



Original Article

Determination of Malachite Green by Capillary Electrophoresis with Capacitively Coupled Contactless Conductivity Detection (CE-C⁴D)

Luu Thi Huyen Trang^{1,2}, Tran Thanh Hien¹, Tran Thi Thanh Thao¹,
Nguyen Thi Thao Nguyen¹, Lu Thi Minh Hien^{1,2}, Hoang Quoc Anh¹, Vu Thi
Trang², Pham Gia Bach¹, Vu Duy Tung¹, Chu Thi Hue¹, Nguyen Thi Minh Thu¹,
Nguyen Thi Kim Thuong¹, Pham Thi Ngoc Mai¹, Nguyen Thi Anh Huong^{1,*}

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²National Institute for Food Control, 65 Pham Than Duat, Hanoi, Vietnam

Received 23rd March 2025

Revised 10th January 2026; Accepted 14th April 2026

Abstract: Malachite green (MG) is well known for its strong and stable coloring properties, as well as its effective antibacterial activity. It is a common dye for various materials and an antibacterial in aquaculture. However, MG has been banned in the aquaculture and food industries due to its toxic effects on humans and animals. Therefore, the development of a reliable and efficient method for the determination of MG is necessary. In this study, the capillary electrophoresis with capacitively coupled contactless conductivity detector (CE-C⁴D) method was used to analyze MG. The analysis was performed using a fused-silica capillary with an internal diameter of 50 μm , a total length of 60 cm, and an effective length of 30 cm. The electrolyte solution was 10 mM histidine/acetic acid buffer at pH 5.5. A hydrodynamic siphoning injection at a height of 15 cm for 30 s was applied. The separation voltage was 20 kV. The method detection limit of MG was 1.5 ppm. The recovery of MG at three concentration levels (i.e., 20, 50, and 100 ppm) ranged from 94.57% to 101.13% with RSD < 5% ($n = 5$ for each level). The recovery and repeatability of MG obtained by our method satisfied the requirements proposed by the Association of Official Analytical Collaboration (AOAC).

Keywords: Malachite green, capillary electrophoresis, contactless conductivity detection, CE-C⁴D.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenthianhhuong@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5877>

Xác định malachite green bằng phương pháp điện di mao quản sử dụng detector độ dẫn không tiếp xúc (CE-C⁴D)

Lưu Thị Huyền Trang^{1,2}, Trần Thanh Hiền¹, Trần Thị Thanh Thảo¹, Nguyễn Thị Thảo Nguyễn¹, Lữ Thị Minh Hiền^{1,2}, Hoàng Quốc Anh¹, Vũ Thị Trang², Phạm Gia Bách¹, Vũ Duy Tùng¹, Chu Thị Huệ¹, Nguyễn Thị Minh Thư¹, Nguyễn Thị Kim Thường¹, Phạm Thị Ngọc Mai¹, Nguyễn Thị Ánh Hương^{1,*}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 19 Lê Thánh Tông, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Kiểm nghiệm An toàn Vệ sinh Thực phẩm Quốc gia, 65 Phạm Thận Duật, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 23 tháng 3 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 10 tháng 01 năm 2026; Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 4 năm 2026

Tóm tắt: Malachite green (MG) được biết đến với đặc tính tạo màu mạnh và bền, cũng như hoạt tính kháng khuẩn hiệu quả. MG là chất tạo màu phổ biến cho nhiều loại vật liệu và là chất kháng khuẩn trong nuôi trồng thủy sản. Tuy nhiên, MG đã bị cấm sử dụng trong nuôi trồng thủy sản và thực phẩm do tác động độc hại của nó đối với con người và động vật. Do đó, cần phải phát triển một phương pháp đáng tin cậy và hiệu quả để xác định MG. Trong nghiên cứu này, phương pháp điện di mao quản kết hợp detector độ dẫn không tiếp xúc kết nối kiểu tụ điện (CE-C⁴D) đã được sử dụng để phân tích MG. Quá trình phân tích được thực hiện với cột mao quản silica có đường kính trong 50 μm , tổng chiều dài 60 cm và chiều dài hiệu dụng 30 cm. Dung dịch điện li là histidine 10 mM /acid acetic, pH = 5,5. Phương pháp bơm mẫu thủy động học kiểu xiphong được thực hiện ở độ cao 15 cm trong 30 giây. Thế tách là 20 kV. Giới hạn phát hiện của phương pháp đối với MG là 1,5 ppm. Độ thu hồi của MG ở ba mức nồng độ (20, 50 và 100 ppm) dao động từ 94,57% đến 101,13% với RSD < 5% ($n = 5$ cho mỗi mức). Độ thu hồi và độ chụm của phương pháp đối với MG đáp ứng các yêu cầu của Hiệp hội hợp tác phân tích chính thức (AOAC).

