

転換畑心土層における脱窒による窒素除去と地下水飽和土層厚の推定

On the Nitrogen Removal into Undersoil Layer in New Multi-Purpose Paddy Field

○橋本紗希*、下田陽介**、石川雅也*、梶原晶彦*

Hashimoto Saki*, Shimoda Yousuke**, Ishikawa Masaya* and Kajihara Akihiko*

1. はじめに

本研究ではこれまで、水域の硝酸態窒素汚染防止策の1つとして閉鎖型構造の新型汎用化水田に着目し、当圃場条件を満たす土中埋設型野外ライシメータにおいて転換畑作を行うとともに、閉鎖型心土層に地下水飽和土層帯を人為的に創出させた3年におよぶ水質試験を行い、その窒素除去機能の有効性を実証してきた¹⁾²⁾。

本報では、化学量式によって算出した生物学的脱窒量に基づいて、地下水飽和土層帯の最上位層を弱還元土層と定義し、弱還元土層では従属栄養型脱窒菌が発現される現象に着目することで、弱還元土層厚の推定とその要因の考察を試み、また、窒素除去を想定した地下水飽和土層帯の厚さを具体的な数値で明示した。

2. 試験方法

隣接したライシメータ2基を化学肥料・植生(ホウレン草)区と無施肥・無植生区とした。

化学肥料区では、冬季における脱窒量を測定するため、試験開始時の心土層に硝酸カリウム $277\text{kg}\cdot\text{N}/\text{ha}$ を投与した。施肥基準に従い、2008年5月27日と2008年9月24日に硫酸 $236\text{kg}\cdot\text{N}/\text{ha}$ を作土層(20cm土層)に施肥した。

試験は現在も進行しているが、本報では2007年12月10日~2009年1月26日の隔週定刻に地表下10cm毎の土層の暗渠から採取した土壌水の分析結果について報告する。

3. 結果と考察

3.1 野外試験 T-N 濃度変動 (Fig.1)

全試料で T-N 濃度 $\equiv \text{NO}_3\text{-N}$ 濃度であった。化学肥料区では、硝酸カリウム投与直後に非常に高い濃度となった。その後、濃度は増加と減少を繰り返しながら漸減し、約11ヵ月後の2008年11月10日には-80cm地下水層帯において $1.5\text{mg}/\text{L}$ まで減少した。無施肥区では、試験期間のほとんどで $1.0\text{mg}/\text{L}$ 以下で推移した。

3.2 窒素収支 (Fig.2)

化学肥料区における1年間の脱窒量を脱窒反応の化学量式¹⁾²⁾から試算した。その結果、12~3

月に $200\text{kg}\cdot\text{N}/\text{ha}$ の生物学的脱窒量が認められ、地下水温が比較的安定している冬季も活発に脱窒反応が生じていることが示唆された。また、生物学的脱窒量 ($\text{kg}\cdot\text{N}/\text{ha}\cdot\text{年}$) の内訳については、従属栄養型脱窒菌の脱窒量が30であり、独立栄養型脱窒菌の脱窒量が657と算出されたが、化学量式による算出方法については、今後、微生物数を考慮した検証を行うことで、有機炭素源の投与がほとんどない閉鎖型心土層中の地下水飽和土層帯における独立栄養型脱窒菌の活性条件を明確にする必要がある。

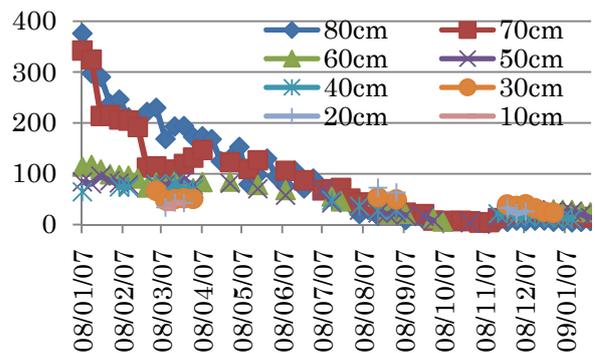


Fig.1 T-N 濃度の時間変動 (化学肥料区)

