

土中の窒素の形態変化と荷電バランスを考慮した植物根の能動吸収 Active root nutrient uptake with nitrogen transformation and charge balance

○田崎小春*, 取出伸夫**, 三口貴久代**, 徳本家康***

○Koharu Tasaki*, Nobuo Toride**, Kikuyo Mikuchi**, Ieyasu Tokumoto***

1. はじめに

土中の有機物分解により無機化された NH_4^+ は, NO_3^- に硝化され, さらに脱窒されて N_2 となる. これらの形態変化は H^+ の授受を伴い, 土中水の pH を変化させるが, 同時に粘土鉱物や有機物の変異荷電により pH 緩衝作用が働く. 土中水中の NH_4^+ や NO_3^- は, 植物根により吸収されるが, それぞれの吸収速度も土中水 pH に影響する. これまで, HP1 プログラムを用いて荷電を考慮した土中の有機物分解モデルを表現し, 陽イオン交換, 陰イオン交換, pH 緩衝作用を考慮した反応移動モデルが構築してきた. 本研究では, 植物根による NH_4^+ と NO_3^- の吸収に対して, 荷電バランスを考慮した能動吸収モデルを適用した. そして, NH_4^+ と NO_3^- の吸収が窒素の形態変化と移動に及ぼす影響を検討した.

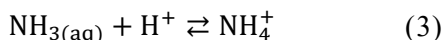
2. HP1 を用いた反応移動モデル

(1) 荷電を考慮した有機物分解モデル

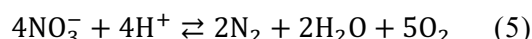
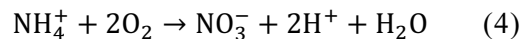
土中に投入された易分解性有機態炭素 (Org-C) は, 一次分解によりバイオマス炭素 (Bio-C), 腐植炭素 (Hum-C), CO_2 に分解される.



同様に, 有機態窒素 (Org-N) はバイオマス窒素 (Bio-N), 腐植窒素 (Hum-N) に分解されるが, 有機物の C/N 比に応じて NH_3 として無機化され, 水中では NH_4^+ に電離する.



NH_4^+ は硝化され, NO_3^- は脱窒される.



pH 緩衝作用は H^+ の授受が生じる反応基を用いた変異荷電モデル (VCM) を用いて表し, NH_4^+ は陽イオン交換, NO_3^- は陰イオン交換が生じるとした.

(2) 植物根の吸収モデル

植物根は, 成分ごとに可能要求速度 (R_p) [$\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$] を満たすように溶質を吸収する. 各位置の実吸収速度 [$\text{ML}^{-3}\text{T}^{-1}$] は, 実受動吸収速度 p_a と実能動吸収速度 a_a の和である (Šimůnek and Hopmans, 2009).

$$r_a(z, t) = p_a(z, t) + a_a(z, t) \quad (6)$$

ここで, z は位置 [L], t は時間 [T], p_a は吸水速度と濃度の積である. 根域全体の可能能動吸収速度 A_p は, R_p に対する根域全体の実受動吸収速度 P_a の不足分である.

$$A_p(t) = \max[R_p(t) - P_a(t), 0] \quad (7)$$

A_p は, 吸水強度分布 $b(z)$ [L^{-1}] を乗じて各位置の可能能動吸収速度 a_p に分配する. 実能動吸収速度 a_a の濃度依存性は, Michaelis-Menten 式で与える.

$$a_a(z, t) = \frac{c(z, t) - c_{\min}}{K_m + c(z, t) - c_{\min}} b(z) A_p(t) \quad (8)$$

ここで, $c(z, t)$ は各成分の濃度 [ML^{-3}], c_{\min} は最小能動吸収濃度 [ML^{-3}], K_m は定数 [ML^{-3}] であり, K_m が小さいほど低溶質濃度における a_a が大きくなる. 電荷を持つイオンの能動吸収では, 吸収による電荷バランスを保つ必要がある. そこで, NH_4^+ では H^+ , NO_3^- では OH^- が吸収量と等しく放出されると仮定した.

*鹿児島大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University

**三重大学大学院生物資源学研究科 Graduate School of Bioresources, Mie University

***佐賀大学農学部 Faculty of Agriculture, Saga University

キーワード: 有機物分解モデル, 植物根, 能動吸収, 変異荷電, pH 緩衝作用

3. 計算事例

0.001 mmol cm⁻³ の KCl 溶液と平衡させた 100 cm の黒ボク土層の上層 30 cm に、CN 比 10 の有機物を一様に 0.88 mmol cm³ 与えた。有機物分解定数は 0.2 d⁻¹，硝化定数は 0.1 d⁻¹ とし，脱窒は生じないとした。初期水分条件は，上端圧力水頭 $h = -100$ cm，下端 $h = 0$ cm の平衡分布とした。境界条件は，上端は一定水分フラックス 0.5 cm d⁻¹，下端は $h = 0$ cm とした。可能蒸散速度は 0.4 cm d⁻¹ として，吸水には Feddes モデルを用い，根域深さは 30 cm， $b(z)$ は深さによらず一定とした。黒ボク土の荷電特性は，VCM の実測値に対する適合させて与えた。計算期間は 40 日とした。

