

环境与资源博士文库



再生水草坪灌溉的生态效应及其评价

郭道宇 宫辉力 著

EFFECT AND ASSESSMENT
OF RECLAIMED WATER
IRRIGATION ON LAWN

中国环境科学出版社

环境与资源博士文库

再生水草坪灌溉的生态 效应及其评价

郭道宇 宫辉力 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

再生水草坪灌溉的生态效应及其评价/郭道宇, 宫辉力著. —北京: 中国环境科学出版社, 2007.8

ISBN 978-7-80209-533-5

I. 再… II. ①郭…②宫… III. 再生水—草坪—灌溉—环境生态评价—研究 IV. X824

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 075889 号

责任编辑 沈建肖伊

责任校对 扣志红

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2007 年 8 月第一版

印 次 2007 年 8 月第一次印刷

开 本 880×1230 1/32

印 张 6.375

字 数 135 千字

定 价 80.00 元 (全套 4 册, 每册 20 元)

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换



郭逍宇 女，1977年10月生，山西文水人，博士。2003年毕业于山西大学黄土高原研究所植被生态学专业，获硕士学位，同年9月在首都师范大学生命科学学院攻读植物学专业博士，师从宫辉力教授。现工作于首都师范大学资源环境与旅游学院。先后参与并完成国家自然科学基金、山西省自然科学基金、北京市自然科学基金、科技部国家重点项目、北京市科委教委重大项目等多项重要研究项目。在国内外《International Journal System Environmental Microbiology》、《Progress in Nature Science》、《The Proceedings of the China Association for Science and Technology》、《中国环境科学》、《环境科学学报》、《生态学报》、《林业科学》、《生物多样性》、《西北植物学报》等刊物上发表论文10余篇。并参编《应用生态学》著作一部。

内容简介

本研究以北京市陶然亭公园内再生水灌溉约2年的草坪灌区与自来水草坪对照灌区为研究对象,运用统计学、数量生态学及微生物生态学分析方法研究再生水灌溉对土壤系统、植被系统及微生物系统的影响,并结合室内控制实验,运用生理生态学分析方法研究再生水灌溉对草坪草个体生理生态效应的影响,在此基础上探讨再生水草坪灌溉的可行性。再生水灌区灌溉水源系高碑店二级处理出水再经水源六厂深度处理的再生水。研究表明再生水灌溉与自来水灌溉对土壤—草坪—微生物系统的影响无显著差异,本研究区再生水草坪灌溉是可行的。但再生水灌溉需选择具有良好排水系统的地段进行灌溉,并在灌溉过程中结合灌溉气候、土壤特性、植物种类、灌水方式及灌水时间,合理开发利用再生水,把盐分对土壤和植物的危害降到最小。其次,再生水处理中,需进一步加强致病性病原菌的控制工作。

序

众所周知，我国是一个水资源匮乏的国家，人均水资源相当有限。近几年来，随着城市化进程的日益加快和社会经济的飞速发展，城市供水问题已日显突出。但我国城市大多数园林仍利用自来水进行灌溉，造成了极大的水资源浪费。因而，再生水灌溉是缓解城市水资源危机的需要。草坪作为城市园林绿化的主要来源之一，在维护生态平衡、美化生活环境、促进经济和体育发展的优势在城市化进程中具有巨大的发展空间，但其建植和养护需要消耗大量水分。因而，再生水灌溉也是协调绿化和节水矛盾的需要。此外，再生水灌溉也是实现“绿色背景”和“绿色奥运”的需要。根据规划，2008年北京奥林匹克公园所有水体工程，包括景观水体和绿地灌溉用水将以再生水（主要是三级处理水）为主要补给来源，因而再生水绿地灌溉生态效应显得尤为重要。

与此同时，再生水中丰富的氮、磷元素、较高的全盐含量、多种重金属以及病原菌都可能成为新的污染源。因此，进一步研究再生水灌溉对植被-土壤-微生物系统的影响，防止再生水灌溉引起新的面源污染，为再生水灌溉提供合理科学的依据成为