Từ khóa: Malachite green, Phương pháp điện di mao quản, Detector độ dẫn không tiếp xúc, CE-C⁴D.

1. Mở đầu

Malachite green (MG) là một chất tạo màu mạnh, có độ bền cao, thường được dùng để tạo màu xanh cho nhiều loại vật liệu như vải, giấy, da, chiếu và các vật liệu khác. Đồng thời, nó cũng là một loại thuốc thú y diệt khuẩn, diệt côn trùng hiệu quả và kinh tế cao nên cũng được sử dụng rộng rãi trong ngành nuôi trồng thủy hải sản. Việc tiếp xúc với MG ở người và động vật có vú có thể gây tổn thương đến chức năng gan, làm thay đổi chức năng tuyến giáp, thiếu máu, giảm bạch cầu, đột biến gen và có thể gây ung thư [1]. MG được phân loại là

Nguy cơ sức khỏe loại II. Không chỉ gây ra những tác động tiêu cực đối với con người, MG còn gây ra nhiều ảnh hưởng xấu đến môi trường như ô nhiễm nguồn nước, gây chết các loài thủy sinh, làm mất cân bằng hệ sinh thái đa dạng sinh học. Chính vì vậy, MG đã bị cấm và hạn chế sử dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới, bao gồm cả Việt Nam. MG không nằm trong danh mục những hóa chất được phép sử dụng cho thực phẩm theo quyết định số: 3742/2001/QĐ-BYT của Bộ Y tế ban hành ngày 31 tháng 08 năm 2001 [2]. Mặt khác, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (NN&PTNT) đã ban hành Thông tư số 15/2009/TT-BNN ngày 17 tháng 3 năm 2009 về việc cấm sử dụng MG [3]. Tuy nhiên, vì là hóa chất có hiệu quả trong việc điều trị các bệnh ở cá, có khả năng tạo màu tốt và có chi phí thấp nên MG vẫn bị sử dụng trái phép

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenthianhhuong@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5877>

trong nuôi trồng thủy sản hoặc phụ gia thực phẩm, do đó dư lượng MG thường được tìm thấy trong các sản phẩm thực phẩm, thủy sản và tồn dư trong các ao, đầm sau mỗi vụ mùa gây nguy hiểm cho sức khỏe con người, từ đó đòi hỏi những phương pháp kiểm nghiệm nhanh và chính xác MG.

Các phương pháp thường được sử dụng để xác định MG bao gồm: phương pháp quang phổ [4], phương pháp điện hóa [5], phương pháp sắc kí lỏng hiệu năng cao [6, 7], phương pháp điện di mao quản sử dụng detector quang học [8]. Các phương pháp này thường được triển khai trong các phòng thí nghiệm với độ nhạy tốt nhưng có chi phí đầu tư và vận hành cao, tiêu tốn dung môi hữu cơ. Hiện nay, việc phát triển các phương pháp phân tích đơn giản, thân thiện với môi trường, chi phí thấp đang rất được quan tâm. Trong nghiên cứu này, phương pháp điện di mao quản sử dụng detector độ dẫn không tiếp xúc (CE-C⁴D) với các ưu điểm: trang thiết bị nhỏ gọn, chi phí thấp, tiêu tốn ít mẫu và hóa chất, thời gian phân tích nhanh đã được sử dụng để nghiên cứu xác định MG trong các mẫu nước hồ nuôi trồng thủy sản. Hơn nữa, phương pháp CE-C⁴D còn có tiềm năng triển khai tại hiện trường nhằm phân tích hàm lượng MG, góp phần đánh giá chất lượng nước tại các hồ nuôi thủy sản nói riêng và các đối tượng môi trường khác nói chung.

2. Thực nghiệm

2.1. Hóa chất

Các hóa chất sử dụng đều thuộc loại tinh khiết phân tích và được cung cấp bởi Sigma-Aldrich (Mỹ) hoặc Merck (Đức), bao gồm: malachite green (99%), L-arginin (Arg), L-histidine (His), Tris (hydroxymethyl) aminomethane (Tris), acid acetic (Ace). Nước deion được sử dụng để pha chế các dung dịch.

