

冬期湛水した休耕田の硝酸性窒素除去能力を評価する

静岡県農林技術研究所 生産環境部

指定試験主任 高橋 智紀

1) はじめに

静岡県内の茶園が集中する地域においては硝酸性窒素による地下水への環境負荷が顕在化し、その対策として施肥量削減の取り組みが進められている¹⁾。その結果、茶園台地上から流出する小河川の硝酸性窒素濃度は徐々に低下傾向を示しているが、小河川の多くは依然として10mgN/Lを超えている²⁾。このように過去の施肥に由来した硝酸性窒素の流出は今後も継続することが予想される。

台地から流出する硝酸性窒素を含む水の浄化方策として、茶園－水田と続く地形・地目連鎖系(写真)を利用し、水田の窒素除去能力を積極

写真. 典型的な地形・地目連鎖の例

左側の囲みは茶園、右側の囲みは水田を表す。



本号の内容

§ 冬期湛水した休耕田の硝酸性窒素除去能力を評価する 1

静岡県農林技術研究所 生産環境部

指定試験主任 高橋 智紀

§ ハイパーCDU利用による施設軟弱野菜の合理的施肥技術 6

大阪府環境農林水産総合研究所

主任研究員 内山 知二

§ キュウリにおけるロング肥料を用いた植穴施肥栽培 9

宮崎県西諸県農業改良普及センター

川崎 佳栄

宮崎県総合農業試験場

西原 基樹

横山 明敏

図1. 窒素除去試験の模式図

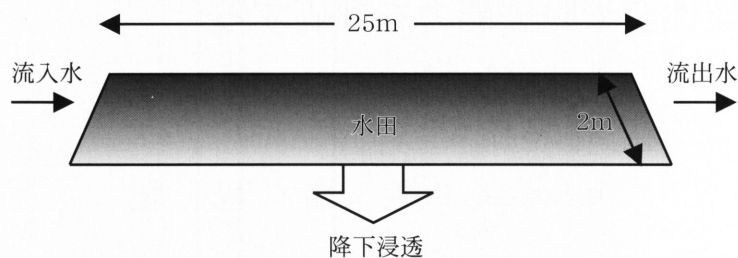


図2. 休耕田への流入水、表面流去水、降下浸透水の硝酸性窒素濃度の推移

5週間の移動平均で示した。矢印は稲わら600kg/10aを施用した時期。それ以外は肥料または資材の施用を行っていない。

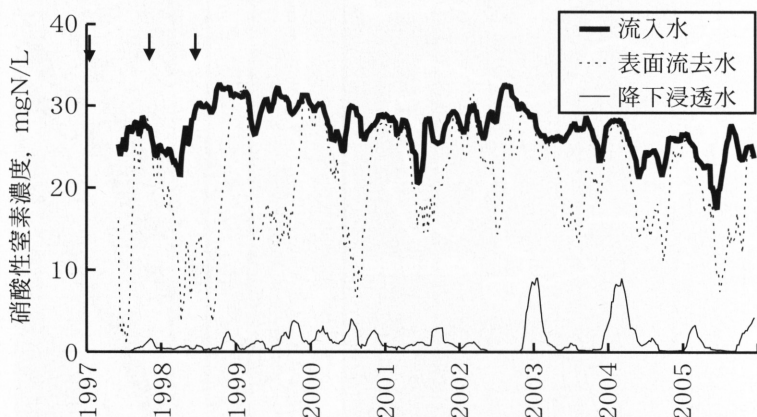
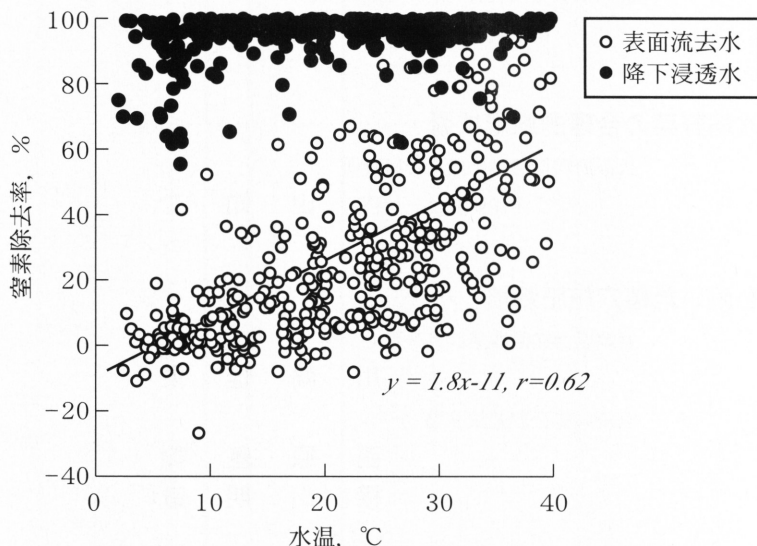


