

混凝过滤制取再生水用于园林绿化浇灌 的可行性研究

方宏达, 景有海

(厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 通过小型模拟试验, 研究采用“混凝过滤”方法处理后的生活污水浇灌园林绿地后, 对绿地植物生长及环境安全产生的影响。研究表明: 生活污水经混凝过滤去除悬浮物后浇灌绿地, 不但补充了水分, 还为植物提供了一定的营养成分, 使植物生长茂盛。生活污水经过 80 cm 厚的土壤层净化后, 其悬浮物、氨氮、无机磷、有机物(COD_{Cr}) 的去除率分别为 84%、97%、90%、68.7%, 下渗水的浊度平均为 0.5 NTU, 氨氮、磷酸盐、有机物(COD_{Cr}) 平均浓度分别为 0.4 mg·L⁻¹、0.06 mg·L⁻¹、13.7 mg·L⁻¹, 不会对地下水造成污染。

关键词: 生活污水; 混凝过滤; 绿地浇灌; 节水

中图分类号: S731 文献标识码: A 文章编号: 1002-7351(2006)02-0037-04

Research on the Feasibility of Using Coagulation-filtration to Treat Living Wastewater for Green Land Irrigation

FANG Hong-da, JING You-hai

(Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract The feasibility of using living wastewater treated by the way of coagulation-filtration to irrigate the green lands was studied in this paper. It was found the water filtered by an 80-cm-thick soil layer was substantially purified. 97% NH₄⁺-N and 74% COD_{Cr} were removed resulting in an average final concentration of 0.4 mg/L NH₄⁺-N, 13.7 mg·L⁻¹ COD_{Cr}, 0.06 mg·L⁻¹ phosphate, and 0.5 NTU nephelometry, which was acceptable to the receiving levels of underground water. From the point of water resources recycling, this method is a promising way to reuse living wastewater for green land irrigation.

Key words: living wastewater; coagulation-filtration; green land irrigation; water reuse

园林绿化是城市重要的基础设施, 是城市现代化建设的重要内容, 是改善生态环境和提高广大人民群众生活质量的公益事业。《国务院关于加强城市绿化建设的通知》文件要求, 到 2010 年, 我国城市规划建成区绿地率要达到 35% 以上, 绿化覆盖率要达到 40% 以上, 人均公共绿地面积要达到 10 m² 以上。

城市绿化面积的增加必然会增加绿地浇灌用水量。依据相关给水排水设计规范^[1] 的规定, 绿地年用水量约为 0.365 ~ 1.095 t·m⁻²。仅以厦门市为例, 到 2010 年, 城市人均拥有绿地面积要达到 15 m²·人⁻¹, 若以 210 万人口规模计算, 届时, 厦门的绿地总面积将达到 3150 万 m², 年均耗水量可达 3000 万 t 以上, 数量相当惊人, 而厦门又属于资源型缺水城市, 解决城市绿化用水应是厦门市政府亟待解决的问题。

园林绿化浇灌用水为非饮用水或人体接触使用水, 无需使用像自来水等优质水, 达到国家《城市杂用水水质标准》(以下简称《标准》)^[2] 的再生水(合适处理的污水)完全可用于浇灌园林绿地。使用再生水浇灌园林绿地不但可以减轻城市自来水供水压力, 另外还可减少污水的排放。

但是根据《污水再生利用工程设计规范》(以下简称《规范》)^[3] 要求, 达到《标准》的用于园林绿化浇灌的再生水, 若以生活污水为水源必须经过二级生化处理以上的处理设施处理, 对污水进行二级生化处理固然是好, 但是该类处理设施的建设投资高, 另外设施的运行也要消耗大量的能源。因此采用《规范》提出的方法, 难以推广园林绿化再生水浇灌。但是在供水紧张的压力之下, 采用再生水代替自来水用于园林绿地浇灌势在必行, 因此研究开发一种“经济、可行”的技术来处理用于绿地浇灌的污水, 具有重要的意义。

收稿日期: 2006-01-24

作者简介: 方宏达(1980-), 男, 福建云霄人, 厦门大学 2003 级硕士研究生, 从事水污染控制与回用工程研究。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

由于绿地的植物、微生物、土壤组成的综合系统具有很强净污能力,本课题的研究者认为再生水用于园林绿地,可能无需完全达到《标准》的规定水质,只需将污水中的悬浮物去除(防止土壤孔隙受堵塞^[4]),再加消毒即可。因此提出“混凝过滤”的方法处理生活污水用于园林绿地浇灌。

