

再生水灌溉对玉米根际土壤特性和微生物的影响

苗战霞, 黄占斌, 侯利伟, 蔡松涛, 何晨玲, 王文萍, 袁志丹, 许 晶

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘 要: 本研究采用盆栽试验方法,以清水灌溉为对照,分析了不同水质再生水在不同灌溉模式下对玉米根际土壤特性的影响。结果表明,在土壤理化性质方面,再生水灌溉情况下,玉米土壤 pH 值和电导率(EC)与对照均无显著差异,但 pH、EC 与灌溉用水 pH、EC 呈正相关。在土壤营养方面,与对照相比,后期灌三级再生水情况下有效磷、全钾和全氮含量、前期灌二级再生水情况下有效磷和有机质含量均显著增高,这与玉米收获期鲜重和干重测定结果一致,说明前期灌二级再生水和后期灌三级再生水均抑制了根系对养分的吸收,导致玉米生物量下降。在土壤微生物方面,再生水灌溉不同程度地促进了土壤微生物数量的增加;与前期灌二级再生水相比,后期灌二级再生水促进了土壤微生物生长。

关键词: 再生水;玉米;pH; EC;土壤养分;土壤微生物

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)01-0062-05

The Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Peculiarity and Microorganism Quantity of Maize Root Zone

MIAO Zhan-xia, HUANG Zhan-bin, HOU Li-wei, CAI Song-tao, HE Chen-ling, WANG Wen-ping, YUAN Zhi-dan, XU Jing
(College of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Irrigation with reclaimed water is an important way to deal with water shortage of agricultural production and solve the problem of sewage pollution. At present, many studies on irrigation with reclaimed water are carried on, and the effect on soil is an important aspect. Taking fresh water irrigation as the control, a pot experiment was used to study the soil characteristic of maize root zone under different irrigation modes with different reclaimed water. The results indicated that, the influence of irrigation with reclaimed water on soil pH and EC was not obvious, but the pH and EC of rhizosphere soil positively correlated with the quality of irrigation water. The content of effective P, total K and total N in the soil irrigated with the third grade water in later growth period of maize increased than that in the control. The content of effective P and organic matter in the soil irrigated with the second grade water in early growth stage of maize also increased significantly, especially the content of effective P being 4-5 times that in the control, which accorded with the fresh weight and dry weight of maize at harvest time, suggesting that the ability of maize to absorb nutrient was restrained under the two irrigation treatments, resulting in the decrease of maize biomass. Irrigation with reclaimed water accelerated the growth of soil microbes. Compared with the irrigation in the early stage, irrigation with the second grade water in later period increased the number of soil microbes.

Keywords: reclaimed water; maize; soil pH; soil EC; soil nutrient; soil microbe

水资源是人类赖以生存和发展必不可少的战略资源。农业是用水大户,约占总用水量的 60%~70%。随着我国经济的快速发展和城市化进程的加快,今后

一段时期全社会需水量将逐步增加,水资源供需矛盾将日益突出。与此同时,城市污水大量排放,约有 1/3 的城市称为水质型缺水城市。因此,将再生水应用于农业是缓解水资源紧张、减轻污水二次污染的重要方面。

再生水又称中水,是指城市或生活污水经过二级或二级以上工艺处理后达到一定的水质标准,可在一定范围内重复使用的非饮用水。经过二级工艺处理后

收稿日期:2007-03-27

基金项目:国家自然科学基金项目(50679080);国家“十五”863 课题(2006AA100205)