2.2. Thiết bị

Hệ thiết bị CE-C⁴D (Hình 1) sử dụng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi công ty 3SAnalysis (<http://www.3sanalysis.vn/>).



Hình 1. Hệ thiết bị điện di mao quản CE-C⁴D sử dụng trong nghiên cứu.

Các thông tin về đặc điểm kỹ thuật của hệ thiết bị có thể tham khảo trong các công bố trước đây của nhóm nghiên cứu [9]. Mao quản silica (BGB Analytik AG, Thụy Sĩ) có đường kính trong 50 μm , tổng chiều dài 60 cm. Trước khi sử dụng, mao quản được hoạt hóa bằng dung dịch NaOH 1M, nước deion và dung dịch điện li.

2.3. Thu thập và xử lý mẫu nước

Ba mẫu nước được thu thập tại một số hồ nuôi tôm ở xã Nghĩa Lâm, huyện Nghĩa Hưng, tỉnh Nam Định (nay là xã Nghĩa Lâm, tỉnh Ninh Bình). Mẫu nước được lấy ở độ sâu khoảng 20 – 30 cm dưới mặt nước. Tại mỗi hồ, mẫu nước được lấy ít nhất ở 3 điểm khác nhau và trộn đều thành mẫu đồng nhất. Mẫu được vận chuyển về phòng thí nghiệm và bảo quản ở 4 °C cho đến khi phân tích. Trước khi phân tích, mẫu được để đến nhiệt độ phòng và lọc qua màng lọc 0,45 μm .

3. Kết quả và thảo luận

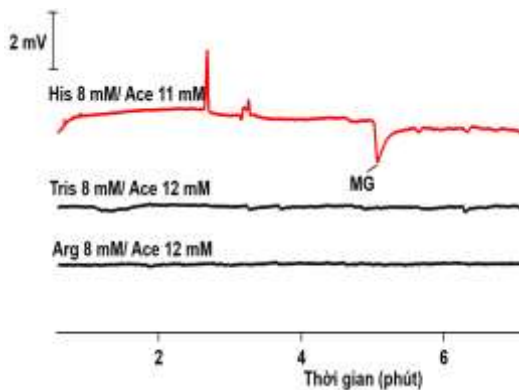
3.1. Khảo sát, lựa chọn điều kiện phân tích MG bằng phương pháp CE-C⁴D

Các điều kiện phân tích được khảo sát trên thiết bị CE-C⁴D với dung dịch MG 50 ppm được pha từ chuẩn gốc bằng nước deion. Mẫu được bơm vào mao quản bằng phương pháp thủy động học kiểu xiphong với chiều cao và thời gian bơm mẫu được khảo sát phù hợp. Các

dung dịch điện li được chuẩn bị bằng cách cân và pha các hóa chất tương ứng bằng nước deion, điều chỉnh bằng acid acetic đến pH mong muốn, pha trong bình định mức và rung siêu âm 1 phút để đuổi bọt khí trước khi sử dụng.

3.1.1. Khảo sát thành phần và pH của dung dịch điện li

Thành phần của dung dịch điện li là một trong những yếu tố rất quan trọng, quyết định trực tiếp đến sự xuất hiện tín hiệu của chất phân tích. Khi giá trị pH và thành phần dung dịch điện li thay đổi, ảnh hưởng đến điện tích ion, độ linh động điện di của chất phân tích và tốc độ di chuyển của dòng điện di thẩm thấu (EOF) [9]. Vì vậy, thành phần và pH của dung dịch điện li cần được khảo sát lựa chọn phù hợp và giữ không đổi trong suốt quá trình đo. Trong nghiên cứu này, các dung dịch được lựa chọn để khảo sát thành phần dung dịch điện li (pH = 5,0) gồm: His 8 mM/Ace 11 mM, Arg 8 mM/Ace 12 mM, Tris 8 mM/Ace 12 mM. Kết quả khảo sát được thể hiện trong Hình 2 cho thấy, trong ba dung dịch điện li khảo sát, chỉ có His 8mM/Ace 11 mM cho tín hiệu của MG nên sẽ được lựa chọn cho các khảo sát tiếp theo.



Hình 2. Điện di đồ khảo sát ảnh hưởng của thành phần dung dịch điện li.

