

STUDY AND FABRICATION OF PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMENT DEVICE FOR MICROALGAE SOLUTION BASED ON TCS3200 COLOR SENSOR

Pham Van Thanh^{1*}, Nguyen Tien Dat¹, Luu Manh Quynh¹, Hoang Van Huy¹, Mai Thi Thanh^{1,2}

¹VNU - University of Science, ²Nguyen Du High School, Hanoi

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 06/01/2021	Because of many applications and priorities in industry, microalgae culture is growing in number and scale; therefore, a small, fast and low-cost device for measuring algal concentrations is required. In this study, a portable and low-cost absorption device of microalgae <i>Chaetoceros gracilis</i> was researched and fabricated based on the color sensor TCS3200; the optical source was a monochrome LED. The technology of fast patent based on 3D printing was applied in the design of the measuring chamber and the finishing of product. The system was evaluated and compared with the UV-viss spectrometer. The results showed that the absorption of the microalgae <i>Chaetoceros gracilis</i> solution linearly depended on its concentration in the range from 0 to 3.80 Megacell/mL. The experiment results showed that the red-LED with a wavelength of 660 nm was suitable to evaluate the concentration of microalgae <i>Chaetoceros gracilis</i> using the absorbance measurement method. The sensitivity of the fabricated device was estimated to be 0.130 (Megacell/ mL) ⁻¹ , and its limit of detection (LOD) was calculated to be 0.226 (Megacell/ ml) with good linearity ($R^2 = 0.9985$). The total cost of the complete device is about 50\$. This fabricated absorption device is compact, low cost, and displays results quickly. Hence, this device is potential to apply in the concentration measurement microalgae in actual and then develop into an online and real-time measurement system in the future.
Revised: 03/02/2021	
Published: 04/02/2021	
KEYWORDS	
Microalgae	
Absorbance	
3D printing	
Light emitting diode	
Color sensor TCS3200	

NGHIÊN CỨU VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO HỆ SỐ HẤP THỤ CỦA DUNG DỊCH VI TẢO SỬ DỤNG CẢM BIẾN MÀU TCS3200

Phạm Văn Thành^{1*}, Nguyễn Tiến Đạt¹, Lưu Mạnh Quỳnh¹, Hoàng Văn Huy¹, Mai Thị Thành^{1,2}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG Hà Nội, ²Trường THPT Nguyễn Du - Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 06/01/2021	Với nhiều ứng dụng và ưu điểm trong công nghiệp, nuôi trồng vi tảo đang ngày càng phát triển về số lượng và quy mô, đặt ra yêu cầu về các thiết bị đo nồng độ vi tảo nhỏ gọn, nhanh chóng và chi phí thấp. Trong nghiên cứu này, một thiết bị di động đo hệ số hấp thụ của dung dịch vi tảo <i>Chaetoceros gracilis</i> cầm tay được nghiên cứu và chế tạo dựa trên cảm biến màu TCS3200, nguồn phát là diode LED đơn sắc. Công nghệ tạo mẫu nhanh in 3D được ứng dụng trong thiết kế buồng đo mẫu và hoàn thiện sản phẩm. Hệ đo được đánh giá và so sánh với phổ hấp thụ đo từ máy UV-viss. Kết quả cho thấy, hệ số hấp thụ của dung dịch vi tảo <i>Chaetoceros gracilis</i> phụ thuộc tuyến tính vào nồng độ vi tảo trong khoảng từ 0 đến 3,80 Megacell/mL. Khảo sát cho thấy LED đỏ có bước sóng 660 nm là phù hợp để đánh giá nồng độ vi tảo <i>Chaetoceros gracilis</i> sử dụng phương pháp đo hấp thụ. Độ nhạy của hệ đo đạt được là 0,130 (Megacell/mL) ⁻¹ , giới hạn phát hiện 0,226 (Megacell/ml) với độ tuyến tính đạt được cao ($R^2 = 0,9985$). Giá thành hoàn thiện của hệ đo xấp xỉ 50 \$. Hệ đo được chế tạo nhỏ gọn, giá thành thấp, kết quả hiển thị nhanh chóng; do đó, hệ đo có tiềm năng rất lớn để ứng dụng trong đo nồng độ tảo tại hiện trường và phát triển thành hệ đo liên tục thời gian thực trong tương lai.
Ngày hoàn thiện: 03/02/2021	
Ngày đăng: 04/02/2021	
TỪ KHÓA	
Vi tảo	
Độ hấp thụ	
In 3D	
Diode phát quang	
Cảm biến màu TCS3200	

* Corresponding author. Email: phamvanthanh@hus.edu.vn

1. Giới thiệu

Vi tảo là sinh vật quang hợp đơn bào, kích thước từ vài µm đến vài trăm µm sống trong môi trường nước mặn và nước ngọt. Ngày nay, vi tảo có nhiều ứng dụng quan trọng trong các ngành công nghiệp. Tương tự vai trò của thực vật với động vật trên cạn, vi tảo đại diện cho cơ sở dinh dưỡng tự nhiên và là nguồn cung cấp chất dinh dưỡng chính của sinh vật dưới nước. Do đó, vi tảo đóng vai trò quan trọng trong nuôi trồng thủy sản [1]. Tùy thuộc vào loại vi tảo, có thể chiết xuất các hợp chất có giá trị cao trong công nghiệp mỹ phẩm, dược phẩm, dinh dưỡng và phụ gia thực phẩm [2], [3]. Vi tảo có nhiều ưu điểm như khả năng thích nghi cao trong nhiều điều kiện môi trường, đặc biệt trên cả các vùng đất không thể canh tác nông nghiệp, không yêu cầu nước ngọt với vi tảo biển. Tốc độ phát triển của vi tảo nhanh hơn 5 - 10 lần cây lương thực, năng suất lipid gấp 15 - 300 lần cây lấy dầu thông thường. Việc nghiên cứu nuôi trồng vi tảo đang ngày càng được quan tâm nhằm giải quyết các thách thức lớn như ô nhiễm môi trường, năng lượng tái tạo, biến đổi khí hậu,... Quá trình nuôi trồng vi tảo có thể sử dụng CO₂ từ khí thải công nghiệp, nitrogen và phosphorus từ nước thải chứa NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄⁻. Vi tảo có thể cung cấp nguyên liệu cho một số loại nhiên liệu diesel sinh học, methane, hydrogen, ethanol,... [2]–[5].