作者简介:苗战霞(1981—),女,河南郑州人,硕士研究生,研究方向为资源利用与生态学。E-mail:miaozx1981@163.com

通讯作者:黄占斌 E-mail:zbhuang2003@163.com

的水,一般可达到农灌标准和废水排放标准;同时,再生水中含有丰富的氮、磷等营养元素,直接排放会引起水体富营养化,用于农业灌溉则可以带来经济和环境效益。

再生水用于灌溉的过程,土壤相当于一个深层净化处理系统,水中的养分和盐分进入土壤的同时,渗入土壤剖面的再生水也逐步被净化。但一旦排入土壤中的各种污染物超过土壤的自净能力就会对土壤特性、作物生长和品质存在不良影响,甚至影响人类健康。国外关于再生水应用于农业方面的研究较多,作物种类和灌溉方式不同,对水质要求也不同,许多国家已制订出相关标准^[1-4]。国内一些学者对再生水灌溉条件下绿地、草坪、高尔夫球场的研究证明,三级再生水用于景观灌溉对土壤盐分含量短期内没有发现不良影响^[5,6]。国内针对再生水灌溉下的作物根部土壤环境的系统性研究较少。

玉米是一种高光效淀粉类粮食作物,根部为须根系,它也是重要的饲料作物,在我国农业生产中占有较大的比重。因此,研究不同水质再生水灌溉对玉米生产环境的影响,对再生水灌溉该作物的实际应用具有重要价值。本文采用盆栽试验方法,以清水灌溉为对照,研究不同水质再生水在不同灌溉方式下对玉米根部土壤理化性质、常规养分和微生物数量结构的影响,为再生水农业灌溉的实际应用及其标准的制定提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验布置

试验按再生水水质、灌溉期两因素组合。水质因素处理分原污水(污水处理厂进水)、二级再生水(二沉池出水)、三级再生水(砂滤池出水)、清水对照(自来水)4水平(水质见表1);灌溉期分玉米营养生长期(前期)和玉米生殖生长期(后期)2水平;组合成8个处理,即:全生育期灌溉原污水处理(简称处理O)、全生育期灌溉二级再生水处理(处理S)、全生育期灌溉三级再生水处理(处理F)、全生育期灌溉清水处理(处理F,对照)、前期二级再生水而后期清水灌溉(处理SF)、前期三级再生水与后期清水灌溉(处理TF)、前期清水与后期二级再生水灌溉(处理FS)或后期三级再生水灌溉(处理FT)。每处理6个重复。

供试玉米品种为农大108,为适应性较强的高产、高抗品种。土壤为北京市通州区北京市水利科学所实验站田间表土(田间0~80 cm壤土,其理化性能见表2),风干、过筛、装盆、拌底肥化肥(尿素万分之五),在初始土壤装盆时每盆浇2 000 mL稀释800倍的辛硫磷(40%)对土壤杀虫。

试验在北京市高碑店污水处理厂内防雨棚下进行,二级再生水、三级再生水和原污水直接从该污水处理厂获得。试验用白色PVC花盆,每盆装土16 kg。

表1 实验中再生水的水质

Table 1 Water-quality of reclaimed water in the experiment

化学成分	清水	二级再生水	三级再生水	原污水	农灌标准(旱作)
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	0.94	9.25	5.85	202.3	150
COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	2	38.1	23.8	411.1	300
SS/mg·L ⁻¹	4	12.2	5.55	354.3	200
TN/mg·L ⁻¹	7.81	30.1	20.05	58.84	30
TP/mg·L ⁻¹	0.02	1.95	2.02	6.02	10
Cl ⁻ /mg·L ⁻¹	45.9	133	143	161	250
Pb/mg·L ⁻¹	nd	0.31	nd	0.28	0.1
Cd/mg·L ⁻¹	nd	0.01	nd	0.02	0.005
Zn/mg·L ⁻¹	0.02	0.13	0.05	0.24	2.0
pH	7.77	7.85	7.49	7.89	5.5~8.5
EC/μS·cm ⁻¹	491	1 199	1 184	1 497	1 000

注:nd为未检出。

表2 试验用土壤理化性质

Table 2 Physical and chemical characteristics of the soil used in the pot experiment

