

転換畑地心土層に蓄積した高濃度硝酸態窒素の除去要因の定量化 Removal Factors of Nitrate-Nitrogen Accumulated into Undersoil Layer in Multi-purpose Paddy Field

石川雅也¹⁾、塩沢昌²⁾、飯田俊彰¹⁾、梶原晶彦¹⁾

Ishikawa Masaya¹⁾, Shiozawa Sho²⁾, Iida Toshiaki¹⁾ and Kajihara Akihiko¹⁾

1. はじめに

筆者らは前報¹⁾で、転換畑作土層からの溶脱窒素の除去を目的とした、土中埋設型野外ライシメータによる水質試験を行い、高い数値で窒素除去率を確認し、その窒素減少量を算出した。

本報では、本試験データから、独立栄養型と従属栄養型の脱窒菌に着目し、化学反応式を用いて、それぞれの脱窒量の算出を試みた。

2. 試験方法¹⁾ (Tables 1, 2)

隣接するライシメータ (試験以前は長期間湛水状態)²⁾基を使用し、試験区と対照区とした。試験区にだけ高濃度の硝酸態窒素溶液 (硝酸カリウム) を加えた (Table 1)。その他は両基とも同じ条件で試験を行った (Table 2)。試験期間は、2004年8月3日~2005年11月15日の470日間であった。なお、試験期間中、両基とも無植生であり、表面流出はなかった。

Table 1 投入薬品量 (試験区)

深度 (cm)	40~60	60~80
硝酸態窒素量 (g)	68.571	65.746
硝酸態窒素量 (kg/ha)	211.64	202.92
硝酸カリウム量 (g)	494.96	474.31

Table 2 試験区と対照区の投入物と投入量

試験区	対照区
2004年8月2日 硝酸態窒素 134.32g 投入	硝酸態窒素投入無
2004年8月3日 作土層 0~20cm層すき込み 完熟堆肥 (馬ふん) 20kg	腐葉土 10kg 投入
2004年9月21日 作土層 0~20cm層すき込み もみがら 0.4kg	腐葉土 5kg 投入

2004年8月3日~同年9月8日に各層の暗渠から毎日定刻に採水を行い、同年9月8日~2005年11月15日では、隔週1回定刻に採水した。全サンプル数は1,252本であった。

3. 結果と考察

3.1 深度別T-N・NO₃-N濃度 (Fig.1)

全試料で、T-N濃度 NO₃-N濃度であった。対照区では各土層、0.193~2.22 mg/Lで推移した。試験区では、時間経過とともに土壌水中のT-N濃度が低下していく傾向が認められ、2005年7月19日以降は各土層で、0.482mg/L前後となり、対照区と同程度の値となった。

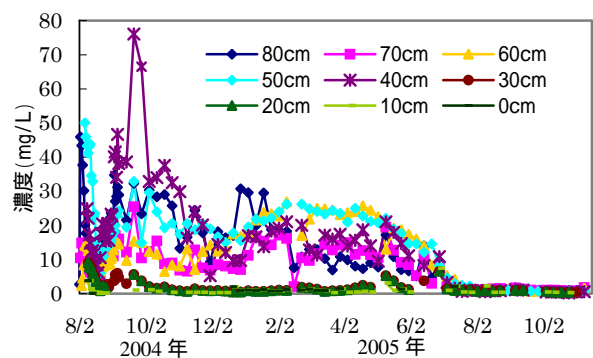
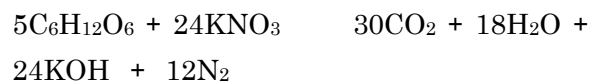


Fig.1 深度別T-N・NO₃-N濃度の時間変動 (試験区)

3.2 従属栄養型脱窒菌による脱窒量の算出方法

従属栄養微生物で、主として易分解性有機物をエネルギー源とする代表的な脱窒菌である *Pseudomonas denitrificans* の脱窒作用の化学反応式は次の通りである。



この反応式より、理論上、C/N比が $30/24 = 1.25$

1) 山形大学農学部、2) 東京大学 大学院農学生命科学研究科 1) Faculty of Agriculture, Yamagata University, 2) Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

キーワード: 汎用化水田、転換畑地、水質浄化、窒素除去、脱窒、硫黄酸化細菌、硫酸還元菌

で従属栄養型脱窒作用が進行することになる。

試験区と対照区について、各採水日の土層毎の T - N 減少量と TOC 減少量を算出した。

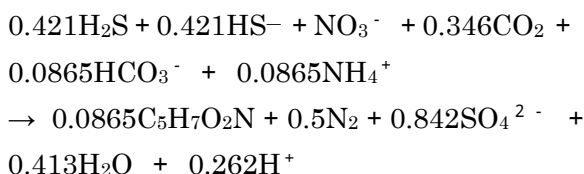
採水不可の土層については、前回採水時と同じ存在量とした。次に、各採水日の土層毎にその存在量を前回採水日の存在量から差し引くことで減少量を算出した。算出した減少量が負の場合は、その減少量をゼロとした。