与《规范》要求的方法比较,采用“混凝过滤”方法,设施建设成本可减少 60%,运行成本可减少 50%。如若该方法制得的再生水可用于园林绿化,那么该技术方法则具有很大应用性。

本文即以此为依据,研究以生活污水为水源,采用“混凝过滤”的方法制得再生水,用于园林绿地浇灌的可行性。由于采用该方法主要去除悬浮物,因此处理后的再生水中的有机物、氨氮等指标无法达到《标准》规定的水质,因此该方法能否可行,主要取决于 2 方面的问题:①采用该方法制得的再生水浇灌绿地,是否对绿地植物的生长造成不良影响,即绿地植物能否承受该水质的浇灌水;②浇灌下渗水是否污染地下水,即绿地系统是否具有足够的净化能力净化该水质的浇灌下渗水。

试验通过模拟的绿地,采用“混凝过滤”的方法处理生活污水用于绿地浇灌,重点探讨以上提出的 2 方面的问题,研究“混凝过滤”处理污水用于浇灌绿地的可行性。由于在城市的园林绿化当中,草地的占地面积最大,因此试验以草地作为研究对象。

1 试验材料与研究方法

1.1 试验装置

试验系统如图 1,主要由 2 部分构成:①污水混凝过滤处理装置;②模拟绿地试验装置。污水混凝过滤处理装置由水泵、过滤柱、加药装置组成。

模拟绿地试验装置如图 2,为了方便收集下渗水,模拟的绿地架在地面上。装置总长 3 m,宽 1.5 m,高 1.3 m,分 3 格,每格宽 1.0 m,分别编号为 1[#]、2[#]、3[#]。侧板采用 20 mm 胶合板做挡板,内衬防水塑料布。土壤层下铺设砂层及砾石层,总厚度 10 cm,土壤采用厦门常规沙质土。土壤层厚度 1[#] 为 50 cm,2[#]、3[#] 为 80 cm,土壤层上部种植常规的绿化用草皮。

1.2 试验研究方法

1[#]、3[#] 采用处理后污水浇灌,通过对二者下渗水的水质进行对比,研究浇灌下渗水渗透不同厚度土层后其净化程度差别;2[#] 采用自来水浇灌,通过 2[#] 和 3[#] 的比较,研究采用该处理后的污水浇灌与采用自来水浇灌对绿地植物的生长影响。

每日浇灌前,进行现场制水,制水方法采用混凝过滤的方法,制水装置如图 1 所示。绿地浇灌完全模拟城市绿地的浇水规律,除雨天外,每日浇灌草地 1 次,浇水量为 6.7 L·m⁻²,浇水历时约 2 min。

下渗水分别采用 3 个 10 L 的 PVC 桶收集,采用连续收集的方法,每天浇水前记录前 24 h 内总收集的水量,并采样分析。

1.3 水样分析

分析水样为混凝过滤处理后再生水、1[#]、2[#]、3[#] 试验场的下渗收集水。分析指标为 COD_{Cr}、氨氮、无机磷、浊度。COD_{Cr} 采用重铬酸钾法测定;氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定;无机磷采用钼锑抗分光光度法,浊度采用散射光浊度仪测定^[5]。仪器主要采用 HP8450VIS-UV 分光光度计、NSZ-100 散射光浊度仪等。

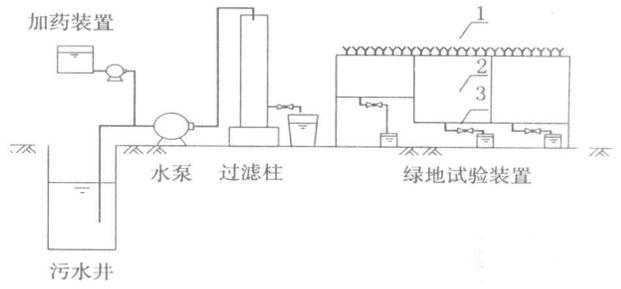
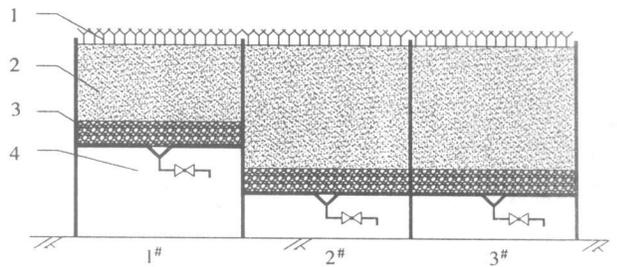