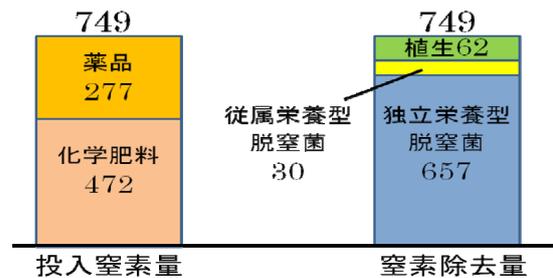


Fig.2 窒素の試験期間収支 (化学肥料区) $\text{kg}\cdot\text{N}/\text{ha}$

3.3 弱還元層の推定

地下水飽和土層帯のうち最上位層を弱還元土層、その下層を強還元土層と定義し、各土層において、T-N 濃度の実測値から T-N 存在量の減少量を積算し、その積算値を算出した。

3.3.1 T-N 減少量の算出方法

T-N 存在量の T-N 減少量については、①採水日間で地下水位変動がなかった場合、②採水日

* 山形大学 農学部、** (株)アマタケ

* Faculty of Agriculture, Yamagata University, ** Amatake Co., Ltd.

キーワード: 汎用化水田、転換畑地、水質浄化、窒素除去、脱窒量、弱還元土層

間で地下水位が低下した場合、③採水日間で地下水位が上昇した場合に分けて算出した。

X週の土層 A、土層 B、土層 C、... 土層 M(上層から A、B、C、... 最下層 M)の T-N 存在量を A_0 、 B_0 、 C_0 、... M_0 とし、X+1 週の各土層 ABC...M の T-N 存在量を A_1 、 B_1 、 C_1 、... M_1 とし、地下水飽和土層帯の最上土層の T-N 存在量 = 土層体積(V) × 体積含水率(P_w) × 土層 T-N 濃度(C)とし、それ以深の土層の T-N 存在量 = 土層体積(V) × 間隙率(P_v) × T-N 濃度(C)とした。

①地下水位変動がなかった場合

土層 A まで地下水層帯が水分飽和している状況が続いた場合は以下のように計算した。

$$\begin{aligned} & \text{弱還元土層の T-N 減少量 } \alpha(g) \\ & = A_0 - A_1 \\ & = V \times P_{w-a} / 100 \times (C_{A0} - C_{A1}) \end{aligned}$$

P_{w-a} : 土層 A の体積含水率 (%)
 C_{A0} : X 週の土層 A の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{A1} : X+1 週の土層 A の T-N 濃度 (mg/L)

$$\begin{aligned} & \text{強還元土層の T-N 減少量 } \beta(g) \\ & = (B_0 - B_1) + (C_0 - C_1) + \dots + (M_0 - M_1) \\ & = V / 100 \times \{ \{ P_{v-b} \times (C_{B0} - C_{B1}) \} \\ & + \{ P_{v-c} \times (C_{C0} - C_{C1}) \} + \dots + \{ P_{v-M} \times (C_{M0} - C_{M1}) \} \} \end{aligned}$$

P_{v-b} : 土層 B の間隙率 (%)
 C_{B0} : X 週の土層 B の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{B1} : X+1 週の土層 B の T-N 濃度 (mg/L)
 P_{v-c} : 土層 C の間隙率 (%)
 C_{C0} : X 週の土層 C の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{C1} : X+1 週の土層 C の T-N 濃度 (mg/L)
 P_{v-M} : 土層 M の間隙率 (%)
 C_{M0} : X 週の土層 M の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{M1} : X+1 週の土層 M の T-N 濃度 (mg/L)

②採水日間で地下水位が低下した場合

地下水位が土層 A から土層 B に減少した場合は、以下のように求めた。

$$\begin{aligned} & \text{弱還元土層の T-N 減少量 } \alpha(g) \\ & = B_0 - B_1 \\ & = V / 100 \times \{ (P_{v-b} \times C_{B0}) - (P_{w-b} \times C_{B1}) \} \end{aligned}$$