Sau khi lựa chọn được thành phần dung dịch điện li His 8mM/Ace 11 mM phù hợp, pH cũng được khảo sát ở các giá trị lần lượt là 4,5, 5,0, 5,5, 6,0. Kết quả được thể hiện ở Hình 3 cho thấy, khi pH tăng, thời gian phân tích ngắn hơn, nhưng tín hiệu có thể bị ảnh hưởng bởi dòng EOF. Ở pH = 5,5, tín hiệu MG cao và rõ nét, đường nền ổn định, thời gian phân tích phù

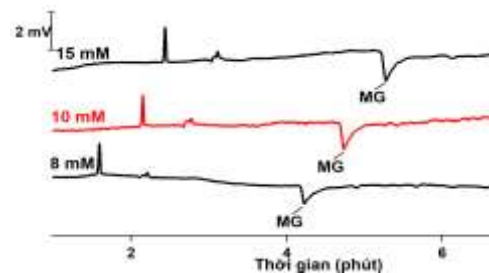
hợp nên được lựa chọn cho các khảo sát tiếp theo.



Hình 3. Điện di đồ khảo sát ảnh hưởng của pH.

3.1.2. Khảo sát nồng độ dung dịch điện li

Trong phương pháp điện di mao quản CE-C⁴D, nồng độ dung dịch điện li phải đủ lớn để tạo môi trường cho các ion di chuyển. Kết quả khảo sát được thực hiện với ba giá trị nồng độ His (8, 10 và 15 mM) ở pH = 5,5 (điều chỉnh bằng dung dịch acid acetic). Kết quả ở Hình 4 cho thấy, với dung dịch His 10 mM/Ace 9 mM, tín hiệu MG thu được sắc nét và có điện tích lớn hơn đáng kể so với ở hai nồng độ còn lại. Do đó, dung dịch điện li His 10 mM/Ace 9 mM (pH = 5,5) được lựa chọn trong nghiên cứu này.

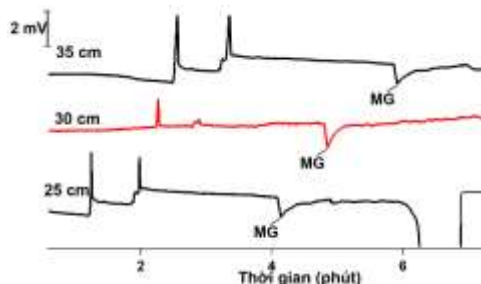


Hình 4. Điện di đồ khảo sát ảnh hưởng của nồng độ dung dịch điện li.

3.1.3. Khảo sát chiều dài hiệu dụng của mao quản

Chiều dài hiệu dụng của mao quản được tính từ đầu bơm mẫu đến vị trí phát hiện của detector. Nếu chiều dài hiệu dụng của mao quản quá ngắn dẫn tới các chất di chuyển rất gần nhau, làm giảm khả năng phân tách, đặc biệt khi nền mẫu phức tạp với nhiều tín hiệu lạ có thể ảnh hưởng đến chất phân tích. Ngược lại, nếu chiều dài hiệu dụng quá dài thì thời gian phân tích lâu, không cần thiết. Kết quả khảo sát với

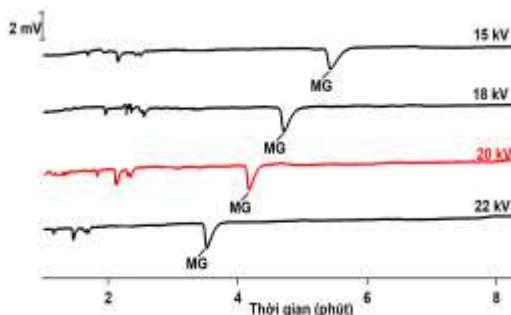
ba giá trị (25, 30, 35 cm) thể hiện trong Hình 5 đã lựa chọn được chiều dài hiệu dụng của mao quản phù hợp trong nghiên cứu này là 30 cm.



Hình 5. Điện di đồ khảo sát ảnh hưởng của chiều dài hiệu dụng mao quản.

3.1.4. Khảo sát thể tách

Thể tách cũng là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến sự phân tách các chất. Quá trình điện di trong mao quản chỉ xảy ra khi có một nguồn thế cao. Thế này tạo ra điện trường E và dòng điện I trong mao quản, điều khiển và duy trì sự điện di của các chất. Việc khảo sát thể tách được thực hiện trong khoảng +15 đến +22 kV. Kết quả thể hiện ở Hình 6 cho thấy, thể tách +20 kV cho tín hiệu MG sắc nét với diện tích pic lớn nhất, thời gian phân tích phù hợp, đường nền ổn định nên được lựa chọn cho các khảo sát tiếp theo.