Với sự phát triển về số lượng và quy mô, các hệ thống nuôi trồng vi tảo cần thiết phải có các thiết bị đo nồng độ vi tảo nhằm kiểm soát, cải tiến quy trình nuôi, xác định thời điểm thu hoạch [6]. Hiện nay, một số phương pháp đang được sử dụng để xác định nồng độ vi tảo như cân khối lượng khô, đếm trên kính hiển vi [7], đo quang phổ [8], đo lượng protein [9], đo huỳnh quang [10], [11]. Tuy nhiên, các phương pháp này đều yêu cầu phải chuẩn bị mẫu, tốn thời gian và công sức, phù hợp trong phòng thí nghiệm [12]. Các phép đo hiện trường như đo lưu huỳnh, các phép đo quang, phổ hồng ngoại gần, đo hấp thụ có ưu điểm nhanh chóng, đơn giản nhưng vẫn cần thiết bị phức tạp. Để khắc phục những vấn đề này, đã và đang có nhiều nhóm nghiên cứu triển khai xây dựng hệ đo sử dụng LED phát quang và cảm biến ánh sáng để đo nồng độ tảo nhanh. Nhóm nghiên cứu Micaela Benavides đã sử dụng LED RGB làm nguồn phát và cảm biến quang TAOS TSL13T làm nguồn thu để đo nồng độ tảo với giá thành thấp [13]. Nhóm nghiên cứu Binh T. Nguyen sử dụng cảm biến đo độ đục để đo nồng độ tảo [14]. Nhóm nghiên cứu Rúben Christian Barbosa sử dụng LED với các bước sóng 400 nm, 850 nm và 940 nm kết hợp với cảm biến quang làm hệ đo nồng độ tảo [15]. Do đó, việc phát triển một thiết bị có khả năng đo nhanh và nhỏ gọn nồng độ vi tảo là cần thiết và khả thi.

Trong nghiên cứu này, một hệ đo hệ số hấp thụ giá thành thấp được nghiên cứu chế tạo. Hệ đo sử dụng diode phát quang (LED) làm nguồn phát với 3 màu cơ bản gồm màu đỏ (RED- $\lambda_{\text{peak}} = 660 \pm 20$ nm), màu xanh lá cây (Green - $\lambda_{\text{peak}} = 515 \pm 30$ nm) và màu xanh lục (Blue - $\lambda_{\text{peak}} = 470 \pm 25$ nm). Cảm biến quang học sử dụng là cảm biến màu TCS3200 có ưu điểm là độ nhạy cao, có khả năng chọn lọc tương ứng với nguồn phát và chuyển đổi trực tiếp từ cường độ ánh sáng thu được sang tần số của tín hiệu xung vuông giúp giảm nhiễu tốt và dễ dàng đọc được bằng các bộ vi điều khiển thông dụng. Bộ mạch Arduino UNO R3 được sử dụng làm bộ thu thập và xử lý dữ liệu thu được. Kết quả sau xử lý được hiển thị trên màn hiển thị OLED và gửi lên máy tính thông qua giao tiếp USB. Kết quả thu được cho thấy hệ thống đã đo được hệ số hấp thụ của dung dịch chứa các nồng độ vi tảo khác nhau với độ tuyến tính lớn, tính ổn định cao. Ưu điểm của hệ thống được chế tạo là nhỏ gọn, có giá thành thấp và dễ dàng giao tiếp được với máy tính thông qua giao tiếp USB, do đó có khả năng ứng dụng cao để đo trên hiện trường.

2. Lý thuyết và phương pháp thực nghiệm

2.1. Phương pháp đo hấp thụ khảo sát nồng độ tảo trong dung dịch

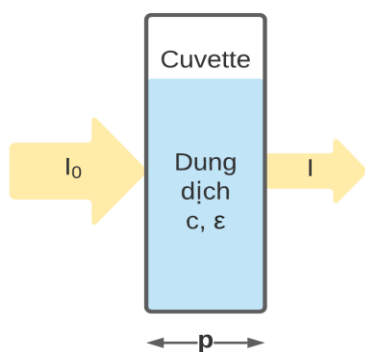
Theo định luật Beer-Lambert, nồng độ một chất trong dung dịch liên hệ với độ hấp thụ theo công thức [12], [13], [16], [17]: $A = \varepsilon \times c \times p$ (1)

Trong đó, A là cường độ hấp thụ, ε là hệ số hấp thụ (l·mol⁻¹·cm⁻¹), c là nồng độ chất trong dung dịch (mol/l), p là độ dài quãng đường ánh sáng đi qua mẫu (cm). Trường hợp dung dịch chứa tảo, c là nồng

