

文章编号: 1007-4929(2005)04-0007-03

再生水(中水)灌溉高尔夫球场的研究

周陆波¹, 韩烈保¹, 周军², 宋薇³

(1. 北京林业大学草坪研究所, 北京 100083; 2. 北京市排水集团, 北京 100004; 3. 北京市谱尼理化分析测试中心, 北京 100089)

摘要:通过论述再生水灌溉高尔夫球场对高尔夫球场地下水、土壤、景观质量、维护费用、人体健康等方面的影响,指出在水质得到监控的前提下,再生水灌溉高尔夫球场是安全可行的。

关键词:再生水;灌溉;高尔夫球场

中图分类号: S275.3 文献标识码: A

Using Reclaimed Water for Golf Course Irrigation

ZHOU Lu-bo¹, HAN Lie-bao¹, ZHOU Jun², SONG Wei³

(1. Turfgrass Institute of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 Beijing Drainage Group Co. Ltd, Beijing 100004; 3 Beijing Pony Center for Physical and Chemical Analysis, Beijing 100089)

Abstract: This paper concluded the impacts of using reclaimed water for golf course irrigation on golf course groundwater, soil, landscape quality, maintenance expenditure and human health etc, and pointed out that irrigating golf course with reclaimed water is safe and practicable if the water quality is properly monitored.

Key words: reclaimed water; irrigation; golf course

0 引言

再生水指的是城市或生活污水经过二级处理或二级处理以上的回用水,本文讨论的在高尔夫球场应用的再生水指的是二级处理以上的再生水,相当于一般三级处理水(中水)。

有些人对再生水像洪水猛兽一样恐惧,不假思索即予拒绝,但实际上现代污水处理技术越来越先进,一般三级处理水和自来水的最大差别只在于其含 N、P 和盐分比较高,而在其他元素的含量上则没有太大差别(具体指标详见表 1)。所以再生水是除饮用以外的良好水源,其用于灌溉则有天然的优势(含 N、P 较高)。据美国环保部(DEP)调查,至 2001 年,美国佛罗里达州有 419 家高尔夫球场使用再生水进行灌溉,占该州高尔夫球场总数的 29%(该州约有 1 450 家高尔夫球场,为世界上高尔夫球场最密集的地区之一)。这些球场的再生水用量占全州总再生水使用量的 19%,为环境保护作出巨大贡献。亚利桑那州、加利福尼亚州、夏威夷、内华达州、南卡罗莱纳州和德克萨斯州也有大量的高尔夫球场使用再生水进行灌溉,其他水资源比较丰富的州最少也有 1 个高尔夫球场在使用再生水灌溉^[1]。

中国各城市用水日益紧张,在不久的将来,部分高尔夫球场在建造时将面临使用再生水(中水)灌溉的选择。本文通过部分实地调查和小区试验,并且结合国外的研究成果,为再生水灌溉中国高尔夫球场提供理论依据和实践指导。

1 再生水水质分析

再生水指的是二级处理水和二级处理以上的回用水。二级处理是采用生物处理方法及某些化学方法来去除废水中的可降解有机物和部分胶体污染物。经过二级处理后的水,一般可达到农灌标准和废水排放标准。但经过二级处理的水中还存留一定量的悬浮物、生物不能分解的溶解性有机物、溶解性无机物和氮磷等藻类增值营养物,并含有病毒和细菌,因而不能满足要求较高的排放或高级灌溉标准。废水的三级处理是在二级处理的基础上,进一步采用化学法(化学氧化、化学沉淀等)、物理化学法(吸附、离子交换、膜分离技术等)以除去二级处理未能去除的污染物,如磷、氮及生物难以降解的有机污染物、无机污染物、病原体等某些特定污染物的一种“深度处理”方法^[1],一般的三级处理工艺包括微滤、超滤等,水质接近自来水,但氮磷含量还比较高。

收稿日期: 2005-02-24

基金项目: 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(2002AA2Z42811)和“奥运公园再生水补水技术与环境安全研究”项目。

作者简介: 周陆波(1979-),男,硕士研究生。

表 1 再生水质和饮用水质比较

	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	NH ₄ ⁻ -N	硝酸盐	凯氏氮	TP	色度	浊度	pH	总硬度	TDS	SS
二级处理水	9.385	22.85	23.20	9.38	10.00	12.30	6.84	26.5	0.92	7.37	204.5	424	10.25
三级处理水(超滤)	6.230	7.27	20.05	8.39	9.05	10.27	2.02	23.0	0.02	7.48	166.0	327	2.85
饮用水标准	2.000	—	—	10.0	10.00	—	—	5.0	1.00	6.50~ 8.50	300.0	500	—
当地自来水	0.500	2.00	7.81	0.07	6.13	0.20	0.02	1.0	0.03	7.60	268.1	885	4.00