Hình 6. Điện di đồ khảo sát ảnh hưởng của thể tách.

3.1.5. Khảo sát thời gian và chiều cao bơm mẫu

Trong nghiên cứu này, mẫu được bơm vào mao quản bằng phương pháp thủy động học kiểu xiphong, lượng mẫu tỉ lệ thuận với chiều cao và thời gian bơm mẫu. Trong quá trình bơm mẫu vào mao quản, lượng mẫu phải đủ lớn để đảm bảo tín hiệu tốt và khả năng tách tốt. Ngoài ra, lượng mẫu được bơm vào cũng ảnh hưởng

đến thời gian phân tích. Tuy nhiên nếu lượng mẫu được bơm vào mao quản quá lớn thì sự phân tán, mở rộng vùng mẫu sẽ xuất hiện do hiện tượng khuếch tán làm giảm hiệu suất tách. Do đó thời gian và chiều cao bơm mẫu hợp lý được khảo sát để đảm bảo thu được tín hiệu tốt nhất và thời gian phân tích phù hợp.

Kết quả khảo sát chiều cao và thời gian bơm mẫu tương ứng trong khoảng 10–20 cm và 20–40 s cho thấy, khi tăng thời và chiều cao bơm mẫu thì diện tích pic tăng. Tại thời gian bơm mẫu là 30 s và chiều cao bơm mẫu 15 cm, thời gian di chuyển phù hợp, tín hiệu pic ổn định, cân đối, diện tích pic lớn. Do đó, thời gian và chiều cao bơm mẫu được lựa chọn tương ứng là 30 s và 15 cm.

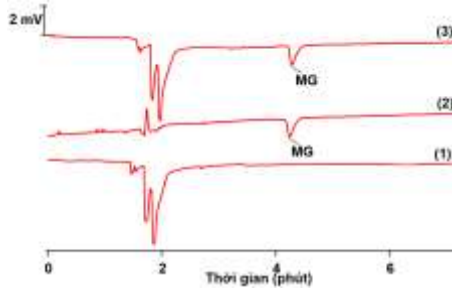
Như vậy, sau quá trình khảo sát, các điều kiện phân tích MG bằng phương pháp CE-C⁴D được lựa chọn gồm: mao quản silica đường kính trong (ID) 50 μ m, chiều dài 60 cm (chiều dài hiệu dụng 30 cm), dung dịch điện li His 10 mM/Ace 9 mM, pH = 5,5, thể tách +20 kV, bơm mẫu thủy động học xiphong ở độ cao 15 cm trong 30 s.

3.2. Đánh giá phương pháp phân tích

Trên cơ sở các điều kiện phân tích lựa chọn, phương pháp đã được đánh giá độ đặc hiệu, xây dựng đường chuẩn, xác định giới hạn phát hiện (LOD), giới hạn định lượng (LOQ), đánh giá độ chụm thông qua độ lệch chuẩn tương đối (RSD) của các thí nghiệm lặp lại ở ba mức nồng độ khác nhau. Việc đánh giá phương pháp được thực hiện trên nền mẫu trắng (mẫu nước hồ nuôi tôm không phát hiện chất phân tích: mẫu M1). Kết quả được đánh giá trên cơ sở so sánh với các quy định của Hiệp hội hợp tác phân tích chính thức (AOAC) [10].

Trước hết, độ đặc hiệu của phương pháp đã được đánh giá bằng cách phân tích mẫu trắng, dung dịch chuẩn MG 50 ppm và mẫu trắng thêm chuẩn MG 50 ppm. Kết quả đánh giá độ đặc hiệu của phương pháp được trình bày trong Hình 7 và Bảng 2. Kết quả cho thấy, mẫu trắng không cho tín hiệu trùng thời gian di chuyển của chất phân tích. Mẫu trắng thêm chuẩn có tín hiệu trùng thời gian di chuyển của chất phân tích trong dung dịch chuẩn (với độ lệch chuẩn

tương đối %RSD < 2%). Điều này cho thấy phương pháp có độ đặc hiệu tốt.



