บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปราย

การทดลองนี้ มีตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดและปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ความเข้มข้นของ TDS และ pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัด TDS ทั้งในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสูตร BG-11 และในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม สาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ *Chlorella* sp., *Chroococcus turgidus* และ *Scenedesmus* sp. การทดลองมีการปรับ pH ของอาหารให้มี pH เริ่มต้น เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 นอกจากนั้น การทดลองมีการเติมสารประกอบโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800, และ 1000 mg/L ที่แต่ละ pH ของอาหารเพื่อปรับความเข้มข้นของ TDS ในอาหาร การทดลองมีการเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายประเภทต่าง ๆ ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 การเพิ่มความเข้มข้นของ TDS เน้นการเพิ่มไอออนบวกโซเดียม (Na^+) และไอออนลบซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งมักเป็นสาเหตุ การเพิ่ม TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมจากการปรับ pH ของน้ำเสียด้วยกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

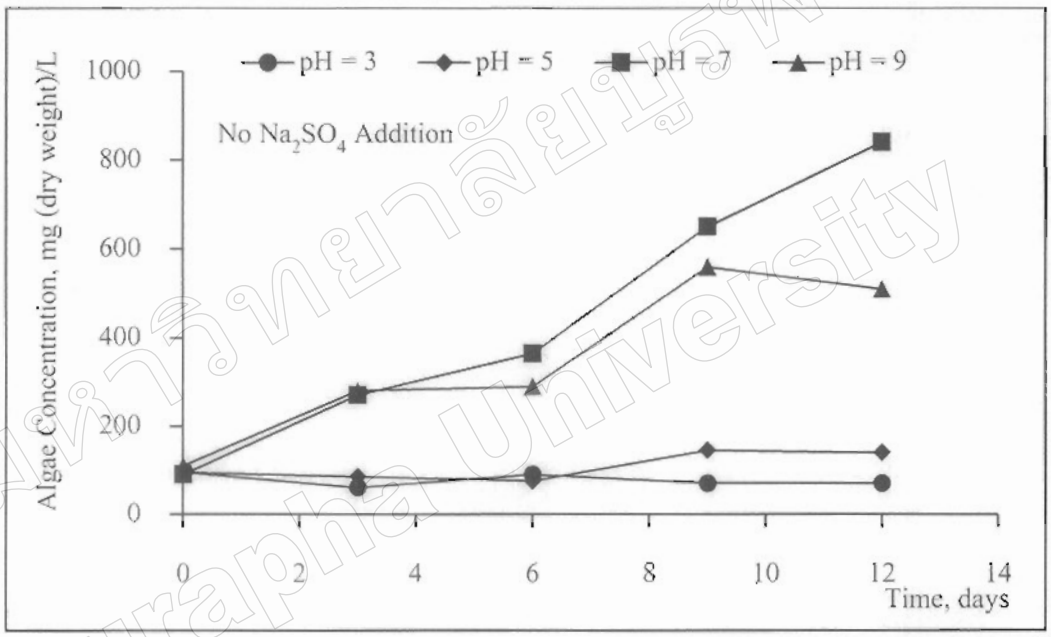
การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ภาพที่ 4-1 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เพิ่มเติม และมีการเติมสาหร่ายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 95, 95, 90, และ 110 mg (dry weight)/L เมื่อ pH ของอาหารเท่ากับ 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ พบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มี pH เริ่มต้น เท่ากับ 3 สาหร่ายมีปริมาณลดลงตามลำดับในช่วง 9 วันแรกด้วยอัตราการเจริญที่คำนวณในระยะเวลาเพาะเลี้ยง 9 วัน เท่ากับ -1.5 mg (dry weight)/L-day หลังจากนั้น ความเข้มข้นของสาหร่ายคงที่ แต่เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 5 พบว่า สาหร่ายมีการเจริญลดลงด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ -3.3 mg (dry weight)/L-day หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 วัน สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 10.8 mg (dry weight)/L-day และสาหร่ายมีอัตราการเจริญจำเพาะ (Specific Growth Rate) เท่ากับ 0.10 1/day ส่วนสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 นั้น พบว่า มีเจริญเพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันแรกด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 62.7 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.19 1/day ส่วนการทดลองที่ใช้อาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9 นั้น สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 9 วันแรก ด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 45.3 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จำเพาะเท่ากับ 0.18 1/day หลังจาก 9 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณลดลงด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ -16.7 mg (dry weight)/L-day หลังจากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. นานกว่า 12 วัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีความเข้มข้นเท่ากับ 70, 140, 840, และ 510 mg (dry weight)/L เมื่อ pH ของอาหารฯ เท่ากับ 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ

สรุปได้ว่า เมื่ออาหารมี pH เริ่มต้น เท่ากับ 7 สาหร่าย *Chlorella* sp. มีการเจริญสูงสุด ทำให้มีปริมาณของสาหร่ายสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2010) และ Rachlin and Grosso (1991) ที่ระบุ pH ที่เหมาะสมสำหรับสาหร่าย *Chlorella vulgaris* เท่ากับ 7

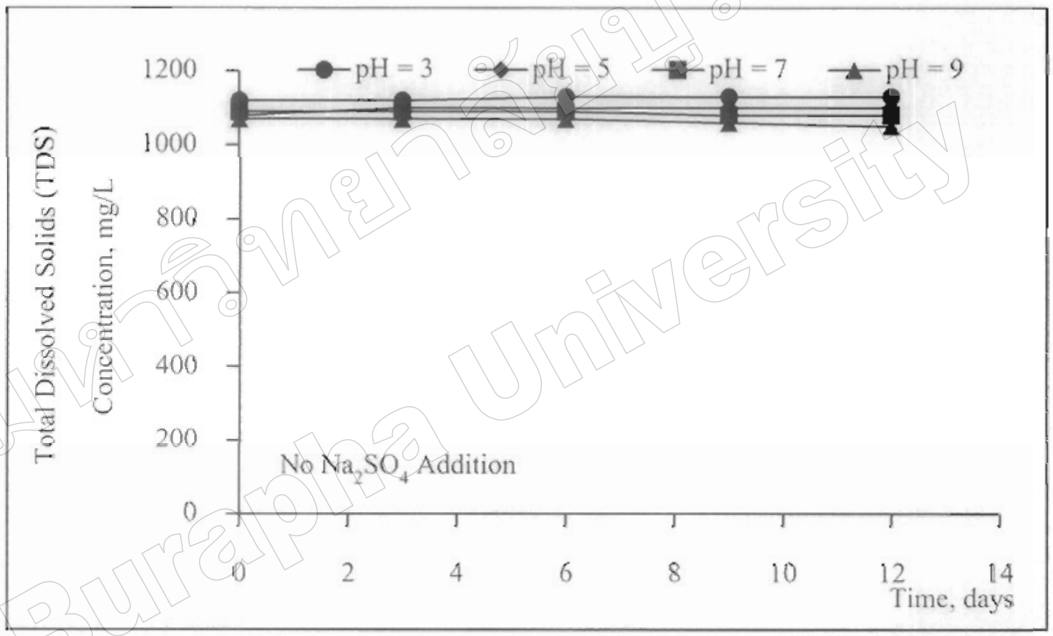


ภาพที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

ภาพที่ 4-2 แสดงการเปลี่ยนแปลง TDS จากการเจริญของสาหร่าย หลังการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อความเข้มข้น TDS ในอาหารจากการเจริญของสาหร่าย อย่างไรก็ตาม พบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 และ 5 ทำให้ความเข้มข้น TDS เพิ่มสูงขึ้นอีก 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากที่ pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 และ 5 นั้น สาหร่ายมีการเจริญไม่ดีหรือไม่มีการเจริญ ตามลำดับ ทำให้สาหร่ายไม่สามารถใช้สารอาหารซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ TDS ในการเจริญได้ และอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ TDS มีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่สูงถึง 29 °C ทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากระบบไปบางส่วน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความเข้มข้น TDS จึงเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 7 และ 9 ความเข้มข้น TDS ลดลงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ pH เท่ากับ 7 นั้นทำให้ความเข้มข้น TDS ลดลงมากที่สุด เนื่องจากที่ pH เริ่มต้น 7 สาหร่ายมีการเจริญได้ดีที่สุดจึงมีการใช้ TDS จากสารอาหารเพื่อการเจริญ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นคาดว่า TDS อาจถูกกำจัดมากกว่านี้ได้ นอกจากนั้น การปรับ pH มีผลกระทบต่อความเข้มข้นของ TDS ในอาหาร เพราะการปรับ pH ให้ต่ำลง ทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นจากซัลเฟตที่มาจากกรดซัลฟุริกที่เติมลงไปในอาหารเพื่อปรับลด pH ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า pH ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TDS ในอาหาร



ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

การทดลองมีการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง pH ของอาหาร พบว่า pH สุดท้ายของอาหารที่เพาะเลี้ยงด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. มีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4-3 ผลการทดลองพบว่า อาหารมี pH เพิ่มสูงขึ้นโดยทันที เนื่องมาจากการเติมสาหร่ายจาก Stock culture ที่มี pH สูงกว่า pH เริ่มต้นของอาหาร สังเกตจากระดับการเพิ่มของ pH กล่าวคือ pH ของอาหารเพิ่มขึ้น 1.1, 1.1, 0.5 และ 0.3 สำหรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า pH ของอาหารปรับเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ สุดท้าย pH คงที่ใกล้เคียง 9 ยกเว้นการทดลองที่มี pH

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

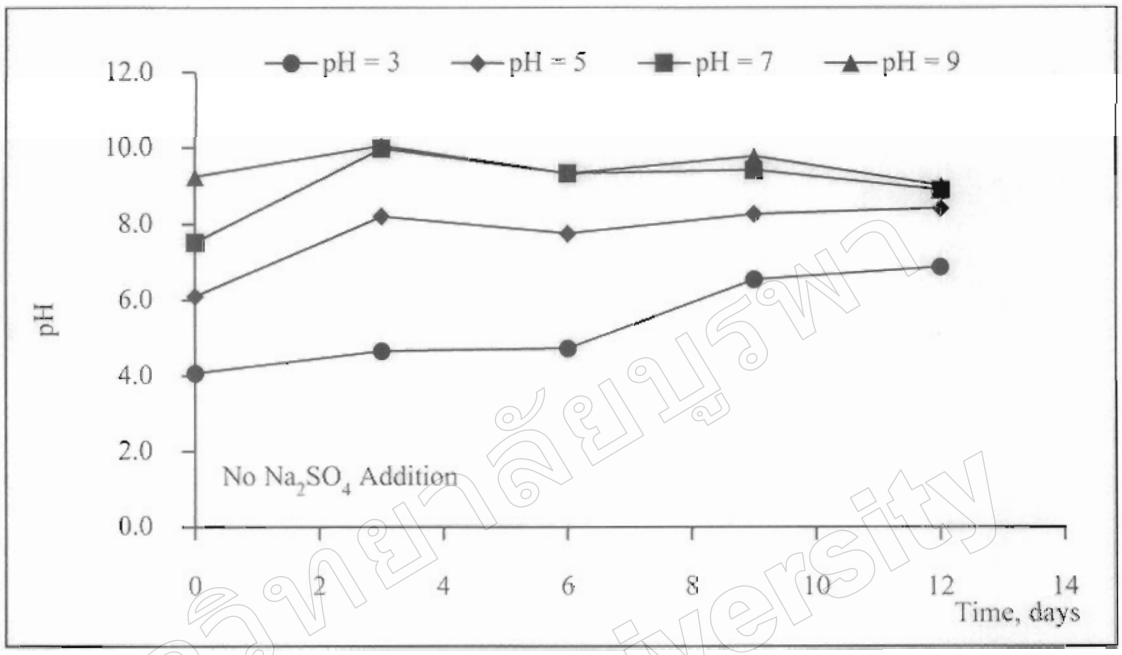
เริ่มต้นเท่ากับ 3 และ 5 เนื่องจากสาหร่ายไม่สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มี pH ดังภาพที่ 4-1 ผลการทดลอง อธิบายได้ว่าเมื่อสาหร่ายสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญจำเป็นต้องใช้ CO_2 เป็นแหล่งของคาร์บอนโดยแหล่งคาร์บอนของสาหร่ายในระบบปิด คือ สารประกอบไบคาร์บอเนตที่อยู่ในอาหาร โดยอาหารสูตร BG-11 นั้นมีการเติมสารโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อ pH ของอาหารเป็นกลาง ทำให้สารประกอบคาร์บอเนตส่วนใหญ่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต ดังนั้น เมื่อสาหร่ายใช้ CO_2 จากสารประกอบไบคาร์บอเนตเพื่อการสังเคราะห์แสง จึงทำให้สารประกอบไบคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็น CO_2 มากขึ้นทำให้เกิดไฮดรอกไซด์มากขึ้น เป็นไปตามสมการที่ 4.1 ส่งผลทำให้ pH เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

$$HCO_3^- \leftrightarrows CO_2 + OH^- \quad 4.1$$

Garcia et al. (2006) และ Langmuir (1997) กล่าวว่า กระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้ pH มีเพิ่มสูงขึ้นจากการที่สาหร่ายและพืชน้ำใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสังเคราะห์แสงในตอนกลางวันทำให้ค่า pH สูงขึ้น โดยอาจสูงถึงประมาณ 6 หรือ 7-10 ส่วน Su et al. (2012) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียชุมชนพบว่า pH จะเพิ่มจาก 7 ไปจนถึง 9.2 เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน และอยู่คงที่ประมาณนั้นจนจบการทดลอง (10 วัน)

ภาพที่ 4-4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร พบว่าความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเมื่อระยะเวลาเพาะเลี้ยงผ่านไป 12 วัน ยกเว้นอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 โดยความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนลดลงเท่ากับ -9.5, 14.7, 21.3 และ 16.8% เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหาร เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ การลดลงของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร เกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของสาหร่าย โดย pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 7 นั้น มีการลดลงของไนเตรท-ไนโตรเจนมากที่สุด เนื่องจากสาหร่ายมีการเจริญสูงสุดที่ pH เท่ากับ 7 ผลการทดลองสอดคล้องกับ Arbib, Ruiz, Alvarez-Diaz, Garrido and Perales (2013) ที่ทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่าย 4 ชนิด ได้แก่ *C. vulgaris*, *Chlorella kess*, *Scenesdesmus obliquus* และ Natural Bloom ในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียสังเคราะห์ที่รายงานว่า สาหร่ายสามารถกำจัดไนโตรเจนได้มากกว่า 90% ยกเว้น Natural Bloom ในน้ำเสียสังเคราะห์ ส่วน Aslan and Kapdan (2006) พบว่า *C. vulgaris* สามารถกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนได้สมบูรณ์เมื่อความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 13.2-21.2 mg/L และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึง 78% เมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับ 7.7 mg/L นอกจากการตรวจวัดปริมาณไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร

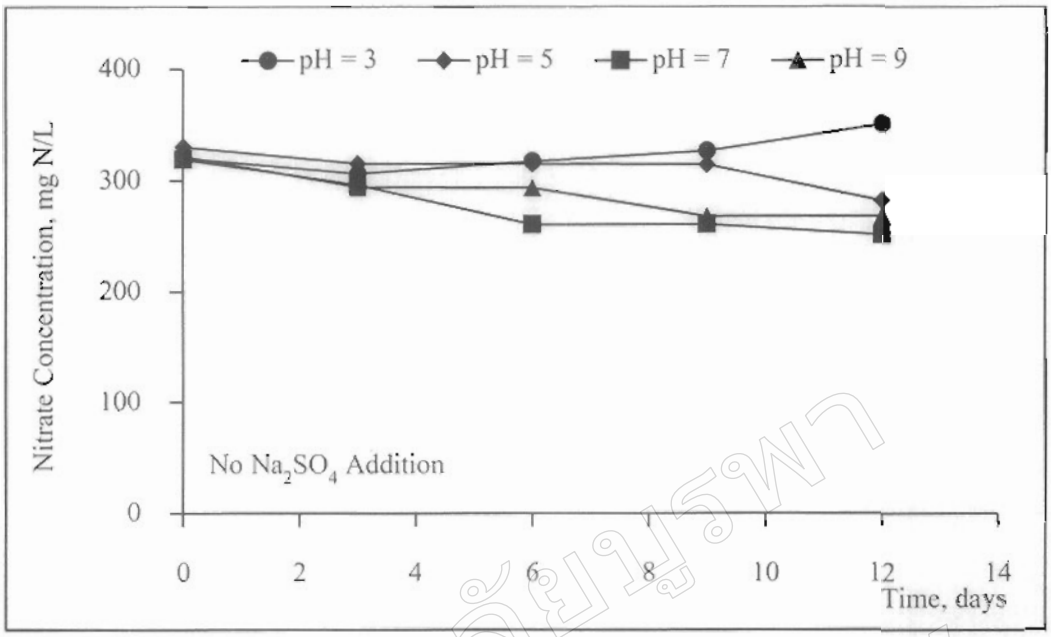
แล้ว ยังมีการตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจน พบว่า ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากอาหารสูตร BG-11 ใช้สารประกอบไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนของสาหร่าย



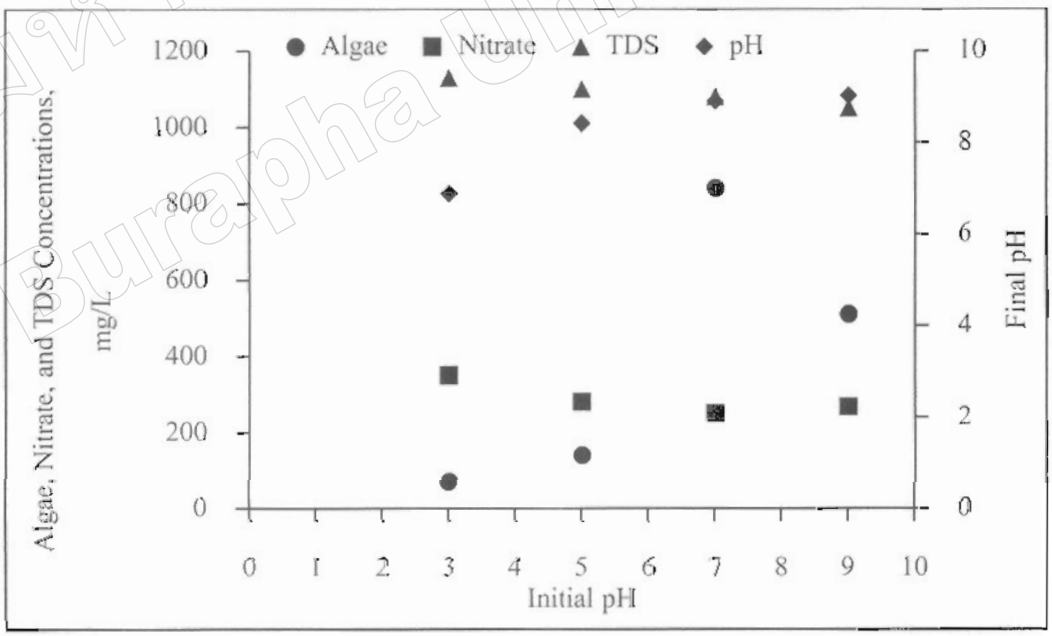
ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ความเข้มข้น TDS pH สุดท้าย และความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจนมาเขียนกราฟที่มี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นระยะเวลา 12 วัน ดังภาพที่ 4-5 พบว่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ทำให้สาหร่ายมีปริมาณสูงสุด ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงต่ำสุด มี pH สุดท้าย เท่ากับ 8.9 และความเข้มข้น TDS ลดลงเพียงเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp., ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

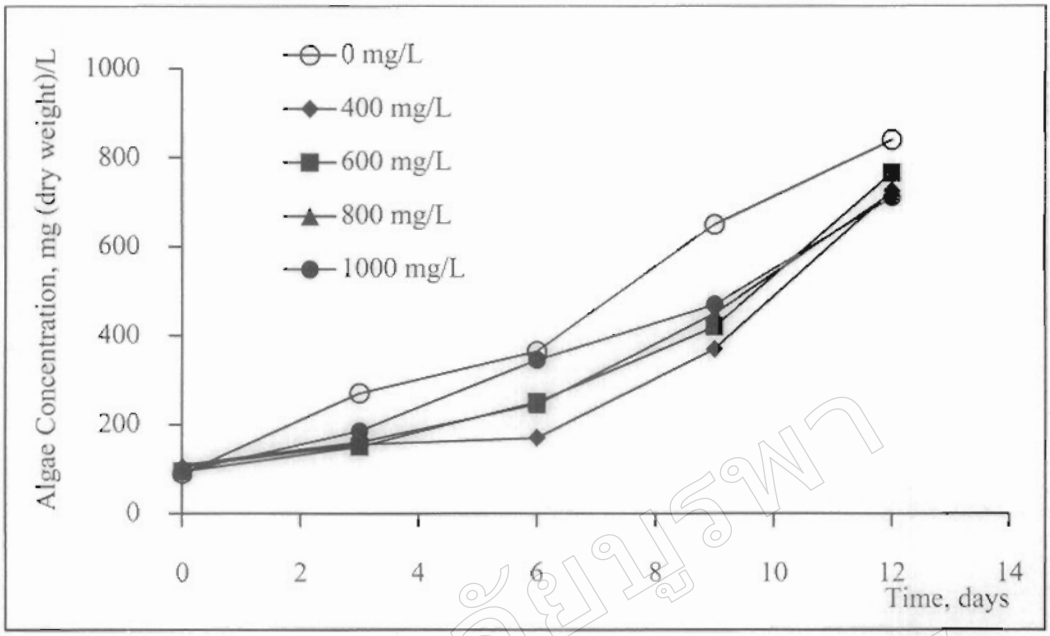
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 และมีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย และการกำจัด TDS ในอาหารผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-6 พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L มีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับและมีปริมาณสูงสุดเมื่อมีระยะเวลาเพาะเลี้ยงนาน 12 วัน เมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายที่เจริญในอาหารที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 ได้เท่ากับ 62.7 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.19 1/day แต่เมื่อเติมสาร Na_2SO_4 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 400, 600 และ 800 mg/L ลงในอาหาร พบว่า อัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 6 วัน แรก เท่ากับ 10.8, 25.8 และ 22.5 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเป็นระยะปรับตัว หลังจากนั้น สาหร่ายมีการเจริญแบบทวีคูณซึ่งเป็นระยะเอกซ์โพเนนเชียล มีอัตราการเจริญเท่ากับ 92.5, 85.8 และ 79.2 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.24, 0.19 และ 0.18 1/day ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร Na_2SO_4 เท่ากับ 1000 mg/L ทำให้ระยะเวลาปรับตัวของสาหร่าย เป็น 9 วัน พบว่า สาหร่าย มีอัตราการเจริญเท่ากับ 42.8 (dry weight)/L-day หลังจากนั้น สาหร่าย มีการเพิ่มแบบทวีคูณด้วยอัตราการเจริญของสาหร่าย เท่ากับ 80.0 (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.14 1/day ทำให้สุดท้ายความเข้มข้นของสาหร่าย เท่ากับ 840, 725, 765, 720 และ 710 mg (dry weight)/L สำหรับอาหารที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ตามลำดับ

