บทที่ 4
ผลการทดลอง

1. การศึกษาที่ภาวะเหมาะสมสำหรับการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดเล็ก

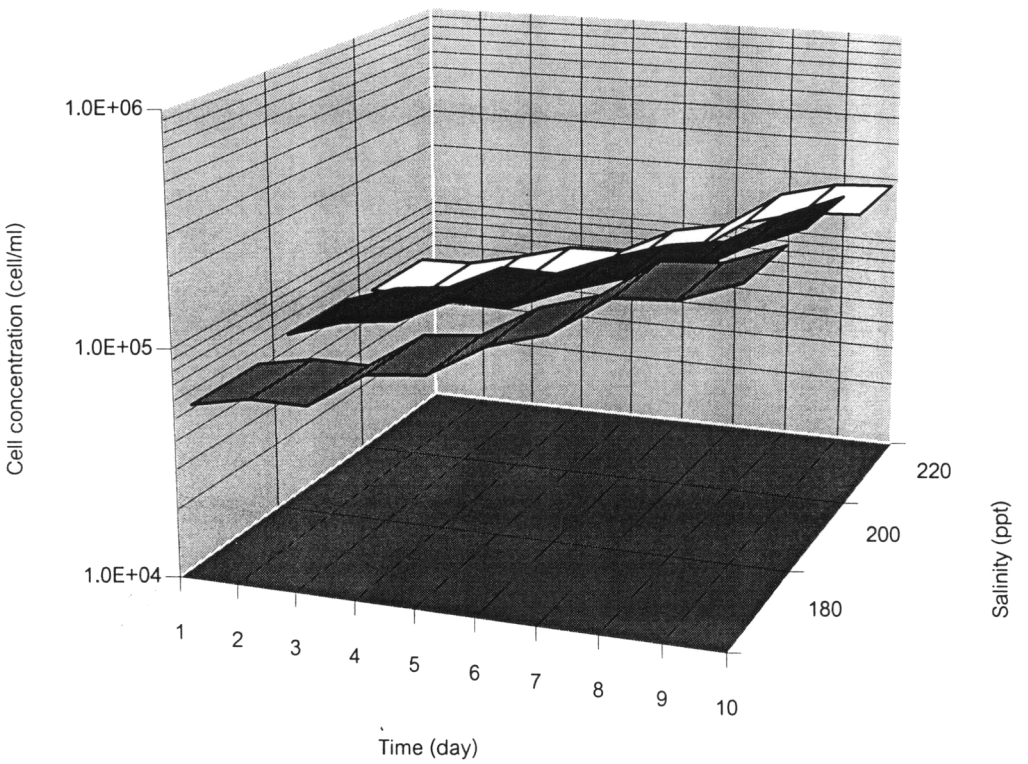
1.1 ผลของความเค็มต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา

ค่าเฉลี่ยการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ความเค็ม 180, 200 และ 220 ppt ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 โดยค่าอัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ความเค็มทั้ง 3 ระดับเท่ากับ 0.18, 0.16 และ 0.14 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 และเวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่า 3.91, 4.37 และ 4.87 วันตามลำดับ พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในอาหารเลี้ยงความเค็มต่ำจะมีอัตราการเจริญสูงกว่าสาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงที่ความเค็มสูง โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ขณะที่ปริมาณผลผลิตรงควัตถุเฉลี่ยที่ความเค็มทั้ง 3 ระดับเป็นดังนี้

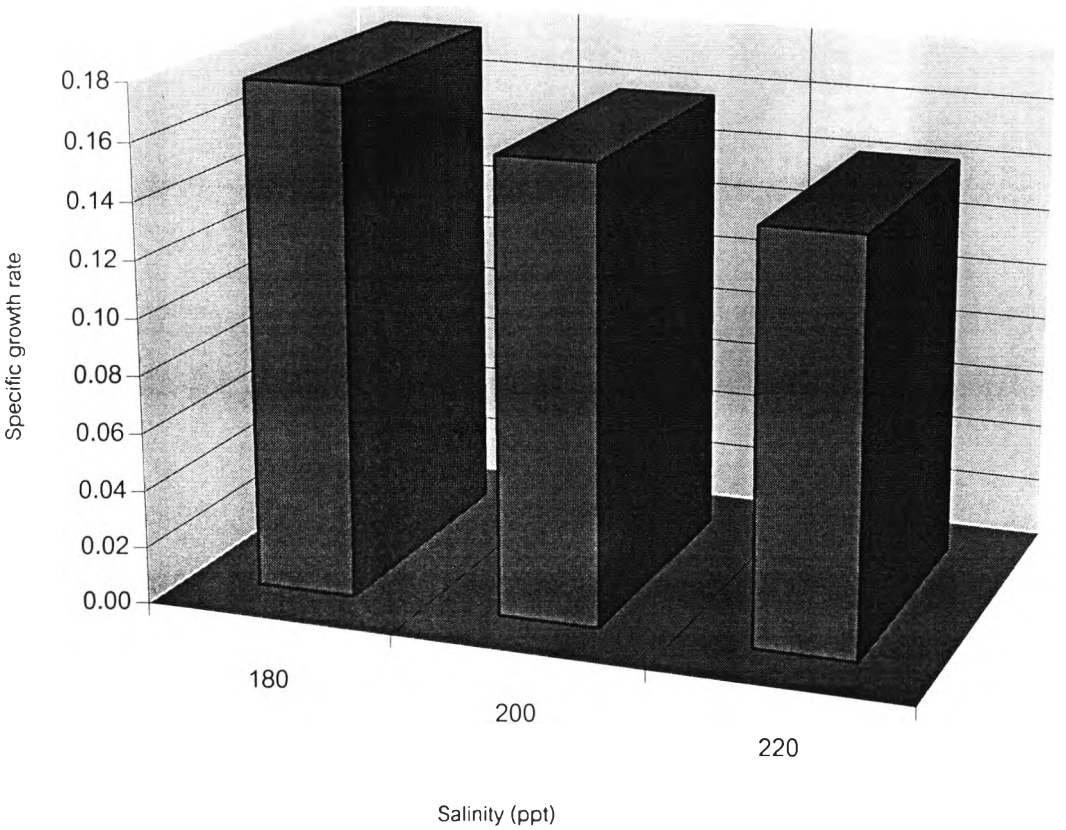
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณ (exponential growth phase) เท่ากับ 25.59, 32.91 และ 33.86 pg/cell (พิโคกรัมต่อเซลล์) ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่ (stationary growth phase) เท่ากับ 25.29, 30.20 และ 33.47 pg/cell ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่มีระดับความเค็มสูงจะมากกว่าสาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงที่ความเค็มต่ำ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 10.89, 10.47 และ 9.96 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 10.22, 9.87 และ 9.96 pg/cell ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่มีระดับความเค็มต่ำจะมากกว่าสาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงที่ความเค็มสูง โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

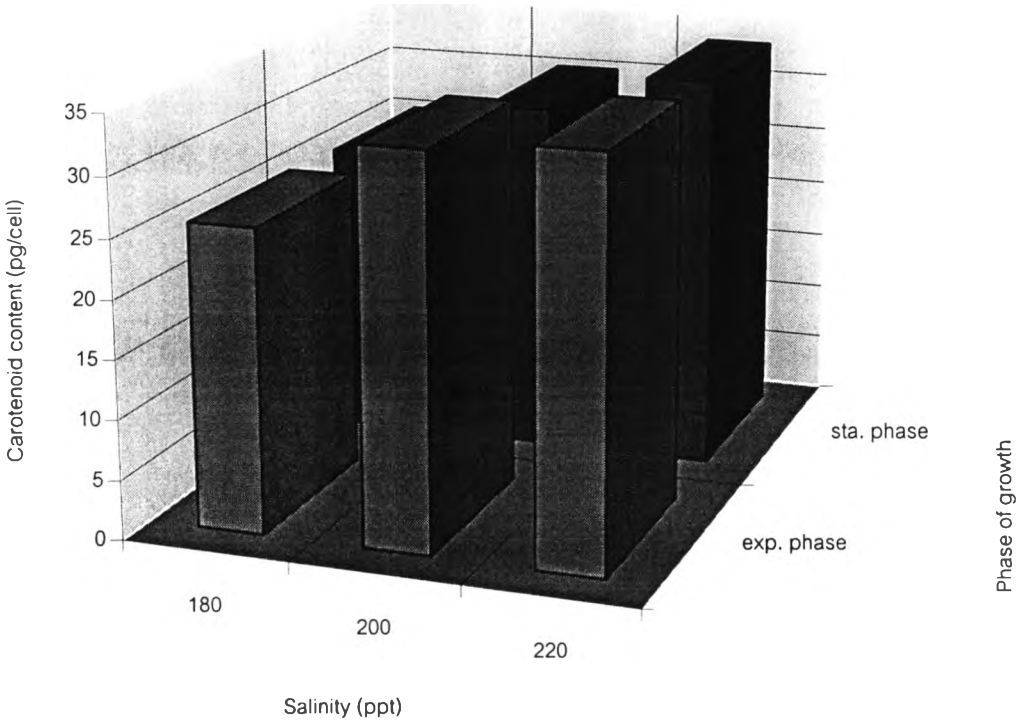
และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 2.72, 3.57 และ 3.901 g/g ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 2.79, 3.44 และ 3.86 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 พบว่าสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในอาหารเลี้ยงที่มีระดับความเค็มสูงจะมีค่ามากกว่าอยู่ในระดับความเค็มต่ำ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



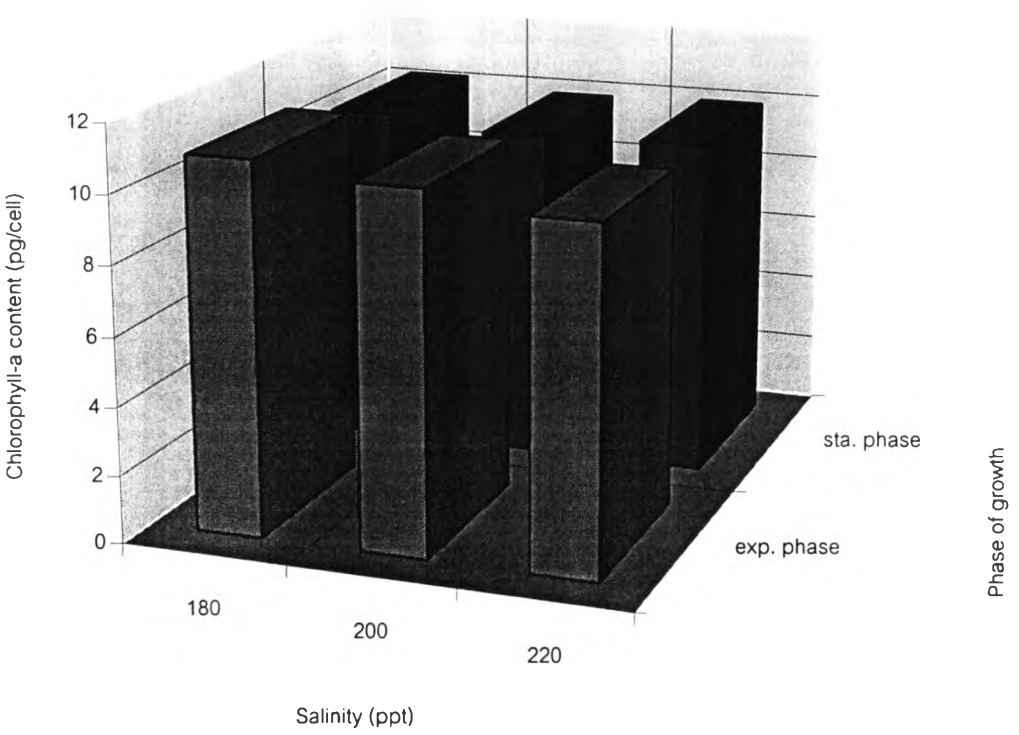
รูปที่ 4.1 การเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะความเค็มระดับต่าง ๆ



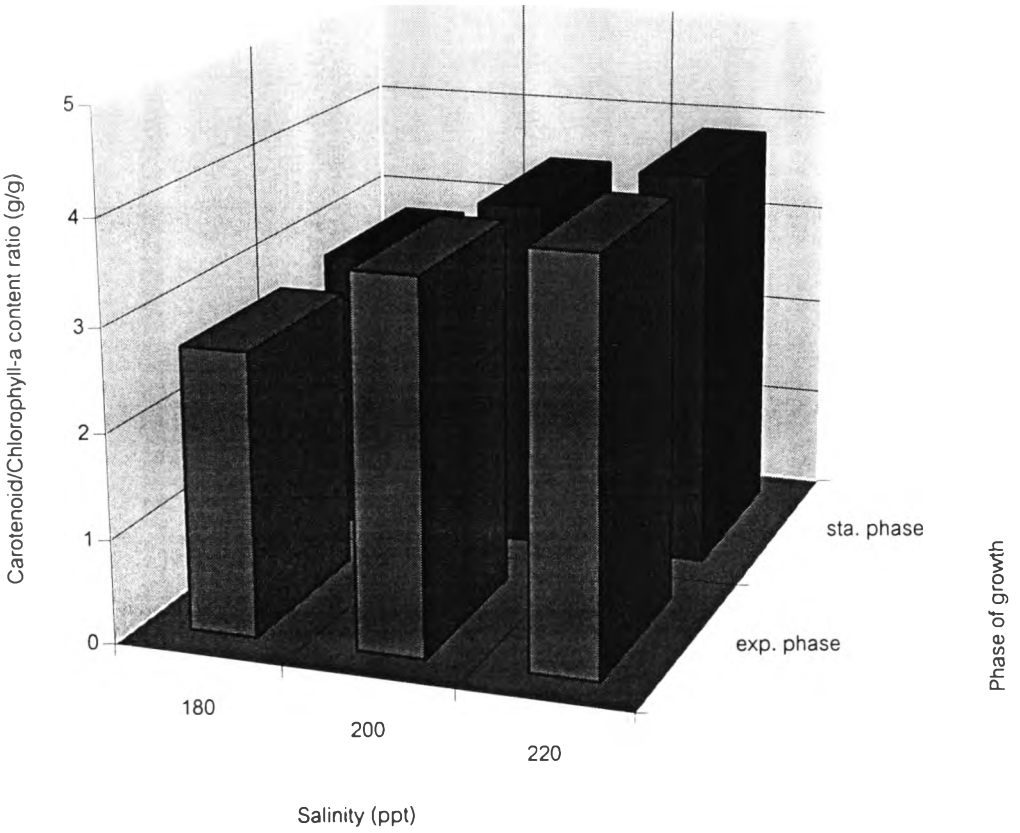
รูปที่ 4.2 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะความเค็มระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในความเค็มระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในความเค็มระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.5 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในความเค็มระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่

