

文章编号: 1000-8551(2005)06-474-05

# 再生水灌溉对草坪草生长和土壤的影响

左海涛<sup>1</sup> 武菊英<sup>1</sup> 温海峰<sup>1</sup> 李晓娜<sup>1</sup> 孙振元<sup>2</sup>

(1. 北京草业与环境研究发展中心, 北京 100089; 2. 中国林业科学院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:**随着城市绿地与人争水的问题日益突出,再生水作为替代水资源在草坪草上的应用日益广泛。本试验于2003-2005年用3种类型灌溉水(清水、“清水+再生水”、再生水)处理5种草坪草(草地早熟禾、高羊茅、结缕草、野牛草和山麦冬),从观赏品质和生长指标方面进行耐污性评价,并分析再生水对土壤的影响。结果表明:本研究使用的再生水对所供测试绿化草种的颜色、覆盖度、质地和均匀性无不良影响,再生水灌溉条件下,高羊茅表现出了最强的综合耐污能力,其次是结缕草和野牛草。灌溉水类型对于草坪草的生长指标的影响具有种的特异性。再生水灌溉和“清水+再生水”交替灌溉提高了土壤的阳离子交换量(CEC)和总孔隙度,有利于土壤物理性状的改善。

**关键词:**草坪草;观赏品质;再生水;耐污品种

## INFLUENCE OF RECLAIMED WATER IRRIGATION ON TURFGRASS GROWTH AND SOIL

ZUO Hai-tao<sup>1</sup> WU Ju-ying<sup>1</sup> WEN Hai-feng<sup>1</sup> LI Xiao-na<sup>1</sup> SUN Zhen-yuan<sup>2</sup>

(1. Beijing Research &amp; Development Center for Grass and Environment, Beijing, 100089;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091)

**Abstract:** As the shortage of water resource is seriously, reclaimed water has been used on turf as substitute of fresh water. 3 types of water (fresh water, fresh + reclaimed water, and reclaimed water) were used to irrigate 5 common turfgrasses (*Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*, *Zoysia japonica*, *Buchloe dactyloides*, *Radix liriopes*) during 2003-2005; the growth characters and sensory quality of turf grasses and soil responses were investigated. The research result showed that (1) The reclaimed water used didn't influence the sensory quality of a given turf grass tested; under irrigation of reclaimed water, *Festuca arundinacea* are the best, followed by *Buchloe dactyloides* and *Zoysia japonica*; (2) The influence of different types of irrigation water on growth characters of turfgrass is species-dependence; (3) Irrigation by reclaimed water and fresh + reclaimed water increases  $\text{Na}^+$ , CEC, and total porosity of the turf soil in comparison to fresh water, and improves soil quality.

**Key words:** turfgrass; sensory quality; reclaimed water; sewage-tolerant turfgrass

再生水是生活污水和工业废水经过一级、二级和深度处理后其水量和水质达标的回用水,是一种相对稳定的潜在水资源。我国是一个水资源严重不足的国家<sup>[1]</sup>,污水的再生回用是维系城市良好水环境的重要举措,直接关系到城市水资源的可持续利用和社会经济的可持续发展<sup>[2]</sup>。近年来,再生水灌溉在我国园林绿地特别是草坪绿地中的利用开展了一些研究。黄冠华<sup>[3]</sup>等的研究表明污水灌溉的草坪草植株中N含量平均比清水灌溉要高48%;杨建国<sup>[4]</sup>等分析了污水灌溉条件下早熟禾、黑麦草、高羊茅3种

收稿日期: 2005-11-25

基金项目: 北京市科学委员会资助项目(H030730040230)

作者简介: 左海涛(1972-),男,内蒙古包头人,副研究员,主要从事草地与环境生态学研究。武菊英为通讯作者, E-mail: wujuying@grass-env.com