สรุปได้ว่า การเติมสาร Na_2SO_4 เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ TDS นั้นมีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย เมื่อความเข้มข้น Na_2SO_4 มากขึ้นทำให้สาหร่าย มีระยะเวลาปรับตัวนานขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อสาหร่ายมีการปรับตัวกับอาหารแล้วพบว่า สาหร่ายมีอัตราการเจริญสูงกว่าหรือเท่ากับสาหร่าย ที่เจริญในอาหารที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เมื่อความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ต่ำกว่า 600 mg/L แต่เมื่อความเข้มข้นของ Na_2SO_4 สูงกว่า 600 mg/L ทำให้สาหร่าย มีอัตราการเจริญลดต่ำกว่าสาหร่าย ที่เจริญในอาหารที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 อย่างไรก็ตาม หลังการเพาะเลี้ยงนาน 12 วัน ความเข้มข้น TDS ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณสาหร่าย ลดต่ำลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

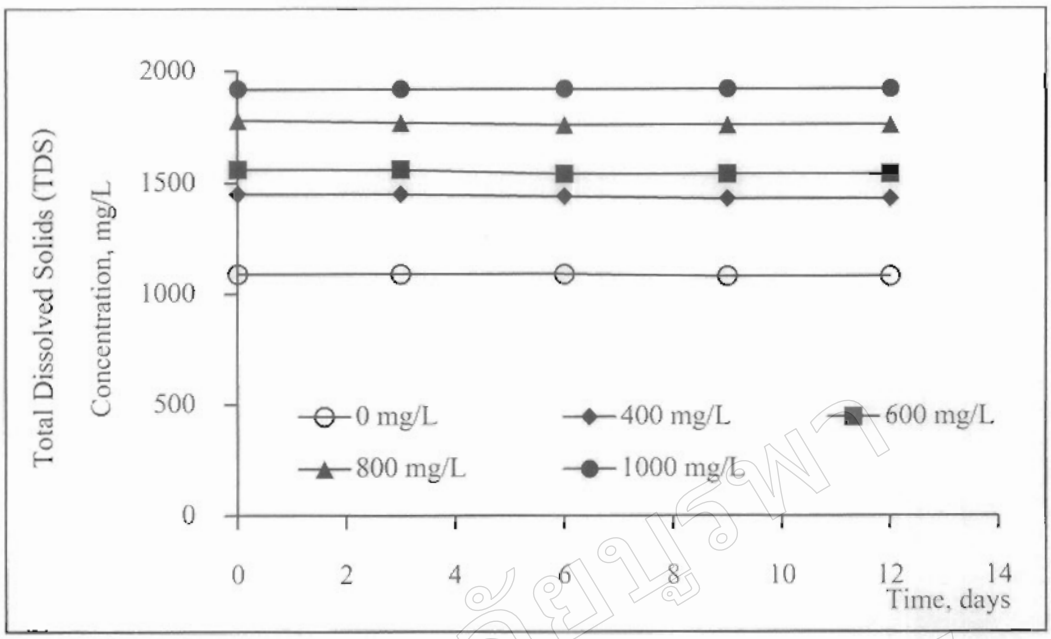


ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นแตกต่างกันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลา 12 วัน

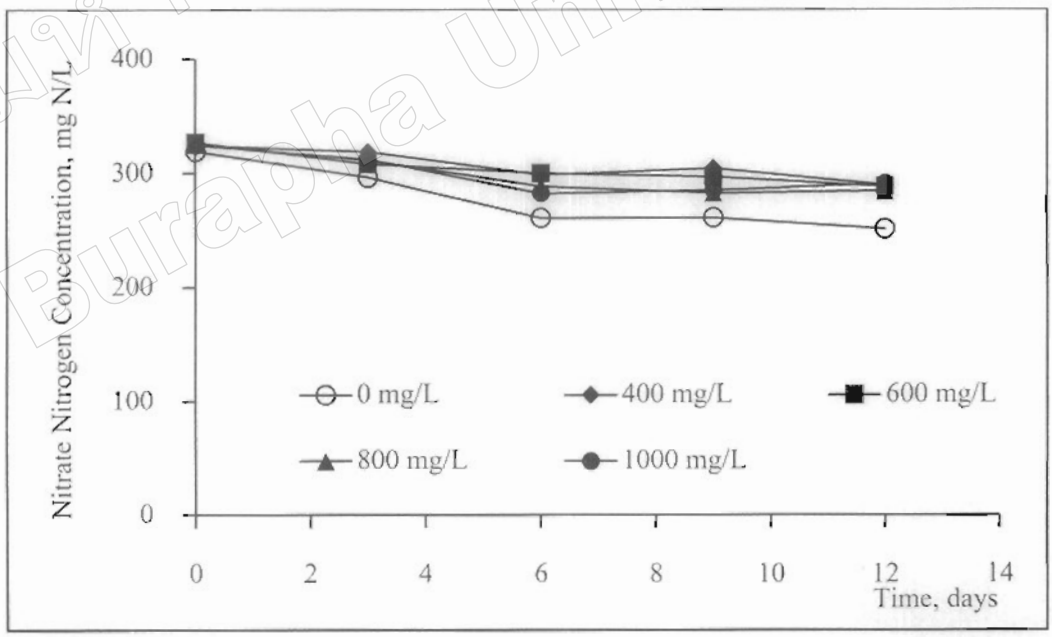
การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS ด้วยสาร Na_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-7 พบว่า การเติมสาร Na_2SO_4 ทำให้ความเข้มข้นของ TDS ในอาหารเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TDS ในอาหารไม่มีผลกระทบต่อการกำจัดสาร TDS ด้วยสาหร่าย

ภาพที่ 4-8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเมื่อระยะเวลาเพาะเลี้ยงผ่านไป 12 วัน โดยความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนลดลงเท่ากับ 21.3, 10.6, 11.8, 12.6, 10.4% เมื่อมีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ตามลำดับ การลดลงของไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารนั้นเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของสาหร่าย ผลการทดลองแสดงว่า ความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS มีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย ทำให้อัตราการเจริญของสาหร่ายลดลง ส่งผลให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ลดลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



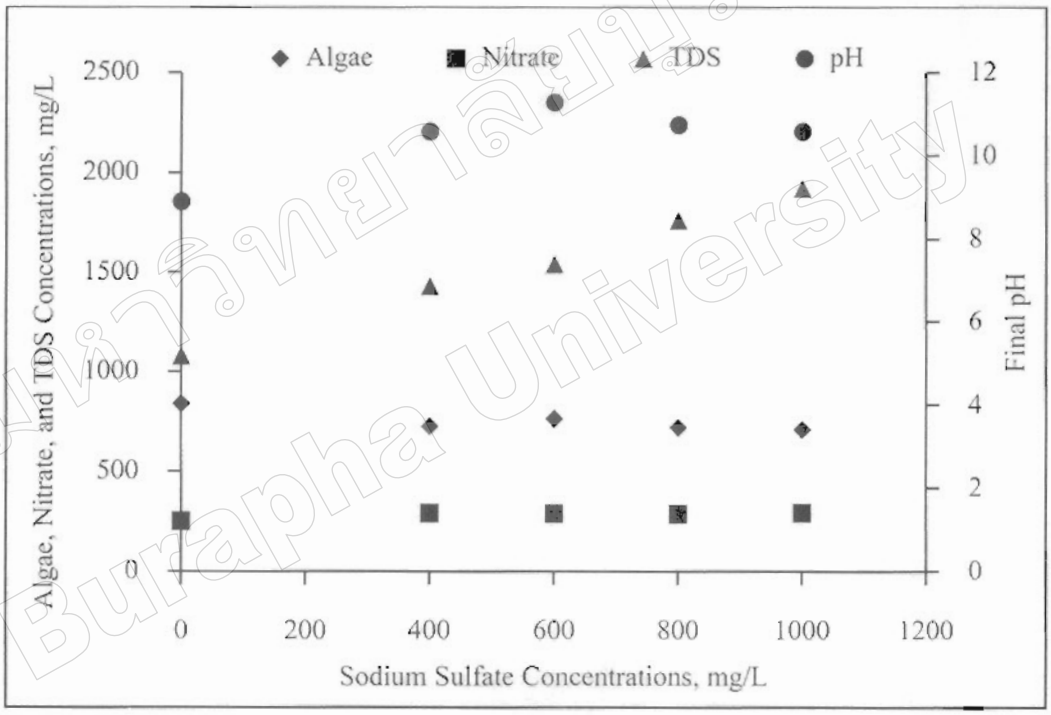
ภาพที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน



ภาพที่ 4-8 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สุดท้าย เมื่อนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และมีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ต่าง ๆ กัน โดยเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 12 วัน มาเขียนกราฟ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-9 พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ในอาหารทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ โดยความเข้มข้น TDS ที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย โดยทำให้สาหร่ายมีการเจริญลดลง เกิดการใช้ไนเตรท-ไนโตรเจนสำหรับการสร้างเซลล์สาหร่ายลดน้อยลง ทั้งนี้ การเพิ่มความเข้มข้นของ Na_2SO_4 จาก 0 จนถึง 600 mg/L ทำให้ pH สุดท้ายของอาหารเพิ่มสูงขึ้น หากเติมสาร Na_2SO_4 มากกว่า 600 mg/L ทำให้ pH สุดท้ายลดต่ำลงเนื่องจากสาหร่าย เจริญลดลง



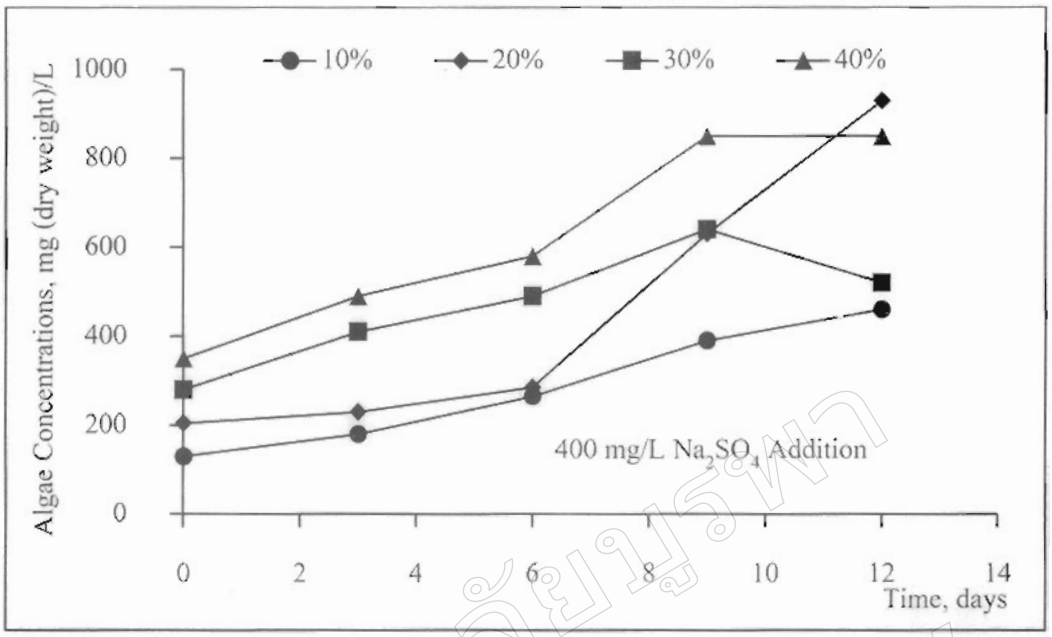
ภาพที่ 4-9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp., ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลานาน 12 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ต่อการกำจัด TDS การทดลองมีการเติมสาหร่ายลงในอาหารปริมาณต่าง ๆ กัน โดยแต่ละปริมาณของสาหร่าย มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ลงในอาหาร และมี pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 7 การเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 12 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-10 – ภาพที่ 4-13 ภาพที่ 4-10 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400 mg/L และใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 20, 30, และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยมีอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน เท่ากับ 29 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.11 1/day สำหรับการทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 20% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรก 0-6 วัน และช่วงที่สอง 6-12 วัน โดยมีอัตราการเจริญของสาหร่ายทั้งช่วงแรกและช่วงสอง เท่ากับ 13.3 และ 107.5 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะสำหรับการเจริญช่วงที่สองเท่ากับ 0.20 1/day ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่เติมสาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 30% (v/v) พบว่าสาหร่ายมีการเจริญอย่างต่อเนื่องในช่วง 9 วันแรก มีอัตราการเจริญเท่ากับ 38.7 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.09 1/day หลังจากนั้น สาหร่ายมีการปริมาณลดต่ำลงด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ -40 mg (dry weight)/L-day สุดท้ายเมื่อสาหร่ายมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มจำนวนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 9 วันแรก ด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 53.0 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.10 1/day หลังจากนั้นสาหร่ายมีอัตราการเจริญคงที่ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (12 วัน) พบว่า มีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 460, 930, 520, และ 850 mg/L ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 20% (v/v) ทำให้มีอัตราการเจริญสูงสุดในอาหารฯ ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400 mg/L

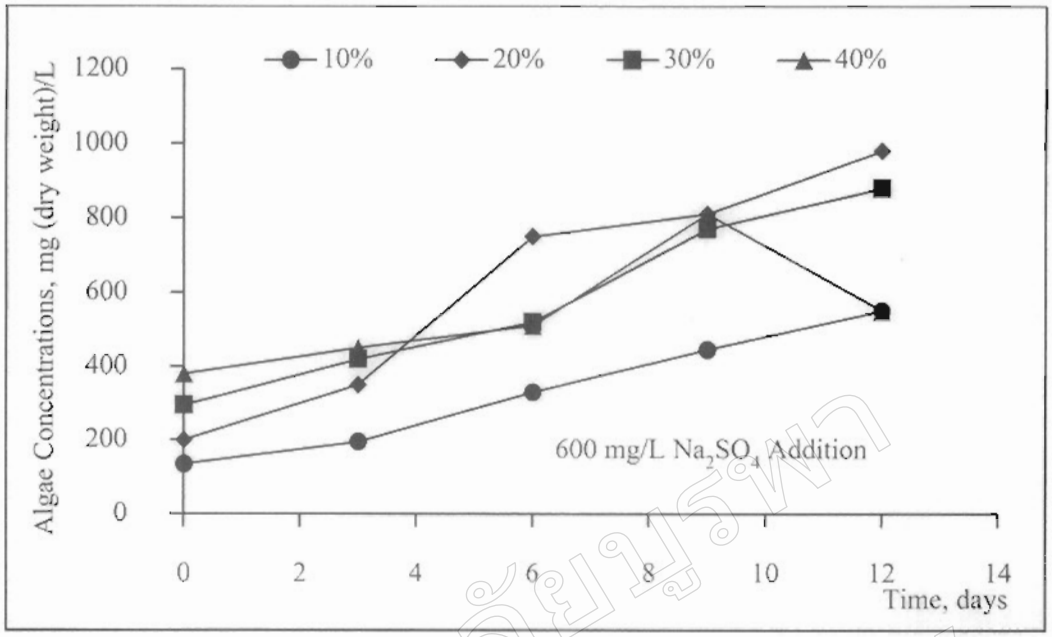
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-10 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

ภาพที่ 4-11 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 600 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30, และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, และ 30% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่าเท่ากับ 36.0, 67.3 และ 50.7 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.12, 0.13 และ 0.09 1/day ตามลำดับ สุดท้ายเมื่อสาหร่ายมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มจำนวนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 9 วันแรก ด้วยอัตราการเจริญ 45.0 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.08 1/day หลังจากนั้น สาหร่ายมีการเจริญลดลง โดยมีมีอัตราการเจริญ เท่ากับ -86.7 mg (dry weight)/L-day เมื่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (12 วัน) พบว่า มีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. เท่ากับ 550, 980, 880, และ 550 mg/L ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 20% (v/v) ทำให้มีอัตราการเจริญสูงสุดในอาหารฯ ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 600 mg/L

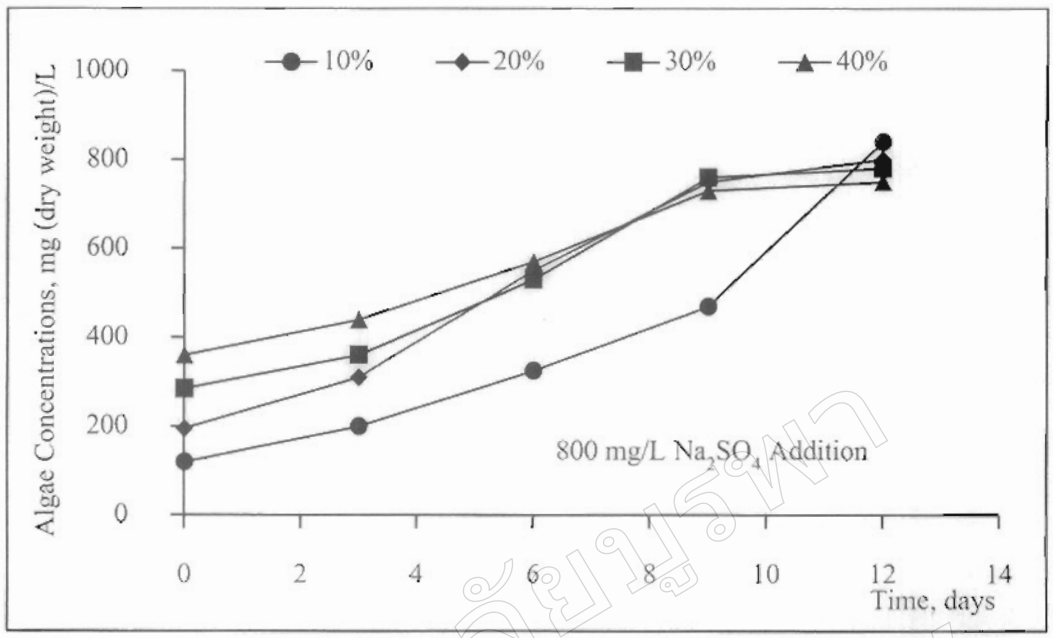
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

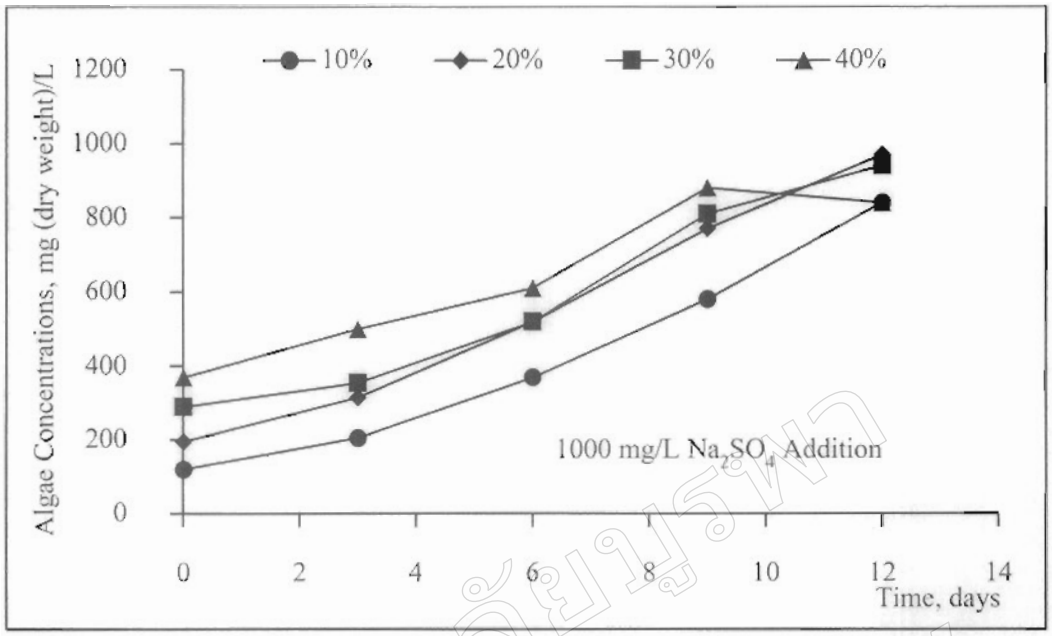
ภาพที่ 4-12 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 800 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 9 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 9 วันแรก พบว่า เท่ากับ 39.2, 63.5, 53.2 และ 41.3 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.15, 0.15, 0.11 และ 0.08 1/day ตามลำดับ หลังจากนั้น ภาวะทดลองที่มีความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) นั้น มีอัตราการเจริญเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 123.3 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.19 1/day ส่วนการทดลองที่มีความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 20, 30, และ 40% (v/v) นั้นมีอัตราการเจริญลดลง เท่ากับ 16.7, 6.7 และ 6.7 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ เมื่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (12 วัน) พบว่า มีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. เท่ากับ 840, 800, 780 และ 750 mg/L ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) ทำให้มีอัตราการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 800 mg/L

