

下水の土壌処理における硝化過程(第1報)

広島大学工学部 正員 寺西 靖治
 〃 〃 〃 山口 登志子
 島 取 県 新 浩憲
 長 野 県 臼田 敦

1. はじめに

下水の土壌処理による窒素除去機構において、硝化は脱窒素とともに重要なプロセスの1つである。硝化・脱窒素により下水中のNを除去するためには土壌中でのNの挙動を解明する必要がある。本研究は土壌中における硝化過程と明らかにする目的で、土壌カラムを用いて NH_4Cl 溶液の定濃度連続供給実験を行い、カラム内の各窒素成分 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$) の分布を経時的に調査考察を加えたものである。

2. 実験方法

本実験に用いた装置は図-1に示すような塩化ビニルパイプ(内径200mm, 長さ1050mm)にマサ土を深さ100cmに充てんし5~10cm間隔に土壌中の溶液と採水するための採水装置をつけたものである。この採水装置は外径8mm, 長さ25mmの塩化ビニルパイプに径1.5mmの穴を多数あけ、厚さ1mmのポリエステルシートを巻いてカラムに通し、内側にテフロン棒を差し込んで両側をシリコン栓で固定したものである。充てんした土は5mmのフルイを通したマサ土に2.5mmのフルイを通した畑土を2wt%添加し、充分混合したものをを用いた。畑土はマサ土に硝化菌を接種し、増殖速度を促進するために加えた。充てんした土の組成を表-1に示す。マサ土の比重は2.65, 含水比は7.2wt%, 60%粒径1.45mm, 30%粒径0.17mmである。土壌カラムは3本作成し(C-1, C-2, C-3), バイブレータで振動を与えながら土を充てんした。充てん量はそれぞれ, 55.43, 54.79, 53.92kgである。 NH_4Cl 溶液の供給はマリオート式定水量供給装置を用い、バブルチューブと散布装置の注射針先端とのヘッド差と電磁弁の開閉間隔により調節した。供給液の組成は表-2に示す通りである。 NaHCO_3 は硝化菌の無機炭素源と溶液の中和の目的を兼ねて理論値の2倍量加え、Pは $\text{P/N}=0.1$ となるよう添加した。実験は供給液の濃度を変えて3段階行い、各々のRunで定常に達した後、次のRunに移った。実験条件を表-3に示す。3本の土壌カラムへの NH_4Cl 溶液の供給量は各Runで表-4に示すように設定した。装置は温度30°C, 湿度75%の恒温恒湿室に設置し、2~4日毎に採水装置から真空ポンプで土

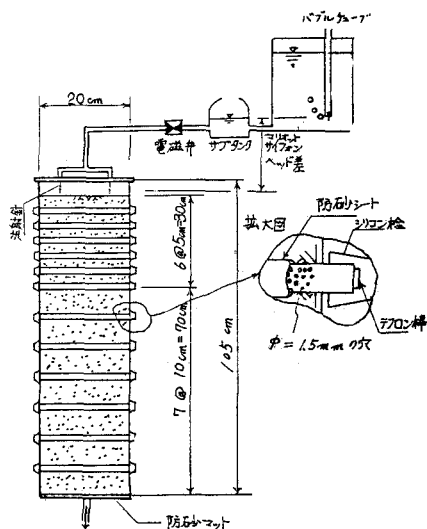


図-1 実験装置

表-1 土の組成

項目	測定値
塩基置換容量($\text{me}/100\text{g}$)	4.2
TN (mg/kg)	70
TP (mg/kg)	480
TC (wt%)	0.1

表-2 供給溶液の組成

Run	成分 (mg/L)		
	NH_4Cl (as $\text{NH}_4\text{-N}$)	NaHCO_3	KH_2PO_4
1	20.0	67.9	2.0
2	60.0	203.7	6.0
3	120.0	407.3	12.0

表-3 実験条件

Run	供給液濃度 ($\text{NH}_4\text{-N}$ mg/L)	実験経 続日数
1	20	33
2	60	22
3	120	44

表-4 平均流量および流速

Run	流量 (mL/hr) [*]		
	C-1	C-2	C-3
1	280 ± 10 (3.9 ± 0.2)	410 ± 20 (5.2 ± 0.3)	570 ± 20 (6.2 ± 0.3)
2	190 ± 20 (2.6 ± 0.2)	410 ± 10 (5.2 ± 0.1)	490 ± 50 (6.0 ± 0.6)
3	300 ± 10 (4.1 ± 0.1)	400 ± 10 (5.1 ± 0.1)	540 ± 20 (6.7 ± 0.2)

* 平均値 ± 標準偏差を示した。

** () 内は流速 ($^\circ\text{C}/\text{hr}$)。

罐内の溶液を吸引して採水した。試料液は 3500 rpm で 5 分間遠心分離した後、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ を分析した。流出水についてはさらに TN 、 pH 、 EC について分析した。分析法は $\text{NO}_3\text{-N}$: イオン電極法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$: 下水試験法、 TN : 佳化 TC-TN 計である。