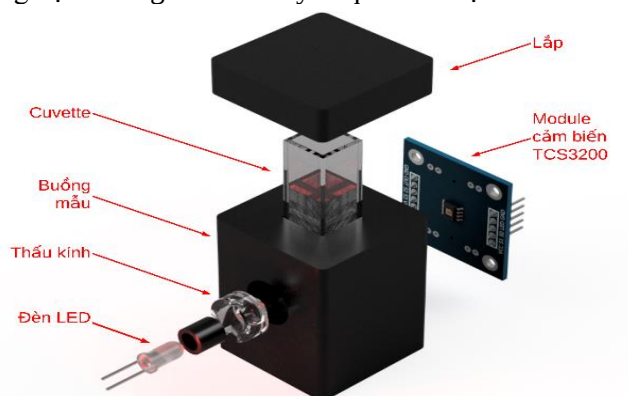
độ tảo trong 1 ml dung dịch đơn vị là Megacell/ml. Trong nghiên cứu này, dung dịch tảo *Chaeto Gracilis* với nồng độ cơ bản là 3,8 Megacell/ml được sử dụng để khảo sát độ hấp thụ. Mặt khác, độ hấp thụ A của ánh sáng truyền qua một mẫu vật được tính theo công thức:

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

Với I_0 là cường độ ánh sáng tới, I là cường độ ánh sáng sau khi truyền qua mẫu vật Hình 1.



Hình 1. Mô hình đo độ hấp thụ



Hình 2. Mô hình 3D thiết kế buồng đo mẫu sử dụng phần mềm Autodesk Fusion 360

Để đo cường độ sáng, cảm biến màu TCS3200 được sử dụng để biến đổi cường độ sáng thành tần số đầu ra của xung vuông. TCS3200 có ưu điểm như giá thành thấp, ổn định với nhiệt độ, độ tuyến tính và độ phân giải cao [18]. Tần số đầu ra f của cảm biến TCS3200 sẽ tỉ lệ thuận với cường độ ánh sáng tới cảm biến. Như vậy, công thức (2) tính hệ số hấp thụ A của ánh sáng truyền qua mẫu vật được tính theo công thức:

$$A = \log_{10} \frac{f_0}{f} \quad (3)$$

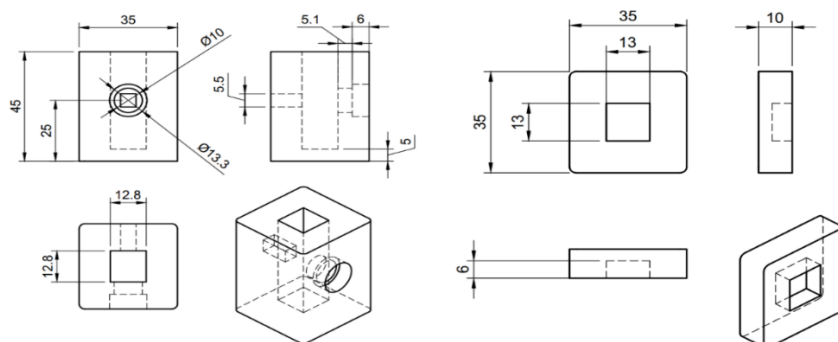
Với f_0 là tần số đầu ra cảm biến tương ứng với cường độ sáng I_0 của ánh sáng tới, f là tần số đầu ra của cảm biến tương ứng với cường độ sáng I sau khi truyền qua mẫu vật. Từ công thức (1) và (3) cho thấy, nồng độ tảo c trong dung dịch sẽ tỉ lệ tuyến tính với hệ số hấp thụ đo bằng cảm biến màu TCS3200. Trong nghiên cứu này, nguồn phát được sử dụng là diode LED ánh sáng đơn sắc. Nguồn LED có đặc điểm là tiết kiệm năng lượng và nhỏ gọn, thích hợp cho các thiết bị phân tích thu nhỏ [19]. Độ hấp thụ của dung dịch tảo cũng được khảo sát bởi hệ đo phổ UV-VIS (JASCO 2450).

2.2. Thiết kế và chế tạo buồng đo mẫu sử dụng phương pháp in 3D

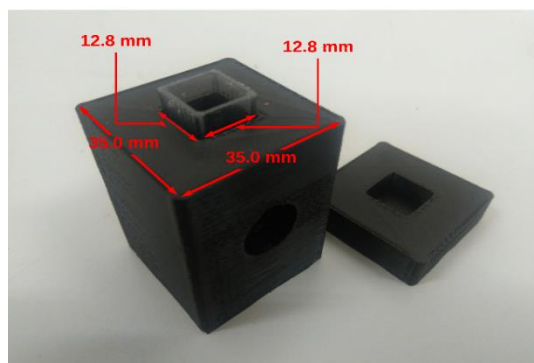
Mẫu đo là các dung dịch vi tảo *Chaetoceros gracilis* có thể tích 3ml được chứa trong cuvette. Nồng độ khác nhau thu được bằng cách pha dung dịch tảo gốc với nước cất theo tỷ lệ. Buồng đo mẫu được thiết kế sử dụng phần mềm Autodesk Fusion 360. Nguồn phát sử dụng diode phát quang LED được gắn vào buồng đo tại mặt trước và module cảm biến TCS3200 được gắn vào mặt sau để đo cường độ ánh sáng truyền qua. Nhằm tạo ra ánh sáng có góc mở hẹp, thấu kính hội tụ có góc mở 15° được gắn trước đèn led. Buồng mẫu có nắp nhằm giảm ảnh hưởng của ánh sáng môi trường tới mẫu đo. Mô hình 3D của buồng đo được thể hiện như Hình 2. Kích thước chi tiết buồng mẫu và nắp được thể hiện trên Hình 3 với đơn vị là mm. Kích thước thiết kế đã tính đến sai số trong quá trình chế tạo.

