

令和 2 年 9 月 14 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08014

研究課題名（和文）集落排水処理水の施設園芸農業への利用に向けた水管理技術の開発

研究課題名（英文）Water management of irrigation for greenhouse agriculture using effluent from rural sewage treatment plant

研究代表者

浜田 康治（HAMADA, KOJI）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・上級研究員

研究者番号：00425521

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：農業集落排水処理水の灌漑利用への適用性について検討するため処理水水質を評価し、対象とした処理水が調理目的の作物の栽培であれば制限なく使用できる可能性と、水管理や営農上の工夫で生食用作物の栽培にも使用できる可能性を示した。また処理水を灌漑利用した際の土壌の有機物や陽イオンへの影響を評価し、ハウス内での栽培試験での短期的な影響が確認されないが、カラム試験により長期使用後に影響がでる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界的に慢性的な水不足を抱える地域をはじめとして、処理排水の農業利用が進められている。わが国においては水田や露地での利用において問題が顕在化しにくいものの、農業施設内で利用する場合には主に塩類集積などの問題の顕在化が懸念されるが国内での検討例がない。気候変動などの原因により水源の安定確保に不安が生じる中、代替水源として処理排水を農業に低コストで安全に利用するための技術開発は重要である。

研究成果の概要（英文）：Applicability of treated rural sewage use for irrigation was evaluated. Water quality of a target treated rural sewage was suited to irrigation use for crops eaten after cooking. Moreover, it has a possibility to use for irrigation for crops eaten in raw, if some countermeasures of water management or agricultural management were installed. Effect of treated rural sewage irrigation on soil environment was evaluated. Short-term effects did not be confirmed in a test cultivation in a greenhouse, but soil column experiments showed possibilities of some effects after long-term use.

研究分野：水環境工学

キーワード：農業集落排水処理水 再生水利用 施設農業 かんがい 水管理

1. 研究開始当初の背景

世界的に慢性的な渇水問題を抱える地域では、農業用水として都市排水等の処理排水を利用している。2015年に再生水の農業利用先進国であるイスラエルを中心として、処理排水を適正に処理し農業に活用することを目的とした ISO 16075「処理排水の灌漑利用ガイドライン」が発行された。我が国においては処理排水を直接的に農業利用する事例は少ないものの、水源に乏しく慢性的な水不足に悩まされている島嶼地区などではその有用性に注目しており、例えば沖縄県糸満市においては、処理排水を農業利用するための検討が進められた。

わが国の農業地帯での処理排水の利用を考える場合、農業集落排水施設からの排水の入手が最も容易である。集落排水処理においては二次処理+塩素消毒が一般的である。施設農業での処理排水を考える場合、従来の処理で十分な水質が得られているのか検証が必要である。また、農業施設内での灌水においては、塩類集積を回避するための水管理手法が必要である。

2. 研究の目的

農業集落排水処理水水質の時間変動を把握するとともに、処理水の灌漑利用への適用性について検討する。

さらに、処理水を灌漑水として利用した場合における土壌への影響を評価するために、土壌中への有機物や陽イオンや栄養塩の蓄積について検討する。

3. 研究の方法

(1) 農業集落排水処理水の水質に関する検討

OD法が導入されている農業集落排水処理場の放流水を対象として、各種水質項目の変動を2018年6月15日から約1年間にわたりモニタリングした。モニタリング項目は電気伝導度(3分ごと)、全窒素(週1回)の3項目とした。また、糞便性大腸菌群数(M-FC寒天培地法)も適宜測定した。

(2) 農業施設かんがいへの処理水の直接利用

農業集落排水処理水(以降、処理水)を直接利用したドリップかんがいにより農業施設内でトマトの栽培実験を実施した。施設内にトマトの苗を定植して水道水により活着させた後、2018年6月18日より8月20日まで処理水をかんがいた。栽培中は土壌中に設置した水分量計でpF値を連続観測し、灌水開始点をpF 2.1とした。対象区として水道水によるかんがい区を設けた。

