

しろかき後の強制落水によって排出される窒素の生物地球化学的变化

山田佳裕・三戸勇吾・中島沙知・小笠原貴子

Biogeochemical change of the nitrogen in the water compulsorily discharged after ploughing and irrigatin the field

Yoshihiro Yamada, Yugo Mito, Sachi Nakashima, Takako Ogasawara

Abstract

Biogeochemical change of the nitrogen in the turbid water compulsorily discharged after ploughing and irrigatin the field was clarified by the incubation experiment. The sample was collected from paddy field in Lake Biwa basin. 95% of total nitrogen in the turbid water was the organic nitrogen. The ammonium nitrogen increased in the culture with the nitrification inhibitor, while nitrate nitrogen increased in the culture with inhibitor free. About 30% of total nitrogen was decomposed, and was nitrified to nitrate nitrogen within 1 month. About 70% of Total nitrogen was undecomposed. It was considered that this fractionation was a recalcitrant form like the rice straw, and were accumulated in the bottom of Lake Biwa for long term.

Key words: Lake Biwa, Nitrogen, Nitrification, Paddy field, Turbid water

はじめに

人間活動に伴う流域への窒素の過剰な供給は、水質汚濁の主要な要因となっている。近年、下水処理場の普及および下水処理能力の向上や、流域への総量規制により生活廃水や工場廃水からの窒素の負荷量は減少しつつある^(1,2)。しかしながら、流域への窒素・リンの重要な供給源の一つである農業廃水については廃水の管理が難しい等の理由から具体的な対策が取られていないのが現状である。中でも稲作は我が国の主要な食糧供給源であるとともに、多くの土地を占有している。自然に対する負荷の少ない方法を構築していくことが、安定的な食糧確保にとって必要である。

研究の対象である琵琶湖集水域は西日本有数の米の生産量を誇る。ここでの米生産者の特徴として農業就業人口の半数以上が65歳以上の高齢者であり、また全体の90%以上が兼業農家であることが挙げられる。また、全国で最も機械化が進んでいる地域でもあり、省力化、集約化した圃場が多く存在している。

また、用排水の分離が推進され、圃場ごとの簡易な水管理が可能となっている。琵琶湖集水域には121の1級河川があり、小河川を含めると400以上もの河川が存在するが、それらのほとんどが水田地帯を流れる小河川で

あり、農業用排水路としての役割を有している。

用水の安定供給や使用の簡便さは水管理の粗放化を引き起こし、水田からの排水を増大させている(國松, 1996)⁽³⁾。粗放的な水管理の代表的なものとして、しろかき後の強制落水が挙げられる。増田(2003)⁽⁴⁾は有数の水田地域である滋賀県彦根市での聞き取り調査から強制落水を行っている農家は7割にも及ぶと報告している。強制落水とはしろかき後の田植えの際に田面水の自然な減水を待たずに、排水口の堰を取り払い強制的に濁った田面水を流出させる方法である。その際、水田から懸濁物を多く含んだ濁水が河川に流入する⁽⁵⁻⁹⁾。濁水中には多くの生元素が含まれており、琵琶湖流域の場合、強制落水によって供給される生元素の年間負荷量に占める割合は大きいと見積もられている。供給量に加えて、濁水中で起こっている様々な化学的、生物学的プロセスを明らかにすることは、琵琶湖流域の物質循環を理解する上で重要である。これは、我が国全体についてもいえることである。特に窒素は河川内において無機化や硝化・脱窒といった様々な生物地球化学的を経ながら、下流域の物質循環系へと組み込まれていく。よって、水田からの濁水が流域の物質循環や生態系に与える影響を評価していく上で、供給量に加えて、その形態変化の過程を把握することが重要になると考えられる。

本研究では、琵琶湖集水域有数の水田地帯である湖東平野の水田地帯において、しろかき期に水田から流出する濁水の培養実験を行ない、水田から流出する濁水中の窒素の形態変化を明らかにすることを目的とした。

方 法

2004年5月に湖東平野の水田地帯においてしろかき時に水田から流出する濁水を採取した(35° 12' 00", 136° 11' 51"). 採取した濁水試料は孔径150 μm の網を用いて夾雑物を除去した後、その300mlを遮光したガラス瓶に分取した。これに硝化抑制剤(ニトラピリン)15mgを添加した検体および硝化抑制剤無添加の検体(コントロール)をそれぞれ5検体ずつ作成した。また、蒸留水300mlを遮光したガラス瓶に分取した検体を3検体作成した。調整した各検体に回転子を入れ、スターラーで攪拌しながら、人工気象器を用いて現場水温(23°C)で培養し、培養開始から7日、14日、21日、28日後に濁水の採取を行った。27日後の濁水採取時には、同時に溶存酸素計(YSI-model95)を用いて濁水中の溶存酸素量(DO)を測定した。

