

下水処理水からの窒素除去と高品質米の栽培を目的とした水稻栽培条件の検討

山形大学大学院農学研究科 学生会員○村松亜由美
 山形大学農学部 正会員 渡部 徹
 山形大学工学部 正会員 佐々木貴史
 山形大学農学部 非会員 梶原晶彦

1. はじめに

我々の研究グループでは、既報¹⁾において、下水処理水の循環灌漑によって灌漑用水と肥料の使用量を削減した省資源型的水稻栽培の可能性を検証した。その結果、下水処理水の灌漑による水稻の生育や収量に対する影響は見られなかった反面、循環灌漑をすることと風乾土壌の使用による窒素過多となり、水稻の過繁茂と食味の低下が起こった。下水処理水の循環灌漑で栽培される水稻の食味向上を目指して、本研究ではまず、初期の窒素投入量を減らした条件で水稻栽培の実験を行った。それと同時に、塩素消毒を行っていない下水二次処理水を灌漑に利用することでさらなるコストの節約を試みた。また、慣行的水稻栽培で行われている「中干し」の水稻の生育への影響についても検討した。

2. 方法

2. 1 水稻の品種、土壌、灌漑用水

実験に用いた水稻の品種は「はえぬき」である。模擬水田の土壌には、山形大学農学部附属農場の水田の表層を採取し、風乾せずに使用した。灌漑用水には、鶴岡市浄化センターの下水処理水（消毒前の下水二次処理水、または消毒後の下水処理放流水）、および上記農場内の用水路の水をそれぞれ使用した。

2. 2 実験装置

既報¹⁾と同じ実験装置を使用した。貯水タンクに灌漑用水を貯め、その灌漑用水をポンプアップして水田模型に連続的に投入した（20L/日）。水田の下部には暗渠を設置し、常に水田土壌を浸透した水がこの暗渠から排水され、貯水タンクに戻るようにした（7～10L/日）。暗渠は高さ 4.5cm の砂利で覆い、排水路の穴が土でつまらないようにした。土壌表面から 5cm のところに放流口を設け、田面水の水位を常に 5cm となるようにした。放流口越流水も貯水タンクに戻る。この実験装置を 3 系列用意し、1 つ（系列 A）には下水処理放流水と用水路の水を混ぜて使用した。残りの 2 系列（系列 B, C）には下水二次処理水と用水路の水を混ぜて使用した。

2. 3 肥料と水の管理

実験開始時（5 月 24 日）には、上記の通り下水二次処理水、下水処理放流水、あるいは用水路水からなる灌漑用水を 100L 投入した。このときの下水処理水の割合（23.5～24.5%）は、処理水由来の窒素が慣行の窒素施肥量（N: 4.5kg/ha）²⁾と同じになるように決定した。リン酸とカリウムについては下水処理水の含有量では不足するため、化学肥料で不足分を補った。

7 月 17 日から 22 日までの 6 日間には、系列 A と C において中干しを実施した。この間、暗渠を開放して田面水を流出させて、土壌を乾燥させた。系列 B では中干しを行わなかった。中干し終了時の 7 月 22 日には、追肥（N: 1.5kg/ha）の目的で下水処理水 6.1～6.2L（貯水タンク内の窒素残存量に応じて調整）をすべての系列に追加投入した。貯水タンク内の灌漑水量は田面からの蒸発散によって日々減少するため、8 月 11 日には農場の用水路水 70L をすべての系列に追加投入した。

2. 4 測定項目

栽培開始時から収穫まで期間、貯水タンク内の灌漑用水の水温、pH、DO、TN、を定期的に測定した。このうち、水温、EC、pH、DO は現場で測定し、TN は TOC 計（島津、全有機態炭素計 TOC-VCSV）を用いて測定した。水稻の生育については、草丈、茎数、葉色をそれぞれ、苗が活着した 6 月 6 日から出穂が始まった 8 月 11 日まで測定した。葉色は葉緑素計（KONICAMINOLTA, SPAD-502）を用いて測定した。水稻収穫後には収量（g/m²）と葉と茎と根の乾物重を測定した。植物体の全窒素は N/C コーダー（住化分析センター、NC-220F）を用いて測定した。玄米のタンパク質含有量は全窒素量に水分量を 15% に補正した上で、換算係数 5.95 を乗ずることで求めた。