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

ภาพที่ 4-13 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 1000 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20 และ 30% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วันแรก พบว่า เท่ากับ 60.5, 66.8 และ 58.5 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.16, 0.13 และ 0.10 1/day ตามลำดับ ส่วนการทดลองที่มีความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 40% (v/v) นั้น พบว่า มีอัตราการเจริญเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 9 วันแรก ด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 54.7 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.10 1/day หลังจากนั้น สาหร่ายมีอัตราการเจริญลดลง เท่ากับ -13.3 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ -0.02 1/day เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (12 วัน) พบว่า มีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. เท่ากับ 840, 970, 940, และ 840 mg/L ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) ทำให้มีอัตราการเจริญสูงสุดในอาหารฯ ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 1000 mg/L



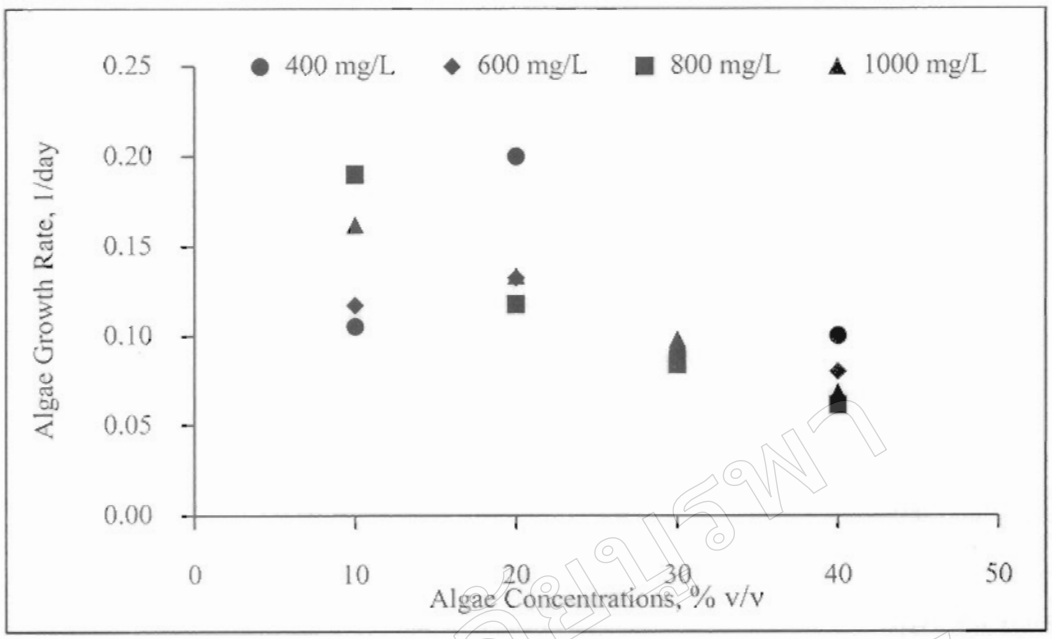
ภาพที่ 4-13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

สุดท้ายเมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญจำเพาะโดยรวมของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร นาน 12 วัน และมีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน จากภาพที่ 4-14 พบว่า เมื่อมีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400 และ 600 mg/L ปริมาณสาหร่าย ฯ เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 20% (v/v) เพราะสาหร่าย มีอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด แต่เมื่อมีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 800 และ 1000 mg/L ปริมาณสาหร่าย ฯ เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 10% (v/v) นอกจากนั้น พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นสูงขึ้น ทำให้อัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย ลดต่ำลง

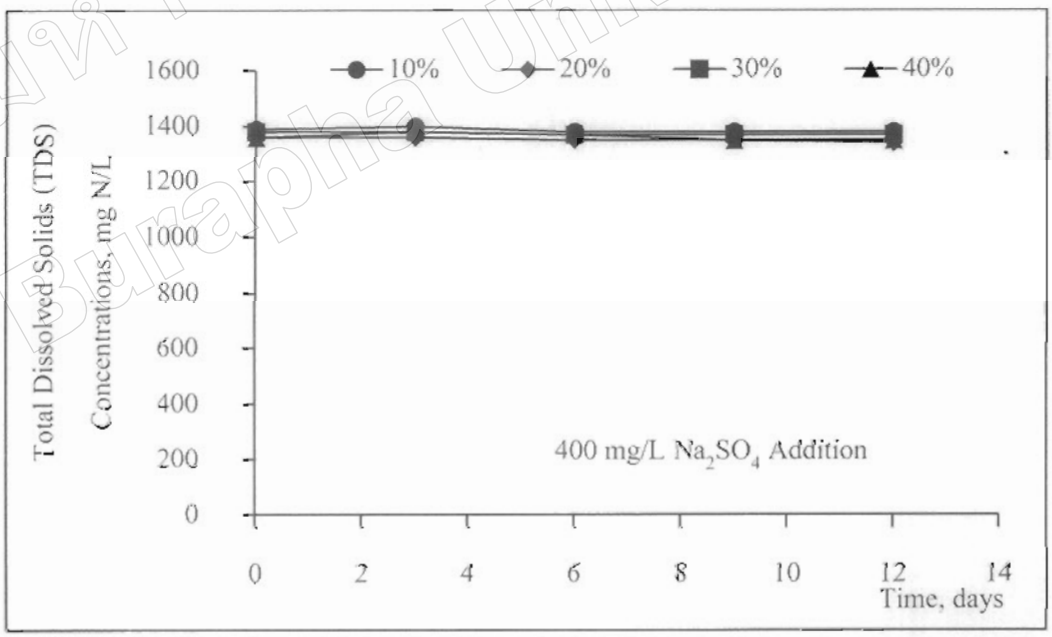
จากภาพที่ 4-15 – ภาพที่ 4-18 พบว่า การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น TDS ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400, 600, 800 และ 1000 mg/L พบว่า สาหร่าย สามารถกำจัดได้เพียง 10-30 mg/L หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากสาหร่าย ไม่สามารถกำจัด TDS ได้

สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้นไม่มีผลกระทบต่อการกำจัด TDS ในอาหาร เมื่ออาหารมีความเข้มข้น TDS เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

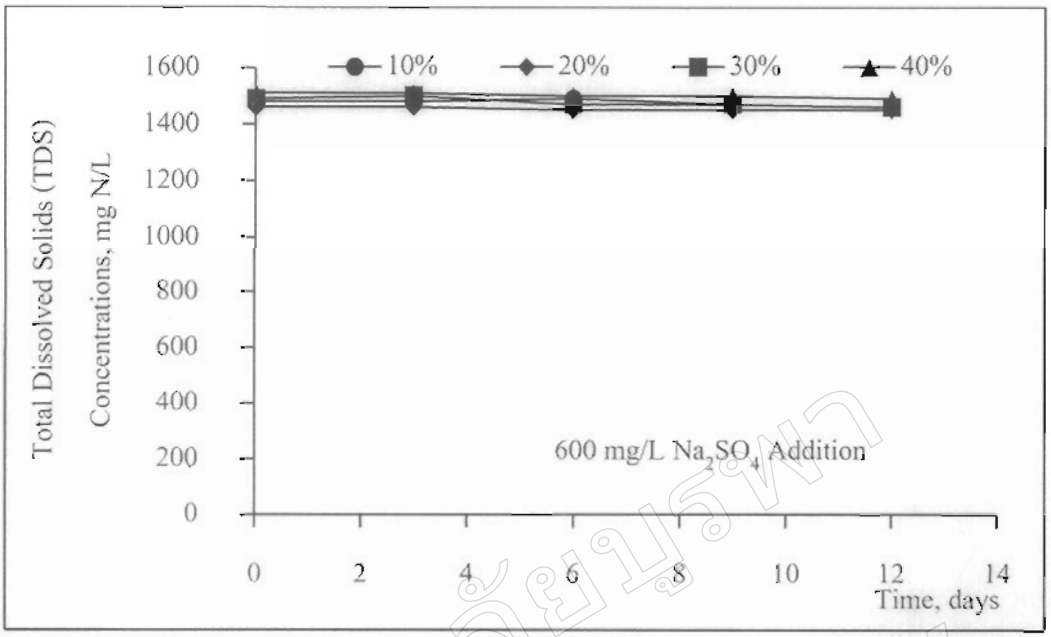


ภาพที่ 4-14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

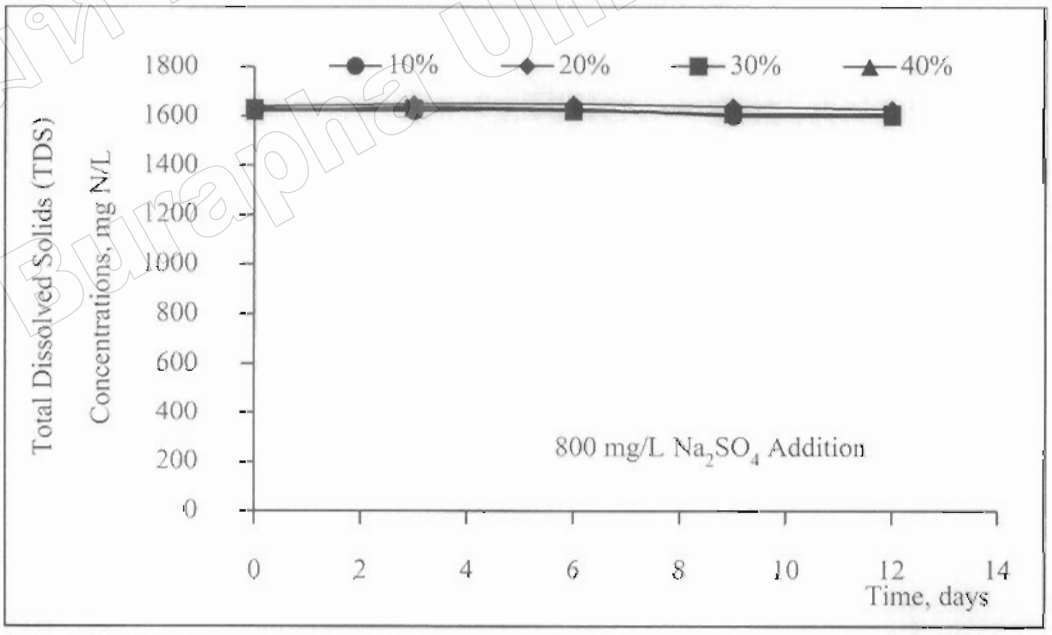


ภาพที่ 4-15 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

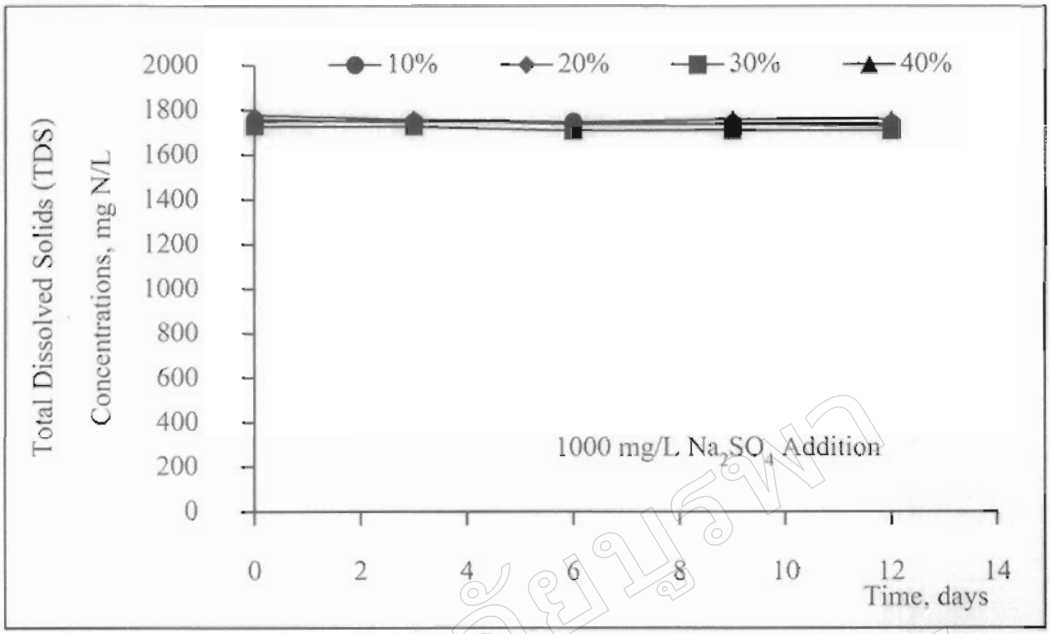


ภาพที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 4-17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



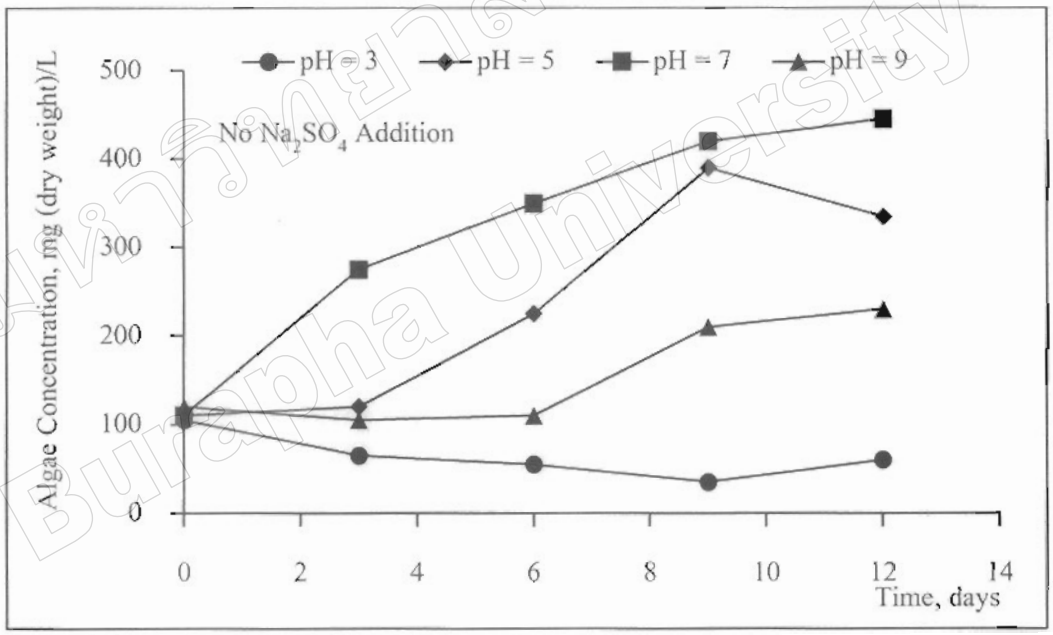
ภาพที่ 4-18 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ภาพที่ 4-19 แสดงปริมาณสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เพิ่มเติม และมีการเติมสาหร่ายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 105, 110, 110 และ 120 mg (dry weight)/L เมื่อ pH ของอาหาร เท่ากับ 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า สาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มี pH เริ่มต้น เท่ากับ 3 สาหร่ายมีปริมาณลดลงตามลำดับในช่วง 9 วันแรก โดยมีอัตราการเจริญเท่ากับ -7.3 mg (dry weight)/L-day เนื่องจาก pH ดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญของสาหร่าย ต่อมา หลังจาก 9 วันของการเพาะเลี้ยง พบว่า สาหร่าย สามารถเจริญเพิ่มสูงขึ้นโดยมีอัตราการเจริญเท่ากับ 8.3 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.18 1/day แต่เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 5, 7 และ 9 พบว่า สาหร่าย เจริญเพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อ pH เท่ากับ 5 สาหร่าย เจริญเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในช่วง 3 วันแรก ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่าย อยู่ในระยะปรับตัวกับอาหารที่มี pH ที่เป็นกรด หลังจากนั้น สาหร่าย เพิ่มปริมาณสูงขึ้นด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 27 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.11 1/day จนถึง 12 วัน เป็นระยะแบ่งตัวทวีคูณ (Exponential Phase) สำหรับการทดลองที่ใช้อาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 นั้น พบว่า สาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงใน Stock culture ที่มี pH เท่ากับ 7

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

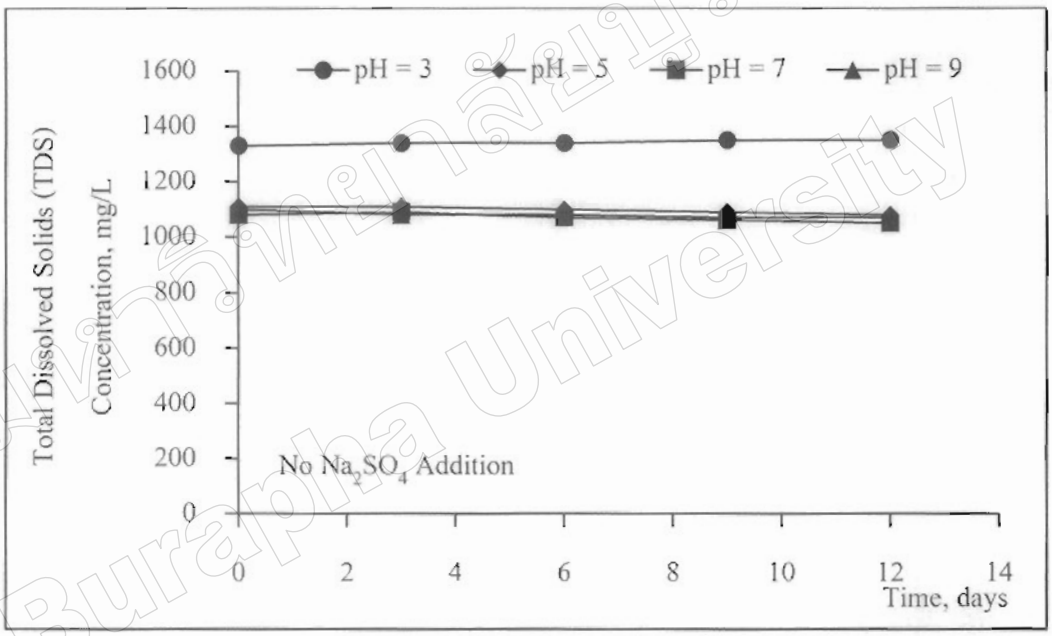
นั้น สามารถปรับตัวได้ดี เข้าสู่ระยะแบ่งตัวแบบทวีคูณได้อย่างรวดเร็ว มีการเจริญเพิ่มจำนวนอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 12 วัน พบว่า มีอัตราการเจริญเท่ากับ 27.2 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.12 1/day ส่วนเมื่อ pH ของอาหารเท่ากับ 9 นั้น พบว่า สาหร่าย มีการเจริญลดลงด้วยอัตรา -1.7 mg (dry weight)/L-day ในช่วง 3 วันแรก ซึ่งเป็นระยะเวลาปรับตัว หลังจากนั้น เมื่อสาหร่าย สามารถปรับตัวกับอาหารได้ ทำให้สาหร่าย เพิ่มจำนวนเป็นทวีคูณโดยมีอัตราการเจริญเท่ากับ 20 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.09 1/day หลังจากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. นานกว่า 12 วัน พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีความเข้มข้นเท่ากับ 60, 335, 445, และ 230 mg (dry weight)/L เมื่อ pH ของอาหารเท่ากับ 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ สรุปได้ว่า เมื่ออาหารมี pH เริ่มต้น เท่ากับ 7 สาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีการเจริญสูงสุด ทำให้มีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด ที่ระยะเวลาเพาะเลี้ยงเท่ากับ 12 วัน



ภาพที่ 4-19 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 แต่มี pH ของอาหารต่าง ๆ กัน ภาพที่ 4-20 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ TDS จากการเจริญของสาหร่าย พบว่า การปรับ pH มีผลกระทบต่อความเข้มข้นของ TDS ในอาหาร กล่าวคือ การปรับ pH ให้ต่ำลงทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นจากซัลเฟตที่มาจากกรดซัลฟุริกที่เติมลงไปในอาหารจากภาพที่

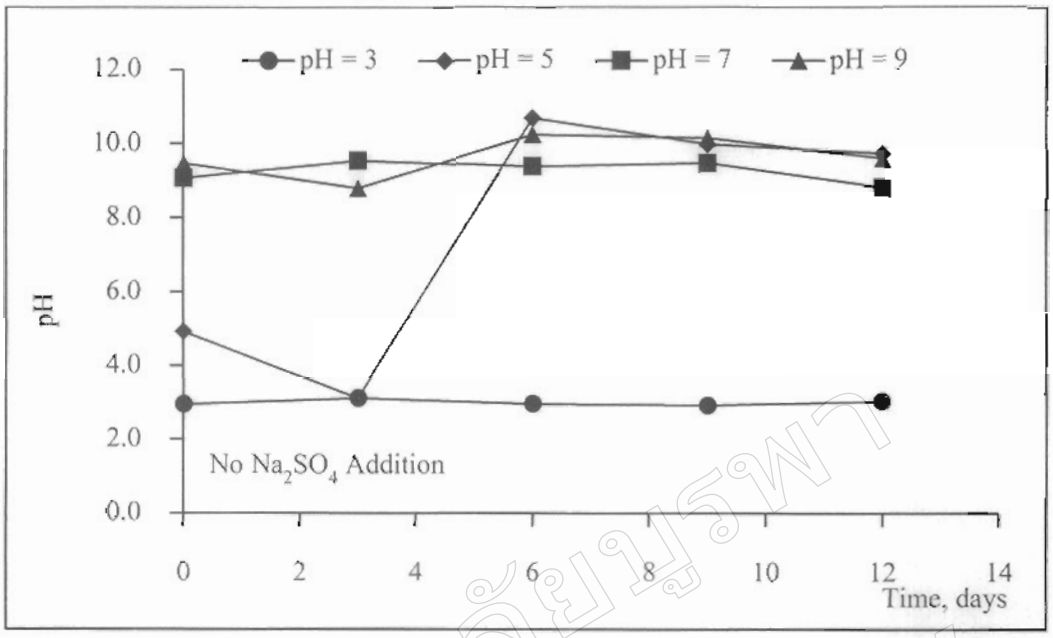
4-20 พบว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 ไม่ทำสามารถกำจัด TDS ได้ เพราะสาหร่าย *Scenesdesmus* sp. ไม่สามารถเจริญได้ใน pH ดังกล่าว ผลการทดลองระบุว่า ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยเกิดจากการระเหยของน้ำในอาหารที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายที่อุณหภูมิสูง สำหรับการทดลองที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 5, 7 และ 9 พบว่า สาหร่าย สามารถลดความเข้มข้น TDS ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นและลดได้ปริมาณเท่ากัน คือ 30 mg/L เพราะสาหร่าย ใช้สารอาหารไนเตรท-ไนโตรเจนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ TDS เพื่อการเจริญของสาหร่าย อย่างไรก็ตาม แสดงให้เห็นว่า pH ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการกำจัด TDS ในอาหาร



