บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบของสภาวะการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* ซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของไนเตรตและความเข้มแสง ต่อการดำเนินวงจรชีวิตของเซลล์จุลสาหร่าย การใช้สารอาหารและการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระแอสตาแซนทิน โดยการทำการทดลองและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายผลการทดลองนั้น การศึกษาผลกระทบจากความเข้มแสงทำได้โดย การเพิ่มความเข้มแสงในระหว่างที่เซลล์กำลังเจริญเติบโต ทั้งหมด 4 ระดับความเข้มแสง ในขณะที่ผลกระทบจากความเข้มข้นของไนเตรตหาได้จากการลดความเข้มข้นของไนเตรตลงสู่ 3 ระดับความเข้มข้นไนเตรตในระหว่างที่เซลล์อยู่ในระยะการเจริญเติบโตและเติมไนเตรตกลับเข้าไปสู้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สร้างขึ้นจากสมการพื้นฐานที่อธิบายการจลพลศาสตร์การเจริญเติบโตของเซลล์และสอบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของความเข้มแสง ผลการทดลองที่ได้พบว่า การใช้ความเข้มแสงที่ 175.2 μmol m^{-2} s^{-1} กระตุ้นให้เกิดเซลล์ที่มีการสะสมแอสตาแซนทินมากที่สุดและดังนั้นได้ปริมาณแอสตาแซนทินสูงที่สุด แต่เมื่อใช้ความเข้มแสงสูงกว่านี้จะไม่ทำให้ได้ปริมาณสารดังกล่าวสูงขึ้นแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ที่สะสมแอสตาแซนทินเร็วขึ้นก็ตาม การลดปริมาณไนเตรตในระหว่างการเติบโตของเซลล์ลงที่ 40 mg L^{-1} ทำให้เซลล์สะสมแอสตาแซนทินสูงที่สุดและเร็วที่สุด และเมื่อเติมไนเตรตกลับจะทำให้เซลล์ที่มีแอสตาแซนทินเกิดการแบ่งตัวกลายเป็นเซลล์เคลื่อนที่ที่มีสารดังกล่าวสะสมอยู่ ซึ่งเป็นชนิดของเซลล์ที่น่าจะให้ประสิทธิภาพในการสกัดสารแอสตาแซนทินดีเนื่องจากมีผนังเซลล์ที่บางกว่า สำหรับแบบจำลองที่ได้ประกอบไปด้วย 14 สมการเท่านั้น แต่สามารถอธิบายผลของความเข้มแสงต่อการดำเนินวงจรชีวิตของสาหร่าย การใช้สารอาหารไนเตรตและการสะสมสารแอสตาแซนทินได้ดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจำลองผลของความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเซลล์และการสะสมแอสตาแซนทิน ดังนั้น ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงมีส่วนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตสารแอสตาแซนทินจากการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย *H. pluvialis* ได้

คำสำคัญ: วงจรชีวิตของจุลสาหร่าย *H. pluvialis*; ผลกระทบของความเข้มแสง; ผลกระทบของไนเตรต; จลนพลศาสตร์; แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

The aim of this research project is to investigate effects of culturing conditions, including light intensity and nitrate concentration, on *Haematococcus pluvialis* life cycle progression, metablolism and astaxanthin accumulation through an integrated experimental and mathematical modelling approach. To evaluate the effects of light intensity and nitrate concentration, the concentrations of cells for each cell type (motile or X_1, non-motile vegetative or X_2, cyst or aplanospores or X_3), nutrients and astaxanthin were measured before and after the light intensity was shifted to 4 different levels (21.9, 87.6, 175.2, and 262.8 μmol m^{-2} s^{-1}), and before and after the nitrate concentration was reduced to 3 different levels (40, 80, and 120 mg L^{-1}) and re-added to its original value (750 mg L^{-1}). A mathematical model describing the light intensity effects was constructed based on what observed during the experiments using first-principles and cell growth kinetics. At the light intensity condition with shift to 175.2 μmol m^{-2} s^{-1}, the highest concentration of X_3 cells and the corresponding highest astaxanthin concentration were obtained. It was also found that shifts to higher light intensities could not always lead to higher astaxanthin concentrations as cell death would result. Reducing the nitrate concentration to 40 mg L^{-1} during the growth phase of the life cycle enabled cell transformation to X_3 cells. Similar results were obtained with the shift to 80 mg L^{-1} but the transformation back to X_1 cells still containing astaxanthin was only seen when re-added nitrate to the culture with reducing nitrate concentration to 40 mg L^{-1}. The mathematical model contains only 14 simple equations but it can capture well all the profiles of cell concentration in each cell type, nitrate and astaxanthin concentrations under shifts to 3 different levels of light intensity. It can therefore be further used for simulate effects of light intensity as well as suggest conditions where astaxanthin can be more produced. From the results obtained, this work can be the basis for finding strategies to increase astaxanthin extractability and yield from the culture of *H. pluvialis.*

Keywords: Life cycle of *Haematococcus pluvialis;* Light Intensity Effect, Nitrate Concentration Effect, Kinetics, Mathematical Modelling