P_{v-b} : 土層 B の間隙率 (%)
 P_{w-b} : 土層 B の体積含水率 (%)
 C_{B0} : X 週の土層 A の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{B1} : X+1 週の土層 A の T-N 濃度 (mg/L)

$$\begin{aligned} & \text{強還元土層の脱窒量 } \beta(g) \\ & = (C_0 - C_1) + \dots + (M_0 - M_1) \\ & = V / 100 \times \{ (P_{v-c} \times C_{C0} + \dots + P_{v-M} \times C_{M0}) \\ & - (P_{v-c} \times C_{C1} + \dots + P_{v-M} \times C_{M1}) \} \end{aligned}$$

P_{v-c} : 土層 C の間隙率 (%)
 C_{C0} : X 週の土層 C の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{C1} : X+1 週の土層 C の T-N 濃度 (mg/L)
 P_{v-M} : 土層 M の間隙率 (%)
 C_{M0} : X 週の土層 M の T-N 濃度 (mg/L)
 C_{M1} : X+1 週の土層 M の T-N 濃度 (mg/L)

③採水日間で地下水位が上昇した場合

地下水位が土層 B から土層 A に上昇した場合は、水分飽和である X 週の A 層の T-N 存在量 A_0 を前採水日(X-1 週)と同量として算出した。

$$\begin{aligned} & \text{弱還元土層の T-N 減少量 } \alpha(g) \\ & = A_0 - A_1 = V \times P_{w-a} / 100 \times (C_{A0} - C_{A1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{強還元土層の T-N 減少量 } \beta(g) \\ & = (C_0 - C_1) + \dots + (M_0 - M_1) \\ & = V / 100 \times \{ (P_{v-c} \times C_{C0} + \dots + P_{v-M} \times C_{M0}) \\ & - (P_{v-c} \times C_{C1} + \dots + P_{v-M} \times C_{M1}) \} \end{aligned}$$

3.3.2 弱還元土層厚の推定試算

弱還元土層厚が 10cm であり、かつ試験全期間での弱還元土層の積算 T-N 減少量がすべて従属栄養型脱窒量であると仮定すれば、その積算量は 200kg・N/ha と算出され、20cm とした場合は 398kg・N/ha と算出された。これより、弱還元土層厚 1cm 当りの T-N 減少量は 20.0kg・N/ha と算出された。したがって、化学量式から求めた従属栄養型脱窒量 29.9kg・N/ha が正しいと仮定すれば、その量に相当する弱還元土層の厚さは 1.49cm と試算できる。

同様に、弱還元土層厚 10cm での強還元土層における積算 T-N 減少量がすべて独立栄養型脱窒量であると仮定すれば、その積算量は 821kg・N/ha と算出された。これより化学量式から求めた独立栄養型脱窒量に相当する弱還元土層の厚さは 18.0cm と試算できる。

以上の結果および当試験区では 4 年以上にわたって人為的な有機物源の投与がないことから推察すると、本来は 18.0 cm 厚の従属栄養型脱窒菌の活性土層帯が存在するが、易分解性有機物が従属栄養型脱窒菌活性の制限要因となっていたため、実際にはそのうちの 1.49cm 厚に相当する地下水飽和土層帯において、従属栄養型脱窒菌が発現されたと試算できたが、今後は有機化量を考慮した算出を行う予定である。

4. おわりに

本報は試験進行中の結果と自然現象を単純化させた仮説に基づく。今後、引き続き野外長期試験結果の解析を進めるとともに、室内カラム試験を行い、解析方法の厳密な検証を行う。

本研究は平成 20 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)課題番号 19580275)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(2006) : 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、H18 年度農業土木学会講演要旨集、pp.372-373.
- 2) 下田陽介・石川雅也・飯田俊彰・梶原晶彦(2007) : 転換畑野菜栽培下における化学量式を用いた脱窒量の算出、H19 年度農業土木学会講演要旨集 pp.692-693