บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

1 ภาวะเหมาะสมในการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ

จากผลการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ความเค็มระดับต่าง ๆ พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในอาหารเลี้ยงความเค็มต่ำจะมีอัตราการเจริญสูงกว่าสาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงที่ความเค็มสูง ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายต้องสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่เพื่อใช้ในการปรับสภาพเซลล์ให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในภาวะที่ความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามขบวนการออสโมเรกูเรชัน (osmoregulation) ทำให้อัตราการเจริญและความหนาแน่นเซลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Ben-Amotz and Avron (1981) ที่พบว่าเมื่อสาหร่าย *Dunaliella salina* เจริญที่ความเค็ม 5 และ 3 M (NaCl) ตามลำดับ จะมีความหนาแน่นเซลล์ประมาณ 6×10^8 และ 2×10^9 เซลล์ต่อลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 10 ของการทดลอง

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่มีระดับความเค็มสูงจะมากกว่าสาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงที่ความเค็มต่ำ ซึ่งปริมาณที่แตกต่างกันอาจกล่าวได้ว่าความเค็มน่าจะมีผลต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลา

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่มีระดับความเค็มต่ำจะมากกว่าสาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงที่ความเค็มสูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากในภาวะที่มีความเค็มต่ำสาหร่ายสามารถเจริญได้ดี จึงมีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเพื่อการเจริญ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ben-Amotz and Avron (1981) โดยพบว่าเมื่อสาหร่าย *D. salina* เจริญที่ความเค็ม 5 และ 3 M (NaCl) ตามลำดับ จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ประมาณ 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในการทดลองวันที่ 10

สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในอาหารเลี้ยงสาหร่ายความเค็มทั้ง 3 ระดับพบว่าที่ระดับความเค็มสูงจะมีค่ามากกว่าอยู่ในระดับความเค็มต่ำ

ดังนั้นระดับความเค็มที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพื่อการผลิตเบตาแคโรทีนคือ 220 ppt ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ

จากผลการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ระดับความเข้มแสงระดับต่าง ๆ พบว่า เมื่อสาหร่ายดูนาลิเอลลาเจริญในระดับความเข้มแสงต่ำอัตราการเจริญมีแนวโน้มสูงกว่าที่เจริญในความเข้มแสงสูง ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความเข้มแสงสูงสาหร่ายจะต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพื่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพื่อรักษาสภาพเซลล์จากการทำลายของแสง (photodynamic destruction) เซลล์ของดูนาลิเอลลาจะมีสีส้ม และมีขนาดใหญ่ขึ้น เซลล์จะชะลอการเจริญ ซึ่งบางครั้งอาจหยุดการเจริญไป โดยเซลล์จะอยู่ในระยะพัก (cyst stage) เมื่อความเข้มแสงสูงมากจนเกินไป แสดงว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาสามารถเจริญได้ดีในภาวะความเข้มแสงต่ำมากกว่าภาวะความเข้มแสงสูง

ปริมาณแคโรทีนอยด์สาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงสูงมีค่าสูงกว่าที่ระดับความเข้มแสงต่ำ แสดงว่าดูนาลิเอลลาสามารถสะสมแคโรทีนอยด์ในภาวะความเข้มแสงที่สูงได้มากกว่าภาวะความเข้มแสงต่ำ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มแสงต่ำจะมากกว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในระบบเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มแสงสูง ซึ่งอาจเป็นเพราะที่ระดับความเข้มแสงสูงสาหร่ายต้องใช้พลังงานส่วนใหญ่ในสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์จึงลดลง

สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะความเข้มแสงที่สูงมีค่าสูงกว่าที่ภาวะความเข้มแสงต่ำ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์มีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ปริมาณผลผลิตรงควัตถุที่ได้จากการทดลอง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Ben-Amotz and Avron (1983) ที่พบว่า *D. bardawil* ที่เจริญในภาวะความเข้มแสง 24 และ 275 kergs/cm/s ตามลำดับ แบบต่อเนื่อง (24 ชั่วโมง) จะมีปริมาณเบตาแคโรทีน 13.6 และ 25.7 pg/cell ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์ 9.1 และ 4.6 pg/cell ตามลำดับ และสัดส่วนปริมาณเบตาแคโรทีนต่อคลอโรฟิลล์ 1.5 และ 5.6 g/g ตามลำดับ

