

再生水灌溉对玉米和大豆品质影响的试验研究

马 敏¹, 黄占斌¹, 焦志华¹, 苗战霞¹, 侯利伟¹, 周 军², 赵 颖²

(1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083; 2. 北京城市排水集团工程咨询公司, 北京 100022)

摘 要: 为了合理利用城市污水处理后的再生水资源, 研究再生水灌溉对作物品质的影响, 该文采用北京高碑店污水处理厂的两种再生水(二级再生水、三级再生水), 以清水为对照进行玉米和大豆盆栽种植试验。通过对籽粒常规养分、微量元素和重金属含量等项目的测定分析, 对再生水灌溉情况下的作物品质进行研究。研究结果表明: 再生水灌溉对玉米和大豆籽粒粗蛋白、粗淀粉含量无显著影响; 在微量元素方面, 对大豆籽粒的影响同对照差异不显著, 而对玉米籽粒的影响同水质有关; 玉米和大豆籽粒中的重金属铅、镉含量虽均低于国家卫生标准(GB 2715-1981)规定, 但二级再生水灌溉的玉米镉含量相对对照增加显著。因此认为三级再生水相对二级再生水应用于作物灌溉更具安全性, 对二级再生水中重金属镉含量应严格控制。

关键词: 再生水; 灌溉; 玉米; 大豆; 品质

中图分类号: S273.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)5-0047-04

马 敏, 黄占斌, 焦志华, 等. 再生水灌溉对玉米和大豆品质影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 47-50.

Ma Min, Huang Zhanbin, Jiao Zhihua, et al. Effects of reclaimed wastewater irrigation on the quality of maize and soybean[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 47-50. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

再生水是指将城市污水或生活污水经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^[1]。作为一种灌溉水源在许多国家和地区得到大范围的应用^[2,3]。中国由于经济发展水平的原因, 整体污水处理水平相对较低, 又由于北方大部分地区农业缺水, 所以在中国也形成了几个大的污水灌区^[4]。这种将未经处理或只经简单处理的污水用于灌溉带来了许多生态、环境和社会问题^[5,6]。随着中国经济的发展和人们社会意识的提高, 同时又为了解决农业缺水问题, 再生水应用于农业灌溉将成为一个新的研究热点。

相对于常规的灌溉用水(地表水、地下水), 再生水的营养物质(N、P、K)较丰富, 总固体含量较高并含有大量的微生物(含各种致病菌)及一定的重金属残留, 所以应用于农业灌溉是否对作物的品质带来影响是人们关心的重要问题。国外关于再生水灌溉对作物品质的影响研究相对较多, 采用经不同处理级别的再生水对包括

谷子、小麦等粮食作物, 西红柿、茄子等蔬菜类进行灌溉, 对其产量、外观形状、常规营养、微量元素和重金属含量以及蔬菜中的微生物残留等指标进行研究^[7-9]。国内进行的研究主要是用未经处理或只经简单处理的污水对作物(如小麦、玉米、蔬菜等)品质的影响, 其研究大多集中在重金属残留方面^[10-12], 对不同水质的再生水对作物品质的影响研究较少。

本研究以春玉米和春大豆为对象, 以盆栽试验为手段, 用北京高碑店污水处理厂生产的不同水质的再生水(二级再生水、三级再生水)进行灌溉, 研究其对玉米和大豆品质的影响。

1 材料与方法

试验地点位于北京高碑店城市污水处理厂院内试验基地。盆栽用土取自北京水科所农业节水中心试验站(北京市通州区试验站), 土壤为田间 0~80 cm 土的混合土, 质地为壤土, 其理化性能见表 1。供试春玉米品种为“农大 108”, 大豆品种为“中黄 13”, 播种时间和收获时间分别为 2005 年 4 月和 2005 年 9 月。