草坪草的耗水规律与灌溉制度;周陆波<sup>[5]</sup>等和孙吉雄<sup>[6]</sup>等从植物生理方面对自来水和再生水灌溉草坪草进行了对比;崔超<sup>[7]</sup>等和佟魏<sup>[8]</sup>等比较了国内外再生水灌溉绿地的水质标准。这些研究主要集中在再生水灌溉条件下草坪的耗水规律及其对草坪草的生理特征、土壤养分等方面,而缺少对再生水灌溉下草坪草的感观表现及耐污草坪草种筛选等方面的研究。本文对草坪草耐污品种进行了筛选,并对再生水灌溉对草坪观赏品质的影响进行了评价,以期在城市绿地进一步推广再生水灌溉提供更为有力的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验地位北京市水利科学研究所永乐店节水试验中心。该地区属于温带半干旱、半湿润季风气候,四季分明;年平均气温 11.2℃;年平均降水 642mm,主要集中在 6~8 月;年平均湿度 61%;年平均风速 2.2m/s,以西、北方向为主;土壤以粗砂壤土为主。试验地土壤基本理化性状见表 1。

表 1 试验地土壤基本理化性状

Table 1 The basic physical and chemical characters of the experiment soil

pH	Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	Na <sup>+</sup> (mg/kg)	阳离子交换量 CEC(cmol(+)/kg)	容重 bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度 total porosity(%)	总盐 total salt (g/L)
7.76	42.5	76.16	12.64	0.94	66.91	129.6

1.2 灌溉用水

试验所用再生水来自北京市高碑店污水处理厂,再生水水质见表 2。

表 2 再生水水质调查

Table 2 Quality of reclaimed water for the experiment

N(mg/L)	P(mg/L)	K(mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	总盐 total salt (mg/L)	pH
1.5	4.7	37.2	483.5	147.1	1220	7.5

对大多数园林植物而言,灌溉用水 N 的最适浓度为 65~85 mg/L, P 为 8~12 mg/L, K 为 20~50 mg/L;灌溉水氯化物浓度大于 350 mg/L 对根吸收的植物有重度影响;灌溉水总盐浓度 450~2000 mg/L 会使草坪处于轻度或中度影响;灌溉水 pH 值标准为 6.0~9.0<sup>[7,8]</sup>。如表 2 所示,本研究所用的再生水氯离子含量偏高。佟魏<sup>[8]</sup>等认为再生水中的钠离子和氯离子在土壤中的长期积累会给植物带来危害,而再生水中过量的磷和钾一般不会对植物造成伤害。因此本次试验对土壤理化特征进行分析时,并未把土壤 N、P、K 作为重点考虑的元素。

1.3 试验草种

本次试验选用冷季型草草地早熟禾(*Poa pratensis*)和高羊茅(*Festuca arundinacea*),暖季型草结缕草(*Zoysia japonica*)、野牛草(*Buchloe dactyloides*),覆盖型草山麦冬(*Radix liriopes*)为供试材料。

1.4 草坪草建植

于 2003 年 4 月中旬,直接将当年生长的草地早熟禾、高羊茅、结缕草和野牛草的草皮卷和山麦冬的草苗(行间距 15cm×15cm)建植于准备好的小区坪床上。各小区大小为 6m<sup>2</sup>(2m×3m),为防止浇灌水对邻近小区的影响,小区四周为水泥砌成。小区内坪床土壤为回填客土、草炭土和细沙按 6:3:1 混合,并施入复合肥 N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O(10:10:10;10g/m<sup>2</sup>),充分混匀并精细平整。草坪建植后,适时浇灌清水,隔天镇压,并及时除杂草、防治病虫害。于 2003 年 11 月中旬开始对各草坪草小区浇再生水冻水。

1.5 试验设计

试验设计为裂区比较试验:分清水(Fresh Water, FW)、再生水(Reclaimed Water, RW)、清水+再生水(FW+RW)灌溉 3 个处理主区,5 个草坪草种小区(6m<sup>2</sup>)在各主区内随机排列。在 2004~2005 年生长季内,对各主区内的试验小区分别进行 3 种灌溉水类型处理,即清水处理区和再生水处理区均为每隔 7d

