

排水位管理による転作田からの窒素流出削減効果

Effect of Management of Drainage Water Level on the Reduction of Nitrogen Load
from Drained Paddy Field for Upland Crop Cultivation

中村公人*・谷口麻紀*・三野 徹*・山本 新**・齋藤禎一*・田中千尋*

Kimihito Nakamura, Maki Taniguchi, Toru Mitsuno, Arata Yamamoto, Yoshimoto Saito, Chihiro Tanaka

1. はじめに 水田は一般に土壌が還元状態にあるため窒素流出負荷は小さいといわれるが、汎用化や乾田化により土壌が酸化環境になる期間が増加し、窒素流出が下流の水系に影響を与えていると考えられる。そこで、圃場整備が行われ、容易な水管理が可能となった水田圃場の特徴を利用して、土壌中での硝化・脱窒反応の制御をねらい、排水路をせき上げて排水位を高くする管理法による窒素流出削減効果を検証した。水稻栽培期間においては中干し期にその効果が確認されたが、本報告では転作期間中の効果について検証した。

2. 調査概要

(1)調査地区 調査地区は滋賀県近江八幡市の水田圃場である。この地域はかつて湿田であったが、現在は汎用農地として、3年に1度は転作によりコムギ、ダイズが作付けされている。調査圃場概要を Fig.1 に示す。2003年11月下旬から、図中 W 地点に土嚢を設置し、土嚢上流の排水路水位は暗渠管出口が浸る程度に保たれた。土嚢上流側の plot1~4 は排水位を高く管理した試験圃場、plot5,6 は従来の排水位管理を行った対照圃場である。耕作者は plot1,3,5, plot2,4,6 がそれぞれ同一で、栽培管理記録を Table 1 に示す。



Fig.1 調査圃場概要と調査地点

Schematic representation of the study field plots.

Table 1 栽培管理 Agricultural calendar.

圃場	plot1	plot3	plot5	plot2	plot4	plot6
地積(m ²)	3000	2990	2200	3010	3000	2990
ムギ	品種	農林61号			農林61号	
	播種	2003/10/28			2003/11/10	
	収穫日	2004/6/8~10			2004/6/8~10	
ダイズ	施肥日	10/26, 12/28, 04/3/9, 3/28			10/28, 11/5, 12/28, 04/3/5, 5/7	
	品種	黒大豆(早生黒)			黒大豆(早生黒)	
	播種	2004/6/14~6/16			2004/6/14~6/15	
	収穫日	11/7~11/13			11/7~11/12	
	施肥日	6/13,6/14			6/13,6/14	

(2)調査項目 土嚢直上流部(W)、支線排水路末端部(F)及び各圃場の地下水(暗渠立ち上げ管内の水、G-1~6)、各圃場の暗渠流出水(G-1out~6out)を採水した(基本的に週1回)。2004年7月から月に1度、圃場(plot4,6)の中央部3深度(0~20,30~50,70~90cm)から土壌を採取した。水質分析は窒素成分(TN,DTN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N)を中心に行った。各圃場の暗渠立ち上げ管内の水位を採水時に測定し、これを圃場内の地下水位とみなした。排水路の水位は堰直上流部に設置した水位計で記録した。降雨量は雨量計で測定した。暗渠管からの流出量を、暗渠管出口が水没している場合には電磁誘導方式流速計を用い、そうでない場合にはメスシリンダーを用いて測定した。土壌分析は含水比測定及び土壌を蒸留水及びKCl溶液で抽出し、0.45μmフィルタ通過試料について、水溶態：TN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N及び吸着態：TN, NH₄-Nを分析した。さらに、土壌微生物のDNAを抽出し、PCR-DGGE法を用いて、その群集解析を行った。

3. 結果と考察 土嚢設置により土嚢上流部の排水路水位は排水路底から30cm程度に保たれ、降雨と蒸発によって変動し、蒸発量の多い2004年6~9月には無降雨日が続くと底か

* 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

**京都大学農学部 Faculty of Agriculture, Kyoto University

キーワード: 窒素, 転作田, 排水位管理, 硝化, 脱窒

ら 10cm 程度まで低下し，下流部とほぼ同じ水位となった．地下水位は降雨時のみ測定可能で，上下流部で明確な違いは確認できなかった．また，地下水採水は降雨時のみ可能で，このとき高濃度（ $\sim 20\text{mgL}^{-1}$ ）の $\text{NO}_3\text{-N}$ が検出された．暗渠流出水中の TN は無降雨時に 2mgL^{-1} 程度で， $\text{NH}_4\text{-N}$ ，DON が主成分であるのに対し，降雨時には $\text{NO}_3\text{-N}$ を主成分とする高濃度（ $\sim 10\text{mgL}^{-1}$ ）の TN が検出され，この傾向は上下流部で同様であった．土壌表層で硝化により蓄積した $\text{NO}_3\text{-N}$ が降雨とともに下方へ移動し，暗渠管から流出したものと考えられる．つまり，地下水や暗渠流出水中の窒素濃度からは効果を比較できなかった．