1.1 试验设计

试验根据灌水水质设为 3 个处理, 分别为: 清水灌(CK)、二级再生水灌、三级再生水灌, 每个处理 6 次重复。灌溉用清水为自来水, 二级再生水为高碑店污水处理厂二沉池出水, 三级再生水为二级再生水经砂滤后的出水。用水时现浇现取, 水质分析由高碑店污水处理厂水质中心提供, 主要化学成分见表 2(月平均值)。

收稿日期: 2006-06-09 修订日期: 2006-11-13

基金项目: 国家自然科学基金(50679080)

作者简介: 马 敏(1976-), 女, 湖北随州人, 博士生, 主要从事环境生态和再生水应用研究。北京市海淀区学院路丁 11 号 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 100083。Email: houmlin@126.com
※通讯作者: 黄占斌(1961-), 男, 陕西武功人, 博士, 教授, 主要从事环境生态学和植物生理研究。北京市海淀区学院路丁 11 号 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 100083。

Email: zhuang@163.com

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristics of the experimental soil

黏粒 /%	粉粒 /%	砂粒 /%	总 C /%	NH ₄ ⁺ -N /mg·kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·kg ⁻¹	Pb /mg·kg ⁻¹	Cr /mg·kg ⁻¹	Cd /mg·kg ⁻¹	pH 值	EC /μS·cm ⁻¹
16.23	59.65	24.5	1.01	33.8	27.53	34.59	40.38	0.267	8.17	231.67

表 2 灌溉用清水与再生水化学成分

Table 2 Chemical properties of reclaimed wastewater and fresh irrigation water

化学成分/mg·L ⁻¹	清水	二级再生水	三级再生水
BOD ₅	0.94	9.25	5.85
COD _{Cr}	0.94	38.1	23.8
SS	4	12.2	5.55
TN	7.81	30.1	20.05
TP	0.02	1.95	2.02
Cl ⁻	45.9	133	143
Pb	nd	0.31	nd
Cd	nd	0.01	nd
Fe	0.03	0.36	0.07
Mn	0.01	0.05	0.03
Zn	0.02	0.13	0.05
pH	7.77	7.85	7.49
EC/μS·cm ⁻¹	491	1199	1184

试验用盆为内径 33 cm, 高 40 cm 的白色 PVC 花盆, 每盆装土 15 kg, 底肥施万分之五的尿素, 玉米拔节和大豆开花时, 每盆施 8 g 磷酸二氢铵(美国产)。通过称盆重确定浇水量, 当土壤含水率为最大持水量的 50%~60% 时浇水至 90%~100%。在整个生长期, 不同处理所灌水量基本相等, 玉米每盆大约为 511 mm, 大豆每盆大约为 491.2 mm。

1.2 测定指标与方法

粗蛋白的测定根据 GB 2905-1982 采用半微量凯氏定氮法, 换算系数取 6.25; 粗淀粉的测定根据 ZB X66027-1987 方法测定; 粗灰分的测定根据 GB 4800-1984 方法测定; 铁、锰、钙、锌、镁测定根据 GB 7887-1987 采用火焰原子吸收光谱法; 铅和镉的测定分别根据 GB/T 5009.12-1996、GB13082-1991 采用石墨炉原子吸收光谱法^[13]。

1.3 数据处理及分析

试验数据采用统计分析软件 SPSS 11.5 进行分析, 考虑 95% 的置信水平, 应用最小显著差异法(LSD)对不同处理进行多重比较分析。试验结果以平均值±标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 再生水灌溉对玉米、大豆常规品质的影响

表 3 为玉米和大豆籽粒中常规品质的含量情况。玉

米和大豆籽粒中, 两种水质再生水灌溉情况下的粗蛋白、粗淀粉同清水对照间均无显著差异。在粗灰分指标上, 两种再生水灌溉下玉米的含量均显著低于清水对照; 大豆籽粒的粗灰分表现不同, 再生水灌溉情况下的灰分含量相对清水对照增加, 其中二级再生水灌溉同对照之间差异明显。二级再生水和三级再生水这两种不同水质再生水灌溉之间在各指标上不存在明显差异。粗灰分是作物籽粒中无机物的总称, 其中除了自身所含各种常量矿物质元素、微量元素的氧化物外还残留有少量氯化物及碳酸盐。从玉米和大豆这两种作物籽粒粗灰分含量变化看, 再生水灌溉下作物籽粒的粗灰分含量变化同作物种类有关。