灌溉 1 次;“清水+再生水”处理区为再生水和清水隔 7d 交替灌溉 1 次。每次灌溉量为 0.1 吨/小区;如遇不良天气情况(降雨),则对灌溉频率进行调整。

## 1.6 测试指标及方法

**1.6.1 草坪草感官表现调查** 在草坪草的生长季内,分别于 6、7、8 月对草坪草的感官表现进行调查,具体评分标准如下,颜色:枯黄 0 分、黄绿色 50 分、深绿色 100 分;盖度:全部由裸地杂草构成 0 分、每增加 10% 草坪加 10 分、最高 100 分;质地:叶宽 < 1mm 为 90~100 分、1~2mm 为 80~90 分、2~3mm 为 70~80 分、3~4mm 为 60~70 分、4~5mm 为 50~60 分、> 5mm 为 0~50 分;均匀性:高度、密度一致 100 分、裸地或枯草或杂草每占 10% 扣 20 分。

**1.6.2 草坪草生长指标** 于 2004 年 5 月开始,每两周对草坪进行 1 次修剪,剪后第 10 天,测定各小区的草坪草剪后再生长高度,重复 3 次;在 2005 年 8 月中旬,对剪后 10d 的各小区草坪草取样,样方为 8cm (长) × 8cm (宽) × 20cm (深) 的样块,重复 3 次,然后将所取草样冲洗干净,记录分蘖数,并将地上叶片和地下部分分离,烘干(105℃)至恒重,测定干重,计算每个蘖的地上和地下部分干物质质量。

**1.6.3 土壤指标** 分别于 2003 年 10 月底(再生水灌溉前)和 2005 年 9 月底(试验末期)采用土钻法对各小区土壤进行取样,取样深度为 20cm。土壤酸碱度(pH)用 pH-2 酸度计测定;Cl<sup>-</sup> 用硝酸银滴定方法测定,其中 5:1 = 液:土浸提;Na<sup>+</sup> 用原子吸收分析(仪器型号:WFX-1E2)测定,其中 5:1 = 液:土浸提;总盐用残渣法测定;阳离子代换量(CEC)用 1N 醋酸铵交换,气体扩散法分析(FIA-110B 流动注射分析仪)测定;容重用浸水法测定;总孔隙度加无极性溶剂(93 号汽油)抽真空排气测定。

**1.6.4 统计分析** 在数据分析过程中,使用 SAS 8.02 (r) GLM-Duncan's Multiple Range Test 对数据进行显著性方差分析,差异显著水平为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌溉水类型对草坪草地上部分感官表现的影响

