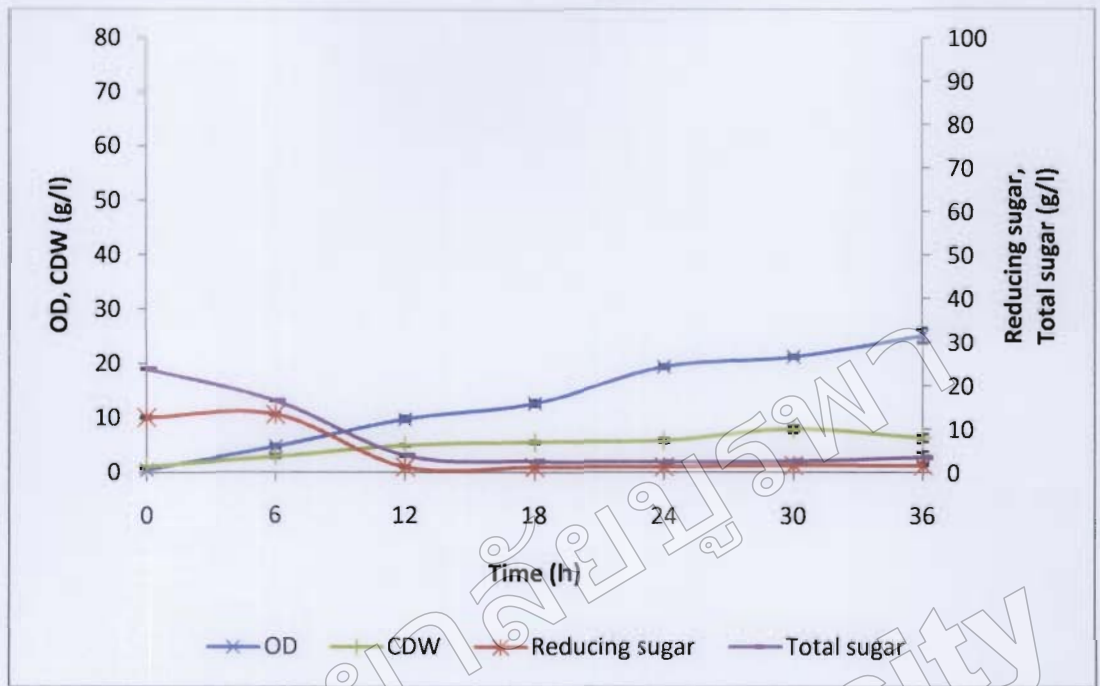
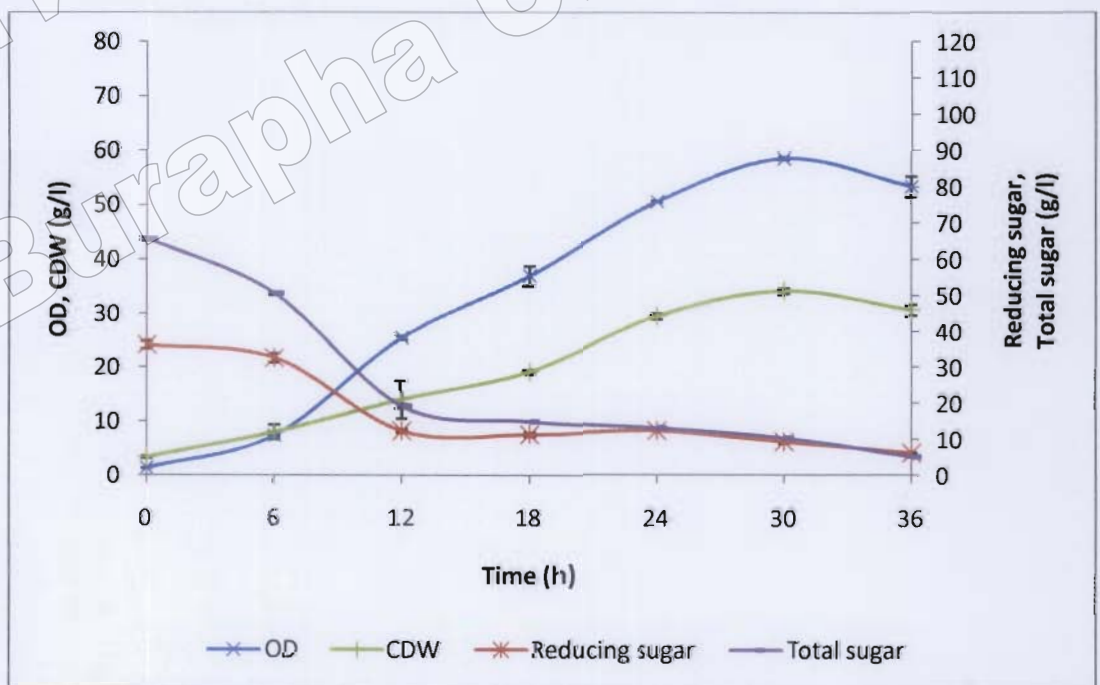


