

下水処理水の循環灌漑によって栽培された水稻の生育と安全性

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

本研究では、下水処理水の水質改善と水稻栽培を両立させる灌漑システムの開発を目指している。また、灌漑用水を循環利用することで、灌漑に必要な水量を減少させるとともに、灌漑用水中の肥料成分の吸収率を高めることも意図している。一方で、下水処理水中の重金属の玄米への蓄積が心配される。ここでは、水田模型を利用した水稻栽培実験を行い、①下水処理水の循環灌漑による水稻の栽培と玄米の品質に対する影響と、②下水処理水中の窒素除去の効果、をそれぞれ検証した。

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。土壌は、山形大学農学部附属農場の水田の表層を採取し使用した。灌漑用水には、鶴岡市浄化センターの下水処理放流水と、上記農場内の用水路水をそれぞれ使用した。

2.2 実験装置

灌漑用水を循環利用する水田を模した実験装置(図-1)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。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。土壌表面から5cmのところ放流口を設け、田面水の水位を常に5cmとなるようにし、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、うち2つ(系列A、B)には灌漑用水として下水処理水30Lと用水路の水30Lを混ぜて使用した。残りの1系列(系列C)では用水路の水のみ60Lを使用した。下水処理水を利用する2系列のうち、系列Aには水稻を移植し、系列Bには移植をしなかった。系列AとCに

は水稻4株(苗5本で1株)を平成23年5月31日に移植した。

2.3 肥料と水の管理

水稻の生育に重要なN、P、Kの成分は、慣行に倣いそれぞれ1080mg/系列を投入した。系列AとBでは、Nの必要量の全てを下水処理水でまかない、PとKには、下水処理水のみでは不足するため化成肥料で補充した。系列CではN、P、Kの必要量全量を化成肥料で与えた。貯水タンク内の水位変動を図-2に示す。栽培開始時の実験装置内には60Lの灌漑用水があったが、蒸発散により水量が減少したため、農場の用水路水を追加した。7月5日から10日までの6日間は、水田の水を抜き、土壌を乾燥させる「中干し」を行った。

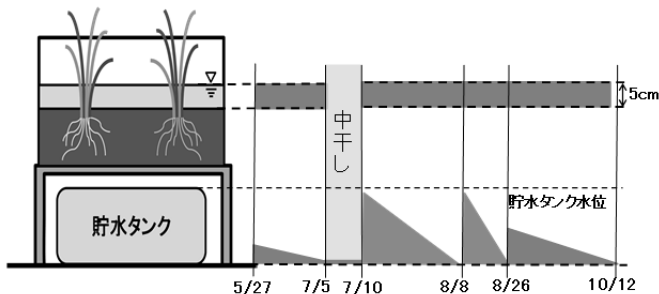


図-2 貯水タンク内の水位変動

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7日から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。食味成分は食味計(静岡精機、TM-3500)を用いて測定した。金属成分の測定は、濃硝酸と濃塩酸を用いた湿式分解法による前処理を行った後、ICP-OES(thermo、iCAP-6000)を用いて測定した。

3. 結果と考察

3.1 水稻の生育と玄米の品質に対する影響

各系列で栽培された水稻の草丈、茎数、葉色の平均値(n=4)の変化は、いずれに関しても系列AとCの間で有意差はなかった(p<0.05)。山形県が発表している、庄内地域平坦地帯でははえぬきの目標収量と構成要素¹⁾と比較すると、系列AとCともに草丈、茎数、葉色の全てでこの値を上回り、過繁茂の状態であった。この実

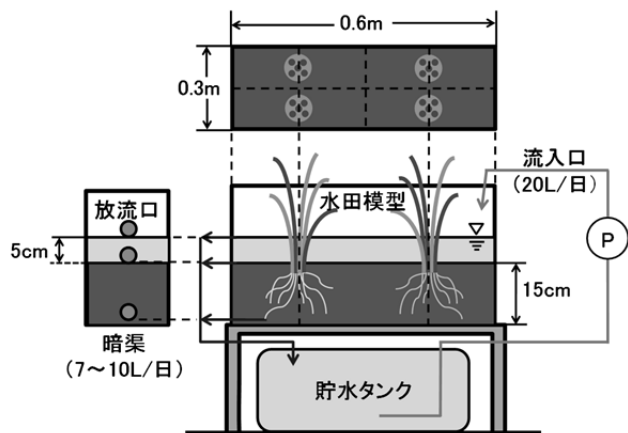


図-1 実験装置概要

キーワード：下水処理水再利用，窒素除去，水稻，循環灌漑，生育，金属類

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

験では灌漑用水を循環させたために、通常の圃場で見られるような肥料の流亡が起こらず、結果として過剰施肥となっていたと考えられる。また、今回の実験では風乾土壌を使用したため、乾土効果により土壌からの無機態窒素の供給が増加し、過繁茂を助長したことも考えられる。

系列 A と C で収穫した水稻の乾物重と収量、および玄米のタンパク質含有率と食味スコアを表-1 に示す。乾物重および収量については、系列 A と C の間には有意差は見られなかった ($p < 0.05$)。上述のはえぬきの目標収量¹⁾と比較すると、系列 A と C の結果は単位面積当たりの穂数と一穂あたりの粒数で大きくなり、登熟歩合と一粒重あたりの重量が小さくなった。過繁茂となった結果、穂数や粒数が増加した影響で米粒が小振りになり、登熟歩合と一粒重がともに目標値を下回った。玄米の食味成分については、系列 A と C の間には、タンパク質含有率、食味のいずれも有意差は見られなかった ($p < 0.05$)。しかし、タンパク質含有率は目標値と比べて高い値となった。このことから、水稻が過剰に窒素を吸収したことが推察される³⁾。