図3. 田面水水温と水田の窒素除去率の関係

窒素除去率は以下の式で計算した。図中の直線は表面流去水の除去率の回帰直線。

$$\text{窒素除去率} = (\text{流入水の窒素濃度} - \text{流出水の窒素濃度}) / \text{流入水の窒素濃度} \times 100$$



的に用いることが提唱されている³⁾。水田の窒素除去能力は水田土壌中の微生物による脱窒反応が主体を担っており、温度に応じて0.5~1.0gN/m²/d程度の除去能力があると見積もられている。しかしながら、慣行の栽培体系では窒素除去が期待できるのは水田が湛水される作付け期間だけである。窒素除去を可能な限り進めるには冬期湛水を含む通年掛け流し灌漑を行うことが有効だと思われるが、低温期の窒素除去の実態に関する知見は少ない⁴⁾。

そこで、通年掛け流し灌漑での休耕田の窒素除去能を測定した。さらに、上記体系に対応できる田面水の窒素濃度低減モデルを作成し、通年湛水かけ流し灌漑の窒素除去能を評価した。

2) 冬期の窒素除去能の特徴

静岡県中西部に位置する牧ノ原地直下の50m²の休耕田を裸地管理とし、硝酸性窒素を含む茶園からの湧水を掛け流し灌漑した(図1)。流出入水の流量および硝酸性窒素濃度を7日に一度の頻度で測定した。また、深さ10~15cmの降下浸透水をポーラスカップによって採取し、同様に硝酸性窒素濃度を測定した。実験の詳細は新良ら³⁾のとおりである。

1997~2005年の試験期間中流入水の硝酸性窒素濃度は20~25mg N/Lで推移した(図2)。全窒素のほぼすべては硝酸性窒素であったため、以後単に窒素と表現することとする。水田から排出される水は田面から排水される表面流去水と土壌を浸透する降下浸透水に分けられるが、図2のように両者の濃度の年間変動の傾向は大きく異なった。すなわち表面流去水は夏期に濃度低下が著しいが、冬期には流入水の濃度とほぼ等しくなり、見かけ上窒素除去は認められなかった。これは低温により微生物活性が低下したためと

考えられる。これに対して降下浸透水の窒素濃度は年間を通して低い値であり、冬期においても明確な減少傾向を示した。両者の窒素濃度減少割合を田面水温との関係で示したものが図3である。表面流去水での窒素除去は温度への依存性が明瞭であり、5℃付近が窒素除去の閾値となっていた。一方、降下浸透水での窒素除去は見かけ上は温度への依存傾向が認められず、0~40℃の範囲で、平均95%の高い除去率を示した。

降下浸透水での窒素除去が温度に依存しないようにみえる理由は明らかではないが、冬期間は田面水温にくらべ地温が高いことに加え、長い滞留時間が冬期の脱窒活性が低い時期においても窒素除去に十分な時間を与えていることが考えられる。用いた実験系での流入量、貯水量および降下浸透速度から計算すると表面流去水が排水されるまでの期間は1.1日であるのに対し、降下浸透では深さ10cmまで排水されるまでの期間は17日だった。

3) 水田の窒素除去能力を評価する

以上のように窒素除去の温度依存性は表面流去と降下浸透で大きく異なる。このため、冬期湛水を含む通年灌漑を行う場合の窒素除去量を評価する際にはこれらの2つのルートを通る水および窒素量を個別に見積もる必要がある。窒素除去量の推定モデルとしては田淵らのモデル⁵⁾が広く知られているが、このモデルでは降下浸透水が考慮されておらず、すべての流入水が表面流去すると仮定されている。そこで降下浸透水に係る水収支を考慮するように田淵式を拡張すると以下の式が得られる。

$$\frac{x}{x_i} = \exp \left\{ \frac{a}{p} \ln \left(1 - \frac{AP}{Q} \right) \right\} \quad (1)$$

ただし、 Q 、 X_i 、 X 、 A 、 P 、 a はそれぞれ流入水量 (m^3/d)、流入水の硝酸性窒素濃度 (mgN/L)、表面流去水の硝酸性窒素濃度 (mgN/L)、水田面積 (m^2)、降下浸透水速度 (m/d)、窒素除去係数 (d/m) である。ここでは降下浸透水の速度は対象水田のすべての地点において一様であると仮