一项必要而紧迫的任务。

全书通过室内控制实验和野外定位研究,应用数量生态学、微生物生态学、生理生态学及统计学等多学科研究手段,从群落、物种、个体等不同组织层次全面系统地研究再生水草坪灌溉作用与土壤-植被系统时所产生土壤肥力效应、植被效应、微生物效应、植物个体生理生态学效应及物种抗逆性,最后对再生水草坪灌溉的可行性及其潜在的问题进行探讨,并就存在的问题提出相应措施。

作者不仅通过野外定点试验累积了丰富的基础数据,开展了综合性研究,而且还结合室内实验进行控制研究,丰富了国内再生水灌溉生态效应研究的成果,并在研究方法上进行了一定的探索,尚属国内再生水灌溉生态效应较全面系统的研究成果,因此很有意义。

总之,再生水灌溉生态效应研究不仅具有十分重要的理论意义,而且具有现实的指导意义,关系到我国生态环境的治理和社会经济的可持续发展。但由于再生水应用在全国范围内仍局限于小范围使用阶段,因而再生水灌溉的专项研究还很少,本书的出版为这一研究领域做出了一定的贡献。尽管还可能存在不少欠缺,相信会在下一步的研究工作中进一步的深入、完善。

中国科学院院士

林学钰

2007年5月20日

前 言

近年来，随着城市化进程的日益加快和社会经济的飞速发展，城市供水这一“瓶颈”问题尤其突出。北京，作为祖国的心脏，人均水资源拥有量也只占到全国的 $1/6$ ，同时水资源消耗过程中伴随而来的水污染问题也日趋严重。草坪作为现代城市化得主要标志之一，以其维护生态平衡、美化生活环境、促进经济和体育发展的优势具有巨大的发展空间，但草坪的建植和养护需要大量用水，使得节水和用水形成了尖锐的矛盾。协调绿化需求和节水需求之间的矛盾，为草坪发展划出一个合理公正的空间成为亟需解决的问题。

再生水作为一种新型的城市第二水源，在缓解水资源危机方面表现出其无法替代的优势，但由于再生水回用过程中存在的种种问题，导致再生水回用的处境依然十分尴尬。

根据规划 2008 年北京市奥林匹克公园所有将以再生水为主要补给来源。因而再生水回用研究备受北京市科学工作者关注。从 2002 年开始，先后有北京林业大学、中国农业大学、首都师范大学、北京市环境科学研究院、北京市水利科学院等单位展开多项课题研究。关于再生水绿地灌溉我国目前还没有出台一

套统一的再生水绿地灌溉标准。再生水回用中普遍采用《城市污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)、《地表水Ⅲ类环境质量标准》(GHZB 1—1999)、《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)等,2005年9月29日北京市园林局发布实施的《北京城市园林绿地使用再生水灌溉指导书》。

目前,关于再生水灌溉绿地生态效应研究结果主要集中在再生水中特定元素加载到土地所产生的特定效应深入研究,全面系统的分析再生水灌溉对土壤-植被系统的生态效应研究尚少见。本书就这一课题进行了详细的研究,以期为再生水推广使用提供科学合理的依据。

几年来,在完成该项研究的过程中赵文吉副教授、李小娟副教授、张飞云副教授给予了极大的帮助和支持,北京市陶然亭公园绿化科科长李东娟也在野外定位调查中给予了帮助和支持,此外宫兆宁博士及赵娜、乔丽、李家国、潘云等多名硕士参与了该研究的部分工作,在此特别表示感谢。本研究是在北京市教委重大项目“北京市再生水利用水文生态效应与优化配置(KZ200410028014)”、北京市自然科学基金项目:“北京浅层地下水变化的湿地生态效应与重点湿地恢复(6032003)”和“北京市科委项目:北京湿地资源环境监测与评价(KZ200410028014)”的支持下完成的。

由于著者水平有限,成果中难免会有不足之处,敬请批评指正,并期待与各位有志之士及该领域科研同仁们一起为我国再生水灌溉生态效应研究的理论及技术方面的问题做不懈的努力。

