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.12

จากตารางที่ 3-54 และ 3-44 เปรียบเทียบการเจริญและการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 และ 30 ลิตร ที่ภาวะการหมักเดียวกัน พบว่าถังหมักขนาด 300 ลิตร มีการใช้น้ำตาลหมดเร็วกว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร และมีปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดสูงกว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร คือ ถังหมักขนาด 300 ลิตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 46.21 กรัมต่อลิตร ที่ 144 ชั่วโมง ส่วนถังหมักขนาด 30 ลิตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดประมาณ 41.47 กรัมต่อลิตร ที่ 156 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนหมดที่ 36 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน ส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกถังหมักขนาด 300 ลิตร เริ่มผลิตที่ 36 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับถังหมักขนาด 30 ลิตร และเมื่อสิ้นสุดการหมักในชั่วโมงที่ 168 มีปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกประมาณ 1299.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่ได้กรดจิบเบอเรลลิกประมาณ 1095.84 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมักในชั่วโมงที่ 168 และเมื่อพิจารณา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักพบว่ามีการลดลงเร็วกว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร และสามารถทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20% ได้ตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าทางจลนพลศาสตร์พบว่าอัตราการเจริญจำเพาะมีค่าเท่ากับถังหมักขนาด 5 ลิตร คือ 0.016 ชั่วโมง$^{-1}$ ส่วนอัตราการใช้น้ำตาลใช้ได้ช้ากว่าถังหมักขนาด 5 ลิตร คือ 0.61 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง แต่มีค่าอื่นๆสูงกว่า ถังหมักขนาด 5 ลิตร

ดั้งนั้นการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกในถังหมักขนาด 300 ลิตร เพื่อให้ได้ผลผลิตใกล้เคียงกับถังหมักขนาด 5 และ 30 ลิตร ต้องทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20 % ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้อิ่มตัว ตลอดการหมัก หลังจากที่มีปริมาณลดลง โดยให้มีอัตราการกวนเริ่มต้น 250 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ซึ่งการขยายส่วนการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็นเกณฑ์ในการขยายส่วนเป็นสำคัญ และ ใช้เกณฑ์ที่กำหนดให้ความเร็วรอบของปลายใบพัดมีค่าคงที่เป็นปัจจัยรองลงมา โดยจะใช้ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกันเป็นเกณฑ์การขยายส่วน

ตารางที่ 3-54 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ ปริมาณไนโตรเจน อัตราการกวน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมัก และปริมาณกรดจิบเบอเรลลิกเมื่อทำการเลี้ยงในถังหมักขนาด 300 ลิตร เมื่อทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเมื่อลดลงมีปริมาณ 20 % ตลอดการทดลอง อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที

เวลา (ชั่วโมง)	พีเอช	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/ลิตร)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (กรัม/ลิตร)	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (%)	ปริมาณ GA_3 (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.64	4.36	4.84	98.25	0.96	0.69	250	95	-
12	4.20	12.38	14.52	77.72	5.30	0.42	337	21	-
24	3.93	20.50	32.26	49.13	8.68	0.28	389	24	-
36	3.62	23.58	41.94	34.02	12.53	0	397	21	107.62
48	4.01	24.02	64.02	9.23	24.10	0	404	19	209.15
60	3.63	28.17	70.97	0	26.03	0	411	21	282.38
72	3.80	28.48	51.61	0	19.46	0	413	19	373.92
84	3.35	33.94	48.39	0	18.80	0	401	20	476.45
96	3.34	37.11	40.32	0	11.09	0	414	21	560.21
108	3.15	39.69	29.03	0	2.89	0	411	19	627.78
120	3.31	40.30	20.97	0	0.48	0	414	20	841.30
132	3.19	43.01	8.069	0	0.24	0	378	20	912.16
144	3.21	46.21	1.61	0	0	0	348	20	961.65
156	3.13	46.08	0	0	0	0	261	19	1273.49
168	3.10	44.98	0	0	0	0	255	20	1299.19

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3-55 ค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 300 ลิตร ที่ภาวะต่างๆ ที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหมักเป็น 20 % ตลอดการหมัก ที่อัตราการให้อากาศ 1.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที กับการหมักในถังหมักขนาด 5 ลิตร

ค่าทางจลนพลศาสตร์	อัตราการให้อากาศ 1.5 vvm	ถังหมักขนาด 5 ลิตร
อัตราการเจริญจำเพาะ [a] (μ) (hr^{-1})	0.016	0.016
Biomass yield [a] ($Y_{X/S}$) (g cell/g total reducing sugar)	0.41	0.31
Product yield [b] ($Y_{P/S}$) (mg GA_3/g total reducing sugar)	15.96	11.25
Substrate consumption rate (g total reducing sugar /l/ hr)	0.61	0.65
Specific rate of substrate consumption [b] (q_S) ; (hr^{-1})	0.018	0.022
Productivity (mg GA_3/l/hr)	7.73	5.55
Specific rate of product formation [b] (q_P) ; (hr^{-1})	0.00029	0.00025

หมายเหตุ : a = หาค่าในช่วงที่มีการเจริญ

b = หาค่าในช่วงที่เริ่มมีการผลิตกรดจิบเบอเรลลิกจนการผลิตสูงสุด

ตารางที่ 3-56 การเปรียบเทียบการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมัก 30 ลิตร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาวะการผลิต

ภาวะการหมัก	เกณฑ์ที่ใช้ในการขยายส่วน			การผลิตเมื่อควบคุมปริมาณ DO =10%		
	N_{Re}	πnD	P_g/V and K_La	aeration and agitatiom	aeration 1.0 vvm	aeration 1.5 vvm
อัตราการกวน (rpm)	300	400	500	600	400	400
อัตราการให้อากาศ (vvm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5
ปริมาณ DO ที่ควบคุม (%)	-	-	-	10	10	10
ปริมาณ GA_3 (mg/l)	0	407.19	664.32	1162.37	981.20	1118.80
ระยะเวลาหมักที่ผลผลิต GA_3 สูงสุด (hr)	168	156	156	168	168	168

หมายเหตุ : N_{Re} หมายถึง ค่าเรโนลนัมเบอร์

πnD หมายถึง ค่าความเร็วรอบของปลายใบพัด

P_g/V หมายถึง ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของมอเตอร์ต่อปริมาตรน้ำหมัก

K_La หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน

aeration and agitation หมายถึง การควบคุม DO โดย ควบคุมอัตราการให้อากาศ และ อัตราการกวน พร้อมกัน

aeration 1.0 vvm หมายถึง การควบคุม DO โดย ควบคุมอัตราการให้อากาศคงที่เท่ากับ 1.0 vvm และอัตราการกวนเป็นอิสระ

aeration 1.5 vvm หมายถึง การควบคุม DO โดย ควบคุมอัตราการให้อากาศคงที่เท่ากับ 1.5 vvm และอัตราการกวนเป็นอิสระ

- หมายถึง ไม่ได้ทำการควบคุม

ตารางที่ 3-57 การเปรียบเทียบการผลิตกรดจิบเบอเรลลิก โดย *G. fujikuroi* N9-34 ในถังหมัก 300 ลิตร เมื่อมีการควบคุมปริมาณ DO

ภาวะการผลิต	ควบคุม DO=10%	ควบคุม DO=20 %
อัตราการกวนเริ่มต้น (rpm)	250	250
อัตราการให้อากาศ (vvm)	1.5	1.5
ปริมาณ DO ที่ควบคุม (%)	10	20
ปริมาณ GA_3 (mg/l)	587.31	1299.19
ระยะเวลาหมักที่ผลผลิต GA_3สูงสุด (hr)	168	168