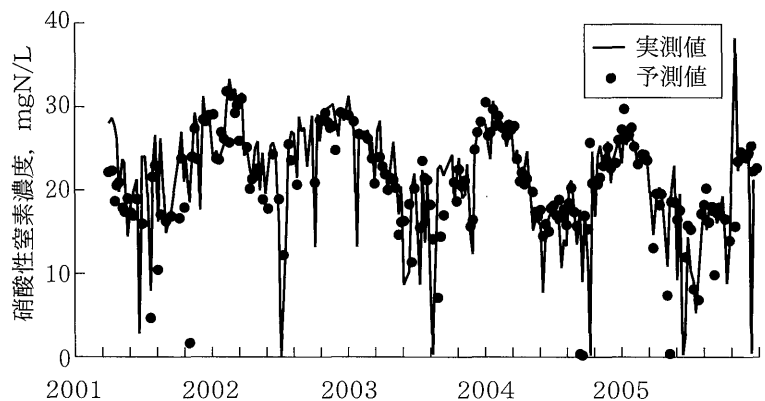
定されている。また、降水や蒸発散による水収支は考慮していない。式(1)から田面水の平均窒素濃度 X_{ave} は以下の式で与えられる。田面水の平均窒素濃度に降下浸透水量をかけたものが田面から降下浸透する窒素量となる。

$$x_{ave} = \frac{PQ}{a+P} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{AP}{Q} \right)^{\frac{a}{p} + 1} \right\} x_0 \quad (2)$$

式(1)、(2)だけでは残念ながら降下浸透過程での硝酸性窒素濃度の推移を予測することはできない。つまり現段階においては降下浸透による表面流去水量の減少が表面流去水中の硝酸性窒素濃度に及ぼす影響を予測するだけのモデルにとどまっている。また除去係数は土壌条件等によって変わることが予想される係数である。我々は上述した現地の休耕田から窒素除去係数 a と温度の関係を以下のように得ている。

$$a = 0.000864T - 0.00535 \quad (3)$$

図4. 表面流去水の濃度の予測値と実測値の比較



T は水温 ($^{\circ}\text{C}$) を示す。

このように得られた式(1)は実際の水田における表面流去水の硝酸性窒素濃度の減少傾向をよく表現できる(図4)。AICを用いた評価では降下浸透水を考慮しない場合に比べ、式の予測能力が有意に高まることが確かめられている。

4) 冬期湛水の有効性の評価

得られた式を用いて冬期湛水を含む通年掛け流し灌漑が小河川の窒素除去にどの程度の寄与があるかを試算した。試算には新良ら⁴⁾によって報告

図5. 調査地域において通年掛け流し灌漑を行った場合の水田への窒素流入量, 表面流去中での窒素除去量, 降下浸透量の推定値

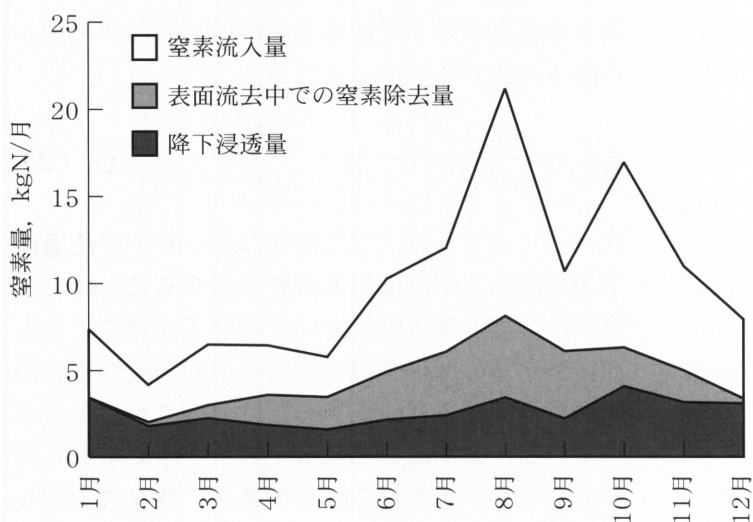


表1. 調査地域において通年湛水を行った場合の窒素収支の慣行との比較

降下浸透水量 mm/d		慣行		通年湛水	
		5	10	5	10
窒素流入量 MgN/年	降下浸透	3.5	6.1	19.9	31.4
	表面流去	24.6	21.9	100.3	88.8
	合計	28.1	28.1	120.2	120.2
窒素除去量 MgN/年	降下浸透*	3.3	5.8	18.9	29.8
	表面流去	8.4	8.3	25.9	24.0
	合計	11.7	14.1	44.8	53.8