土壌中の有機物濃度測定は、栽培の前後において4深度(0-5、5-15、15-30、30-60cm)の土壌を採取し、1:2での水抽出の後、孔径0.45 μm のメンブレンろ紙でろ過した抽出液を対象とした。

(3) 処理水灌漑が土壌有機物に与える影響

① 土壌カラム試験

アクリル製のカラム(内径6cm、土壌高30cm)に砂質ローム土(粘土16%、シルト8%、砂76%)を充填した(図1)。土壌カラムにはガラスフィルタ(Whatman社製GF/C)でろ過した農業集落排水処理水(TWW)と未処理の農業集落排水(WW)、水道水(Tap)を浸透速度160mm/dで50日間にわたり通水した。ここで、未処理の農業集落排水を供試水としたのは、最も悪条件の場合を想定するためである。

通水速度と継続期間は農業施設内でのドリップ灌漑を想定した場合の10年間の灌漑水量をもとに設定した。土壌カラム下部からの浸出水を経時的に採取して水質分析に供した。また、試験開始前と試験終了後(深さ5cm毎)の土壌から、風乾後に水抽出(土壌:水=1:2(w/w))により有機物を抽出して水質分析に供した。

② 有機物分析

供試水(農業集落排水処理水、未処理の農業集落排水、水道水)、浸出水、土壌抽出水を親水性メンブレンフィルタ(孔径0.45 μm)でろ過したのち、溶存態有機炭素(DOC)濃度を測定した。さらに、溶存態有機物によるインナーフィルタ効果を排除する目的でpHを7.0-7.5に調整して254nmの吸光度を測定するとともに、250nmの吸光度が0.05ABSを超過しないようにサンプルを調整したのちに三次元蛍光スペクトル(EEM)を取得してEEM内の特徴的なピーク

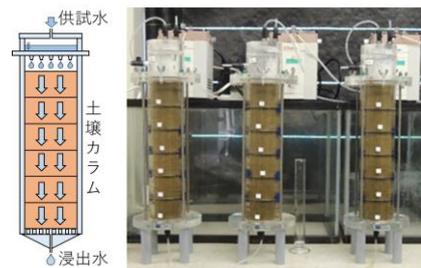


図1 土壌カラム装置の概要

(励起波長 280 nm、蛍光波長 370 nm に帰属) の蛍光強度の経時変化を評価した。

4. 研究成果

(1) 農業集落排水処理水の水質に関する検討

図 2a に処理水の EC を、図 2b に全窒素濃度の年間変動を示す。EC は国内の農業 (水稲) 用水基準 (<30 mS/m) や畑地灌漑用水質適性限界値 (<40 mS/m) を超過するものの、FAO 灌漑用水ガイドライン (<70 mS/m) には適合していた。図に示した通り EC の値は年間を通じて大きな変動が見られないものの、全窒素濃度は季節ごとに大きく異なり、気温が低い時期には EC に対する全窒素濃度が高くなる傾向が見られた。本研究では対象としていないが、近年、注目されている溶液栽培において、例えば EC で肥培管理をする場合には注意が必要である。

2018 年 6 月 18 日～8 月 20 日に測定したまで処理水中の Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 濃度をもとに SAR を算出すると 2.56 ± 0.25 であったことから、処理水はかんがい利用において大きな障害がない水質と考えられる。DOC は平均 3.4 mg/L であったが $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が平均 3.47 mg/L と一般的な河川水や湖沼水に比較して高い傾向があった。

農業集落排水処理場の放流水中の糞便性大腸菌群数は、<2～536 cfu/100mL (95%ile : 536 cfu/100mL) であり、これは ISO 16075-2 の下水処理水の区分 (表 1) ではカテゴリ B に該当し、調理する作物であれば制約なしに灌漑に直接利用可能な水質であるといえる。ただし、ISO 16075 はドリップ灌漑により灌漑水が可食部に接触しないようにするなどの対策などを施すことでカテゴリ B であれば生食用作物にも使用可能であるとしており、工夫次第で生食用作物への灌漑にも利用可能である。その際、貯留・送水過程における大腸菌類数の低下に伴うリスク削減効果を見込むことも可能と考えられる。なお、室内試験による糞便性大腸菌群数に対する検討では、暗条件では 1 日で 0.3 log、暗条件 3 日で 0.9 log、明条件では 1 日で 3.3 log の低減効果が見込まれるという結果を得た。