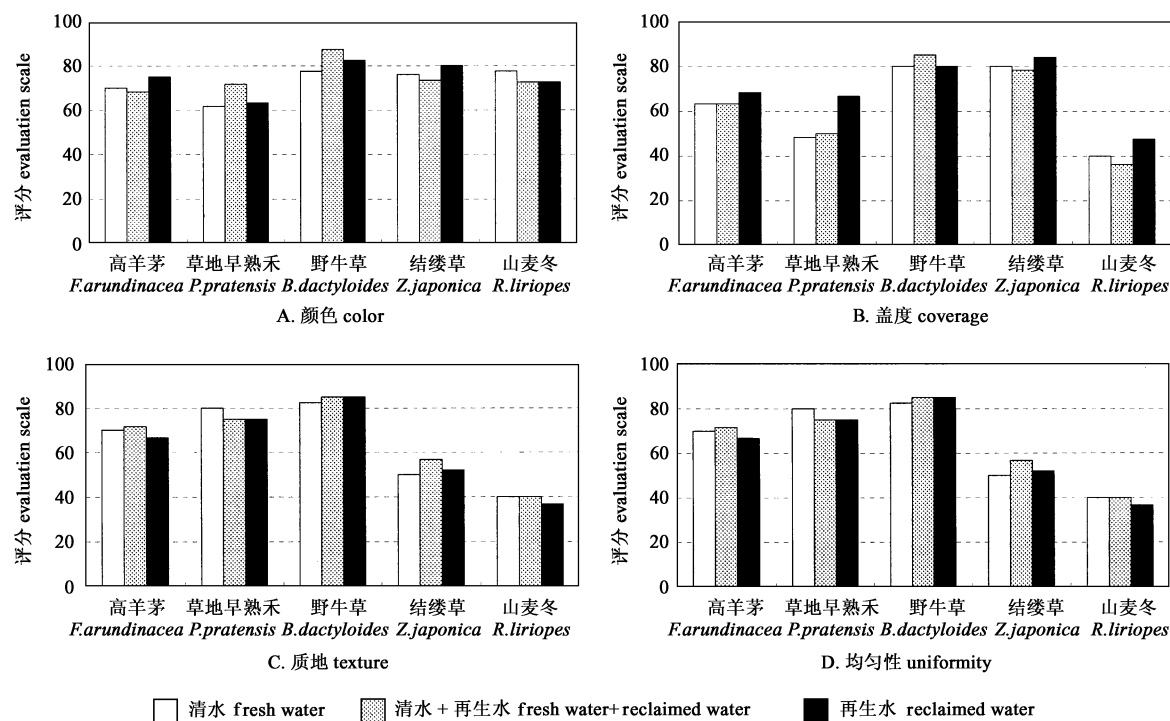


图 1 不同灌溉水类型对草坪草颜色、盖度、质地和均匀性的影响

Fig. 1 The influence of the different irrigation water on color, coverage, texture, and uniformity of turfgrasses

灌溉水类型对草坪草地上部分感官表现影响的显著性分析( = 0.05)结果表明(图 1):(1)灌溉水类型对草坪草的颜色、盖度、质地和均匀性均无显著影响,唯一的例外是草地早熟禾的盖度在再生水灌溉下的表现显著好于其它两种灌溉水类型(图 1B)。虽然无显著性差异,再生水灌溉下的高羊茅和结缕草以及“清水 + 再生水”灌溉下的野牛草和草地早熟禾的颜色表现分别好于清水灌溉,这与周陆波<sup>[5]</sup>等关于二级处理水灌溉下的草坪草比自来水灌溉的颜色要深的结论一致。(2)在 3 种灌溉水类型下,各草坪草品种在颜色表现上均无显著差异(图 1A)。(3)在清水和“清水 + 再生水”灌溉下,结缕草和野牛草的盖度显著高于草地早熟禾和山麦冬,但与高羊茅差异不显著;再生水灌溉下,山麦冬显著低于其它草坪草(图 1B)。(4)在清水灌溉下,野牛草、草地早熟禾和高羊茅的质地显著好于结缕草和山麦冬;在“清水 + 再生水”灌溉下,野牛草和草地早熟禾的质地显著于结缕草和山麦冬,但与高羊茅无显著差异;在再生水灌溉下,野牛草的质地显著好于山麦冬,其它草坪草品种居中(图 1C)。(5)在清水和“清水 + 再生水”灌溉下,野牛草的均匀性显著高于山麦冬,但与其它草坪草品种差异不显著;在再生水灌溉下,各草坪草品种的均匀性差异不显著。总体来看,对于 3 种灌溉水类型,野牛草和高羊茅的地上部分感官质量都表现出了很高的稳定性,其次是草地早熟禾和结缕草,山麦冬最差(图 1D)。

2.2 不同灌溉水类型对草坪草生长的影响

草坪草新生长量是评价不同水质灌溉后对草坪草影响的最综合的指标,不同灌溉水类型对同一草坪草品种和不同草坪草品种间在剪后再生长高度、单位蘖的地上和地下生物量影响的显著性方差分析结果见表 3。

表 3 灌溉水类型对 5 种草坪草生长的影响

Table 3 The influence of irrigation water types on the growth of turfgrasses

项目 item	灌溉水类型 water type	高羊茅 <i>F. arundinacea</i>	早熟禾 <i>P. pratensis</i>	野牛草 <i>B. dactyloides</i>	结缕草 <i>Z. japonica</i>	山麦冬 <i>R. liriopes</i>
剪后再生长高度 regrowth height (cm)	清水 FW	5.75 B	9.50 A	9.25 A	8.50 A	3.75 A
	清水 + 再生水 FW + RW	9.00 A	8.33 A	5.80 B	6.50 A	5.83 A
	再生水 RW	10.4 A	7.80 A	7.75 A	6.25 A	6.80 A
地上部干物质质量(g/蘖) above-ground biomass (g/tillet)	清水 FW	0.051 A	0.026 A	0.027 B	0.041 A	6.80 A
	清水 + 再生水 FW + RW	0.049 A	0.025 A	0.027 B	0.039 A	0.166 A
	再生水 RW	0.049 A	0.022 A	0.040 A	0.034 A	0.127 A
地下部干物质质量(g/蘖) under-ground biomass (g/tillet)	清水 FW	0.030 A	0.056 B	0.040 A	0.046 A	0.258 A
	清水 + 再生水 FW + RW	0.025 A	0.096 A	0.027 B	0.047 A	0.248 A
	再生水 RW	0.035 A	0.041 C	0.022 B	0.045 A	0.229 A

