

Tối ưu quy trình tách các nhóm anion và cation cơ bản trong mẫu nước nhằm phân tích đồng thời các ion bằng hệ thiết bị điện di mao quản xách tay tự động loại 2 kênh

Nguyễn Duy Chiến, Nguyễn Thanh Đàm, Lê Minh Đức, Phạm Hùng Việt, Dương Hồng Anh*

Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ Môi trường và Phát triển Bền vững, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài 6.2.2015, ngày chuyển phản biện 9.2.2015, ngày nhận phản biện 16.3.2015, ngày chấp nhận đăng 30.3.2015

Nhóm cation và anion vô cơ cơ bản trong nước bao gồm NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} và Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- có thể được phân tích đồng thời trong một lần bơm mẫu trên 2 kênh của một hệ thiết bị điện di mao quản điều khiển tự động kết hợp với detector độ dẫn không tiếp xúc. Điều kiện tách điện di của kênh cation đã được lựa chọn như sau: hệ đệm Histidin 12mM điều chỉnh pH tới 3,8 bằng axit axetic, sử dụng chất hỗ trợ 18-crown-6 nồng độ 2mM, điện thế tách: -15 kV. Đối với kênh anion hệ đệm Histidin 12mM điều chỉnh pH tới 4,0 bằng axit lactic, điện thế tách: +15 kV cho kết quả phân tách tốt. Các thông số hoạt động của hệ dẫn lưu lỏng trong thiết bị tự chế tạo đã được khảo sát và tối ưu hóa bao gồm: thời gian chuyển mẫu từ vòng mẫu tới đầu giao diện: 1 s, thời gian đẩy mẫu vào mao quản (thời gian bơm mẫu): 2 s, vị trí van kim chia dòng: VP 14 cho kênh anion, VP 18 cho kênh cation.

Từ khóa: các anion, các cation, điện di mao quản xách tay, hệ điều khiển tự động, mẫu nước, 2 kênh.

Chỉ số phân loại 2.4

Đặt vấn đề

Phân tích, kiểm soát chất lượng nước luôn là nhiệm vụ cấp thiết, giúp các cơ quan chức năng trong việc quản lý nguồn tài nguyên quan trọng này. Trong nước ngầm và nước mặt, ngoài các kim loại nặng, hàm lượng các anion và cation cũng cần được giám sát nghiêm ngặt. Các chỉ tiêu này thường được xác định bằng phương pháp hấp thụ phổ nguyên tử (AAS, AES), phân tử (UV-Vis) hoặc sắc ký ion (IC). Tuy nhiên, các phương pháp này gặp hạn chế trong việc phân tích đồng thời nhiều chỉ tiêu (ví dụ với AAS, AES và UV-Vis), hay có chi phí cao và không phân tích được tại hiện trường như IC.

Trong những năm gần đây, điện di mao quản (CE) đã trở thành một phương pháp nhiều tiềm năng trong việc phân tích đa chỉ tiêu tại hiện trường. Phương pháp điện di mao quản kết hợp detector độ dẫn không tiếp xúc (C^4D) đã được một số nhóm tác giả trên thế giới áp dụng thành công để phân tích các cation và anion cơ bản trong nước [1, 2, 3, 4]. Tại Việt Nam, Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ

Môi trường và Phát triển Bền vững (Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội) là nhóm tiên phong trong lĩnh vực nghiên cứu và chế tạo thu nhỏ các thiết bị điện di mao quản phục vụ mục đích phân tích hiện trường [5, 6, 7]. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng quy trình phân tách các cation NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} và anion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- trong nước để có thể phân tích đồng thời hai nhóm ion này trên 2 kênh của một hệ thiết bị điện di mao quản xách tay điều khiển tự động, sử dụng detector C^4D . Đây là bước đầu trong việc ứng dụng hệ thiết bị này vào thực tiễn phân tích hiện trường.