粘粒/%	粉粒/%	沙粒/%	田间持水量/%	容重/g·cm ⁻³	有机质/%	全N/%	全K/g·kg ⁻¹	有效P/mg·kg ⁻¹	pH	EC/μS·cm ⁻¹
16.23	59.65	24.5	21.22	1.39	0.573	0.0625	27.68	17.03	8.17	231.67

玉米播种时每盆3穴,每穴2粒,成苗后留1株。隔天称盆重,记录重量,当土壤水降到最大持水量50%~60%时浇水,记录每次浇水量。

1.2 测定项目与方法

测试土壤取自玉米收获期的盆栽土壤,用于土壤理化指标和常规养分指标。土样取回后自然状态下风干,过筛封好备用。测定前在烘箱中65℃恒温烘干8h以上,以保持含水量一致。

测定土壤理化指标(pH值和电导率),常规养分指标(全氮、有效磷、全钾和有机质),微生物指标(细菌、真菌和放线菌)。土壤pH值的测定根据GB7859-87采用玻璃电极法,土水比为1:2.5,仪器为PHS-3C精密酸度计;土壤电导率的测定根据GB7871-87采用电导法,土水比为1:5,仪器为DDS-11A数显电导率仪;土壤全氮测定根据GB7173-87采用半微量凯氏法测定,仪器为KDY-9830全自动凯氏定氮仪;土壤有效磷测定依据GB12297-90采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,仪器为UNICAM UV300紫外可见分光光度计;全钾的测定根据GB7854-87采用酸溶-火焰光度法,仪器为WFX-130原子吸收分光光度计;土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化-稀释热法^[7];微生物菌采用稀释倍数法测定^[8,9]。

数据处理应用统计分析软件SPSS进行分析,考虑95%的置信水平,进行LSD单因素方差分析。

2 结果分析与讨论

2.1 再生水灌溉对玉米根系土壤pH值和电导率的影响

pH值是土壤的基本性质,它直接影响土壤养分存在状态、转化和有效性,同时pH值对土壤有机质的转化、氮素消化等都有很大影响。在一定浓度范围内,土壤溶液的含盐量与电导率成正相关,含盐量愈高,溶液电导率愈大,故常用土壤溶液的电导率来表示土壤含盐量。

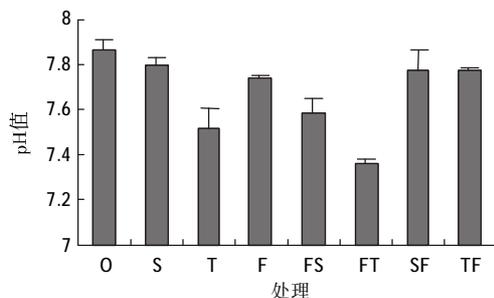


图1 盆栽玉米土壤pH值

Figure 1 pH of soil with potted maize

实验结果(图1)表明,原污水灌溉(O)下土壤pH值最高,且显著高于清水对照(F);三级再生水(T)、后期灌二级再生水(FS)或三级再生水(FT)的土壤pH值却显著低于清水对照。说明三级再生水灌溉玉米时土壤的pH都明显降低。在电导率(EC)方面(图2),原污水、再生水灌溉情况玉米土壤的电导率依次降低,但都显著高于清水对照;前期清水而后灌二级再生水或三级再生水(FS、FT)的土壤EC高于前期灌再生水而后灌清水的处理,但这些处理的土壤EC都显著高于清水对照。说明再生水无论何种方式灌溉都会增加土壤EC。