系列 A と C で収穫した玄米中の金属類については、全 20 種のうち Li と Na のみ有意差が見られた ($p < 0.05$ 、図-3)。下水処理水中には、用水路水の 2 倍もの Na が含まれていることが原因であろう。Li については、下水処理水と用水路水の両方で定量限界以下であり、玄米の含有量の差の原因は不明である。金属類の中でも Cd は水稻に吸収されやすく⁴⁾、玄米の安全性を考慮するうえでは重要な金属である。コーデックス委員会では食用精米の Cd 含有量規制値を 0.4mg/kg ⁴⁾としている。系列 A で収穫された玄米中の Cd 濃度は 0.004mg/kg 、系列 C では 0.005mg/kg であり、ともにこの規制値を大幅に下回った。土壌において規制がある Zn、Cu、Pb の含有

量⁴⁾に関しても、両系列で栽培された玄米には有意差はなかった。つまり、循環灌漑に下水処理水を使用することで、玄米への有害金属の蓄積が促進されることはなかった。また、Cd の濃度より、本研究の条件では、下水処理水の循環利用で栽培された米を摂取しても重金属による人体への影響は無視できることが分かった。栽培実験の前後で土壌中の多くの金属類濃度が上昇したことから、連作による土壌への金属成分の蓄積とその玄米への取り込みについては、今後、明らかにしていく必要がある。

3. 2 下水処理水中の水質改善効果

系列 A の TN 濃度は、栽培開始 1 週間後 (6 月 7 日) には 18.2mg/L であったが、中干し時 (7 月 7 日) には 9.4mg/L まで減少した。系列 C の TN 濃度も、同時期に 15.8mg/L から 9.9mg/L まで減少した。水稻栽培に再利用されることにより、確かに下水処理水中の窒素が除去され、下水処理水の水質が改善された。

次に蒸発散による水量の変化を考慮した正味の窒素の除去量を算出する。実験開始時に投入された窒素 (1080mg) はその後、肥料成分として水稻に吸収される他、水田土壌に吸着したり、土壌中での脱窒反応によって大気中に放出される。図-2 に示す、中干し時には水田模型から水が抜かれ、灌漑用水のほとんどが貯水タンクに貯められ、このときタンク内に存在していた窒素量は、系列 A では 142mg 、系列 C では 143mg であった。すなわち、栽培開始から 1 ヶ月余りの期間で、系列 A では 938mg の窒素が除去され (除去率 91.5%)、系列 C では 937mg が除去された (除去率 90.9%)。一方、水稻を移植しなかった系列 B では、この間 TN 濃度にほとんど変化がなかった。この系列 B では、水田土壌に根の伸張による間隙が形成されず、6 月 25 日頃から灌漑用水の土壌浸透が止まり、灌漑用水は水田の表面を流れるだけとなった。この結果、系列 B では水稻による窒素吸収がないうえに、土壌への窒素の供給が制限され、脱窒反応による窒素除去も系列 A や C に比べて少なかったことが予想される。

4. おわりに

本研究では、下水処理水の循環灌漑により、平均的な食味を持ち、安全性に問題ない米が収穫できることを示した。より食味の良い米の生産のために、施肥や水管理を見直し、窒素の過剰吸収を抑える必要がある。

5. 参考文献

- 1) 櫻田博：オリジナル水稻品種の開発とトップブランドへの展望、東北農業研究別号 10、pp.37-50、1997
- 2) 米・食味鑑定士協会ホームページ
- 3) 竹生新治郎ら：米の科学、朝倉書店、1995
- 4) 西尾道徳：農業と環境汚染—日本と世界の土壌環境政策と技術—、農村漁村文化協会、2005
- 5) 森田茂樹ら、栽培学—環境と持続的農業—、朝倉書店、2006

表-1 系列AとCで収穫された水稻の全乾物重と収量、および玄米のタンパク質と食味スコア

	全乾物重 (g)	収量 (g/m ²)	タンパク質 (%)	食味スコア (点)
目標値	—	580	7.4	60~65
系列A	88.9±11.7	727±86.1	8.0±0.19	69±1.7
系列C	88.3±8.99	811±141	8.3±0.19	66±1.5

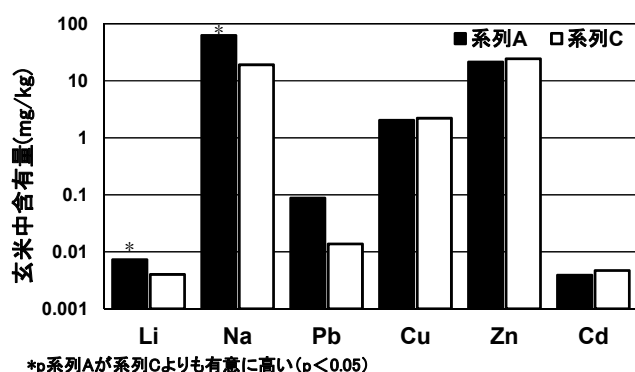


図-3 系列AとCで収穫された玄米中のLi、Na、Pb、Cu、Zn およびCd含有量