Thực nghiệm

Hóa chất

Toàn bộ hóa chất dùng trong nghiên cứu đều là loại tinh khiết phân tích, mua từ Hãng Merck (CHLB Đức) hoặc Fluka (Thụy Sĩ). Dung dịch chuẩn gốc 1000 ppm của từng cation NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} và anion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- được pha từ các muối rắn

*Tác giả chính: Tel: 0912380373; E-mail: hoanggianga0@gmail.com

OPTIMIZING THE SEPARATION OF MAJOR ANION AND CATION GROUPS IN WATER SAMPLE FOR THE SIMULTANEOUS ANALYSIS OF THE MOST RELEVANT IONS BY USING PORTABLE AUTOMATED DUAL CHANNEL CAPILLARY ELECTROPHORESIS SYSTEM

Summary

The concurrent separation of major inorganic cations and anions in water sample has been optimized for simultaneous analysis of two ion groups using a home build portable automated dual channel capillary electrophoresis system. The background electrolyte (BGE) solution containing 12mM histidine and 2mM 18-crown-6 adjusted to pH 3.8 with acetic acid has been found for the sufficient separation of cations (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Other working conditions of the system have been optimized as follows: separation voltage: -15 kV, valve position: VP 18, time for sample transferring: 1 s, time for sample injection: 2 s. The proper separation of inorganic anions including Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- and NO_2^- has been offered by using the BGE solution of 12mM histidine adjusted to pH 4.0 with lactic acid, separation voltage at +15 kV, valve position at VP 14 and the same values of time for sample transferring and time for sample injection as for cation separation.

Keywords: automated system, cations, dual channels, inorganic anions, portable capillary electrophoresis, water sample.

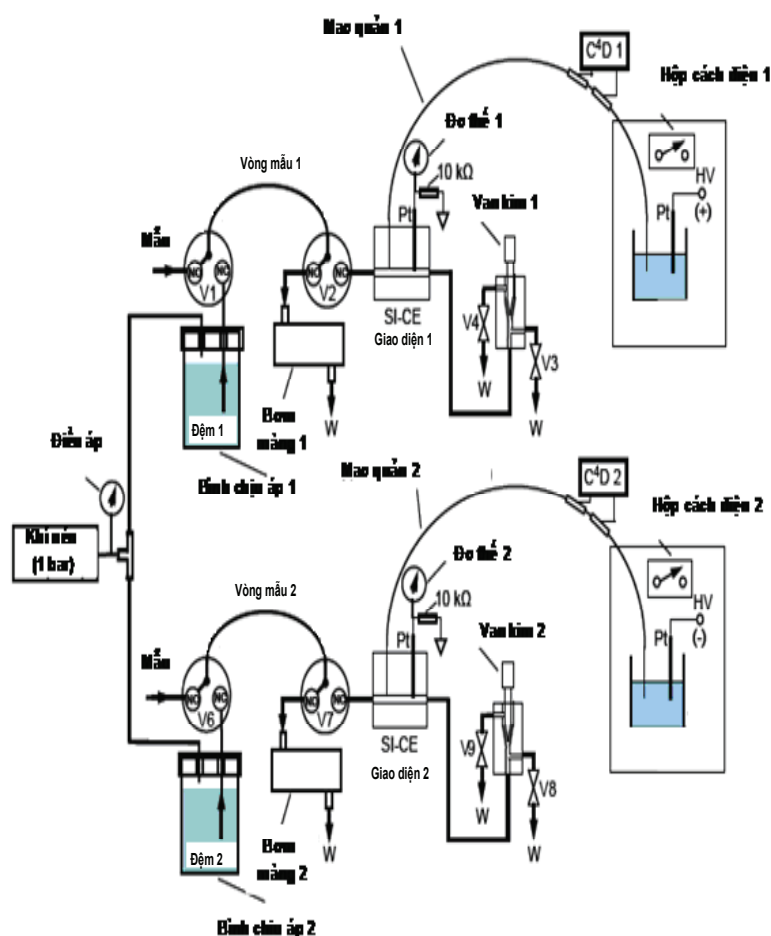
Classification number 2.4

tương ứng, riêng đối với nitrit sử dụng dung dịch chuẩn NaNO_2 1000 ppm pha sẵn. Các dung dịch gốc này được sử dụng để pha mẫu chuẩn. Dung dịch đệm được chuẩn bị và sử dụng trong ngày. Tất cả dung dịch đệm và mẫu chuẩn được pha trong nước deion.

Nghiên cứu sử dụng mao quản silica với chiều dài 60 cm, chiều dài hiệu dụng 50 cm, đường kính của mao quản đối với kênh cation và anion lần lượt là 50 μm . Trước mỗi lần phân tích đầu tiên trong ngày, mao quản đều được điều kiện hóa bằng dung dịch NaOH 1M trong 10 phút và sau đó bằng nước deion trong 10 phút.

Thiết bị

Nghiên cứu này được thực hiện trên hệ thiết bị điện di mao quản xách tay 2 kênh điều khiển tự động có sơ đồ như hình 1.



