

II-377 飽和流における低温時の土壌内脱窒過程

広島大学 学生員 本田 俊広
 " 正 員 山口 登志子
 " " 寺西 靖治

1. はじめに

汚水の土壌内急速浸透処理法において脱窒素はN除去機構の主要なプロセスの1つである。筆者らの従来の研究¹⁾から比較的高温時(20℃, 30℃)での飽和浸透流における土壌内脱窒素は容易に進行することが明らかになった。そこで本研究では寒冷期を想定した低温時(10℃)での土壌内脱窒過程を明らかにする目的で、土壌カラムを用いたKNO₃溶液の連続供給実験を行い、カラム内の各態N成分(NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N)の分布を経時的に測定し、実測データをもとに反応移流分散方程式により、土壌内脱窒速度の時空分布を求め、考察を加えた。

2. 実験方法

実験に用いた土壌カラムをFig. 1に示す。土壌カラムは、3本作成し、カラム名をDM20, DM40, DS20とした。充填土はDM20, DM40にはマサ土を、DS20には川砂を充填し、脱窒活性を高めるためそれぞれのカラムに畑土を2%添加した(充填量=30.1~32.0kg, 間隙率=37.8~41.0%)。実験条件をTable 1に示す。KNO₃溶液の供給濃度はDM20, DS20は20mgN/l、DM40は40mgN/lとし、有機炭素源としてメタノールを用い、C/N=1.0とした。KNO₃溶液はカラムの底部より上方に向かって流れる飽和流で供給し、各土壌深さの試料と流出水について各N成分を経時的に測定した。その他、TN, TOC, 実験前後の土の脱窒活性・脱窒菌数などについても測定した。またカラム上端部のコックから発生したガスを捕集し、発生ガス量とその組成を調べた。実験温度は10℃である。

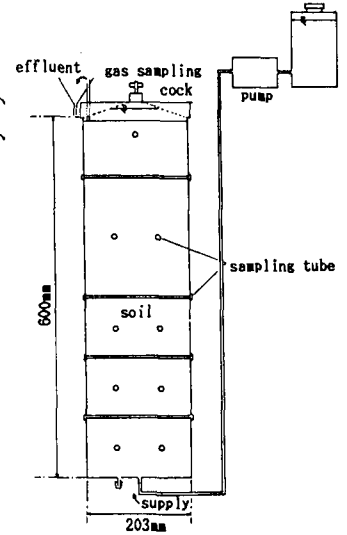


Fig.1 Soil column

Table 1 Data of experiments.

column	concentration of NO ₃ -N (mg/l)	applica- tion rate (mm/day)	temp. (°C)	pore-water velocity (cm/day)	disper- sivity (cm ² /day)
DM20	20			69.6	169
DM40	40	150	10	49.2	100
DS20	20			54.5	209

3. 結果と考察

3-1 各N成分のカラム内分布：カラムDS20のN成分分布の経時変化をFig. 2に示す。ここで各N成分の実測濃度Cは、供給濃度をC_sとし相対濃度C/C_sとして表わす。本研究では、NH₄-Nはほとんど検出されなかったが、NO₂-Nがかなり検出されたのでNO₃-Nの減少量からNO₂-Nの生成量を差し引いたものを脱窒量とみなし脱窒率を求めた。DS20では、深さ30~50cmで脱窒が活発であり、脱窒率は80~90%であった。DM20においても土壌カラム内ではほぼ同様の結果が得られたが、流出水で定常的に5~10mg/lのNO₃-Nが検出された。脱窒過程において水に溶解しやすいN₂Oガスが発生している可能性があるため、流出水中のN₂Oを定量した結果、0.6~2.6mg/lのN₂Oが検出された。NOおよびNH₂OHについては確認できなかった。DM40では脱窒率は10~30%であった。温度の影響をみるため筆者ら

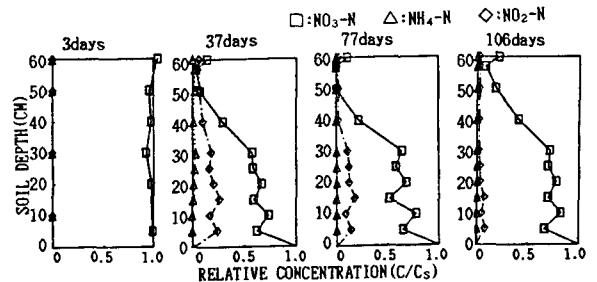


Fig.2 Concentration profiles of N. (DS20)

が行った30℃での土壌内脱窒過程の研究結果¹⁾と比較する。30℃では、供給基質濃度（20mgN/l, 40mgN/l）に関係なく40日前後で反応が定常に達し、深さ5～10cmで脱窒がほぼ完了している。また、NO₂-N もほとんど検出されていない。本研究では、30℃に比べると反応が定常に達するまでの時間は約2倍（70～80日）であった。