水田から流出していた濁水および培養実験で得られた濁水試料は、孔径0.2 μm のメンブレンフィルター(GD/X, Whatman)でろ過を行い、ろ液について硝酸態窒素(NO_3^- -N)、亜硝酸態窒素(NO_2^- -N)、アンモニア態窒素(NH_4^+ -N)を測定した。また、水田から流出していた濁水および培養開始から13日、27日後の濁水試料は、全窒素(TN)についても測定した。

NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -NはTRAACS 2000(BRAN+LUEBBE)を用いて測定した。また、TNについては試料水をアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解法⁽¹⁰⁾で分解後、ろ液についてTRAACS 2000(BRAN+LUEBBE)でそれぞれ測定した。

また、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -Nの総和をDINとして算出した。

結果および考察

水田から流出していた濁水中のTN濃度は5.03 mg l^{-1} であった(Fig. 1)。硝化抑制剤を添加した実験区のTN濃度の平均値は13日後では4.95 \pm 0.52 mg l^{-1} 、28日後では5.27 \pm 0.15 mg l^{-1} であった(Fig. 1)。また、硝化抑制剤を添加していない実験区では14日後で4.77 \pm 0.29 mg l^{-1} 、28日後で5.40 \pm 0.15 mg l^{-1} であり、両実験区において培養期間中のTN濃度の増減はほとんどなかった(Fig. 1)。さらに、蒸留水のTN濃度は14日後で0.022 \pm 0.00 mg l^{-1} 、28日後で0.026 \pm 0.01 mg l^{-1} と低かったことから培養期間中における窒素の外部からの汚染は無視できるレベルであったといえる(Fig. 1)。

培養終了時(28日後)におけるDOは硝化抑制剤を添加した実験区では、10.0 \pm 0.4 mg l^{-1} であり、硝化抑制剤を添加していない実験区では10.1 \pm 1.1 mg l^{-1} であったことから、培養期間中、実験に用いた濁水は酸化的な条件下にあったと考えられる(Fig. 2)。

水中における無機態窒素には NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ の3つの主要な形態が存在する。 NH_4^+ -Nは自然水域中では、主に有機窒素の無機化によって生成される。そして、酸化的环境下では NH_4^+ は硝化細菌により、 NO_2^- 、 NO_3^- へと形態が変化する。 NO_3^- は溶存酸素が欠乏した環境下では脱窒細菌により還元され、窒素(N_2)ガスとして水中から除去される。硝化抑制剤の添加によって、硝化反応を阻害された濁水中では、培養期間中 NO_3^- -N、 NO_2^- -Nはそれぞれ0.05 mg l^{-1} 、0.02 mg l^{-1} 程度の値から変動しなかったのに対して、 NH_4^+ -N濃度は、培養開始時の0.26 mg l^{-1} から培養終了時(28日後)には1.33 \pm 0.07 mg l^{-1} まで増加している。これは、水中に含まれる懸濁態および溶存態

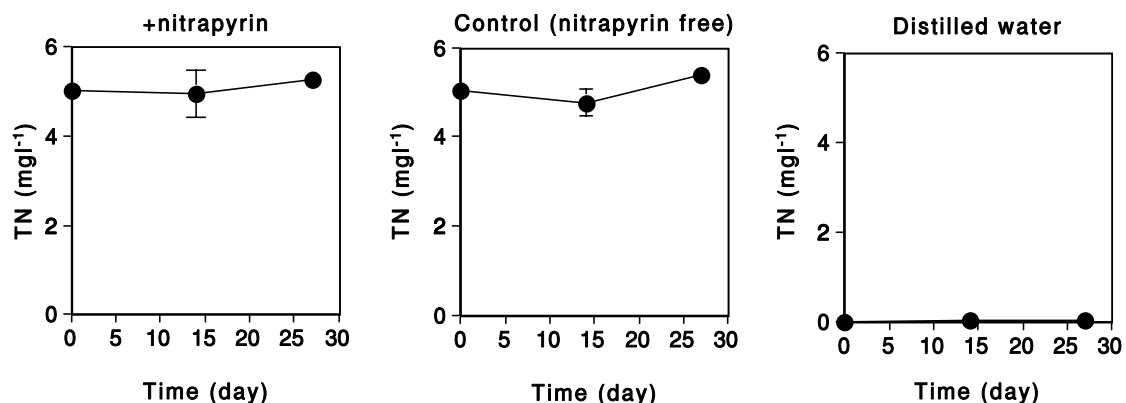


Fig. 1 The temporal change of total nitrogen concentration in turbid water for the incubation experiment.