Hình 1: sơ đồ hệ thiết bị điện di mao quản xách tay 2 kênh - 2 đệm tự động

Hệ thiết bị điện di mao quản sử dụng bộ nguồn cao thế EMCO ± 20 kV DC, detector C'D tự chế và bộ ghi Edaq (Australia). Toàn bộ hoạt động của hệ được điều khiển bằng phần mềm thông qua bo mạch Aduino. Về nguyên lý hoạt động, ban đầu trong bước

rửa hệ thống, sử dụng áp lực của khí nén, dung dịch đệm sẽ được dẫn từ bình chịu áp 1 và 2 qua van V1 và V6, qua hai vòng mẫu, qua hai giao diện SI-CE 1 và 2, cuối cùng thải ra ngoài qua các van V4, V3, V9, V8 ở trạng thái mở; tiếp theo là *bước rửa mao quản*, lúc này tất cả các van V4, V3, V9, V8 đều đóng lại, do vậy dung dịch đệm sau khi qua vòng mẫu sẽ không đi qua giao diện mà được đẩy qua mao quản để thải ra ngoài. Để chuẩn bị phân tích, các van V1, V2, V6, V7 được chuyển vị trí cổng nối, bơm màng 1 và 2 bật để hút mẫu từ các ống đựng qua van V1 và V6 vào đầy hai vòng mẫu (*bước hút mẫu*) và lưu giữ tại đó, bơm màng tắt. Tiếp theo là *bước chuyển mẫu* từ vòng mẫu tới trước giao diện, khi đó các van V1, V2, V6, V7 lại được chuyển vị trí cổng nối, áp lực khí nén sẽ đẩy đệm từ bình chịu áp qua vòng mẫu, đẩy đoạn mẫu từ vòng mẫu vào tới vị trí trước giao diện, sau một thời gian nhất định (gọi là *thời gian chuyển mẫu*) van V1 và V6 chuyển vị trí (trong một thời gian nhất định gọi là *thời gian đẩy mẫu*), áp lực của khí nén sẽ đẩy đệm vào hệ thống, đệm đẩy một phần mẫu vào mao quản, một phần đi ra ngoài. Khi mẫu vào mao quản, phần mềm sẽ điều khiển bật nguồn cao thế để áp thế vào 2 đầu mao quản, thực hiện quá trình điện di. Đầu cuối của mao quản và điện cực cao thế được đưa vào giao diện cao thế và đặt trong hộp an toàn. Detector C⁴D được đặt gần đầu cuối mao quản gần với điện cực cao thế. Với nguyên lý hoạt động như trên, lượng mẫu vào mao quản có thể được điều chỉnh bằng việc thay đổi các thông số: thời gian chuyển mẫu, thời gian đẩy mẫu, vị trí van kim.

Trong nghiên cứu này, một kênh của hệ điện di sẽ được sử dụng để phân tích các cation NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , kênh còn lại được dùng để phân tích các anion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- . Để xây dựng quy trình phân tích cả 2 nhóm cation và anion nêu trên, trước tiên, điều kiện tách điện di như: thành phần đệm, pH đệm, điện thế tách được khảo sát và tối ưu hóa cho từng nhóm cation, anion trên hệ điện di mao quản 1 kênh, bơm mẫu kiểu xyphông. Sau đó, 2 quy trình này được áp dụng cho 2 kênh của hệ tự động vận hành bằng khí nén đã mô tả ở trên. Các thông số vận hành của hệ (đặt chung cho 2 kênh) quyết định đến lượng mẫu vào mao quản sẽ được khảo sát và tối ưu hóa bao gồm: thời gian chuyển mẫu, thời gian đẩy mẫu, độ mở van chia. Trong quá

trình tối ưu hóa, các kết quả về diện tích tín hiệu và độ phân giải giữa hai pic liên kề sẽ được sử dụng để đánh giá và lựa chọn các điều kiện tối ưu.