1.2 ผลของความเข้มแสงต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา

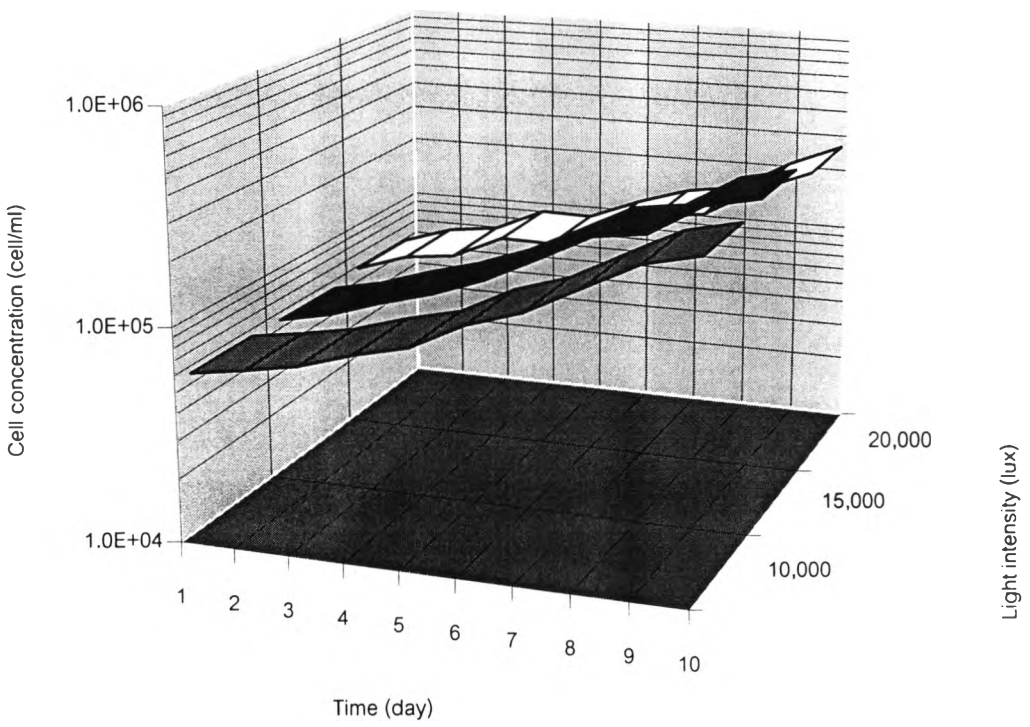
1.2.1 ผลของความเข้มแสงต่อระบบการผลิต

ค่าเฉลี่ยการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ความเข็มแสง 10,000 15,000 และ 20,000 ลักซ์ แสดงดังรูปที่ 4.6 โดยค่าอัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับเท่ากับ 0.19, 0.20 และ 0.16 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ระดับความเข้มแสงต่ำอัตราการเจริญมีแนวโน้มสูงกว่าที่เจริญในความเข้มแสงสูง โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) และเวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าของดูนาลิเอลลาเท่ากับ 3.75, 3.53 และ 4.37 วัน ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตรงควัตถุเฉลี่ยที่ความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับเป็นดังนี้

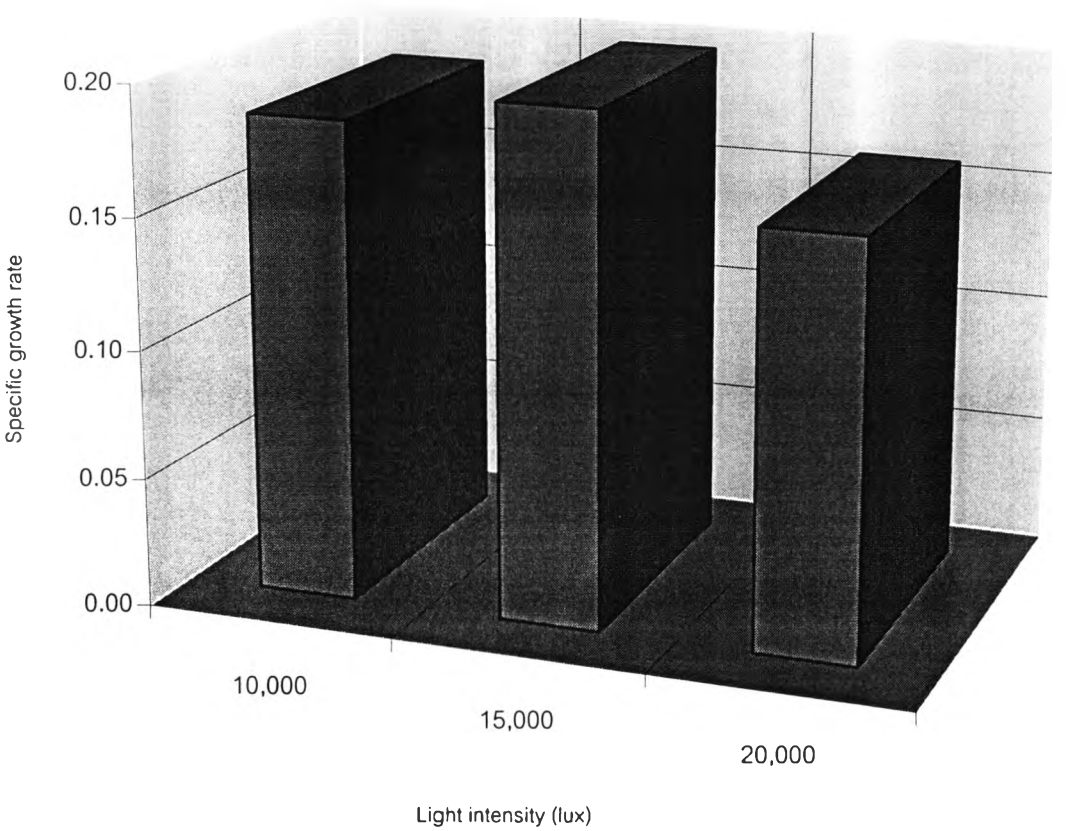
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 20.86, 23.58 และ 32.44 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 18.85, 22.71 และ 30.33 pg/cell ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์สาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงสูงมีค่าสูงกว่าที่ระดับความเข้มแสงต่ำ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 11.16, 10.84 และ 10.31 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 10.69, 10.50 และ 9.84 pg/cell ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มแสงต่ำจะมากกว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในระบบเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มแสงสูง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

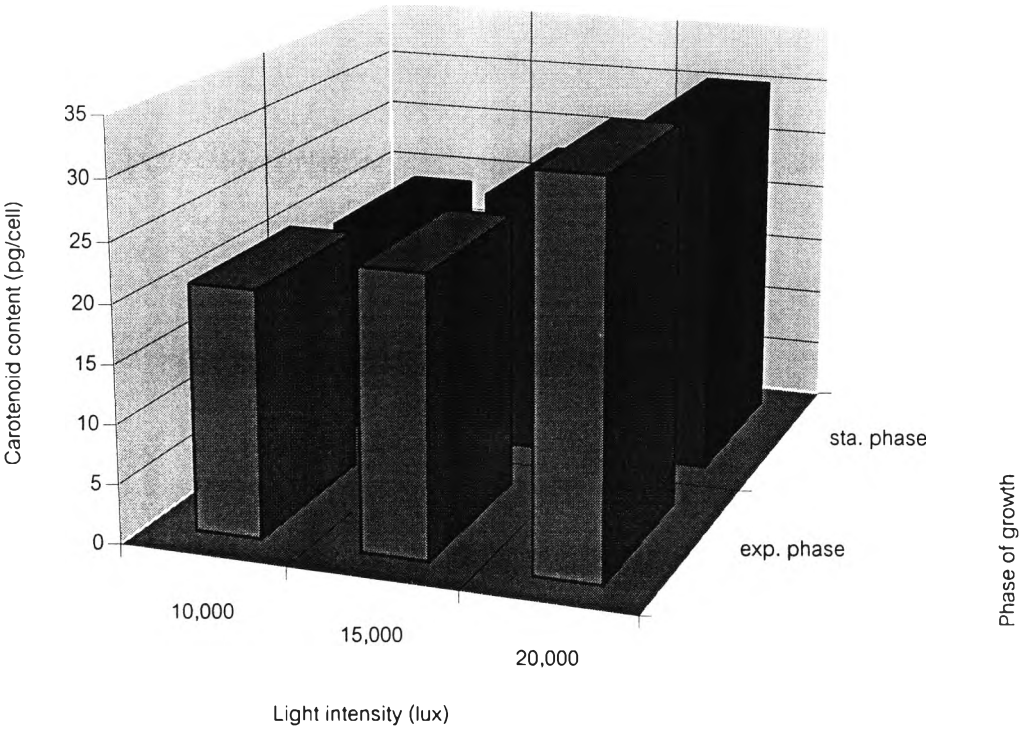
และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 2.18, 2.60 และ 3.59 g/g ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 2.02, 2.57 และ 3.48 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 พบว่าสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะความเข้มแสงที่สูงมีค่าสูงกว่าที่ภาวะความเข้มแสงต่ำ โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



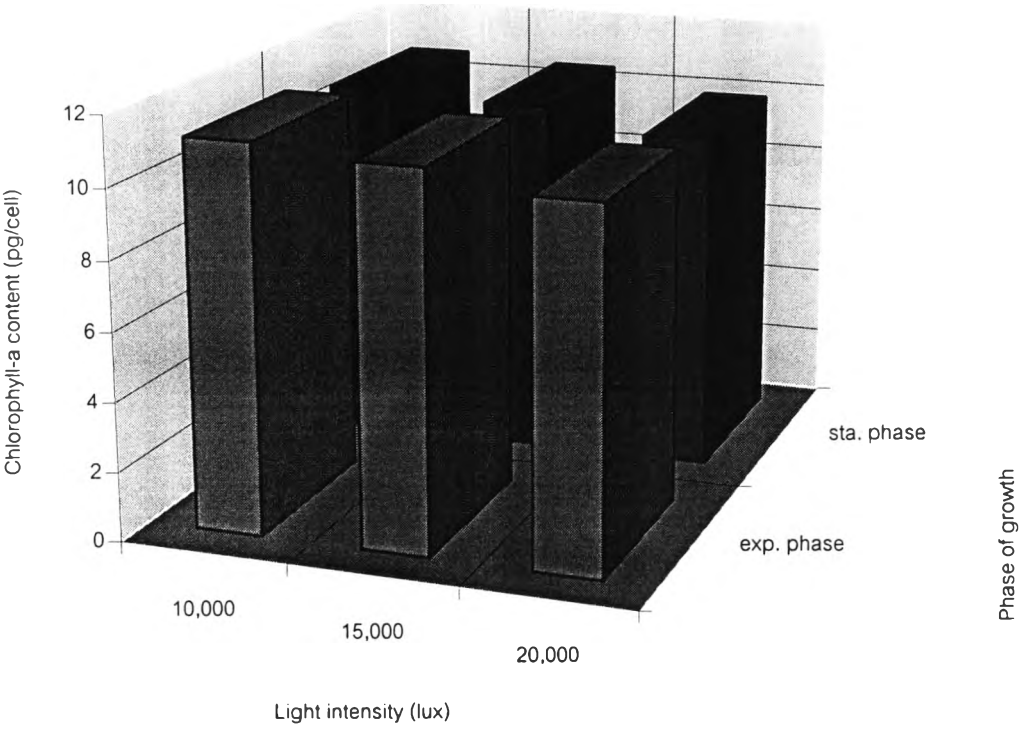
รูปที่ 4.6 การเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะความเข้มแสงระดับต่าง ๆ



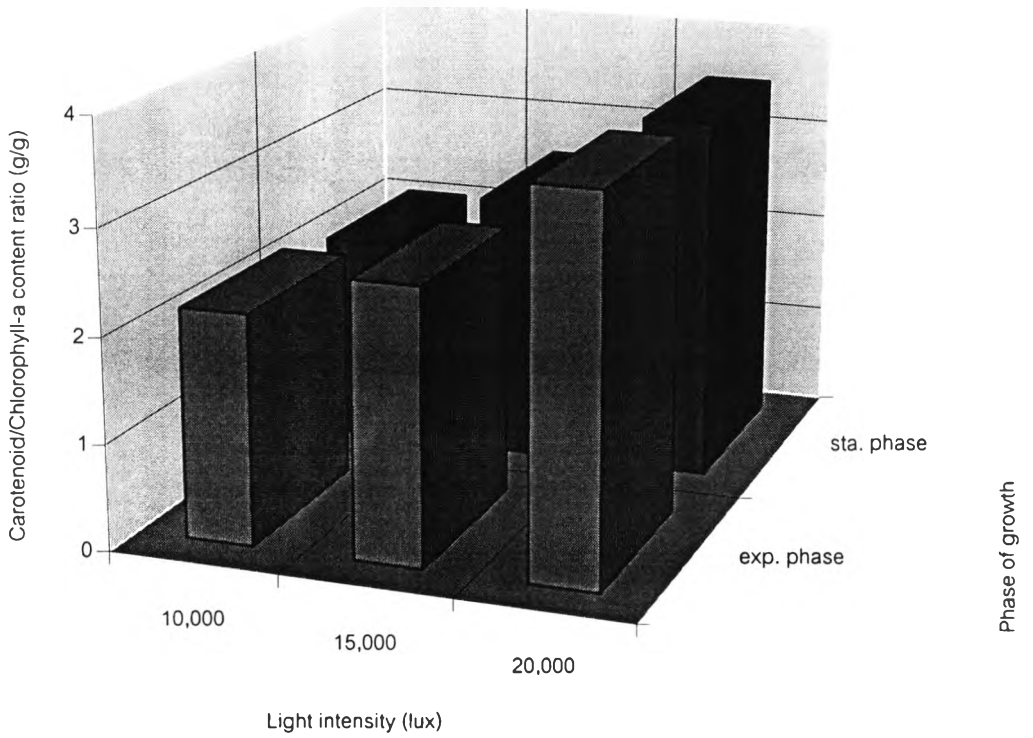
รูปที่ 4.7 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะความเข้มแสงระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.8 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในความเข้มแสงระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในความเข้มแสงระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.10 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในความเข้มแสงระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่

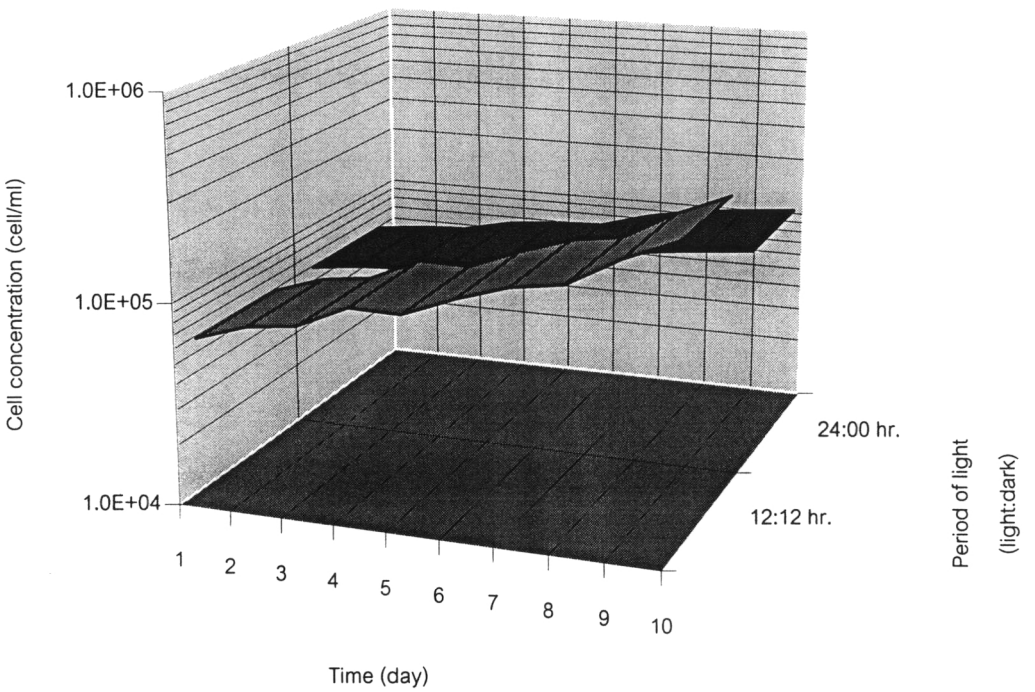
1.2.2 ผลของคาบการให้แสงในรอบวัน (diurnal cycle) ต่อระบบการผลิต

ค่าเฉลี่ยการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เลี้ยงโดยให้แสงเป็นคาบช่วงให้แสง 12 ชั่วโมง สลับกับมืด 12 ชั่วโมง ในหนึ่งวัน และคาบการให้แสงแบบ 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.11 โดยค่าอัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่คาบการให้แสงทั้ง 2 แบบเท่ากับ 0.16 และ 0.07 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12 พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในภาวะคาบการให้แสงแบบ สว่าง 12 ชั่วโมง มืด 12 ชั่วโมง (12:12 ชั่วโมง) ต่อวัน มีอัตราการเจริญสูงกว่าที่เจริญอยู่ในภาวะคาบการให้แสงแบบให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95%) และเวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าของดูนาลิเอลลาเท่ากับ 4.37 และ 9.99 วัน ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตรงควัตถุเฉลี่ยที่คาบการให้แสงทั้ง 2 ระดับเป็นดังนี้

