

文章编号: 1007-4929(2005)01-0005-04

再生水灌溉对草坪草生长的影响

周陆波¹, 韩烈保¹, 苏德荣¹, 宋薇²

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京市理化测试中心, 北京 100089)

摘要:在北京市北小河污水处理厂进行了再生水灌溉草坪草试验, 选用3种再生水(二级处理水、一般三级处理水超滤、深度三级处理水反渗透)灌溉6种草坪草(草地早熟禾、高羊茅、多年生黑麦草、匍匐翦股颖、结缕草、野牛草), 再加上自来水灌溉作为对比。研究表明: 在草坪草生理方面, 与自来水对比, 二级处理水和一般三级处理水超滤灌溉能显著促进草坪草的生长, 较明显地增强草坪草抗性, 而深度处理的三级处理水反渗透则不显著, 这表明草坪草在再生水灌溉中有非常良好的优势; 在草坪草矿质元素含量上, 自来水灌溉与再生水灌溉差异很小。土壤中有毒的矿质元素, 如重金属、氯化物、氟化物等被草坪草大量吸收, 通过修剪被移走, 从而有效地减轻有害矿质元素对土壤和环境的不良影响。这表明草坪草在修复污染土壤上可能有良好的应用前景。

关键词:再生水; 草坪草; 影响

中图分类号: S273.5 文献标识码: A

Influence of Reclaimed Water Irrigation on Turf Growth

ZHOU Lu-bo¹, HAN Lie-bao¹, SU De-rong¹, SONG Wei²

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University,

Beijing City 100083, China; 2. Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing City 100089, China)

Abstract: The experiment of using reclaimed water to irrigate turf grass was carried out in BeiXiaohe Wastewater Treatment Plant of Beijing. Three kinds of reclaimed water (secondary treated wastewater, general tertiary treated wastewater UF and deep tertiary treated wastewater RO) and tap water (control) were used to irrigate six kinds of common turf grasses (Kentucky Bluegrass, Tall Fescue, Perennial Ryegrass, Creeping Bentgrass, Zoysiagrass and Buffalograss). The research result showed that in contrast with tap water irrigation, secondary treated wastewater and general tertiary treated wastewater UF can boost growth of turf grass evidently and enhance adversity resistance appreciably, but deep tertiary treated wastewater RO has no these effects. This means that turf grass has great advantage in reclaimed water irrigation. The difference between reclaimed water irrigation and tap water irrigation is small on mineral elements. By absorbing the toxic mineral elements largely in soil and being clipped and transported, turf grass can reduce the negative effect of these mineral elements on soil and environment. This also means that turf grass may have a good prospect on repairing polluted soil.

Key words: reclaimed water; turf grass; influence

1 试验材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验地设于北京市北小河污水处理厂内, 和北京奥林匹克公园相距不到4 km。该地位于北纬39°58', 东经106°26', 海拔50 m, 属温带半湿润过渡带气候。年平均气温11℃, 最冷月(1

月)平均气温为-8~-4℃, 绝对最低气温为-22℃。最热月(7月)平均气温为23~26℃。全年无霜期160~180 d(从4月中旬到10月中旬)。年均降水量600 mm。大于0℃年, 积温0.41~0.55万℃; 大于10℃, 年积温0.36~0.48万℃。总的气候特点是春旱多风, 夏热多雨, 秋高气爽, 冬寒少雪。试验地土壤属沙壤土, 种植前为杂草丛生的草地掺杂有部分建筑垃圾。

收稿日期: 2004-07-26

基金项目: 本研究得到国家高技术研究发展计划(“863”计划)“北方半干旱都市绿地灌溉区节水综合技术体系集成与示范”项目(2002AA2Z428111)和“奥运公园再生水补水技术与环境安全研究”等项目的资助。

作者简介: 周陆波(1979-), 男, 硕士研究生。

1.2 试验草种

本次试验选取 6 种草坪草作为研究对象,分别为草地早熟禾(*Poa pratensis*),高羊茅(*Festuca arundinacea*),匍匐翦股颖(*Agrostis stolonifera*),野牛草(*Buchloe dactyloides*),日本结缕草(*Zoysia japonica*),多年生黑麦草(*Lolium perenne*)等。

1.3 灌溉用水

本次试验选取了 3 种再生水作为研究对象,其中包括 1 种二级处理水和 2 种三级处理水,它们分别是二级处理水(sec)和一般三级处理水超滤(uf)、深度三级处理水反渗透(ro),另外再加上自来水(tap)作为对比研究。从纯净度来看,ro>tap>uf>sec。