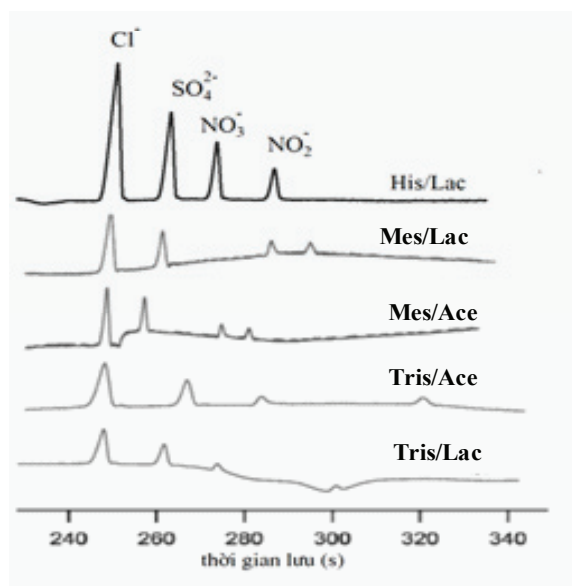
Kết quả và thảo luận

Tối ưu các điều kiện tách điện di

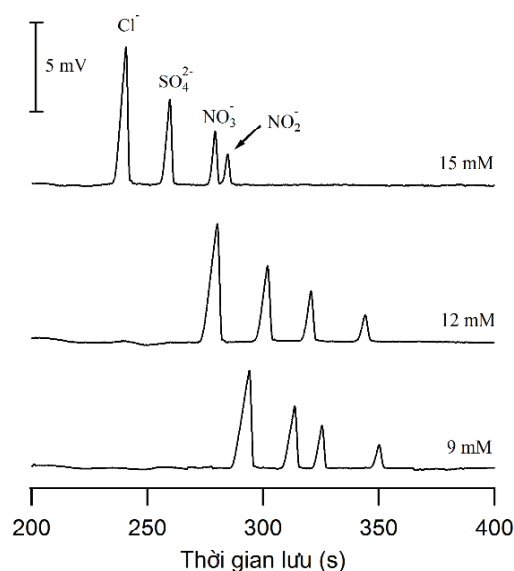
Các thí nghiệm được thực hiện dưới đây đều sử dụng dung dịch chuẩn anion chứa các ion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ở nồng độ 2 ppm, hoặc dung dịch chuẩn cation chứa các ion NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ở nồng độ 2 ppm.

Quy trình tách các anion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- :

Ảnh hưởng của thành phần và nồng độ đệm: trong nghiên cứu này, 5 hệ đệm khác nhau ở pH = 4,0 được sử dụng để đánh giá sự ảnh hưởng đến khả năng phân tách các anion: histidin 12mM - axit lactic (His/Lac); axit 2-(N-morpholino) etansunfonic 20mM - axit axetic (Mes/Ace); axit 2-(N-morpholino) etansunfonic 20mM - axit lactic (Mes/Lac); Tris(hidroxyethyl) aminometan 20mM - axit axetic (Tris/Ace); Tris(hidroxyethyl) aminometan 20mM - axit lactic (Tris/Lac). Điện thế tách giữ cố định ở +15 kV. Các sắc đồ điện di thu được được trình bày trong hình 2 và hình 3 cho thấy, các hệ đệm đều có khả năng phân tách cả 4 anion này. Trong đó, hệ đệm His/Lac ở pH 4 với nồng độ 15mM histidin cho kết quả phân tách giữa các pic tốt (đặc biệt hai pic cuối là NO_2^- và NO_3^- có diện tích cao, thời gian lưu ngắn, tốt hơn hẳn so với các hệ đệm còn lại). Do đó, hệ đệm His/Lac 15mM pH = 4 được lựa chọn để tiếp tục tối ưu các điều kiện tiếp theo.

