

蒸発過程にある土中の窒素の硝化と移動

Water and nitrogen dynamics during evaporation from the soil surface

○中西 真紀・渡辺 晋生

Maki NAKANISHI, Kunio WATANABE

はじめに 農地の土中の窒素は、土粒子に吸脱着し、あるいは無機化や硝化、脱窒等の微生物活動により態を変え、そして土中水によって運ばれる。こうした窒素動態を知ることは作物の生育のみならず地球温暖化ガスの放出や地下水の硝酸汚染を考える上で重要である。好気条件下にある土中の、有機態からアンモニア態、亜硝酸態、硝酸態への窒素の態の変化は、一次反応速度式の連鎖反応を用いてしばしば表現される。この際、各式の反応速度定数は土中の含水率や温度、pH 等に依存する。これらの反応速度定数やその含水率依存性は、一連の含水率一定条件の測定結果から評価されることが多く、水分移動や移動速度が及ぼす影響が考慮されることは少ない。一方、農地の土の含水率は蒸発や降雨により絶えず変化する。そこで本研究では、蒸発過程にある土中の窒素の無機化および硝化過程と各態の分布を、水分移動とともに観察した。

試料と方法 2014年10月に、三重大学附属農場で野菜畑の表土を採土し、乾土 120 g あたりに 1 g の炭酸カルシウムを加え試料とした。試料を高さ 5 cm のステンレス円筒カラムに乾燥密度一定 (1.2, 1.3 g/cm³) で詰めた。図 1 に試料の水分保持曲線を示す。試料の飽和透水係数は 0.6 cm/d、pH は 7.5 だった。試料を、下端から硫酸アンモニウム水溶液 (0, 0.1 mol-N/L) で上端まで飽和し、その後下端からの給水を止め、表面からの蒸発を抑制した条件、あるいは 0.18 cm/d で恒率蒸発させた条件で 9 日間静置した。試料を静置後 0, 3, 9 日にカラムを解体し、表面から 0~0.5, 0.5~1.0, 2.5~3.0, 4.5~5.0 cm 深の土を採取した。これらの土の KCl および水抽出液の NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N 濃度を吸光光度計で測定し、土中の無機態窒素量に換算した。この際、各深さの土の含水率と pH も測定した。すべての実験は 22°C の恒温室で行った。結果を一次反応速度式の連鎖反応を考慮した水分・溶質移動モデルで計算した。計算では、図 1 の水分保持曲線を用い、飽和過程の実測値に計算結果を適合することで不飽和透水係数関数と吸着等温線のパラメータを決定した。そして、蒸発なしの条件で求めた速度定数を用いて蒸発ありの条件を計算した。この際、有機態窒素の分解も考慮した。実験を通し、表面付近のアンモニア濃度は低く、アンモニア臭もなかったことから、アンモニアの揮発を無視した。また、各反応速度定数の含水率依存性も考慮しなかった。計算は HYDRUS-1D で行った。

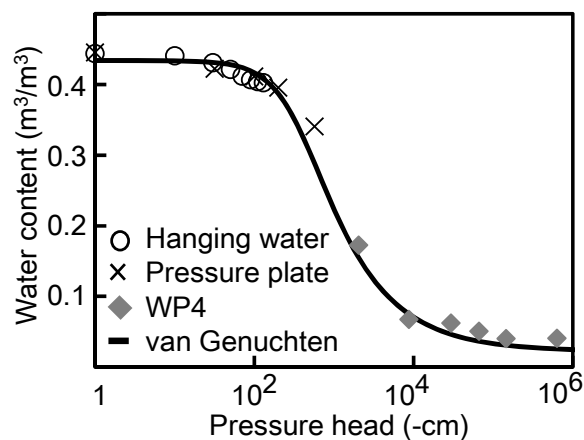


図1 試料の水分保持曲線.
Fig. 1 Water retention curve of sample.

結果と考察 0.1 mol-N/L の NH_4^+ 溶液を加えた乾燥密度 1.2 g/cm^3 の試料について、図 2a-d に蒸発なしの、図 2e-h に蒸発ありの条件における含水率と NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 分布をそれぞれ示す。図中、 NH_4^+ は溶存態と吸着態の総和とみなした。また、プロットは実測値、実線は計算値である。