Ứng dụng công nghệ tạo mẫu nhanh, buồng mẫu được chế tạo bằng phương pháp in 3D, sử dụng máy in Anycubic Mega-S dựa trên công nghệ in FDM. Nhựa PLA màu đen được sử dụng với mục đích giảm nhiễu từ ánh sáng môi trường ngoài. Đặc biệt, buồng mẫu được thiết kế để

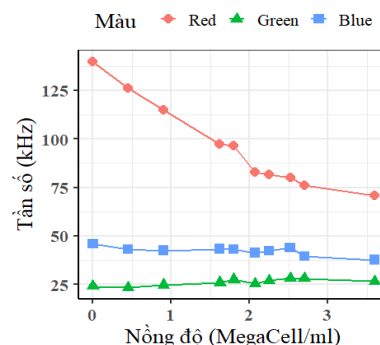
phù hợp với cuvette nhựa vuông nhằm giảm giá thành. Do sử dụng phương pháp in 3D, cuvette được đặt hoàn toàn vừa khít với buồng đo giúp giảm nhiễu trong quá trình đo thể hiện như Hình 4; kích thước chế tạo hốc chứa cuvette là 12,8 mm, sai khác 0,2 mm so với thiết kế độ phân giải của máy in. Buồng mẫu đã được chế tạo có độ chính xác cao phù hợp với thiết kế ban đầu sử dụng phần mềm Autodesk Fusion 360.



Hình 3. Kích thước chi tiết buồng mẫu và nắp



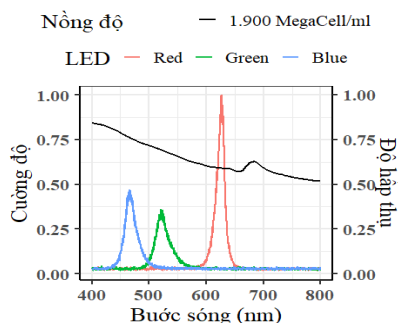
Hình 4. Buồng đo mẫu được chế tạo sử dụng công nghệ in 3D



Hình 5. Sự phụ thuộc đầu ra vào nồng độ vi tảo với các màu nguồn LED khác nhau

2.3. Khảo sát độ nhạy màu của dung dịch tảo

Ba màu LED được lựa chọn khảo sát là đỏ - red, xanh lục - green, xanh dương - blue tương ứng với các bộ lọc của cảm biến TCS3200. Hình 5 thể hiện tần số đầu ra cảm biến màu TCS3200 đo bằng Kethley 2000 tương ứng với các nồng độ vi tảo. Kết quả cho thấy, ánh đỏ tương ứng với bộ lọc màu đỏ trên cảm biến TCS3200 cho kết quả tốt nhất, tần số đầu ra biến đổi mạnh với nồng độ vi tảo. Trong khi đó, các màu xanh lục và xanh dương có ít sự thay đổi khi nồng độ tảo thay đổi. Nguyên nhân do LED đỏ có đỉnh bước sóng gần với đỉnh hấp thụ của vi tảo *Chaetoceros gracilis* 680 nm, thể hiện như trên Hình 6.

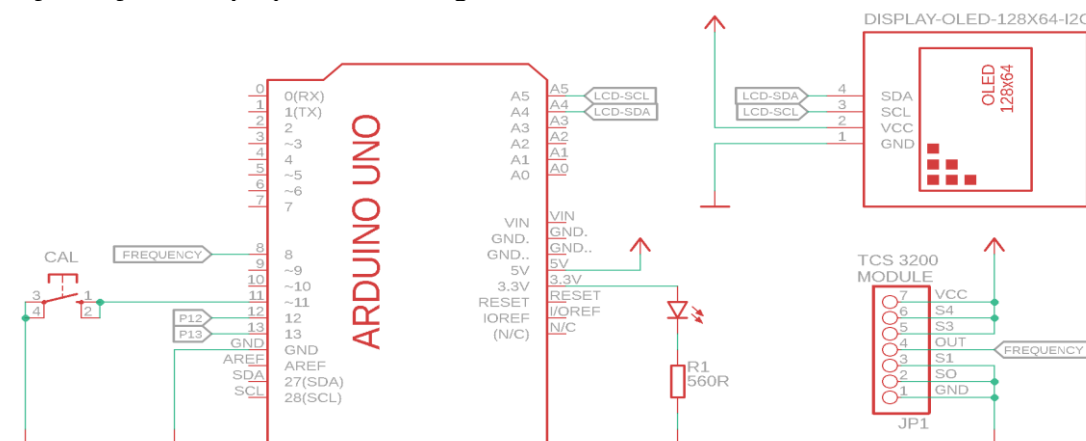


Hình 6. Phổ phát xạ của nguồn LED và phổ hấp thụ của vi tảo ở nồng độ 1.900 MegaCell/ml

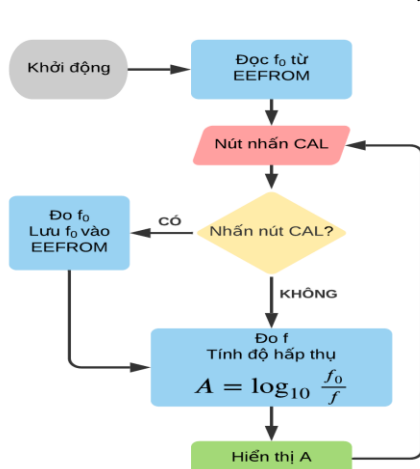
2.4. Thiết kế và xây dựng hệ đo độ hấp thụ