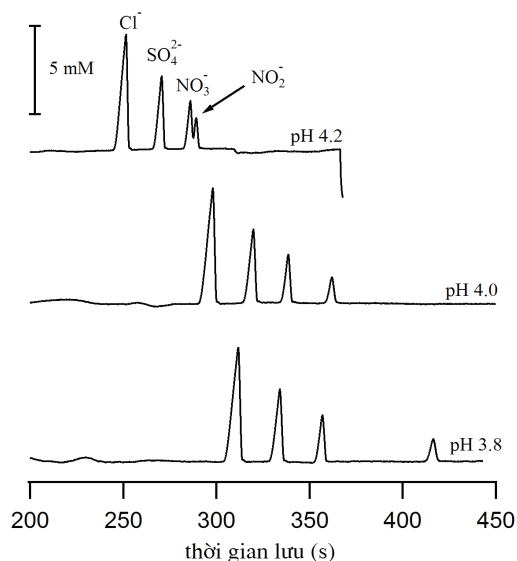


Hình 2: điện di đồ tách các anion sử dụng các hệ đệm khác nhau có pH = 4



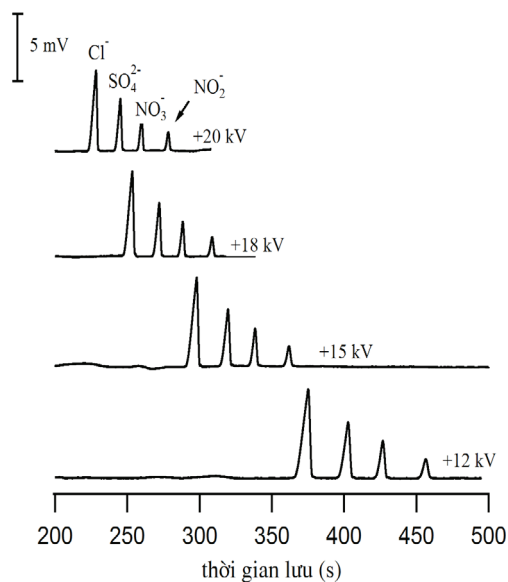
Hình 3: điện di đồ tách các anion khi thay đổi nồng độ Histidin trong đệm His-Lac pH = 4

Ảnh hưởng của pH đệm: trong các anion nghiên cứu, ion NO_2^- là một bazơ yếu (lưu ý pK_a của HNO_2 là 3,15), do đó pH của hệ đệm nên lớn hơn 3,15. Trong nghiên cứu này, pH của hệ đệm được thay đổi ở các mức: 3,8; 4,0 và 4,2. Kết quả thu được cho thấy, khi pH tăng thì diện tích pic NO_2^- tăng dần, nhưng thời gian lưu ngắn lại dẫn tới độ phân giải giữa NO_2^- và NO_3^- giảm. Khi pH = 4,2, hai pic này đã bị xen phủ (xem hình 4). Ở khảo sát này, pH 4,0 được lựa chọn là điều kiện tối ưu vì diện tích pic NO_2^- là lớn nhất, đồng thời độ phân giải giữa hai pic NO_2^- và NO_3^- đạt yêu cầu ($R > 1,5$); mặt khác, thời gian phân tích cũng được rút ngắn.



Hình 4: điện di đồ tách các anion khi thay đổi pH của đệm 12mM His-Lac

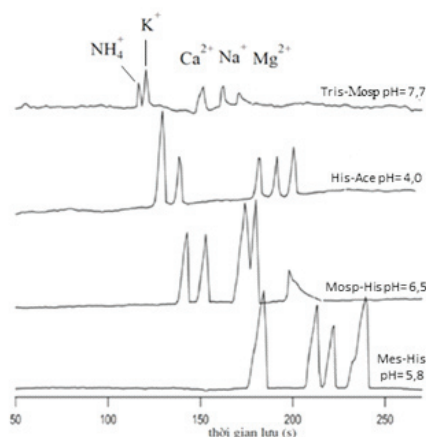
Ảnh hưởng của điện thế tách: các mức điện thế được khảo sát lần lượt là: +12 kV; +15 kV; +18 kV và +20 kV. Từ hình 5 cho thấy, tại giá trị thế +15 kV, độ phân giải giữa các pic đạt giá trị lớn nhất, đồng thời thời gian phân tích cũng không quá dài. Do đó, giá trị thế +15 kV được lựa chọn là điều kiện tối ưu để tiếp tục khảo sát các điều kiện tiếp theo.



Hình 5: điện di đồ tách các anion với đệm 12mM His-Lac pH = 3,8 khi thay đổi thế tách

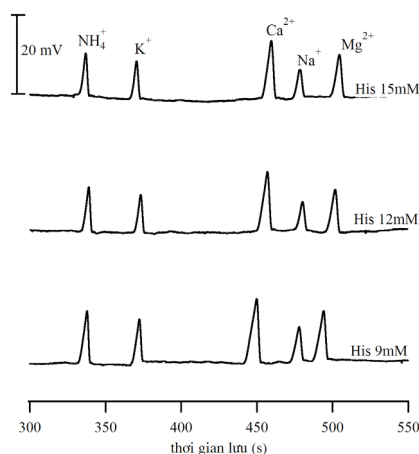
Tối ưu điều kiện phân tích các cation: NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}