試料下端を NH_4^+ 溶液に浸すと、試料が上端まで飽和した(図 2a, e)。この際、多くの NH_4^+ は試料下部で吸着され、上方には到達しなかった(図 2b, f)。蒸発のない条件では、含水率は変化せず、試料中央部の NH_4^+ が9日間で $3.5 \text{ mmol/100g}_{\text{soil}}$ (土中水濃度は 0.1 mol/L) 程度増加した(図 2b)。これは有機態窒素の分解と NH_4^+ の拡散によると考えられる。また、 NO_2^- と NO_3^- は硝化により各深さで比較的一様に増加した(図 2c, d)。モデルの計算結果は実測値をよく再現した。

蒸発のある条件では、含水率が9日間で0.1近くまで減少した。この際、含水率分布は深さ方向に一様だった(図 2e)。蒸発開始時に下層に多く分布した NH_4^+ は、3日目までに中層と下層で数 $\text{mmol/100g}_{\text{soil}}$ ずつ増加したが、3~9日は、増加速度が低下した(図 2f)。増加速度の低下は硝化が活発になった結果である。また、 NH_4^+ の増加量は蒸発なしの条件に比べ多くなった。蒸発により土中に酸素が供給され、好気性微生物による無機化が活発になったためと思われる。 NO_2^- と NO_3^- は3~9日間で増加した。総増加量は蒸発のない場合と同程度だったが、表面近傍の濃度が高くなった(図 2g, h)。硝化により生成した NO_2^- と NO_3^- が水とともに上層に移動したと考えられる。実測では、硝化が拡散を妨げるように NH_4^+ が初期分布の形状を維持して増加したのに対し、モデルでは NH_4^+ が中層へ拡散し下層で減少した。こうした違いについては今後の検討が必要である。 NO_2^- と NO_3^- については、モデルは傾向をよく表したが、 NH_4^+ の不一致分、実測値を過小評価した。

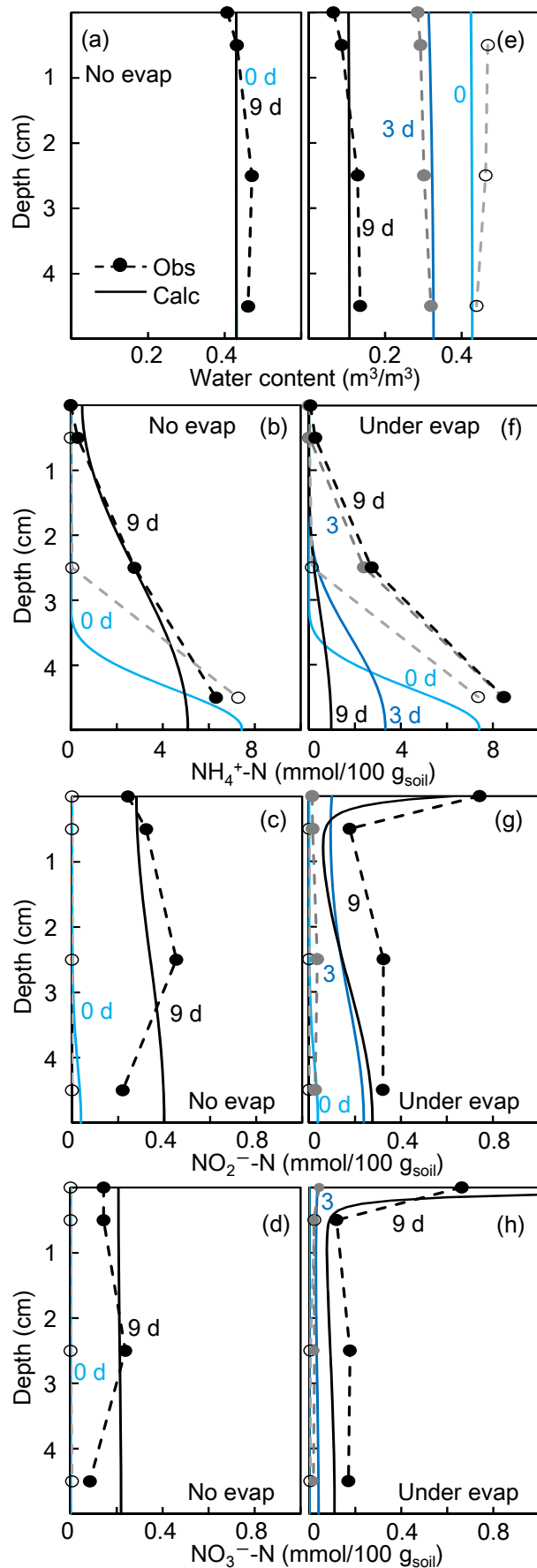


図2 含水率、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N、 NO_3^- -Nの分布。
Fig. 2 Water, NH_4^+ , NO_2^- , and NO_3^- -N profiles.