

節水型の下水処理水再利用により栽培された水稻の生育と安全性の評価

○山形大学農学部 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、下水処理水を灌漑に利用することで、①水稻の生育に影響を与えずに、施肥量をできるだけ減少させること、②下水処理水中の窒素成分をできるだけ除去すること、を両立させる水稻栽培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し、灌漑に必要な水量の減少とともに、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。ここではその第一歩として、水田模型を利用した栽培実験を通して、下水処理水を循環利用することで水と肥料を節約した水稻栽培が可能であるか検討を行った。

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の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(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)。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、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5月31日に移植した。

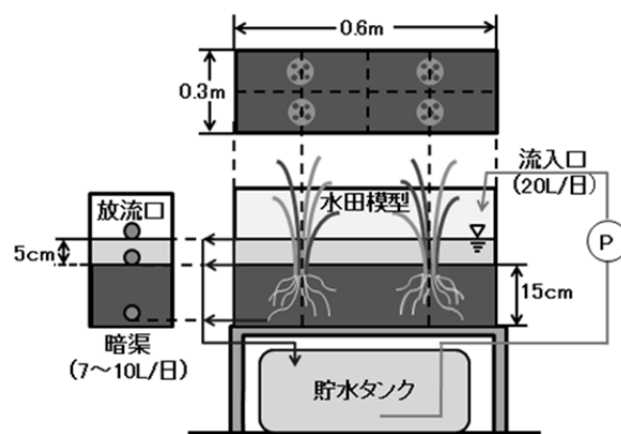


図-1 実験装置概要

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/0.09m²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うことができた。PとKについては、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。

栽培開始時の実験装置内には60Lの灌漑用水があったが、蒸発散によって水量が減少したため、農場の用水路の水を追加した。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。

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と、葉、茎および根の乾物重を測定した。収穫後の玄米の食味成分は食味計(静岡精機、TM-3500)を用いて測定した。

3. 結果と考察

3. 1 水稻の生育

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の間には有意差はなかった(p<0.05)。山形県農業試験場が発表している、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

キーワード：下水処理水再利用、窒素除去、水稻、灌漑用水、生育、安全性評価

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

肥となっていたと考えられる。

系列 A の乾物重は $88.9 \pm 11.7 \text{g/株}$ 、系列 C の乾物重は $88.3 \pm 9.0 \text{g/株}$ であり、両者には有意差が見られなかった ($p < 0.05$)。系列 A の収量は $727 \pm 86 \text{g/m}^2$ 、系列 C の収量は $811 \pm 141 \text{g/m}^2$ であり、収量についても系列 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（全玄米粒のうち 1.9mm 目フルイを通らなかった米粒の割合）と登熟した玄米一粒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 で水分、タンパク質、アミロース、脂肪酸度のいずれも有意差は見られなかった ($p < 0.05$)。しかし、目標値と比較すると、いずれも高い値となり、食味はやや劣っていた。これは水稻が過剰に窒素を吸収したためと考えられる。

以上をまとめると、下水処理水を灌漑に使用しても、水稻の生育と収量には影響が見られなかった。ただし、循環灌漑での栽培においては、過繁茂と食味の低下を予防するために、慣行よりも施肥量を減らす必要があることが分かった。

3. 2 下水処理水からの窒素の除去

系列 A における貯水タンク内で測定した灌漑用水の TN 濃度の変化を図-2 に示す。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（減少率 48.4%）。系列 C でも、6 月 7 日の 15.8mg/L から、7 月 7 日の 9.9mg/L まで、37.3% 減少した。水稻栽培に再利用することにより、確かに下水処理水中の N 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減少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。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あったが、このときタンク内に存在していた窒素量は、系列 A では 142.4mg 、系列 C では 142.7mg 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 937.6mg の窒素が除去され（除去率 91.5%）、系列 C では 937.2mg 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。また、この系列では、水田土壌に根の伸張による間隙が形成されないために、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、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と予想される。

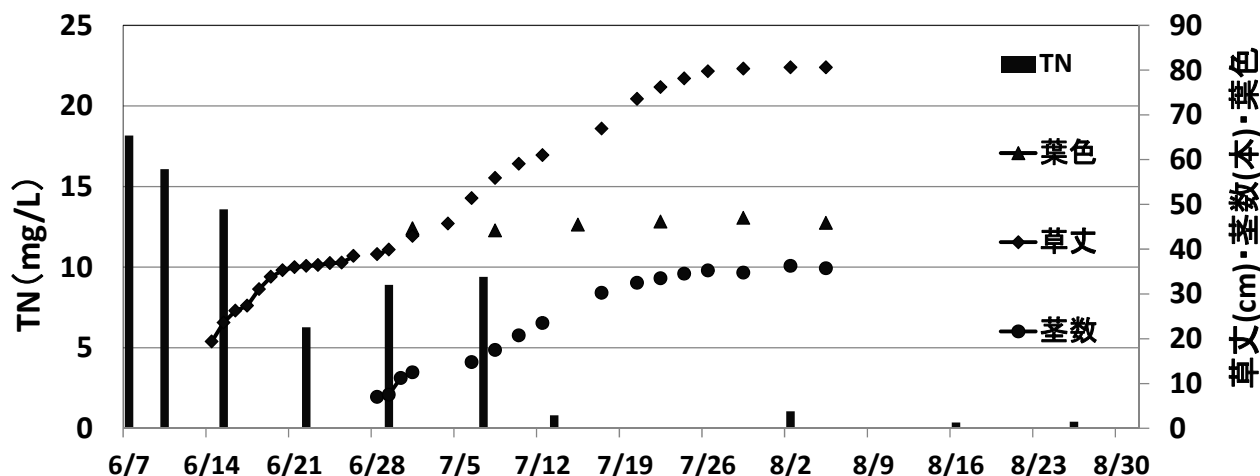


図-2 系列Aにおける水稻の生育と灌漑用水のTN濃度

4. おわりに

水田模型を利用して、下水処理水を循環灌漑することで水と肥料を節約した水稻栽培の実験を行った。その結果、水稻の生育には下水処理水の循環灌漑による影響は見られなかった。ただし、循環灌漑により肥料の利用効率が高まったことで、本実験で栽培された水稻は過繁茂の状態となった。今後、施肥量の見直しが必要である。

水稻栽培に再利用することにより、下水処理水に含まれる窒素の約 91% が除去された。除去された窒素の多くは、肥料分として水稻に吸収されたものと考えられる。水資源に恵まれた庄内地方では、水田の灌漑用水が不足することは少ないため、下水処理水は灌漑用水よりもむしろ代替肥料としての利用が期待できるかもしれない。

また、下水処理水を灌漑用水に利用した場合に懸念される問題が、玄米に重金属が蓄積されることである。これを明らかにするために、現在玄米中の重金属濃度を測定している。