ภาพที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenesdesmus* sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

นอกจากนั้น การทดลองมีการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง pH ของอาหาร พบว่า pH ของอาหารที่เพาะเลี้ยงด้วยสาหร่าย มีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4-21 พบว่า เมื่อ pH ของอาหารเท่ากับ 3 นั้น ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ pH ของอาหาร เนื่องจากสาหร่าย ไม่สามารถเจริญในอาหารที่มี pH นี้ได้ ทำให้ไม่เกิดการใช้สารประกอบไบคาร์บอเนตเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการที่ 4.1 สำหรับอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 5, 7 และ 9 พบว่า pH ของอาหารปรับเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ สุดท้าย pH คงที่ใกล้เคียง 9

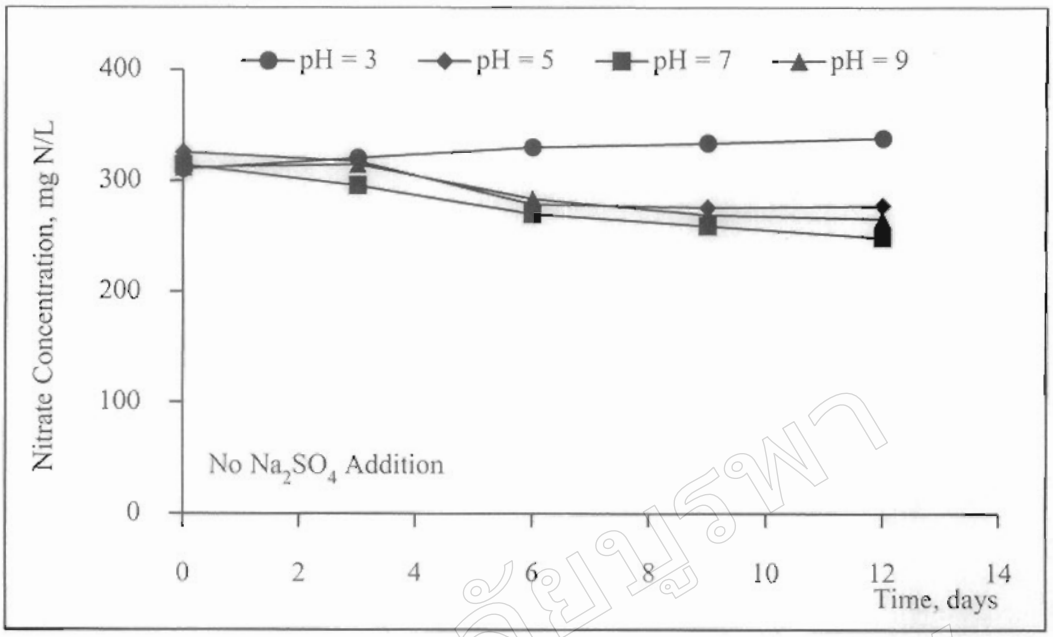
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-21 การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenesdesmus* sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

ภาพที่ 4-22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนลดลง เมื่อระยะเวลาเพาะเลี้ยงผ่านไป 12 วัน ยกเว้นอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 โดยความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนลดลงเท่ากับ -9.0, 14.8, 20.9 และ 14.9% เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ การกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของสาหร่าย โดย pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 7 นั้น มีการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนมากที่สุด เนื่องจากสาหร่ายมีการเจริญสูงสุดที่ pH เท่ากับ 7

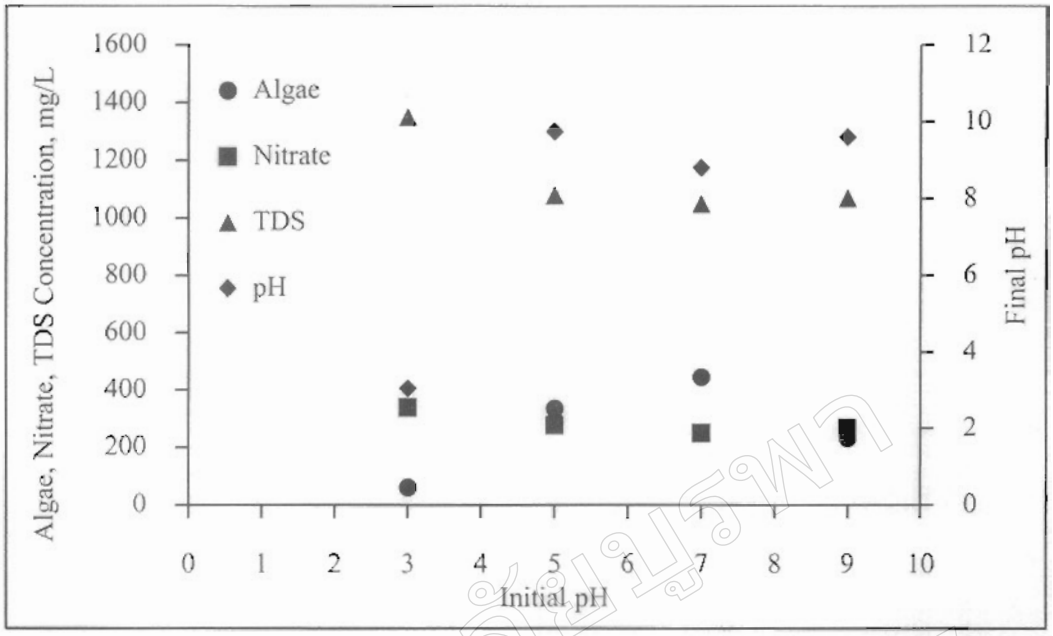
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-22 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenesdesmus* sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของสาหร่าย ที่เจริญในอาหาร ความเข้มข้น TDS pH สุดท้าย และความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจนมาเขียนกราฟที่มี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 วัน ดังภาพที่ 4-23 พบว่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ทำให้สาหร่ายมีปริมาณสูงสุด ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงต่ำสุด มี pH สุดท้าย เท่ากับ 8.8 และความเข้มข้น TDS ลดลงเพียงเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



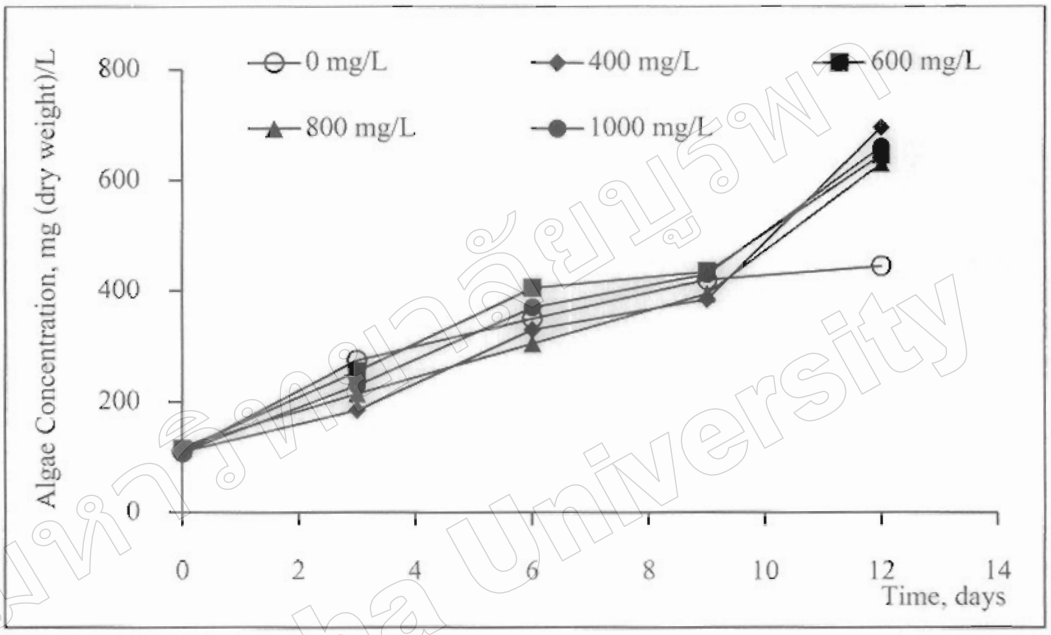
ภาพที่ 4-23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenesdesmus* sp. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 และมีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย และการกำจัด TDS ในอาหาร ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-24 พบว่า สาหร่าย เจริญในอาหารที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L มีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับตั้งแต่วันแรกของการเพาะเลี้ยง และมีปริมาณสูงสุดเมื่อมีระยะเวลาเพาะเลี้ยงนาน 12 วัน เมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายที่ความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ได้เท่ากับ 27.2, 45.7, 41.3, 40.0 และ 43.3 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.12, 0.15, 0.14, 0.14 และ 0.15 1/day ทำให้สุดท้ายความเข้มข้นของสาหร่ายเท่ากับ 445, 695, 645, 630 และ 660 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ สรุปได้ว่า การเติมสาร Na_2SO_4 ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS มีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. โดยทำให้สาหร่าย มีอัตราการเจริญเพิ่มสูงขึ้นอาหารที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 เพราะใน Na_2SO_4 มี Sulfur ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย ใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สาหร่ายน้ำจืดมี Sulfur เป็นส่วนประกอบประมาณ 0.15-1.96% โดยน้ำหนักแห้ง สาหร่ายจะเปลี่ยน Sulfur ให้อยู่ในรูปกรดอะมิโนในเซลล์สาหร่าย (Barsanti & Gualtieri, 2006) และจากรายงานของ Human and Environmental Risk Assessment on ingredients of Household Cleaning Products (2006) พบว่า Na_2SO_4 มีความเป็นพิษต่อสาหร่ายที่ EC_{50} 120 h = 1,900 mg/l ซึ่งปริมาณ Na_2SO_4 ที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1,000 mg/l



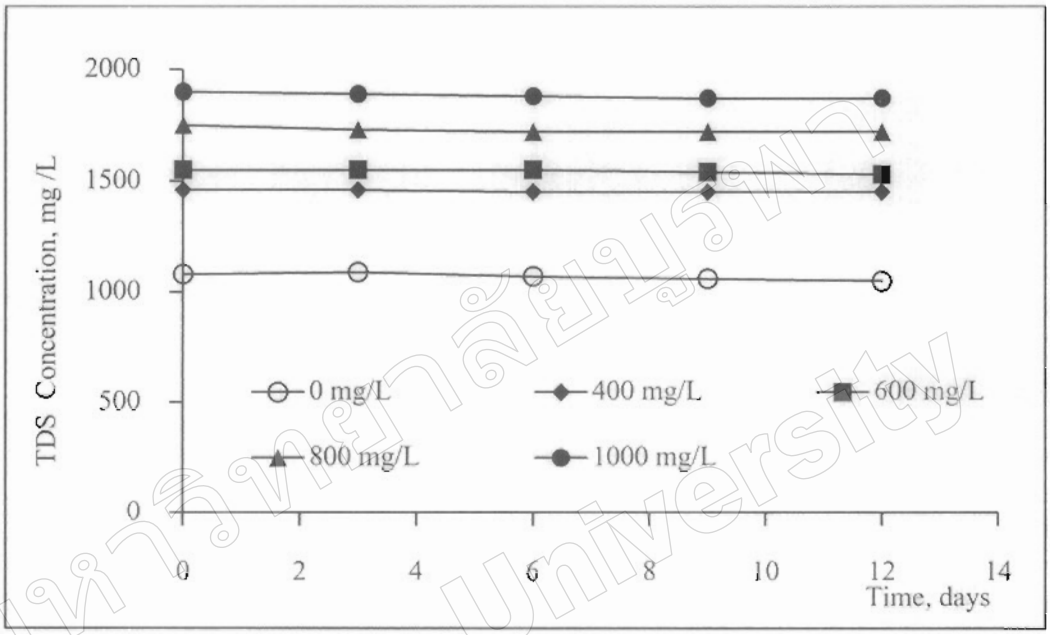
ภาพที่ 4-24 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นแตกต่างกันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลา 12 วัน

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS ด้วยสาร Na_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-25 พบว่า การเติมสาร Na_2SO_4 ทำให้ความเข้มข้นของ TDS ในอาหารเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TDS ในอาหารไม่มีผลกระทบต่อการกำจัดสาร TDS ด้วยสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

ภาพที่ 4-26 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 วัน โดยลดลงเท่ากับ 20.9, 11.9, 11.9, 20.5 และ 20.9% เมื่อมีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้น เท่ากับ 0, 400, 600, 800 และ 1000

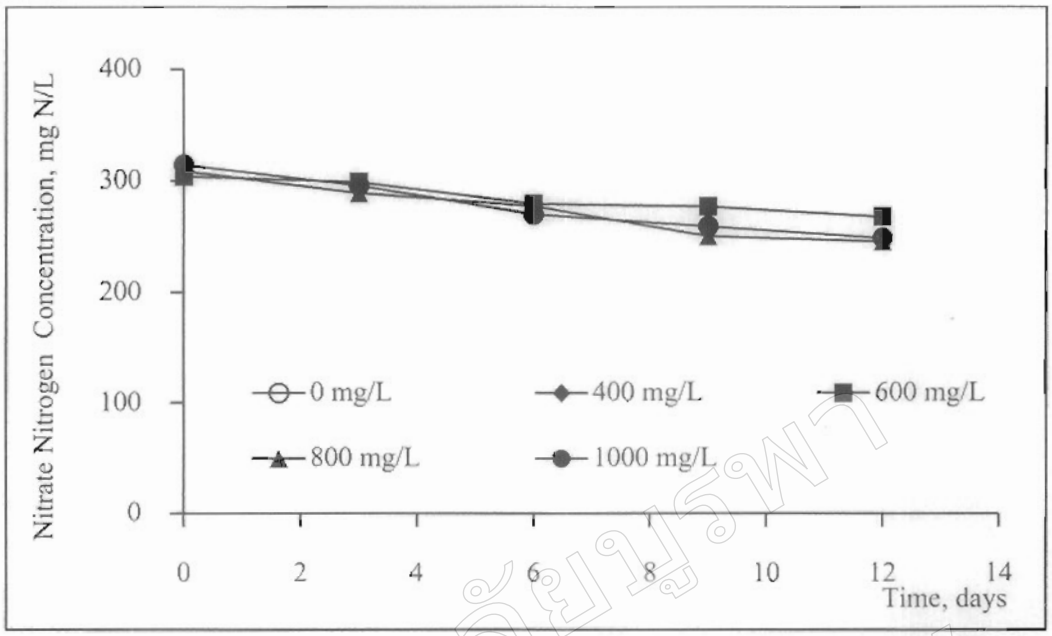
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

mg/L ตามลำดับ การลดลงของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหารนั้นเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของสาหร่าย ผลการทดลองแสดงว่า ความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS มีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ทำให้อัตราการเจริญของสาหร่ายเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

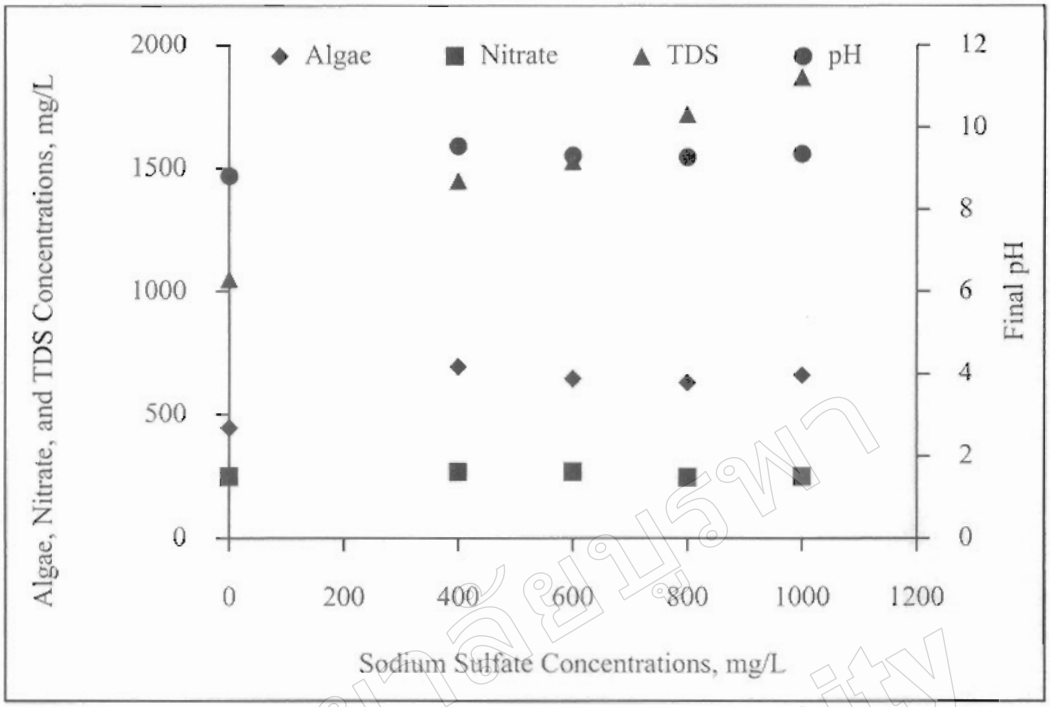
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-26 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

สุดท้าย เมื่อนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และมีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ต่าง ๆ กัน โดยเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 12 วัน มาเขียนกราฟผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-27 พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ในอาหารทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ โดยความเข้มข้น TDS ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย โดยทำให้สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้มีการใช้ไนเตรท-ไนโตรเจนสำหรับการสร้างเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ความเข้มข้นในเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลานาน 12 วัน

ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ต่อการกำจัด TDS การทดลองมีการเติมสาหร่ายลงในอาหารในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยอาหารมีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ลงในอาหาร และมี pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 7 การเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 12 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-28 – ภาพที่ 4-31

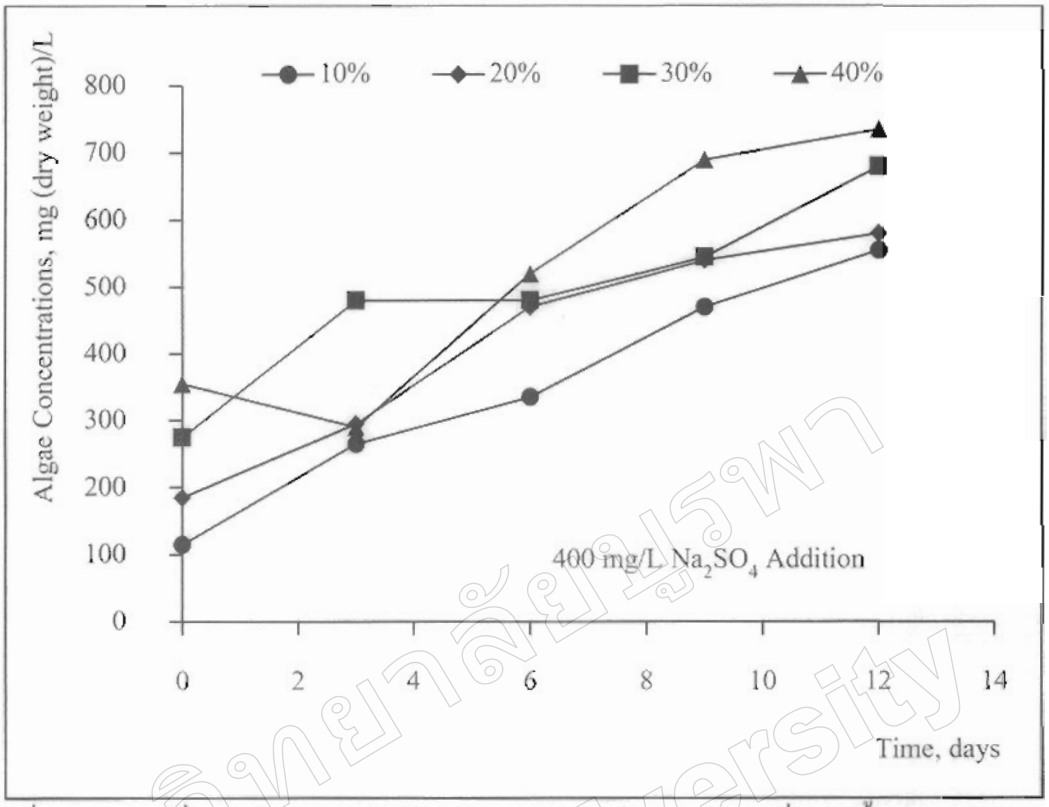
ภาพที่ 4-28 แสดงปริมาณสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400 mg/L และใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20 และ 30% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 36.2, 34.5 และ 29.2 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.13, 0.10 และ 0.18 1/day ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 40% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่าง 0-3 วัน สาหร่ายมี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อัตราการเจริญของสาหร่ายลดลง เท่ากับ -21.7 mg (dry weight)/L-day และช่วงที่สองระหว่าง 3-12 วัน เป็นระยะเอ็กซ์โพเนนเชียลสาหร่ายมีอัตราการเจริญที่สูงมากถึง 50.2 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.10 1/day หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 555, 580, 680 และ 735 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 400 mg/L