Hình 7. Điện đi đồ đánh giá độ đặc hiệu. (1) Mẫu trắng, (2) Dung dịch chuẩn MG 50 ppm, (3) Mẫu trắng thêm chuẩn MG 50 ppm.

Đường chuẩn 5 điểm xác định MG bằng phương pháp CE-C⁴D đã được thiết lập trong khoảng nồng độ 5,0–100,0 ppm. Mỗi điểm chuẩn được đo lặp lại 3 lần, giá trị điện tích pic

trung bình được sử dụng để dựng đường chuẩn biểu diễn sự phụ thuộc vào nồng độ chất phân tích tương ứng. Giới hạn phát hiện (LOD) của MG bằng phương pháp CE-C⁴D được xác định bằng cách pha loãng dần dung dịch chuẩn tới nồng độ nhỏ nhất cho tỷ lệ tín hiệu so với nhiễu nền (S/N) bằng 3,0. Giới hạn định lượng (LOQ) được xác định bằng 10 lần tỷ lệ S/N. Kết quả phương trình đường chuẩn, hệ số tương quan và các giá trị LOD, LOQ được trình bày trong Bảng 1.

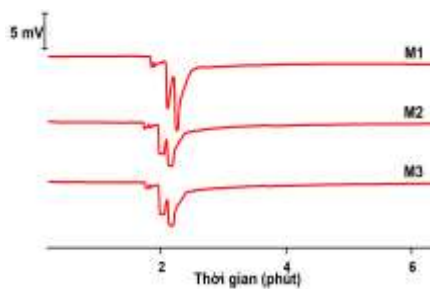
Độ chụm của phương pháp được đánh giá qua độ lặp lại của tín hiệu MG ở ba mức nồng độ (10, 20 và 50 ppm). Kết quả độ lệch chuẩn tương đối (RSD) nằm trong khoảng 0,74% đến 4,63% ($n = 5$), đáp ứng yêu cầu của AOAC đối với khoảng nồng độ từ 1 ppm (11%) đến 100 ppm (5,3%) [10].

Bảng 1. Đường chuẩn, giới hạn phát hiện (LOD), giới hạn định lượng (LOQ) của MG xác định bằng phương pháp CE-C⁴D

Phương trình đường chuẩn ($y = ax+b$)	Hệ số tương quan R^2	LOD (ppm)	LOQ (ppm)
$y = (0,5115 \pm 0,0053)x - (0,4252 \pm 0,2718)$	0,9997	1,5	5,0

3.3. Phân tích mẫu thực tế

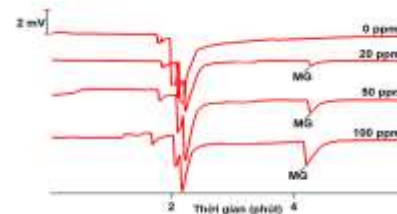
Phương pháp sau khi được phát triển và đánh giá đáp ứng yêu cầu đã được áp dụng để phân tích hàm lượng MG trong ba mẫu nước hồ nuôi tôm. Kết quả cho thấy không phát hiện MG trong cả ba mẫu nước này (Hình 8).



Hình 8. Điện đi đồ phân tích các mẫu M1, M2, M3.

Nhằm minh chứng khả năng phân tích trên nền mẫu thực tế của phương pháp, các mẫu này đã được thêm chuẩn ở các mức nồng độ khác nhau (20 ppm, 50 ppm và 100 ppm) và xác định hiệu suất thu hồi bằng phương pháp đường

chuẩn (được xây dựng trên nền mẫu thực). Kết quả thu được ở Bảng 2 và điện đi đồ Hình 9.



Hình 9. Điện đi đồ kết quả thêm chuẩn MG ở các mức nồng độ khác nhau vào mẫu M2.

Kết quả ở Bảng 2 cho độ thu hồi của MG trên nền mẫu dao động trong khoảng 94,57-101,13%, cho thấy phương pháp có độ đúng tốt [10].

So với các kết quả nghiên cứu xác định MG bằng các phương pháp khác nhau (quang phổ, sắc ký, điện hóa) đã được công bố [4-8], độ thu hồi đạt được ở nghiên cứu này cho giá trị tương đương, tuy nhiên, LOD còn cao hơn từ 5,7 đến khoảng 500 lần do chưa có sự kết hợp của các kỹ thuật xử lý mẫu và làm giàu chất phân tích như trong các công bố. Đây là kết quả ban đầu,

nghiên cứu sẽ tiếp tục được thực hiện nhằm tăng cường độ nhạy bằng cách kết hợp các phương pháp xử lý mẫu, làm giàu chất phân tích như chiết điểm mù, chiết pha rắn, sử dụng

vật liệu hấp phụ chọn lọc polyme in dầu phân tử (MIP),... nhằm mở rộng áp dụng cho các đối tượng mẫu khác nhau (côm, cá, tôm,...).