著 者

2007年6月于首都师范大学

目 录

第一章 再生水灌溉的研究现状.....	1
第一节 再生水概念、来源及其特点.....	1
一、再生水的概念.....	1
二、再生水的来源.....	2
三、再生水的特点.....	3
第二节 再生水回用概况.....	6
一、再生水回用系统.....	6
二、再生水回用类型.....	7
三、再生水回用历史.....	11
四、北京市再生水回用.....	12
第三节 再生水灌溉概况.....	18
一、再生污水灌溉的土壤效应.....	19
二、再生污水灌溉的植物效应.....	21
三、再生污水灌溉的微生物效应.....	24
四、再生污水灌溉的环境效应.....	25
五、再生污水灌溉研究中存在的问题.....	26
参考文献.....	27

第二章 研究区概况与研究主要内容	30
第一节 研究区概况	30
第二节 研究区内容	33
一、再生水灌溉对草坪土壤肥力效应的影响及评价 ...	33
二、再生水灌溉对草坪杂草群落结构的影响 及草坪质量评价	34
三、再生水灌溉对草坪根际微生物群落结构的影响 ...	34
四、再生水灌溉对草坪草生长发育的影响	35
五、再生水灌溉对草坪草抗性的影响及评价	35
参考文献	35
第三章 研究方法	36
第一节 野外研究方法	36
一、土壤化学指标监测方法	36
二、土壤微生物的监测方法	41
三、土壤酶活性的监测方法	47
第二节 室内研究方法	51
一、材料培养及处理	51
二、指标的测定	52
第三节 数据分析方法	55
一、统计分析方法	55
二、数量生态学分析方法	56
三、评价方法	57
第四节 研究方法的选择依据	60
一、数量生态学在再生水灌溉研究中的应用	60
二、微生物生态学在再生水灌溉研究中的应用	61

三、生理生态学在再生水灌溉研究中的应用	63
参考文献	66
第四章 再生水灌溉对草坪土壤质量状况的影响及评价	70
第一节 再生水灌溉对土壤肥力状况的影响	71
一、土壤养分的时空分布规律	71
二、土壤微生物的时空分布规律	73
三、酶活性时空分布规律	79
四、土壤肥力综合评价	84
第二节 再生水灌溉对土壤盐分状况的影响	87
一、土壤盐分指标的时空分布规律	87
二、再生水灌溉对盐分影响的时间消长动态	90
第三节 再生水灌溉对土壤重金属累积的影响	91
一、不同灌区水质重金属污染评价	91
二、不同灌区土壤重金属污染评价	92
三、不同灌区草坪对重金属的累积	94
四、再生水灌区重金属在土壤—植物系统中的 迁移转化	96
第四节 再生水灌溉对因子间相关关系的影响	98
一、因子间主成分分析	98
二、因子间生态关系模型	102
第五节 小 结	105
参考文献	107
第五章 再生水灌溉对草坪质量状况的影响及评价	109
第一节 再生水灌溉对杂草群落多样性的影响	109

一、杂草区系多样性	110
二、杂草群落类型多样性	110
三、杂草群落多样性	114
四、相对多样性指数	114
五、再生水灌溉对杂草多样性影响的时间消长	116
第二节 再生水灌溉对杂草群落主要种生态位的影响	117
一、主要种生态位宽度	118
二、主要种生态位重叠	119
三、再生水灌溉对生态位影响的时间消长动态	121
第三节 再生水灌溉对草坪综合质量状况的影响	122
一、草坪综合质量评价指标体系的构建	123
二、草坪草质量综合评价结果	123
第四节 小 结	124
参考文献	125

第六章 再生水灌溉对草坪根际微生物群落结构的影响

第一节 再生水灌溉对细菌群落结构的影响	127
一、多酶切结果	127
二、单酶切结果	132
第二节 再生水灌溉对细菌群落多样性的影响	134
一、种的多度分布曲线	135
二、多样性指数	137
三、种的多度分布关系拟合	138
第三节 再生水灌溉对细菌群落组成的影响	141
一、SPSS 分层聚类	141
二、序列分析	144