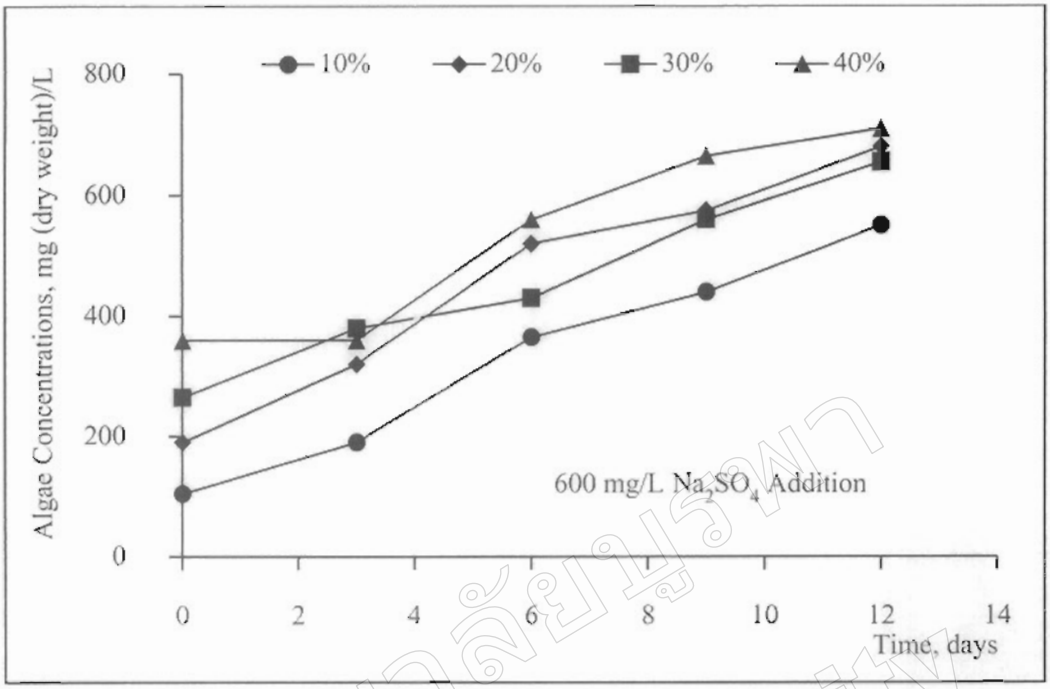
ภาพที่ 4-29 แสดงปริมาณสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 600 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 38.0, 41.2, 32.0 และ 33.5 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.14, 0.11, 0.08 และ 0.06 1/day ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. เท่ากับ 550, 680, 655 และ 710 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 600 mg/L

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-28 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

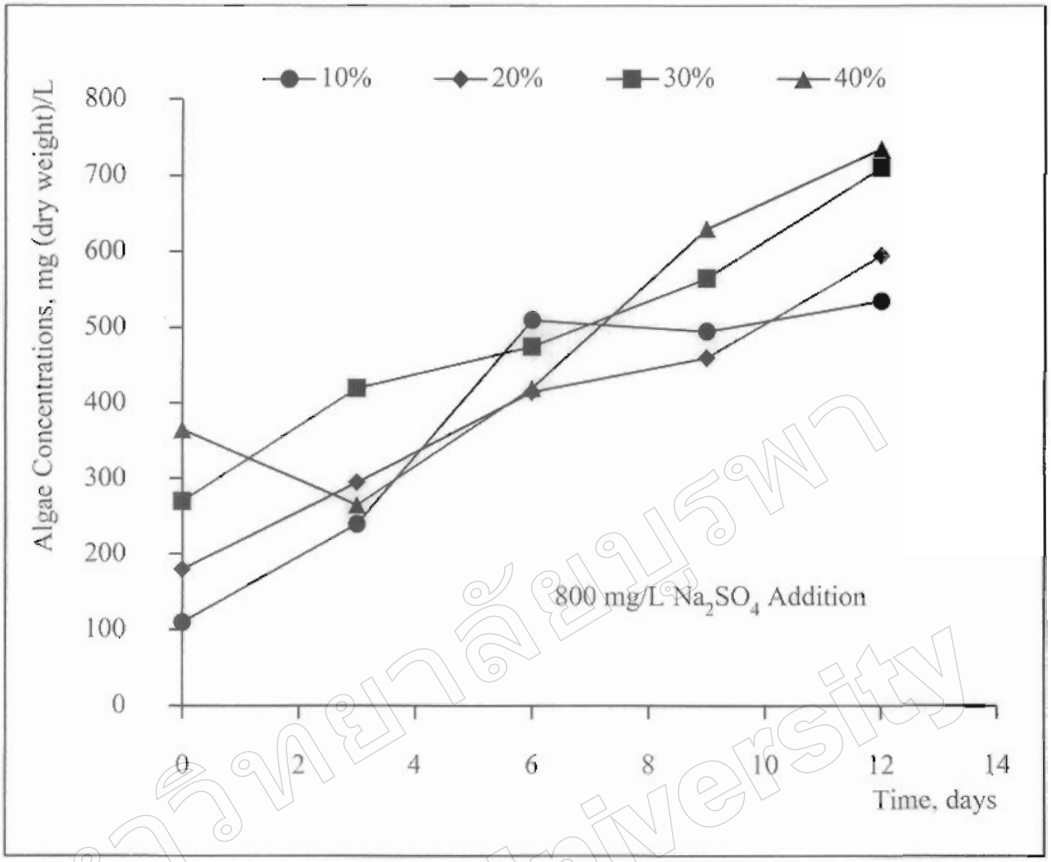
ภาพที่ 4-30 แสดงปริมาณสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 800 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20 และ 30% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 36.8, 33.2 และ 34.2 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่ายเท่ากับ 0.13, 0.10 และ 0.08 1/day ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 40% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่าง 0-3 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญของสาหร่ายลดลง เท่ากับ -33.3 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ -0.11 1/day และช่วงที่สอง ระหว่าง 3-12 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญที่สูงมาก ถึง 54.0 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.11 1/day หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. เท่ากับ 535, 595, 710 และ 735 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Scenedesmus sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 800 mg/L

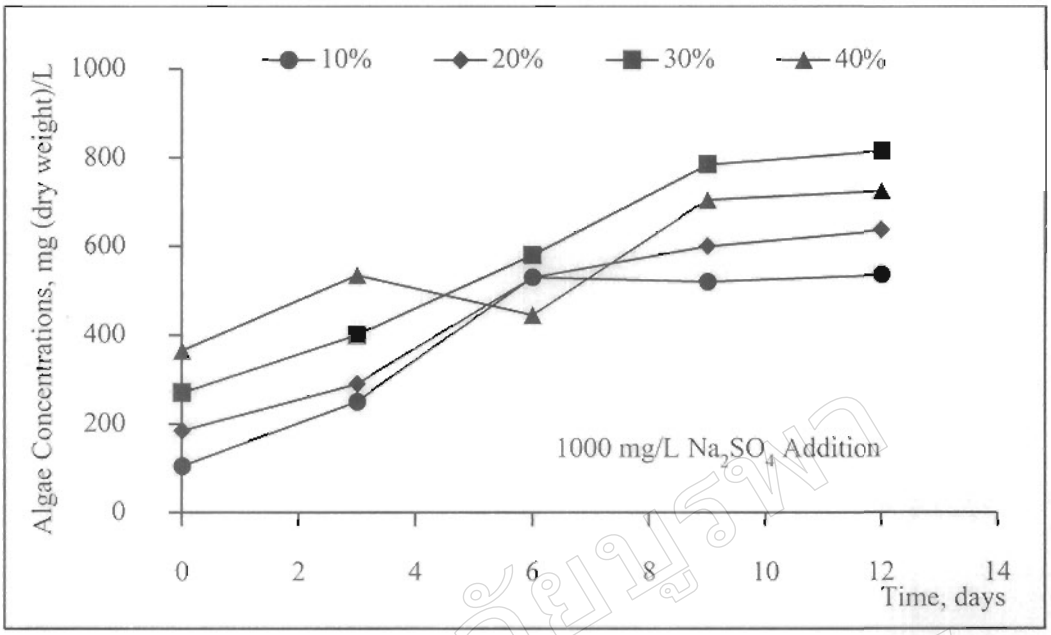
ภาพที่ 4-31 แสดงปริมาณสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 1000 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 10% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่าง 0-6 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญของสาหร่ายสูงมาก เท่ากับ 70.8 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.27 1/day ช่วงที่สอง ระหว่าง 6-12 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญคงที่ไม่มีการเจริญของสาหร่ายเพิ่มขึ้นและมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.0 1/day เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 20, 30, และ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 40.3, 49.2 และ 29.7 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 535, 635, 815 และ 725 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุด ทำให้มีปริมาณสาหร่ายสูงสุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

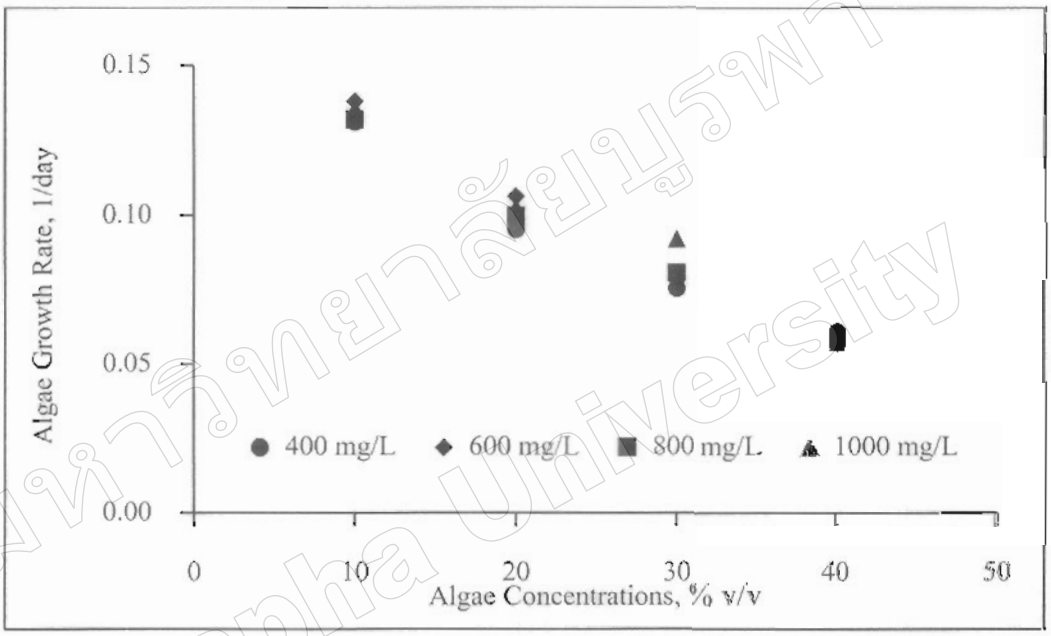


ภาพที่ 4-31 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

สุดท้ายเมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญจำเพาะโดยรวมของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารนาน 12 วัน และมีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน จากภาพที่ 4-32 พบว่า เมื่อมีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 10% (v/v) เพราะสาหร่าย มีอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดนอกจากนั้น พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นสูงขึ้น ทำให้อัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่ายลดต่ำลง เพราะสาหร่ายที่ปริมาตรเริ่มต้น 10% (v/v) มีปริมาณเซลล์สาหร่ายน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่มีปริมาตรเริ่มต้น 20%, 30% และ 40% (v/v) จึงทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับแสงสว่างได้ดีกว่า ไม่เกิดการบังกันเอง (Baranti & Cualtieri, 2006) จึงทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงได้ดีขึ้น จึงมีอัตราการเจริญจำเพาะดีที่สุด

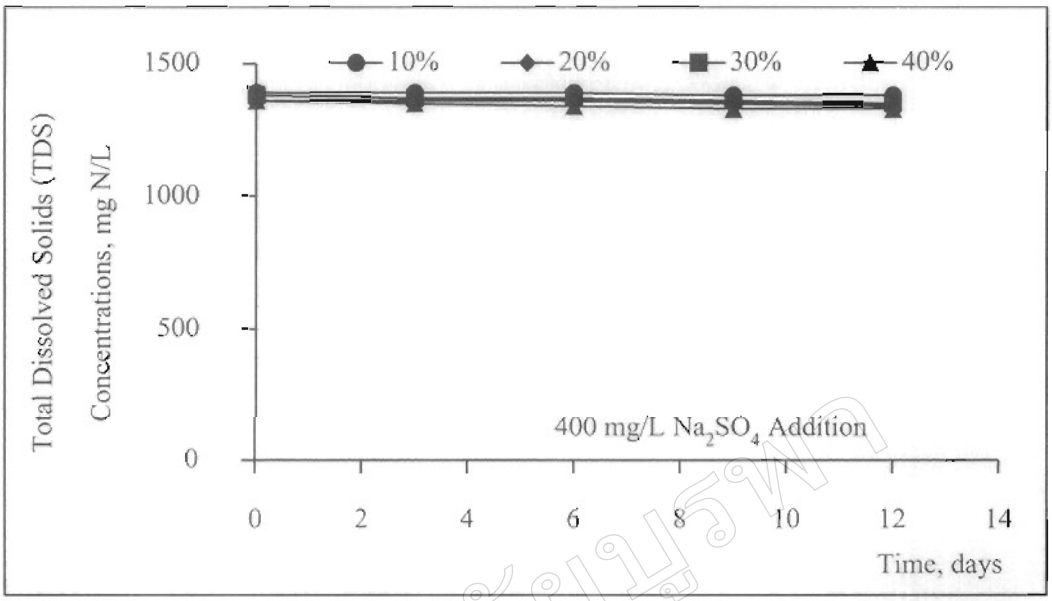
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากภาพที่ 4-33 – ภาพที่ 4-36 พบว่า การเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น TDS ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400, 600, 800 และ 1000 mg/L พบว่า สาหร่าย สามารถกำจัดได้เพียง 10-30 mg/L หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากสาหร่าย ไม่สามารถกำจัด TDS สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้นไม่มีผลกระทบต่อการกำจัด TDS ในอาหาร เมื่ออาหารมีความเข้มข้น TDS เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

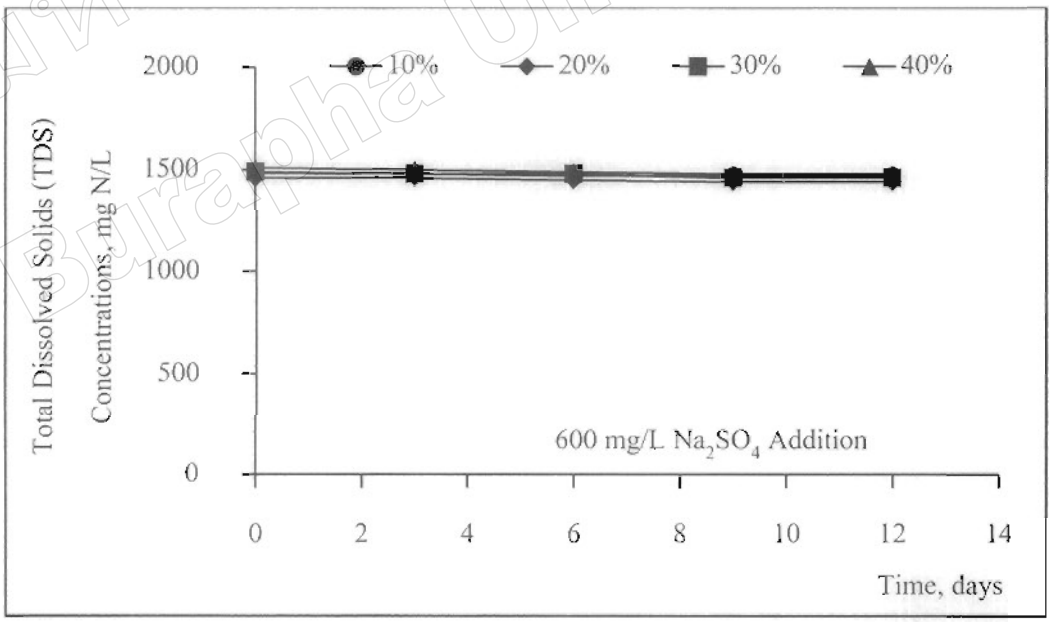


ภาพที่ 4-32 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

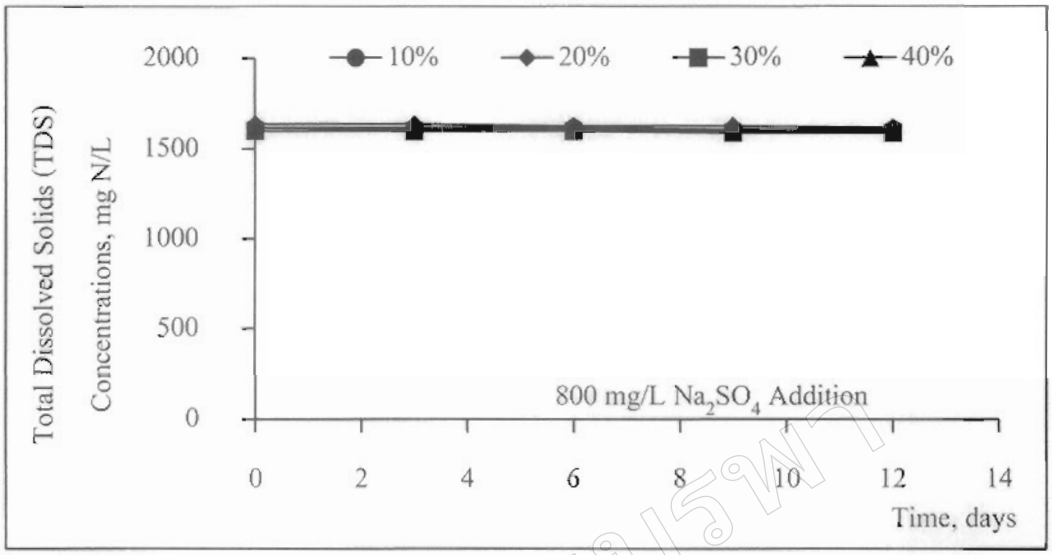


ภาพที่ 4-33 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp.ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

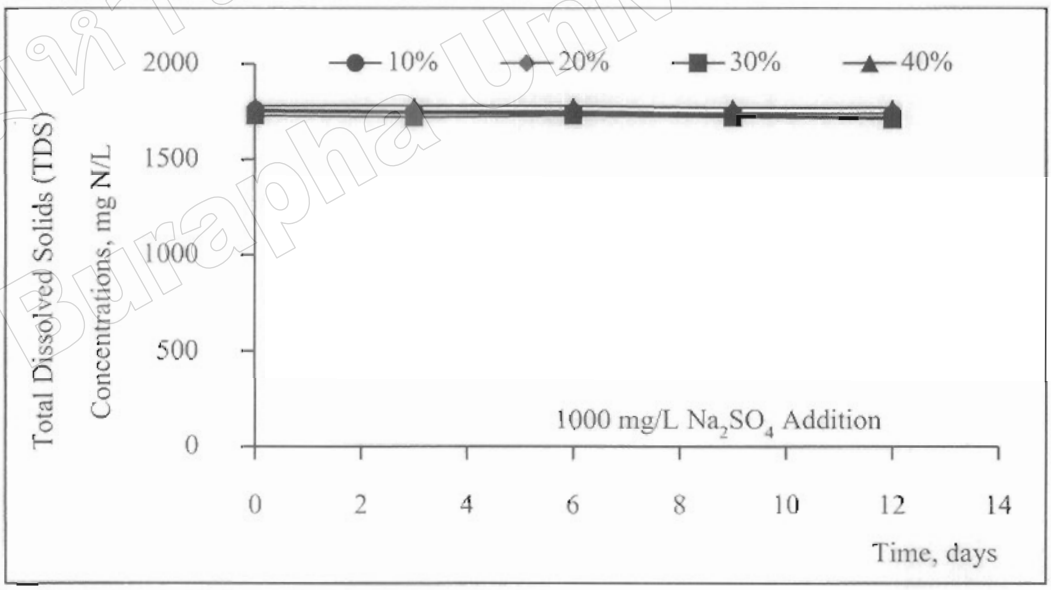


ภาพที่ 4-34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp.ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 4-36 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

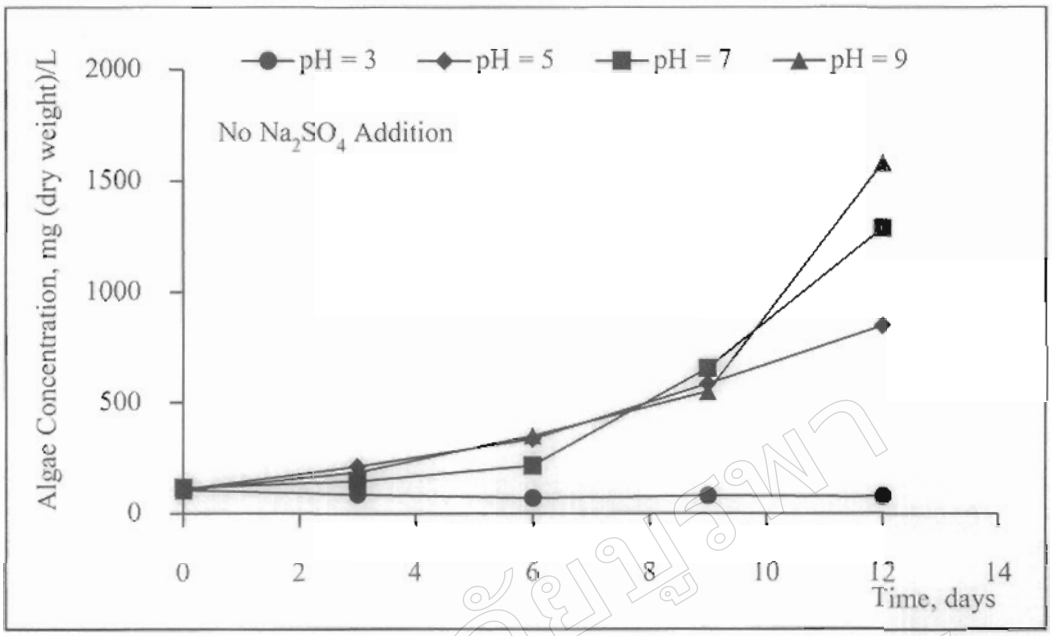
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Chroococcus turgidus* และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