	LAS	氯化物	余氯	氟化物	氰化物	硫酸盐	挥发酚	六价铬	Cu	Zn	Cd	Pb	Fe	Mn
二级处理水	0.12	94.1	0.19	0.69	0.01	67.7	0.010	0.0030	0.025	0.25	0	0	0.36	0.05
三级处理水(超滤)	0.07	78.8	0.07	0.52	0	56.8	0	0.0015	0.015	0.12	0	0	0.07	0.03
饮用水标准	0.20	250.0	0.03	1.00	0.05	100.0	0.002	0.0050	1.000	1.00	0.01	0.01	0.20	0.05
当地自来水	0.05	73.1	0	0.09	0	97.6	0	0.0040	0.074	0.02	0	0	0.03	0.01

注: 本表数据由北京北小河污水处理厂“奥运中水办”提供,表中“0”表示低于检测限,“—”表示未作具体要求。

表 1 为北京北小河污水处理厂内的自来水、二级处理水、三级处理水(超滤)和中国国家饮用净水标准(CJ 94-1999)的水质指标对比。从表 1 可以看到,二级处理水和饮用水标准差别比较大,其盐分和悬浮固体(SS)较多,不能直接用于高尔夫球场灌溉。而三级处理水(超滤)除总氮(TN)、总磷(TP)、色度、余氯等指标外其他指标都高于饮用水标准,十分适合高尔夫球场灌溉。

2 再生水灌溉对高尔夫球场的影响

再生水灌溉高尔夫球场利远大于弊,实践和研究都表明再生水灌溉高尔夫球场不但对环境无害,而且还能提高球场的景观质量,减少高尔夫球场的维护费用。

2.1 对环境无危害

研究表明再生水灌溉高尔夫球场对环境无危害,甚至还有促进作用。大量的再生水得到回用,避免了直接排放,既能保护环境,又能促进污水治理业的良性发展。

(1)对地下水无害。一般三级处理水可以用来地下水回灌,但用来灌溉高尔夫球场和其他绿地,效果显然比单纯的地下水回灌效果好,作用大。高尔夫球场 80%的面积由草坪组成,草坪草的根系充盈在土壤表层,形成一个天然的,致密有效的生物过滤系统。据研究,即使在过量的再生水灌溉下(每周灌溉量为 72 mm),草坪绿地仍然能过滤掉再生水中 90%以上的 N,其过滤效率是惊人的^[2]。因此被过滤的再生水下移到地下,能成为良好的地下水补充。

(2)对球场土壤无污染。一般三级处理水和自来水的最大差别只在于其含 N、P 和盐分比较高,而在其他元素的含量上则没有太大差别,因此再生水中重金属和其他有机物对土壤不会产生污染。

表 2 为北京北小河污水处理厂用二级处理水灌溉草坪 10

表 2 二级处理水灌溉草坪 10 年后的土壤调查 mg/kg

pH	EC/ (ms·cm ⁻¹)	氯化物	硫化物	酚类	硝酸盐	亚硝酸盐
8	0.21	60.26	16.03	24.28	104.83	3.17
Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
91.82	28.78	72.15	0.149	4.95	0.43	24.45

年后的土壤调查,其各项指标都没有达到最低污染,有些甚至跟一般土壤背景值差不多。三级处理水在国内用于灌溉的历史不长,但可以推断用三级处理水灌溉草坪多年也不会造成土壤污染。澳大利亚 Smith, C. J. Hopmans(1996)的研究也发现,即使是使用二级处理水灌溉(喷灌)大型绿地 17 年后,对比非二级处理水灌溉,土壤中的重金属(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)累积仍然在正常检测范围,甚至和一般土壤的背景值差不多^[3]。