第四节 小 结.....	149
一、不同微生物多样性测度方法的探讨	149
二、群落结构与环境因子关系的探讨	151
参考文献	153
 第七章 再生水灌溉草坪草生长发育的影响.....	157
第一节 再生水灌溉对草坪草幼苗生长的影响.....	158
一、再生水灌溉对种子萌发的影响	158
二、再生水灌溉对草坪幼苗生长发育的影响	159
第二节 再生水灌溉对成坪草坪草的影响.....	161
一、再生水灌溉对基质盐分的影响	161
二、再生水灌溉对成坪草坪的生理影响	162
三、成坪草坪对灌溉水源适宜性评价	166
第三节 小 结.....	167
一、盐分	167
二、草坪生理反应	169
三、物种适宜性分析	170
参考文献	170
 第八章 再生水灌溉对草坪草抗逆性影响及评价.....	173
第一节 再生水灌溉对温度胁迫下草坪草抗性的影响.....	174
一、再生水灌溉对温度胁迫下草坪草生理特性的影响.....	174
二、温度胁迫下成坪草坪对灌溉水源的适宜性评价.....	178
第二节 小 结.....	178
参考文献	180

第九章	再生水草坪灌溉可行性及其相应对策.....	181
一、	再生水作为灌溉水源可行性分析.....	181
二、	再生水草坪灌溉土壤系统可行性分析.....	183
三、	再生水草坪灌溉植被系统可行性分析.....	183
四、	再生水草坪灌溉微生物系统可行性分析.....	183
五、	再生水草坪灌溉植物个体可行性分析.....	184
六、	小 结	185
第十章	结论与展望	186
一、	主要结论	186
二、	主要创新点	188
三、	研究展望	189

第一章 再生水灌溉的研究现状

第一节 再生水概念、来源及其特点

一、再生水的概念

由于再生水来源、用途、规模形式多样，对再生水的解释也多样。当再生水回用于建筑物，称其为“中水”；回用于工厂，称其为“回用水”；学术领域则称其为“污水资源化”。广义上讲，再生水（recycling water）主要指各种形式的回用水，包括城市污水或生活污水经处理后达到一定水质标准，可在一定范围内重复使用的非饮用水。我国建设部在制定再生水回用分类标准时，也对再生水的概念作了具体的界定，认为再生水包括污水、废水经二级处理和深度处理后回用的水；当二级处理出水满足特定回用要求并已回用时，二级处理出水也可称为再生水。这里主要介绍以“中水”形式存在的“再生水”。

“中水”（reclaimed water）一词最早来源于日本。因其水质介于上水（自来水）与下水（排入管道内污水）之间，故名为

“中水”。一般来讲，城市污水经处理设施深度净化处理后的水（包括污水处理厂经二级处理后再进行深度处理的水和大型建筑物、生活社区的洗浴水、洗菜水等集中处理后的水）统称为“中水”。根据中水来源途径，又可分为“建筑中水”和“市政中水”。其中，“建筑中水”指单位建筑、局部建筑或小规模区域性建筑的各种排水经适当处理后循环回用于原建筑物作为杂用的供水系统。“市政中水”指污水处理厂将收集来的生活污水、工业废水、雨水等在污水处理厂中经传统的活性污泥法去除有机物、重金属离子等，使污水水质达到河湖排放标准，然后再将处理后的水送到深度处理厂，经过混凝、沉淀、过滤、消毒等传统工艺过程或利用膜技术深度处理得到的水。本书主要研究对象是以“市政中水”形式存在的再生水。

二、再生水的来源

再生水的来源可以分为生活污水、工业废水和径流污水。生活污水是人们日常生活过程中排出的污水。主要来自于家庭、机关、商业和城市公用设备中的厨房、卫生间、浴室及洗衣房等设施。因而其主要成分为粪便及洗涤污水，水质和水量都具有明显的昼夜周期性和季节周期性变化的特点。工业废水主要来自于工业生产过程中工艺用水、机器设备冷却水、烟气洗涤水、设备和场地清洗水等工艺过程。由于各种工厂的工业类型和规模、管理水平、原料、工艺过程及排放管理措施各不相同，其出水性质也相差较大。总的来看，工业废水的主要特点是含有腐蚀性、有毒、有害、难降解有机物等成分。城市径流污水是雨雪淋洗城市大气污染物和冲洗建筑物、地面、废渣、垃圾而形成的。这种污水具有季节性和成分复杂的特点。