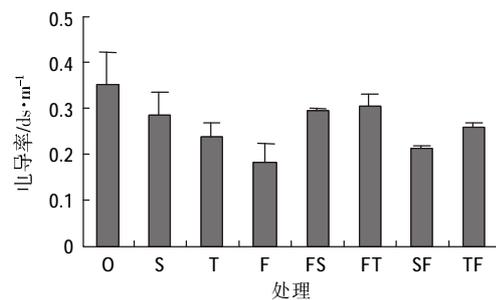


图2 盆栽玉米土壤电导率

Figure 2 EC of soil with potted maize

2.2 再生水灌溉对玉米根系土壤养分的影响

土壤常规养分除土壤本底养分外,一部分来自于施肥,还有一部分来自于灌溉、降雨以及大气沉降。通过常规养分测定,分析再生水灌溉对土壤养分造成的差异。氮、磷、钾是植物生长发育所必需基本元素。分析证明(图3),二级再生水(S)、前期灌二级再生水(SF)、前期灌三级再生水(TF)的有效磷含量显著高于对照,分别是对照4倍、4倍和5倍,其他各处理与对照均无显著性差异;在土壤全钾方面,前期灌三级再生水(TF)下含量显著高于对照,其他各处理与对照均无显著性差异(图4)。在土壤有机质方面,前期灌二级再生水(SF)下含量最高,与对照(F)差异显著,其他各处理与对照均无显著性差异。在全氮含量方面,前期灌三级再生水(TF)下含量最高,显著高于对照,其他各处理与对照均无显著性差异,与全钾结果相似(图6)。

2.3 再生水灌溉对玉米根系土壤微生物数量的影响

土壤微生物是土壤中的活性胶体,具有较大的比表面积,代谢活动旺盛,通过积极参与土壤物质转化过程,在土壤形成、肥力演变、植物养分有效化和土壤结构的形成与改良、降解及净化有毒物质等方面起着重要作用^[10]。土壤中微生物的组成和数量与作物的生

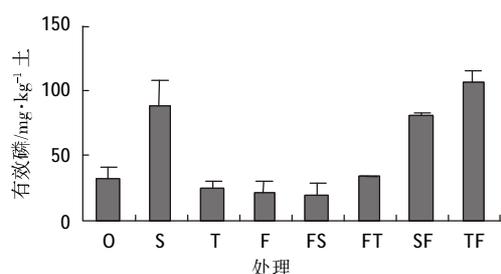


图 3 盆栽玉米土壤有效磷含量

Figure 3 Content of effective P in soil with potted maize

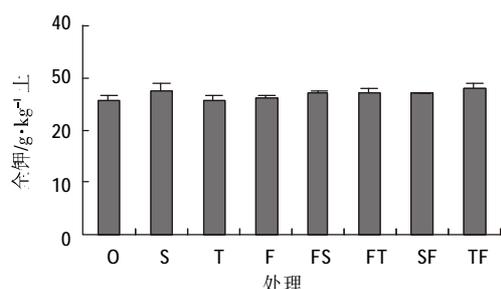


图 4 盆栽玉米土壤全钾含量

Figure 4 Content of total K in soil with potted maize

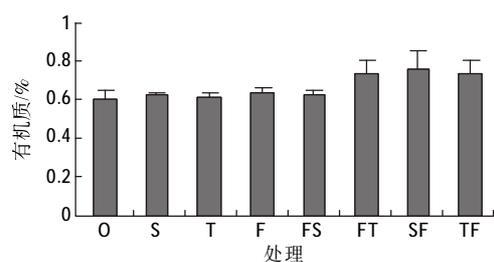


图 5 盆栽玉米土壤有机质含量

Figure 5 Content of organic matter in soil with potted maize

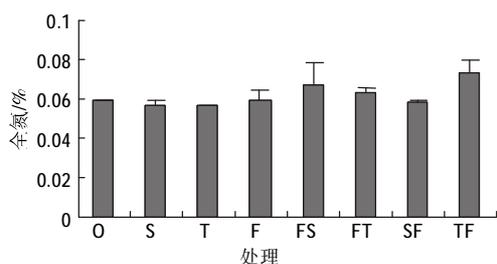


图 6 盆栽玉米土壤全氮含量

Figure 6 Total amount of N in soil with potted maize

长有着密切关系,尤其是在作物根部周围的微生物^[1]。细菌、真菌是土壤中主要两大类微生物,它们数量变化在一定程度上反映了土壤微生物环境变化。

测定结果表明,在细菌数量方面,与清水对照(F)相比,二级再生水(S)、后期灌三级再生水(FT)和前期灌三级再生水(TF)的玉米根系土壤细菌数量都显著高于清水,其他处理与对照无显著性差异。在真菌数量方面,二级再生水(S)和三级再生水(T)灌溉下的

