

異なる温度の不飽和黒ボク土中のアンモニア態窒素の硝化と浸透

Nitrification and Nitrate leaching in an Andisol under Different Temperature

草深有紀・中西真希・○渡辺晋生

Yuki KUSAFUKA, Maki NAKANISHI and Kunio WATANABE

はじめに 土中の窒素は微生物によってアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) と態を変え、植物に吸収される。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は植物生長に必須であるが、過剰に存在すると環境汚染の原因となる。ところで、土中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化は一次分解反応でしばしば表現される。すなわち土中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 量を推定するには $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化速度を知る必要がある。硝化の速度定数は土中水の流れがない等温条件下の $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量の硝化量の時間推移から見積ることが多いが、温度変化や水の流れの影響、吸着態と溶存態の違いはよく分かっていない。そこで本研究ではまず黒ボク土の硝化速度定数の温度依存性を確認する。そして、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶存態と吸着態の硝化速度定数の違いと各態の硝化開始時間を検討することを目的とする。

試料と方法 22, 24, 26°Cにおいてバッチ試験とカラム浸透実験を並列して行った。試料には岩手大学学内圃場休耕畑から採取した黒ボク土 ($\text{CEC} = 46 \text{ cmol kg}^{-1}$) の 2 mm 篩通過分を用いた。バッチ試験は体積含水率 $0.40 \sim 0.45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ に $5 \text{ cmol L}^{-1}\text{-N}$ 硫酸アンモニウム溶液で調整した試料を 50 mL のステンレス円筒に乾燥密度 1.0 g cm^{-3} で詰め、約 50 日間静置した。そして数日毎に、土中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶存態と吸着態、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度、pH および EC を測定した。浸透実験は体積含水率 $0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ に純水で調整した黒ボク土を、内径 5 cm、高さ 20 cm のアクリル鉛直カラムに乾燥密度 1.0 g cm^{-3} で詰めた。上端から $5 \text{ cmol L}^{-1}\text{-N}$ 硫酸アンモニウム溶液を 9 日間、その後純水を 20 日間、 0.8 cm d^{-1} で滴下した。カラム 3 深度に 4 極センサとテンシオメータを設置し、EC と土中水圧力を 10 分間隔でモニターした。この際、下端の負圧を -30 cm に保ち、排液を 30 mL 毎に採取した。そして、排液の窒素各態および主要な陽イオンの濃度と pH, EC を測定した。また、任意の時間にカラムを解体し、土中各深さの含水率、窒素各態の濃度、pH, EC の分布を測定した。バッチ試験と浸透実験で測定した窒素各態の濃度変化を不飽和水分移動式と移流分散式、イオン交換反応式、一次分解反応式を用いて解析した。この際、一次分解反応式の数値定数 k については、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量に対して k_T を与える場合と $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶存態と吸着態にそれぞれ k_a, k_i を与えた場合を試みた。初期条件および境界条件にはそれぞれの実験の実測値を用い、計算は HP-1 で行った。

結果と考察 Fig. 1 に 26°C のバッチ試験における $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量と溶存量、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の経時変化を示す。全量と溶存量の差は吸着量を示す。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は溶存態のみと見なした。時間とともに $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶存量と吸着量が減少したが、両者の比はおよそ一定に保たれた。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量の減少量は $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の増加量と概ね一致した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量の減少に一次分解反応式を適合すると (図中実線)、 $k_T = 0.049 \text{ d}^{-1}$ となった。一方、溶存態と吸着態に異なる k_a, k_i を与えた場合、複数の組み合わせで $\text{NH}_4\text{-N}$ 減少量を同様に表すことができた。図には $k_a = 0.025 \text{ d}^{-1}, k_i = 0.150 \text{ d}^{-1}$ を用いた場合の $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量と溶存量を破線で例示したが、全量の減少量が $k_T = 0.049 \text{ d}^{-1}$ の実線と一致していることが確認できる。バッチ試験の様に

三重大学生物資源学部 Faculty of Bioresources, Mie University

キーワード：窒素動態、バッチ試験、カラム実験、一次分解反応

水の流れがなく，イオンの流入出がない場合，イオン交換により $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸着態と溶存態が速やかに平衡するため， k_a と k_l を分けて考えることは難しいといえる．異なる温度においても同様の傾向が確認できたが， k_T は温度とともに急激に低下した (Fig. 2)．こうした傾向は既往の研究とも一致した．

Fig. 3 に 26°C の浸透実験 9 日目と 29 日目の土中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量と溶存量， $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の分布を示す． $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸着態は上方に多く分布し，時間の経過とともに減少した．また， $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸着態の分布は下方に広がることはなく， $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶存態は速やかに消失した．水の流れにより溶存イオンの多くが流去したため， $\text{NH}_4\text{-N}$ の脱着が阻害されたと思われる．一方， $\text{NO}_3\text{-N}$ のピークは時間とともに下方に移動した． $\text{NH}_4\text{-N}$ から生成した $\text{NO}_3\text{-N}$ が水の流れで下方に移動したとみなせる．温度が低下すると，土カラム中に残存する $\text{NH}_4\text{-N}$ 全量が増加し， $\text{NO}_3\text{-N}$ 量が減少した．温度低下により硝化速度が低下したといえる．