Dựa trên kết quả khảo sát nhạy màu của dung dịch tảo thể hiện ở phần 2.3, hệ đo được xây dựng sử dụng nguồn phát LED Lumex SSL-LX5093XRC/4 có bước sóng trung tâm tại 660 nm làm nguồn phát ánh sáng, sơ đồ thiết kế hệ đo trên Hình 7. Trong sơ đồ thiết kế này, cảm biến TCS3200 được cài đặt bộ lọc màu đỏ, 100% dải tần số đầu ra. Bộ mạch Arduino Uno được sử dụng làm bộ xử lý trung tâm thu thập và xử lý dữ liệu thu được của cảm biến màu TCS3200 thông qua chân số 8 (Frequency). Nút nhấn CAL sử dụng để ghi giá trị cường độ sáng f_0 của dung dịch chuẩn ban đầu. Màn hình OLED 128×64 được sử dụng để hiển thị giá trị đo và giao tiếp với bộ mạch Arduino thông qua giao tiếp I2C (chân A4 và A5). Nguồn nuôi của cả hệ là nguồn 5 V/500 mA. Hệ đo được xây dựng với giá thành thấp cỡ khoảng 50 USD bao gồm bộ mạch Arduino Uno (30\$), cảm biến ánh sáng TCS3200 (5\$), nguồn phát LED (0.1\$), buồng cảm biến và hộp (5\$), nguồn nuôi 5V (2\$) và một số phụ kiện khác như cuvet nhựa, dây điện, mạch in. Giá thành này so sánh được với hệ đo được xây dựng bởi nhóm tác giả Micaela Benavides [13].

Thuật toán của hệ đo được thể hiện trên Hình 8. Hệ ban đầu khởi động sẽ đọc giá trị tần số chuẩn f_0 của dung dịch chuẩn từ EEPROM. Tiếp theo hệ thống kiểm tra xem nút CAL có bị nhấn hay không, nếu có thì đọc lại giá trị f_0 và lưu vào EEPROM, nếu không thì đo tần số f của đầu ra module TCS3200 và tính giá trị độ hấp thụ sử dụng công thức (3). Hệ đo được lắp ráp hoàn chỉnh, thể hiện như Hình 9. Kích thước sau lắp ráp của hệ là $67,5 \times 119,0 \times 57,0$ mm. Hệ đo nhỏ gọn, phù hợp với các phép đo hiện trường.



Hình 7. Mạch nguyên lý hệ đo độ hấp thụ



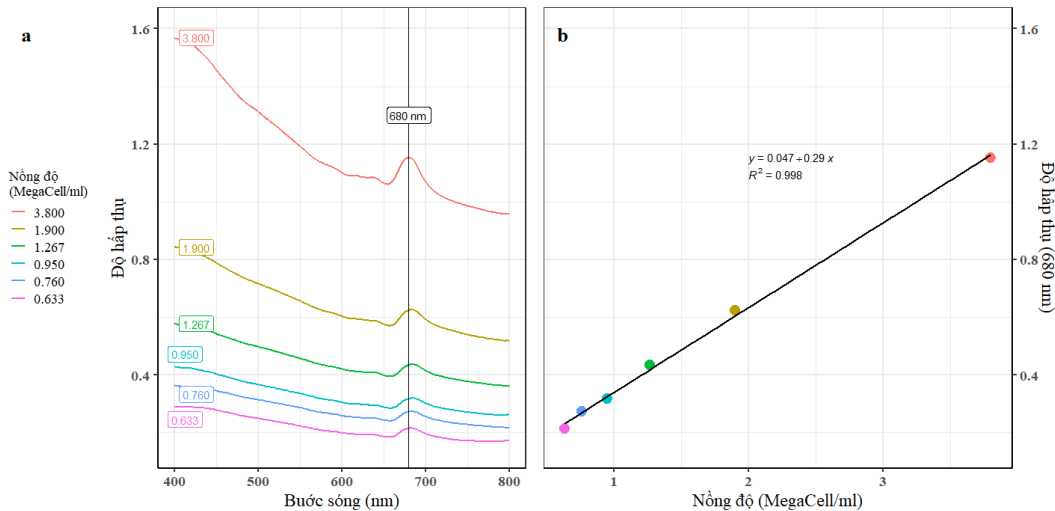
Hình 8. Lưu đồ thuật toán hệ đo độ hấp thụ



Hình 9. Thiết bị đo hấp thụ được chế tạo

3. Kết quả và thảo luận

Hình 10 thể hiện phổ hấp thụ của dung dịch vi tảo *Chaetoceros gracilis* ở các nồng độ khác nhau, được đo bằng hệ đo UV-VIS. Kết quả cho thấy, đỉnh hấp thụ của vi tảo *Chaetoceros gracilis* là vùng màu đỏ với đỉnh tại bước sóng 680 nm thể hiện như Hình 10 (a). Hình 10 (b) thể hiện mối liên hệ tuyến tính cao giữa nồng độ và giá trị đỉnh hấp thụ của vi tảo *Chaetoceros gracilis* tại bước sóng 680 nm ($R^2 = 0,9980$), độ nhạy của phương pháp đo UV-VIS đạt được là $0,29 \text{ (Megacell/ml)}^{-1}$. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của nhóm tác giả Fares A. Almomani [12] khi sử dụng hệ số hấp thụ tại bước sóng 695 nm để đo nồng độ vi tảo *Chlorella vulgaris* với $R^2 = 0,9960$. Như vậy, việc sử dụng phương pháp đo phổ hấp thụ để tính nồng độ vi tảo *Chaetoceros gracilis* là phù hợp.