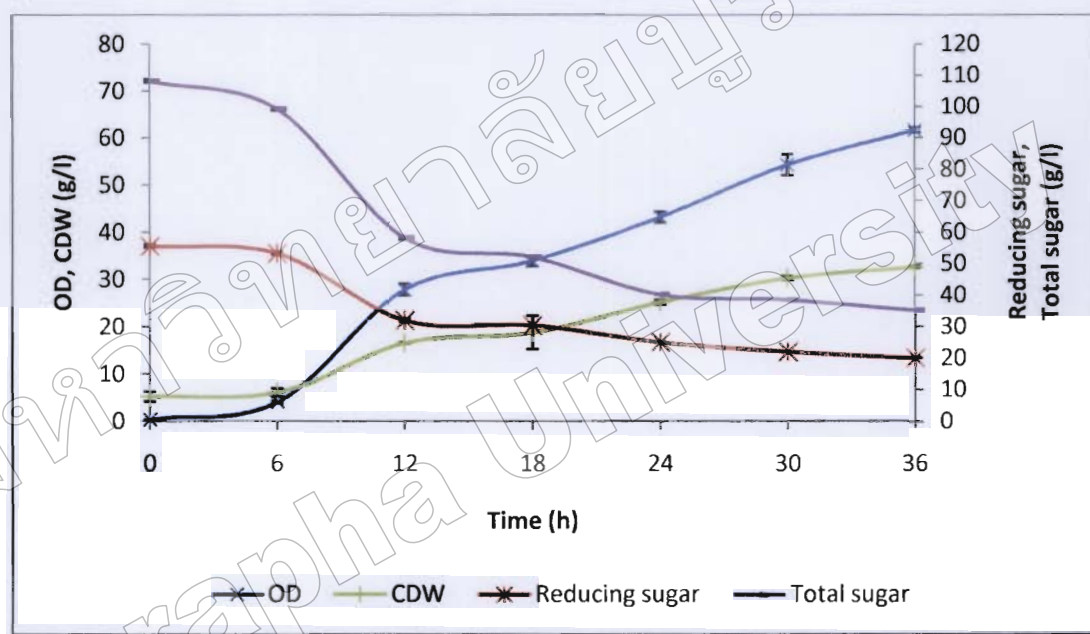


ภาพที่ 4-20 การเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยдекซ์ทรินความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (แสดงค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)



ภาพที่ 4-21 การเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยдекซ์ทรินความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร (แสดงค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