图 1 试验系统



1 为草皮;2 为土壤层;3 为承托层;4 为下渗收集口

图 2 模拟绿地试验装置示意图

2 试验结果与分析

试验于2005年6~11月进行,通过连续5个月的现场试验,混凝过滤处理后的再生水水质如表1。

表1 混凝过滤制得的再生水水质

水质指标	浊度变化范围/NTU	COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	氨氮/mg·L ⁻¹	无机磷/mg·L ⁻¹
浇灌水平均值	3.4	44	17	0.6
浇灌水变化范围	0.8~7.9	16.6~117	7~37	0.4~1.0

2.1 再生水对绿地植物生长的影响

生活污水中含有的氮、磷等物质对植物生长具有促进作用,但是污水中同样含有不利植物生长的因素,如盐分。因此采用该水浇灌绿地,即可能有利于植物,也可能不利于植物。

通过本次长达半年的浇灌试验发现,采用混凝过滤处理后的污水浇灌并未对植物生长产生明显的不良影响,反而还更有利于植物的生长。试验发现1[#]和3[#]试验场的植物生长情况明显好于采用自来水浇灌的2[#]试验场的植物生长情况,1[#]和3[#]的植物比2[#]的植物颈叶更绿,10月份时有更多的草出现开花现象,而2[#]场地因未对其进行施肥措施,植物生长情况一般。由此可知污水中的各种营养物质促进了植物的生长,而盐分的抑制作用不明显。

采用表1水质的水及试验的浇灌量浇灌绿地,可向绿地提供约37 g·m⁻²·a⁻¹的氮肥,1.5 g·m⁻²·a⁻¹的磷肥,根据植物营养学领域的研究^[6],城市观赏性草坪需氮量为21.0~27.0 g·m⁻²·a⁻¹,需磷量2.1 g·m⁻²·a⁻¹(中等供磷土壤)。可见采用该水浇灌绿地可减少额外施肥甚至不用额外施肥。

2.2 再生水对地下水安全的影响

草地的浇水量为多少最合适,这是值得探讨的问题。因为在满足绿地需要的浇水量条件下,如果能够尽量少浇水,则可以避免造成太多的下渗水。依据给排水设计规范,草地的浇水量为3 L·m⁻²·d⁻¹。试验研究选择6.7 L·m⁻²·d⁻¹的浇灌量,是为了有多余的水下渗,从而通过扣除下渗水量来计算绿地的实际需水量。另外在较高的浇水量,有较多的下渗水下渗的试验条件下,如果绿地土壤系统可以充分净化下渗水,那么在浇水量合适(即无下渗水或下渗水少)的实际条件中,则不会存在地下水污染的情况。

因此研究地下水安全的问题,必须研究草地的科学浇水量及在超负荷的浇水量的条件下,下渗水受净化程度。

2.2.1 草地耗水量及下渗水量 对于草地的下渗水量,以下只选取了7月28日~8月11日、10月15~27日(见表2),这是由于这2个时段不受降雨等干扰,数据稳定。

表2 草地耗水量计算

时间	日浇水量/L·m ⁻²	日平均下渗水量/L·m ⁻²	日耗水量/L·m ⁻²	利用率/%
7月28日~8月11日	6.7	3.4	3.3	49
10月15~27日	6.7	4.9	1.8	27

*: 日耗水量=日浇水量-日平均下渗水量。

实验说明,1年当中草地耗水量并不是恒定的,夏季的时候比秋季需求量大,夏季草地的耗水量为3.3 L·m⁻²·d⁻¹,秋季耗水量为1.8 L·m⁻²·d⁻¹。

2.2.2 绿地土壤系统的净化能力及下渗水水质 由以上可知,在6.7 L·m⁻²·d⁻¹的浇水量下,有较多的下渗水,该下渗水经过绿地土壤系统净化后,其水质指标如表3(5个月的试验数据分析整理结果)。

表3 渗出水的水质指标

试验场编号	浊度指标		氨氮指标		无机磷指标		COD _{Cr} 指标	
	平均值/NTU	平均去除率/%	平均值/mg·L ⁻¹	平均去除率/%	平均值/mg·L ⁻¹	平均去除率/%	平均值/mg·L ⁻¹	平均去除率/%
1 [#] (50 cm 厚土层)	0.5	85	0.2	99	0.06	90	11.5	73.7
2 [#] (80 cm 厚土层)	0.5	84	0.4	97	0.06	90	13.7	68.7

