

熱対流が湛水土壌の硝酸態窒素除去速度に及ぼす影響 Effect of heat convection on nitrate nitrogen removal rate in ponded soil

雨澤 毅明**, ○松井 宏之*, 杉崎 芽依***, 大澤 和敏*

AMEZAWA Takeaki, MATSUI Hiroyuki, SUGISAKI Mei, OSAWA Kazutoshi

1. 背景と目的

水田では脱窒菌と藻類の同化の働きによって硝酸態窒素除去機能があることが多くの研究で明らかになっており、水質改善などの効果も期待される。しかし、現象の定量的な測定および解析は十分ではなく、適切な水環境の創出を検討していく上で、現象の解析が求められる。杉崎ら(2016)は、湛水土壌上の水の流速と硝酸態窒素除去係数と相関があることを示し、水流が還元層への硝酸分子の供給を促進させることを示した。また、水田では、水平方向の流れ以外にも鉛直対流が生じており、花山ら(2011)は、田面水の熱対流速度が大気-水面間の熱輸送に影響され、夜間は田面水-気温の温度差、日中は蒸発によって熱対流が誘発することを示している。

そこで本研究では、熱対流を誘発する田面水-気温の温度差と蒸発が硝酸態窒素除去速度に及ぼす影響をそれぞれ明らかにすることで、熱対流が硝酸態窒素除去速度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 田面水-気温の温度差の影響 宇都宮大学の学内圃場で採取し、2 mm ふるいを通過した土壌(2cm)を敷き詰め、10 mg/L 硝酸溶液(水深4cm)を注いだビーカーを、透明フィルムにより水面被覆し、恒温室内の25°Cに設定した恒温水槽に静置した(図1)。

恒温室の温度を17, 21, 23, 25°Cの4条件とし、田面水と気温の温度差をそれぞれ8, 4, 2, 0°Cとした。また、溶液の入れ替えの影響を避けるため、入れ替え後24時間経過後を0日目、同じく48時間経過後を1日目、72時間経過後を2日目とし、溶液を採取し、液体クロマトグラフにより硝酸態窒素濃度を分析した。

(2) 蒸発の影響 2 mm ふるいを通過した土壌(2cm)を敷き詰め、10 mg/L 硝酸溶液(水深4cm)を注いだビーカーを25°Cに設定した恒温室、恒温槽に静置した。恒温槽では蒸発を抑制するため、高湿度を保持するよう努めた。また、恒温室には、蒸発抑制のため透明フィルムにより水面被覆した試験区、水深6cmの試験区、硝酸溶液のみを4cm注いだ試験区を設けた。上記(1)と同様に、入れ替え後24時間経過後を0日目、同じく48時間経過後を1日目、72時間経過後を2日目とし、採取したサンプルの硝酸態窒素濃度を分析した。なお、蒸発量は実験開始前後の重量、途中で採取した水の重量をもとに蒸発量(g)を求め、ビーカーの径から蒸発量(mm)を求めた。

3. 結果・考察

(1) 田面水-気温の温度差の影響 式(1)から求められる式(2)を用いて、硝酸態窒素除去係数 α (m/day)を求めた。

* 宇都宮ブリッツェン

** 宇都宮大学農学部

*** 宇都宮大学大学院農学研究科

キーワード：脱窒，対流，蒸発，室内実験

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{\alpha}{h} C \quad (1) \quad C = C_0 e^{-\frac{\alpha}{h} t} \quad (2)$$

ここで、 C ：硝酸態窒素濃度 (mg/L)、 t ：時間 (day)、 h ：湛水深 (m)、 C_0 ：0 日目の硝酸態窒素濃度 (mg/L)