จากภาพที่ 4-20 เมื่อพิจารณากราฟการเจริญของ *S. cerevisiae* เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BPM โดยใช้декซ์ทรินความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร อัตราการเติมอากาศ 3 ปริมาตรอากาศต่อ ปริมาตรอาหารต่อนาที อัตราการกวนผสม 700 รอบต่อนาที พบว่า มีการเจริญอย่างต่อเนื่องจนถึง ชั่วโมงที่ 36 มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 32.60 กรัมต่อลิตร ความชื้นเท่ากับ 61.72 เมื่อ พิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า ลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 0-18 ชั่วโมงแรก และเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงในชั่วโมงที่ 36 มีปริมาณน้ำตาลคงเหลือ เท่ากับ 20.14 กรัมต่อลิตร และปริมาณน้ำตาลคงเหลือทั้งหมด เท่ากับ 35.25 กรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4-22 การเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยдекซ์ทรินความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร (แสดงค่าเฉลี่ย จากการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

จากการศึกษาการเพาะเลี้ยงที่ผ่านมาซึ่งพบว่า เดกซ์ทรินมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับ เพาะเลี้ยง *E. coli* จึงมีการศึกษาความเข้มข้นของเดกซ์ทรินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *S. cerevisiae* การเพาะเลี้ยงด้วยเดกซ์ทรินความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร ทำให้ *S. cerevisiae* มีการ สร้างเซลล์ในปริมาณที่ไม่แตกต่างจากการเพาะเลี้ยงโดยใช้เดกซ์ทรินความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร มี ค่าน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 32.60 และ 30.70 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และการเพาะเลี้ยงโดยใช้ เดกซ์ทรินความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้ผลผลิตเซลล์ต่ำสุด มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 6.40 กรัมต่อลิตร

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยพิจารณาจากค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงในชั่วโมงที่ 12 การเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น 20, 60 และ 100 กรัมต่อลิตร มีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 3.58, 5.12 และ 35.25 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4-2 พารามิเตอร์การเจริญของ *S. cerevisiae* จากการเพาะเลี้ยงแบบกะ โดยใช้декซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้น декซ์ (g/l)	x (g/l)	μ (h ⁻¹)	Yx/s (g/g)	rx (g/l/h)	rs (g/l/h)
20	8.07±0.55 ^a	0.12±0.00 ^a	0.19±0.01 ^a	0.32±0.01 ^a	1.65±0.02 ^a
60	34.13±0.65 ^b	0.30±0.03 ^c	0.53±0.04 ^c	1.17±0.02 ^c	3.64±0.09 ^c
100	32.60±2.01 ^b	0.19±0.00 ^b	0.41±0.03 ^b	0.95±0.05 ^b	3.10±0.09 ^b