Hình 10. (a) Độ hấp thụ của dung dịch tảo với các nồng độ khác nhau, (b) sự phụ thuộc của độ hấp thụ tại bước sóng 680 nm và nồng độ tảo

Với thiết kế hệ đo trên Hình 7 sử dụng đèn LED làm bộ phát và module cảm biến màu TCS3200 làm bộ thu, độ hấp thụ của từng nồng độ dung dịch được tính toán. Gọi i_λ là cường độ phát xạ của đèn LED tại bước sóng λ (nm), r_λ đáp ứng của cảm biến TCS3200 với bộ lọc màu đỏ, a_λ là độ hấp thụ của dung dịch vi tảo với nồng độ xác định. Tổng cường độ sáng của nguồn phát cảm biến thu I_{tcs_0} được tính như sau:

$$I_{tcs_0} = \sum_{\lambda=550}^{750} i_\lambda r_\lambda \Delta\lambda \quad (4)$$

Từ công thức (2), cường độ sáng sau khi đi qua mẫu tại bước sóng λ là:

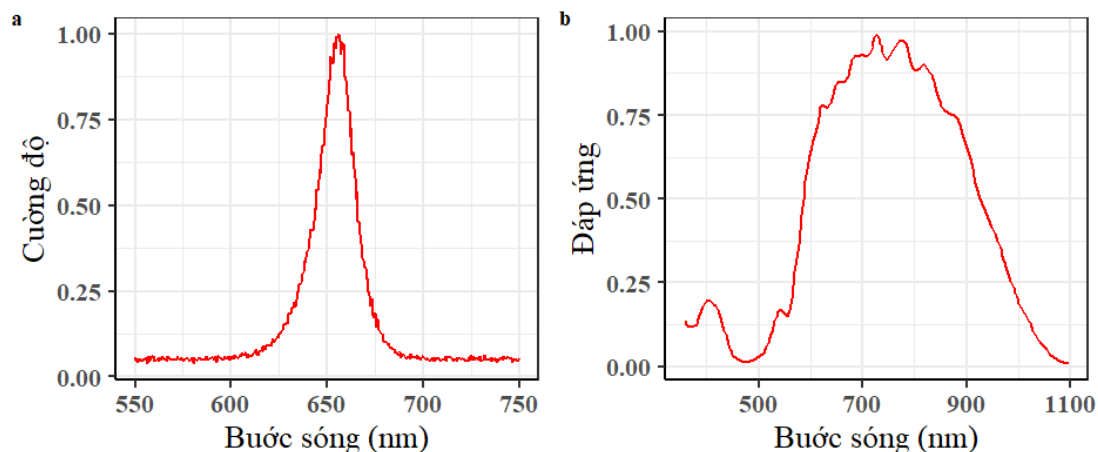
$$i_{\lambda_t} = \frac{i_\lambda}{10^{a_\lambda}} \quad (5)$$

Tổng cường độ sáng sau khi đi qua dung dịch vi tảo cảm biến thu được I_{tcs} :

$$I_{tcs} = \sum_{\lambda=550}^{750} i_{\lambda_t} r_\lambda \Delta\lambda \quad (6)$$

Từ công thức (2), (4), (6), độ hấp thụ của dung dịch vi tảo ở nồng độ xác định được tính theo công thức:

$$A_c = \log_{10} \frac{I_{tcs_0}}{I_{tcs}} \quad (7)$$

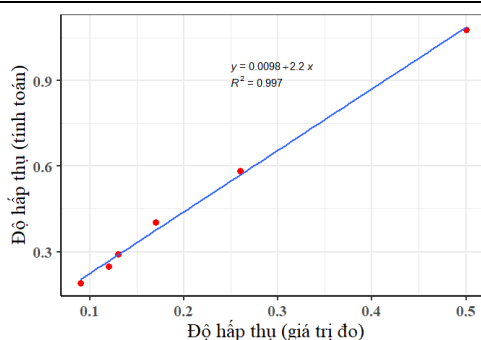


Hình 11. (a) Phổ phát xạ của đèn LED Lumex SSL-LX5093XRC/4, (b) phổ đáp ứng của cảm biến TCS3200 với bộ lọc đỏ

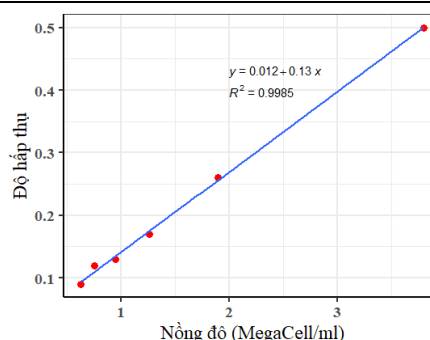
Từ dữ liệu phổ của nguồn phát, phổ đáp ứng của cảm biến TCS3200 trên Hình 11 [18], [20]; phổ hấp thụ của vi tảo trên Hình 10, kết quả tính độ hấp thụ áp dụng công thức (7) cùng với giá trị hấp thụ thu được từ thiết bị đo thể hiện như Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả đo độ hấp thụ với các nồng độ vi tảo khác nhau

Mẫu đo (3 ml)		Nồng độ (MegaCell/ml)	Độ hấp thụ	
Dung dịch tảo (ml)	Nước (ml)		Thiết bị đo	Tính toán
3	0	3,800	0,50	1,077
1,5	1,5	1,900	0,26	0,583
1	2	1,267	0,17	0,404
0,75	2,25	0,950	0,13	0,292
0,6	2,4	0,760	0,12	0,248
0,5	2,5	0,633	0,09	0,190



Hình 12. So sánh độ hấp thụ tính toán và đo từ thiết bị



Hình 13. Đồ thị sự phụ thuộc của độ hấp thụ từ thiết bị cảm tay vào nồng độ vi tảo

Đồ thị Hình 12 thể hiện tương quan giữa số liệu hấp thụ đo của thiết bị thể hiện trên trục x và số liệu tính toán trên trục y. Kết quả cho thấy, độ hấp thụ tính toán gấp 2,2 lần giá trị đo từ thiết bị, sự khác biệt này là khó tránh khỏi đối với các hệ cảm tay và hệ số nhân phụ thuộc vào cấu tạo hệ đo [21]. Hai giá trị có độ tuyến tính cao với $R^2 = 0,997$ cho thấy, hoàn toàn có thể dùng kết quả từ thiết bị cảm tay trong xác định nồng độ vi tảo.