盐分累积几乎是再生水灌溉高尔夫球场和其他绿地的唯一顾虑,因为再生水中的盐分含量比自来水要高。但研究表明,再生水中的盐分对草坪草生长负面作用不大。Harivandi(1999)认为再生水中盐分含量只有大于 2 000 ppm 时才会导致盐分胁迫,200~800 ppm 比较适合草坪草生长^[4]。一般三级处理水的全盐量在 1 000~1 500 ppm 范围内。Lin Wu(1999)认为一般来说再生水灌溉不会给草坪草带来盐分胁迫,但跟灌溉的方式有关,滴灌几乎不会有影响,喷灌因为和草坪草直接接触,耐受性要比滴灌差,总的说来盐分的积累不会带来胁迫但需要监控^[5]。从表 1 可以看到,即使用二级处理水灌溉 10 年后的土壤其土壤 EC 仍为 0.21 ms/cm,对草坪草生长无不良影响。土壤 EC 在 2.0 ms/cm 以内对植物都是安全的,大多数植物都能耐受 3~4 ms/cm 的盐分水平^[6]。草坪草生长更新快,通过修剪,能不断带走土壤中的盐分,另外,夏季一般雨水较多,土壤中的盐分被稀释,进而大大减少盐分在土壤中的累积。

2.2 对人体健康无威胁

再生水中大肠杆菌总数、细菌总数等卫生指标都有严格的要求,再生水从喷头喷出之前必须实行严格的灭菌措施。自美国再生水灌溉高尔夫球场 10 多年以来,还没有发现一例危害人体健康的例子。

2.3 能提高草坪景观质量

在不施肥的条件下,对比自来水,再生水灌溉能明显提高草坪的景观质量。

表 3 为 2003 年 9 月、10 月和 11 月试验小区测试的平均值(试验从当年的 8 月开始)。无论在草坪颜色、盖度、密度和均一性等多个主观评价指标上,还是在植物叶绿素含量等客观指标上,再生水灌溉都比自来水灌溉得分高。

表3 不同水质灌溉下草坪景观质量评价

测试指标	不同水质	草地早熟禾	高羊茅	多年生黑麦草	匍匐剪股颖	日本结缕草	平均
叶绿素含量/ (mg·g ⁻¹)	三级处理水(超滤)	1.051	1.002	1.139	0.984	0.569	0.949
	自来水	0.940	0.892	1.029	0.873	0.459	0.838 6
色度/分	三级处理水(超滤)	4.5	5.0	5.0	4.5	4.0	4.6
	自来水	3.5	4.5	4.5	4.0	3.5	4.0
均一性/分	三级处理水(超滤)	4.5	4.5	4.5	5.0	4.5	4.6
	自来水	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.1
盖度/分	三级处理水(超滤)	4.5	4.0	4.0	5.0	5.0	4.5
	自来水	3.5	3.5	3.5	5.0	5.0	4.1

2.4 能减少高尔夫球场的维护成本

(1) 减少用水费用。再生水具有巨大的价格优势,使用再生水灌溉高尔夫球场能节省不小的开支。天津市河西区梅江生态住宅区如芳水园、蓝水园等引入附近天津纪庄子再生水厂生产的再生水作为日常冲洗、景观补水、灌溉等,其价格是自来水的1/3。目前北京的再生水(中水)价格为1元/m³,仅为自来水的1/2,而且北京正准备实施新水价,提高自来水的的水价,这样再生水的价格优势将更明显,为自来水价格的1/3~1/5。

(2) 减少施肥成本。再生水中含有比自来水(地下水)高出2~3倍的N、P,再生水灌溉到球场的土壤中,增加了土壤的肥力。这些N、P可以被根系和叶面吸收,十分有效。少剂量又源源不断的N、P保证了草坪草的养分需求,因此再生水灌溉大量减少了或者几乎不再需要额外的N、P肥^[7]。

(3) 减少病虫害防治费用。在不施肥的条件下,对比自来水,再生水灌溉能小幅度地增强草坪草的抗性。

细胞膜透性是植物响应生存环境的综合指标,细胞膜透性越大,表明环境对植物的伤害就越大。从表4可以看到,用不同水灌溉不同草坪草3个月以后,5种草坪草的抗性都有相同的变化,这表明在其他条件都相同的情况下,再生水灌溉比自来水灌溉更利于草坪草生长,提高草坪草的综合抗性。

表4 不同水质灌溉下不同草坪草的细胞膜透性 %

不同水质	草地早熟禾	高羊茅	多年生黑麦草	匍匐剪股颖	日本结缕草	平均
三级处理水(超滤)	9.24	8.95	10.07	13.06	14.95	11.254
自来水	10.4	10.12	11.25	14.23	16.12	12.424