Bảng 2. Hiệu suất thu hồi của MG khi thêm chuẩn vào mẫu M2

Mức thêm chuẩn	Mức 1	Mức 2	Mức 3
Nồng độ thêm chuẩn (ppm)	20,0	50,0	100,0
Nồng độ thu hồi (ppm)	19,12	47,28	101,13
Hiệu suất thu hồi (%)	95,60	94,57	101,13
Hiệu suất thu hồi trung bình (%)	97,10		

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phát triển thành công phương pháp điện di mao quản sử dụng detector độ dẫn không tiếp xúc (CE-C⁴D) để xác định MG với giới hạn phát hiện (LOD) đạt được là 1,5 ppm. Phương pháp đã được đánh giá đáp ứng yêu cầu của AOAC và áp dụng để phân tích MG trong các mẫu nước hồ nuôi tôm. Kết quả không phát hiện MG, tuy nhiên, hiệu suất thu hồi của MG thêm chuẩn trên các mẫu này đạt được trong khoảng từ 94,57 đến 101,13% minh chứng cho khả năng áp dụng của phương pháp đối với các mẫu nước. Phương pháp sẽ tiếp tục được nghiên cứu để xác định MG đồng thời với các chất tạo màu khác trong mẫu nước nói riêng và mở rộng cho các đối tượng mẫu khác nhau.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tiến hành trong khuôn khổ đề tài QG.24.71 của Đại học Quốc gia Hà Nội.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Srivastava, R. Sinha, D. Roy, Toxicological Effects of Malachite Green, *Aquatic Toxicology*, Vol. 66, No. 3, 2004, pp. 319-329, <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2003.09.008>.
- [2] Vietnam Ministry of Health, Decision No. 3742/2001/QĐ-BYT Regulations on List of Additives Permitted for use in Food, 2001 (in Vietnamese).
- [3] Vietnam Ministry of Agriculture and Rural Development, Circular No. 15/2009/TT-BNN Regulations on List of Drugs, Chemicals, Antibiotics Banned and Restricted from use, 2009 (in Vietnamese).
- [4] L. An et al., Simultaneous Spectrophotometric Determination of Trace amount of Malachite Green and Crystal Violet in Water after Cloud Point Extraction using Partial Least Squares Regression, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 175, No. 1-3, 2010, pp. 883-888, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.092>.
- [5] Y. Zhou, X. Li, Z. Pan, B. Ye, and M. Xu, Determination of Malachite Green in Fish by a Modified MOF-Based Electrochemical Sensor, *Food Analytical Methods*, Vol. 12, 2019, pp. 1246-1254, <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01459-x>.
- [6] K. Mitrowska, A. Posyniak, J. Zmudzki, Determination of Malachite Green and Leucomalachite Green in Carp Muscle by Liquid Chromatography with Visible and Fluorescence Detection, *Journal of Chromatography A*, Vol. 1089, No. 1-2, 2005, pp. 187-192, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.07.004>.
- [7] N. A. Gavrilenko, T. N. Volgina, E. V. Pugachev, M. A. Gavrilenko, Visual Determination of Malachite Green in Sea Fish Samples, *Food Chemistry*, Vol. 274, 2019, pp. 242-245, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.139>.
- [8] T. F. Jiang, Z. H. Lv, X. Y. Cui, Y. H. Wang, Analysis of Malachite Green, Gentian Violet and Their Leuco Metabolites in Catfish and Carp by Micellar Electrokinetic Capillary Chromatography, *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol. 20, No. 1, 2012, pp. 94-100, <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2073>.

- [9] T. A. H. Nguyen et al., Simple Semi-automated Portable Capillary Electrophoresis Instrument with Contactless Conductivity Detection for the Determination of β -agonists in Pharmaceutical and Pig-feed Samples, *Journal of Chromatography A*, Vol. 1360, 2014, pp. 305-311, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.07.074>.
- [10] AOAC, Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements, AOAC Official Methods of Analysis, 2016.