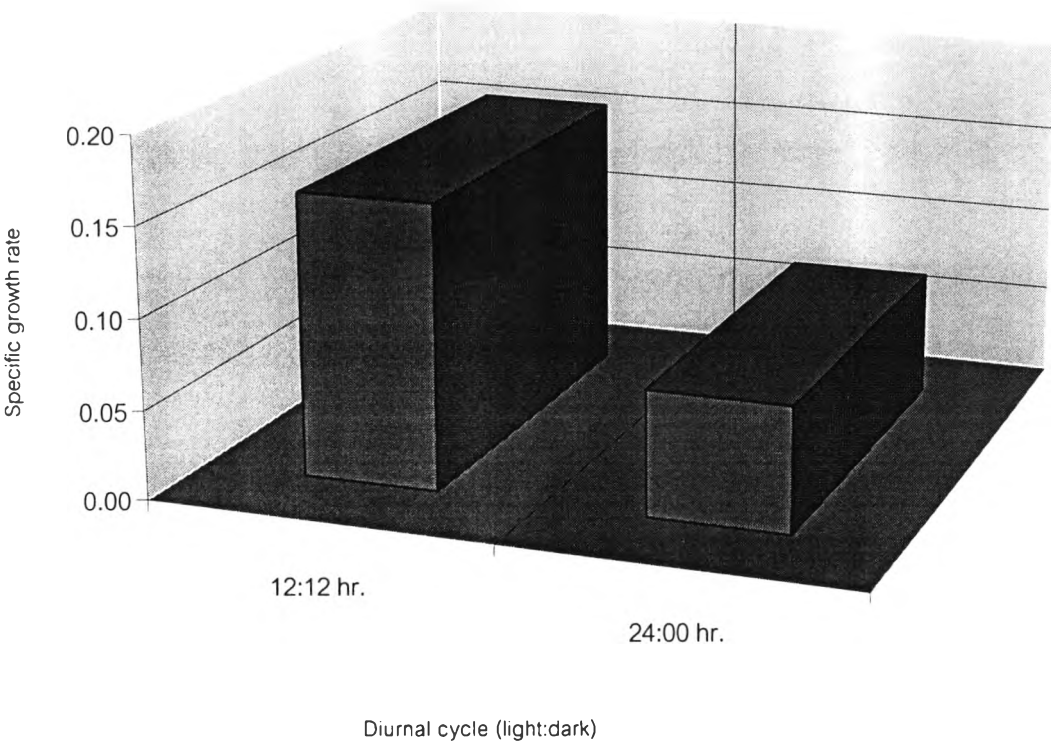
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 32.34 และ 38.31 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 30.33 และ 39.48 pg/cell ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะคาบการให้แสงแบบให้แสงสว่าง 24 ชั่วโมงต่อวัน มีค่าสูงกว่าที่ภาวะคาบการให้แสงแบบ 12:12 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 10.31 และ 9.53 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 9.84 และ 9.97 pg/cell ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.14 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะคาบการให้แสงแบบให้แสงสว่าง 24 ชั่วโมงต่อวัน มีแนวโน้มต่ำกว่าที่ภาวะคาบการให้แสงแบบ 12:12 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

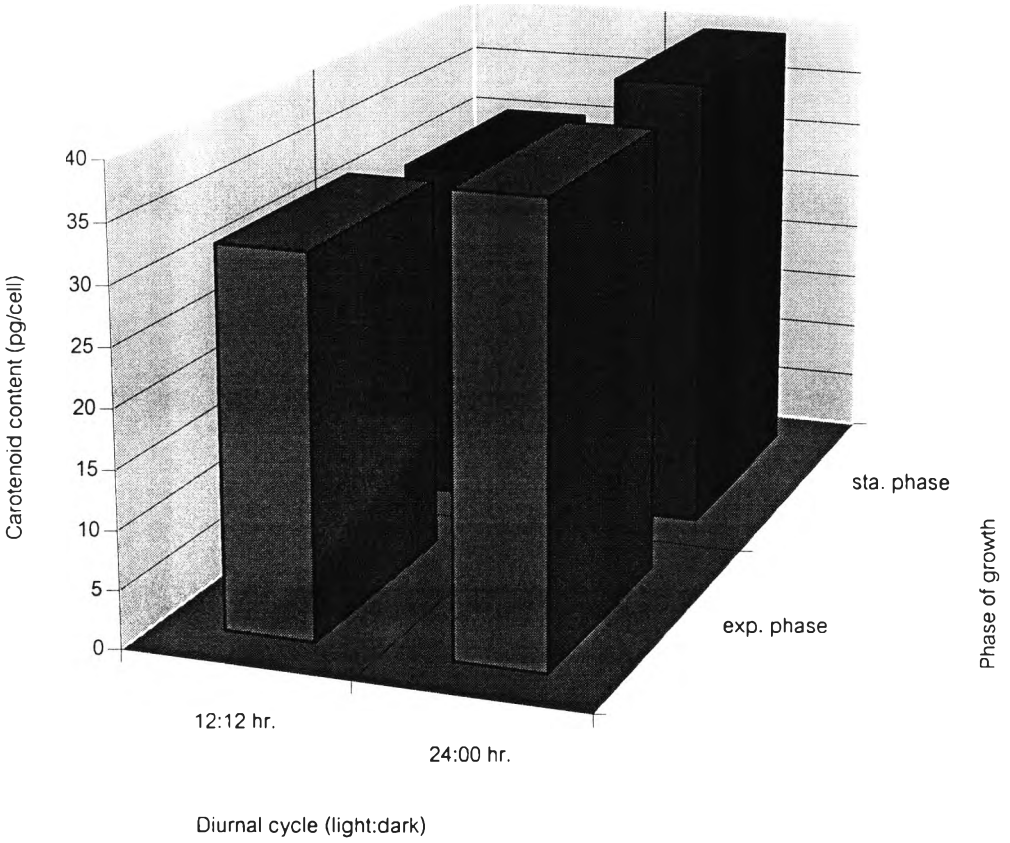
และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 3.59 และ 4.73 g/g ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 3.48 และ 4.78 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.15 พบว่าสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะคาบการให้แสงแบบให้แสง 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มสูงกว่าที่ภาวะคาบการให้แสงแบบ 12: 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



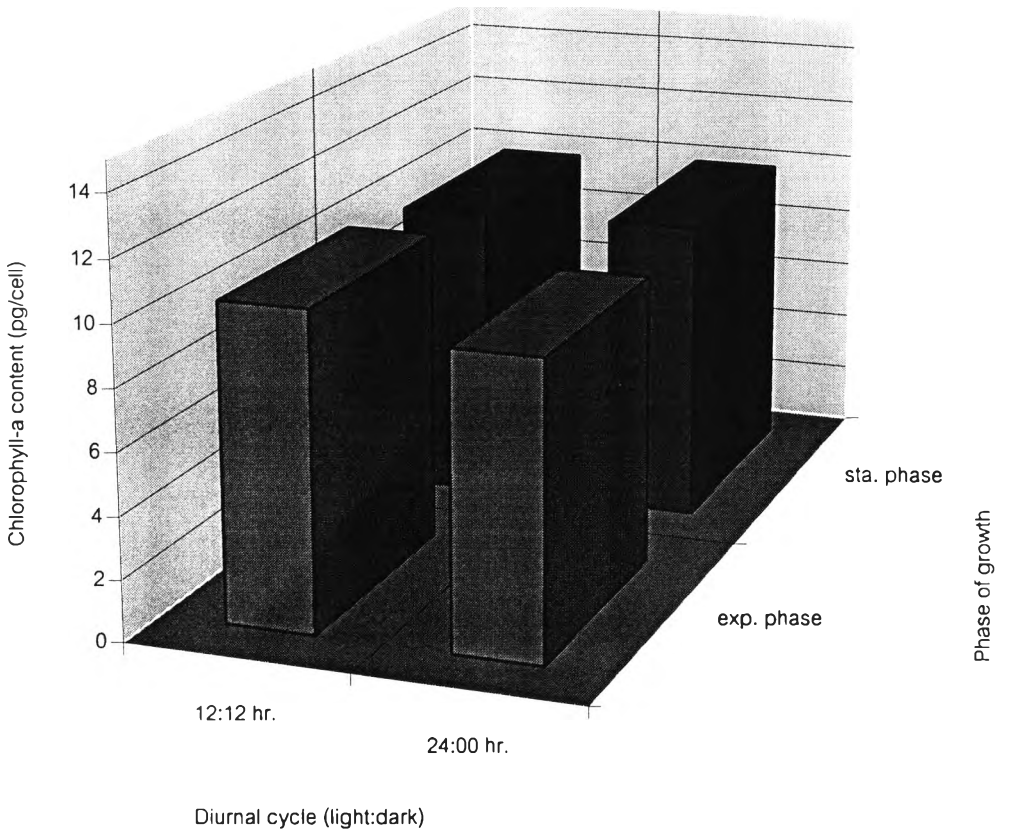
รูปที่ 4.11 การเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะการให้คาบแสงระดับต่าง ๆ



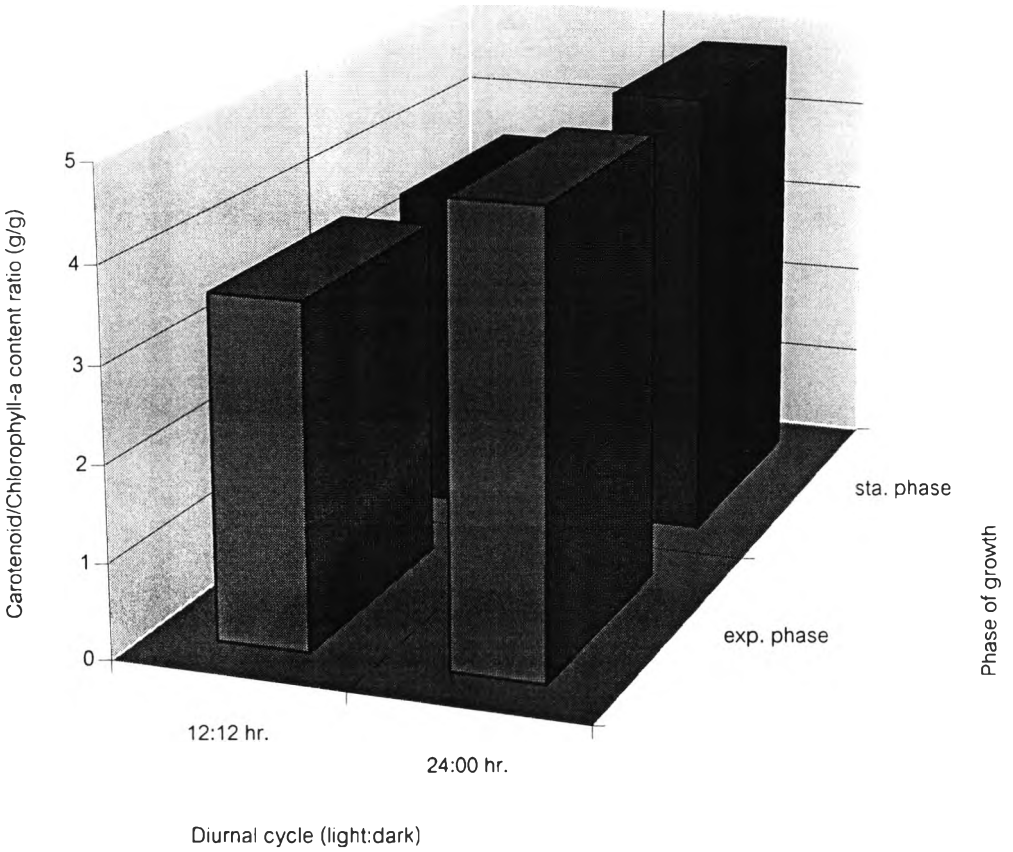
รูปที่ 4.12 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลเอลลาในภาวะการให้คาบแสงระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.13 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะการให้คาบแสงระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.14 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะการให้คาบแสงระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.15 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะการให้คาบแสงระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่

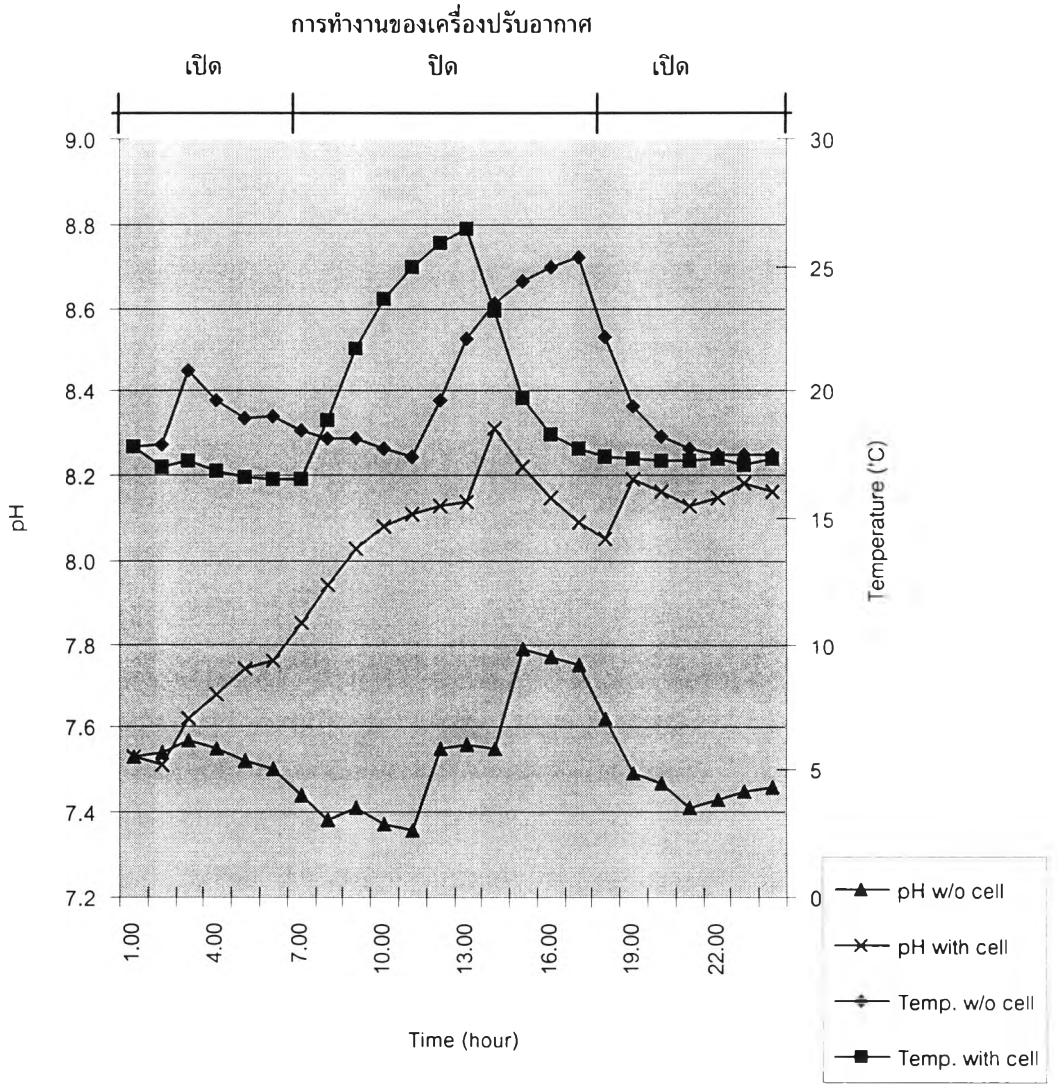
1.3 ผลของระดับ pH กับระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา

1.3.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยง

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงที่มีสาหร่ายดูนาลิเอลลาจากระดับ pH เริ่มต้น 7.5 อุณหภูมิห้องประมาณ 17 องศาเซลเซียส พบว่าค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงระดับสูงสุดที่ pH 8.31 เมื่ออุณหภูมิภายในห้องเพิ่มขึ้น (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) จากนั้นระดับ pH เริ่มลดลง เมื่ออุณหภูมิห้องลดลงจนถึงประมาณ 17 องศาเซลเซียส และระดับ pH เริ่มคงที่ประมาณ 8.1

ขณะที่ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลาพบว่า ระดับ pH ที่เริ่มต้นจาก 7.5 อุณหภูมิห้อง 17 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง โดยระดับ pH ที่สูงสุดในรอบวันประมาณ 7.8 เมื่ออุณหภูมิห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส และระดับ pH มีแนวโน้มลดลงจนกลับมาคงที่ (pH 7.5 โดยประมาณ) เมื่ออุณหภูมิห้องลดลงจนถึง 17 องศาเซลเซียส

ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในรอบวัน ขณะทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่าย รวมทั้งปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาแสดงดังรูปที่ 4.16 ตามลำดับ โดยค่าอัตราการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาเท่ากับ 0.22 และเวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าของสาหร่ายดูนาลิเอลลาเท่ากับ 3.15 วัน



รูปที่ 4.16 ระดับ pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวัน ขณะทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่าย (ไม่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)

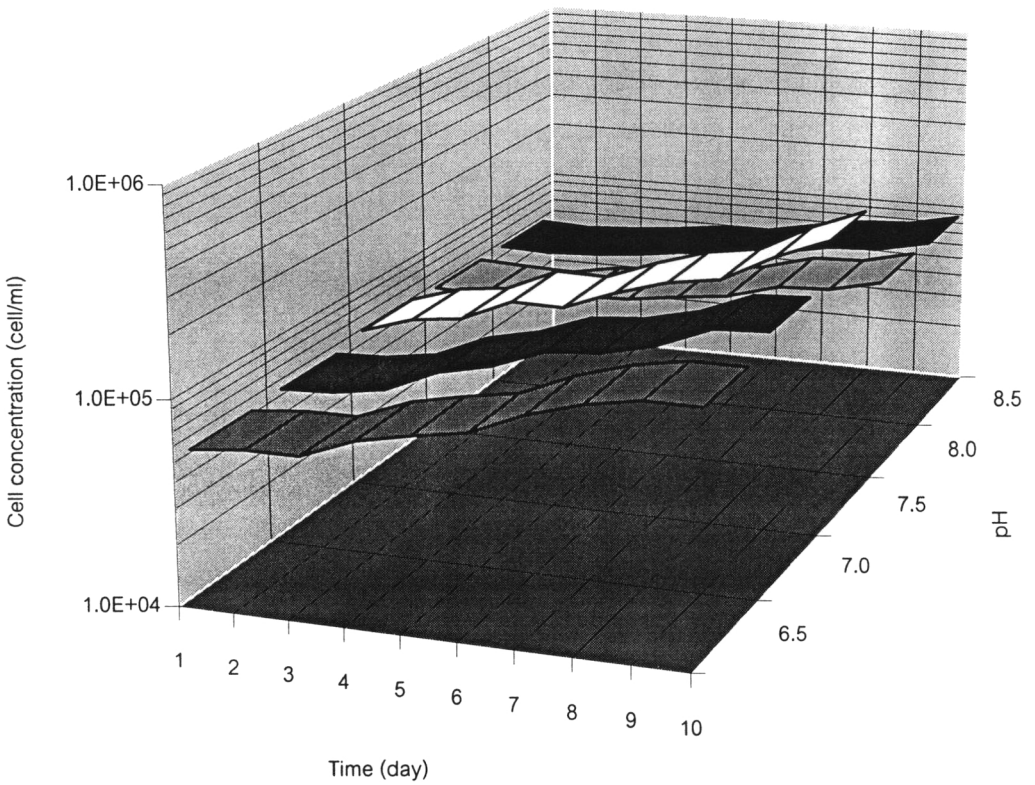
1.3.2 ผลของระดับ pH เริ่มต้นต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา

ผลการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ระดับ pH เริ่มต้น 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 และ 8.5 แสดงดังรูปที่ 4.17 โดยค่าอัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ pH เริ่มต้นทั้ง 5 ระดับเท่ากับ 0.11, 0.13, 0.16, 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.18 พบว่าจากการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ค่า pH ระดับต่างๆ กัน พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในอาหารเลี้ยงที่ pH 7.5 มีอัตราการเจริญสูงที่สุด รองลงมาคือ pH 7.0, 6.5, 8.0 และ 8.5 ตามลำดับ โดยอัตราการเจริญทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95%) และเวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าของดูนาลิเอลลาเท่ากับ 6.06, 5.35, 4.37, 12.75 และ 12.66 วัน ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตรงควัตถุเฉลี่ยที่ pH ทั้ง 5 ระดับเป็นดังนี้

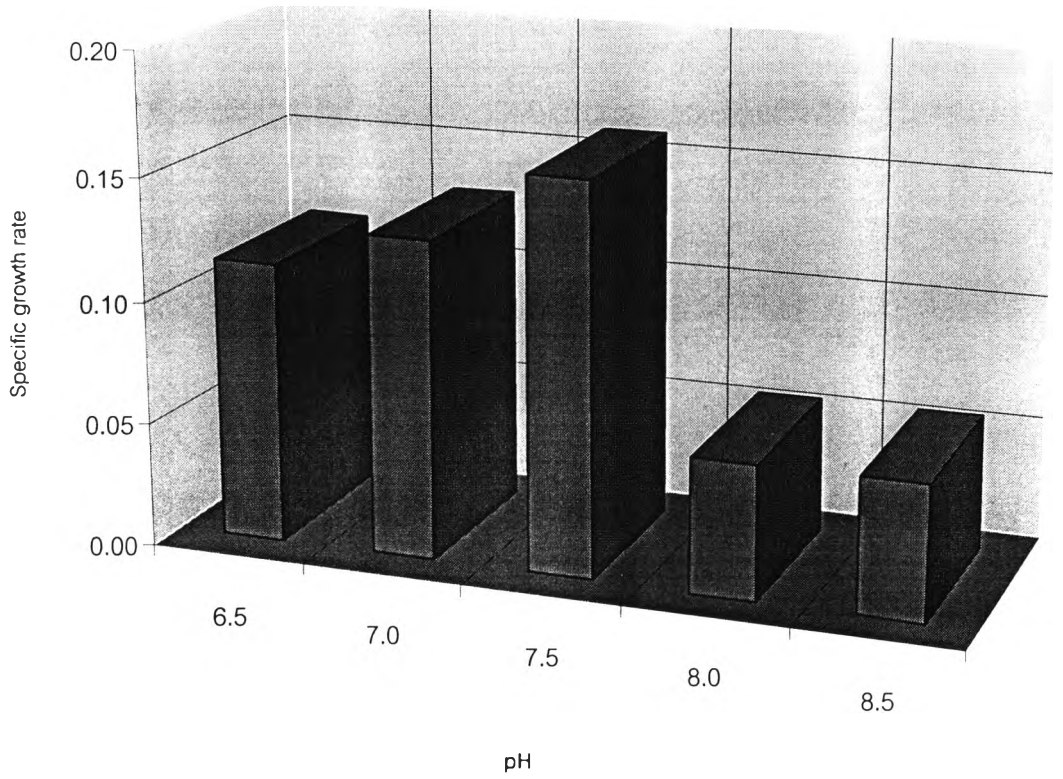
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 36.53, 32.27, 32.91, 32.60 และ 40.15 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 36.49, 31.83, 30.23, 32.16 และ 39.27 pg/cell ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.19 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาสูงที่สุดพบในระบบที่ค่อนข้างจะไม่เป็นกลางคือมีค่า pH 8.5, 6.5, 8.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 10.66, 10.54, 10.47, 10.39 และ 11.28 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 10.74, 10.46, 9.86, 10.52 และ 11.20 pg/cell ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.20 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่สูงที่สุดพบในระบบที่ค่อนข้างจะไม่เป็นกลางคือมีค่า pH 8.5, 6.5, 8.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

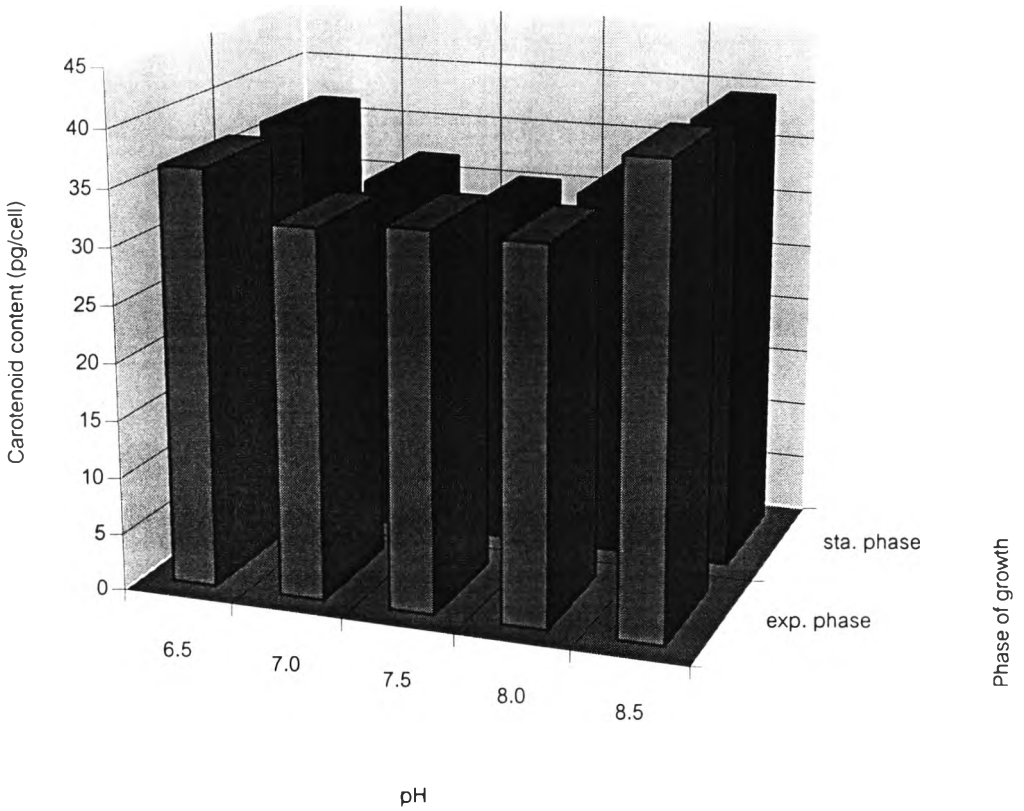
และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 3.88, 3.60, 3.57, 3.66 และ 4.07 g/g ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 3.85, 3.54, 3.46, 3.59 และ 4.03 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.21 พบว่าสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาพบว่ามีค่าสูงที่สุดเมื่อดูนาลิเอลลาเจริญในอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่ pH 8.5, 6.5, 8.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าที่สอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



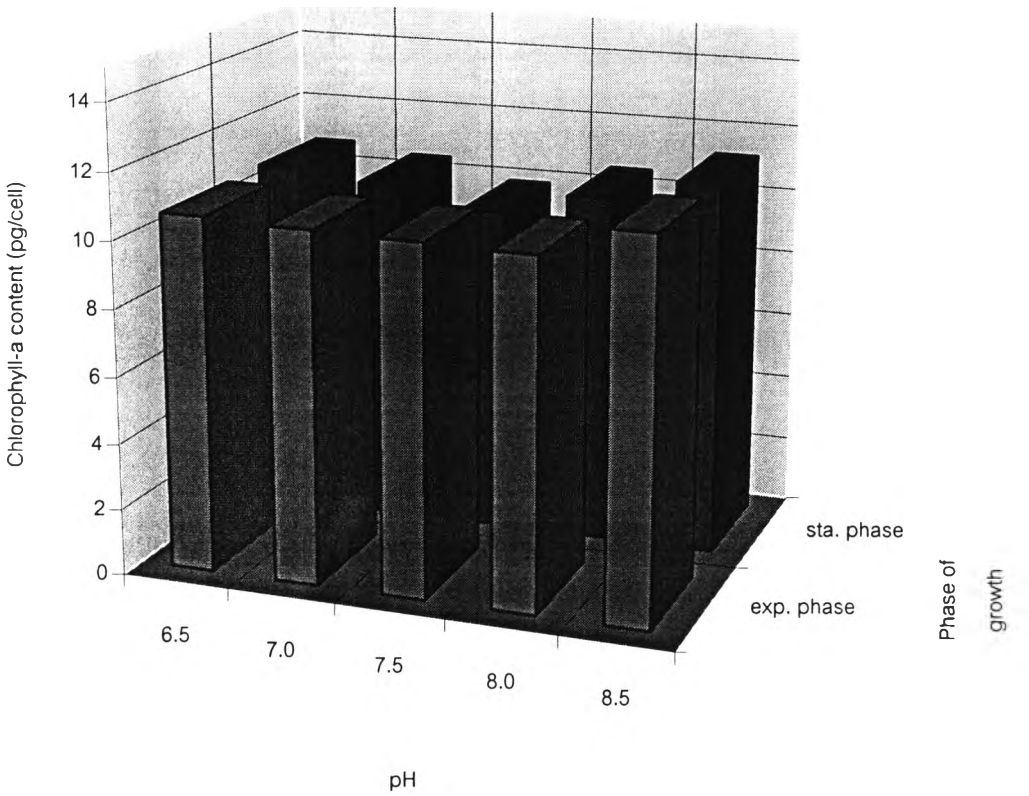
รูปที่ 4.17 การเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะ pH เริ่มต้นระดับต่าง ๆ



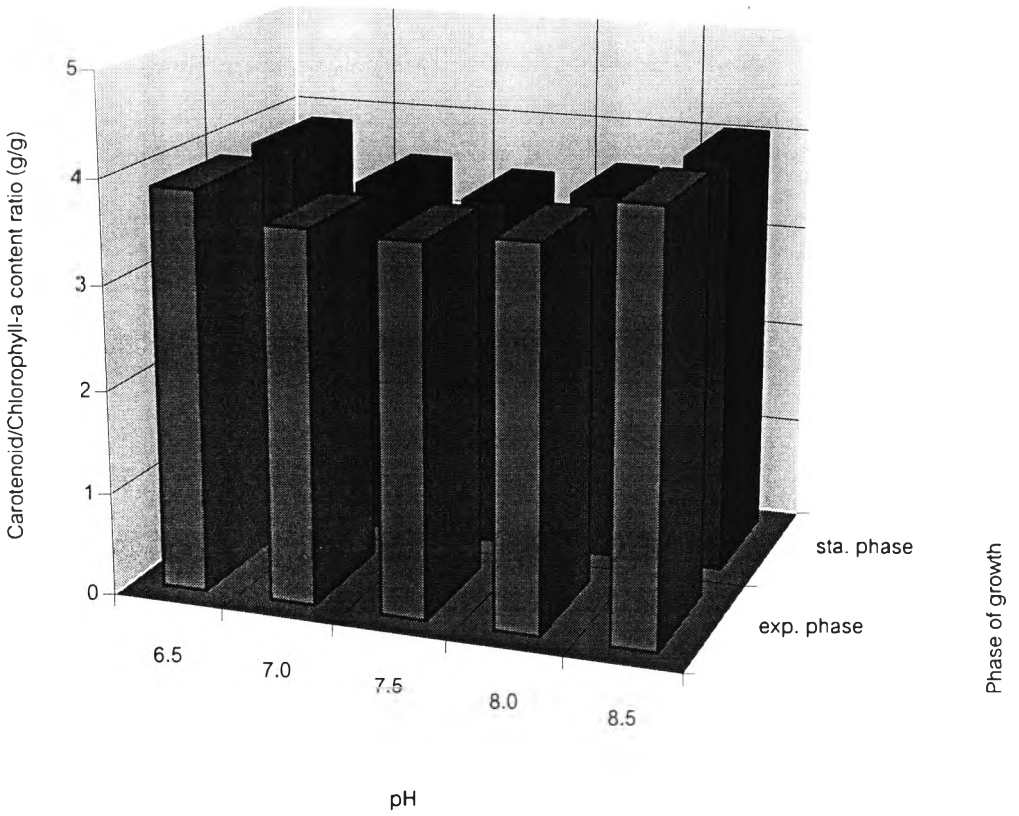
รูปที่ 4.18 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะ pH เริ่มต้นระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญใน ภาวะ pH เริ่มต้นระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.20 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญใน ภาวะ pH เริ่มต้นระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่