表 3 不同处理下玉米和大豆的常规品质

Table 3 General quality of maize and soybean under different treatments

作物	处理类别	粗蛋白 /g·kg ⁻¹	粗淀粉 /%	粗灰分 /%
玉米	清水(CK)	81.32±10.19a	77.20±0.44a	2.15±0.062a
	二级再生水	82.45±2.42a	79.38±4.92a	1.53±0.098b
	三级再生水	91.69±4.64a	76.29±1.09a	1.46±0.409b
大豆	清水(CK)	394.25±14.05a	19.99±0.52a	5.13±0.099a
	二级再生水	393.24±4.51a	19.77±0.88a	5.59±0.065b
	三级再生水	393.70±16.03a	20.25±0.66a	5.44±0.348ab

注: 数据后的不同字母表明具有显著性差异(P<0.05)。

2.2 再生水灌溉对玉米、大豆微量元素的影响

从表 4 可知, 在玉米籽粒中, 二级再生水灌溉下玉米籽粒中 Fe 的含量显著低于对照; 三级再生水灌溉下的 Zn、Mn 的含量为对照的 151.9% 和 143.6%, 明显高于对照; 在玉米籽粒的 Fe、Zn 含量上, 二级再生水和三级再生水灌溉之间的差异也达到显著性水平, 表现为三级再生水灌溉下的含量增加。在大豆籽粒中, 二级再生水和三级再生水灌溉同对照相比在上述各项指标上均无显著性差异; 二级再生水和三级再生水处理间的 Mn 含量差异显著, 其他方面二者之间无明显差异。Fe 是对人和植物有益的微量元素, 其含量高低可作为作物营养价值高低的一个指标。在玉米籽粒的 Fe 含量上, 二级再生水灌溉下 Fe 含量比对照低, 这可能是二级再生水中的某些成分影响到了玉米对 Fe 的吸收; 在玉米和大豆籽粒的 Mn 含量上, 三级再生水灌溉下的 Mn 含量均比对照和二级再生水要高。

表 4 不同处理下玉米及大豆籽粒 Fe、Mn、Zn、Ca 及 Mg 的含量

Table 4 Contents of Fe, Mn, Zn, Ca and Mg in maize and soybean grain under different treatments

作物	处理类别	Fe/mg · kg ⁻¹	Mn/mg · kg ⁻¹	Zn/mg · kg ⁻¹	Ca/mg · kg ⁻¹	Mg/mg · kg ⁻¹
玉米	清水(CK)	81.29±14.34a	10.42±2.04a	20.32±2.24a	93.10±15.70a	686.63±64.83a
	二级再生水	53.41±17.61b	12.12±0.82ab	20.68±2.64a	111.4±25.42a	708.46±50.19a
	三级再生水	96.34±5.08a	14.97±1.94b	30.88±1.74b	96.29±33.09a	682.54±37.88a
大豆	清水(CK)	70.51±5.00a	43.51±1.89ab	50.53±9.23a	3117.14±298.01a	643.72±19.50a
	二级再生水	65.47±2.01a	42.23±4.00a	49.98±2.79a	3294.89±473.51a	647.92±66.30a
	三级再生水	69.02±1.26a	48.49±3.89b	43.88±7.22a	3150.83±126.06a	651.22±12.50a

注: 数据后的不同字母表明具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.3 再生水灌溉对玉米、大豆籽粒重金属铅、镉含量的影响