为竞争北京奥林匹克公园所有水体工程招标,2003 年 7 月起,国内外众多水处理厂家在北小河污水处理厂进行试验测试,评定优劣。此次试验采用的二级处理水为北京市北小河污水处理厂的出水,三级处理水为香港环亚公司的出水。

表 1 4 种灌溉水质各指标报告

指标	ro	uf	sec	tap
COD _{Cr} /(mg·kg ⁻¹)	0	25.55	45.1	0.5
COD _{Mn} /(mg·kg ⁻¹)	0	6.23	9.385	0.5
BOD ₅ /(mg·kg ⁻¹)	5	7.27	22.85	2
TN/(mg·kg ⁻¹)	3.79	20.05	23.2	7.81
NH ₄ -N/(mg·kg ⁻¹)	0.96	8.39	9.38	0.07
硝酸盐/(mg·kg ⁻¹)	2.22	9.05	10	6.13
凯氏氮/(mg·kg ⁻¹)	1.38	10.27	12.3	0.2
TP/(mg·kg ⁻¹)	0.01	2.02	6.84	0.02
色度	5	23	26.5	1
浊度	0	0.02	0.92	0.03
pH	6.6	7.48	7.37	7.6
总硬度	9.35	166	204.5	268.1
TDS/(mg·kg ⁻¹)	30	327	424	885
SS/(mg·kg ⁻¹)	2.9	2.85	10.25	4
LAS/(mg·kg ⁻¹)	0	0.07	0.12	0.05
氯化物/(mg·kg ⁻¹)	4.75	78.8	94.1	73.1
余氯/(mg·kg ⁻¹)	0.15	0.07	0.19	0
氟化物/(mg·kg ⁻¹)	0.27	0.52	0.69	0.09
氰化物/(mg·kg ⁻¹)	0	0	0.01	0
硫化物/(mg·kg ⁻¹)	0	0.12	0.27	0.02
硫酸盐/(mg·kg ⁻¹)	4.79	56.8	67.7	97.6
挥发酚/(mg·kg ⁻¹)	0	0	0.01	0
六价铬/(mg·kg ⁻¹)	0	0.001 5	0.003	0.004
Cu/(mg·kg ⁻¹)	0.01	0.015	0.025	0.074
Zn/(mg·kg ⁻¹)	0.1	0.12	0.25	0.02
Cd/(mg·kg ⁻¹)	0	0	0	0
Pb/(mg·kg ⁻¹)	0	0	0	0
Fe/(mg·kg ⁻¹)	0.04	0.07	0.36	0.03
Mn/(mg·kg ⁻¹)	0	0.03	0.05	0.01
总 Cr/(mg·kg ⁻¹)	0.01	0.01	0.03	0.01

注:此水质报告来自北京市北小河污水处理厂检测中心,表中 0 值表示低于检出限。

1.4 试验设计和小区规划

本次试验采用完全随机区组的方法进行设计,4 种灌溉水灌溉 4 个土壤区组,每个区组包括 18 个小区,随机种植 6 种草坪草,3 个重复。本次试验先用自来水将所有草坪灌溉成坪,修

剪 2 次后再用 4 种水进行灌溉作对比试验。

1.5 测试指标和方法

选取了植物 N、P、K、Ca、Mg、Pb、Hg、As、Cr、氯化物和氟化物等 11 个草坪草矿质元素含量指标;选取了草坪草新生长量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和细胞膜透性等 4 个草坪草生理指标。测试部位皆为草坪草的新生长叶(即修剪部分)。草坪草生理指标测试方法详见《植物生理学试验指导》(张志良.高等教育出版社 2002,9),水质指标测试和植物矿质元素含量测试由北京理化测试中心执行,北京理化测试中心测试结果获国际认证,具法律效应,权威性强。

为确定试验时间的长短,先用见效快的盆栽进行试验,发现不同水质灌溉 14 天就可以看出明显差异,二级处理水(sec)和超滤(uf)灌溉下的草坪草比自来水和反渗透灌溉的长得高,颜色要深。考虑到自然因素、小区试验的特点和试验条件,此次试验的起止时间为 2003 年 5 月初至 2003 年 10 月初,历时 5 个多月。2003 年 8 月起用 4 种不同灌溉水灌溉试验小区(之前用自来水将小区草坪灌溉成坪),并于该年 10 月初进行了草坪草生理测试和草坪草矿质元素含量测试。