为了维护良好的景观质量,必须不断地对草坪施肥。N、P的适量施用可以大大提高草坪草的抗病性,但过量施用却会引发草坪病害。美国 Rutgers 大学著名草坪学家 Bruce B. Clarke 的研究表明,速效 N 肥的过量施用能引发草坪白叶斑病、尾叶叶枯病、褐斑病、镰刀菌斑病、粉红军腐病、德氏霉叶枯病、斑病和腐霉枯萎病等,会刺激白斑病的传播;少量 N 肥的施用能抑制红丝病、锈病、炭疽病等常见草坪病害^[8]。研究表明,再生水灌溉到草坪土壤后营养元素并不会过量累积。中国农业大学黄冠华(2002年)用处理过的生活污水灌溉草坪草半年,发现草坪草根层土壤的土壤全氮、速效氮和 NH₄⁺-N 略低于清水灌溉的结果,但二者差异并不明显^[9]。从细胞膜透性的试验也可以看出,再生水中的 N、P 等营养含量是适合灌溉的。再生水中的 N 含量在 12~22 mg/L 之间,P 为 2~4 mg/L(随

季节变化,夏季较低),虽然都比自来水含量高出好多,但作为一种肥料形式,其含量又是极小的,因此,再生水可以看作是一种微量又能持续供给并且能非常均匀播撒的肥料,能提高草坪草的抗病性。

再生水灌溉还能减少杀虫剂使用。1996年美国地质勘测局的调查表明,用再生水灌溉的高尔夫球场地下水中的杀虫剂的发现次数明显比用地下水灌溉的少。用地下水灌溉的高尔夫球场的12口取样井中,有9口井的水样发现杀虫剂成分,而用再生水灌溉的球场的12口取样井中,只有3口井发现有杀虫剂成分^[10]。

2.5 再生水灌溉高尔夫球场潜在的威胁

对再生水如果不执行严格的监控,有可能会带来部分危险。这些潜在的危险包括:①再生水水质卫生指标不合格,导致人体接触后染病;②再生水盐分含量长期过高,影响植物生长;③再生水悬浮固体(SS)太多太大,堵塞喷头。

3 再生水质的监控

再生水的水质是高尔夫灌溉的关键所在,预防再生水灌溉高尔夫球场的各种潜在威胁,必须对再生水水质进行严格的监控。必须保证再生水水质各指标不能低于二级处理水的标准,其卫生指标更应严格,每天检查1次;再生水基本灌溉指标每月1次;详细全面检查每年1次。其指标参照中华人民共和国国家标准农田灌溉水质标准 GB 5084-92。

4 结 语

再生水灌溉高尔夫球场不但能节水,保护环境,还能减少高尔夫球场的维护费用,因此,再生水是一种非常良好的灌溉水源,而并非是一种不得已的选择。美国使用再生水灌溉高尔夫球场已有10多年历史,实践和研究都证明在水质得到监控的前提下,再生水灌溉高尔夫球场是安全可行的。

参考文献:

- [1] 2001 Reuse Inventory[D]. Florida Department of Environment Protection (DEP) 2001.
- [2] Sidle, R C, G V Johnson. Evaluation of a turfgrass-soil system to utilize and purify municipal wastewater[J]. Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, 1972, 2: 227-289.

态绿地的综合节水灌溉技术、绿地管理技术和成套技术,缓解城市生态用水的供需矛盾,促进节水型城市生态绿地的发展。

3 结 语

城市绿地是以满足一定绿地景观、生态功能和使用功能的城市生态系统的重要组成部分之一。在水资源短缺问题比较突出的情况下,城市生态绿地用水问题如同农业用水一样提到了重要的议事日程。城市生态绿地不同于农田的最大区别,一是城市生态绿地是建立在政治、经济、文化中心,人口密集、技术密集、资源需求相对集中的城市;二是建设城市生态绿地的目的是以社会、生态效益为主,而农业生产是以经济效益为主。因此,城市生态绿地的供水水源要依托城市,循环利用城市水资源。要以城市污水的再生利用作为生态绿地供水的稳定水源,以城市雨水收集利用作为城市生态绿地供水的补充水源。城市绿地的灌溉技术要能适应城市人口集中、交通发达、文化丰富、植物景观配置多样、对环境质量要求高的先进技术。城市绿地的用水管理要集中城市化发展的最新科技、管理技术入手,建立专业化、自动化、信息化、法规制度化的城市生态用水

(上接第9页)