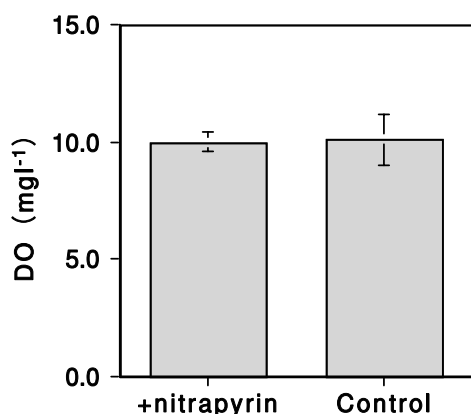


Fig. 2 The dissolved oxygen concentration at the end of the experiment.

の有機窒素が無機化されたためと考えられる (Fig. 3). 一方で、硝化抑制剤を添加していないコントロールの濁水では、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の増加は見られず、培養開始時の 0.26mg l^{-1} から 7 日後には $0.02 \pm 0.00\text{mg l}^{-1}$ と減少し、以後同程度の濃度で推移した (Fig. 3). しかしながら、培養開始から 7 日後には $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 濃度は $0.97 \pm 0.08\text{mg l}^{-1}$ と著しく増加しており、無機化された NH_4^+ が NO_2^- へと硝化

されたことを示している (Fig. 3). そして、培養開始から 14 日後には、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ は $0.01 \pm 0.00\text{mg l}^{-1}$ と培養開始時と同程度まで減少し、逆に $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は $0.86 \pm 0.07\text{mg l}^{-1}$ に増加したことから、無機化された NH_4^+ のほとんどが約 2 週間後には NO_3^- まで硝化されたものと考えられる (Fig. 3). 培養開始から 21 日後には、DIN および $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は、若干の低下が見られ、脱窒が生じていた可能性がある (Fig. 3). 培養期間中においては、濁水は酸化条件下にあったものの (Fig. 2), 懸濁粒子の隙間といった微細な空間では還元的环境が形成されており、このような空間で脱窒が進んだ可能性が考えられる.

以上のことから、自然界中では濁水中の TN の約 30% が約 1 ヶ月で分解され、 NO_3^- にまで硝化されていると考えられる.

山田ら (2006) ⁽¹¹⁾ は、しろかき期に流出する窒素の 70~90% 程度が懸濁態を主体とした有機窒素であり、琵琶湖北湖集水域において、農業用水を比較的豊富に用いることができる水田 (約 277km^2) が粗放的な水管理によるしろかきを行った場合、その TN 負荷量は最大 54.3ton になると見積もっている. 本実験の結果より、しろかき時の濁水中の TN の約 30% が $\text{NO}_3^-\text{-N}$ になると考えら