Ảnh hưởng của thành phần đệm: để đánh giá khả năng phân tách các cation, 4 hệ đệm sau đã được sử dụng: 50mM Tris/50mM axit 2-(N-morpholino)propanesulfonic Mosp pH 7,7 (Tris-Mosp), 10mM Mes/10mM histidin pH 6,5 (Mes-His), 10mM Mosp/10mM histidin pH 5,8 (Mosp-His) và 12mM histidin thêm axit axetic đến pH 4,0 (His-Ace); tất cả các đệm trên đều thêm chất bổ sung là 18-crown-6 (2mM) để tách hai pic NH_4^+ , K^+ và các hệ đệm có pH > 4 đều thêm cetyltrimetylamoni bromua để khống chế ảnh hưởng của dòng điện di thẩm thấu (EOF). Các kết quả chỉ ra ở hình 6 cho thấy, chỉ có 2 hệ đệm (His/Ace và Tris/Mops) có khả năng phân tách tốt cả 5 cation. Tuy nhiên, hệ đệm His-Ace cho hình ảnh pic sắc nét và chiều cao pic lớn hơn so với đệm Tris-Mops, điều này là do độ dẫn của đệm His-Ace thấp hơn so với đệm Tris-Mops. Do đó, đệm His/Ace được dùng để tiếp tục đánh giá.



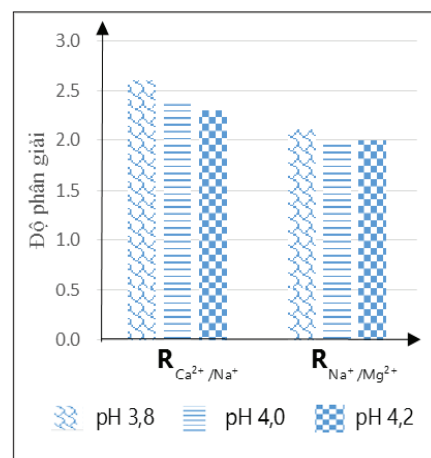
Hình 6: điện di để tách các cation khi sử dụng các hệ đệm khác nhau

Ảnh hưởng của nồng độ đệm: yếu tố tiếp theo được khảo sát là nồng độ histidin trong đệm với các mức: 9mM, 12mM và 15mM. Theo hình 7 có thể thấy, trong khoảng nồng độ đệm này, thời gian lưu của các ion hầu như không đổi; riêng đối với Na^+ khi nồng độ đệm tăng, tốc độ di chuyển của Na^+ tăng lên, dẫn tới độ phân giải giữa hai pic $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ giảm và $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ tăng. Theo kết quả này, đệm histidin 12mM được lựa chọn cho việc tối ưu các điều kiện tiếp theo.



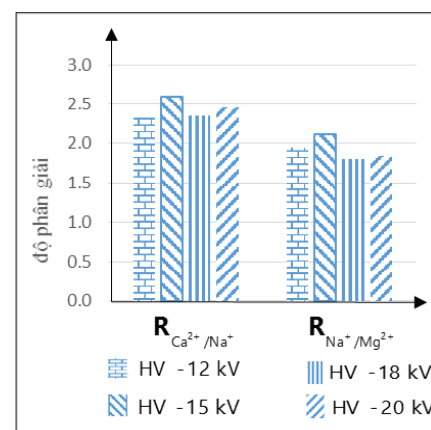
Hình 7: điện di để tách các cation khi thay đổi nồng độ Histidin trong đệm His-Ace pH = 4

Ảnh hưởng của pH đệm và thế tách tới độ phân giải của các tín hiệu cation: khi thay đổi pH của đệm 12mM His-Ace tại 3 giá trị (4,2; 4,0 và 3,8), diện tích tín hiệu thay đổi không đáng kể, còn độ phân giải giữa các pic $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ và $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ tăng khi pH giảm (xem hình 8). Nếu pH thấp hơn 3,5 khả năng đệm của hệ này sẽ kém, còn khi pH cao có sự xuất hiện không mong muốn của dòng điện di thẩm thấu, do vậy chúng tôi lựa chọn giá trị 3,8 là pH tối ưu cho đệm.



Hình 8: độ phân giải giữa các pic $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ và $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ khi thay đổi pH của đệm His/Ace

Tương tự như đối với các anion, điện thế tách cũng được khảo sát trên kênh cation, với các mức: -12 kV, -15 kV, -18 kV và -20 kV. Kết quả thu được cũng cho thấy, khi tăng trị số điện thế tách, thời gian lưu giảm và diện tích pic giảm, đồng thời chân pic cũng được thu hẹp, các giá trị độ phân giải giữa các pic $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ và $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ đều đạt >1,5 (hình 9). Trong khảo sát này, giá trị điện thế tách tối ưu được lựa chọn là -15 kV do có độ phân giải tốt nhất và thời gian lưu hợp lý.