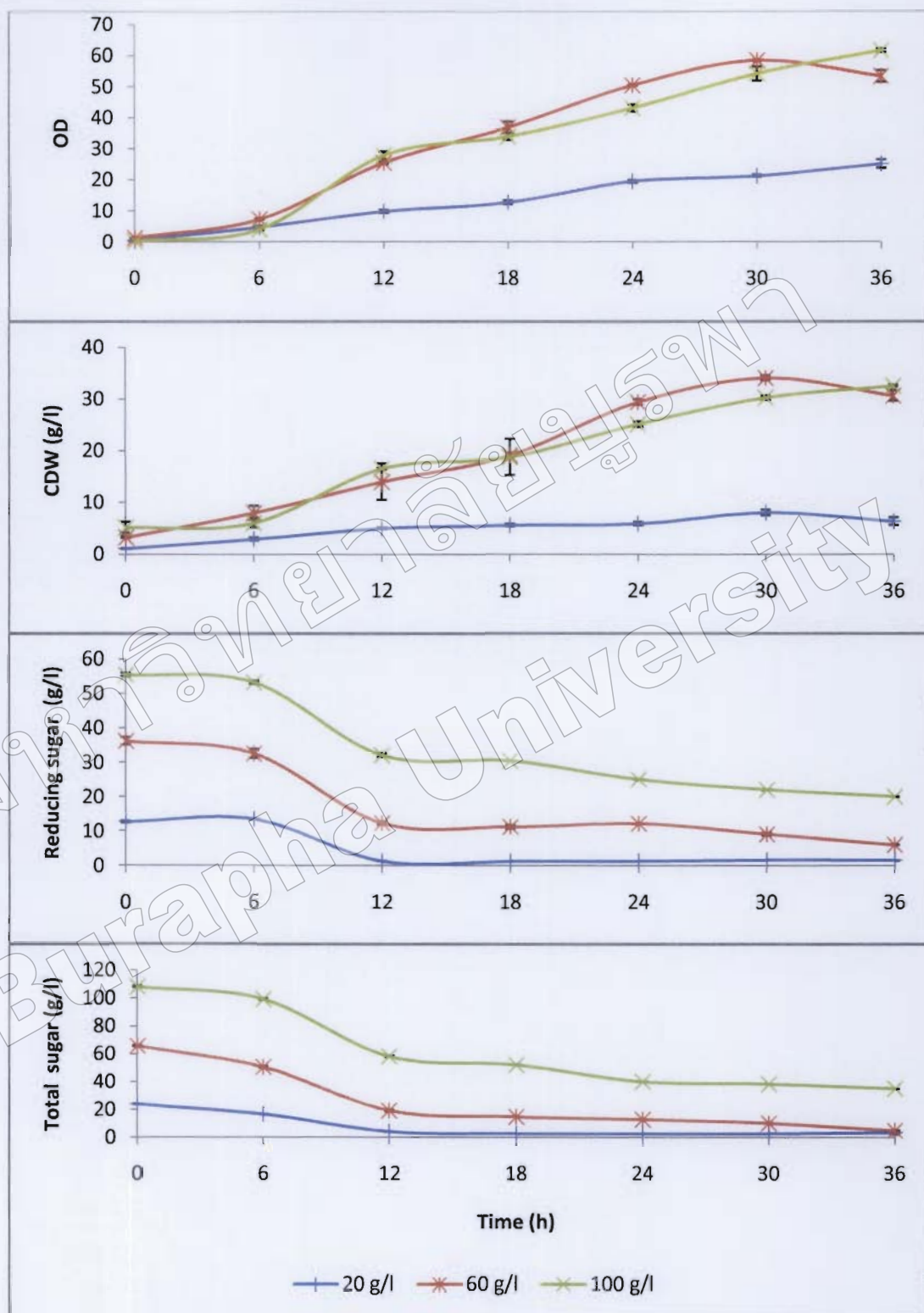
- x คือ ปริมาณมวลเซลล์ คัดจากค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)
- μ คือ อัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อชั่วโมง)
- Yx/s คือ ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป (กรัมต่อกรัม)
- rx คือ อัตราการสร้างมวลเซลล์ (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)
- rs คือ อัตราการใช้น้ำตาล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)

เมื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์การเจริญของ *S. cerevisiae* ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BPM ที่ระดับความเข้มข้นдекซ์ทรินแตกต่างกัน (ตารางที่ 4-4) พบว่า การเพาะเลี้ยงด้วยдекซ์ทรินความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลการเจริญดีที่สุด มีค่ามวลเซลล์ (X) เท่ากับ 34.13 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เท่ากับ 0.30 ต่อชั่วโมง ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป (Yx/s) เท่ากับ 0.53 กรัมต่อกรัม อัตราการสร้างมวลเซลล์ (rx) เท่ากับ 1.17 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้น้ำตาล (rs) เท่ากับ 3.64 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

การเพาะเลี้ยงด้วยдекซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลการเจริญรองลงมา ค่ามวลเซลล์ 32.60 เท่ากับ กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญจำเพาะ เท่ากับ 0.19 ต่อชั่วโมง ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป เท่ากับ 0.41 กรัมต่อกรัม อัตราการสร้างมวลเซลล์ เท่ากับ 0.95 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้น้ำตาล เท่ากับ 3.10 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

ส่วนการเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคที่ระดับความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้ผลการเจริญต่ำสุด ค่ามวลเซลล์ เท่ากับ 8.07 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญจำเพาะ เท่ากับ 0.12 ต่อชั่วโมง ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป เท่ากับ 0.19 กรัมต่อกรัม อัตราการสร้างมวลเซลล์ เท่ากับ 0.32 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้น้ำตาล เท่ากับ 1.65 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University