*降下浸透での除去率は95%を仮定した。

されている調査地域の水質および水量データを用いた。当該調査地域は980haの台地上に540haの茶園が集中している。台地状の降水は21の小河川によって隣接した平野部に運ばれる。平野部は11の流域に区分され130haの水田が存在している。試算には2001~2005年の月単位の各流域の平均水量および硝酸性窒素濃度を、水温には2章で述べた同期間の休耕田田面水温の月単位の平均値を用いた。また、降下浸透水として5および10mm/dを想定した。

図5のように水田に流入する全窒素量は夏期に多く冬期に減少する傾向がある。これは、窒素濃度には周年でほとんど変化がなく、河川流量は夏

期に多いことによる。降下浸透する窒素量は年間で安定しており、5mm/d、10mm/dの降下浸透速度を仮定した場合それぞれ、全窒素量の17、26%を占める(表1)。先に述べたように式(1)は降下浸透水の窒素除去量を予測できないが、降下浸透水中の硝酸性窒素濃度は年間を通じて大幅に低下するため(図2)、降下浸透する窒素の大部分が除去できると予想される。一方、表面流去水での窒素除去は水温が高い夏期には大きな値となるが、1月の最低温期には窒素除去量がほとんどゼロとなる(図5)。換言すれば冬期間の窒素除去は降下浸透に依存するといえる。

慣行の栽培体系として5~7月にのみ湛水を行うケースを想定し、窒素除去量の比較を行った(表1)。試算では図3の結果をもとに降下浸透水中での窒素除去率を95%と仮定した。この地域では慣行の水稲栽培を行うと28Mg/年の窒素が水田に誘導されるが、通年湛水を行うことで、誘導する窒素量を120Mg/年とすることができる。これによって表面流去過程および降下浸透の両者とも窒素除去量は慣行より16~18Mg/年増加すると試算される。この結果、年間の窒素除去量の

合計量は慣行にくらべ33~40Mg/年の増となる。このように冬期湛水による灌漑期間の拡大は地域の水質改善に極めて効果的に機能するという試算結果が得られた。

以上のように、降下浸透と表面流去では窒素濃度減少の温度依存性が大きく異なる。そこで表面流去水と降下浸透水の水収支を分離することで、表面流去の窒素濃度の予測精度を高めた数式を提案した。また、提案式を元に冬期湛水における経路別の窒素収支と窒素除去量の推定を行い、通年掛け流し灌漑の有効性を検討した。冬期湛水は生物多様性等の観点から近年注目を集めている⁶⁾が水質浄化の視点から冬期湛水にアプローチした研

究事例は少ない。この技術をどのような形で普及可能なものとするか、という点は今後の大きな課題である。

本研究内容は1999～2005年の期間『農林水産省指定試験事業環境負荷物質の動態解明』で行われたもの⁷⁾を中心にまとめたものである。

参 考 文 献

- 1) 野中邦彦：茶園における施肥基準の推移と今後の展開方向，農業技術，59，311-315 (2004)
- 2) 廣野祐平・渡部育夫・野中邦彦：集団茶園地域の周辺水系に見られる硝酸性窒素濃度の変化，共通基盤研究成果情報，(2006)
<http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2006/vegetea/ve06019.html>
- 3) 新良力也・渥美和彦・宮地直道：静岡県牧ノ原台地の茶園地帯における硝酸性窒素の流出量と水田による除去可能性，土肥誌，76，901-904 (2005)
- 4) 新良力也・渥美和彦：硝酸性窒素濃度の灌漑水を通年湛水下水田の冬期における窒素除去能，土肥誌，78，299-302 (2007)
- 5) 田淵俊雄・志村もと子・尾野充彦：休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討，農土誌，64，345-350 (1996)
- 6) 鷺谷いづみ：地域と環境が蘇る水田再生，家の光協会 (2006)
- 7) 高橋智紀・新良力也・前田守弘・杉浦秀治・渥美和彦・宮地直道：冬期掛け流し灌漑を行う場合の水田の硝酸性窒素除去能力の推定式，共通基盤研究成果情報，(2005)
http://www.affrc.go.jp/ja/research/seika/data_common/h17/kan05056