Hình 13 thể hiện sự phụ thuộc của độ hấp thụ vào nồng độ vi tảo. Kết quả cho thấy sự phụ thuộc này là tuyến tính. Độ nhạy của cảm biến đạt được là $0,130 \text{ (Megacell/ml)}^{-1}$ và có độ tuyến

tính cao với $R^2 = 0,9985$. Độ tuyến tính của hệ thống chế tạo là tương đồng với hệ đo vi tảo được xây dựng bởi nhóm tác giả Micaela Benavides ($R^2 = 0,9961$) [13], hệ đo vi tảo của nhóm tác giả Rúben Christian Barbosa ($R^2 = 0,8071 \sim 0,9642$) [15], và hệ đo vi tảo của nhóm tác giả Bình T. Nguyen ($R^2 = 0,95$) [14]. Kết quả này cho thấy hệ đo được chế tạo có khả năng cao ứng dụng để đo nồng độ vi tảo trong dung dịch.

Bảng 2. Kết quả hồi quy tuyến tính $A[\text{Độ hấp thụ}] = b_0 + b_1c[\text{Nồng độ}]$

b_0	0.012415
Sai số chuẩn	0.004668
b_1	0.128411
Sai số chuẩn	0.002464
R^2	0.9985
Sai số chuẩn phần dư	0.006561

Phương trình liên hệ giữa độ hấp thụ A và nồng độ vi tảo c được thể hiện:

$$A = 0,130 \times c + 0,012 \quad (8)$$

Giới hạn phát hiện được tính theo phương pháp đề cập bởi nhóm tác giả D. L. Massart [22]. Với mô hình hồi quy tuyến tính thể hiện như phương trình sau:

$$A = b_0 + b_1 \times c + \epsilon \quad (9)$$

$$\epsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (10)$$

với A là độ hấp thụ, c là nồng độ, ϵ là lỗi của mô hình được giả định tuân theo phân phối chuẩn, giới hạn trên khoảng tin cậy của A khi giá trị nồng độ c bằng 0 là:

$$A_{co} = b_0 + t_{\alpha; n-2} \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\bar{c}^2}{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}} \quad (11)$$

n là số quan sát thu thập được, c_i là quan sát thứ i, $t_{\alpha; n-2}$ là vị trí hàm phân phối t bậc n-2 có giá trị $1-\alpha$, $\bar{c}$ là giá trị trung bình của x. Giá trị c_{co} tương ứng với A_c :

$$c_{co} = \frac{A_c - b_0}{b_1} \quad (12)$$

Giới hạn nồng độ có thể phát hiện c_D :

$$c_D = c_{co} + t_{\beta; n-2} \frac{\sigma}{b_1 \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(2c_{co} - \bar{c})^2}{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}}} \quad (13)$$

Với số liệu trong Bảng 1, và các thông số hồi quy tuyến tính thể hiện như Bảng 2, phương trình hồi quy tuyến tính trên thể hiện như Hình 13, $n = 6$ thay σ bằng sai số chuẩn phần dư trong mô hình hồi quy tuyến tính, α, β bằng 0,05 thu được giá trị giới hạn nồng độ có thể phát hiện c_D là:

$$c_D = 0,226 \left(\frac{\text{Megacell}}{\text{ml}} \right) \quad (14)$$

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, thiết bị đo độ hấp thụ của dung dịch vi tảo *Chaetoceros gracilis* sử dụng cảm biến màu TCS3200 đã được thiết kế và chế tạo thành công. Buồng quang học và vỏ của thiết bị được chế tạo sử dụng công nghệ in 3D FDM. Nguồn phát ánh sáng được sử dụng là diode phát quang LED. Kết quả đo từ thiết bị cầm tay được so sánh với phổ hấp thụ từ máy UV-VIS tương ứng với phổ phát xạ của đèn LED và phổ đáp ứng của cảm biến. Kết quả cho thấy, ánh sáng đỏ nhạy với nồng độ của vi tảo *Chaetoceros gracilis*, do đó, LED ánh sáng đỏ bước sóng 660 nm được sử dụng để làm nguồn phát quang học. Độ tuyến tính của hệ đo hoàn thiện tương đồng với máy đo phổ UV-VIS với $R^2 = 0,9985$. Độ nhạy của hệ đo đạt được là 0,130