注:数据后不同大写字母表示各平均值间 0.05 水平差异显著。下表同。

Note: the data followed by different capital letters indicated significant at 0.05 levels. FW:fresh water; RW:reclaimed water. The same as following tables.

不同灌溉水类型对同一草坪草剪后再生长高度影响的分析表明:“清水 + 再生水”和再生水灌溉下的高羊茅的剪后再生长高度显著高于清水灌溉;“清水和再生水”灌溉下的野牛草剪后再生长高度显著高于“清水 + 再生水”灌溉;灌溉水类型对于早熟禾、结缕草和山麦冬的剪后再生长无显著影响

不同灌溉水类型对同一草坪草单位蘖地上部分生物量影响的分析表明:灌溉水类型对高羊茅、早熟禾、结缕草和山麦冬的单位蘖地上部分干物质质量的影响差异不显著;再生水灌溉下野牛草的单位蘖地上部分干物质质量显著高于清水和“清水 + 再生水”灌溉。

不同灌溉水类型对同一草坪草单位蘖地下部分生物量影响的分析表明:灌溉水类型对高羊茅、结缕草和山麦冬的单位蘖地下部分干物质质量影响不显著;“清水 + 再生水”灌溉下早熟禾的单位蘖地下干物质质量显著高于“清水和再生水”,再生水最低;清水灌溉下的野牛草单位蘖地下干物质质量显著高于“清水 + 再生水”和再生水灌溉。

有研究表明再生水浇灌不会影响草坪草的生长速度<sup>[9]</sup>和对同一种草坪草地下生物量的影响差异不显著<sup>[6]</sup>。而本项研究的结果表明灌溉水类型对于草坪草的生长指标的影响具有种的特异性。

2.3 不同灌溉水类型对土壤的影响

表 4 为不同灌溉水类型对土壤 Na<sup>+</sup> 含量、阳离子代换量(CEC)和总孔隙度的影响。结果表明:不同

灌溉水类型对土壤  $\text{Na}^+$  含量存在着显著影响,用再生水灌溉的草地土壤  $\text{Na}^+$  钠离子含量显著高于“清水 + 再生水”交替灌溉和清水灌溉的草地,清水灌溉的草地  $\text{Na}^+$  含量最低;用“清水 + 再生水”和再生水灌溉的草地土壤 CEC 显著高于清水灌溉的草地;用“清水 + 再生水”交替灌溉的草地土壤总孔隙度显著高于清水灌溉的草地,再生水灌溉的草地居中。本项试验还测试了土壤酸碱度 (pH)、土壤  $\text{Cl}^-$ 、总盐含量和土壤容重(数据略),未发现灌溉水类型对它们有显著性影响。由于试验灌溉所用的再生水  $\text{Cl}^-$  含量很高,而 3 种灌溉水类型处理的土壤  $\text{Cl}^-$  无显著性差异,证实了土壤中氯化物能被草坪草大量吸收,通过修剪被移走的结论<sup>[5,9]</sup>。萧月芳<sup>[10]</sup>等在研究啤酒厂废水灌溉土壤性质的影响时表明  $\text{Na}^+$  含量相对增加,致使土壤物理化学性质变坏。研究表明仅用再生水灌溉草坪草导致土壤中  $\text{Na}^+$  的显著增加,如果长期用再生水灌溉草坪草有可能导致土壤次生盐渍化,这一结果与李法虎<sup>[11]</sup>等结论一致。由于用“清水和再生水”交替灌溉则可以增加土壤盐分的淋洗作用,从而减少盐分对植物生长的影响,同时再生水或“清水 + 再生水”交替灌溉会使土壤阳离子交换量 (CEC) 和总孔隙度增加,有利于土壤的保肥供肥和物理性状的改善。因此用“清水 + 再生水”交替灌溉草坪草可以降低再生水灌溉导致土壤盐渍化的风险,同时有利于土壤物理性状的改善,是一种比较可取的灌溉水类型。