2 结果与分析

考虑到试验的目的是寻找自来水的替代品,因此在作多重比较的时候,以自来水(tap)为中心进行比较。从结果看,在所有的测试指标上,不同水质与不同草坪草之间都没有交互作用,因此不同草坪草之间的差异暂不作论述。

2.1 草坪草矿质元素含量

采用最小显著差异法(LSD)多重比较,在草坪草 As 含量上,自来水(tap)灌溉极为显著地高于超滤(uf), $P(\text{sig}=0.002) < 0.01$;在其他所有矿质元素含量上,自来水和再生水灌溉都没有显著差异。

草坪草新生长部分各矿质元素的含量直接来源于草坪草根部和留茬部分,因此表 2 中各矿质元素的差异在根系部分和留茬部分会表现得更大。中国农业大学黄冠华(2002)用处理过的生活污水灌溉草坪草半年,发现污水灌溉的草坪草植株中 N 含量平均比清水灌溉的结果高近 50%^[2],从表 2 看,二级处理水灌溉的草坪草 N 含量比自来水灌溉要高,但差异不显著。美国 Wu, L. Chen, J(1996)等人认为再生水浇灌,Ca²⁺, K⁺, 和 Mg²⁺ 在草坪草中的吸收也不明显,但大量的 Cl⁻ 被草坪草吸收,最后通过修剪除去^[3]。表 2 中的数据也证明了这一点。

草坪草生长周期短,生长极为迅速,在生长季中,6~10 天就要修剪一次^[4],土壤中有毒的矿质元素,如重金属、氯化物、氟化物等被草坪草大量吸收,通过修剪被移走,从而有效地减轻有害矿质元素对土壤和环境的不良影响,这表明草坪草在修复污染土壤方面可能有良好的应用前景。

2.2 草坪草植物生理

2.2.1 草坪草新生长量(修剪量)

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,不同水质灌溉下不同草坪草的新生长量干重见表 3。

表 2 不同水质灌溉下草坪草矿质元素的含量

处理	N/%	P/%	K/%	Ca/%	Mg/%	Cr/ (mg · kg ⁻¹)	Hg/ (mg · kg ⁻¹)	As/ (mg · kg ⁻¹)	Pb/ (mg · kg ⁻¹)	氯化物/ (mg · kg ⁻¹)	氟化物/ (mg · kg ⁻¹)
ro	1.99	0.11	2.01	1.700	0.628	0.094	0.044	0.066	0.922	4 542.9	3.752
uf	2.17	0.09	1.74	1.578	0.637	0.098	0.044	0.057	0.978	4 498.8	3.418
sec	2.53	0.10	1.76	1.611	0.665	0.099	0.043	0.066	0.911	4 498.2	3.783
tap	2.26	0.10	1.82	1.600	0.614	0.099	0.047	0.074	0.956	4 368.9	3.240
平均	2.24	0.1	1.83	1.622	0.636	0.098	0.044	0.066	0.942	4 477.2	3.548

表 3 不同水质灌溉下不同草坪草的新生长量干重

g/(m² · 次)

处理	早熟禾	高羊茅	黑麦草	剪股颖	结缕草	野牛草	平均
ro	6.647	8.025	7.340	6.824	10.724	10.335	8.316
uf	12.013	11.217	11.123	8.002	12.921	13.349	11.437
sec	12.657	15.023	11.552	7.519	15.337	11.987	12.346
tap	8.416	7.860	5.791	5.827	9.250	9.398	7.757
平均	9.934	10.531	8.952	7.043	12.058	11.267	

经最小显著差异法(LSD)多重比较,自来水(tap)灌溉的草坪草的新生长量极为显著地小于二级处理水(sec)和超滤(uf), $P(\text{sig}=0.00) < 0.01$,自来水(tap)和反渗透(ro)没有显著差异。不同水质和不同草坪草的交互作用不明显, $P(\text{sig}=0.389) > 0.05$ 。二级处理水(sec)灌溉下的草坪草新生长量是自来水

(tap)的1.6倍,这证实了二级处理水能增加土壤肥力,从而促进草坪草生长的观点^[5,6]。总的看来,二级处理水(sec)和一般三级处理水超滤(uf)灌溉能显著地促进草坪草的生长。