Hình 9: độ phân giải giữa các pic $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ và $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ khi thay đổi thế tách

Tối ưu các điều kiện dẫn lỏng

Trong phương pháp điện di mao quản, lượng mẫu nạp vào cột mao quản ảnh hưởng đến sự phát hiện và phân tách các chất. Trên hệ thiết bị điện di mao quản xách tay 2 kênh tự động, lượng mẫu này phụ thuộc vào các thông số: thời gian chuyển mẫu từ vòng mẫu đến giao diện nối đất (t_c), thời gian đẩy mẫu (t_d) và vị trí van chia dòng (VP). Lưu

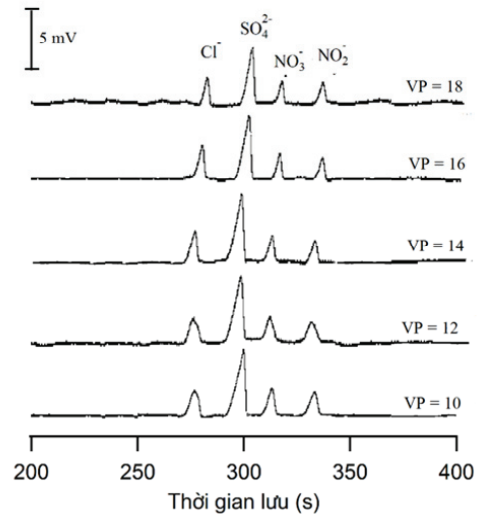
ý rằng, áp suất khí nén cũng ảnh hưởng đến lượng mẫu đi vào mao quản, tuy nhiên, do đặc điểm của các van chỉ chịu được một áp lực nhất định. Do đó, yếu tố này được giữ cố định ở 0,6 bar. Qua khảo sát sơ bộ cho thấy, sự ảnh hưởng của các yếu tố thời gian đẩy và thời gian chuyển mẫu tới sự phân tách các pic cation không lớn như với các anion. Đồng thời, do cấu tạo của hệ thiết bị, thời gian đẩy và thời gian chuyển mẫu giữa hai kênh là như nhau. Do đó, trong nghiên cứu này hai yếu tố trên được khảo sát đối với hoạt động của kênh anion.

Ảnh hưởng của thời gian chuyển mẫu từ vòng mẫu đến trước giao diện nối đất: thời gian chuyển mẫu là thông số được khảo sát trước tiên, trong khoảng từ 1÷3 s. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, khi thời gian chuyển tăng, diện tích pic giảm dần, đồng thời hình dạng pic trở nên kém sắc nét; với thời gian chuyển ≥ 3 s thì các pic đã bị biến dạng. Điều này là do khi tăng thời gian chuyển mẫu xuất hiện hiện tượng khuếch tán đoạn mẫu vào dòng đệm. Giữa thời gian chuyển 1 s và 2 s, giá trị 1 s cho diện tích pic lớn hơn, trong khi độ phân giải vẫn đủ tốt. Do đó, chúng tôi chọn $t_c = 1$ s là điều kiện tối ưu để tiếp tục khảo sát.

Ảnh hưởng của thời gian đẩy mẫu vào mao quản: trong nghiên cứu này, thời gian đẩy mẫu được khảo sát trong khoảng từ 1÷4 s, khi thời gian đẩy mẫu tăng, lượng mẫu vào mao quản tăng, dẫn đến diện tích các pic tăng dần. Ở giá trị $t_d = 1$ s, diện tích các pic tương đối nhỏ, trong khi đó, $t_d \geq 3$ s chân pic bị giãn rộng do lượng mẫu vào mao quản lớn hơn nhưng bị khuếch tán vào dòng đệm làm giảm độ phân giải. Chính vì vậy, thời gian đẩy mẫu $t_d = 2$ s được chọn là giá trị tối ưu.

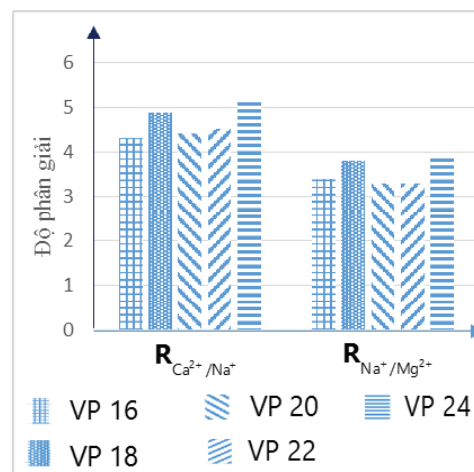
Ảnh hưởng của vị trí van chia dòng:

