

北京西郊城市污水人工快滤处理与利用系统

崔理华¹,朱夕珍¹,李国学²,张宝莉²,白 瑛²,张祖锡² (1.华南农业大学资源环境学院,广东 广州 510642; 2.中国农业大学资源与环境学院,北京 100094)

摘要:以人工土壤作为渗滤介质处理城市污水在北京西郊进行了两年中试工程运行试验研究.结果表明,人工快滤处理系统对城市污水具有较高的去除率,其对 COD、BOD₅、SS、TN 和 P 的年平均去除率分别为 90.2%、96.4%、95.1%、32.3% 和 30.2%;处理出水中 COD、BOD₅ 和 SS 的年平均浓度分别为 39.8、3.80 和 11.1mg/L;人工快滤床的年平均渗滤速率、水力负荷率和有机负荷率分别为 0.339cm/min, 208m/a 和 14.9kgBOD₅/(m²·a);用处理出水灌溉蔬菜和水稻不会引起硝酸盐和重金属的明显积累.

关键词:城市污水; 人工土壤; 快速渗滤; 处理和利用

中图分类号: X703 文献标识码: B 文章编号: 1000-6923(2000)01-0045-04

Artificial soil rapid infiltration system for treating municipal wastewater in the west of Beijing. CUI Li-hua¹, ZHU Xi-zhen¹, LI Guo-xue², ZHANG Bao-li², BAI Ying², ZHANG Zu-xi² (1.College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.College of Natural Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China). *China Environmental Science*. 2000,20(1): 45~48

Abstract: A pilot-scale plant in the west of Beijing has been studied by using artificial soil rapid infiltration (ASRI) treatment system for treating municipal wastewater over a two-year period. The results show that ASRI treatment system has higher removal rate for municipal wastewater; the annual average removal rates for COD, BOD₅, SS, total nitrogen and solvable phosphorus are 90.2%, 96.4%, 95.1%, 32.3% and 30.2% respectively; the average concentrations of COD, BOD₅ and SS in the treated effluent are 39.8, 3.80 and 11.1 mg/L respectively. The results also show that annual infiltration rate, hydraulic and organic loading rates of artificial soil filter are 0.339cm/min, 208m/a and 14.9kgBOD₅/m²·a respectively. It did not cause conspicuous accumulation of nitrate and heavy metals in vegetables and rice grain by using the treated effluent for agricultural irrigation.

Key words: municipal wastewater; artificial soil; rapid infiltration; treatment and utilization

近十几年来,污水土地处理系统作为“代用技术”在国内外得到复兴和发展,世界上许多国家都在积极研究和大力推广城市污水土地处理与利用,以代替三级处理^[1-2].土地处理虽然具有基建投资低、处理能耗低和处理成本低等优点,但也具有占地面积大、场地条件要求严格和受气候条件影响等缺点,从而使其应用受到限制^[3].实验室模拟试验证明,通过人工配制土壤填料、改善排水及通风状况可以获得较高的水力负荷率和处理效率,并且可以减少占地面积^[4].为了进一步证实实验室模拟试验结果,作者以城市污水为研究对象,在北京西郊开展了为期 2 年的中试工程运行试验研究,并利用处理出水灌溉蔬菜和

水稻等作物,以观察和研究处理出水回用于农田灌溉产生的环境效应.

1 材料与方法

1.1 中试工程的工艺流程及设计参数

北京西郊中试工程的工艺流程:

污水 → 水泵 → 调节沉淀池 → 水泵 → 升流式污泥水解池 → 人工快滤池 → 回用

中试工程的设计参数为调节沉淀池的有效容积为 36m³,调节池的停留时间为 4h,调节水量可达 30m³.升流式污泥水解池的水力停留时间

收稿日期: 1999-05-31

为 4~5h,设计出水量为 7m³/h.人工快滤池面积为 112 m²,分 3 格,单池有效面积为 38 m²,其中碎石垫层 20cm,人工土滤层 100cm.

1.2 供试污水水质

供试污水取自北京西郊万泉河市政污水圆明园东排放口,其水质监测结果见表 1.