3-2 ガス発生量と組成：脱窒に伴い発生したガス組成は、DM20, DS20においてはN₂が88～95%、O₂が約5%でCO₂は検出されなかった。DM20, DS20におけるN₂ガス発生量はそれぞれ8ml/day, 36ml/dayであった。DM20, DS20での供給NO₃-N がすべてN₂に変換された場合のN₂ガス発生量は約80ml/dayである。DS20での脱窒率は80～90%で理論発生量は60～70ml/dayとなり実測値が低い。これは実験温度が低いため、発生したN₂ガスが浸透水に溶解して流出したためと考えられる。また、DM20でN₂ガス発生量が小さいのは流出水で5～10mg/lのNO₃-Nが検出された現象と関係があると思われる。

3-3 脱窒活性・脱窒菌数：実験前後の土の脱窒活性と脱窒菌数をTable 2, Table 3に示す。30℃における48時間培養後の脱窒活性について実験前後の比較をする。3本のカラムとも実験前後よりも脱窒活性が高くなっている。特にカラム上層部において活性が高くなっている。また、脱窒菌数の分析結果を実験前後で比較すると開始前より増殖したのが認められる。

3-4 土壌内脱窒速度の時空分布：カラムDM20, DS20において実測データ（NO₃-N+NO₂-N）をもとに反応移流分散方程式により反応項（脱窒速度）の時空分布を求めた。本研究ではNO₃-Nの減少量からNO₂-Nの生成量を差し引いたものを脱窒量とみなした。実測データをΔX=5cm, Δt=1日でスプライン補間し、次式に示す差分化した反応移流分散方程式により基質変換速度（Φ_{i,n}）を計算した。

$$\Phi_{i,n} = \frac{C_{i,n+1} - C_{i,n-1}}{2\Delta t} + u \frac{C_{i+1,n} - C_{i-1,n}}{2\Delta X} - D \frac{C_{i+1,n} - 2C_{i,n} + C_{i-1,n}}{(\Delta X)^2}$$

ここに、C：基質濃度、u：間隙内平均流速、D：分散係数、X：土壌内距離、t：時間、Φ：反応項（脱窒速度）である。ΔX, Δtは距離および時間方向の格子間隔でiΔX, nΔtにおける基質濃度をC_{i,n}、反応項をΦ_{i,n}とする。DS20における土壌内脱窒速度の時空分布をFig. 3に示す。20日目付近までは深さ20cm付近で脱窒速度が大きく、その後は30～40cm付近で脱窒速度が大きくなっているのがわかる。DM20においても同様の結果が得られた。得られた脱窒速度はDM20では0～80mg/l・day、DS20では0～60mg/l・dayであった。

4. まとめ

本研究で得られた結果は次のとおりである。1)脱窒は10℃においても80～90%進行した。2)高温時（20℃, 30℃）では深さ5～10cmで脱窒がほぼ完了するのにに対し、10℃では深さ30～50cm付近で反応が進行した。3)得られた土壌内脱窒速度の最大値は60～80mg/l・dayである。

《参考文献》

- 1) 山口・寺西, 飽和流における土壌カラム内脱窒素, 下水道協会誌, Vol.22, No249, pp.55~59 (1985)

Table 2 Initial activity of denitrifiers.

soil	2days 30℃ (%)	7days 30℃ (%)	7days 10℃ (%)	denitrifiers (MPN/g)
masa(1)*	4	89	7	2×10 ³
(2)**	7	75	9	4×10 ²
sand(1)*	14	94	8	2×10 ³
(2)**	12	99	5	5×10 ²

*upper layer **lower layer

Table 3 Activity of denitrifiers after experiments.

column	soil depth (cm)	2days 30℃ (%)	denitrifiers (MPN/g)
DM20	0-5	7	9×10 ⁴
	5-15	7	6×10 ⁴
	30-40	15	4×10 ⁵
	50-60	18	2×10 ⁵
DM40	0-10	12	6×10 ⁵
	40-60	18	3×10 ⁴
DS20	0-5	19	2×10 ⁵
	5-15	15	4×10 ⁴
	30-40	22	4×10 ⁴
	50-60	23	2×10 ⁵

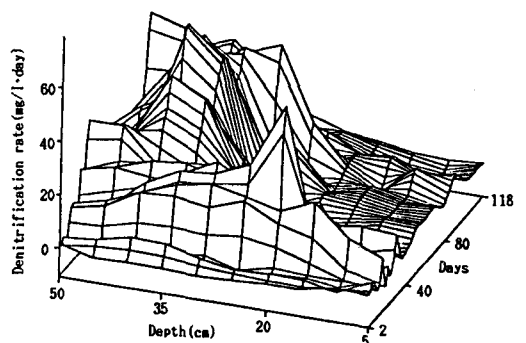


Fig.3 Evolution of denitrification rate in soil. (DS20)