玉米根系土壤真菌数量显著高于对照,其数量分别为对照(F)的 2.7、2.2 倍,其他处理与清水无显著差异。在放线菌数量方面,后期灌二级再生水(FS)最高,其他处理与对照均无显著差异(图 7、8、9)。

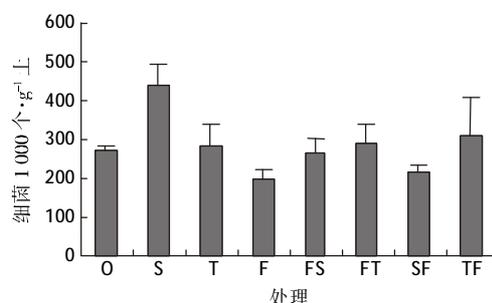


图 7 盆栽玉米土壤细菌数量

Figure 7 Number of bacteria in soil with potted maize

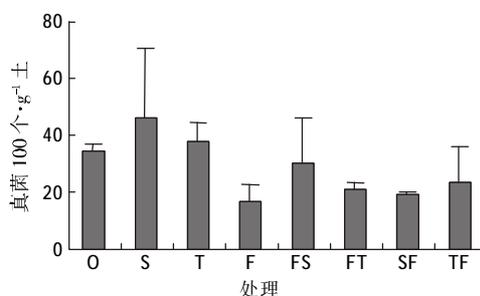


图 8 盆栽玉米土壤真菌数量

Figure 8 Number of fungi in soil with potted maize

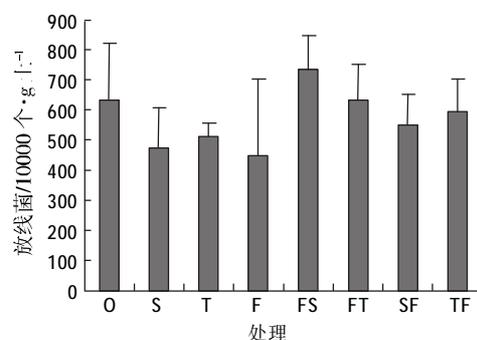


图 9 盆栽玉米土壤放线菌数量

Figure 9 Number of potted maize soil's actinomycetes

3 讨论与结论

(1) 再生水灌溉对土壤 pH、EC 影响表明,再生水灌溉对玉米根部土壤 pH、EC 均无显著影响,但其值与灌溉用水 pH、EC 指标呈正相关。

总体看,各种水质灌溉下玉米根系土壤 pH 值和 EC 呈现一定规律性。pH 值和 EC 效应表现为,原污水 > 二级再生水 > 清水,这与各水质 pH 值和 EC 存在同样趋势;同样,由于水质 pH 值差异,二级再生水

表 3 玉米鲜重和干重
Table 3 Fresh weight and dry weight of maize at different growth stages

处理方式	鲜重/g·株 ⁻¹			干重/g·株 ⁻¹		
	苗期	拔节期	收获期	苗期	拔节期	收获期
O	3.633 3bc	329.966 7a	404.87a	0.8ab	52.03c	228.57ab
S	3.006 7b	308.266 7bc	378.3ac	0.663 3a	48.1b	232.83ac
T	4.046 7ac	309.166 7cd	309.13b	0.886 7ab	48.37b	188.8b
F	3.656 7ab	294.9b	318.53b	0.876 7ab	41.33a	190.17bc
FS	3.756 7ab	302.466 7bc	377.13ac	0.836 7ab	43.83a	239.4a
FT	3.066 6b	296.2bd	339.83bc	0.756 7a	42.03a	185.03b
SF	3.176 7bc	311.7c	322.93b	0.783 3ab	49.2bc	185.97b
TF	4.563 3a	298.766 7bc	321.67b	1.006 7b	47.73b	191.37bc