ここで，溶存態と吸着態が等しく硝化すると仮定し，バッチ試験で求めた硝化速度定数 k_T を用いて浸透実験の土中の窒素の移動と硝化を計算した (Fig. 3 実線)．計算は 29 日の $\text{NH}_4\text{-N}$ 分布を過小に，9 日の $\text{NO}_3\text{-N}$ 分布を過大に評価した．一方，吸着態は溶存態より硝化速度定数が小さく ($k_a = 0.025 \text{ d}^{-1}$ ， $k_l = 0.150 \text{ d}^{-1}$)，また溶存態より硝化の開始が 14 日遅れると仮定すると，計算は土中の $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{NO}_3\text{-N}$ 分布 (Fig. 3 破線) と排液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 (Fig. 4) をよく再現した．同様の仮定を用いると，異なる温度の土中の窒素各態の分布や排液濃度も再現できた．硝化菌は，吸着態より溶存態の $\text{NH}_4\text{-N}$ を硝化しやすく，溶存態が少なくなった後に吸着態を分解する可能性が考えられる．

文献 中村・取出 (2007) 土壌の物理性 105, 83-97.

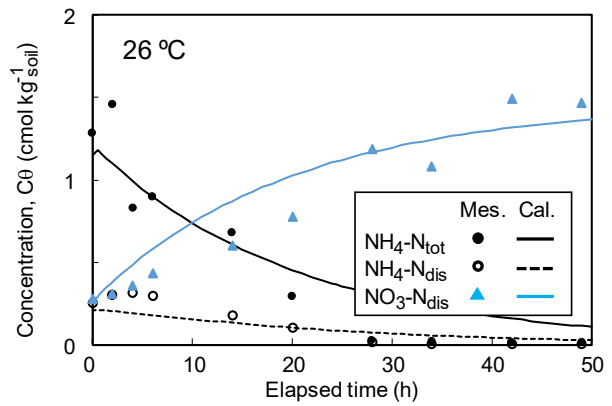


Fig. 1 Total and dissolved NH_4 and NO_3 in a batch test.

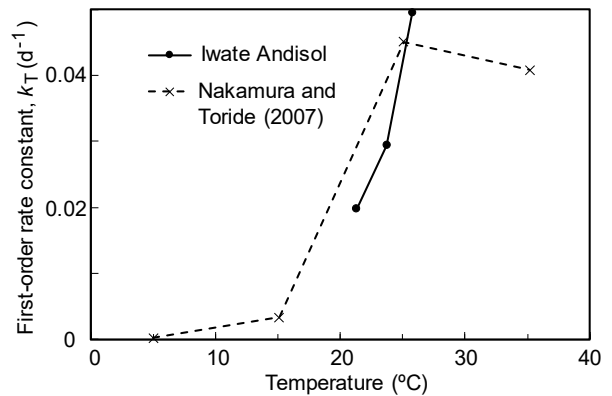


Fig. 2 Relationship between temperature and first order rate constant for nitrification in an Andisol

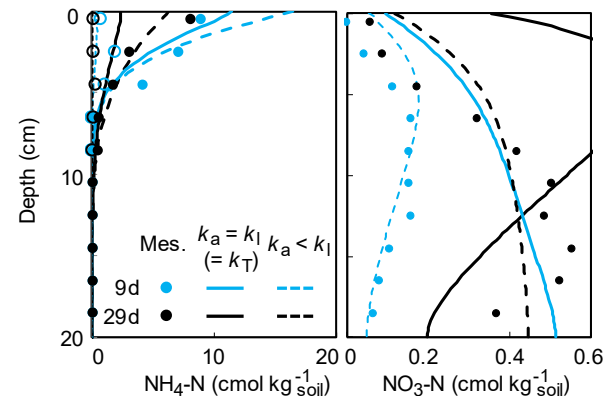


Fig. 3 NH_4 and NO_3 profiles in a soil column at 26°C .

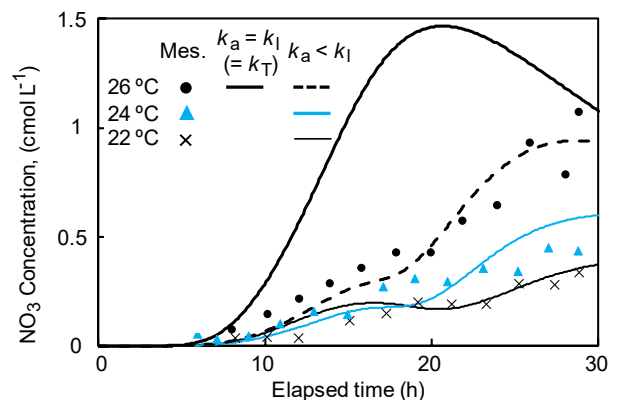


Fig. 4 Outflow concentration of NO_3 .