2.2.2 草坪草叶绿素含量

不同水质灌溉下不同草坪草的叶绿素含量见表4。

表 4 不同水质灌溉下不同草坪草的叶绿素含量

mg/g

叶绿素	处理	早熟禾	高羊茅	黑麦草	剪股颖	结缕草	野牛草	平均
叶绿素 a	ro	0.705	0.684	0.784	0.669	0.342	0.451	0.606
	uf	0.793	0.773	0.872	0.757	0.430	0.539	0.694
	sec	0.896	0.875	0.975	0.859	0.532	0.641	0.797
	tap	0.693	0.673	0.772	0.657	0.330	0.439	0.594
	平均	0.772	0.751	0.851	0.735	0.408	0.517	
叶绿素 b	ro	0.234	0.206	0.244	0.203	0.116	0.136	0.19
	uf	0.258	0.229	0.267	0.227	0.139	0.160	0.213
	sec	0.291	0.262	0.300	0.26	0.173	0.193	0.247
	tap	0.247	0.219	0.257	0.216	0.129	0.149	0.203
	平均	0.257	0.229	0.267	0.227	0.139	0.159	

叶绿素是植物进行光合作用的主要物质,一般来说叶绿素含量和植物生长量成正比。矿质元素对叶绿素形成有很大的影响,N和Mg是叶绿素的组成元素,不可或缺;Fe、Mn、Cu和Zn等元素是叶绿素形成过程中某些酶的活化剂,在叶绿素形成中起间接作用^[7]。因此,叶绿素含量在一定程度上也综合反映了植物体中各种矿质元素含量的情况。

经最小显著差异法(LSD)多重比较,自来水(tap)灌溉的草坪草叶绿素a含量极为显著地小于二级处理水(sec), $P(\text{sig}=0.00) < 0.01$,显著小于超滤(uf), $P(\text{sig}=0.011) < 0.05$ 。自来水(tap)和反渗透(ro)没有显著差异。

自来水(tap)灌溉的草坪草叶绿素b含量极为显著地小于二级处理水(sec), $P(\text{sig}=0.01) < 0.01$,与超滤(uf)和反渗透(ro)没有显著差异。

总的看来,二级处理水(sec)和一般三级处理水超滤(uf)灌溉能显著地促进草坪草叶绿素的合成,从而有利于草坪草的生长。

2.2.3 草坪草细胞膜透性

不同水质灌溉下不同草坪草的细胞膜透性见表5。

细胞膜透性是植物响应逆境的综合指标,细胞膜透性越大,表明逆境对植物的伤害就越大。

经方差分析,不同水质灌溉对草坪草的细胞膜透性没有明显影响, $P(\text{sig}=0.413) > 0.05$ 。孙吉雄、韩烈保(2001)用二级处理水灌溉4种草坪草(多年生黑麦草、草地早熟禾、高羊茅和结缕草)半年,对比自来水灌溉,发现同一种草地下生物量、细胞膜透性、过氧化氢酶活性、脯氨酸的积累量差异都不显著^[8]。这证实了再生水灌溉对草坪草细胞膜透性没有显著影响,从表

表5 不同水质灌溉下不同草坪草的细胞膜透性

%

不同水质	早熟禾	高羊茅	黑麦草	剪股颖	结缕草	野牛草	平均
ro	10.3	9.99	11.12	14.10	16.00	18.40	13.32
uf	9.24	8.95	10.07	13.06	14.95	17.36	12.27
sec	8.64	8.35	9.48	12.46	14.35	16.76	11.67
tab	10.40	10.12	11.25	14.23	16.12	18.53	13.44
平均	9.65	9.35	10.48	13.47	15.36	17.76	

5 可以看到二级处理水(sec)和一般三级处理水超滤(uf)灌溉的草坪草的细胞膜透性要小,这表明二级处理水和一般三级处理水灌溉对草坪草来说并不是逆境,反而是有利的条件。

从草坪草的植物生理数据可以看到,用二级处理水(sec)和一般三级处理水超滤(uf)灌溉,能比较明显地促进草坪草的生长。用盆栽进行对比观测,发现不同水质灌溉草坪草 14 天就可以看出差异,二级处理水(sec)和超滤(uf)灌溉下的草坪草比自来水灌溉的长得高,颜色要深。可见灌溉水质能非常迅速而强烈地影响草坪草的生长。

