

浸透過程にある 3 種の不飽和土における窒素の吸着と硝化

Ammonium adsorption and Nitrification in 3 soils under unsaturated water flow

中西 真紀¹・渡辺 晋生¹¹三重大学大学院生物資源学研究所

要旨(Abstract)

土中の窒素は、吸着や硝化を経て移動する。本研究では、CEC の異なる 3 つの土でバッチ試験と浸透実験を行い、 NH_4^+ の吸着量と硝化量を求めた。硝化量はバッチ試験と浸透実験で異なった。そこで、数値解析により NH_4^+ の吸着態および溶存態の反応速度を検討した。

キーワード：CEC，一次分解反応，バッチ試験，カラム実験

Key words: Cation exchange capacity, First-order rate constant, Batch experiment, Column experiment

1. はじめに

土中の窒素は、微生物を介して無機化や硝化され、農作物や樹木を育てる栄養となる。 NH_4^+ は土中で吸着態および溶存態として存在する。 NH_4^+ の吸着特性は、土の交換性陽イオン容量 CEC により異なる。 NH_4^+ の硝化は一次分解反応で近似できるが、吸着態と溶存態の反応の違いはよくわかっていない。硝化の反応速度定数は、一般的にバッチ試験で評価されるが、実際の圃場では、吸脱着や移流により、土中の陽イオン量は変化する。このような変化が、 NH_4^+ の吸着特性や硝化量にどのような影響を与えるのかは不明である。そこで本研究では、CEC の異なる 3 種の土でバッチ試験と不飽和浸透実験を行い、それぞれの実験における硝化量と、土中の NH_4^+ 分布や陽イオン流出濃度を明らかにした。また、数値計算により NH_4^+ の吸着態および溶存態の硝化の反応速度定数を検討した。

2. 試料と方法

試料には、三重大学内圃場土（沖積土 1：CEC = 8 cmolc/kg）、三重大学と岩手大学の附属農場の畑土（沖積土 2：CEC = 15，黒ぼく土：CEC = 46）の風乾土 2 mm 篩通過分を使用した。バッチ試験では、試料に硫酸 5 cmol-N/L 水溶液を全体に少しずつ混ぜ、気相率 20%になるよ

う内径 5 cm の 50 cm³ 円筒に詰めた。そして、一定水分量、25°C で 35 d インキュベートした。同様に作成した 11 試料を 任意の時間に解体し、土中の pH と EC を測定するとともに、10 %KCl 水溶液および純水を用いて土中水を抽出した。そして吸光光度計 (DR6000) を用いて抽出液の窒素濃度を測定した。KCl と純水で抽出し測定した NH_4^+ は、それぞれ全量と溶存量とみなした。

浸透実験では、高さ 20 cm，内径 5 cm のカラムに、純水で湿らせた土を詰めた。上端から純水を 5 d，硫酸 5 cmol-N/L を 9 d，純水を 18 d 滴下した（計 32 d）。滴下速度は 0.8 cm/d で一定とした。カラムの 3 深度に 4 極センサとテンシオメータを設置し、電気伝導度 EC と圧力水頭を 10 分間隔で測定した。また、下端から 35.5 cm 下方に排水口を設け、排液を 30 mL 毎に採取した。14 d と 32 d にカラムを解体し、各深さの含水比と pH，土中水の窒素濃度を測定した。排液についても、窒素濃度と pH，EC をそれぞれ測定し、陽イオン濃度を液体イオンクロマトグラフィーで測定した。実験は 25°C の恒温室で行った。また、 NH_4^+ の硝化反応の様子を、水分移動式とイオン交換反応式、一次分解の連鎖反応式を用いて解析した。反応には、 NH_4^+ の溶存態と吸着態の反応速度定数 k_a ， k_1 をそれぞれ与え、計算は HP-1 で行った。

3. 結果と考察

図 1 に、沖積土 1 と黒ぼく土のバッチ試験の結果を示す。10 d までは、 NH_4^+ の減少よりも NO_3^- の増加が卓越した。 NH_4^+ の全量に占める溶存態の割合は、35 d 間で概ね変化せず、沖積土 1 で 53 %、黒ぼく土で 31 %だった。図 2 に、浸透実験の排液中 NO_3^- 濃度の変化を、 NH_4^+ 添加開始を 0 d として示す。約 9 d で 1 PV が流れた。10 d 以降の NO_3^- 流出は硝化由来と考えられ、10-28 d の流出量は沖積土 1 で 0.2 cmol、沖積土 2 で 0.6 cmol、黒ぼく土で 0.04 cmol となった。また、 NH_4^+ を添加し始めてから約 9 d 間、排液中の 2 価陽イオン (Mg^{2+} , Ca^{2+}) が計 3 cmol/L まで増加した。これは、土に吸着していた陽イオンの NH_4^+ との交換によると考えられる。図 3 に、 NH_4^+ の吸着態および溶存態の 32 d の土中分布を示す。吸着態の NH_4^+ は上層に多く、黒ぼく土で最も多く分布した。溶存態の NH_4^+ は沖積土 1・2 に 0.06 cmol、黒ぼく土に 0.03 cmol とわずかだった。32 d の NH_4^+ の全量に占める溶存態の割合は、沖積土 1 で 12 %、沖積土 2 で 28 %、黒ぼく土で 4 %だった。