重金属 Cd 对植物来说, 是一种具有非常高植物性毒素的非必需元素, 尽管通常 Cd 在植物和土壤中的含量很低, 但是它对生物甚至土壤微生物代谢活动的抑制和毒性影响, 对土壤—生物的营养循环都具有严重的有害作用^[14]。Pb 是对人类有毒的重金属元素, 对幼苗生长也有明显的抑制作用, 它不仅抑制植物根的生长, 还抑制植物对营养的吸收; 使叶绿素含量减少, 光合作用受阻, 以致产量下降^[15], 所以这两种元素在农业中都是严格控制其来源和含量的。

表 5 不同处理下玉米和大豆籽粒中重金属 Pb、Cd 含量

Table 5 Contents of Pb and Cd in maize and soybean grain under different treatments

作物	处理类别	Cd/mg · kg ⁻¹	Pb/mg · kg ⁻¹
玉米	清水(CK)	0.0066±0.0018a	0.31±0.05a
	二级再生水	0.0185±0.0066b	0.35±0.11a
	三级再生水	0.0149±0.0066ab	0.29±0.06a
大豆	清水(CK)	0.0322±0.0158a	0.195±0.006a
	二级再生水	0.0554±0.0115a	0.199±0.049a
	三级再生水	0.0496±0.0173a	0.205±0.104a

注: 数据后的不同字母表明具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

从表 5 可知, 二级再生水灌溉下玉米籽粒中 Cd 的含量同对照间差异显著, 表现在二级再生水灌溉下玉米 Cd 含量是对照的 280%; 玉米籽粒 Pb 和大豆籽粒 Pb、Cd 的含量同对照清水的差异均未达到显著性水平。玉米和大豆籽粒的 Cd 含量顺序是: 二级再生水> 三级再生水> 清水, 结合表 2 水质情况, 可以看出作物籽粒中 Cd 含量随水质表现出一定程度的累积, 但两种作物体内的 Pb 含量无这种累计表现。将玉米和大豆籽粒中的两种元素含量同国家粮食卫生标准(GB 2715-1981)比较, 均小于国家标准规定($Pb \leq 0.4 \text{ mg/kg}$ 、 $Cd \leq 0.2 \text{ mg/kg}$)。

作物中的各种元素及成分, 除少部分是通过叶面来自于空气, 绝大部分来自于土壤。本研究中各种灌溉情况下玉米品质的差异根据试验设计主要来自于灌溉用

水的不同。对多数植物来说, 通常某元素土壤中含量高, 则其上生长的作物所含该种元素也相对较高^[16]。对表 2 中的各种元素通过水质看其含量顺序是: 二级再生水> 三级再生水> 清水, 满足这一规律的只有 Ca 和 Cd; 其他元素则无这种规律。二级再生水和三级再生水相对清水成分要复杂的多, 这可能是由于水质中的某些成分影响到元素的有效态, 从而影响作物对土壤中这些元素吸收。将每种元素在玉米和大豆籽粒中的含量进行对比, 发现含量规律不完全一致, 例如三级再生水灌溉下玉米 Pb 含量最低, 而大豆则相对最高; 玉米对照的 Zn 含量最低, 而大豆对照的 Zn 含量最高, 这可能与不同作物对不同元素的吸收条件有关。

3 结 论

1) 在玉米和大豆的常规养分品质中, 再生水灌溉下籽粒的粗蛋白、粗淀粉同清水对照之间无显著性差异, 粗灰分含量同对照之间有明显差异, 但玉米和大豆规律不同。

2) 在玉米和大豆籽粒的几种微量元素含量中, 再生水灌溉下大豆籽粒的各项指标同清水对照的差异不显著; 二级再生水灌溉的玉米籽粒 Fe 含量显著低于对照, 三级再生水灌溉下的 Zn、Mn 含量显著高于对照。二级再生水和三级再生水处理间的玉米籽粒 Mn 含量差异达到显著性水平。