(Megacell/ml)⁻¹, giới hạn phát hiện đạt được là 0,226 (Megacell/ml). Hệ đo sau khi được chế tạo hoàn chỉnh có kích nhỏ gọn, độ lặp lại cao, giá thành rẻ với tổng giá thành hoàn thiện khoảng 50\$. Tính năng hiệu chuẩn với nút nhấn CAL cho phép xác định độ hấp thụ và nồng độ với nhiều môi trường nuôi tảo khác nhau. Những kết quả trên cho thấy hệ đo được chế tạo có khả năng ứng dụng cao để đo trên hiện trường cũng như phát triển thành một hệ đo liên tục thời gian thực giá rẻ sau này.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số QG.19.08.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] A. Catarina, and F. Xavier, "Nutritional Value and Uses of Microalgae in Aquaculture," Aquaculture, Zainal Abidin Muchlisin, Chapter 4, IntechOpen, pp. 59-78, June, 2012, doi: 10.5772/30576.
- [2] T. M. Mata, A. A. Martins, and N. S. Caetano, "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 217-232, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2009.07.020.
- [3] J. Venkatesan, P. Manivasagan, and S. K. Kim, *Marine Microalgae Biotechnology: Present Trends and Future Advances*. Present Trends and Future Advances. Elsevier Inc., 2015.
- [4] M. I. Khan, J. H. Shin, and J. D. Kim, "The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products," *Microb. Cell Fact.*, vol. 17, no. 1, pp. 36-57, 2018, doi: 10.1186/s12934-018-0879-x.
- [5] S. Zullaikah, A. T. Utomo, M. Yasmin, L. K. Ong, and Y. H. Ju, *Ecofuel conversion technology of inedible lipid feedstocks to renewable fuel*. Elsevier Ltd., 2019.
- [6] I. Havlik, P. Lindner, T. Scheper, and K. F. Reardon, "On-line monitoring of large cultivations of microalgae and cyanobacteria," *Trends Biotechnol.*, vol. 31, no. 7, pp. 406-414, 2013, doi: 10.1016/j.tibtech.2013.04.005.
- [7] J. E. Hobbie, R. J. Daley, and S. Jasper, "Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 33, no. 5, pp. 1225-1228, 1977, doi: 10.1128/aem.33.5.1225-1228.1977.
- [8] L. A. Meireles, J. L. Azevedo, J. P. Cunha, and F. X. Malcata, "On-line determination of biomass in a microalga bioreactor using a novel computerized flow injection analysis system," *Biotechnol. Prog.*, vol. 18, no. 6, pp. 1387-1391, 2002, doi: 10.1021/bp020283u.
- [9] T. Rausch, "The estimation of micro-algal protein content and its meaning to the evaluation of algal biomass," *Hydrobiologia*, vol. 78, pp. 237-251, 1981, doi: 10.1007/BF00008520.
- [10] P. Mayer, R. Cuhel, and N. Nyholm, "A simple in vitro fluorescence method for biomass measurements in algal growth inhibition tests," *Water Res.*, vol. 31, no. 10, pp. 2525-2531, 1997, doi: 10.1016/S0043-1354(97)00084-5.
- [11] K. H. Wiltshire, S. Harsdorf, B. Smidt, G. Blöcker, R. Reuter, and F. Schroeder, "The determination of algal biomass (as chlorophyll) in suspended matter from the Elbe estuary and the German Bight: A comparison of high-performance liquid chromatography, delayed fluorescence and prompt fluorescence methods," *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 222. no. 1-2, pp. 113-131, 1998, doi: 10.1016/S0022-0981(97)00141-X.
- [12] F. A. Almomani, and B. Örmeci, "Monitoring and measurement of microalgae using the first derivative of absorbance and comparison with chlorophyll extraction method," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 190, no. 2, pp. 90-109, 2018, doi: 10.1007/s10661-018-6468-y.
- [13] M. Benavides, J. Mailier, A.-L. Hantson, G. Muñoz, A. Vargas, J. V. Impe, and A. V. Wouwer, "Design and test of a low-cost RGB sensor for online measurement of microalgae concentration within a photo-bioreactor," *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, pp. 4766-4780, 2015, doi: 10.3390/s150304766.
- [14] B. T. Nguyen and B. E. Rittmann, "Low-cost optical sensor to automatically monitor and control biomass concentration in microalgal cultivation," *Algal Res.*, vol. 32, pp. 101-106, 2018, doi: 10.1016/j.algal.2018.03.013.
- [15] R. Christian Barbosa, J. Soares, and M. Arêdes Martins, "Low-cost and versatile sensor based on

- multi-wavelengths for real-time estimation of microalgal biomass concentration in open and closed cultivation systems,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 176, 2020, Art. no. 105641, doi: 10.1016/j.compag.2020.105641.
- [16] K. P. Kochel, and C. L. Bagwell, “Algal density assessed by spectrophotometry: A calibration curve for the unicellular algae *Pseudokirchneriella subcapitata*,” *J. Appl. Dev. Psychol.*, vol. 51, pp. 1-3, 2017, doi: 10.1016/j.appdev.2017.05.005.
- [17] F. Jia, M. Kacira, and K. L. Ogden, “Multi-wavelength based optical density sensor for autonomous monitoring of microalgae,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 9, pp. 22234-22248, 2015, doi: 10.3390/s150922234.
- [18] TAOS, “Programmable color light-to-frequency converter texas advanced optoelectronic solutions inc . programmable,” *Converter*, no. 972, pp. 1-10, 2004.
- [19] P. K. Dasgupta, I. Y. Eom, K. J. Morris, and J. Li, “Light emitting diode-based detectors: Absorbance, fluorescence and spectroelectrochemical measurements in a planar flow-through cell,” *Anal. Chim. Acta*, vol. 500, no. 1-2, pp. 337-364, 2003, doi: 10.1016/S0003-2670(03)00575-0.
- [20] T. Poisot, “The digitize package: Extracting numerical data from scatterplots,” *R J.*, vol. 3, no. 1, pp. 25-26, 2011, doi: 10.32614/rj-2011-004.
- [21] S. Kittipanyangam, W. Do, and K. Eguchi, “Color light sensor device for light absorbance measurement device,” *ECTI-CON 2017 - 2017 14th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol.*, vol. 00, no. 1, pp. 318-321, 2017, doi: 10.1109/ECTICon.2017.8096237.
- [22] D. L. Massart, B. G. M. Vandeginste, L. M. C. Buydens, S. De Jong, P. J. Lewi, and J. Smeyers-Verbeke, Eds., “Chapter 13 Internal method validation,” *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part A*, vol. 20, Elsevier, 1998, pp. 379-440.