そこで，せき上げ効果を検証するために，採土を行った plot4, 6 について，土壌中の水・各態窒素収支から脱窒，無機化，硝化量の違いを推定した．対象期間は 2004/8/27～10/10（期間 1），10/10～11/22（期間 2）である．期間内の圃場における水収支式は式(1)となる．ここで， S は土壌水分量， R は降雨量， ET は蒸発散量（Penman 式と作物係数から推定）， G は地下浸透量（暗渠があるため 0 と仮定）， O は暗渠流出量である． $i-1$ は期間初期， i は期間終了時を表す．各態窒素の収支式は式(2)～(5)となる．ここで， S は土壌， R は降雨， Fer は肥料（対象期間中なし）， P は作物吸収， O は暗渠流出水，それぞれの窒素量を示し，添字は窒素形態を示す． Fix は窒素固定量， D は脱窒量， M は無機化量， N は硝化量である．降雨の水質は滋賀県農業総合センターのデータを参照した．plot4 の暗渠流出量は，実測流出量と実測排水位の関係から推定した．また，排水位データのない plot6 については plot4 と同様の流出形態を示すと仮定し，水収支式が成立するように補正した．各窒素成分の流出負荷量は実測値から得た $L-Q$ 式から算出した．なお，両圃場の土壌乾燥密度，作物窒素吸収量及び窒素固定量は同一と仮定した．plot4, 6 における窒素形態変化量の差を Table 2 に示す．期間 1 では脱窒・硝化量ともに，排水位を高く管理した plot4 で大きい．

硝化速度は還元状態でなければ $S_{i-1} + R - ET - G - O = S_i$ (1)

土壌水分量に伴い増加するため $S_{\text{TN}i-1} + R_{\text{TN}} + Fer_{\text{TN}} + Fix - P_{\text{TN}} - O_{\text{TN}} - D = S_{\text{TN}i}$ (2)

せき上げによる土壌水分量の増加 $S_{\text{org-N}i-1} + R_{\text{org-N}} + Fer_{\text{org-N}} - O_{\text{org-N}} - M = S_{\text{org-N}i}$ (3)

増加が還元層での脱窒量の増加の $S_{\text{NH}_4\text{-N}i-1} + R_{\text{NH}_4\text{-N}} + Fer_{\text{NH}_4\text{-N}} + Fix - P_{\text{NH}_4\text{-N}} - O_{\text{NH}_4\text{-N}} + M - N = S_{\text{NH}_4\text{-N}i}$ (4)

みならず酸化層での硝化の促進 $S_{\text{NO}_3\text{-N}i-1} + R_{\text{NO}_3\text{-N}} + Fer_{\text{NO}_3\text{-N}} - P_{\text{NO}_3\text{-N}} - O_{\text{NO}_3\text{-N}} + N - D = S_{\text{NO}_3\text{-N}i}$ (5)

を引き起こし，一方，土壌がより乾燥状態となった plot6

では硝化・脱窒ともに阻害されたと推察される．期間 2 で

は，暗渠流出水の温度が 20 以下であり，低温による微生物活動阻害により，両圃場の差が小さかったものと考えられる．

微生物解析では，圃場・深度・時期によらずほぼ同じバンドパターンが得られ，上下流圃場における違いは検出されなかった．窒素挙動の違いは優占微生物種の違いではなく，優占微生物の活性の違いによると考えられる．

4. おわりに 排水路に土壌を設けて 30cm 程度せき上げる排水位管理では，転作田暗渠からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出を抑制できないことが示唆された．転作田からの窒素流出負荷量は水田に比べて小さいが，濃度は例えば排水路において降雨時に 10 倍以上と高い．何らかの対策が必要である．

（協力農家，滋賀県農業総合センター，近江八幡市，キタイ設計のご協力に感謝申し上げます）

Table 2 窒素形態変化量の差

Differences of N transformations between plot 4 and 6.			
period	ΔD	ΔM	ΔN
1	6.0	-1.6	2.5
2	-1.7	3.2	1.5

ΔD , ΔM , ΔN は式(2)～(5)に示した各量の (plot4 - plot6) 単位 (gN m^{-2})

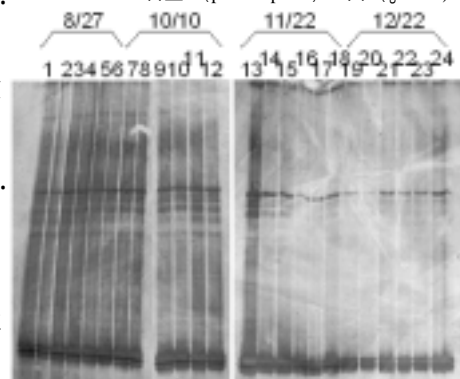


Fig.2 DGGE 法による微生物バンド (奇数: plot4, 偶数: plot6, 番号は深さ順) Bands of DNA by DGGE analysis.