3) 玉米和大豆籽粒中的重金属 Pb、Cd 含量均低于国家卫生标准 GB 2715-1981 的规定, 但是重金属 Cd 含量表现出一定程度的累积, 且二级再生水灌溉下玉米籽粒的 Cd 含量同清水之间的差异达到了显著性水平。因此认为三级再生水相对二级再生水应用于作物灌溉更具安全性, 对二级再生水的重金属 Cd 含量应该严格控制, 以防造成长期灌溉情况下的累积污染。

[参 考 文 献]

- [1] 中华人民共和国城镇建设行业标准 CJ/T 95-2000.
- [2] A N Angelakisa M, M H F Marecos Do Monte, L. Bontoux M, et al. The status of wastewater reuse

- practice in the Mediterranean basin: need for guidelines [J]. *Wat Res*, 1999, 33(10): 2201– 2217.
- [3] A N Angelakisa, L Bontoux. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries[J]. *Water Policy*, 2001, (3): 47 – 59.
- [4] 刘润堂, 许建中. 我国污水灌溉现状、问题及对策[J]. *中国水利*, 2002, (10): 123– 125.
- [5] 王桂玲, 蔺文静. 污水灌溉对土壤的污染及其整治[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(2): 163– 166.
- [6] 杨 飞, 蒋丽娟. 浅议污水灌溉带来的问题及对策[J]. *节水灌溉*, 2000, 2: 23– 26.
- [7] O Al-Lahham, N M El Assi, M Fayyad. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit [J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 61: 51– 62.
- [8] Hussain G, A Jaloud A, Karimulla S. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat[J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 30: 175– 184.
- [9] Menon Parameswaran. Urban wastewater use in plant biomass production [J]. *Resources Conservation and Recycling*, 1999, 27: 39– 56.
- [10] 冯绍元, 邵洪波, 黄冠华. 重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(4): 113– 115.
- [11] 杨红霞. 大同市污水灌溉对农作物影响研究[J]. *农业环境与发展*, 2002, (4): 18– 19.
- [12] 周纪侃, 席玉英, 宋良汉, 等. 污水灌溉对蔬菜中的 N, Fe, Mn, Zn 含量的影响[J]. *山西农业科学*, 1997, 25(4): 55– 58.
- [13] 董 鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [14] Rai S. Kookana Ravendra Naidu. Effect of soil solution composition on cadmium transport through variable charge soils[J]. *Geoderma*, 1998, 84: 235– 248.
- [15] Pichtel J, Kuroiwa K, Sawyerr H T. Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites [J]. *Environmental Pollution*, 2000, 110: 171– 178.
- [16] 陈怀满, 陈能场, 陈英旭, 等. 土壤- 植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

Effects of reclaimed wastewater irrigation on the quality of maize and soybean

Ma Min¹, Huang Zhanbin¹, Jiao Zhihua¹, Miao Zhanxia¹, Hou Liwei¹, Zhou Jun², Zhao Ying²

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; 2. Beijing Drainage Group CO., LTD., Beijing 100022, China)

Abstract: In order to rationally use the reclaimed wastewater after treated wastewater, the potted experiment was conducted to investigate the effect of different reclaimed wastewater(second effluent water and tertiary effluent water from Beijing GaoBeiDian wastewater treatment plant) irrigation on the quality of maize(NongDa 108) and soybean(Zhonghuang 13). The experiment was designed to study the crop quality through measuring the general quality indexes, some heavy metals and microelements. Results show that, on the quality of crude protein and crude starch, no significant differences are observed between the control of fresh water irrigation and the treatments of reclaimed wastewater irrigation. On microelements, there are not significant differences between the control and reclaimed wastewater treatments for soybean grains while the influence is related to the reclaimed wastewater quality for maize. The cadmium and lead contents of maize and soybean meet the national sanitation standard(GB 2715– 1981). Compared with the control treatment, the content of cadmium of maize increases under the second effluent water treatment. So it is considered that the tertiary effluent water is much safer than the second effluent water when used in crop irrigation and it is strongly suggested that there should be a continuous monitoring of the second effluent water quality of cadmium content.

Key words: reclaimed wastewater; irrigation; maize; soybean; quality