- [3] Smith, C J Hopmans, P Cook, F. J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia[J]. Environmental Pollution. 1996. 94; 3, 317—323.
- [4] M. Ali Harivandi, Interpreting Turfgrass Irrigation Water Test Results[D]. by the Regents of the University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. 1999.
- [5] Lin Wu, Xun Guo, Jerry Brown. Studies of Recycled Water Irrigation and Performance of Landscape Plants under Urban Landscape Conditions[D]. Slosson Report 1999—2000;302—308.
- [6] Ron J MacDonald. Final Report — Pulp Mill Residual Chemistry and Options for Regulation[D]. Organix Waste Solutions Inc. # 1200 — 1185 West Georgia Street Vancouver, BC V6E 4E6 Organix File # 9457—02.06. Sept. 2000.
- [7] Kevin W King, James C Balogh, R Daren Harmel. Feeding Turf with Wastewater[J]. Golf Course Management Jan 2000, 87(2): 18—21.
- [8] Bruce B Clark. Utilizing proper cultural practices to reduce turf diseases[D]. 1996 Rutgers turfgrass proceeding of New Jersey Turfgrass Expo. Dec. 1996.
- [9] 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).
- [10] Amy Swancar. Water Quality, Pesticide Occurrence, and Effects of Irrigation with Reclaimed Water at Golf Courses in Florida [D]. U. S. GEOLOGICAL SURVEY Water—Resources Investigations Report. 1996; 95—4250.
- [11] 崔玉川,杨崇豪,张东伟. 城市污水回用深度处理设施设计计算[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.
- [12] Wescot D W, R S Ayers. Irrigation water quality. In Pettygrove, G. S. and T. Asano (eds.), Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater—A Guidance Manual[M]. Lewis Pub., Inc./CRC Press, Boca Raton, FL. 1985.

管理机制。

参考文献:

- [1] 康绍忠,许迪,李万红,等. 关于西北旱区农业与生态节水基本理论和关键技术研究领域若干问题的思考[J]. 中国科学基金, 2002, 16(5):274—278.
- [2] 康绍忠,许迪. 我国现代农业节水高新技术发展战略的思考[J]. 中国农村水利水电,2001(10):25—29.
- [3] 康绍忠. 新的农业科技革命与21世纪我国节水农业的发展[J]. 干旱地区农业研究, 1998,16(1):11—17.
- [4] 山仑,邓西平,康绍忠. 我国半干旱地区农业用水现状及发展方向[J]. 水利学报,2002,(9):27—31.
- [5] 苏德荣. 草坪灌溉与排水工程学[M]. 北京:中国农业出版社, 2004.
- [6] 叶雯,刘美南. 我国城市污水再生利用的现状与对策[J]. 中国给水排水,2002,18(12):31—33.
- [7] 张岳. 中国21世纪水危机与节水[J]. 水利水电科技进展, 1997, 17(2):2—9.
- [8] 张忠祥,钱易. 城市可持续发展与水污染防治对策[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1998.



四川省武都引水工程 召开灌区管理体制工作会议

2005年6月8日,四川省武都引水工程灌区管理体制工作会议,在绵阳市武引培训中心隆重召开。会议就国务院办公厅国办发[2002]45号文件,四川省政府办公厅川办发[2003]36号文件,绵阳市政府办公室绵府办发[2004]50号文件,关于各级水利工程管理体制改革的实施意见,进行了全面的宣传贯彻。会议要求,武引一期灌区六县(市、区)的水务、武引等相关职能部门务必要克服困难、认清形势,以全面深化节水型农业社会为契机,认清形势、理清思路、扎实工作,确保武引水利系统管理体制改革的2006年3月份之前完成。

会上,武引局党委书记、局长熊万贵、绵阳市水务局副局长何国庆、武引局副局长石恩义分别就灌区水利工程管理体制改革的讲话。与会代表就武引工程体制改革安排意见开展了热烈的讨论。会议认为,武引工程体制改革必须要以人为本,处理好改革发展和稳定的关系,必须正确处理好责、权、利,大、中、小,近与远,建与管,社会效益和经济效益之间的关系,要按照党的十六大提出的全面建设小康社会的要求,建立符合武引灌区经济发展,充满生机和活力的水工程管理体制和运行机制,建立健全相关制度,理顺现有的管理办法,切实落实经费渠道,科学界定单位性质,严格定岗定编,加强内部管理,严肃资产管理,建立起合法合理的水价形成机制,完善水费计收办法,妥善安置人员分流,落实好财政税收扶持和社会保障体系,同步加大水环境的保护力度,促进小微水利产权制度改革。

(四川省绵阳市引管理局办公室 617000 谢勇)