表 4 不同灌溉水类型对土壤钠含量、阳离子交换量 (CEC)、总孔隙度的作用

Table 4 The influence of the different water types on soil  $\text{Na}^+$ , CEC, and total porosity

灌溉水类型 water type	$\text{Na}^+$ (mg/kg)	阳离子交换量 CEC (cmol (+)/kg)	总孔隙度 total porosity (%)
再生水 RW	60.29 A	12.79 A	66.38 AB
清水 + 再生水 FW + RW	52.29 B	12.85 A	66.73 A
清水 FW	36.94 C	11.48 B	65.57 B

### 3 结论

3.1 本研究使用的再生水对所供测试绿化草种的颜色、覆盖度、质地和均匀性无不良影响,再生水灌溉条件下,高羊茅表现出了最强的综合耐污能力,其次是结缕草和野牛草。

3.2 灌溉水类型对于草坪草的生长指标的影响具有种的特异性:“清水 + 再生水”和再生水灌溉提高了高羊茅的剪后再生速度;“清水 + 再生水”灌溉降低了野牛草的剪后再生速度,再生水灌溉促进了野牛草的单位藁地上部分干物质的积累,降低了野牛草单位藁地下干物质积累;“清水 + 再生水”灌溉促进了草地早熟禾的单位藁地下干物质的积累;灌溉水类型对结缕草和山麦冬的生长指标无显著影响。

3.3 仅用再生水灌溉草坪有引起土壤  $\text{Na}^+$  积累的趋势,而“清水 + 再生水”交替灌溉则可增加土壤盐分的淋洗作用,以减少盐分对植物生长的影响;同时“清水 + 再生水”交替灌溉提高了土壤的阳离子交换量 (CEC) 和总孔隙度,有利于土壤物理性状的改善。

### 参考文献:

- [1] 张超品,刘洪禄,等. 再生(污)水灌溉利用研究. 北京水利, 2004, 4: 17 ~ 19
- [2] 陈卫,范兴荣,等. 城市达标污水的处置技术. 水资源保护, 2005, 21(4): 22 ~ 25, 66
- [3] 黄冠华,杨建国,黄权中. 污水灌溉对草坪土壤与植株氮含量影响的试验研究. 农业工程学报, 2002, 18(3): 22 ~ 25
- [4] 杨建国,黄冠华,等. 污水灌溉条件下草坪草耗水规律与灌溉制度初步研究. 草地学报, 2003, 11(4): 329 ~ 333
- [5] 周陆波,韩烈保,苏德荣等. 再生水灌溉对草坪草生长的影响. 节水灌溉, 2005, 1: 5 ~ 8
- [6] 孙吉雄,韩烈保,陈学平. 用二线城市污水灌溉草坪. 草原与草坪, 2001, 1: 36 ~ 40
- [7] 崔超,韩烈保,苏德荣. 再生水绿地灌溉水质标准的比较研究. 再生资源研究, 2004, 1: 28 ~ 31
- [8] 佟魏,林逢凯,郑兴灿. 制定《再生水景观灌溉水质标准》需考虑的主要问题. 给水排水, 2003, 29(9): 53 ~ 55
- [9] Wu L, Chen J, et al. Regenerant effluent irrigation and ion uptake in five turfgrass species. Journal of Plant Nutrition, 1996, 19(12): 1511 ~ 1530
- [10] 萧月芳,卢兵友,等. 啤酒厂废水灌溉对土壤性质的影响. 农业环境保护, 1997, 16(4): 6 ~ 9, 49
- [11] 李法虎, Benhur M, Keren R. 劣质水灌溉对土壤盐碱化及作物产量的影响. 农业工程学报, 2003, 19(1): 63 ~ 66