(2) 農業施設かんがいへの処理水の直接利用

図 3 に栽培前後における土壌抽出液中の DOC の比較を示す。有機物の蓄積は土壌中の酸素消費に繋がり根圏環境の悪化に繋がる。処理水区、水道水区ともに栽培前に比較して栽培後の DOC 濃度が上昇したが両条件で大きな差はなく、処理水利用による土壌環境への短期的な影響はみられなかった。

(3) 処理水灌漑が土壌有機物に与える影響

① 供試水・浸出水の DOC 濃度

供試水の DOC 濃度は未処理の農業集落排水、農業集落排水処理水、水道水の順に高かった (図 4a)。浸出水は、実験開始直後には高濃度 (未処理の農業集落排水区: 298 mg/L、農業集落排水処理水区: 234 mg/L、Tap 区: 232 mg/L) であったが時間経過とともに低下して実験終了時点には、未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区で農業集落排水処理水区の供試水の濃度 (3.1 mg/L) に漸近した。水道水区の浸出水の傾向も他区と同様

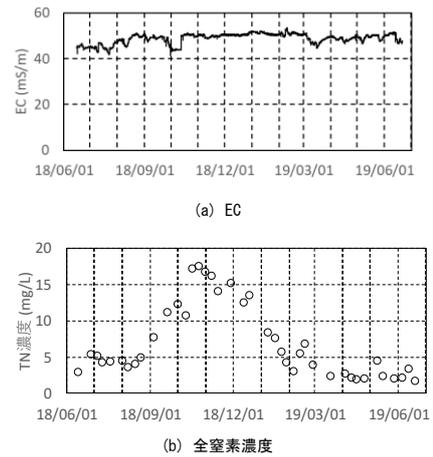


図 2 処理水水質の測定結果

表 1 再生水に関する基準・ガイドラインの例

	カリフォルニア	フロリダ	ISO 16075	
	大腸菌 (個/100mL)	糞便性大腸菌 (個/100mL)	耐熱性大腸菌 (個/100mL)	95%ile max
非食用穀物	< 23	75%ile max	200	
食用穀物	< 2.2	N.D.	25	
生食用作物			< 10	100
調理する作物			< 200	1000
食用外作物			< 1000	10000

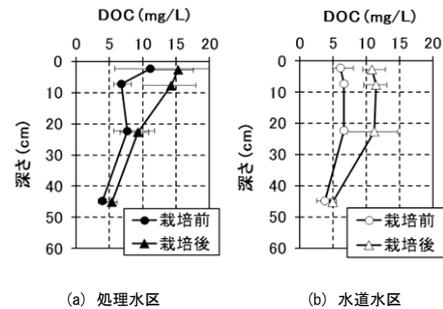


図 3 土壌抽出液の DOC の栽培前後での比較

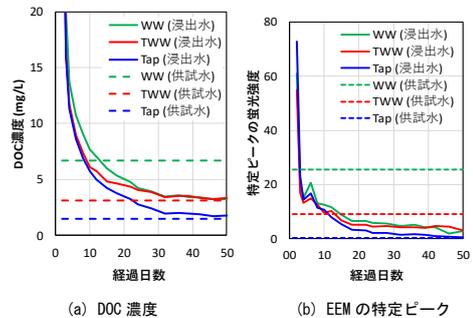


図 4 供試水・浸出水の水質変化

の傾向がみられ、実験終了時点には同区の供試水の濃度（1.5 mg/L）に漸近した。未処理の農業集落排水区では供試水に比較して浸出水が低濃度に漸近したことは、未処理の農業集落排水区においては土壌カラム内における有機物の蓄積、または消費が生じていることを示唆している。

