

G-3

陰イオン排除/陽イオン交換クロマトグラフィーによるイオン性栄養塩類の同時分析法の開発と水耕栽培における肥料養液管理への応用

○光井優太（高知大学理工），小崎大輔（高知大学理工），森 勝伸（高知大学理工）
佐合悠貴（山口大学創成），藤原 拓（京都大学工学）

【緒言】 水耕栽培は，栽培に土ではなく，ロックウールなどの無機培地やヤシ殻などの有機培地を用い，少量の水耕養液を継続的に滴下して栽培する手法であり，先端的な農業技術として普及が進んでいる。一方で，排水における環境負荷が懸念され，その低減措置が重要な課題である。¹⁾ そこで，我々の研究グループでは，イオンクロマトグラフィー（IC）の技術を応用し，施肥管理を目的とした肥料養液に含まれるイオン性栄養塩類（ NO_3^- ， NO_2^- ， NH_4^+ ， HPO_4^{2-} ， K^+ ）の同時分離定量法を開発してきた。しかし，これまでの研究で開発された IC 法は，塩基性溶離液²⁾を用いており，水耕溶液に含まれる Mg^{2+} 及び Ca^{2+} が水酸化物沈殿するという問題を含んでいた。

そこで，本研究では，上述のような問題が生じない酸性移動相を用いた陰イオン排除/陽イオン交換分離を活用した。さらに，従来型のカルボキシル基を有する弱酸性の陽イオン交換カラムを用いる陰イオン排除/陽イオン交換分離では， Cl^- ， NO_3^- 及び HPO_4^{2-} の分離が不十分であったが，本研究では，カルボキシル基を有するカラムに加え，スルホ基を有するカラムを併用し，従来法の問題を改善しつつ，新たなイオン性栄養塩類の同時定量法の確立を目的として検討を行った。

【実験】 イオンクロマトグラフは送液ポンプ（島津製作所製 LC-10AD），カラムオーブン（島津製作所製 CTO-10AC sp）及び電気伝導度検出器（島津製作所製 CDD-6A）で構成された。分離カラムにはカルボキシル基を有する弱酸性の陽イオン交換カラムである東ソー製の TSKgel Super IC-A/C（6mm i.d. × 150 mm）及びスルホ基を有する強酸性の陽イオン交換カラムである Shodex 製の SH-1011（8mm i.d. × 300 mm）を用いた。測定条件として，溶離液流速 1.0 mL/min，試料注入量 20 μL ，カラム温度 55 $^\circ\text{C}$ で行った。溶離液には酒石酸及び NH_4^+ と K^+ の分離を目的とした 18-crown-6 を混合した溶離液を用いた。

【結果】 その結果，Fig. 1 に示すように，カルボキシル基及びスルホ基を有する 2 種類のイオン交換カラムと 5 mM 酒石酸及び 3 mM 18-crown-6 の混合溶離液を用いることにより，約 20 分以内で分析対象としたイオン性栄養塩類（ NO_3^- ， NH_4^+ ， HPO_4^{2-} ， K^+ ）に加え，水耕栽培用の肥料養液に含まれる SO_4^{2-} ， Mg^{2+} 及び Ca^{2+} についても同時分離が達成された。³⁾ その際の各イオン成分の検量線の直線性（ $R^2 = 0.998-0.999$ ），ピーク面積及び保持時間の再現性（ $\text{RSD} = 0.17-2.59\%$ ， $0.03-0.04\%$ ），添加回収率（96.7-104%）は良好な値が得られた。また，上述の最適分離条件を用い，レタスの栽培時の水耕養液に含まれるイオン性栄養塩類の測定を行ったところ，経時変化のモニタリングが可能となり，塩基性溶離液の課題が改善された。

今後は，本分析条件では，酸性溶離液による酸化反応から，分析が不可能であった NO_2^- の同時分離についても検討を継続する予定である。また，実際的な水耕栽培農家への導入についても検討を予定している。

【文献】 1) 溶液栽培における培養液処理の手引き，山口県農業試験場（2007）.，2) D. Kozaki, S. Tanihata, M. Mori, K. Tanaka, A. Yamamoto, *Bunseki Kagaku* 2019, **68**(4), pp. 253-258., 3) D. Kozaki, Y. Sago, T. Fujiwara, M. Mori, C. Kubono, T. Koga, Y. Mitsui, T. Tachibana, *Agronomy*, 2021, **11**(9), pp. 253-258.

【謝辞】 本研究は一般社団法人ヤンマー資源循環支援機構補助金及び内閣府助成金 IoP (Internet of Plants) 「次世代型施設園芸農業」の支援を受けたものです。

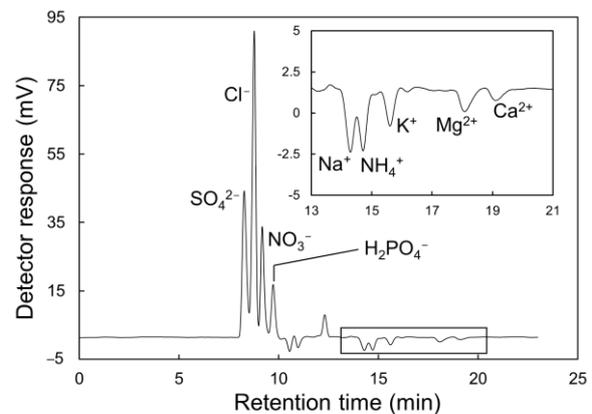


Fig. 1 スルホ基及びカルボキシル基を有するカラムを用いたイオン性栄養塩類（ NO_3^- ， NH_4^+ ， HPO_4^{2-} ， K^+ ）の同時分離クロマトグラム