3. 結果及び考察

3. 1 水稻の生育

図 1 に、3 つの系列で栽培された水稻の草丈、茎数、葉色の最大値を示す。この図には、これらの目標値²⁾を示したが、草丈と葉色は 3 系列ともに目標値をクリアしていたが、茎数は目標値の半分に過ぎず、生育不良の状態であった。昨年度は、系列 A と同じ水管理のもとで、初期の窒素投入量 6kg/ha（追肥せず）で水稻栽培実験を行ったが、生育は過剰で草丈 81cm、茎数 36 本、葉色 47 に達した¹⁾。これと比較すると、今回の生育不良がさらに明らかになる。前述のように、今回の窒素投入量は、基肥 4.5kg/ha、追肥 1.5kg/ha の計 6kg/ha で、総量は昨年度と等しかった。リン酸とカリウムについては、むしろ昨年度よりも施肥量を増やした。水稻の生育には投入した窒素量が重要な因子である。また、前述の通り、今回は水田土壌を風乾せずに実験に用いた。土壌の風乾は土壌中窒素の無機化を促進することが知られている。土壌の風乾を行った昨年度よりも、土壌からの窒素供給が減少したことが生育不良の原因かもしれない。

キーワード：下水処理水再利用、水稻、循環灌漑、塩素消毒、中干し

住所：山形県鶴岡市若葉町 1-23, Tel: 0235-28-2907, Email: to-ru@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

3つの系列の間では、生育指標である茎数と葉色に有意な差がなかったが、草丈と収量は系列Bが系列AとCよりも高くなった ($n=4$)。このことから、今回のように生育不良な状況では、灌漑に用いる下水処理水の塩素消毒の有無(系列A vs. 系列C)による水稻の生育に対する影響は見られなかったが、中干しの有無(系列B vs. 系列C)による影響があった。系列Bでは中干しの期間中も窒素を吸収できたため草丈が高くなり、草丈が高いために全乾物重も高くなったと考えられる。

3. 2 水稻の収量と玄米の食味

3つの系列で収穫された水稻の収量と玄米中のタンパク質含有量を図2に示す。図中の太線は、上述と同じく参考文献2に定められた生育目標である。収量については系列AとBでのみ有意差が認められたが、その他の組み合わせでは差がなく、灌漑用水の塩素消毒と中干しについて、それぞれ単独では収量に対する影響はなかった。その収量は目標値の50~60%であった。収量の構成要素を比較すると、一穂粒数と一粒重は目標値とほぼ同じであった。登熟歩合は90%以上と生育指標より高かったが、単位面積あたりの穂数は極端に少なく、これが収量を低下させた。単位面積当たりの穂数は茎数と関係があり、上述の通り生育不良で分けつが不十分であったことが原因である。昨年度(穂数782本/m²、一穂粒数75粒/穂、登熟歩合61%、一粒重0.020g/粒)との比較では、単位面積当たりの穂数は大きく減少したものの、登熟歩合は大きく改善された。これは、登熟期の平均気温が昨年度は約30℃であったのに対して、今回は実験装置の改善により、登熟期に適温である25℃前後に保つことができたためと考えられる。

タンパク質含有量については、3つの系列とも初期の窒素投入量を減らした効果が見られた(図2)。タンパク質含有量が少ない玄米ほど食味が良いことから、当初の目的である玄米の食味向上の目標は達成できた。

3. 3 灌漑用水からの窒素除去と植物の窒素吸収

灌漑用水の窒素濃度は水稻の生育にともなって低下した。窒素負荷量で計算すると、下水処理水として投入された窒素のうち96%が、実験期間を通じて除去された。この除去率は3つの系でほぼ同一であり、実験条件による影響がなかった。