ดังนั้นระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพื่อการผลิตเบตาแคโรทีนคือ 20,000 ลักซ์ ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ

จากผลการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะคาบการให้แสงในรอบวัน 2 แบบ พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะคาบการให้แสงในรอบวันแบบสว่าง 12 ชั่วโมง มืด 12 ชั่วโมง (12:12 ชั่วโมง) ต่อวัน มีอัตราการเจริญสูงกว่าที่เจริญอยู่ในภาวะคาบการให้แสงในรอบวันแบบให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะคาบการให้แสงในรอบวันแบบให้แสงสว่าง 24 ชั่วโมงต่อวัน มีค่าสูงกว่าที่ภาวะคาบการให้แสงแบบ 12:12 ชั่วโมงต่อวัน

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในภาวะคาบการให้แสงในรอบวันแบบให้แสงสว่าง 24 ชั่วโมงต่อวัน มีแนวโน้มต่ำกว่าที่ภาวะคาบการให้แสงแบบ 12:12 ชั่วโมงต่อวัน

สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะคาบการให้แสงในรอบวันแบบให้แสง 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มสูงกว่าที่ภาวะคาบการให้แสงแบบ 12: 12 ชั่วโมงต่อวัน

ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการรายงานของ Ben-Amotz and Avron (1983) เมื่อได้ทำการเลี้ยงสาหร่าย *D. bardawil* ที่เจริญในภาวะความเข้มแสง 275 kergs/cm/s แบบต่อเนื่อง (24 ชั่วโมง) และแบบคาบการให้แสงในรอบวัน (diurnal cycle) โดยให้สว่าง 10 ชั่วโมง และ มืด 14 ชั่วโมงต่อวัน จะมีปริมาณเบตาแคโรทีน 25.7 และ 16.5 pg/cell ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์ 4.6 และ 4.8 pg/cell ตามลำดับ และสัดส่วนปริมาณเบตาแคโรทีนต่อคลอโรฟิลล์ 5.6 และ 3.4 g/g ตามลำดับ

สำหรับความแตกต่างของผลผลิตรงควัตถุในการเจริญช่วงทวีคูณกับช่วงคงที่ที่เกิดขึ้นทั้งหมดน่าจะเป็นเพราะสาหร่ายที่เจริญอยู่ในช่วงทวีคูณมีสภาพเซลล์ที่ดีกว่า ในขณะที่สาหร่ายที่เจริญอยู่ในช่วงคงที่ซึ่งเป็นเซลล์แก่ความสามารถในการผลิตจะลดลง

จะเห็นได้ว่าที่ภาวะคาบการให้แสงในรอบวันแบบ 24 ชั่วโมง จะชักนำให้สาหร่ายดูนาลิเอลลาสะสมเบตาแคโรทีนได้ในปริมาณที่สูงกว่าแบบ 12:12 ชั่วโมงมาก อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญของสาหร่ายก็ต่ำกว่าแบบ 12:12 ชั่วโมงมากเช่นกัน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากขบวนการโฟโตอินฮิบิชัน (photoinhibition) โดยสาหร่ายที่ได้รับแสงในปริมาณที่มากเกินไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ได้มีช่วงเวลาในการพัก และสาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงตลอดเวลาทำให้ปลดปล่อยของเสียจากเซลล์ออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของสาหร่ายในที่สุด

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่มีประสิทธิภาพ นอกจากผลผลิตเบตาแคโรทีนแล้วจะต้องคำนึงถึงอัตราการเจริญและอายุขัยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาด้วย เพื่อความสอดคล้องในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ดังนั้นภาวะคาบการให้แสงในรอบวันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพื่อการผลิตเบตาแคโรทีนคือการให้แสงแบบ 12:12 ชั่วโมงต่อวัน ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในรอบวันขณะเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา พบว่าค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และกลับลดลงมา จนคงที่ในระดับที่สูงกว่าค่าเริ่มต้น โดยการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลงของ pH สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่าย พบว่าระดับ pH มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง

จากผลการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ค่า pH ระดับต่างๆ กัน พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในอาหารเลี้ยงที่ pH 7.5 มีอัตราการเจริญสูงดีสุด

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาสูงที่สุดพบในระบบที่ค่อนข้างจะไม่เป็นกลางคือมีค่า pH 8.5, 6.5, 8.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่สูงที่สุดพบในระบบที่ค่อนข้างจะไม่เป็นกลางคือมีค่า pH 8.5, 6.5, 8.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ

สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาพบว่ามีค่าสูงที่สุดเมื่อดูนาลิเอลลาเจริญในอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่ pH 8.5, 6.5, 8.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าที่สอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์

จากผลการทดลองพบว่าแคโรทีนอยด์ที่พบปริมาณสูงในระดับ pH เริ่มต้นที่รุนแรงอาจเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญของดูนาลิเอลลา ดังนั้นสาหร่ายจึงต้องพยายามปรับสภาพให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในภาวะที่ค่า pH ไม่เหมาะสม โดยทำการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์และแคโรทีนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ระดับทั้งสองมีค่าต่ำมากต่างจากระดับ pH เริ่มต้นที่ 7.5 ซึ่งให้ผลผลิตแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ในปริมาณที่ต่ำกว่าแต่มีอัตราการเจริญที่สูงกว่า ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาอย่างมีประสิทธิภาพนอกเหนือจากผลผลิตเบตาแคโรทีนแล้วยังต้องคำนึงถึงอัตราการเจริญและอายุขัยของสาหร่ายด้วย

สำหรับความแตกต่างของผลผลิตรงควัตถุในการเจริญช่วงทวีคูณกับช่วงคงที่ที่เกิดขึ้นทั้งหมดน่าจะเป็นเพราะสาหร่ายที่เจริญอยู่ในช่วงทวีคูณมีสภาพเซลล์ที่ดีกว่า ในขณะที่สาหร่ายที่เจริญอยู่ในช่วงคงที่ซึ่งเป็นเซลล์แก่ความสามารถในการผลิตจะลดลง

ดังนั้นระดับ pH เริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพื่อการผลิตเบตาแคโรทีนคือ 7.5 ในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในรอบวันของระบบเพาะเลี้ยงที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าระบบเพาะเลี้ยงที่มีสาหร่ายดูนาลิเอลลา ระดับ pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มคงที่ ระดับ pH ของระบบเพาะเลี้ยงที่เปลี่ยนแปลงน่าเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในห้องปฏิบัติการ และระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เติมลงในระบบเพาะเลี้ยง โดยการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลงของ pH สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ

การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเพาะเลี้ยงมีผลทำให้ระดับ pH ของอาหารเลี้ยงสาหร่ายลดลง เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำแล้วจะอยู่ในรูปคาร์บอนิคไอออน (CO_3^{2-}) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่ายพบว่า ระดับ pH มีแนวโน้มลดลงจนเกือบคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ระดับ pH ดังกล่าวยังมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง

ดังนั้นจึงอาจสันนิษฐานได้ว่าการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แก่ระบบเพาะเลี้ยงสามารถช่วยลดระดับ pH ที่เพิ่มขึ้นได้อีกทางนอกจากการเติม Tris-buffer และสาหร่ายดูนาลิเอลลายังสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์แสงอีกด้วย

แต่อย่างไรก็ตามการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ไม่สามารถลดระดับ pH ได้อย่างถาวร เนื่องจากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ภายหลังหยุดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (จากระดับการให้เดิม 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที) ในระบบเพาะเลี้ยงทั้งที่มีและไม่มีสาหร่ายดูนาลิเอลลา พบว่าระดับ pH ของระบบทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระดับคงที่ โดยระดับ pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 1 ชั่วโมง แต่มีค่า pH สูงกว่าที่เตรียมไว้ (pH 7.5) และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซลล์สาหร่าย ซึ่ง pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วภายในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ค่า pH ต่ำกว่าที่เตรียมไว้ (pH 7.5)

จากการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่ภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระดับต่างๆ กัน พบว่าสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญอยู่ในภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่สูงจะมีอัตราการเจริญสูงกว่าที่เจริญอยู่ในภาวะที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่สูงมีค่าสูงกว่าภาวะที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่สูงมีค่าสูงกว่าภาวะที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ

สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เจริญในภาวะที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่สูงจะมีแนวโน้มต่ำกว่าภาวะที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ

จากผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายได้ว่าการที่แคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่เพิ่มขึ้น น่าเกิดจากสาหร่ายดูนาลิเอลลานำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนอนินทรีย์ไปใช้ในการสังเคราะห์แสงสำหรับการดำรงชีวิต ดังนั้นเพื่อความสอดคล้องกับระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาและการเก็บเกี่ยวผลผลิต ระดับการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดคืออัตรา 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากสามารถให้ผลผลิตแคโรทีนอยด์ที่สูงและอัตราการเจริญที่ดีที่สุด

สำหรับความแตกต่างของผลผลิตรงควัตถุในการเจริญช่วงทวีคูณกับช่วงคงที่ที่เกิดขึ้นทั้งหมดน่าจะเป็นเพราะสาหร่ายที่เจริญอยู่ในช่วงทวีคูณมีสภาพเซลล์ที่ดีกว่า ในขณะที่สาหร่ายที่เจริญอยู่ในช่วงคงที่ซึ่งเป็นเซลล์แก่ (old cell) ความสามารถในการผลิตจะลดลง อย่างไรก็ตามเหตุผลดังกล่าวก็ยังไม่ใช่ข้อสรุปที่สามารถนำมาใช้อ้างอิงได้ เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ในระดับชีวโมเลกุล

2 **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous cultivation) ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ**

จากผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระบบเพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยกำหนดปริมาตรที่แน่นอน 6 ระดับ (5, 10 , 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ตามลำดับ) พบว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวผลผลิตที่สูงจะมีอัตราการเจริญสูงกว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ต่ำ

เนื่องจากการเพาะเลี้ยงไม่สามารถควบคุมความหนาแน่นของเซลล์ตั้งต้นของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในการทดลองแต่ละครั้งได้ สามารถทำได้เพียงใกล้เคียงกัน ทำให้อัตราการเจริญของดูนาลิเอลลาในแต่ละการทดลองไม่เท่ากัน ส่งผลให้ความหนาแน่นเซลล์ของสาหร่ายทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตของการทดลองปริมาตรในเก็บเกี่ยวทั้ง 6 ระดับ ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามสามารถเปรียบเทียบผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละการทดลองโดยใช้ร้อยละของผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ โดยการทดลองทั้ง 2 ซ้ำ พบว่าร้อยละของผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ที่ดีที่สุดคือปริมาตร 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด รองลงมาคือ 25, 20, 15, 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ตามลำดับ

ผลผลิตรงควัตถุของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวได้จากการเพาะเลี้ยงในระบบเพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยกำหนดปริมาตรทั้ง 6 ระดับ ทั้งปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และสัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบกำหนดปริมาตรที่แน่นอนกับการเก็บเกี่ยวโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวที่ต่ำจะมีค่าน้อยกว่าปริมาตรที่คำนวณได้โดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิต และปริมาตรการเก็บเกี่ยวแบบกำหนดปริมาตรที่แน่นอนจะเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับปริมาตรที่คำนวณได้โดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อเพิ่มปริมาตรการเก็บเกี่ยวขึ้นตามลำดับ (10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ตามลำดับ)

จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบกำหนดปริมาตรที่แน่นอนอาจมีผลต่อการเจริญและคุณภาพของผลผลิตรงควัตถุ โดยปริมาตรการเก็บเกี่ยวที่ต่ำจะมีผลทำให้อัตราการเจริญและผลผลิตรงควัตถุของดูนาลิเอลลาได้ลดลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากปริมาตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายชุดใหม่ที่ทำการเปลี่ยนเติมน้อยเกินไป ทำให้สาหร่ายเจริญอยู่อย่างหนาแน่น