รูปที่ 4.21 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะ pH เริ่มต้นระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และคงที่

1.4 ผลของการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนในระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา

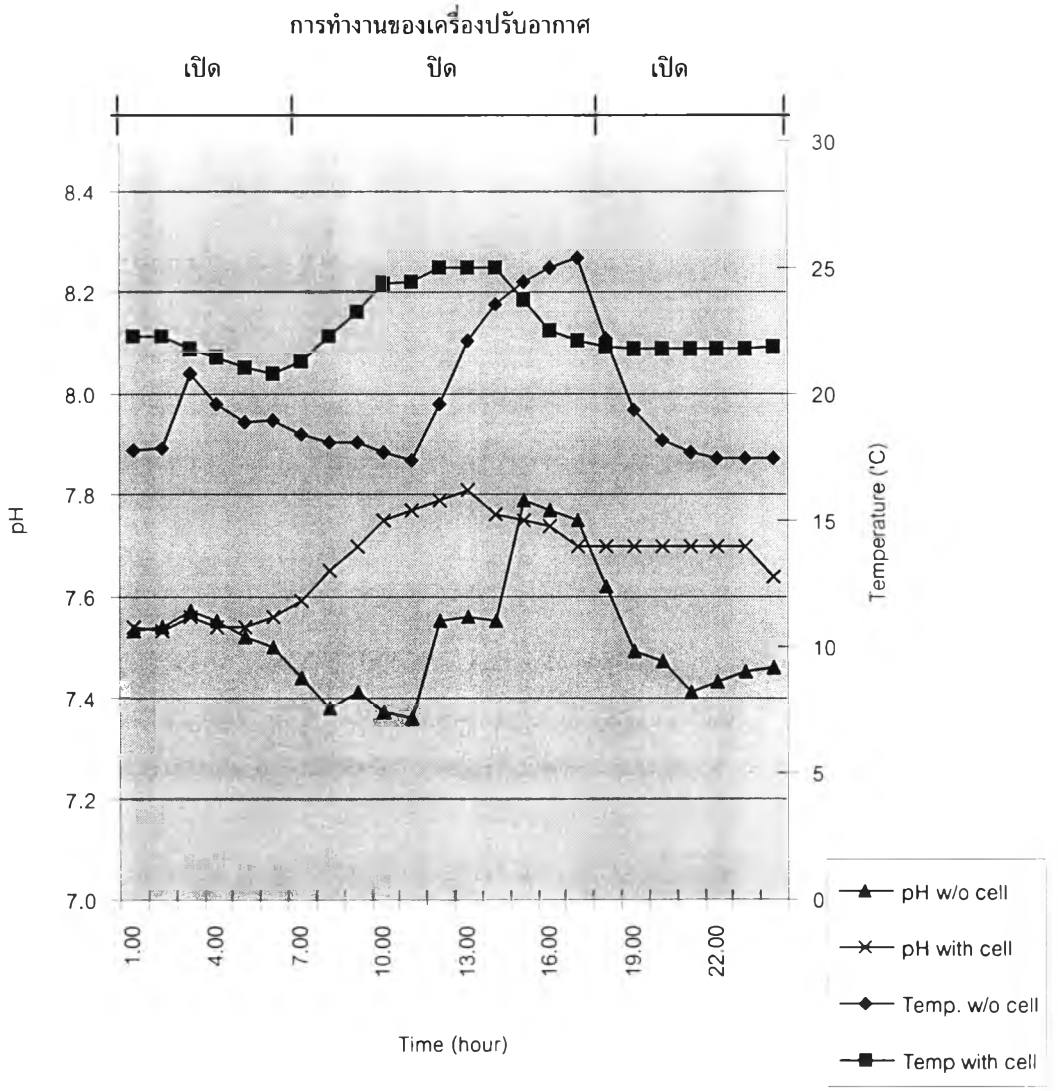
1.4.1 ผลของระดับ pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงที่มีสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที จากระดับ pH เริ่มต้น 7.6 โดยประมาณ ที่อุณหภูมิภายในห้องประมาณ 17 องศาเซลเซียส พบว่าค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงระดับสูงสุดที่ pH 7.8 โดยประมาณ เมื่ออุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้น (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) จากนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในห้องเริ่มลดลง ระดับ pH เริ่มลดลงมาและคงที่ประมาณ pH 7.7 โดยระดับ pH มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิภายในห้องลดลง

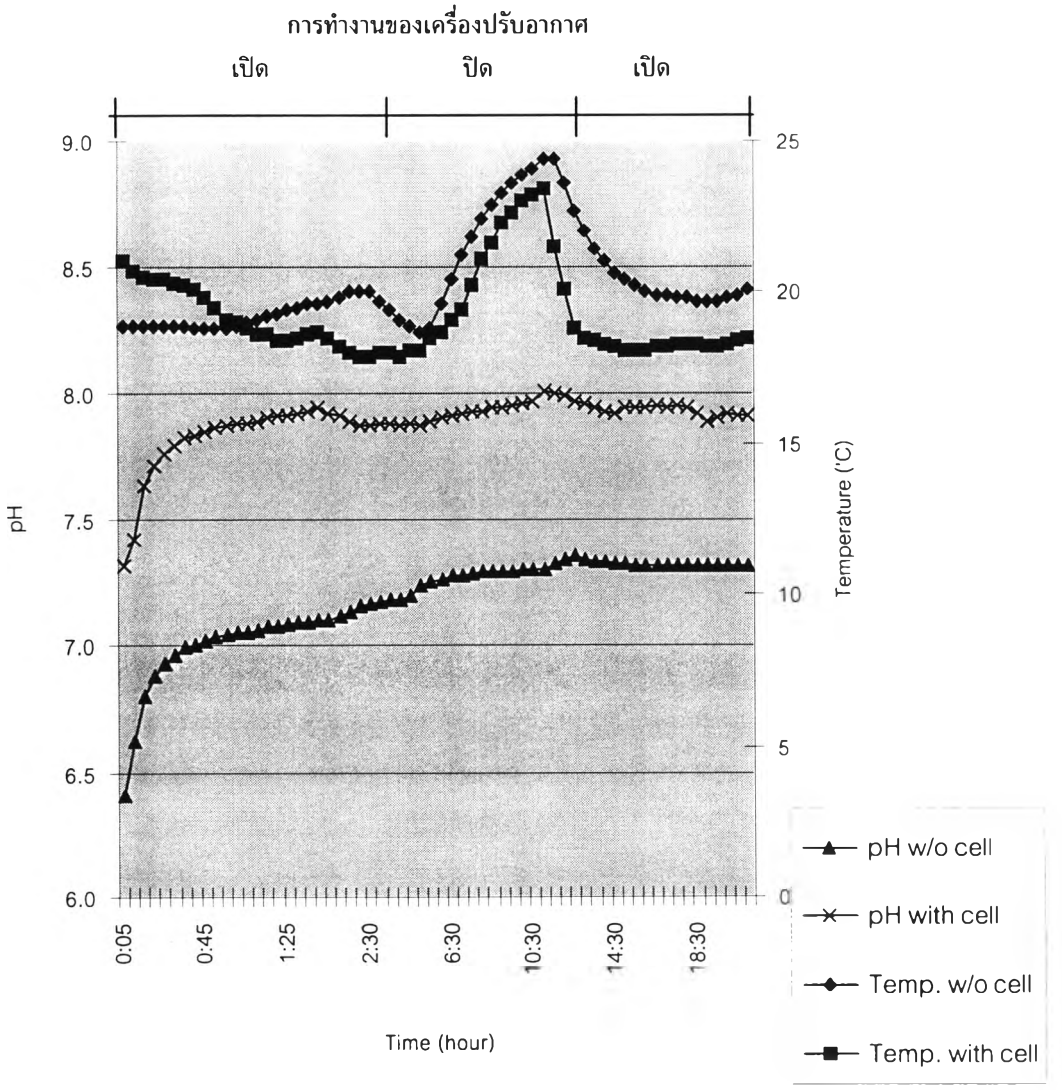
ขณะที่ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงที่ไม่มีสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที จากระดับ pH ที่เริ่มต้นจาก 7.6 โดยประมาณ ที่อุณหภูมิภายในห้องประมาณ 17 องศาเซลเซียส พบว่าค่า pH มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิภายในห้องที่เปลี่ยนแปลง โดยระดับ pH ที่สูงสุดในรอบวันประมาณ 7.8 เมื่ออุณหภูมิภายในห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส และระดับ pH มีแนวโน้มลดลงจนกลับมาคงที่ (pH 7.4 โดยประมาณ) เมื่ออุณหภูมิภายในห้องลดลงจนถึง 17 องศาเซลเซียส

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของระบบเพาะเลี้ยงทั้งที่มีและไม่มีเซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลา ภายหลังหยุดการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับการให้เดิม 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าระดับ pH ของระบบทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระดับคงที่ โดยระดับ pH สุดท้ายก่อนที่จะหยุดการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบที่มีเซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลาประมาณ 7.3 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 7.9 โดยประมาณ ในช่วง 30 นาทีแรก ขณะที่ระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่ายมีค่า pH สุดท้ายก่อนจะหยุดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 6.4 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 7 ในช่วง 30 นาทีแรกเช่นเดียวกัน และระดับ pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 7.3 ภายใน 24 ชั่วโมง

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ ที่ภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.22 ตามลำดับ โดยค่าอัตราการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลา 0.26 เวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าเท่ากับ 2.67 วัน และระดับค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันภายหลังจากหยุดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากระดับการให้เดิม (1.5 มิลลิลิตรต่อนาที) แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาภายใน เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ ที่ภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.23 ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ ภายหลังหยุดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระดับ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที

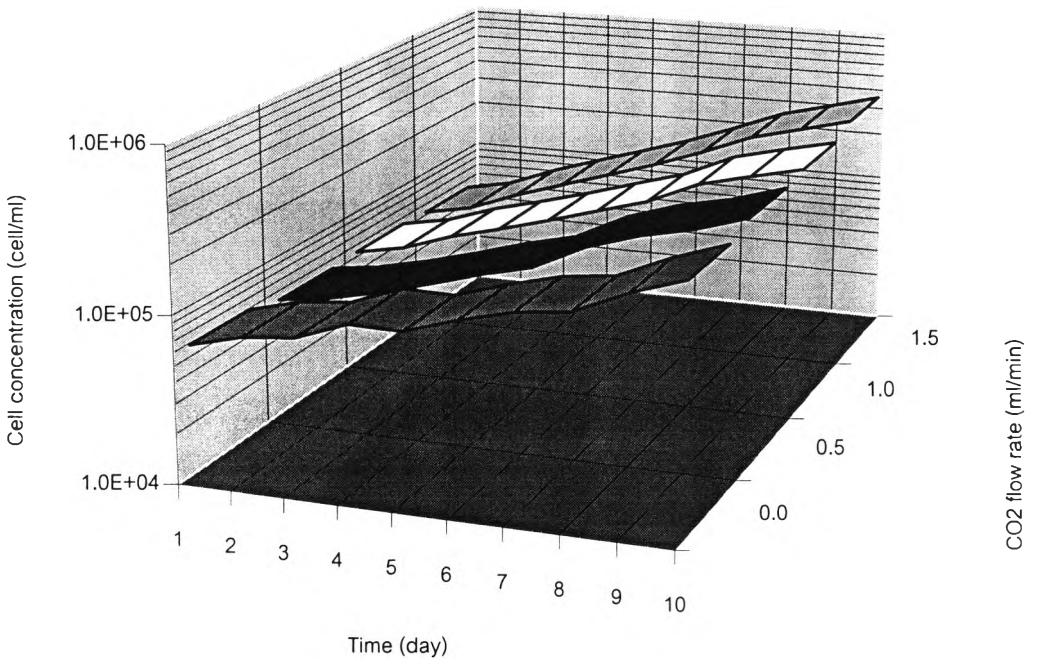
1.4.2 ผลของการผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอากาศในปริมาณต่าง ๆ

ค่าเฉลี่ยการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงในระบบที่มีการผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอากาศระดับ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที (ml/min CO_2) แสดงดังรูปที่ 4.24 โดยค่าอัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ภาวะการเจริญทั้ง 4 ระดับเท่ากับ 0.16, 0.19, 0.20 และ 0.21 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.25 พบว่าพบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่สูงจะมีอัตราการเจริญสูงกว่าภาวะที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ต่ำลงตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95%) เวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าของสาหร่ายดูนาลิเอลลาเท่ากับ 4.37, 3.66, 3.50 และ 3.24 วัน ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตรงควัตถุเฉลี่ยที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 4 ระดับเป็นดังนี้

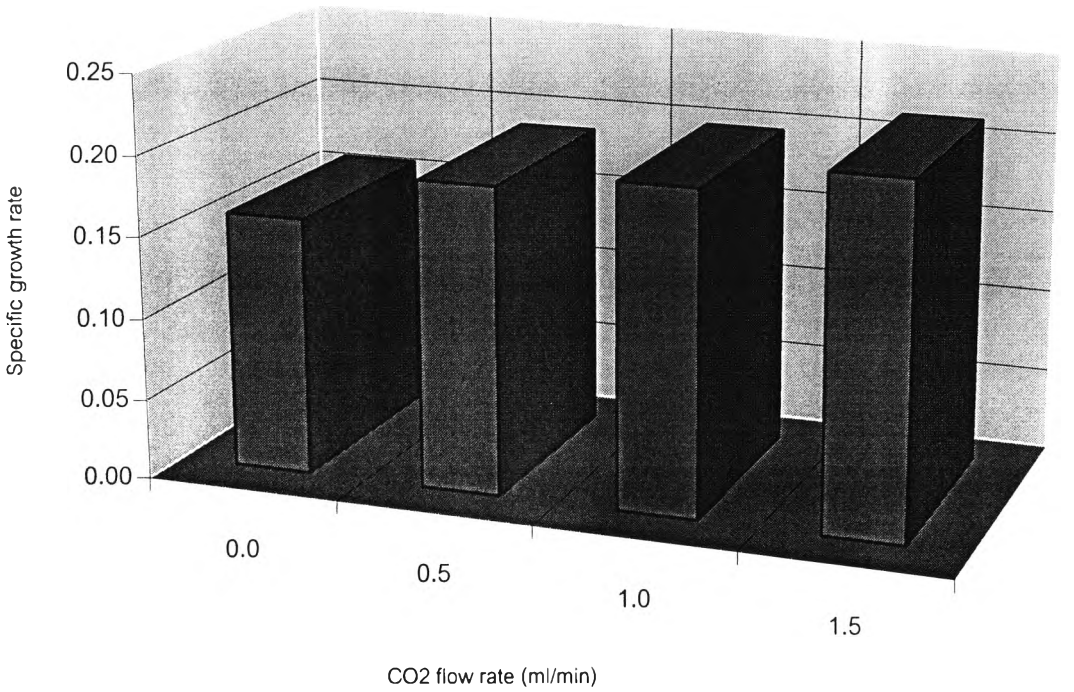
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 32.09, 32.75, 34.78 และ 35.73 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 30.36, 32.20, 33.34 และ 35.29 pg/cell ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่สูงมีค่าสูงกว่าภาวะที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 10.30, 10.67, 10.97 และ 11.40 pg/cell ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 9.85, 10.49, 10.81 และ 11.16 pg/cell ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.27 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบที่ให้ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในอัตราที่สูงมีค่าสูงกว่าภาวะที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

