

B-72 微生物培養間伐材を混合した土壌層による窒素除去

○天倉 和也^{1*}・高井 淑恵³・高野 典礼²・池本 良子¹

¹金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

²石川工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1)

³燐化学工業株式会社 (〒934-8534 富山県射水市新堀34番地)

* E-mail: rikemoto@t.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

現在農耕地からの硝酸性窒素や亜硝酸性窒素による地下水や表層水等の汚染は広範囲で起きており、その対策が必要とされている。筆者らは、農地の土壌下層部に微生物付着担体として木炭を、有機物をして間伐材を充填することにより、農地からの窒素流出が抑制できることを報告している¹⁾。また、本方式では、土壌中に増殖した硫酸塩還元細菌と硫黄脱窒細菌が重要な役割を果たしていることを示している。しかし、この方法では、農地を掘り起こして整備する必要があることから、大規模な改修工事を伴うこととなり、環境対策単独で実施することは制度上困難であると考えられる。そこで、著者らは既存の農地から排水路に流出した窒素を除去する方法として、間伐材と木炭を混合した土壌層を用いる事で窒素除去できることを報告した²⁾。本研究では、間伐材混合土壌を用いた農地排水からの窒素除去方法の改善方法として、間伐材を脱窒条件および硫酸塩還元条件であらかじめ培養した後、土壌層に混合した場合の効果のカラム実験により検討した。

2. 実験方法

農業系の排水が大きな影響を与えていると考えられる石川県の河北潟流域を対象として、水質調査を行った結果から、人工排水路水の組成を表1のように設定した。

実験には図1に示す土壌カラム4本を用いた。カラムは、流出口をカラム下部から500mmの位置とすることにより、土壌カラム内の水位を土壌層表層にする構造とした。各カラムに、赤玉土400gと腐葉土80g、および木炭15gを混合したものを充填した。さらに、カラム2には縦15mm横5mm厚さ1.5mmの広葉樹の間伐材を約1Lの純水に一晩浸し、その後ザルで水分を切ったものを混合し充填した。カラム3には、同じ間伐材を1Lの返送汚泥に6ヶ月間浸し、基質として人工排水路水(表1)の組成から硫酸塩を除いたものを半月毎に100ml加えて、脱窒細菌を増殖させた後、ザルで水分を切って充填した。カラム4には、同じ間伐材を1Lの返送汚泥に6ヶ月間浸し、基質として人工排水路水の組成から硝酸塩を除いたものを半月毎に100ml加えて、硫酸塩還元細菌を増殖させた後、ザルで水分を切って充填した。これらのカラムを20℃の恒温室内に設置し、カラム上部から畑地からの流出水を模擬した人工排水路水をポンプによって滞留時間48時間となるように調整して滴下した。さらに、運転開始44日目からは、滞留時間を24時間に変更した。これらのカラムを20℃の恒温室内に設置し、カラム上部から畑地からの流出水を模擬した人工水路水(表1)を、ロールチューブによって1日あたり500mlとなるように調整して滴下した。カラムからの流出水を採取し、イオンクロマトグラフによって陰イオン(塩化物、硝酸塩、亜硝酸塩、硫酸塩)、重炭酸塩および陽イオン(カリウム、カルシウム、ナトリウム、カルシウム、アンモニウム)濃度の分析を行った。

表1 人工排水路水の組成

成分	濃度(mg/L)
KNO ₃	5
NaNO ₃	20
Mg(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O	200
CaCl ₂	150
K ₂ SO ₄	30
Na ₂ SO ₄	150
MgSO ₄	50
Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O	1.5

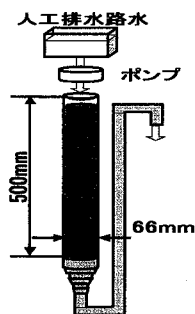


図1 実験装置

表2 土壌カラムの条件

カラムNo.	赤玉土(g)	腐葉土(g)	木炭(g)	間伐材
1				約1L
2	400	80	15	約1L(注1)
3				約1L(注2)
4				約1L(注2)

(注1) 脱窒細菌を三角フラスコ内で

予め6ヶ月間増殖させた間伐材チップ約1L

(注2) 硫酸塩還元細菌を三角フラスコ内で

予め6ヶ月間増殖させた間伐材チップ約1L

実験終了後、カラム2～4を解体したカラム内に存在した間伐材を用いて回分実験を行った。耐熱ビンに間伐材を約25g詰め、表3に示す基質を窒素ページした後90ml注入した。耐熱ビン中を嫌気状態に保つために気相を窒素ページし、これらを20℃の恒温室内に静置し、時間毎に約10ml採水し、イオンクロマトグラフによって硫酸塩、硝酸塩、亜硝酸塩、塩化物と重炭酸塩、酢酸、プロピオン酸濃度の分析を行った。