硝酸態窒素除去係数 α と田面水－気温の温度差 $T(^{\circ}\text{C})$ との関係を図 1 に示す。図 1 より硝酸態窒素除去係数は田面水－気温の温度差に比例し、(3) 式として表すことができることがわかる。

$$\alpha = 0.0002T + 0.003 \quad (r^2 = 0.42) \quad (3)$$

硝酸態窒素除去係数つまり除去速度が田面水－気温の温度差に影響されている可能性がある。つまり、水中の熱輸送量は田面水－気温の温度差に比例するため、田面水－気温の温度差に比例して熱対流も大きくなり、土壤に多くの硝酸態窒素分子が供給され、硝酸態窒素除去速度が大きくなったと考えられる。

(2) 蒸発の影響 蒸発により実験前後で硝酸溶液が減少し、濃度が上昇する。そのため、濃度上昇分を考慮した連立微分方程式 (式 (4)) から求められる式 (5) から硝酸態窒素除去係数 α (m/day) を求めた。

$$\begin{cases} \frac{dC}{dt} = -\frac{\alpha}{h} C + \left(\frac{h}{h-E} - 1 \right) C \\ \frac{dh}{dt} = -E \end{cases} \quad (4) \quad C = C_0 \frac{(h_0 - E) \left(1 - \frac{E \cdot t}{h_0} \right)^{\frac{\alpha}{E}}}{h_0 - E(t+1)} \quad (5)$$

ここで、 E ：蒸発量 (m/day)、 h_0 ：0 日目の湛水深 (m)

水深 4 cm の試験区における硝酸態窒素除去係数 α と蒸発量 E との関係を図 2 に示す。図 2 より硝酸態窒素除去係数が蒸発量に比例し、(6) 式として表すことができる。

$$\alpha = 0.0008E + 0.0008 \quad (r^2 = 0.40) \quad (6)$$

硝酸態窒素除去係数つまり除去速度が蒸発量に影響されている可能性がある。つまり、蒸発量に比例して放熱による水面冷却は促進されるため、蒸発量に比例して熱対流も大きくなり、土壤に多くの硝酸態窒素分子が供給されるためと考えられる。次に、水深 4 cm と水深 6 cm の比較では、蒸発量はいずれも 2.4 mm/d 前後でほぼ同じであったものの、水深 4 cm の実験区の硝酸態窒素除去係数の平均が 0.0029、同じく水深 6 cm では 0.0005 となった。このことから、蒸発の影響は、湛水深に対する蒸発量の割合に比例し、硝酸態窒素除去速度が変化することが考えられる。

(参考文献) 1) 杉崎芽衣(2016)：田面水の流速が硝酸態窒素除去速度に与える影響, H28 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 2) 花山奨, 安中武幸(2011)：植生下における田面水の対流を誘発する要因について, 土壤の物理性, 118:19-24

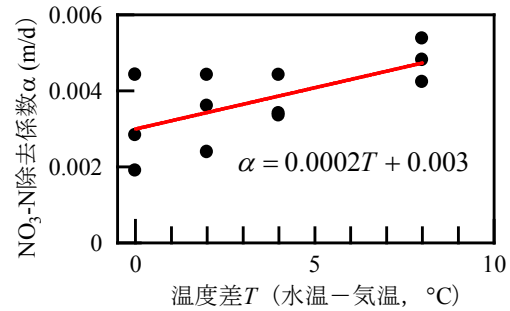


図 1 田面水－気温の温度差と硝酸態窒素除去係数の関係

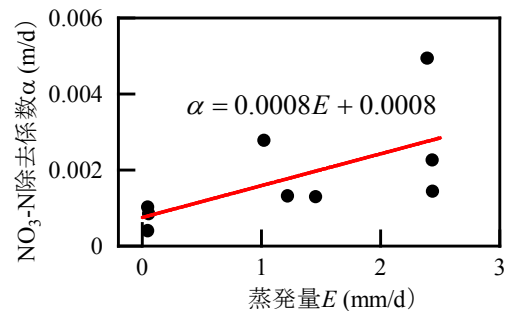


図 2 蒸発量と硝酸態窒素除去係数の関係