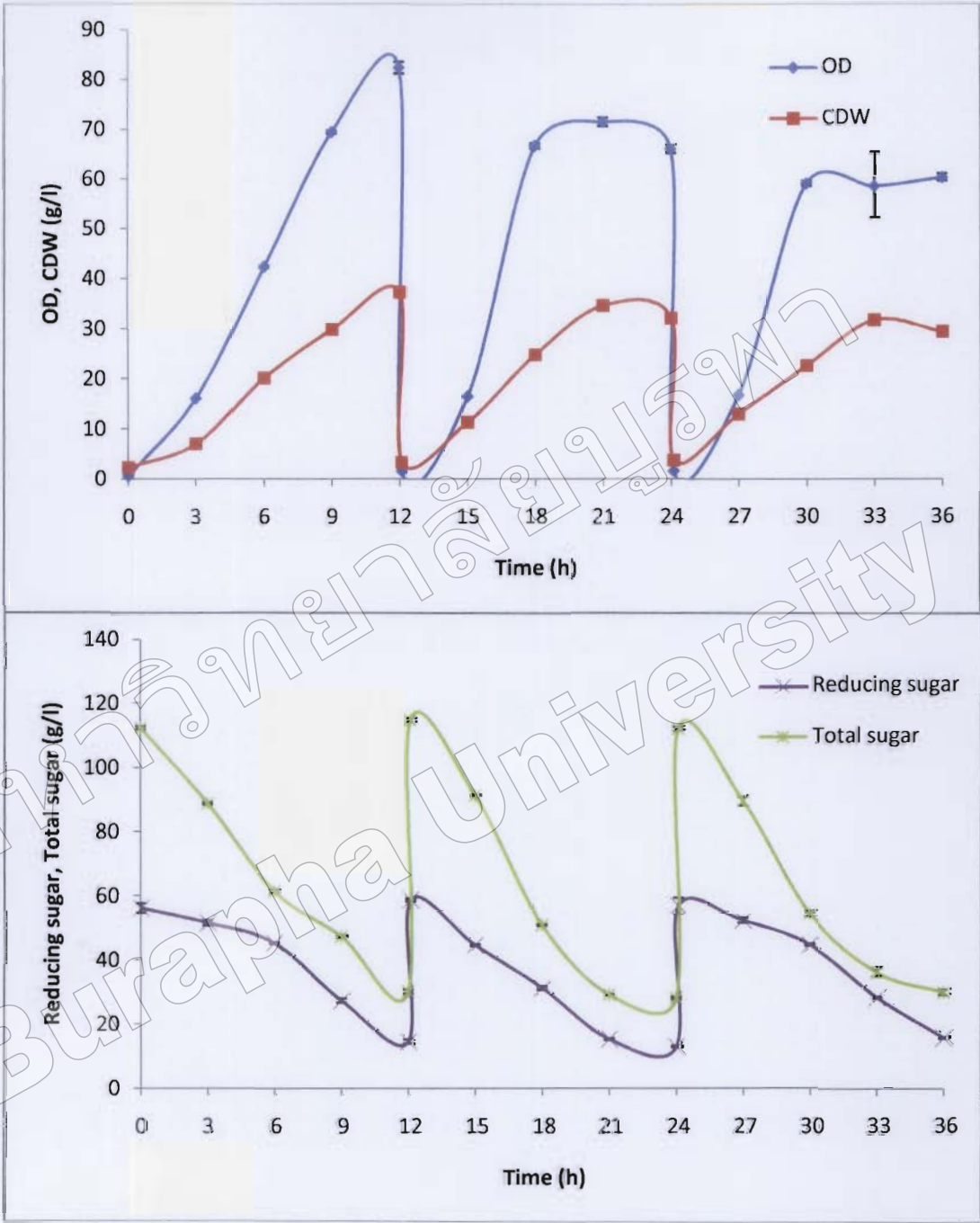
ภาพที่ 4-23 เปรียบเทียบการเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยдекซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 20, 60 และ 100 กรัมต่อลิตร (แสดงค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

4. ผลการศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงแบบกะ-ต่อเนื่อง ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

4.1 การเพาะเลี้ยง *E. coli* ด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4-24 เมื่อพิจารณากราฟการเจริญของ *E. coli* ซึ่งเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง ในสูตรอาหาร BPM ที่มีการเติมยีสต์สกัดที่ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ ให้เด็กซ์ทริน ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร เป็นแหล่งคาร์บอน ควบคุมพีเอช ระหว่างการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 7.0 อัตราการเติมอากาศ 3 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที ความเร็วใบพัดเท่ากับ 700 รอบต่อ นาที พบว่า การเพาะเลี้ยงแบบกะครั้งที่ 1 เซลล์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 37.30 กรัมต่อลิตร ค่าความขุ่นเท่ากับ 82.35 มีค่าน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 112.37 กรัมต่อลิตร และลดลงเหลือเพียง 30.14 กรัมต่อลิตร ในช่วงเวลาที่ 12 (สิ้นสุดการเพาะเลี้ยงครั้งที่ 1) หลังจากนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนอาหารเพื่อเข้าสู่การเพาะเลี้ยงแบบกะ ครั้งที่ 2 พบว่า การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0-9 ชั่วโมง จากนั้นเข้าสู่ระยะคงที่และลดลงในช่วงเวลาที่ 12 มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 32.20 กรัมต่อลิตร ความขุ่นเท่ากับ 71.47 มีค่าน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 114.78 กรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงในครั้งนี้พบว่าปริมาณน้ำตาลคงเหลือเท่ากับ 28.12 กรัมต่อลิตร และในการเพาะเลี้ยงแบบกะ ครั้งที่ 3 มีลักษณะการเจริญที่คล้ายกับครั้งที่ 2 คือมีการเจริญอย่างรวดเร็วในช่วง 0-9 ชั่วโมง จากนั้นการเจริญจึงลดลง เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 31.80 กรัมต่อลิตร ความขุ่นเท่ากับ 58.62 ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 112.27 และลดลงจนเหลือ 29.99 กรัมต่อลิตร ในช่วงเวลาดำเนินการของการเพาะเลี้ยง

เมื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์การเจริญของ *E. coli* ที่เพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง (ตารางที่ 4-3) พบว่า การเพาะเลี้ยงในแต่ละกะนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน มีค่ามวลเซลล์ (x) เท่ากับ 37.30 32.20 และ 31.80 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เท่ากับ 0.50 0.47 และ 0.44 ต่อ ชั่วโมง ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป ($Y_{x/s}$) เท่ากับ 0.44 0.39 และ 0.40 กรัมต่อกรัม อัตราการสร้างมวลเซลล์ (r_x) เท่ากับ 3.02 3.69 และ 3.35 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้น้ำตาล (r_s) เท่ากับ 6.85 7.28 และ 6.91 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 4-24 ผลการเพาะเลี้ยง *E. coli* ด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง (แสดงค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ชั่วโมง)

ตารางที่ 4-3 พารามิเตอร์การเจริญของ *E. coli* จากการเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง

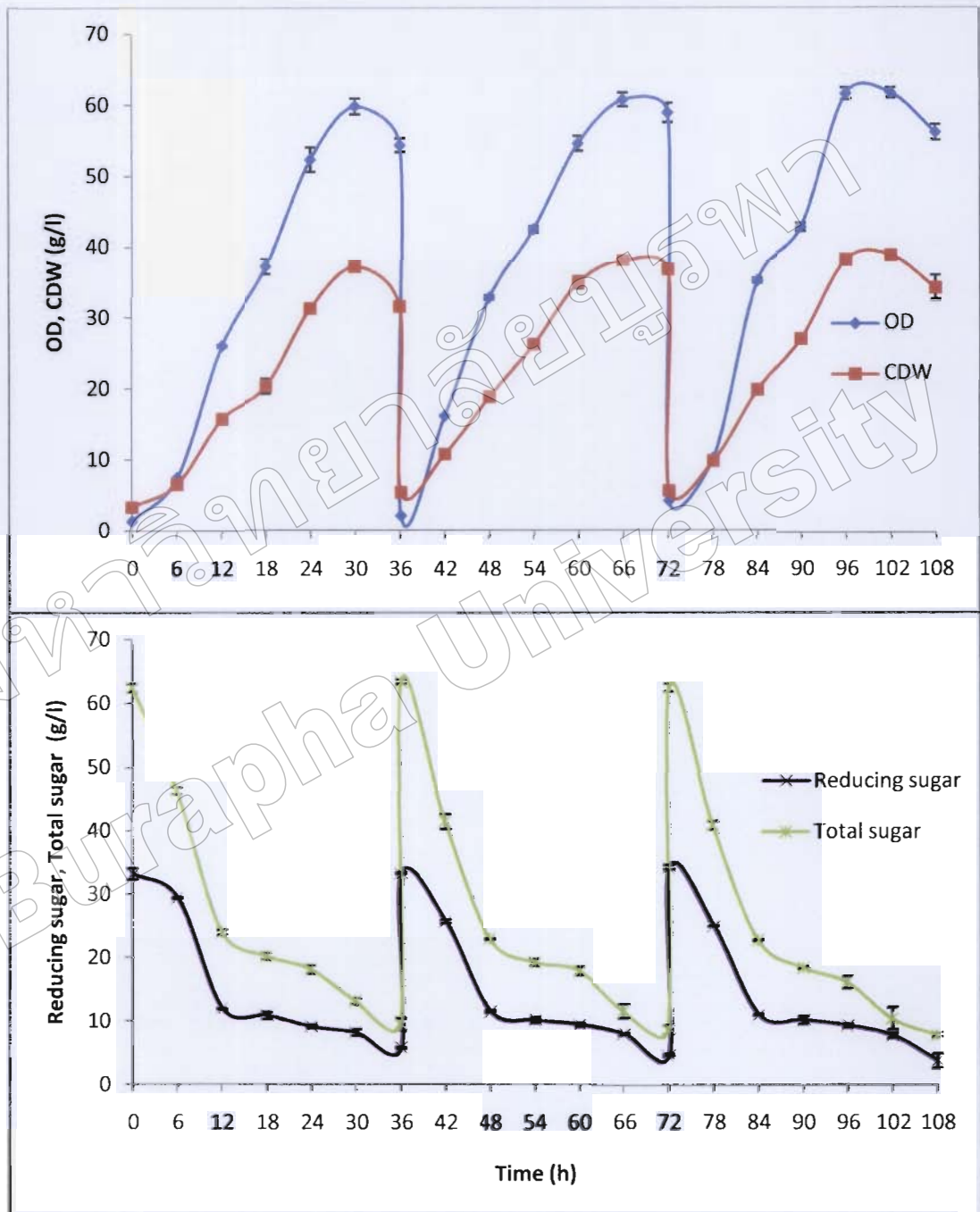
batch	x	μ	$Y_{x/s}$	r_x	r_s
	(g/l)	(h ⁻¹)	(g/g)	(g/l/h)	(g/l/h)
1	37.30±0.86 ^b	0.50±0.01 ^c	0.44±0.01 ^b	3.02±0.04 ^a	6.85±0.10 ^a
2	32.20±0.95 ^a	0.47±0.00 ^b	0.39±0.01 ^a	3.69±0.10 ^c	7.28±0.07 ^b
3	31.80±0.96 ^a	0.44±0.01 ^a	0.40±0.01 ^a	3.35±0.10 ^b	6.91±0.12 ^a

- x คือ ปริมาณมวลเซลล์ คัดจากค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)
- μ คือ อัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อชั่วโมง)
- $Y_{x/s}$ คือ ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป (กรัมต่อกรัม)
- r_x คือ อัตราการสร้างมวลเซลล์ (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)
- r_s คือ อัตราการใช้น้ำตาล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)

