

下水処理水の循環灌漑による水稻栽培における塩素消毒と中干しの影響

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により過剰施肥（特に窒素過多）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、さらなるコストの節約のために、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を試みた。また、慣行的水稻栽培で行われている「中干し」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（図1）を使用した。この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、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。玄米にはN/Cコーダー（住化分析センター、NC-220F）を使用して全窒素を測定し、水分量を15%に補正した上で、換算係数5.95を乗ずることでタンパク質含有量を求めた。

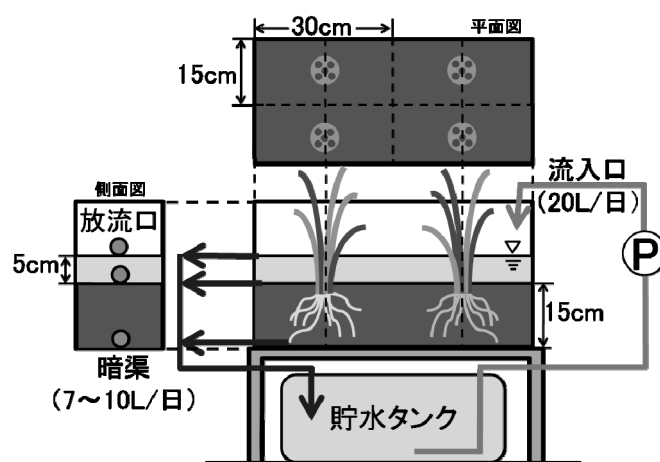


図1. 実験装置の概略

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. 結果及び考察

3. 1 水稻の生育

表1 各系列で栽培された水稻の草丈、莖数、葉色の最高値及び全乾物重（平均値±標準偏差，n=4）

	草丈(cm)	莖数(本)	葉色	全乾物重(g/株)
目標	62	27	39	—
系列A	69±1.1	14±1.1	41±1.2	22.9±0.5
系列B	77±2.4	13±0.5	42±0.4	25.6±2.7
系列C	69±0.5	14±1.1	42±0.8	22.6±0.6

表1に、3つの系列で栽培された水稻の草丈、莖数、葉色の最大値を示す。この表には、これらの目標値を示したが、草丈と葉色は3系列ともに目標値をクリアしていたが、莖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、莖数 36本、葉色 47に達したり。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。したがって、循環灌漑による水稻栽培においては、初期の窒素投入量が生育を左右する重要な因子であることが分かる。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ため、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も生育不良の原因かもしれない。

3つの系列の間では、草丈、莖数、葉色のいずれの生育指標についても有意な差がなかった（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）、中干しの有無（系列B vs. 系列C）のどちらについても水稻の生育に対する影響は見られなかった。表1には収穫時の水稻の乾物重も示したが、やはり3つの系列の間に有意な差はなかった。

3. 2 水稻の収量と玄米の食味

3つの系列で栽培された水稻の収量と玄米中のタンパク質含有量を表2に示す。表中の目標値は、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。収量の構成要素を見ると、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。単位面積あたりの穂数は莖数と関係があり、上述の通り生育不良でげ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、単位面積あ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。この理由は、登熟期の平均気温が昨年度は約30℃であったのに対して、今回は実験装置の工夫により、登熟適温である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（表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

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。

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。窒素源としての下水処理水の投入時期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と中干しの影響は見られなかった。

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，伊藤紘晃，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）

表2 各系列で収穫された水稻の収量（平均値±標準偏差，n=4）と玄米タンパク質含有量

	穂数(本/m ²)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	一粒重(g/粒)	収量(g/m ²)	玄米タンパク質含有量(%)
目標	480	60	86	0.0225	560	<6.8
系列A	216±10	57.4±3.7	97.1±1.3	0.023	278±9*	5.8±0.2
系列B	238±18	64.4±3.2	92.0±7.5	0.024	338±27*	5.9±0.1
系列C	227±18	60.3±2.4	96.2±0.7	0.021	282±22	5.7±0.1

*系列Bが系列Aよりも有意に高い(p<0.05, Tukeyの方法による多重比較)