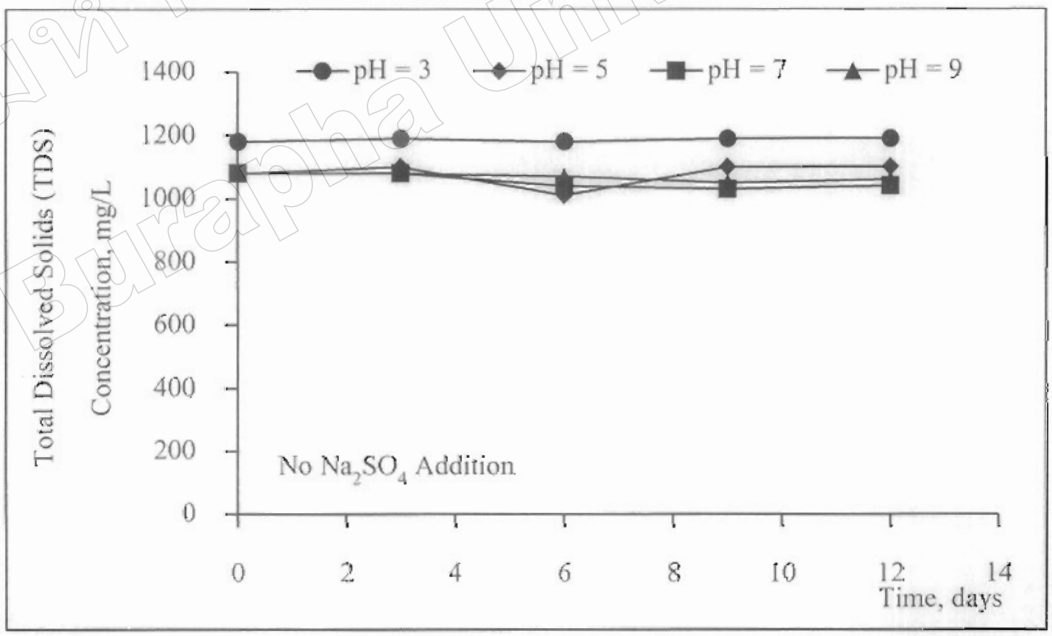
ภาพที่ 4-37 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chroococcus turgidus* ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เพิ่มเติม และมีการเติมสาหร่ายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 105, 110, 115 และ 105 mg (dry weight)/L เมื่อ pH ของอาหารเท่ากับ 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มี pH เริ่มต้น เท่ากับ 3 สาหร่ายมีปริมาณลดลงตามลำดับ โดยมีอัตราการเจริญเท่ากับ -2.2 mg (dry weight)/L-day เนื่องจาก pH ดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญของสาหร่าย แต่เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 5, 7 และ 9 พบว่า สาหร่าย เจริญเพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 12 วัน พบว่า มีอัตราการเจริญเท่ากับ 61.5, 95.0 และ 110.5 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.17, 0.20 และ 0.23 1/day หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* นานกว่า 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีความเข้มข้นเท่ากับ 75, 845, 1285, และ 1580 mg (dry weight)/L เมื่อ pH ของอาหารฯ เท่ากับ 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ สรุปได้ว่า เมื่ออาหารฯ มี pH เริ่มต้น เท่ากับ 9 สาหร่าย *C. turgidus* มีการเจริญสูงสุด ทำให้มีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด ที่ระยะเวลาเพาะเลี้ยงเท่ากับ 12 วัน

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในอาหารฯ สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 แต่มี pH ของอาหารต่าง ๆ กัน ภาพที่ 4-38 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ TDS จากการเจริญของสาหร่าย พบว่า การปรับ pH มีผลกระทบต่อความเข้มข้นของ TDS ในอาหาร กล่าวคือ การปรับ pH ให้ต่ำลง ทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจากซัลเฟตของกรดซัลฟุริกที่เติมลงไปในอาหาร จากภาพที่ 4-38 พบว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 ไม่ทำสามารถกำจัด TDS ได้เพราะสาหร่าย ไม่สามารถเจริญได้ใน pH ดังกล่าว นอกจากนั้น ผลการทดลองระบุว่า ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยเกิดจากการระเหยของน้ำในอาหารที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายที่อุณหภูมิสูง สำหรับการทดลองที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 5, 7 และ 9 พบว่า สาหร่าย สามารถลดความเข้มข้น TDS ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพราะสาหร่าย ใช้สารอาหารไนเตรท-ไนโตรเจนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ TDS เพื่อการเจริญของสาหร่าย อย่างไรก็ตาม แสดงให้เห็นว่า pH ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการกำจัด TDS ในอาหารด้วยสาหร่าย *C. turgidus*

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-37 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

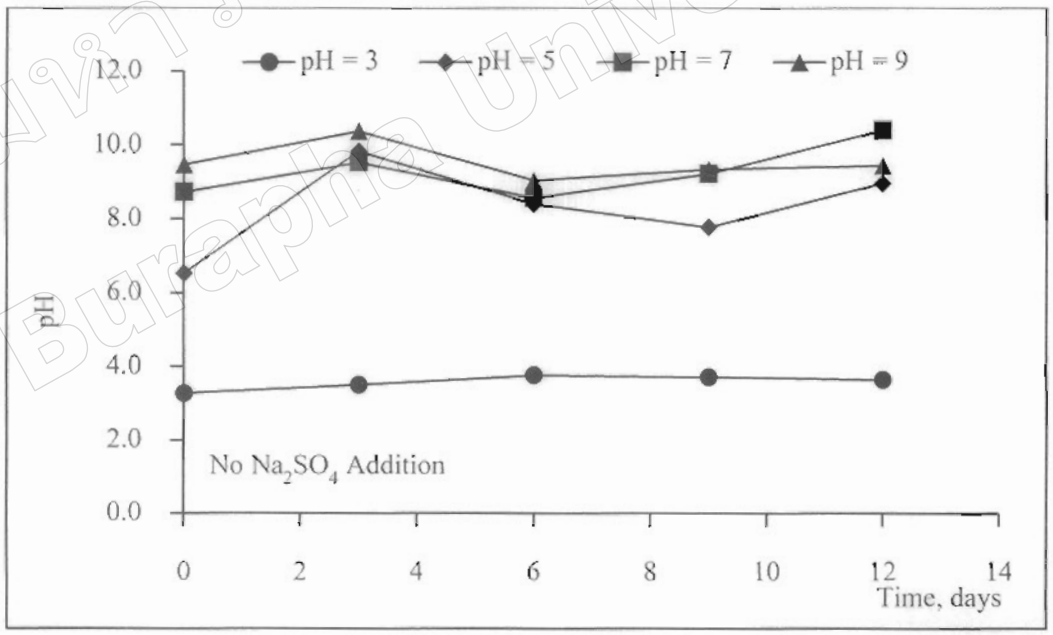


ภาพที่ 4-38 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

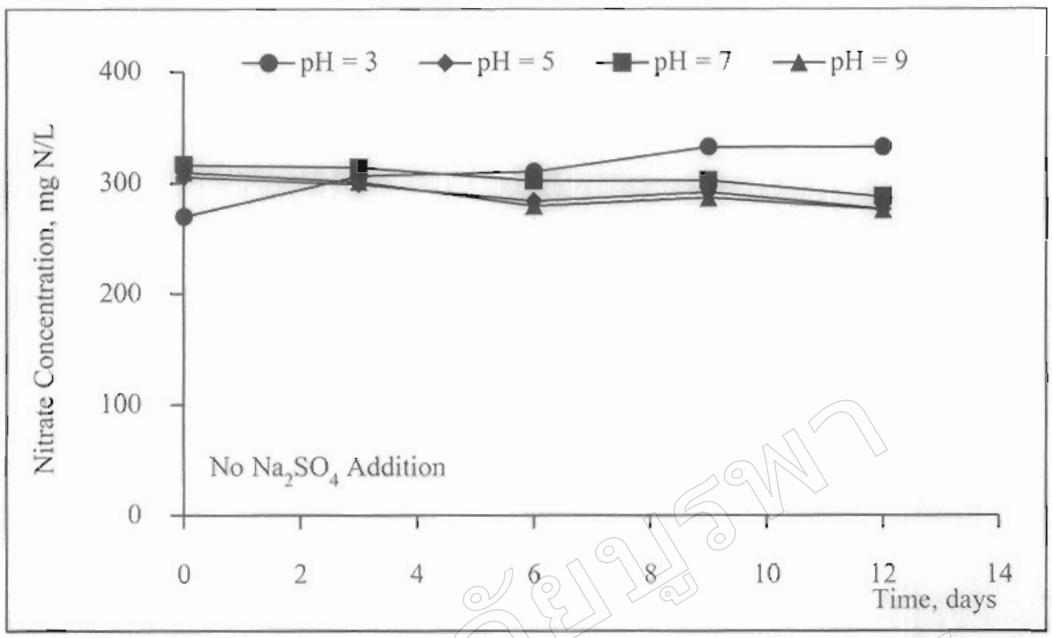
นอกจากนั้น การทดลองมีการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง pH ของอาหาร พบว่า pH ของอาหารที่เพาะเลี้ยงด้วยสาหร่าย มีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4-39 พบว่า เมื่อ pH ของอาหารเท่ากับ 3 นั้น ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ pH ของอาหาร เนื่องจากสาหร่าย ไม่สามารถเจริญในอาหารที่มี pH นี้ได้ ทำให้ไม่เกิดการใช้สารประกอบไบคาร์บอเนตเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการที่ 4.1 สำหรับอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 5, 7 และ 9 พบว่า pH ของอาหารปรับเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ สุดท้าย pH คงที่ระหว่าง 9-10

ภาพที่ 4-40 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเมื่อระยะเวลาเพาะเลี้ยงผ่านไป 12 วัน ยกเว้นอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 โดยความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนลดลงเท่ากับ -23.1, 9.5, 9.2 และ 10.9% เมื่อ pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ การกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของสาหร่าย โดย pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 9 นั้น มีการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนมากที่สุด เนื่องจากสาหร่ายมีการเจริญสูงสุดที่ pH เท่ากับ 9



ภาพที่ 4-39 การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-40 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน

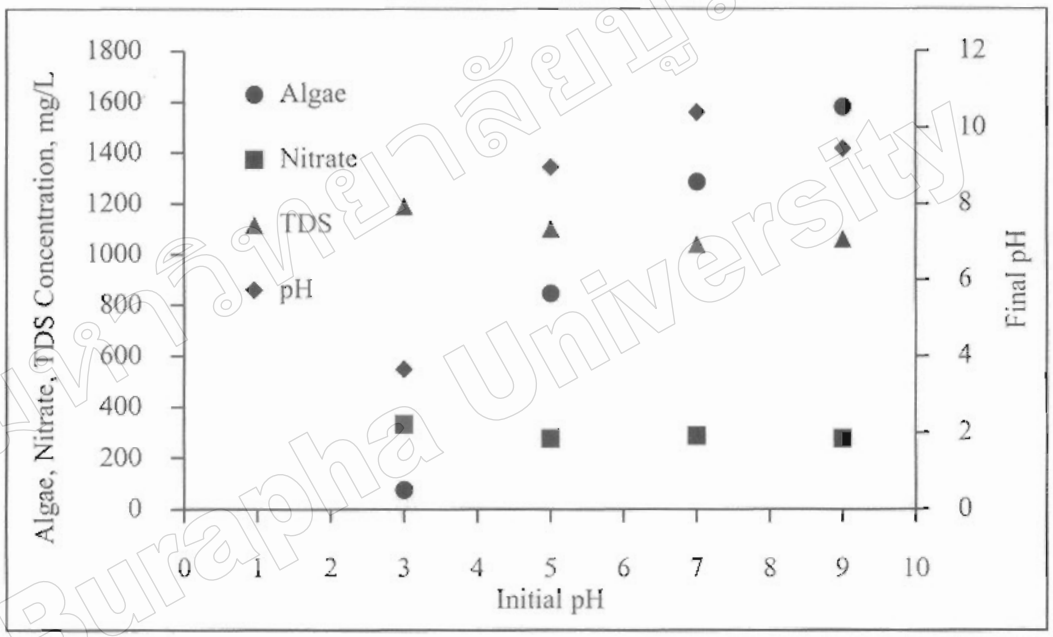
เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของสาหร่ายที่เจริญในอาหาร ความเข้มข้น TDS pH สุดท้าย และความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจนมาเขียนกราฟที่มี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน ดังภาพที่ 4-41 พบว่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 9 ทำให้สาหร่ายมีปริมาณสูงสุด ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงต่ำสุด มี pH สุดท้าย เท่ากับ 9.4 และความเข้มข้น TDS ลดลงเพียงเล็กน้อย

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย *C. turgidus* และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่เจริญในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 และมีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย และการกำจัด TDS ในอาหาร ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-42 พบว่า สาหร่าย เจริญในอาหารฯ ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L มีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับและมีปริมาณสูงสุดเมื่อมีระยะเวลาเพาะเลี้ยงนาน 12 วัน เมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายที่ความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ได้เท่ากับ 110.5, 53.0, 51.7, 57.3 และ 47.3 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตรา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

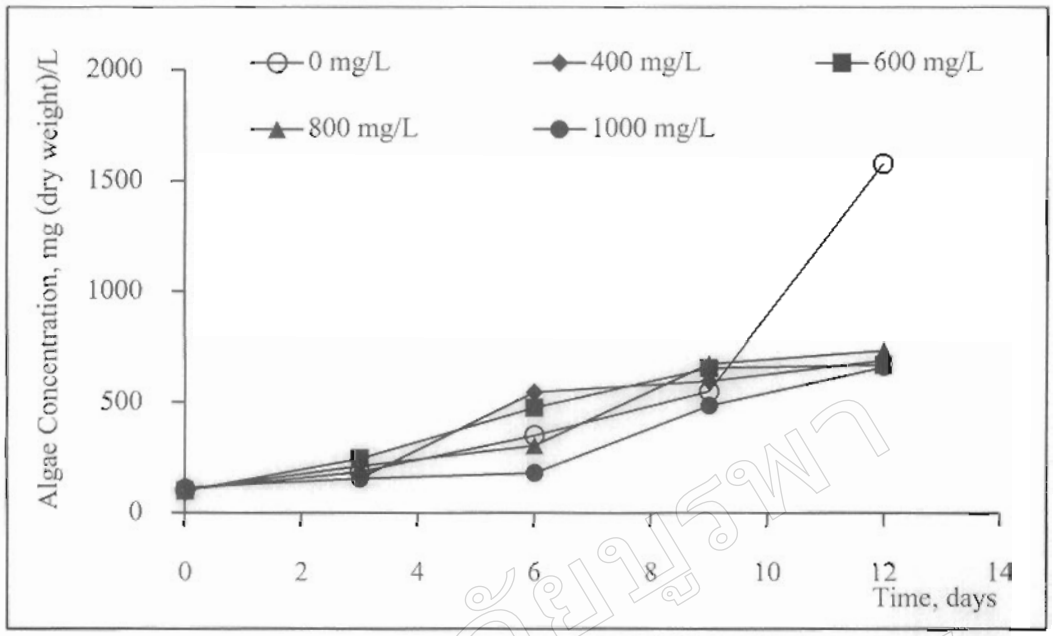
การเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.23, 0.15, 0.16, 0.16 และ 0.15 1/day ทำให้สุดท้ายความเข้มข้นของสาหร่ายเท่ากับ 1580, 690, 670, 735 และ 660 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ สรุปได้ว่า การเติมสาร Na_2SO_4 ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS มีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย ทำให้สาหร่าย มีอัตราการเจริญลดลงกว่าสาหร่ายที่เจริญในอาหารที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 เพราะ *C. turgidus* จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Evans & Prepas, 1996; Scannell & Duffy, 2007) พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เมื่อความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2,450 mg/l จะทำให้ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนลดลงและจะส่งผลให้อัตราการเจริญลดลง แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองปริมาณ TDS สูงสุดที่ 1,750



ภาพที่ 4-41 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS ด้วยสาร Na_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-43 พบว่า การเติมสาร Na_2SO_4 ทำให้ความเข้มข้นของ TDS ในอาหารเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TDS ในอาหารไม่มีผลกระทบต่อการกำจัดสาร TDS ด้วยสาหร่าย *C. turgidus*

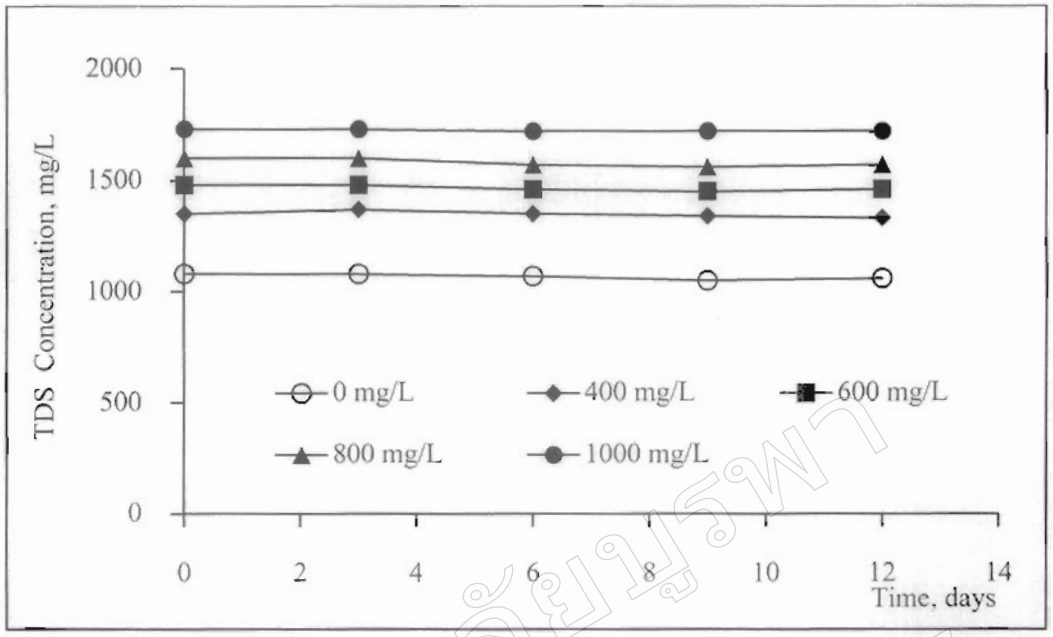
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-42 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นแตกต่างกันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ระยะเวลา 12 วัน

ภาพที่ 4-44 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหาร พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 วัน โดยลดลงเท่ากับ 10.9, 18.9, 15.9, 14.2 และ 8.7% เมื่อมีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้น เท่ากับ 0, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ตามลำดับ การลดลงของไนไตรท-ไนโตรเจนในอาหารนั้นเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของสาหร่าย ผลการทดลองแสดงว่า ความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ TDS มีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย *C. turgidus* ทำให้อัตราการเจริญของสาหร่ายเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์เพิ่มมากขึ้น

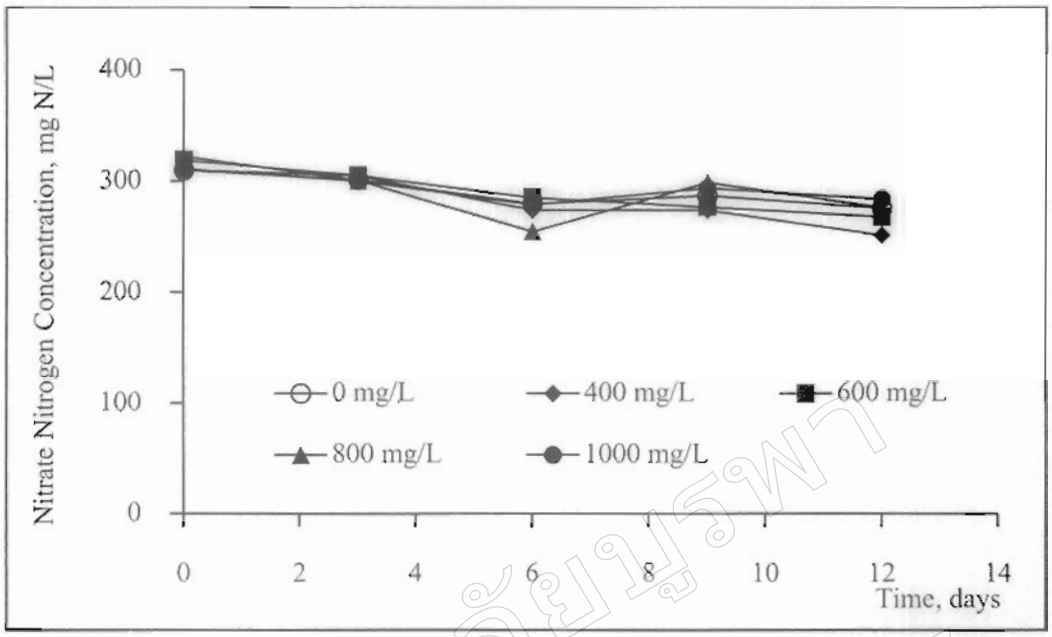
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