通过表 1、表 3 对比可知,绿地土壤系统具有很强的净污能力,悬浮物、氨氮、无机磷、有机物去除效果明显,特别是氨氮的去除率接近 100%。另外土壤层为 50 cm 厚与 80 cm 厚的绿地土壤系统对浇灌下渗水的净化效果基本一致,由此可见浇灌下渗水主要在绿地土壤系统的表层(50 cm 以上)得到净化,随着土壤层的加深,下渗水并没有得到进一步净化,说明经过 50 cm 的土壤层后,下渗水已经处于稳定状态,因此可预测下渗水进一步下渗直至与地下水接触时其水质基本不变,可用 80 cm 处的水质代表与地下水接触时的水质,如表 4。

表 4 与地下水接触时的下渗水水质(经过 80 cm 土层后)

水质指标	浊度/NTU	氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	无机磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	有机物/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
平均值	0.5	0.4	0.06	13.7(COD _{Cr})

浇灌水的下渗部分与地下水回合,成为地下水的一部分,相当于地下水的回灌。地下水回灌的研究认为,回灌水是否引起地下水污染,原则上是以该水水质是否劣于回灌点的地下水水质来衡量的,即如果下渗水经过土层净化后其水质优于或等同于该地点的地下水水质,则认为不污染地下水,该水可回灌^{7,8)}。另外达到饮用水标准的回灌水也被认为是不污染地下水的。

由于各个地方的地下水不尽相同,因此无法采用该方法来评判该下渗水是否达到回灌水水质,因此选择与城市供水水质标准⁹⁾作对比。

由表 5 对比可知,该下渗水对地下水来说是安全的,经混凝过滤处理后的生活污水用于绿地浇灌基本上是可行的。

表 5 采用生活污水浇灌绿地的渗出水水质与城市供水水质标准的对比

水质指标	浊度/NTU	氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	无机磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	有机物/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
浇灌下渗水水质	0.5	0.39	0.06	13.7(COD _{Cr})
城市供水水质标准	3	< 0.5	—	< 16.7(COD _{Cr}) [*]

*,城市供水水质标准对有机物的要求为, $\text{COD}_{\text{Mn}} < 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,通过 COD_{Mn} 与 COD_{Cr} 之间的换算关系计算后,得 $\text{COD}_{\text{Mn}} < 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 与 $\text{COD}_{\text{Cr}} < 16.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 相当。

3 结论

1)采用混凝过滤的方法处理生活污水,用于园林绿地浇灌,既给绿地植物补充水分,还提供营养成分,绿地植物生长良好。起到节水节肥的双重效益。

2)在 $6.7 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ 的日浇水量下,有较多的下渗水,说明该浇水负荷偏大。绿地的浇水量可选择为夏季 $3.3 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,秋冬季为 $1.8 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

3)在超浇水负荷 $6.7 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 下,有较多下渗水,绿地土壤系统具有足够的净化能力,下渗水经过 80 cm 的土层后,悬浮物、氨氮、无机磷、有机物去除率分别为 84%、97%、90%、68.7%。该水不污染地下水。

采用污水浇灌绿地的目的是浇灌而不是水处理,因此在满足绿地植物生长需要的浇水量下,浇灌量应尽可能减少,这样既可减少耗水量,又可防止对地下水可能带来的潜在危害。

试验结果认为采用混凝过滤处理生活污水用于园林绿化浇灌是可行的,但是由于试验持续时间短,监测指标有限,不能得出更为精确的结论。更进一步的结论还需要通过更进一步的试验来确定。

参考文献:

[1] GB50015—2003, 建筑给水排水设计规范[S] .
 [2] GB/ T18920—2002, 城市杂用水水质标准[S] .
 [3] GB/ T50335—2002, 污水再生利用工程设计规范[S] .
 [4] 何江涛, 马振民, 张金炳, 等. 污水渗滤土地处理系统中的堵塞问题[J] . 中国环境科学, 2003, 23(1): 85—89.
 [5] 国家环保局. 水和废水监测分析方法, 第三版[M] . 北京, 中国环境科学出版社, 1997. (下转第 57 页)

1—5.