Ảnh hưởng của vị trí van chia dòng đối với việc phân tách các cation: vị trí van kim có ảnh hưởng đến việc tạo ra áp suất ngược dẫn tới lượng mẫu vào đầu mao quản có thể thay đổi. Do đó, thông số này cũng được khảo sát với vị trí van kim được thay đổi từ VP 16 đến VP 24 (tương ứng độ mở van tăng dần) với bước nhảy là 2, các thông số còn lại cũng được giữ không đổi. Ở vị trí VP 16, lượng mẫu vào mao quản lớn khiến các pic bị tù. Khi tăng độ mở van kim, lượng mẫu vào mao quản nhỏ dần, diện tích các pic vào mao quản nhỏ dần. Giá trị VP 18 được lựa chọn cho kênh cation là điều kiện tối ưu về diện tích pic và độ phân giải giữa các cation (hình 10).



Hình 10: ảnh hưởng của vị trí van kim chia dòng tới sự phân tách các pic anion

Ảnh hưởng của vị trí van chia dòng đối với việc phân tách các anion: việc khảo sát ảnh hưởng của vị trí van chia đến sự phân tách các pic anion được tiến hành như với các cation, trong đó giá trị VP thay đổi từ 10÷18 với bước nhảy là 2. Trên cơ sở kết quả tốt nhất cho cả diện tích pic và độ phân giải giữa các cation, giá trị VP 14 được lựa chọn cho vị trí của van kim ở kênh anion (hình 11).



Hình 11: ảnh hưởng của vị trí van kim chia dòng tới sự phân tách các pic cation

Kết luận

Nghiên cứu đã khảo sát thành công quy trình tách các cation NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} và anion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- để phân tích sự có mặt của các ion này trong mẫu nước đồng thời trong một lần bơm mẫu trên 2 kênh của một hệ điện di mao quản đa kênh tự động tự chế tạo. Kết quả trên là tiền đề

cho các nghiên cứu tiếp theo để đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp và thiết bị cho mục đích phân tích các cation và anion trong mẫu nước ngay tại hiện trường.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính từ Bộ Công thương thông qua Đề tài 13/HĐ-ĐT.13.14/CNMT thuộc Đề án “Phát triển ngành công nghiệp môi trường Việt Nam đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025”.

Tài liệu tham khảo

[1] Kuban, Nguyen H.T.A, Macka M, Haddad P.R, Hauser P.C (2007), “New fully portable instrument for the versatile determination of cations and anions by capillary electrophoresis with contactless conductivity detection”, *Electroanalysis*, **19(19-20)**, pp.2059-2065.

[2] Pham Thi Thanh Thuy, Duong Hong Anh, Le Minh Duc, Pham Hung Viet (2014), “Determination of major anions in surface water by portable automated capillary electrophoresis with coupled capacitively contactless conductivity detector”, *Tạp chí Hóa học*, **T52(5)**, pp.654-658.

[3] Nguyen Bich Ngoc, Duong Hong Anh, Pham Hung

Viet (2014), “Development of analytical procedure for determination of free cyanide in water using automatic sample injection capillary electrophoresis system coupled with contactless conductivity detector”, *Tạp chí Hóa học*, **T52(6)**, pp.794-798.

[4] Nguyễn Văn Tăng, Nguyễn Duy Chiến, Nguyễn Văn Quân, Phạm Thị Thanh Thủy, Dương Hồng Anh, Phạm Hùng Việt (2014), “Khảo sát điều kiện làm việc của hệ điện di mao quản tự động với hệ bơm mẫu tuần tự và ứng dụng vào quan trắc liên tục các cation vô cơ trong nước mặt”, *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội*, **Vol. 30, No. 6S-C**.

[5] Đề tài trọng điểm cấp Đại học Quốc gia Hà Nội, mã số QGTD 08.04 “Chế tạo thiết bị xác định các tiểu phần arsen vô cơ trong nước ngầm theo nguyên lý của phương pháp điện di mao quản”, 2010.

[6] Đề tài nghiên cứu 03/HĐ-ĐT.03.12/CNMT “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị điện di mao quản tự động phục vụ quan trắc môi trường”, Chương trình phát triển công nghệ môi trường, Bộ Công thương, 2013.

[7] Đề tài trọng điểm cấp Đại học Quốc gia Hà Nội, mã số QGTD 12.03 “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống điện di mao quản tự động, sử dụng tại hiện trường và áp dụng cho phân tích đa chỉ tiêu trong môi trường”, 2014.