3. 結果と考察

1) pH 、 EC : 流出水の pH の経時変化を図-2 に示す。供給溶液の pH は Run 1 ~ 3 で 8.2 ~ 8.6 である。図-2 より流出水の pH は初期に変動が大きい。その後 pH 8 付近でほぼ一定となっている。Run 1 では他のカラムでも同様の傾向を示した。Run 2 では 7 ~ 8.5、Run 3 では 7.5 ~ 8.3 程度であった。流出水の EC は定常期で 0.8 ~ 4.5 mS/cm であった。

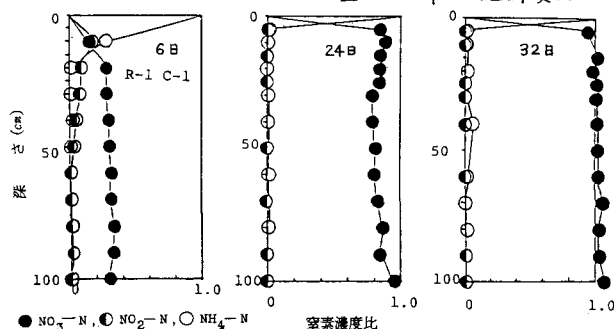


図-2 pHの経時変化

2) 各 N 成分のカラム内分布と経時変化 : Run 1, C-1 における各 N 成分のカラム内分布の経時変化を図-3 に示す。カラム内で徐々に硝化が進み、28 ~ 32 日で硝化が完了し定常に通じている。図では $\text{NH}_4\text{-N}$ 供給濃度 C_5 とし、実測した各 N 成分濃度 C として相対濃度 (C/C_5) で示した。Run 1, 2 では他のカラムにおいても図-3 と同様の傾向であり、土壌表面より 5 ~ 10 cm で硝化はほぼ完了した。図-4 にカラム内の各深さにおける N 成分の経時変化の 1 例を示した。L = 10 cm では初期に高濃度の $\text{NO}_2\text{-N}$ が検出されているが、その後減少しており、L = 70 cm では初期でもほとんど検出されていない。これは硝化が浅い部分で進むことと、亜硝酸菌に対し硝酸菌の増殖に遅れがあることなどが原因と考えられる。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は全般的に微量で、Run 1 ではほとんど検出されず、Run 2, 3 でも 0.06 ~ 0.1 (C/C_5) 程度であった。Run 3 では $\text{NH}_4\text{-N}$ 供給量が大きいため Run 1, 2 とは傾向が異なり、硝化はいずれのカラムでも完了しなかった。図-5 にカラム内分布の例を示す。C-1 では $\text{NH}_4\text{-N}$ は指数関数的に減少しているが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は深さ 10 ~ 20 cm 以下ではほとんど変化していない。他のカラムでも同様の傾向であった。これは酸素供給量が制限因子になっているためではないかと考えられる。また C/C_5 の合計が 1.0 とならないのは $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸着によるものと考えられる。 N 供給量の最も多い C-3 では C/C_5 で 0.4 ~ 0.5 の $\text{NH}_4\text{-N}$ が流出しており、他のカラムでもいずれ流出してくるものと思われる。表-5 に各カラムへの $\text{NH}_4\text{-N}$ 供給量と定常期における $\text{NO}_3\text{-N}$ 生成量を示した。Run 1, 2 では供給した $\text{NH}_4\text{-N}$ はすべて $\text{NO}_3\text{-N}$ に硝化されており、硝化率は 100% である。Run 3 では N 供給量の多さにかかわらず、硝化量 21 ~ 26 (mg/hr) でほぼ一定である。本条件下では 20 ~ 30 mg/hr の硝化量の限界値と考えられる。

図-3 カラム内分布の経時変化

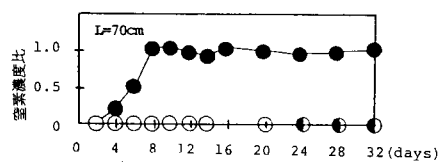
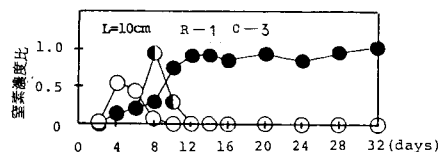


図-4 各深さにおける N 成分の経時変化

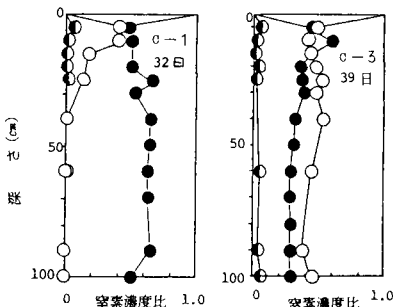


図-5 Run 3 におけるカラム内分布

表-5 $\text{NH}_4\text{-N}$ 供給量と $\text{NO}_3\text{-N}$ 生成量

Run	$\text{NH}_4\text{-N}$ 供給量 (mg/hr)			$\text{NO}_3\text{-N}$ 生成量 (mg/hr) [*]		
	C-1	C-2	C-3	C-1	C-2	C-3
1	5.6	8.2	10	5.6 (100)	8.2 (100)	10 (100)
2	11	25	29	11 (100)	25 (100)	29 (100)
3	36	48	65	21 (59)	26 (54)	21 (33)

* () 内は硝化率 (%) を示す。