- [5] 李晓储, 裴建文, 赵御龙, 等. 扬州古运河生态环境林观光休闲型绿化模式营建研究[J]. 江苏林业科技, 2001, 28(4): 4—6, 39.
- [6] 孙启祥, 彭镇华, 张齐生. 自然状态下杉木木材挥发物成分及其对人体身心健康的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(2): 158—163.
- [7] 蒋继宏, 李晓储, 陈凤美, 等. 芳香型植物挥发油抑菌活性的研究[J]. 江苏林业科技, 2004, 31(2): 6—12.
- [8] 张义, 明军. 圆柏(*Sabina chinensis*(Linn.) Ant.)的品种分类[J]. 湖北农学院学报, 2001, 21(1): 25—28.
- [9] 李传仁, 严赞开. 龙柏叶提取物对食品抑菌作用研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(2): 294—299.
- [10] 李智立, 刘淑莹. 侧柏果实挥发油化学成分的研究[J]. 中国药学杂志, 1997, 32(3): 138—139.
- [11] 韩若霜, 田有亮, 郭连生. 侧柏等4树种在不同水分亏缺下恢复吸水能力的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2005, 26(2): 48—50.
- [12] 王鸿梅. 柏枝节挥发油化学成分的测定分析[J]. 中草药, 2004, 35(8): 863.
- [13] 郑紫云, 长清江. 抗污染观赏花卉树木[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 7.
- [14] Pagé B., Pagé M., Nèl, C. A new fluorimetric assay for cytotoxicity measurements in vitro [J]. International Journal of Oncology, 1993, 3: 473—476.
- [15] R. Hamid, Y. Rotshteyn, L. Rabadi, R Parikh, P. Bullock Comparison of alamar blue and Mtt assays for high throughput screening [J]. Toxicology in vitro, 2004, 88: 703—710.
- [16] Heller SR, Mioline GW. An EPA/NIH Mass Spectral. Data Base [M]. Washington: US Government Printing office, 1976.
- [17] McLaferty FW, Stauffer DB. The Wiley/NBS Registry of Spectral Data Base [M]. New-York: John Wiley & Sons Inc., 1989.
- [18] Martin S, Padilla E, Ocete M A. Anti-inflammatory activity of the essential oil of *Bupleurm fruticosens* [J]. Planta Med 1993, 59(6): 533—536.
- [19] Lorente I, Ocete M A, Zarzuelo A. Bioactivity of the essential oil of *Bupleurm fruticosens* [J]. J Nat Prod 1989, 52(2): 267—272.

(上接第40页)

- [6] 张志国. 草坪营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版, 2004.
- [7] 何星海, 马世豪. 再生水补充地下水水质指标及控制技术[J]. 环境科学, 2004, 25(5): 61—64.
- [8] 朱慧峰, 顾慧人. 上海市污水厂出水用于地下水回灌探讨[J]. 中国给水排水, 2005, 21(4): 91—93.
- [9] CJ/T206—2005, 城市供水水质标准[S].

(上接第43页)

- [2] 王继先. 互联网网站设计及制作的几点原则和建议[J]. 河南教育学院学报, 2000, (3): 79—81.
- [3] 罗高飞. 信息化——我国旅游业发展道路的必然选择[J]. 旅游科学, 1998, (3): 22—27.
- [4] 李世东. 我国森林公园的现状与发展趋势[J]. 中南林学院学报, 1994, 14(2): 163—167.
- [5] 王书峰. 中国森林公园旅游[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 201—205.

(上接第47页)

- [10] 吴应科. 桂林漓江风景名胜区总体规划编制探讨[J]. 桂林旅专学报, 1998, 9(4): 47—50.
- [11] 侯全华, 岳邦瑞, 张沛. 华山风景名胜区华麓区规划实证研究——对风景名胜区控制性规划的初探[J]. 西北建筑工程学院学报: 自然科学版, 2001, 18(2): 39—45.
- [12] 余世孝, 郭潏. 山东泰山地区景观结构变化及其分形分析[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 125—134.
- [13] 唐礼俊. 佘山风景区景观空间格局分析及其规划初探[J]. 地理学报, 1998, 53(5): 429—437.
- [14] Turner MG. Spatial and temporal analysis of landscape patterns [J]. Landscape Ecology, 1990, 4(1): 21—30.
- [15] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 336—341.
- [16] 张惠远, 蔡运龙, 万军. 基于TM影像的喀斯特山地景观变化研究[J]. 山地学报, 2000, 18(1): 18—25.