表3 回分実験に用いた基質の組成

成分	濃度(mg/L)			
	実験1	実験2	実験3	実験4
KNO ₃	0	5	0	5
NaNO ₃	0	20	0	20
Mg(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O	0	200	0	200
CaCl ₂	150	150	150	150
K ₂ SO ₄	0	0	30	0
Na ₂ SO ₄	0	0	150	0
MgSO ₄	0	0	50	0
Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O	1.5	1.5	1.5	1.5
Na ₂ S ₂ O ₃	0	0	0	250
NaHCO ₃	35	0	0	35

3. 実験結果

(1) 水質挙動

図2に各カラムの流出水中の全窒素濃度、重炭酸濃度および硫酸塩濃度の経日変化を示す。間伐材を混合していないカラム1は流入水とほぼ同じ値を示したのに対し、カラム2～4では全窒素濃度が流入水よりも低い値を示し、重炭酸濃度が流入水よりも高い値を示した。カラム内に混合した間伐材の無機化に伴う脱窒が進行していることがわかる。カラム4において、初期に硫酸塩濃度が最も低下し、重炭酸濃度が上昇したことから、間伐材内で増殖した硫酸塩還元細菌がカラム内で活動していたことがわかる。一方、25日目には、間伐材内に脱窒細菌を増殖させたカラム3においても、同様の現象が見られた。これは、間伐材の分解に硫酸塩還元細菌が関与していることを示唆している。

運転開始45日目に、滞留時間を24時間に変更したところカラム2～4の全窒素濃度が増加し、重炭酸濃度が減少した。ここで、間伐材のみを混合したカラム2と硫酸

塩還元細菌を増殖させた間伐材を混合したカラム3の全窒素濃度および硫酸塩濃度はほぼ同じ値を示した。これに対し、脱窒細菌を増殖させた間伐材を混合したカラム4の方が全窒素濃度が低い値を示し、重炭酸濃度は高い値を示したことから脱窒条件で培養した間伐材を用いた場合が最も効果が高いことがわかった。

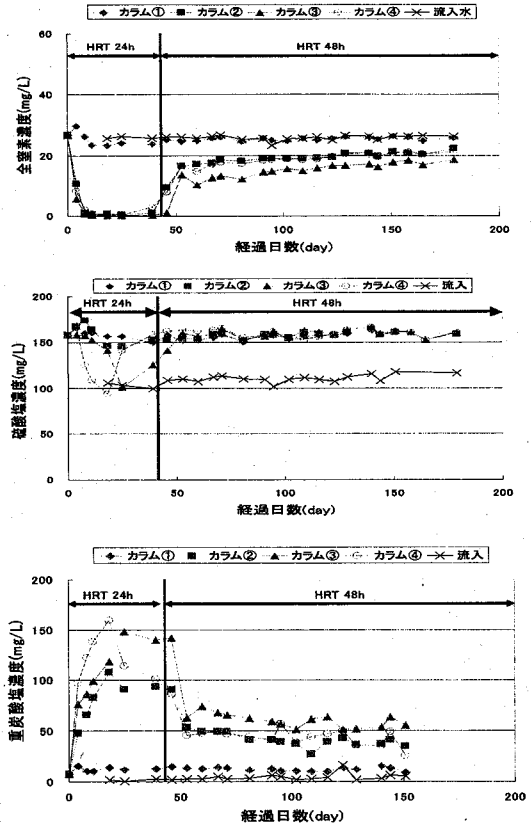
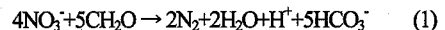


図2 流出水中の全窒素、硫酸塩および重炭酸濃度の経日変化

図2に、重炭酸増加量と硝酸性窒素減少量の関係を示す。木質の主な成分であるセルロースの分解に伴う脱窒反応式は、式(1)で表される。この量論線と実験値を比較すると、ほぼ量論値に近い値を示す。このことから、木質中のセルロースの分解に伴う脱窒が進行しているものと考えられる。



(2) 間伐材内部の微生物活性

カラム4内の基質を用いた回分実験の結果を図3に示す。硝酸塩、硫酸塩ともに添加していない実験1は、酢酸と無機炭素の増加が認められることから、木質の分解がおこっていると考えられる。電子受容体として硝酸塩のみを添加した実験2では、硝酸塩が減少し、実験1より重炭酸塩