ในระบบ เห็นได้จากกราฟการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีแนวโน้มของความหนาแน่นเซลล์เพิ่มขึ้น ปริมาณของเสียที่สาหร่ายขับออกมาในรูปของแอมโมเนียมากขึ้นและสะสมอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงในปริมาณสูง ค่า pH ในระบบจะเพิ่มขึ้น อาจส่งผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย ขณะที่ผลผลิตรงควัตถุมีคุณภาพต่ำเนื่องจากสาหร่ายที่เจริญอยู่อย่างหนาแน่นในระบบจะบดบังการส่องผ่านของแสง ความเข้มแสงในแต่ละจุดภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพจะไม่เท่ากัน ในบริเวณที่ความเข้มแสงต่ำ สาหร่ายจะสังเคราะห์แคโรทีนอยด์มาป้องกันเซลล์ลดลง และจะสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเพื่อการเจริญของเซลล์

ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตขึ้นตามลำดับ จะทำให้อัตราการเจริญและคุณภาพผลผลิตรงควัตถุของสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่สูง ปริมาตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายชุดใหม่ที่เปลี่ยนเติมในระบบก็มากขึ้น ของเสียที่สาหร่ายขับออกมาในรูปของแอมโมเนียที่สะสมอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงก็จะได้รับการเจือจางความเข้มข้น ค่า pH ก็จะลดลง การเจริญของสาหร่ายดีขึ้นตามลำดับ เมื่อสาหร่ายถูกเก็บเกี่ยวและเปลี่ยนเติมอาหารเลี้ยงชุดใหม่มากขึ้น สาหร่ายจะเจริญอยู่ที่ความหนาแน่นเซลล์ต่ำลง พบว่าที่ปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิต 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงกึ่งต่อเนื่องแบบกำหนดปริมาตรการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่แน่นอน เห็นได้จากกราฟการเก็บเกี่ยวผลผลิตในการทดลองทั้ง 2 ซ้ำ ที่มีแนวโน้มความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายคงที่ ขณะที่ผลผลิตรงควัตถุมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของสาหร่ายในระบบเพาะเลี้ยงที่ลดลงตามลำดับ ทำให้แสงสามารถส่องผ่านได้มากขึ้น แต่ละจุดภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพจะได้รับความเข้มแสงอย่างเต็มที่และทั่วถึงตามลำดับ ดังนั้นสาหร่ายจะมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันเซลล์เสียสภาพ และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ก็จะลดลงตามลำดับ เพื่อชะลอการเจริญของเซลล์

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าปริมาตรเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องไม่ควรเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด อย่างไรก็ตามอาจสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายได้ในปริมาณที่มากกว่านี้ แต่อาจทำให้ผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวได้แต่ละครั้งลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีสาหร่ายที่ถูกเก็บเกี่ยวผลผลิตไปมากกว่าสาหร่ายที่เจริญจากการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าในแต่ละวัน

จากผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบเก็บเกี่ยวทุกวัน พบว่าอัตราการเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายดูนาลิเอลลาคงที่ แต่มีแนวโน้มของความหนาแน่นเซลล์ลดลงเล็กน้อยทุกวัน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ทุกวันค่อนข้างจะเร็วหรือถี่เกินไป สาหร่ายมีเวลาในการปรับสภาพน้อยไป จากการเปลี่ยนแปลงของอาหารเลี้ยงสาหร่ายชุดใหม่ที่ทำการเปลี่ยนเติมลงไปในระบบการเพาะเลี้ยงในแต่ละวัน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่เกิดจากการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไปและสำหรับการเจือจางความหนาแน่นเซลล์สาหร่ายเพื่อการนับเซลล์สาหร่ายที่ถูกต้องในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามสามารถกล่าวการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวันเป็นไปตามทฤษฎีการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่าของสาหร่าย และสามารถใช้ยืนยันความถูกต้องและน่าเชื่อถือของมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้

อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญของสาหร่ายดูนาลิเอลลามีแนวโน้มลดลงทุกวัน น่าจะเนื่องมาจากสาหร่ายไม่สามารถเจริญได้ทันกับความถี่ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบทุกวัน ร้อยละของผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละครั้งจึงมีปริมาณน้อย และบางครั้งก็ไม่สามารถนำมาคำนวณและเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อไปได้ ต้องรอเก็บเกี่ยวผลผลิตในวันถัดไป

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอาหารเลี้ยงสาหร่าย ตลอดจนสภาพของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เตรียมขึ้นมาใหม่ รวมทั้งอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วงเริ่มต้นมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบเก็บเกี่ยวทุกวัน

จากผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบเก็บเกี่ยวทุกสองวัน พบว่าการเจริญและค่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายดูนาลิเอลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยถึงเกือบจะคงที่ และปริมาณผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวได้มีค่าสูงและชัดเจนมาก ซึ่งอาจเกิดจากดูนาลิเอลลามีอัตราการเจริญสูง เมื่อนำไปคำนวณด้วยมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วจึงต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตในปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเจริญของสาหร่ายจากการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่า และสามารถยืนยันความน่าเชื่อถือของใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตสำหรับเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกสองวันได้

เมื่อเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบเก็บเกี่ยวทุกวันกับทุก 2 วันพบว่า อัตราการเจริญและการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลาของการเก็บเกี่ยวแบบทุก 2 วันมีค่าสูงกว่าแบบทุกวัน ขณะที่ปริมาณผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยว

ได้ในแบบทุก 2 วันมีค่าสูงกว่าแบบทุกวัน ซึ่งอาจเกิดจากความถี่ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้อยลง (ทุก 2 วัน) สาหร่ายจึงมีเวลาในการปรับสภาพมากกว่าการเก็บเกี่ยวแบบทุกวัน ซึ่งโดยปกติสาหร่ายอาจต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการปรับสภาพจากการเปลี่ยนแปลงของอาหารเลี้ยงสาหร่ายชุดใหม่ที่ทำการเปลี่ยนเติมลงไปในระบบการเพาะเลี้ยงในแต่ละวัน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่เกิดจากการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไปและสำหรับการเจือจางความหนาแน่นเซลล์สาหร่ายเพื่อการนับเซลล์สาหร่ายที่ถูกต้องในแต่ละครั้ง เมื่อดูนาลิเอลลาปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ที่เหมาะสมได้แล้วก็จะเจริญและให้ผลผลิตตามปกติในช่วงเวลาที่เหลือก่อนจะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตในครั้งต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแบบทุกวันกับทุกสองวัน พบว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกสองวันมีค่าสูงกว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบทุกวัน ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบเก็บเกี่ยวทุกวันมีค่าสูงกว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกสองวัน ซึ่งน่าจะเกิดจากเซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลาภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเก็บเกี่ยวทุกวันมีความหนาแน่นมากกว่าแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวัน ทำให้การส่องสว่างของแสงภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพลดลง เซลล์สาหร่ายจึงได้รับแสงในปริมาณน้อยไม่ทั่วถึงกัน การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ของเซลล์จึงลดลง ในเวลาเดียวกันการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เพื่อการดำรงชีวิตเพิ่มขึ้น ขณะที่เซลล์สาหร่ายดูนาลิเอลลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกสองวันมีความหนาแน่นน้อยกว่า จึงรับแสงในปริมาณที่มากกว่าและทั่วถึงกัน ทำให้สังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ทำให้สัดส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกสองวันมีค่าสูงกว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวัน

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเก็บเกี่ยวผลผลิตกึ่งต่อเนื่องโดยใช้มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตสามารถกระทำได้ทั้งแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวันและทุก 2 วัน เนื่องจากมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญจำเพาะและค่าร้อยละของการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งสองสามารถรักษาระดับการผลผลิตให้คงที่ได้ การเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวันจะได้สาหร่ายในปริมาณที่น้อยกว่าเก็บเกี่ยวทุกสองวัน แต่ปริมาณผลผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลาที่เก็บเกี่ยวได้ต่อวันจากการการเก็บแบบทุกวันมีค่าสูงกว่าเก็บแบบทุกสองวัน