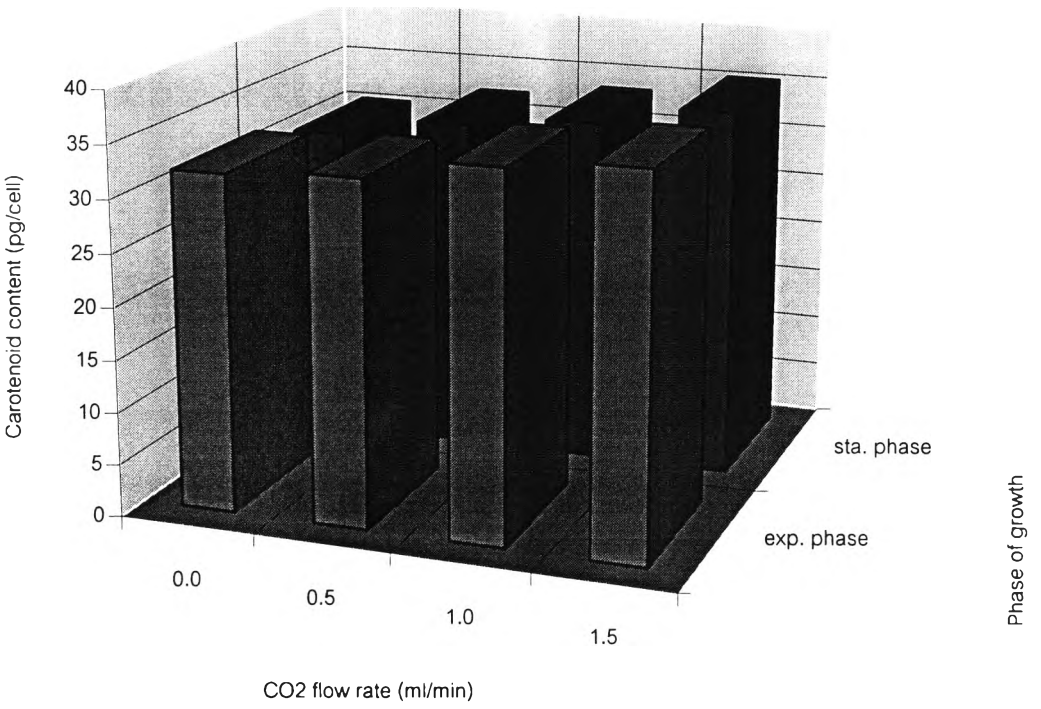
และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ย ณ ช่วงการเจริญแบบทวีคูณเท่ากับ 3.56, 3.47, 3.46 และ 3.36 g/g ตามลำดับ และช่วงการเจริญแบบคงที่เท่ากับ 3.48, 3.47, 3.40 และ 3.41 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.28 พบว่าสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะที่ไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีแนวโน้มสูงกว่าภาวะที่ให้ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในอัตราที่สูงขึ้นตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



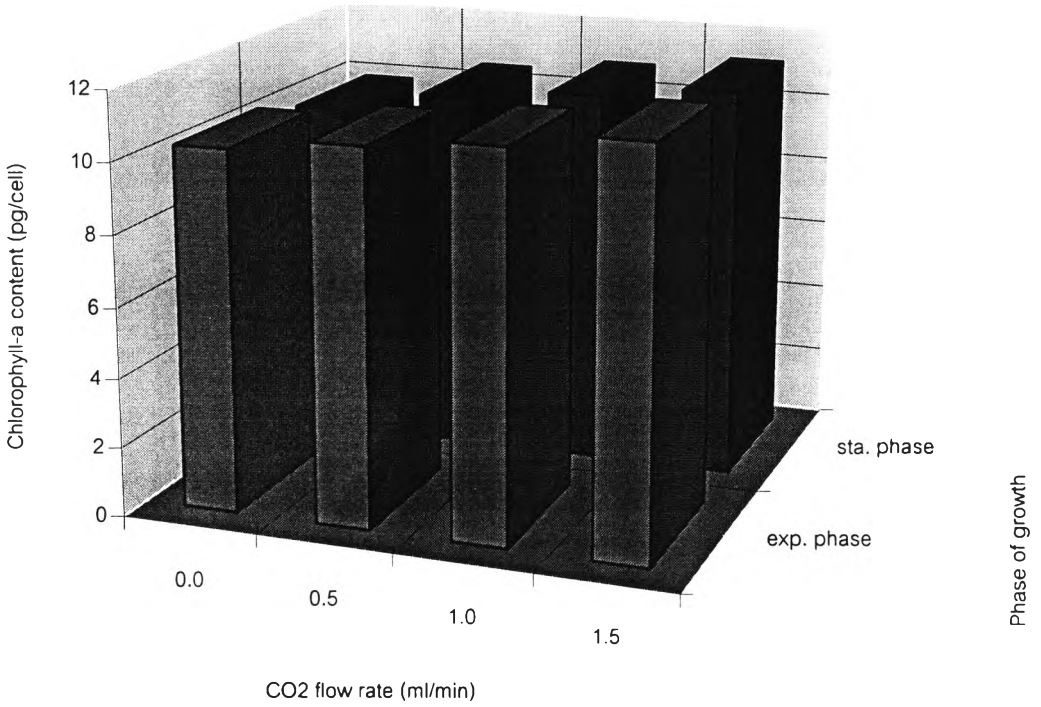
รูปที่ 4.24 การเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงในระบบที่มีการผสมก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์กับอากาศระดับต่าง ๆ



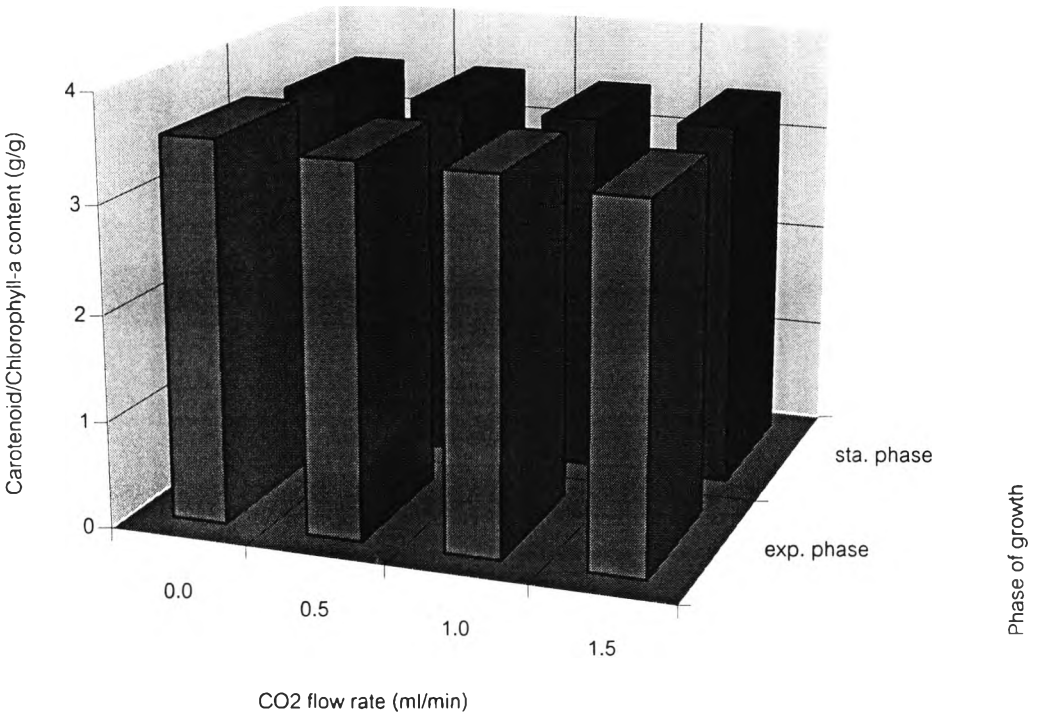
รูปที่ 4.25 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงในภาวะการให้ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.26 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงในระบบที่มีการผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอากาศระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และแบบคงที่



รูปที่ 4.27 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงในระบบที่มีการผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอากาศระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และแบบคงที่



รูปที่ 4.28 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงในระบบที่มีการผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอากาศระดับต่าง ๆ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ และแบบคงที่

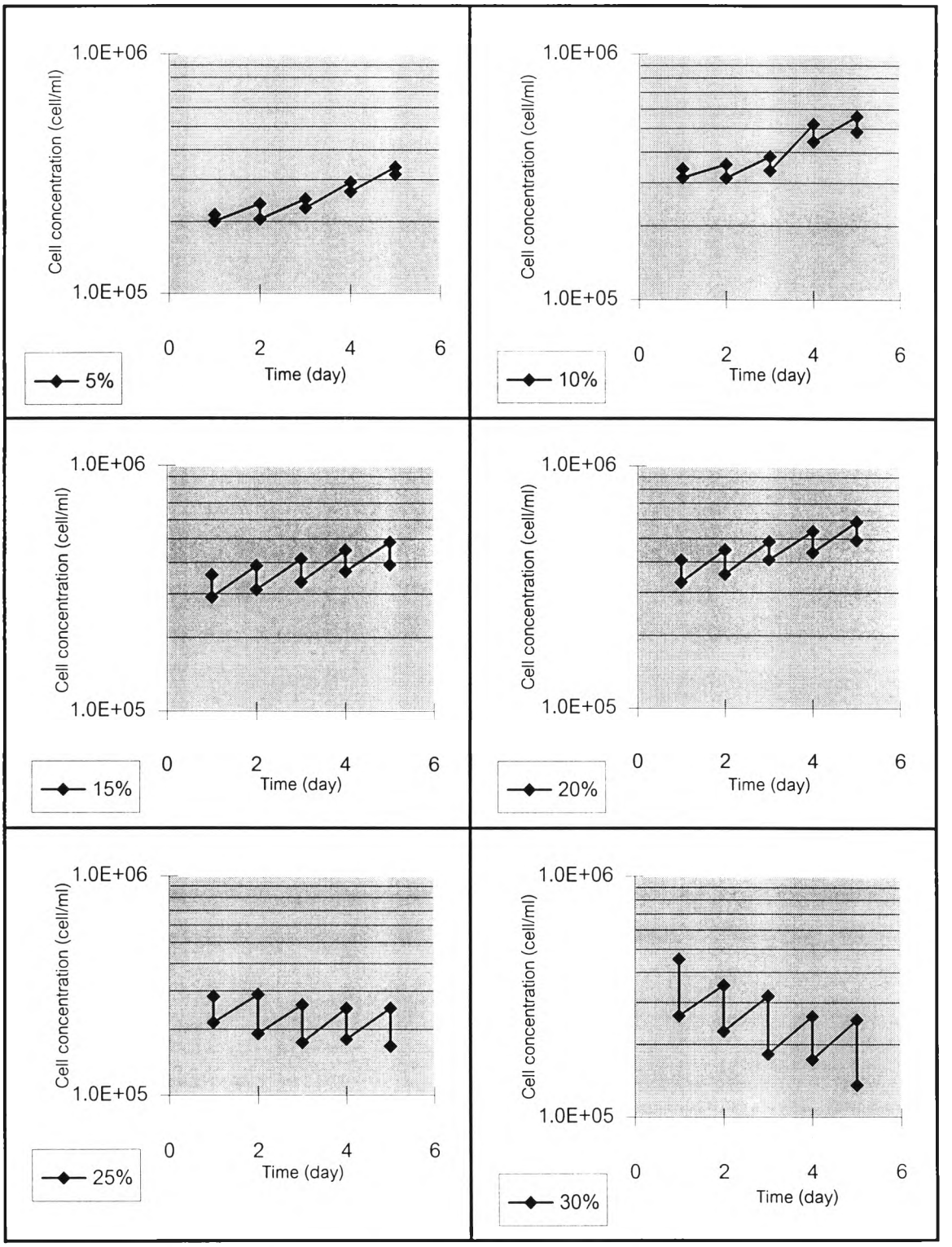
2 การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous cultivation) ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ

2.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบกึ่งต่อเนื่องโดยกำหนดปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิต

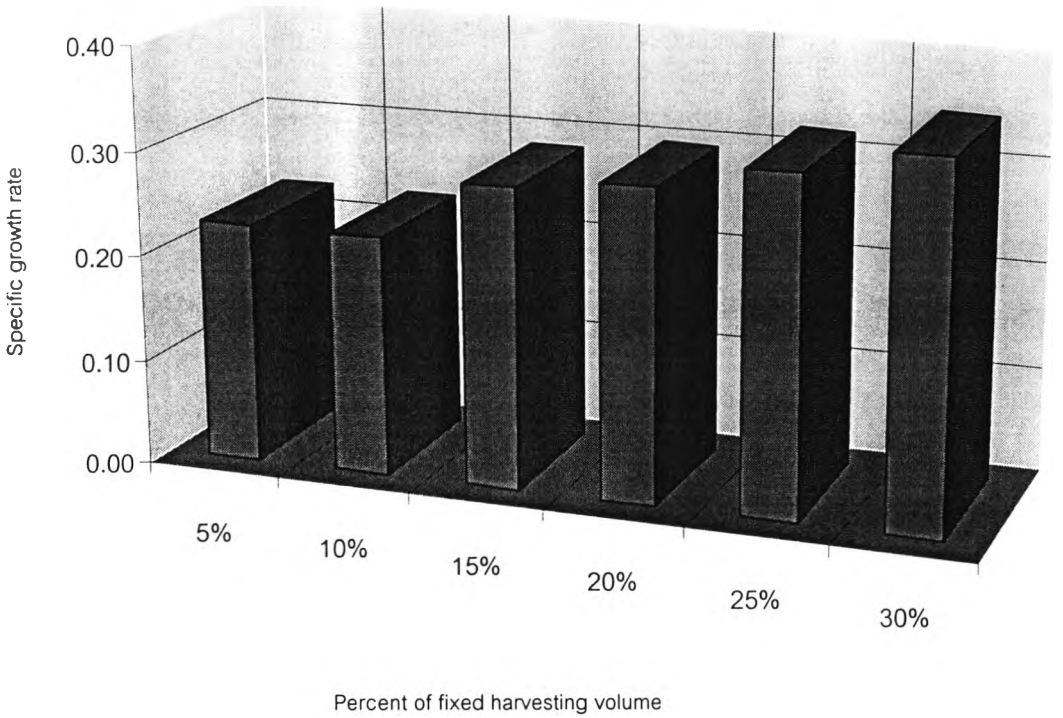
ผลการเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในระบบเพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอนโดยแบ่งเป็น 6 ระดับคือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ตามลำดับ (50, 100, 150 , 200, 250 และ 300 มิลลิลิตร ตามลำดับ) แสดงดังรูปที่ 4.29 พบว่าพบว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวผลผลิตที่สูงจะมีอัตราการเจริญสูงกว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ต่ำ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราการเจริญเฉลี่ยระหว่างการเพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยการกำหนดปริมาณการเก็บเกี่ยวที่แน่นอนทั้ง 6 ระดับ เท่ากับ 0.23, 0.23, 0.29, 0.30, 0.32 และ 0.34 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.30 เวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าเท่ากับ 3.04, 3.05, 2.42, 2.34, 2.16 และ 2.01 วัน ตามลำดับ

ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายที่ได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่กำหนดปริมาตรที่แน่นอน (50, 100, 150 , 200, 250 และ 300 มิลลิลิตร ตามลำดับ) โดยเฉลี่ย 266,050, 432,950, 419,350, 494,200, 266,350 และ 328,300 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลาภายหลังจากการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยวันละ 242,950, 379,000, 339,950, 406,000, 185,650 และ 196,300 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละของผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวเฉลี่ย 8.68, 12.46, 18.93, 17.85, 30.30 และ 40.21 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตสาหร่ายทั้งหมด ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.31