各採水日の土層毎に『T - N 減少量』と『TOC 減少量を理論的な C/N 比 1.25 で除して算出した脱窒量』を比較し、脱窒量を算出した。どちらかがゼロの場合は脱窒が生じていないものとし、両者が減少している場合については、両者の数値を比較して、小さい値を脱窒量とした。

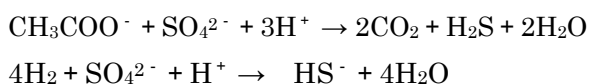
こうした方法で求めた脱窒量を積算した結果、試験区が 16.0g、対照区が 3.4g となった。

3.3 独立栄養型脱窒菌による脱窒量の算出方法

独立栄養微生物で CO_2 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} などの無機態炭素をエネルギー源とする脱窒菌である硫黄酸化細菌 *Thiobacillus denitrificans* の脱窒作用のイオン反応式は、 S^{2-} を電子供与体とした場合、次の通りである。



このイオン反応式より、理論上、S/N 比が 0.842 で、硫黄酸化細菌による脱窒作用が進行することになる。一方、還元土壌では、硫酸還元菌が活動しているが、その反応式は次の通りである。



これより、硫黄酸化細菌は脱窒反応に還元硫黄化合物を必要とするが、硫酸還元菌と共存することで、その需要を満たしていると考えられる。

試験区と対照区について、採水日毎に地下水中の SO_4 存在量を求め、試験区から対照区を差し引くことによって、『硫黄酸化細菌が薬品由来の硝酸を使用して生成された SO_4^{2-} 量』と『薬品由来の硝酸から生成された SO_4^{2-} 量を

硫酸還元菌が消費した量』の差が求められる (Table 3)。その差について、前回採水日との増加量あるいは減少量を求め、各値を $\text{SO}_4^{2-} / \text{NO}_3^-$ 比 = 0.842 で除し、 NO_3^- - N 値に換算し、その値を積算して脱窒量を求めた。ただし、脱窒に関係する SO_4^{2-} の増加量と減少量は実際よりも少なく算出される可能性があるため、脱窒量の算出値は正味の値よりも小さくなる。

Table 3 SO_4^{2-} 変動に関わる要因

試験区	対照区
硫黄酸化細菌が薬品由来の硝酸を使用して生成された SO_4^{2-}	
硫黄酸化細菌がもともと土壌に存在した硝酸を使用して生成された SO_4^{2-}	硫黄酸化細菌がもともと土壌に存在した硝酸を使用して生成された SO_4^{2-}
硫黄酸化細菌が酸素を使用して生成された SO_4^{2-}	硫黄酸化細菌が酸素を使用して生成された SO_4^{2-}
もともと土壌に存在した SO_4^{2-}	もともと土壌に存在した SO_4^{2-}
堆肥・腐葉土・籾殻由来の SO_4^{2-}	堆肥・腐葉土・籾殻由来の SO_4^{2-}
降雨・水道水由来の SO_4^{2-}	降雨・水道水由来の SO_4^{2-}
硫酸還元菌が消費した SO_4^{2-} (薬品由来以外)	硫酸還元菌が消費した SO_4^{2-} (薬品由来以外)
薬品由来硝酸から生成した SO_4^{2-} 量を硫酸還元菌が消費した量	

3.4 薬品由来の脱窒量

従属栄養型脱窒菌による脱窒量は 12.6g となり、硫黄酸化細菌による脱窒量が 83.4g 以上と算出された。これより、硫黄酸化細菌によって、薬品由来の硝酸態窒素の少なくとも 62.1% が除去されたことが示唆された。また、2005 年 2 月 15 日に暗渠の栓が抜けたために流亡した量が 0.533g であり、試験終了後の残存窒素量から試験開始前の残存窒素量を差し引いた量が 0.180g であった。これらを合計して、薬品投入量である 134.3g から差し引くと、37.59g となった。この値については、土壌への負の吸着量を検討するとともに、硫黄酸化細菌による脱窒量の算出誤差の検証を行うことで明確にしたい。

4. おわりに

本研究は科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2)) 課題番号 15580296 によって遂行された。ここに記して、関係諸氏に謝意を表したい。

【引用文献】

- 1) 石川雅也・塩沢昌・飯田俊彰・梶原晶彦 (2005): 転換畑地の心土層に蓄積した高濃度硝酸態窒素除去, H17 年度農土学会講演要旨集, pp.276~277.