試料の硝化速度や NH_4^+ の全量に占める溶存態の割合は、バッチ試験と浸透実験で異なった。硝化の反応速度定数は、 NH_4^+ の吸着態および溶存態の速度定数が等しい場合、バッチ試験では沖積土 1 で 0.01 /d、黒ぼく土で 0.04 /d、浸透実験では各土で 0.04, 0.005 /d となった。浸透過程では土中陽イオンの減少などが、 NH_4^+ の脱着や硝化に影響を与えられられる。また、CEC が高く NH_4^+ の吸着量の大きい黒ぼく土で、浸透過程での硝化が少なくなった。そこで、 NH_4^+ の吸着態と溶存態のそれぞれの反応速度を検討した。

図 4 に、排液中 NO_3^- 濃度の変化を数値解析した結果を示す。反応速度定数が $k_a = k_l = 0.04$ /d の場合、CEC による NO_3^- 生成量の差は小さかった。 $k_a = 0.001$, $k_l = 0.2$ /d の場合、CEC が高いと NO_3^- 生成量は少なくなった。 $k_a \ll k_l$ の時は、溶存態の NH_4^+ が硝化と流出により早い段階で土から消失し、15 d 以降は硝化が進行しないと言える。

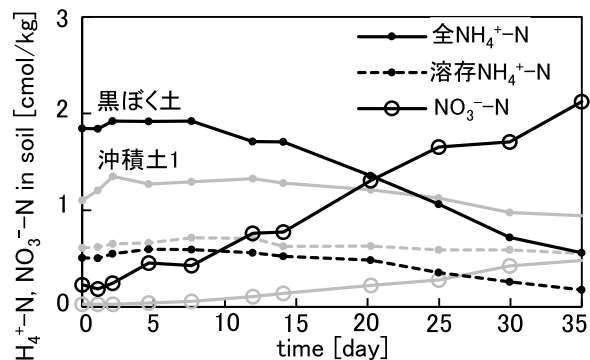


図 1 窒素各態の時間変化(バッチ試験)

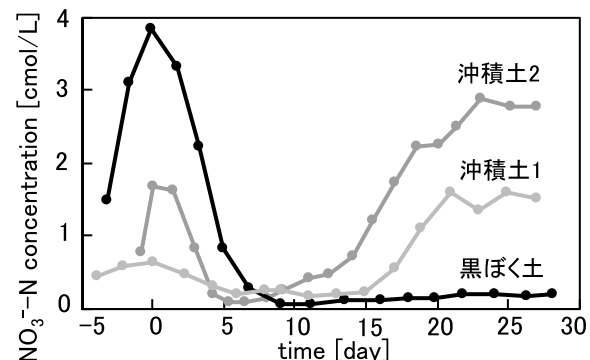


図 2 排液中 NO_3^- -N 濃度の時間変化(浸透実験)

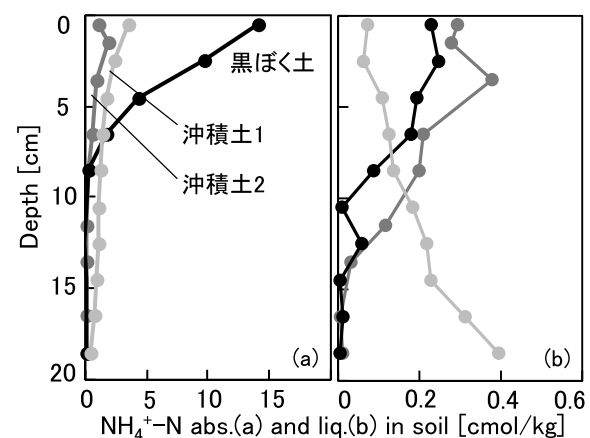


図 3 吸着態および溶存態の NH_4^+ -N 土中分布

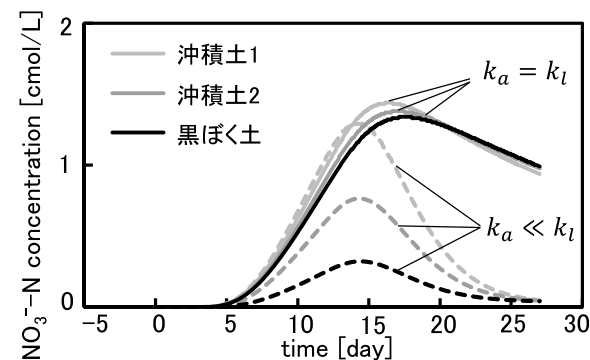


図 4 排液中 NO_3^- -N 濃度の時間変化(浸透過程の解析結果)