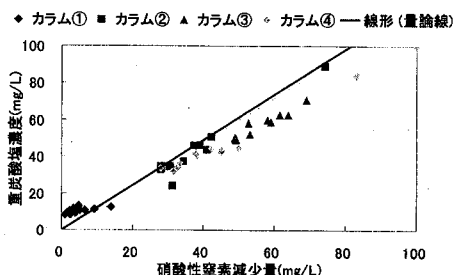


図5 重炭酸塩増加量と硝酸性窒素減少量の関係

が増加したことから脱窒の進行に伴って、木質の分解が進行していることが分かる。また、硫酸塩も増加していることからカラム内で硫酸塩還元が進行していたと考えられる。硫酸塩の増加量から硫酸塩還元量を求め、硫酸塩還元で利用された硝酸濃度を補正して、他栄養性脱窒速度を求めた。硫酸塩のみを添加した実験3は、硫酸塩が減少し、重炭酸塩、酢酸の増加が見られることから、カラム内で硫酸塩還元による木質の分解が進行していたことがわかる。硫酸塩の減少量から硫酸塩還元速度を求めた。硝酸塩とチオ硫酸塩を添加した実験4は、チオ硫酸塩と硝酸塩が減少し、硫酸塩が増加していることから、チオ硫酸塩を用いた硫酸塩還元が進行していることが分かる。硫酸塩の増加速度から硫酸塩還元速度を求めた。

表4に脱窒速度、硫酸塩還元速度をまとめ示した。木質の前培養を行っていないカラム2では、他栄養性脱窒活性が高く、硫酸塩還元活性が他栄養性脱窒活性の約半分、硫酸塩還元活性は低い値となっている。木質を硫酸塩還元条件であらかじめ培養したカラム4では、他栄養性脱窒活性は低く、硫酸塩還元活性、硫酸塩還元活性ともに高い値を示した。脱窒条件で培養したカラム3は、カラム2と比較して、他栄養性脱窒速度はやや高く、硫酸塩還元速度、硫酸塩還元速度が約2倍程度の値を示した。以上のことから、カラム3では、他栄養性脱窒細菌、硫酸塩還元細菌が木質内に共存し、脱窒を促進していたために、最も脱窒率が高かったものと考えられる。

表4 回分実験で得られた脱窒速度、硫酸還元速度

	他栄養性脱窒速度 ($\text{mg} \cdot \text{NO}_3/\text{L} \cdot \text{h}$)	硫酸脱窒速度 ($\text{mg} \cdot \text{NO}_3/\text{L} \cdot \text{h}$)	硫酸塩還元速度 ($\text{mg} \cdot \text{SO}_4/\text{L} \cdot \text{h}$)
カラム2	0.7768	0.3580	0.1968
カラム3	0.8312	0.6277	0.2892
カラム4	0.3673	1.0107	0.9129

4. まとめ

間伐材を脱窒条件および硫酸塩還元条件であらかじめ培養した後、土壌層に混合した場合の効果をカラム実験により検討した結果、以下のことが分かった。

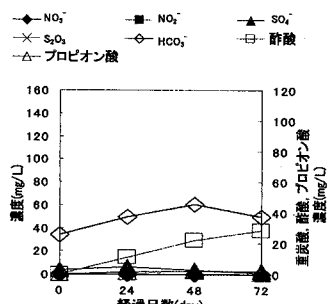
1) 間伐材混合土壌を用いた農地排水からの窒素除去方

法として、間伐材を脱窒条件で培養し土壌層に混合した場合に脱窒率が向上した。

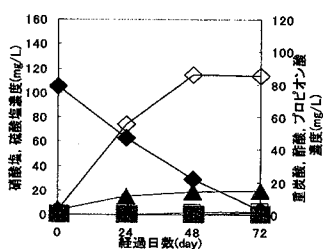
2) 脱窒細菌を事前に培養したカラム3で、他栄養性脱窒細菌、硫酸脱窒細菌が共存し、脱窒を促進していると考えられる。

<参考文献>

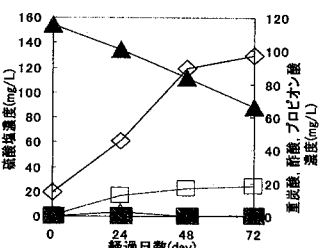
- 1) 高野典礼・池本良子，第11回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集（2004）
- 2) 高井淑恵・高野典礼・池本良子，（2006）第43回環境工学研究フォーラム講演集，pp.113-115



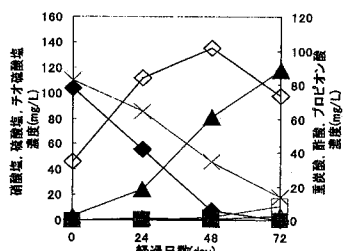
(1) 実験1



(2) 実験2



(3) 実験3



(4) 実験4

図5 回分実験結果の典型例（カラム4）