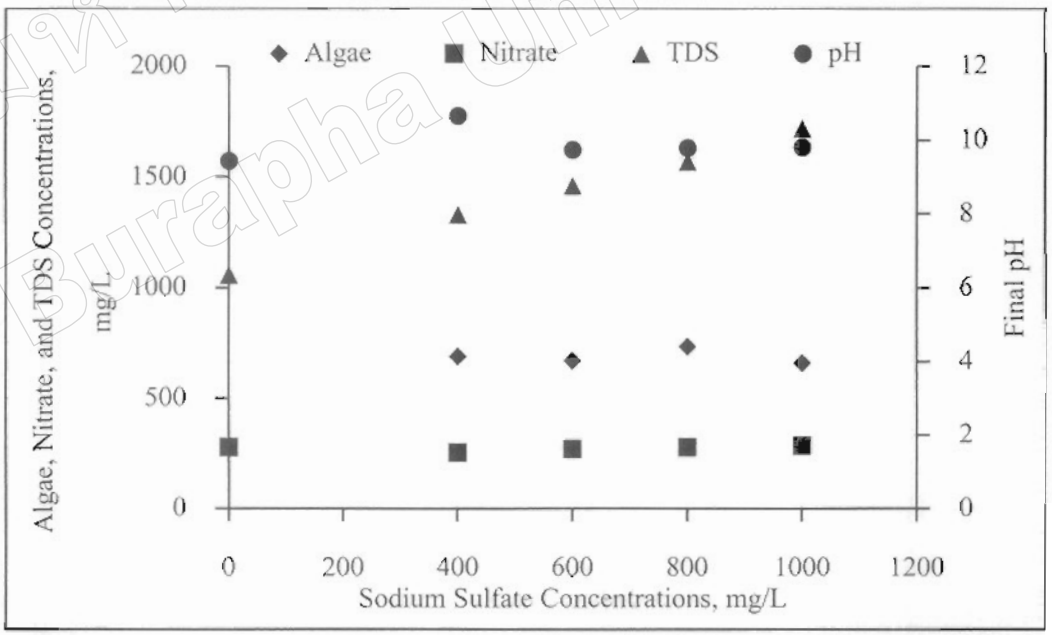
ภาพที่ 4-43 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

สุดท้าย เมื่อนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9 และมีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ต่าง ๆ กัน โดยเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 12 วัน มาเขียนกราฟ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-45 พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ในอาหารทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ โดยความเข้มข้น TDS ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายมีการเจริญลดต่ำลงอย่างมาก ส่งผลให้มีการใช้ไนเตรท-ไนโตรเจนสำหรับการสร้างเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจาก *C. turgidus* จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Evans & Prepas, 1996; Scannell & Duffy, 2007) พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เมื่อความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2,450 mg/l จะทำให้ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนลดลง จึงส่งผลให้มีการใช้ไนเตรท-ไนโตรเจนสำหรับการสร้างเซลล์ได้เพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองปริมาณ TDS สูงสุดที่ 1,750

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-44 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน



ภาพที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลานาน 12 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย *C. turgidus* ต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

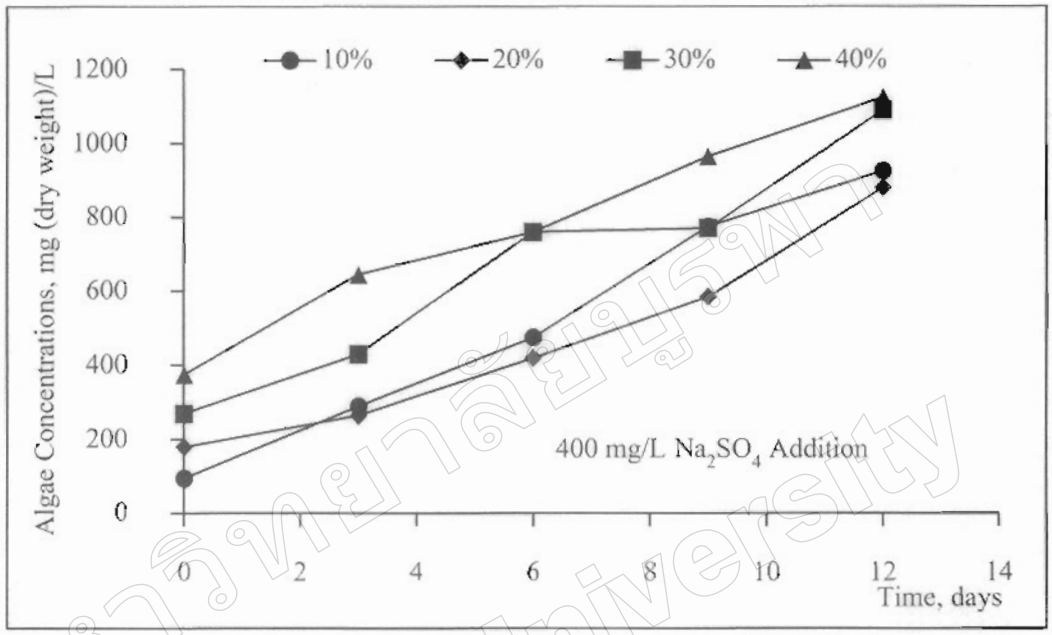
การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ต่อการกำจัด TDS การทดลองมีการเติมสาหร่ายลงในอาหารในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยอาหารมีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ลงในอาหารและมี pH เริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 9 การเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 12 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-46 – ภาพที่ 4-49

ภาพที่ 4-46 แสดงปริมาณสาหร่าย *C. turgidus* ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400 mg/L และใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 71.5, 57.3, 66.0 และ 60.7 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.19, 0.13, 0.12 และ 0.09 1/day ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 925, 880, 1090 และ 1125 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *C. turgidus* เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 400 mg/L

ภาพที่ 4-47 แสดงปริมาณสาหร่าย *C. turgidus* ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 600 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10 และ 20% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 43.2 และ 54.2 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.15 และ 0.13 1/day ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ใช้ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นเท่ากับ 30 และ 40% (v/v) นั้น พบว่า สาหร่ายในช่วงแรก (6 วันแรก) มีการเจริญด้วยอัตราการเจริญที่ต่ำเท่ากับ 26.7 และ 20.8 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ พบว่า สาหร่าย มีอัตราการเจริญที่ต่ำจากการปรับตัวกับอาหารที่มีปริมาณ Na_2SO_4 600 mg/L เมื่อเพาะเลี้ยงนานกว่า 6 วัน พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญเพิ่มปริมาณได้ โดยพบว่า มีอัตราการเจริญเท่ากับ 78.3 และ 90.0 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.12 และ 0.13 1/day ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 595, 885, 915 และ 1020 mg

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *C. turgidus* เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 600 mg/L

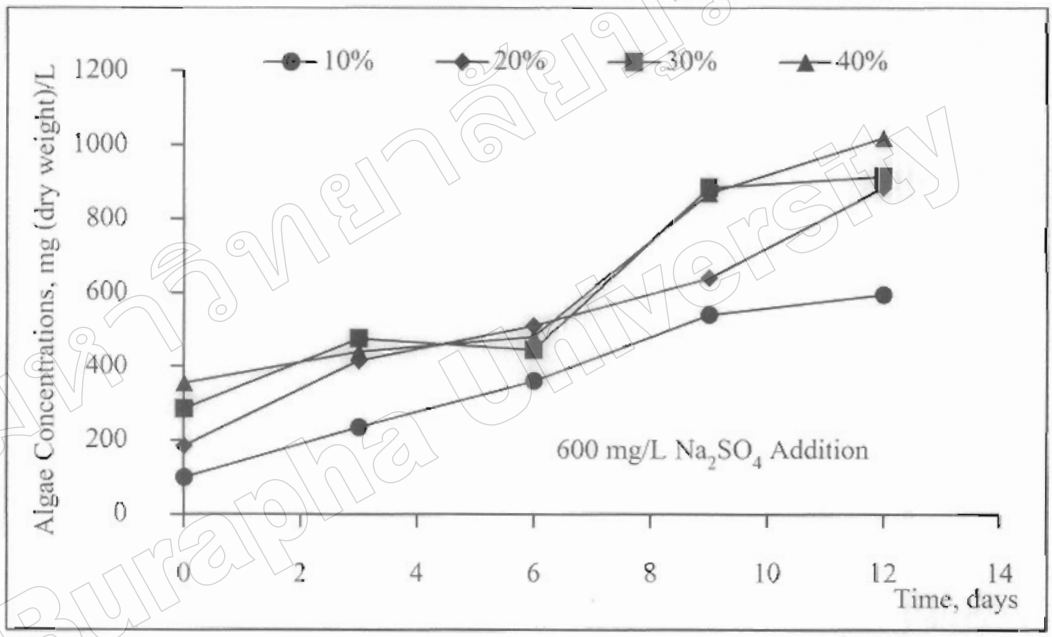


ภาพที่ 4-46 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

ภาพที่ 4-48 แสดงปริมาณสาหร่าย *C. turgidus* ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 800 mg/L ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 58.8 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.18 1/day ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 20% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่าง 0-9 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญของสาหร่าย เท่ากับ 61.8 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.16 1/day และช่วงที่สอง ระหว่าง 9-12 วัน สาหร่ายมีการเจริญลดลงด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ -65.0 mg (dry weight)/L-day สำหรับการทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 30% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

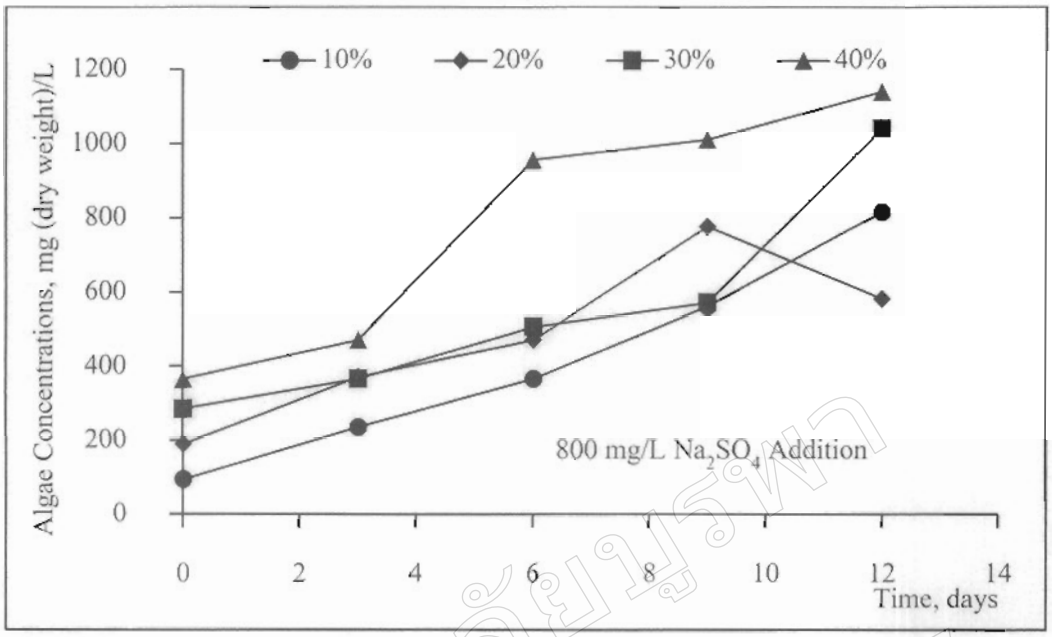
สองช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่าง 0-9 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญของสาหร่าย เท่ากับ 33.2 mg (dry weight)/L-day ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สาหร่าย ปรับตัว และช่วงที่สอง ระหว่าง 9-12 วัน สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 156.7 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.20 1/day สำหรับการทดลองที่ใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้น 40% (v/v) พบว่า การเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่าง 0-3 วัน สาหร่ายมีอัตราการเจริญของสาหร่าย เท่ากับ 35.0 mg (dry weight)/L-day และช่วงที่สอง ระหว่าง 3-12 วัน สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นด้วยอัตราการเจริญเท่ากับ 68.8 mg (dry weight)/L-day และมีอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย เท่ากับ 0.30 1/day



ภาพที่ 4-47 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 815, 580, 1040 และ 1140 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30, และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *C. turgidus* เข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 800 mg/L

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



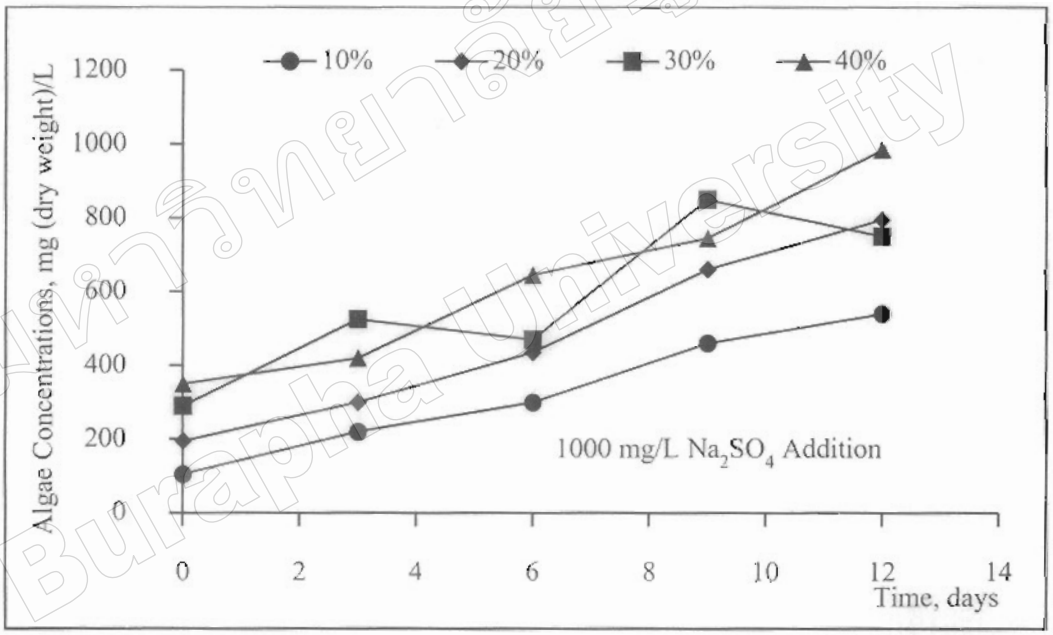
ภาพที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

ภาพที่ 4-49 แสดงปริมาณสาหร่าย *C. turgidus* ที่เจริญในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 1000 mg/L และใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) สาหร่ายมีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนานกว่า 12 วัน โดยเมื่อคำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายในช่วง 12 วัน พบว่า เท่ากับ 37.0, 52.0, 41.5 และ 53.2 mg (dry weight)/L-day ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.14, 0.12, 0.08 และ 0.09 1/day ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า สาหร่ายมีปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เท่ากับ 540, 795, 750 และ 985 mg (dry weight)/L เมื่อใช้สาหร่ายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40% (v/v) ตามลำดับ สรุปได้ว่า สาหร่าย *C. turgidus* เข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10% (v/v) มีการเจริญสูงสุดในอาหารที่มีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 เท่ากับ 1000 mg/L

สุดท้ายเมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญจำเพาะโดยรวมของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารนาน 12 วัน และมีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน จากภาพที่ 4-50 พบว่า เมื่อมีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้นเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 10% (v/v) เพราะสาหร่าย มีอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด เมื่อปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นเพิ่มสูงทำให้อัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่ายลดต่ำลง เพราะสาหร่ายที่ปริมาตรเริ่มต้น 10% (v/v) มี

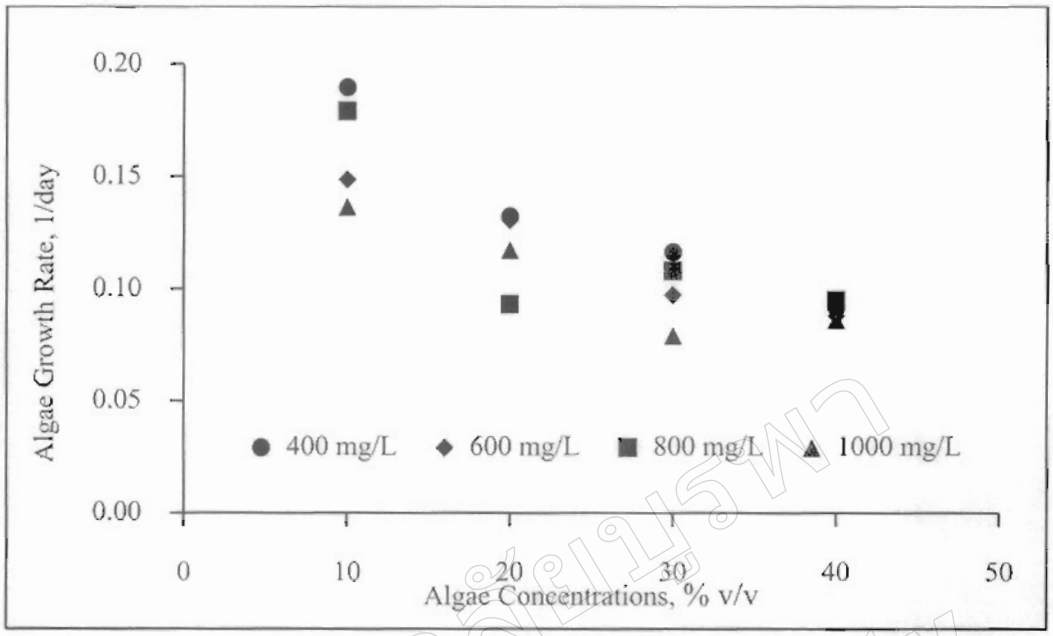
ปริมาณเซลล์สาหร่ายน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่มีปริมาตรเริ่มต้น 20%, 30% และ 40% (v/v) จึงทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับแสงสว่างได้ดีกว่าไม่เกิดการบังกันเอง (Baranti & Cualtieri, 2006) จึงทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงได้ดีขึ้น จึงมีอัตราการเจริญจำเพาะดีที่สุด

นอกจากนั้น พบว่า ความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญของสาหร่าย โดยทำให้สาหร่าย มีอัตราการเจริญจำเพาะลดลง เพราะความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ TDS เพิ่มขึ้นสูงตาม ซึ่ง (Evans & Prepas, 1996; Scannell & Duffy, 2007) พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เมื่อความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2,450 mg/l จะทำให้ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนลดลงและจะส่งผลให้อัตราการเจริญลดลง แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองปริมาณ TDS สูงสุดที่ 1,750



ภาพที่ 4-49 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

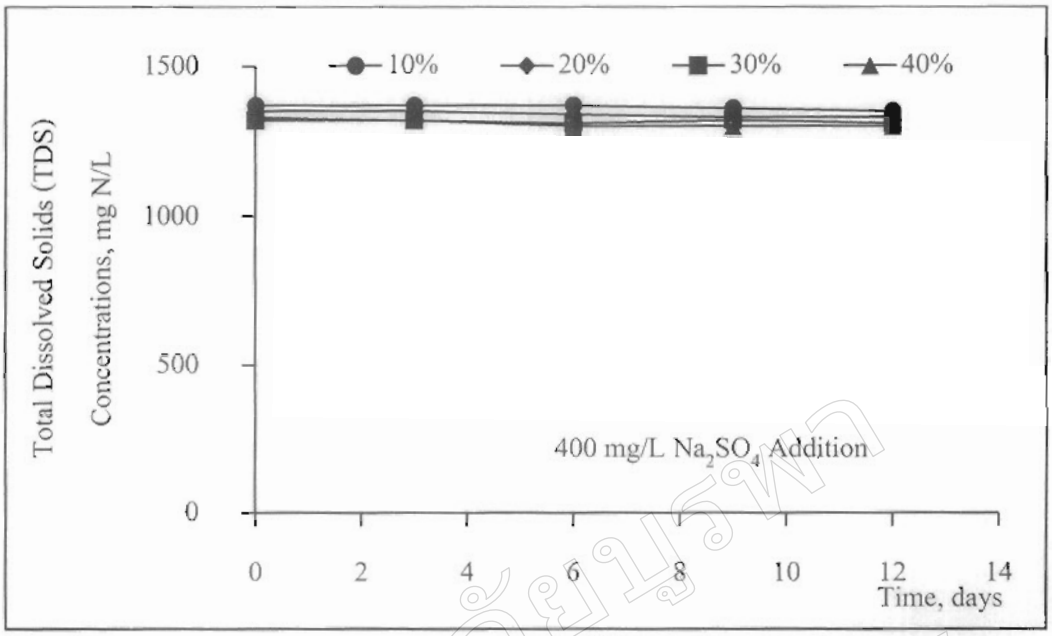
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



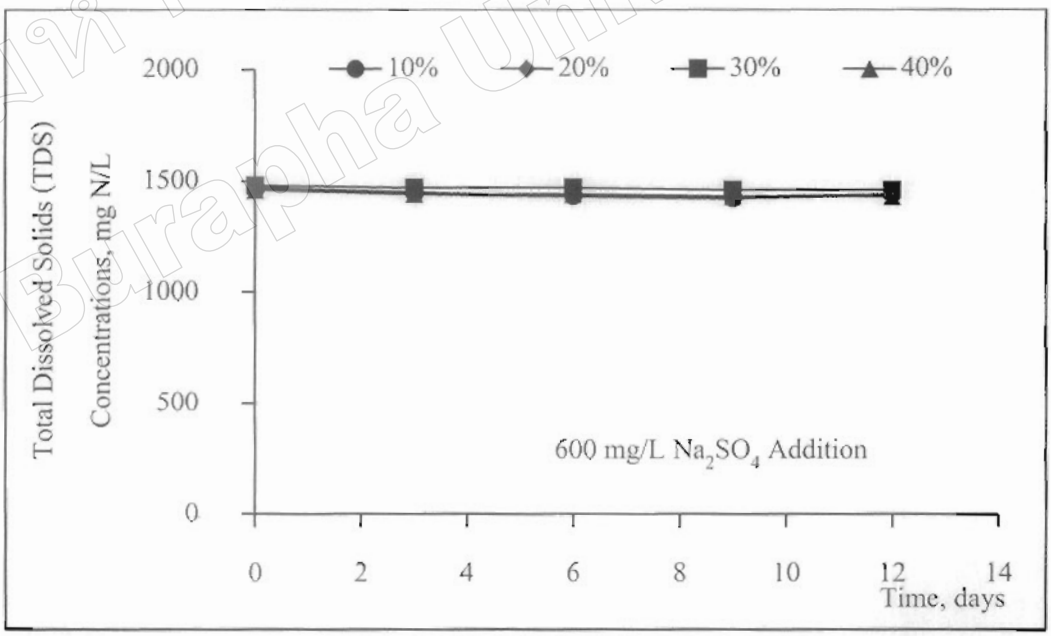
ภาพที่ 4-50 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย *C. turgidus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน

จากภาพที่ 4-51- ภาพที่ 4-54 พบว่า การเจริญของสาหร่าย *C. turgidus* ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น TDS ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 เข้มข้น 400, 600, 800 และ 1000 mg/L พบว่า สาหร่าย สามารถกำจัดได้เพียง 10-30 mg/L หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากสาหร่ายไม่สามารถกำจัด TDS ได้สรุปได้ว่าความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้นไม่มีผลกระทบต่อการกำจัด TDS ในอาหาร เมื่ออาหารมีความเข้มข้น TDS เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

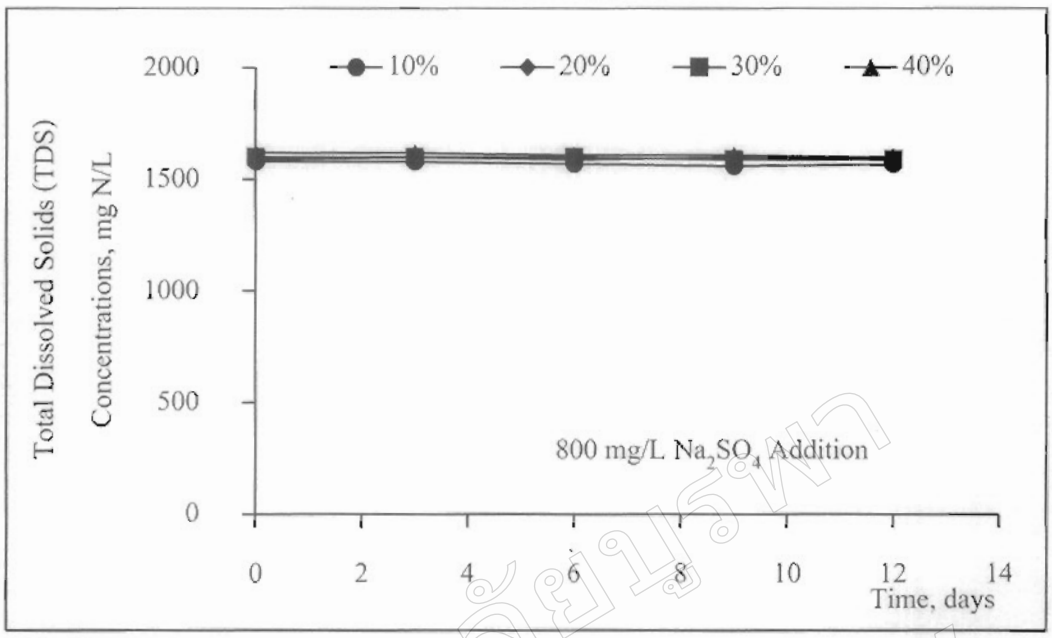


ภาพที่ 4-51 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

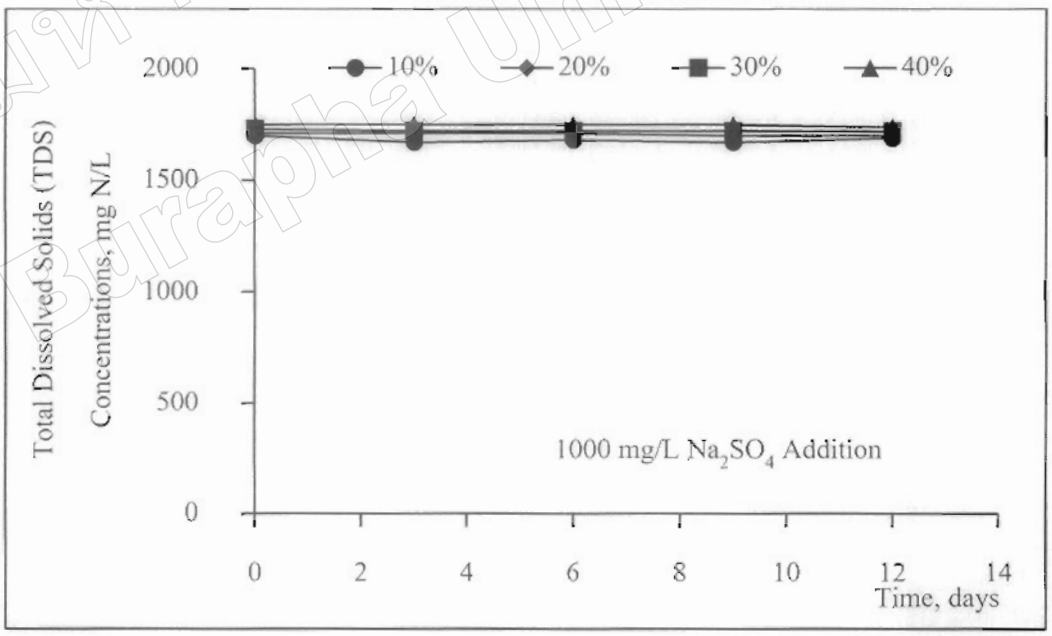


ภาพที่ 4-52 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-53 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 4-54 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. turgidus* ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

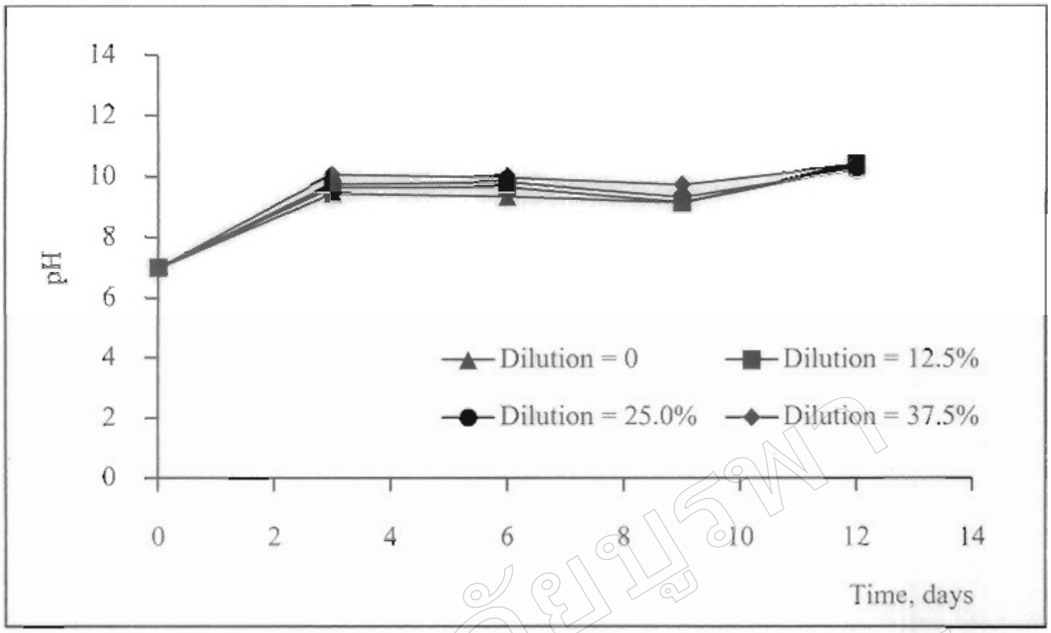
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลกระทบของ TDS ต่อการเจริญของสาหร่ายและการกำจัด TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

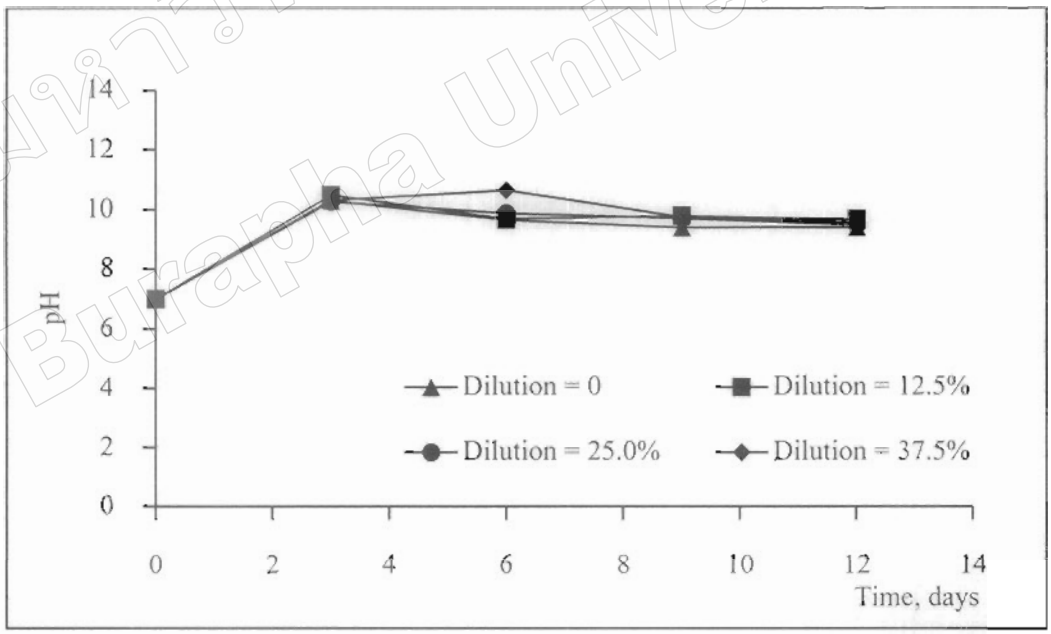
การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัด TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม การทดลองมีคัดเลือกสาหร่าย 2 ชนิด คือ สาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp. มาเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม เพราะความเข้มข้น TDS มีผลกระทบต่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ระดับหนึ่ง ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีแนวโน้มที่สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีความเข้มข้น TDS ที่สูงขึ้นได้ จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม โดยมีการเจือจางน้ำทิ้งอุตสาหกรรมให้มีความเข้มข้นของ TDS ที่แตกต่างกัน พบว่า pH สุดท้ายของน้ำทิ้งที่เพาะเลี้ยงด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp.เพิ่มขึ้นตามลำดับหลังเวลาผ่านไป 5 วัน และสุดท้ายน้ำทิ้งมี pH คงที่ประมาณ 9 แสดงดังภาพที่ 4-55 และ ภาพที่ 4-56 ผลการทดลอง สามารถระบุว่าไม่มีความแตกต่างสำหรับน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้น TDS เริ่มต้นแตกต่างกัน อธิบายได้ว่าเมื่อสาหร่ายสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญจำเป็นใช้ CO_2 เป็นแหล่งของคาร์บอนโดยแหล่งคาร์บอนของสาหร่ายทั้งสองชนิดคือ สารประกอบไบคาร์บอเนตที่อยู่ในน้ำทิ้ง เมื่อสาหร่ายใช้ CO_2 จากสารประกอบไบคาร์บอเนตเพื่อการสังเคราะห์แสงจึงทำให้สารประกอบไบคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็น CO_2 มากขึ้น ทำให้เกิดไฮดรอกไซด์มากขึ้น เป็นไปตามสมการที่ 4.1

หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้น TDS ต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้น TDS มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แสดงว่าความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังภาพที่ 4-57 และ ภาพที่ 4-58 โดยทุก ๆ อัตราการเจือจางของน้ำทิ้งมีการเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเดียวกัน อาจอธิบายได้ว่าน้ำทิ้งที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายมีการระเหยออกไปบางส่วน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีอุณหภูมิสูงถึง 29 °C ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของ TDS เพิ่มสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

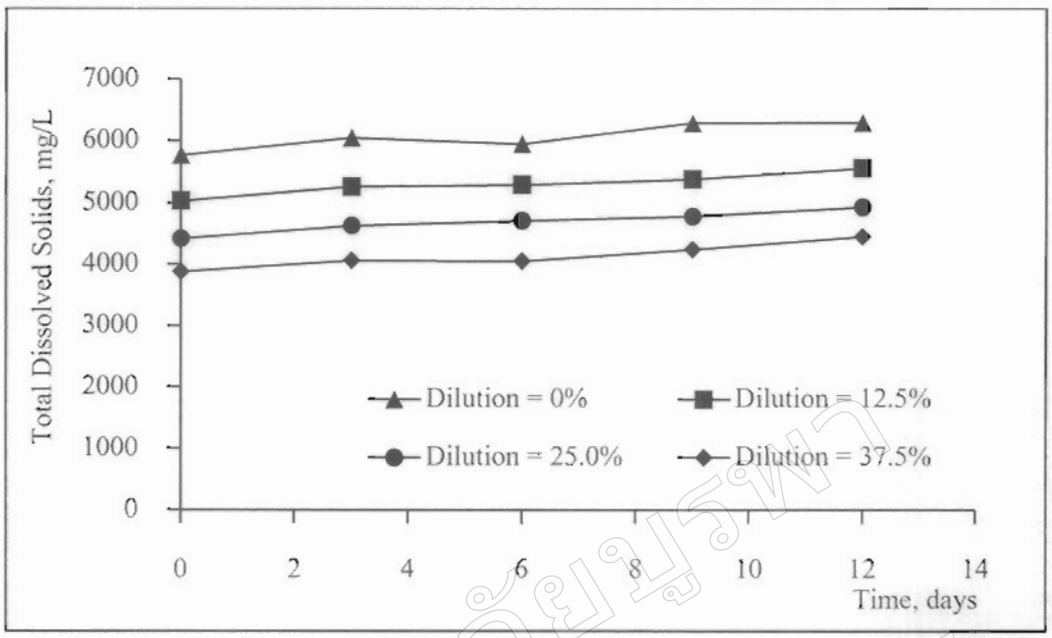


ภาพที่ 4-55 pH สุดท้ายของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp.



ภาพที่ 4-56 pH สุดท้ายของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

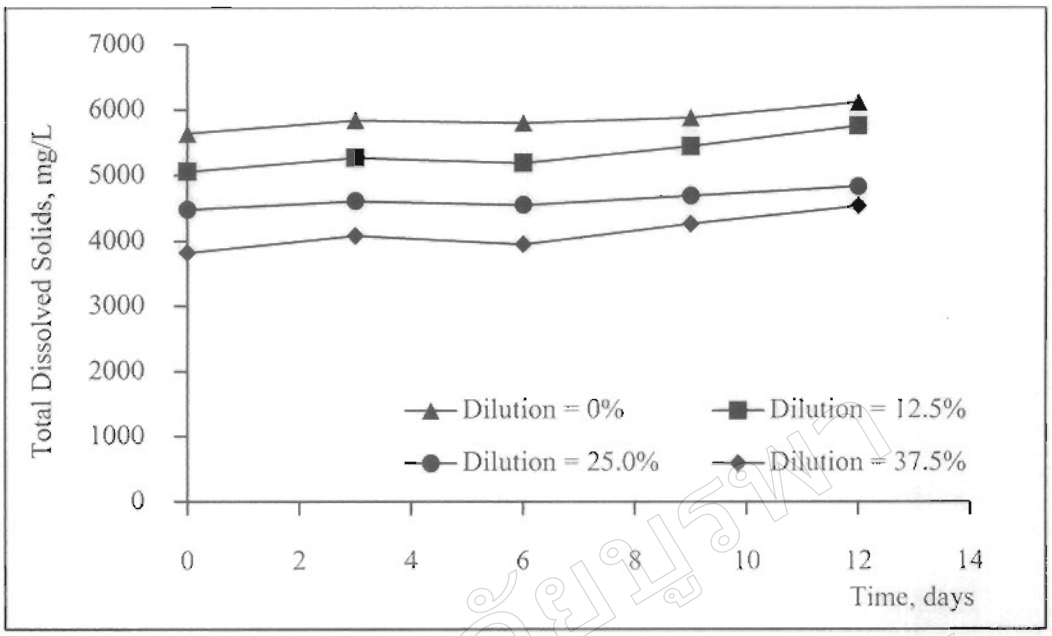
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-57 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp.

ภาพที่ 4-59 และ ภาพที่ 4-60 แสดงปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่เจริญในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้น TDS แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า สาหร่ายทั้งสองชนิดมีความสามารถในการเจริญในอัตราที่แตกต่างกัน โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่อัตราการเจือจางเท่ากับ 0 นั้น มีอัตราเจริญสูงสุดในช่วง 5 วันแรก หลังจากนั้นอัตราเจริญจึงลดต่ำลง และทำให้ปริมาณสาหร่ายลดลง แต่เมื่อเจือจางน้ำทิ้งด้วยน้ำปราศจากไอออนซึ่งทำให้ความเข้มข้น TDS ของน้ำทิ้งลดต่ำลง ผลปรากฏว่า อัตราการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. มีอัตราเจริญเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยอัตราเจริญเป็น 29.7, 35.0 และ 41.0 mg (dry weight)/L-day ที่อัตราการเจือจาง 12.5%, 25.0% และ 37.5% ตามลำดับ

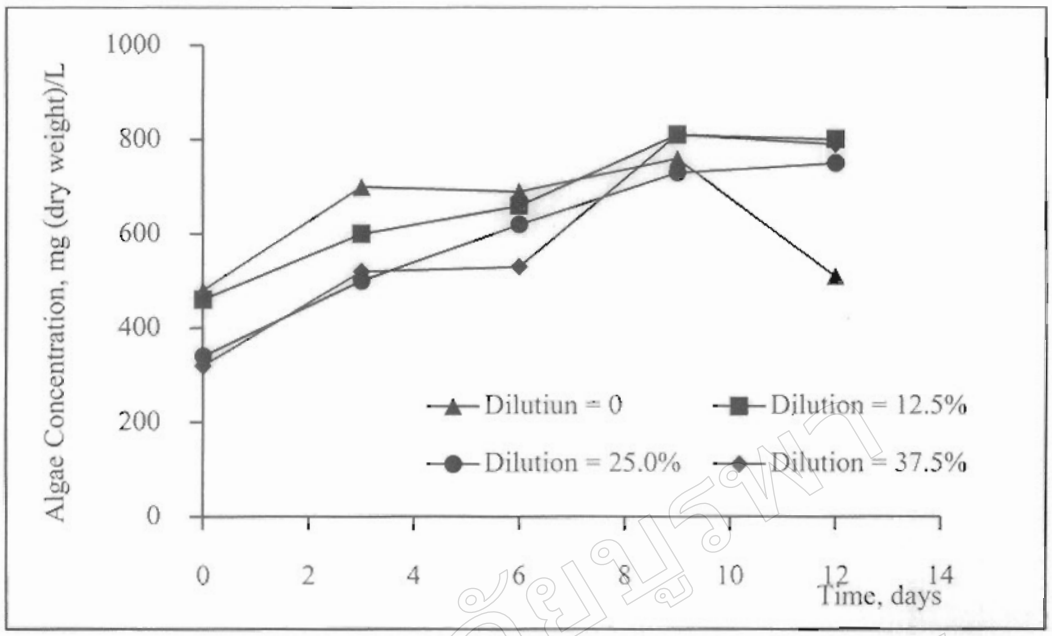
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



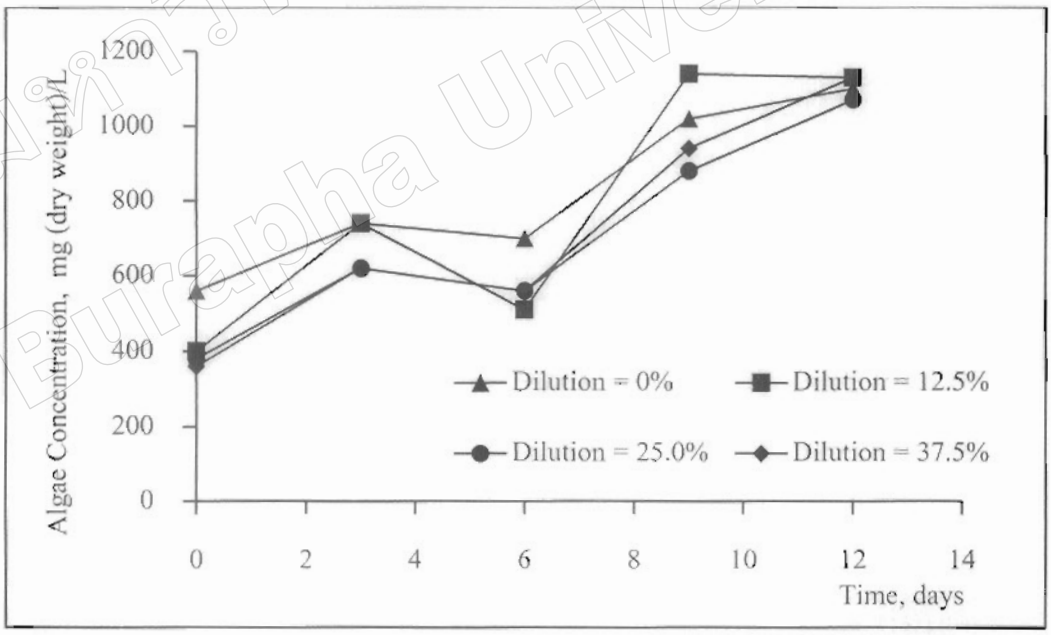
ภาพที่ 4-58 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

ผลการทดลองสรุปได้ว่า สาหร่ายมีการเจริญอย่างรวดเร็วและลดลงในน้ำทิ้งที่ไม่มีการเจือจางหลังจาก 5 วัน ทำให้สารประกอบไบคาร์บอเนตที่ต้องใช้ลดน้อยลง แต่เมื่อมีการเจือจางน้ำทิ้งทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายจากบรรยากาศได้มากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งละลายน้ำ ถ้าของแข็งละลายน้ำมีปริมาณมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะละลายน้อยลง (Enick & Klara, 1990) ดังนั้น การเจือจางของน้ำทิ้งลดปริมาณของของแข็งละลายน้ำทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม *Scenedesmus* sp. ให้ผลการทดลองคล้ายกัน แต่มีอัตราการเจริญที่สูงกว่าสาหร่าย *Chlorella* sp.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-59 ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Chlorella sp.* ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม



ภาพที่ 4-60 ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Scenedesmus* sp. ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University