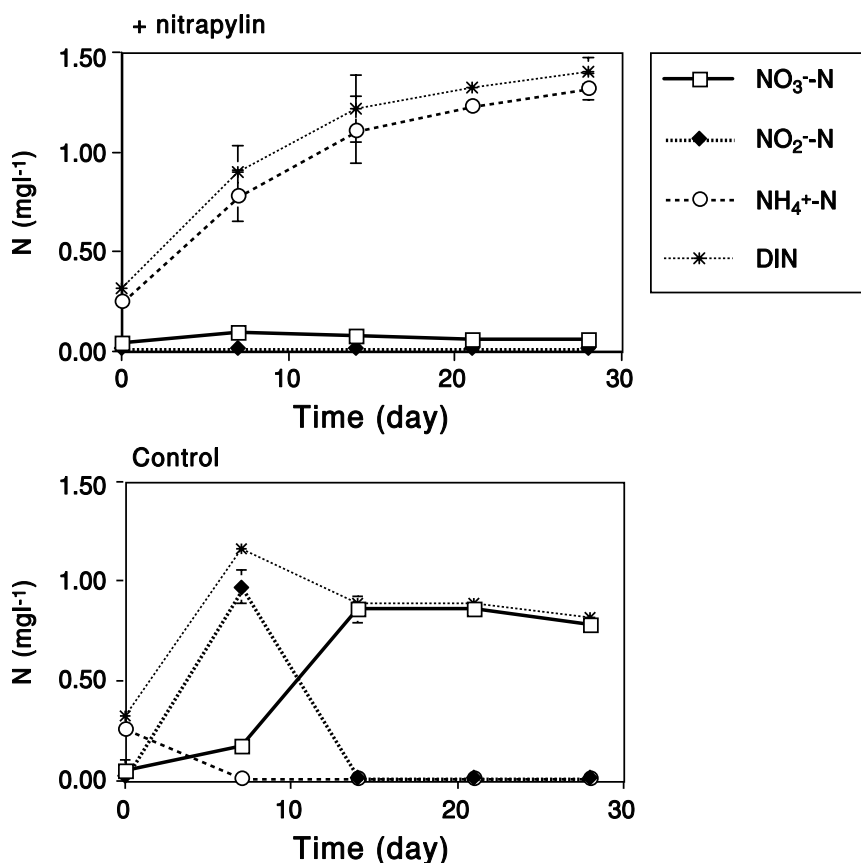


Fig. 3 The temporal change of dissolved inorganic nitrogen (DIN), $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration in turbid water for the incubation experiment.

れる (Fig. 3). 琵琶湖集水域における水田全てが粗放的な水管理によるしらかきを行った場合, 16 tonの NO_3^- -Nが濁水中の有機窒素の無機化によって負荷されることとなる. これは, Miyajima (1992)⁽¹²⁾によって見積もられた琵琶湖北湖における成層期 (6月~10月) の深水層での NO_3^- -Nの回帰速度 $567\text{mg}/\text{m}^2/\text{month}$ と琵琶湖北湖の面積 614km^2 から算出される琵琶湖北湖の成層期の深水層での NO_3^- -Nの1ヵ月当たりの回帰量 (348ton) の5%に相当する.

分解されなかった約70%は堆積物中へ移行し, 長時間湖底に蓄積されることになる. 稲わら等の難分解性の有機物が主要な要因であると考えられるが, このような堆積物へ移行する分画が水域の窒素循環にどのような影響を及ぼすか明らかにしていく必要がある. いずれにせよ, 水田の水管理が粗放化した場合, このように短期間に琵琶湖への窒素負荷が増大することになる. 水管理の適正化は, 琵琶湖の水環境の改善のために必要である.

引用文献

- (1) 中村栄一:琵琶湖の水質改善と下水道. 用水と廃水, 38, 36-40 (1996).
- (2) 平山公明・平山けい子・今岡正美・金子栄廣:下水道の普及に伴う小河川での水質変化に関する検討. 下水道協会誌, 39, 151-166 (2002).
- (3) 國松孝男:農地からのN, P負荷 (その2). 環境技術, 14, 195-202 (1985).
- (4) 國松孝男 (1996):環境保全型農業論, 水田農業の水質保全機能の評価と活用. 桜井倬治 (編著):50-65. 農林統計協会, 東京.
- (5) 増田佳昭 (2003):水田土地改良と環境保全-琵琶湖の農業濁水問題を中心に-. 環境経済・政策学会年報第8号:139-151.
- (6) 武田育郎・國松孝男・小林慎太郎・丸山利輔:水系における水田群の汚濁物質の収支と流出負荷量. 農業土木学会論文集, 153, 63-72 (1991).
- (7) 近藤正・三沢真一・豊田勝:代掻き田植時期のN, P成分の流出特性について. 農業土木学会論文集, 164, 147-155 (1993).
- (8) 宇土顕彦・竺文彦・大久保卓也・中村正久:灌漑期の水田における水量収支と栄養塩収支. 水環境学会誌, 23, 298-304 (2000).
- (9) 村山重俊・駒田充生・馬場浩司・津村昭人:農業集水域小河川の平常流量時の水質とその時期的変動. 日本土壤肥科学雑誌, 72, 409-419 (2001).
- (10) D'ELIA C. F., STENDLER P. A. and CORWIN N.: Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion. *Limnology and oceanography*, 22, 760-764 (1977).
- (11) 山田佳裕, 井桁明丈, 中島沙知, 三戸勇吾, 小笠原貴子, 和田彩香, 大野智彦, 上田篤史, 兵藤不二夫, 今田美穂, 谷内茂雄, 陀安一郎, 福原昭一, 田中拓弥, 和田英太郎:しらかき期の強制落水による懸濁物, 窒素とリンの流出-圃場における流出実験-. 陸水学雑誌, 67, 105-112 (2006).
- (12) MIYAJIMA, T.: Decomposition activity and nutrient regeneration rates in the hypolimnion of the north basin of Lake Biwa. *Jpn. J. Limnology*, 52, 65-73 (1992).

(2008年10月31日受理)