なお、処理水区では土壌中のナトリウム濃度が水道水を通水した対象区と比較して、初期状態から約2倍の濃度上昇がみられるとともに、土壌の水抽出液中の SAR の上昇も見られたが、カルシウムやマグネシウムに関しては明確な差が見られなかった。

②土壌有機物の変化

土壌の水抽出液中の DOC 濃度は、全区において通水により低下した（図 5a）。低下量は水道水区に比較して未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区が大きく、未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区は同程度であった。初期土壌に含有されていた水抽出される DOC 成分は通水により浸出水とともに排出され濃度が低下したが、未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区では水道水区に比較して大きく低下した。供試水の DOC 濃度は未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区が水道水区に比較して高かったが、未処理の農業集落排水や農業集落排水処理水は土壌から水抽出により抽出される成分の含有量が少なく、水抽出されにくい土壌に蓄積される成分が多く含有されることが示された。また、溶存有機物中に対する芳香族化合物の相対的な割合を示す SUVA₂₅₄ 値は、初期値と水道水区で同程度、未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区は初期値に比較して同程度の高い値を示し（図 5b）、農業集落排水処理水区・未処理の農業集落排水区では通水により DOC 中の芳香族割合が高まる傾向を示した。

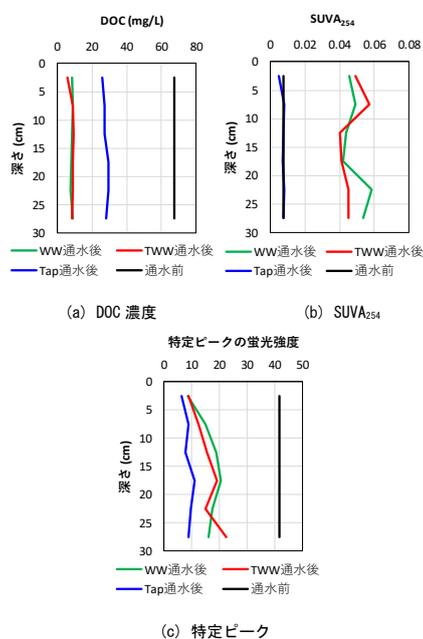


図5 土壌抽出液の DOC、SUVA₂₅₄、蛍光強度

③EEMにおける特定ピークの蛍光強度の変化

図 4b と図 5c に EEM におけるある特定ピークの蛍光強度の測定結果を示した。このピークは水道水区に比較して未処理の農業集落排水区や農業集落排水処理水区の供試水において高いピークが検出された物質であるとともに（図 4b）、微生物起源であり、微生物分解性が高い物質に起因するとされる。このピークは未処理の農業集落排水区や農業集落排水処理水区の土壌抽出水において、全層にわたり水道水区に比較して高いピーク強度が確認された（図 5c）。未処理の農業集落排水区と農業集落排水処理水区との明確な差を確認できなかったものの、処理水など農業集落排水に由来するある特定の有機物種が土壌中に蓄積されることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 濱田康治、亀山幸司、岩崎泰永、岩田幸良、宮本輝仁、柴田浩彦
2. 発表標題 農業施設かんがいへの農業集落排水処理水の直接利用の検討
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji HAMADA
2. 発表標題 Water Reuse for Irrigation in Rural Areas in Japan.
3. 学会等名 Current and future state of water resource management and environmental issues in central Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji HAMADA, Koji KAMEYAMA, Yasunaga IWASAKI, Teruhito MIYAMOTO, Yuki-yoshi IWATA
2. 発表標題 Effect of Irrigation with Treated Rural Sewage Effluent on Soil in a Greenhouse
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱田康治・柴田浩彦・亀山幸司・宮本輝仁・岩田幸良
2. 発表標題 異なる処理法による農業集落排水処理水の灌漑への直接利用の適用性
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会講演集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱田康治・亀山幸司・宮本輝仁・山岡 賢
2. 発表標題 土壌カラム試験を用いた処理水灌漑が土壌有機物に与える影響の評価
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会講演集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	亀山 幸司 (KAMEYAMA KOJI) (90414432)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・上級研究員 (82111)	