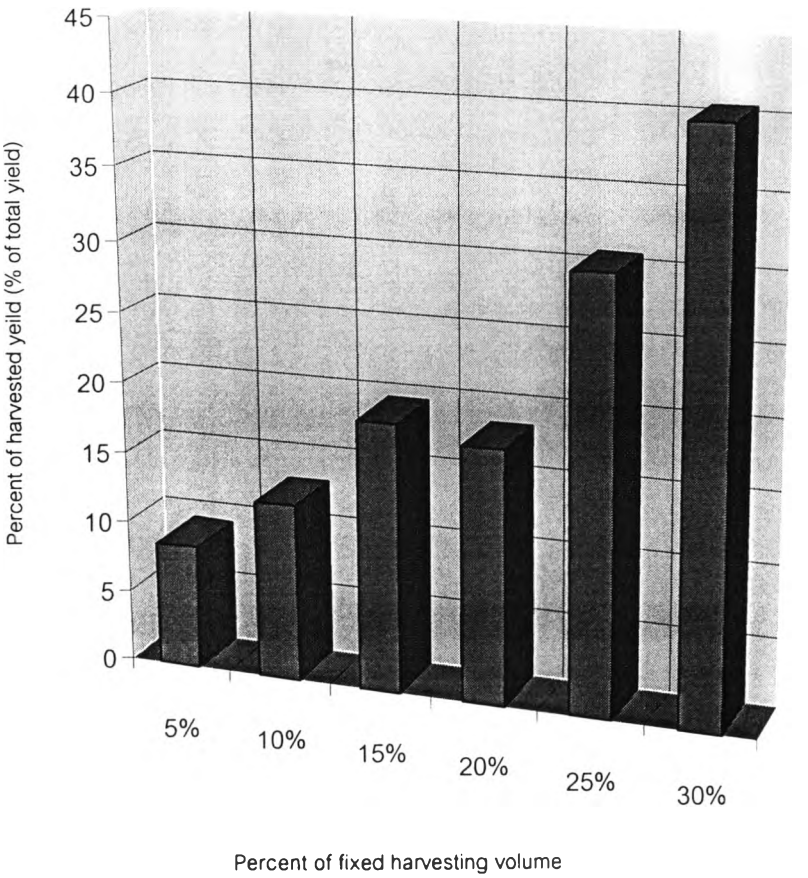
เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบกำหนดปริมาตรที่แน่นอนกับการเก็บเกี่ยวโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยว พบว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวที่ต่ำจะมีค่าน้อยกว่าปริมาตรที่คำนวณได้โดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยว และปริมาตรการเก็บเกี่ยวแบบกำหนดปริมาตรที่แน่นอนจะเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับปริมาตรที่คำนวณได้โดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวเมื่อเพิ่มปริมาตรการเก็บเกี่ยวขึ้นตามลำดับ (10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ตามลำดับ) โดยปริมาตรผลต่างโดยเฉลี่ยของการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องแบบกำหนดปริมาตรที่แน่นอนกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวเท่ากับ -155.4, -105.4, -101.7, -59.2, -23.9 และ +11.8 มิลลิลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.29 การเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในระบบเพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอน



รูปที่ 4.30 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอน



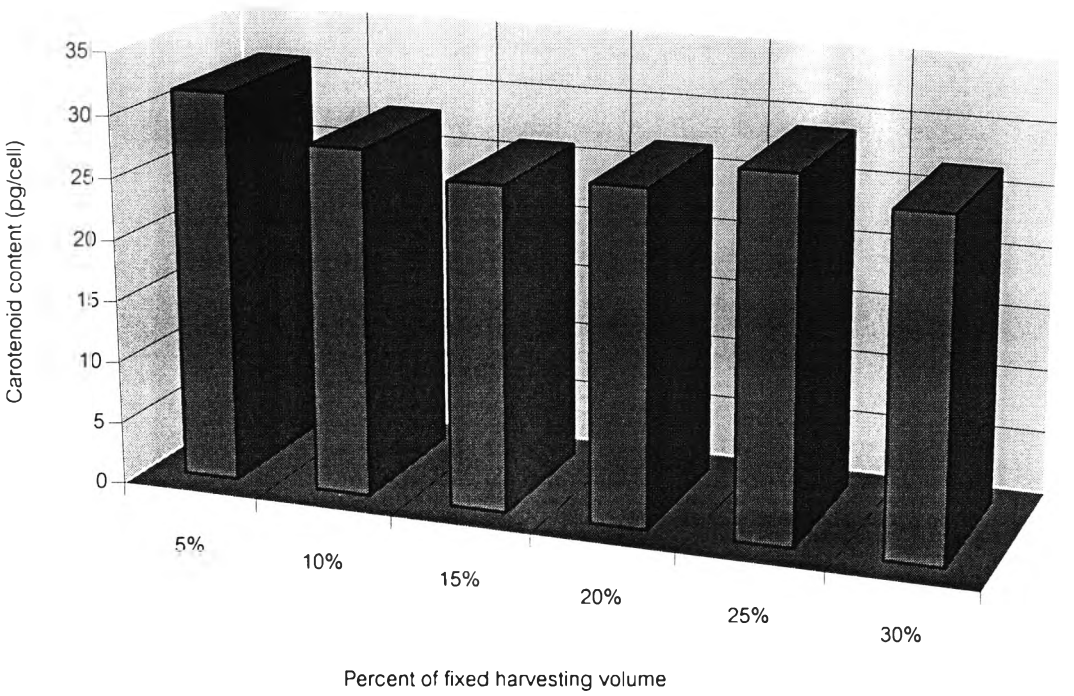
รูปที่ 4.31 ร้อยละของการเก็บเกี่ยวสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอน

ปริมาณผลผลิตรงควัตถุเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวได้จากการกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้ง 6 ระดับเป็นดังนี้

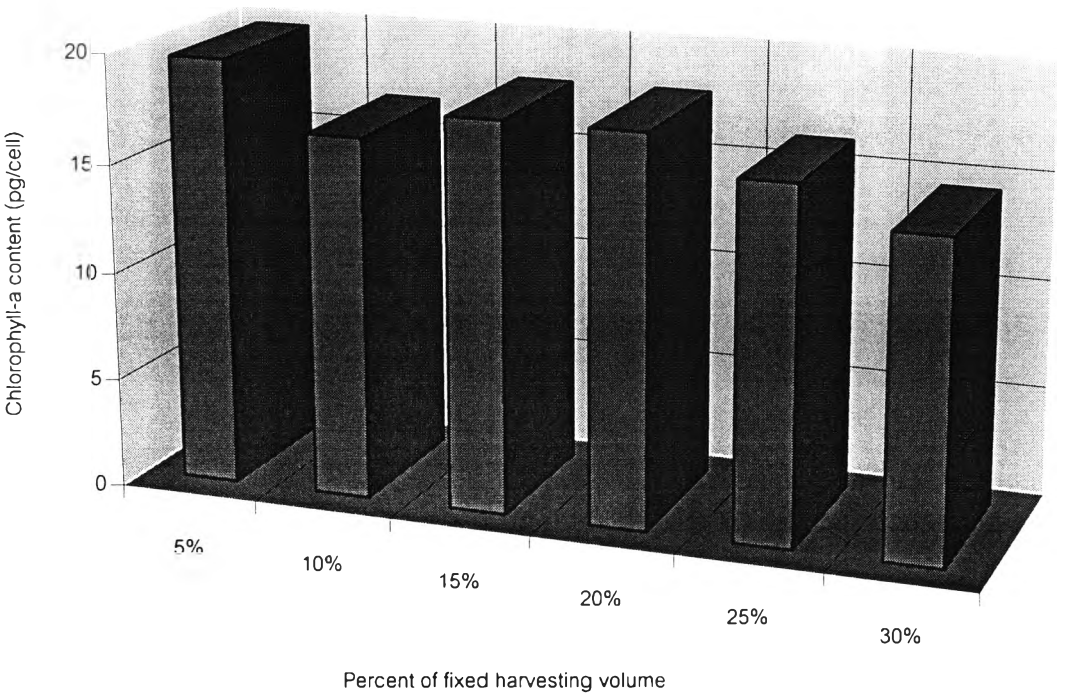
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวได้วันละ 31.61, 28.03, 26.14, 26.92, 28.97 และ 26.96 pg/cell ตามลำดับ ดังรูป 4.32 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

คลอโรฟิลล์เฉลี่ยเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวได้วันละ 19.62, 16.60, 17.86, 17.84, 16.18 และ 14.48 pg/cell ตามลำดับ ดังรูป 4.33 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

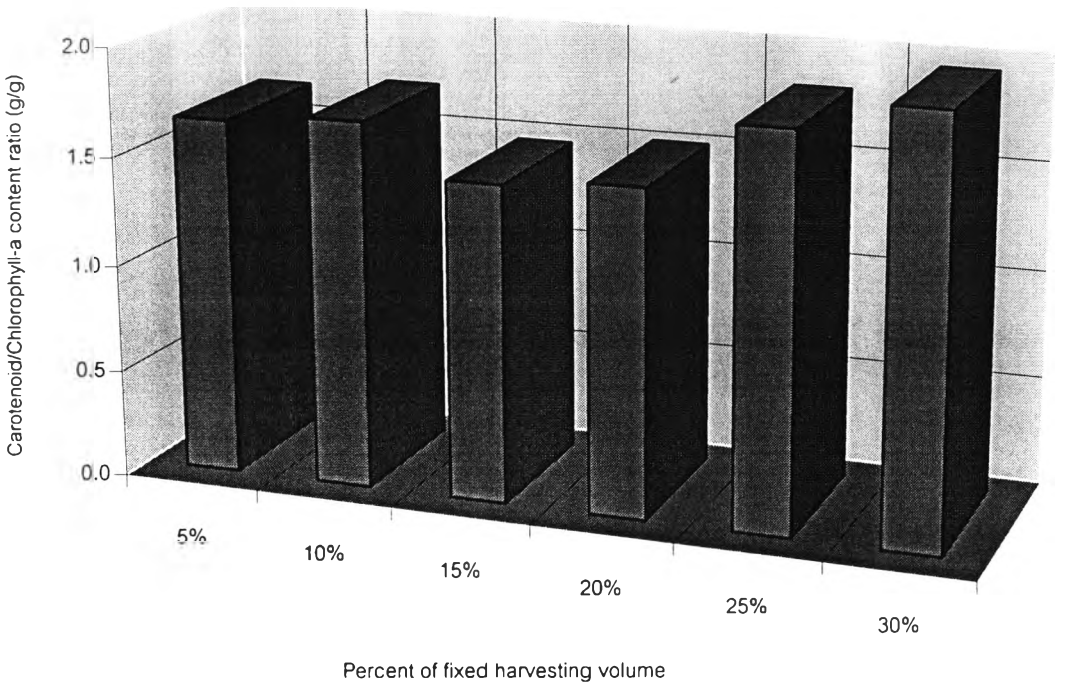
สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์วันละ 1.66, 1.70, 1.47, 1.51, 1.81 และ 1.94 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.34 พบว่าสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.32 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอน



รูปที่ 4.33 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอน



รูปที่ 4.34 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องที่แน่นอน

2.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิต

การเพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวันและทุกสองวัน

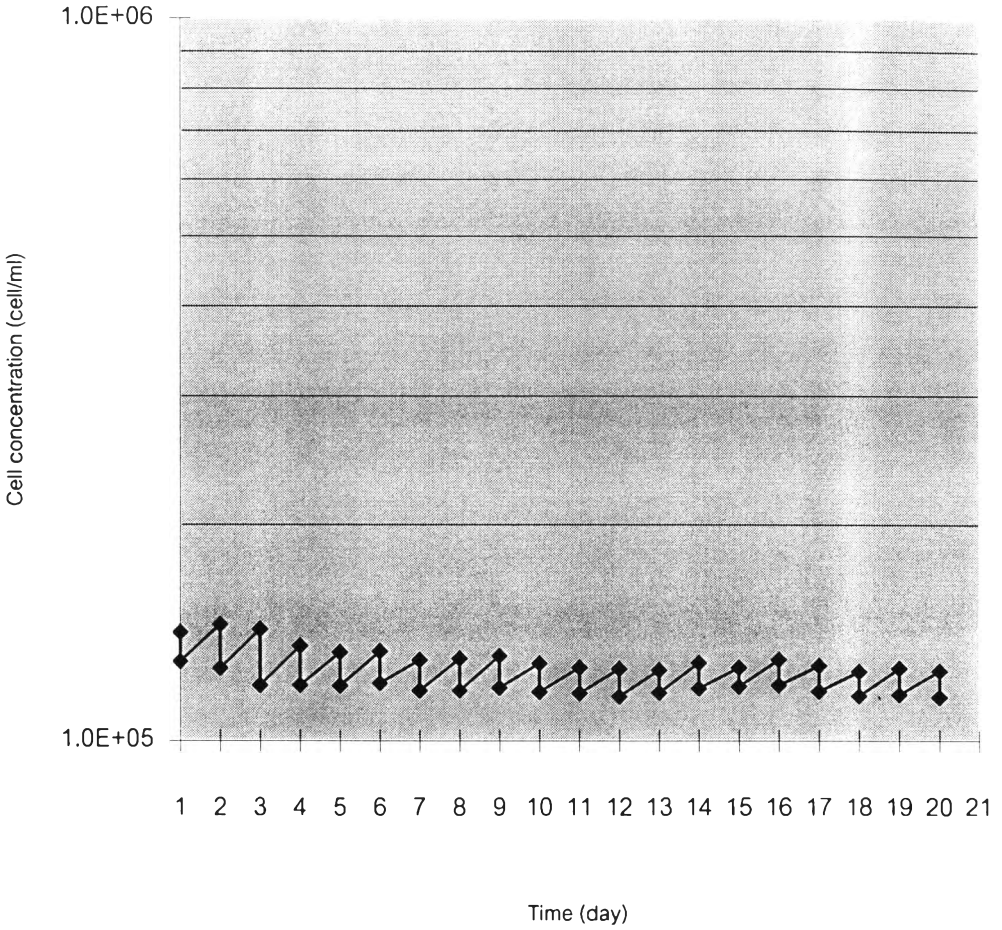
ผลการเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในระบบเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องทุกวันและทุกสองวันแสดงดังรูปที่ 4.35 และ 4.36 ตามลำดับ โดยค่าอัตราการเจริญเฉลี่ยในช่วงทวีคูณระหว่างทำการเพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องแบบกึ่งต่อเนื่องเท่ากับ 0.11 และ 0.14 ตามลำดับ เวลาในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าเป็น 6.42 และ 4.85 วัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.37

ปริมาตรผลผลิตเฉลี่ยที่เก็บเกี่ยวได้ทุกวันและทุกสองวันเท่ากับ 104.2 และ 240 มิลลิลิตร ตามลำดับ ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายเฉลี่ยที่เก็บเกี่ยวได้เท่ากับ 130,850 และ 172,681.8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลาโดยเฉลี่ยภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตเท่ากับ 118,658 และ 139,068.2 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละของการเก็บเกี่ยว (ต่อวัน) เท่ากับ 9.32 และ 9.73 ของปริมาตรทั้งหมด ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.38