3 结 语

(1)在草坪草生理方面,与自来水对比,二级处理水和一般三级处理水超滤灌溉能显著促进草坪草的生长,较明显地增强草坪草抗性,而深度处理的三级处理水反渗透则不显著。在草坪草矿质元素含量上,自来水灌溉与再生水灌溉差异很小。土壤中有毒的矿质元素,如重金属、氯化物、氟化物等被草坪草大量吸收,通过修剪被移走,从而有效地减轻有害矿质元素对土壤和环境的不良影响。

(2)Menzel C 和 Broomhall P (2002)用三级处理水灌溉 20 多种热带草坪草,对比自来水灌溉,草坪草的高度减少了 40%,而修剪重量也减少了 15%。根据本文数据,作者认为该试验使用的三级处理水可能是深度三级处理水。

(3)6 种草坪草在再生水灌溉试验中皆表现优异,极为适应二级处理水和一般三级处理水灌溉,因此草坪草在再生水灌溉上具有非常良好的应用前景。而且草坪草在修复各种污染的土壤也可能有良好的应用前景,因为土壤中有毒的矿质元素,如重金属、氯化物、氟化物等被草坪草大量吸收,通过修剪被移

走,从而达到治理污染土壤的目的。在修复过程中增加土壤肥力无疑会使效果更好,因为施肥能使草坪草生长更迅速。

(4)如果考虑污水处理成本,二级处理水无疑是最佳选择;如果考虑到社会因素,包括人们的接受程度、对环境的潜在威胁等,一般三级处理水又是最好的选择。综合来看,推荐使用二级处理水,但建议提高二级处理水的外观标准,如色度、浊度、气味等。 □

参考文献:

- [1] 中国国家环保总局. 2000 年中国环境状况公报, 2001 年中国环境状况公报, 2002 年中国环境状况公报, 2003 年中国环境状况公报 [R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001, 2002, 2003, 2004.
- [2] 黄冠华, 杨建国. 污水灌溉对草坪土壤与植株氮含量影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3).
- [3] Wu Lin, Chen Janquo, Mantgem P Van, Harivandi M A. Regenerant effluent irrigation and ion uptake in five turfgrass species [J]. Journal of Plant Nutrition, 1996, 19 (12): 1511-1530.
- [4] 韩烈保. 草坪建植与管理手册[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [5] Kevin W King, James C Balogh, R Daren Harmel. Feeding turf with wastewater[J]. Golf Course Management, 2000, 87(2): 18-21.
- [6] Adrian Mortram. The effects of irrigating turfgrass with wastewater[J]. Turfgrass Bulletin, 2003, (1): 21-24.
- [7] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 孙吉雄, 韩烈保. 用二级城市污水灌溉草坪[J]. 草原与草坪, 2001, (1).
- [9] Menzel, C Broomhall, P Gash, M. Extra nitrogen needed for parks, gardens and sporting fields irrigated with tertiary effluent [J]. Australian Parks & Leisure, 2002, (5): 4, 42-44.

2003 年度《节水灌溉》杂志在水利工程类期刊中

“影响因子”排名第 3 位

2004 年 12 月 7 日, 中国科学技术信息研究所在北京国际会议中心召开了“中国科技论文统计结果发布会”。会上发布了 2003 年度中国科技论文统计结果。国内论文数据库取自中国科学技术信息研究所研制的《中国科技论文与引文数据库》(CSTPCD)。该数据库 2003 年度收录的中国科技论文统计源期刊为 1 576 种,《节水灌溉》杂志在 2003 年水利工程类期刊“影响因子”排序中排名第 3 位。

2003 年水利工程类期刊“影响因子”排序前 10 名的杂志如下(括号内数字为“影响因子”): ①水科学进展(0.578); ②水利学报(0.420); ③节水灌溉(0.406); ④中国农村水利水电(0.399); ⑤泥沙研究(0.366); ⑥净水技术(0.358); ⑦水资源保护(0.253); ⑧河海大学学报(0.235); ⑨水动力学研究与进展 A(0.222); ⑩水力发电学报(0.209)。

“影响因子”是一个国际上通行的期刊评价指标,是 E·加菲尔德于 1972 年提出的。由于它是一个相对统计量,所以可以公平地评价和处理各类期刊。通常“影响因子”越大,它的学术影响力和作用也越大。具体算法为:

$$\text{影响因子} = \frac{\text{该刊前两年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该刊前两年发表论文总数}}$$