注:数据后有相同字母表示无显著性差异,有不同字母表示有显著性差异。

参与灌溉下的土壤 pH 值高于相应的三级再生水灌溉,但在玉米生长后期灌再生水下,二者间差异有所减小,玉米后期灌再生水的土壤 EC 比前期灌再生水低,这些可能与后期清水灌溉的淋溶作用有关。根据相关标准,EC1 : 5 > 0.69 ds·m⁻¹ 时会使部分植物生长受到抑制或损害,土壤有盐渍化危险^[2]。本研究所测得土壤 EC 值 0.182~0.350 ds·m⁻¹, 低于相关标准,但盐分在土壤中出现不同程度累积,需引起注意。

(2)再生水灌溉对土壤养分影响表明,二级再生水在前期灌溉抑制作物对有效磷和有机质的吸收,三级再生水在前期灌溉导致有效磷、全钾和全氮有不同程度的累积,这与玉米生物量测定结果一致。

本试验中施肥等其他条件均相同,所以土壤养分的变化与不同水质再生水养分和植物吸收平衡有关。结合表 3 可知,前期灌二级再生水情况下土壤有效磷和有机质均显著高于对照,而该情况下玉米鲜重和干重均较低,可能是由于二级再生水在前期灌溉伤害了玉米根系,影响了玉米对养分的吸收,导致生物量下降,这与二级再生水灌溉情况下玉米有效磷含量较高和苗期玉米生物量较低的结果一致;与对照相比,前期灌三级再生水情况的有效磷、全钾和全氮显著增高,可能是由于三级再生水中絮凝剂等影响了玉米根系对养分的吸收。

(3)再生水灌溉对玉米根部土壤微生物影响表明,再生水灌溉不同程度地促进土壤微生物数量的增加;与前期灌二级再生水相比,后期灌二级再生水对微生物生长较有利。

再生水灌溉作物促进土壤微生物数量的增加,原

污水灌溉条件下土壤微生物数量比再生水少,可能是由于原污水中有害物质抑制了微生物的生长。后期灌二级再生水土壤细菌和真菌数量均高于前期灌溉情况下,而三级水在不同时期灌溉无显著区别。

参考文献:

- [1] Al-Nakshabandi G A, Saqqar M M, Shatanawi M R, et al. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan[J]. *Agricultural Water Management*, 1997, 34: 81-94.
- [2] Al-Lahham O, El Assi N M, Fayyad M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit [J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 61: 51-62.
- [3] Oron G, Armon R, Mandelbaum R, et al. Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks[J]. *Water Science and Technology*, 1999, 43 (10): 139-146.
- [4] 马 敏,黄占斌.应用再生水进行农业灌溉的现状与发展趋势[J]. *节水灌溉*, 2006, 5: 43-46.
- [5] 周陆波,韩烈保,周 军,等.再生水(中水)灌溉高尔夫球场的研究[J]. *节水灌溉*, 2005, 4: 7-13.
- [6] 杨永利,韩烈保,张 清,等.再生水灌溉对天津滨海盐碱地绿地的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2006, 6: 85-91.
- [7] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社, 1996.
- [8] 许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社, 1986.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社, 1985.
- [10] 龚 平,孙铁琦,李培军.重金属对土壤微生物的生态效应[J]. *应用生态学报*, 1997, 8 (2): 218-224.
- [11] 章家恩,徐 琪.土壤与生物多样性保护对策[J]. *资源环境*, 1998, 1: 49-53.
- [12] 朱岐武.污水灌溉对土壤环境的影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25 (4): 74-76, 80.