吸収条件は，受動吸収はゼロとして，条件 1 では NH₄⁺ と NO₃⁻ が等しい能動吸収特性，条件 2 では NH₄⁺ の a_a が NO₃⁻ より吸収速度が小さい (Fig.1)。Fig.2 に 40 日における土単位体積あたりの陽イオン濃度，陰イオン濃度の鉛直分布を示す。陽イオンは，K⁺ と NH₄⁺，陰イオンは Cl⁻ と NO₃⁻ の積み上げ図として示した。無機化された NH₄⁺ は K⁺ と陽イオン交換して吸着し，また NO₃⁻ へ硝化しながら 50 cm まで浸透した。NH₄⁺ の a_a が小さい条件 2 では，根域 (30 cm) における条件 1 よりも NH₄⁺ の濃度は高い。条件 2 の表層 15 cm 付近において Cl⁻ 濃度が条件 1 よりも高いのは，硝化により生成した NO₃⁻ が交換吸着して Cl⁻ が脱着したためである。また NO₃⁻ は低濃度領域でより多く能動吸収されるため (Fig.1)，低濃度を維持した。

Fig.3 は 40 日における土中水 pH，全陽イオン交換容量 (CEC)，全陰イオン交換容量 (AEC) の鉛直分布の比較である。根域の pH は，NH₄⁺ の a_a が大きい方が低い。これは NH₄⁺ の能動吸収で H⁺ が放出されたことが原因である。また黒ボク土の荷電特性により，低 pH の根域において CEC が低下した，本研究で用いた荷電バランスを考慮した能動

吸収モデルにより，NH₄⁺ と NO₃⁻ の吸収が窒素成分の形態変化と土中水 pH に与える影響を表現できた。

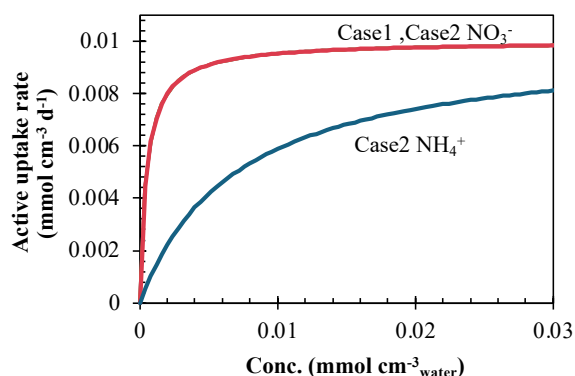


Fig.1 Active nutrient uptake rate based on the Michaelis-Menten equation.

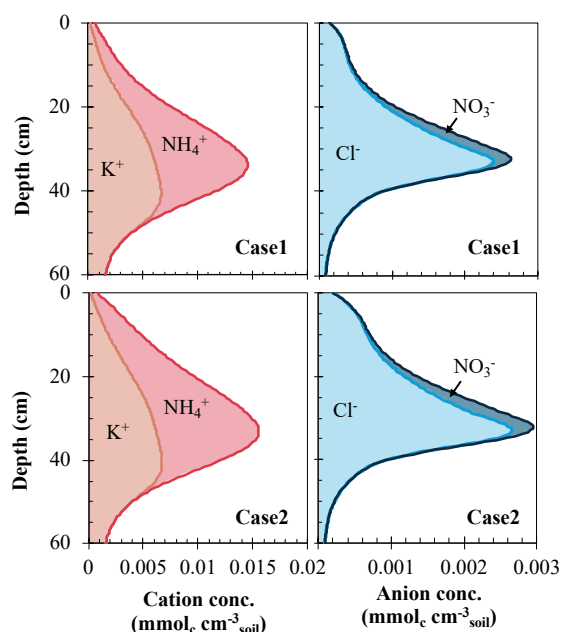


Fig.2 Total cation and anion concentration profiles at 40 d.

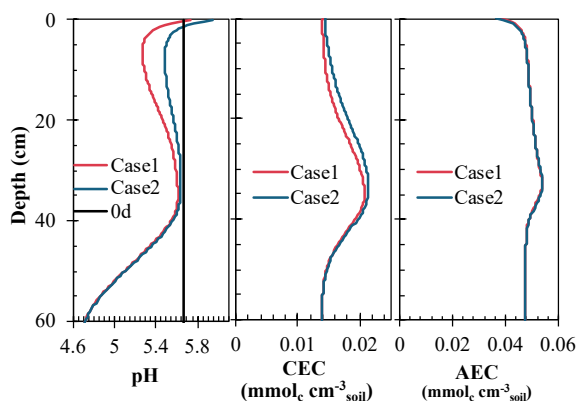


Fig.3 pH, CEC, and AEC profiles at 40 d.