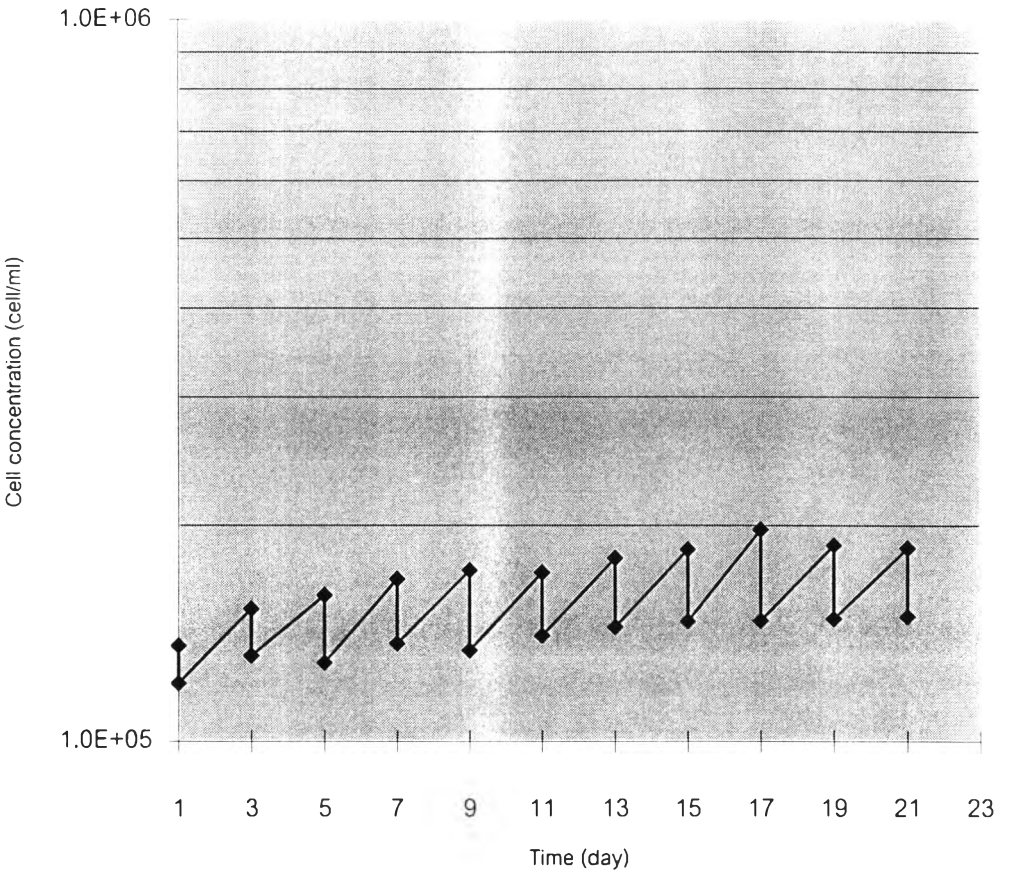
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยที่ได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบทุกวันและทุกสองวันเท่ากับ 30.91 และ 32.74 pg/cell ตามลำดับ คลอโรฟิลล์เฉลี่ยเท่ากับ 10.71 และ 10.20 pg/cell ตามลำดับ และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยเท่ากับ 3.14 และ 3.68 g/g ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.39, 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวันกับทุก 2 วัน พบว่า อัตราการเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลาของการเก็บเกี่ยวแบบทุก 2 วันมีค่าสูงกว่าแบบทุกวัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95%) ขณะที่ปริมาณผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวได้ในแบบทุก 2 วันมีค่าสูงกว่าแบบทุกวัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

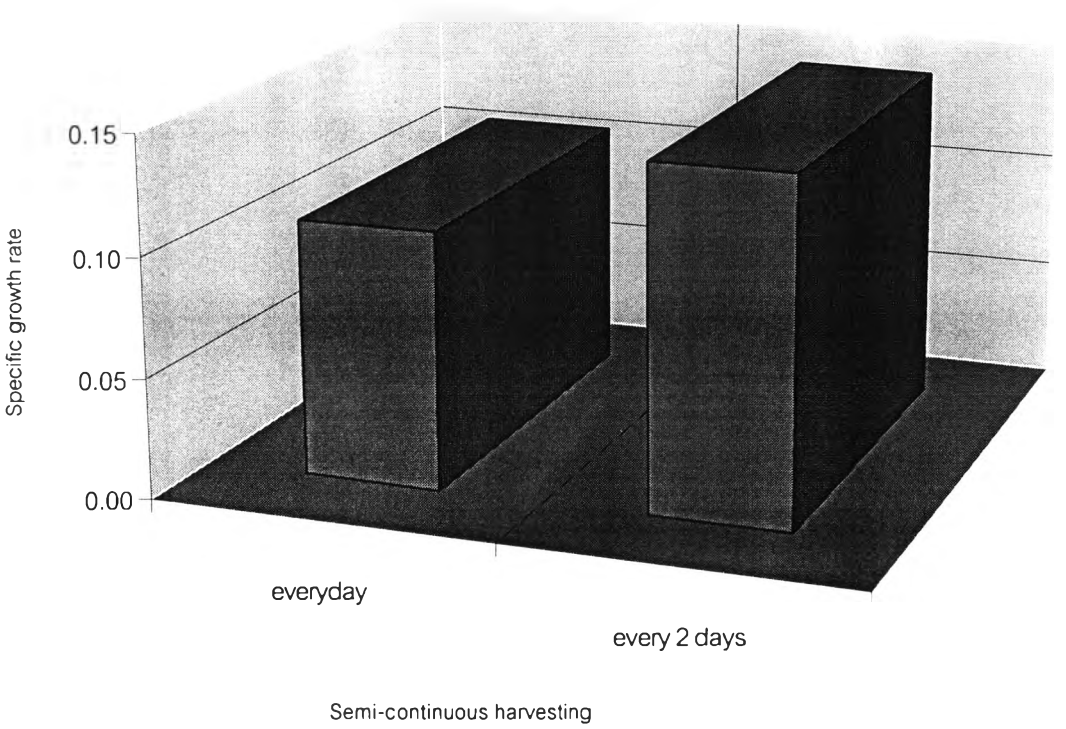
ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ย และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องทั้งแบบเก็บเกี่ยวทุกวันกับทุก 2 วัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



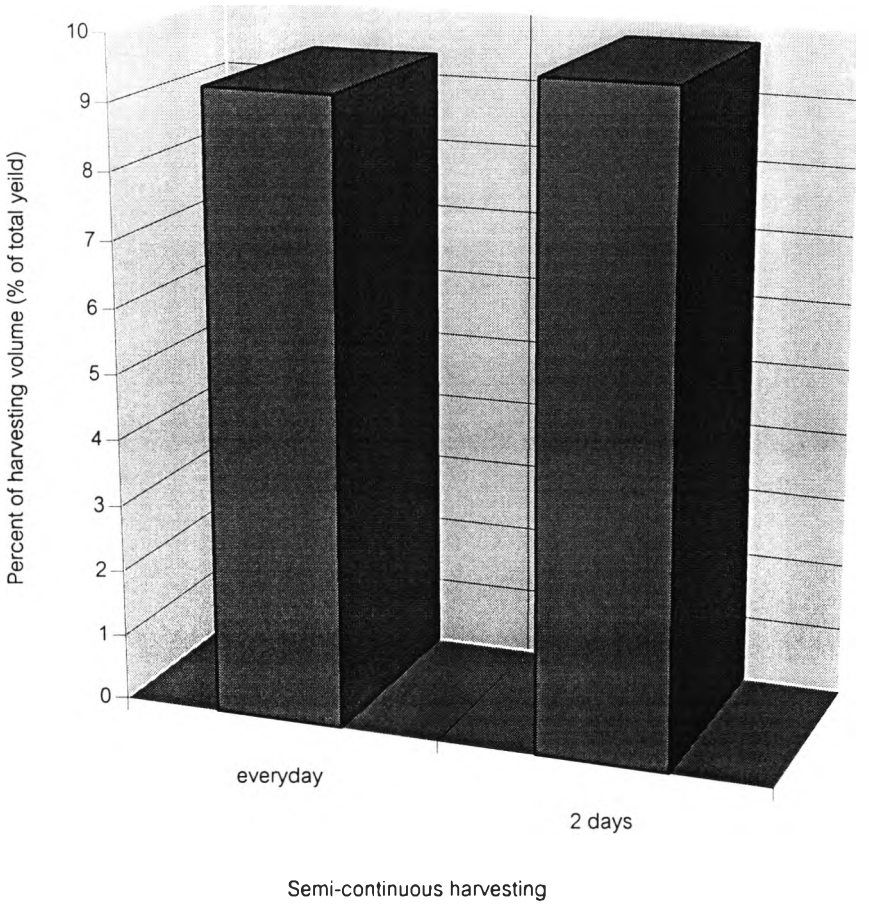
รูปที่ 4.35 การเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวัน



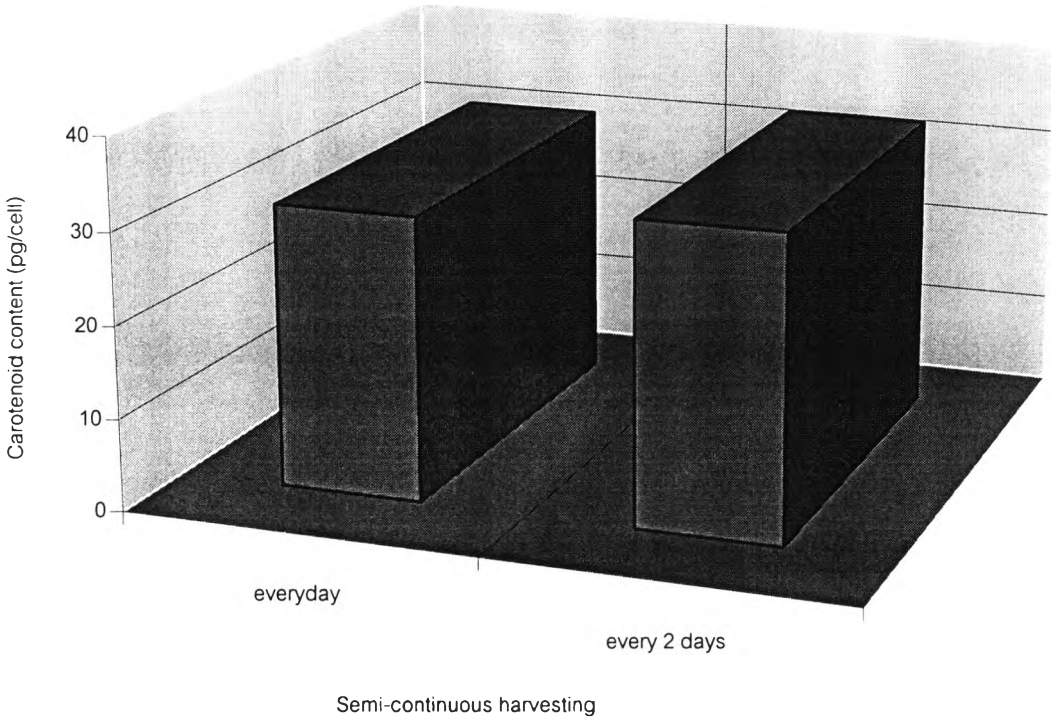
รูปที่ 4.36 การเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกสองวัน



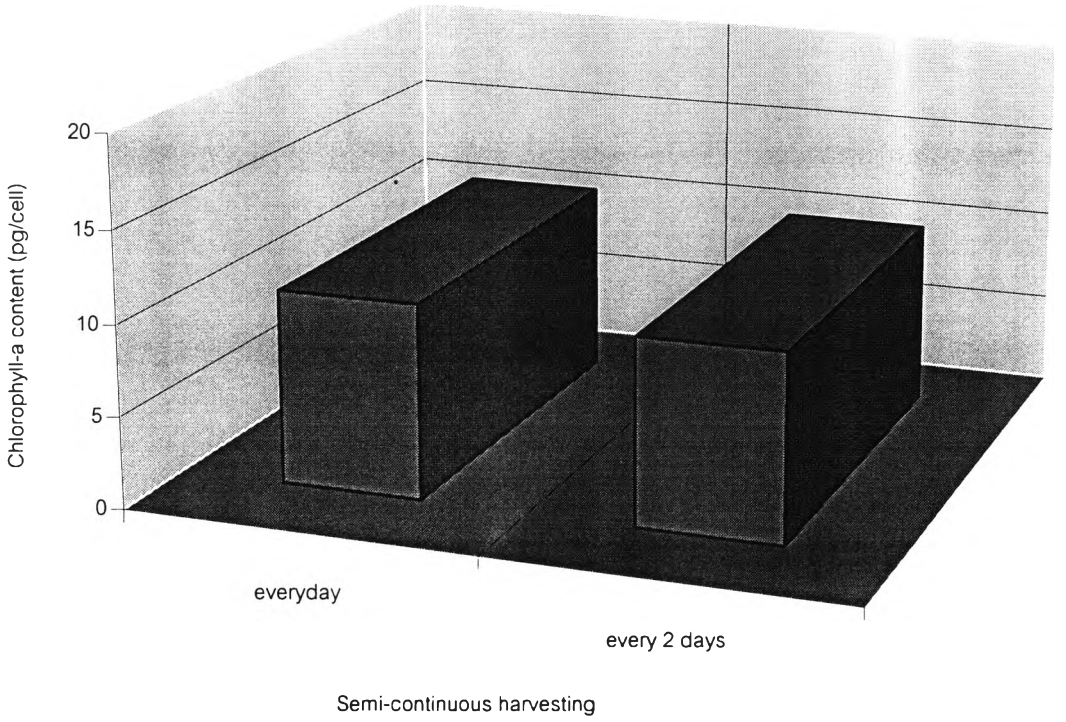
รูปที่ 4.37 อัตราการเจริญเฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวันและทุกสองวัน



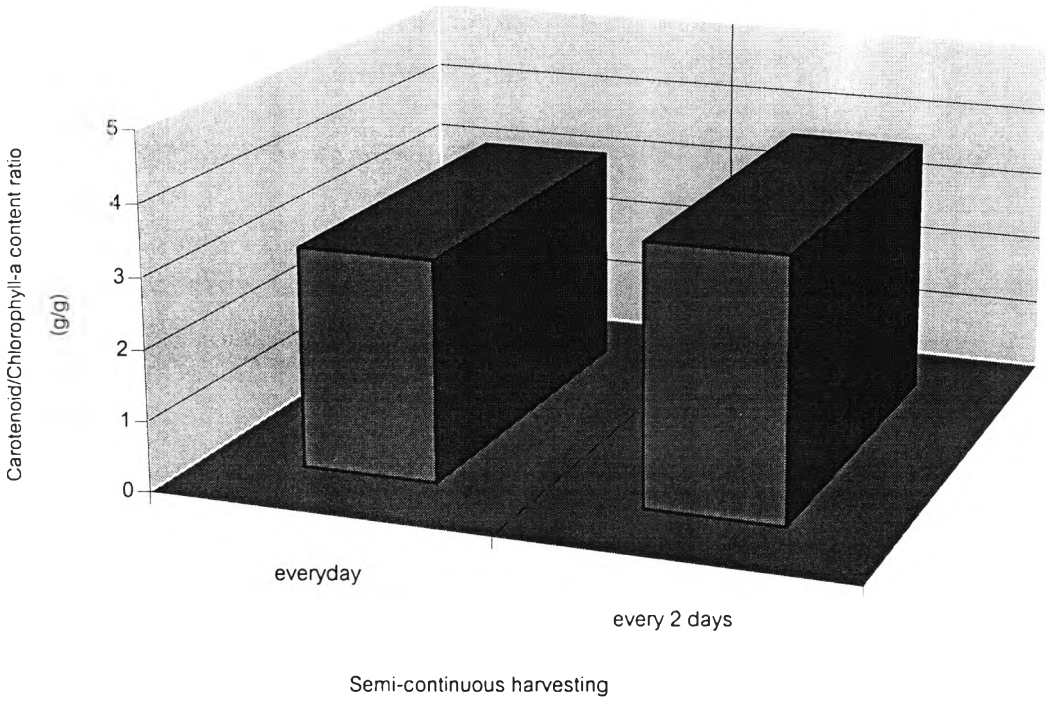
รูปที่ 4.38 ร้อยละ (ต่อวัน) ของการเก็บเกี่ยวสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวันและทุกสองวัน



รูปที่ 4.39 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวันและทุกสองวัน



รูปที่ 4.40 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวันและทุกสองวัน



รูปที่ 4.41 สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวแบบเก็บเกี่ยวทุกวันและทุกสองวัน