4.2 การเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4-25 เมื่อพิจารณากราฟการเจริญของ *S. cerevisiae* ซึ่งเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง ในสูตรอาหาร BPM ที่มีกรดอะมิโนที่ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ ใช้เดกซ์ทรินความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร เป็นแหล่งคาร์บอน ควบคุมพีเอช ระหว่างการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 4.5 อัตราการเติมอากาศ 2 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที ความเร็วใบพัดเท่ากับ 600 รอบต่อนาที พบว่า การเพาะเลี้ยงแบบกะ ครั้งที่ 1 เซลล์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในช่วง 0-30 ชั่วโมงแรก โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 37.27 กรัมต่อลิตร ค่าความขุ่นเท่ากับ 59.85 มีค่าน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 62.46 กรัมต่อลิตร และลดลงเหลือเพียง 9.44 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 36 (สิ้นสุดการเพาะเลี้ยงครั้งที่ 1) หลังจากนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนอาหารเพื่อเข้าสู่การเพาะเลี้ยงแบบกะครั้งที่ 2 พบว่า การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0-30 ชั่วโมงเท่านั้น มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 39.03 ความขุ่นเท่ากับ 60.90 มีค่าน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 63.42 กรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงในครั้งนี้นำพบว่า มีปริมาณน้ำตาลคงเหลือเท่ากับ 8.62 กรัมต่อลิตร จากนั้นเข้าสู่ระยะคงที่และลดลงในชั่วโมงที่ 36 มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 36.90 กรัมต่อลิตร และในการเพาะเลี้ยงแบบกะ ครั้งที่ 3 มีลักษณะการเจริญที่คล้ายกับครั้งที่ 2 คือมีการเจริญอย่างรวดเร็วในช่วง 0-30 ชั่วโมง จากนั้นการเจริญจึงลดลง มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 39.03 กรัมต่อลิตร ความขุ่น

เท่ากับ 61.81 ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 62.52 และลดลงจนเหลือ 7.89 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงสุดท้ายของการเพาะเลี้ยง



ภาพที่ 4-25 ผลการเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง (แสดงค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ชั่วโมง)

ตารางที่ 4-4 พารามิเตอร์การเจริญของ *S. cerevisiae* จากการเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง

batch	x	μ	Yx/s	rx	rs
	(g/l)	(h ⁻¹)	(g/g)	(g/l/h)	(g/l/h)
1	37.27±0.21 ^a	0.23±0.02 ^a	0.72±0.00 ^a	1.19±0.01 ^a	3.21±0.08 ^a
2	38.23±0.92 ^b	0.28±0.01 ^b	0.73±0.01 ^a	1.38±0.03 ^b	3.38±0.03 ^b
3	39.03±0.35 ^c	0.26±0.01 ^b	0.78±0.01 ^b	1.52±0.01 ^c	3.31±0.06 ^{ab}

x คือ ปริมาณมวลเซลล์ คัดจากค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)

μ คือ อัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อชั่วโมง)

Yx/s คือ ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป (กรัมต่อกรัม)

rx คือ อัตราการสร้างมวลเซลล์ (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)

rs คือ อัตราการใช้น้ำตาล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)

เมื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์การเจริญของ *S. cerevisiae* ที่เพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคแบบกะ-ต่อเนื่อง (ตารางที่ 4-4) พบว่า การเพาะเลี้ยงในแต่ละกะนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน มีค่ามวลเซลล์ (x) เท่ากับ 37.27 38.23 และ 39.03 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เท่ากับ 0.23 0.28 และ 0.26 ต่อชั่วโมง ผลผลิตมวลเซลล์ต่อน้ำตาลที่ใช้ไป (Yx/s) เท่ากับ 0.72 0.73 และ 0.78 อัตราการสร้างมวลเซลล์ (rx) เท่ากับ 1.19 1.38 และ 1.52 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้น้ำตาล (rs) เท่ากับ 3.21 3.38 และ 3.31 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