各系列における灌漑用水からの窒素除去量と植物体による窒素吸収量を表1に示す。灌漑用水からの窒素

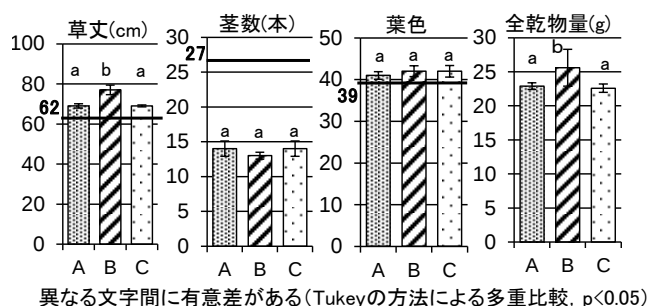


図1 各系列で栽培された水稻の草丈、茎数および葉色の最高値と全乾物重

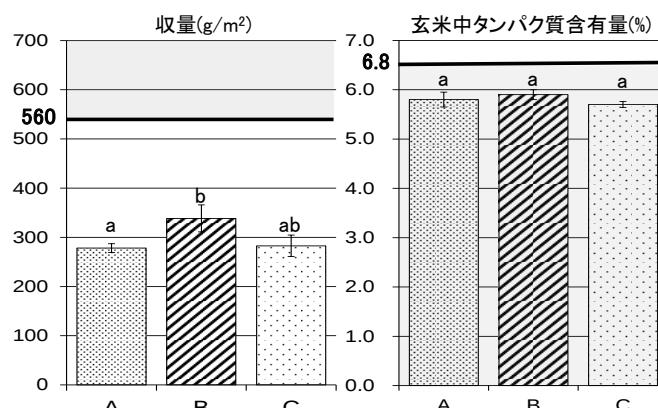
除去量は965~995mgであったが、植物体(水稻と雑草)による窒素の吸収量は1300~1595mgであり、投入量より多かった。これは、土壌や田面水の窒素固定細菌による窒素の供給によるものと考えられる。現在土壌窒素含有量を測定している。水稻の窒素吸収量が系列Bが系列Cより高かったのは、乾物重が高かったためと考えられる。

4. まとめ

昨年度の実験で課題となった水稻の過繁茂を防ぐために、初期の窒素投入量を減らして栽培を行ったところ、食味は向上したものの、水稻の生育不良のため収量が激減した。食味の品質を保ちつつ、収量を増加させる技術を検討する必要がある。窒素源としての下水処理水の投入時期や投入量について検討が必要である。なお、水稻の生育や収量、玄米の食味には下水処理水の塩素消毒による影響は見られなかったが、中干しの影響は見られた。水稻栽培による灌漑用水からの窒素除去効果は明らかになったが、窒素の収支を把握することができなかつたため、今後調べ行く必要がある。

謝辞: 本研究は、JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力「熱帯地域に適した水再利用技術の研究開発」の支援を受けた。また、本研究の一部は、山形大学東北創生研究所の活動の一環として行われた。

参考文献: 1) 村松亜由美, 渡部徹, 佐々木貴史, 伊藤絃晃, 梶原晶彦, 下水処理水の循環灌漑による省資源型水稻栽培, 土木学会論文集G(環境), 68(7), III_93-III_102, 2012
2) 山形県: 気象変動に対応した「特A米栽培ごよみ」(庄内版: はえぬき)



異なる文字間に有意差がある(Tukeyの方法による多重比較, $p<0.05$)

図2 各系列で栽培された水稻の収量と玄米中タンパク質含有量

表1 各系列における灌漑用水からの窒素除去量と水稻と雑草による窒素吸収量

	(単位:mg)		
	灌漑用水からの 除去量	水稻による 吸収量	雑草による 吸収量
系列A	965	1224±19 ab	142
系列B	991	1438±31 a	160
系列C	995	1167±13 b	133

異なる文字間に有意差がある
(Tukeyの方法による多重比較, $p<0.05$)