表 1 圆明园东排放口城市污水浓度(mg/L)
Table 1 Wastewater concentration of discharge opening in the east of Yuan-Ming-Yuan residual park (mg/L)

季节	COD	BOD ₅	SS	TN	P*
春季	435	121	201	29.5	1.40
夏季	381	100	245	28.5	1.16
秋季	345	91	203	31.5	1.22
冬季	459	109	253	32.6	1.27
年平均	405	108	226	30.5	1.26

注:* 水溶性磷

1.3 中试工程的运行管理

北京西郊城市污水处理中试工程采用的配水周期与湿干比为每天连续配水 8h,落干 72h,配水(灌停)周期为 3d,湿干比以 1:8 方式运行.

1.4 人工快滤床床面利用试验

在北京西郊中试人工快滤床上架设无土栽培槽架,槽内填装无土栽培基质,引用人工快滤床处理出水配制营养液回灌种植蔬菜,以观察滤池占地及滤出水水肥资源回用的可行性.

1.5 处理出水回用试验

在北京西郊中试工程中,利用滤出水灌溉种植水稻和蔬菜,观察滤出水对蔬菜中重金属和硝酸盐含量的影响及对水稻籽粒中重金属含量的影响.

2 结果与讨论

2.1 人工快滤处理系统的净化效果

2.1.1 人工快滤处理系统的去除率及出水水质

北京西郊中试工程经过近 2 年的运行试验,对水质进行了系统的监测,其年平均去除率及各季节出水水质分别如表 2,表 3 所示.结果表明,人工快滤处理系统对城市污水具有较高去除能力,且出水水质稳定,耐负荷冲击能力强.处理出水不仅能达到二级生化处理排放标准,而且还优于常规二级生化处理厂出水水质,大部分水质指标还达到了中水回用水质标准.

表 2 北京西郊中试工程的处理效果 (年平均值)

Table 2 Treatment effect of pilot-scale plant in the west of Beijing (annual mean values)

项目	COD (mg/L)	BOD ₅	SS (mg/L)	TN (mg/L)	P* (mg/L)	DO	细菌总数 (个/mL)	大肠杆菌 (个/mL)	粪大肠杆菌 (个/mL)
进水	405.1	107.7	225.7	30.54	2.02	0	2.94×10 ⁶	47.1	17.0
出水	39.8	3.80	11.06	20.70	1.41	4.46	3.52×10 ⁵	9.49	0.57
去除率(%)	90.2	96.4	95.1	32.3	30.2	-	88.0	79.9	96.6

注:*注同表 1

表 3 人工快滤处理床各季节出水水质(季均值,mg/L)
Table 3 Effluent concentration of artificial soil filter in different seasons (seasonal mean values, mg/L)

季节	COD	BOD ₅	SS	TN	P*	DO	pH 值
春季	51.6	3.04	11.9	21.4	1.35	5.70	7.70
夏季	36.5	2.32	9.64	18.1	1.51	4.03	7.55
秋季	33.7	5.15	10.7	18.5	1.49	2.93	8.17
冬季	37.4	4.69	12.0	24.8	1.30	5.20	7.60
年平均	39.8	3.80	11.1	20.7	1.41	4.46	7.76

注:* 注同表 1

2.1.2 人工快滤床的渗滤速率及水力负荷率

人工快滤床的渗滤速率和水力负荷率取决于人工土壤的饱和和水力传导性能,它是由人工土壤性质决定的,同时还随气候的季节变化,特别是气温的变化以及人工土壤中有机质含量变化而变化.该项中试工程运行的系统监测结果表明,人工快滤床各季节的水力负荷率和平均渗滤速率分别为春季 51.8 m/a,0.337 cm/min;夏季 69.9 m/a,0.456 cm/min;秋季 47.1 m/a,0.307 cm/min;冬季

38.9 m/a,0.254 cm/min;年平均 208m/a 和 0.339 cm/min.其中夏季和春季较高,主要与北京夏季高温和春季干旱有关.与美国典型设计的土地快速渗滤处理相比^[5],年水力负荷率为其上限的 2 倍.

2.1.3 人工快滤处理系统的有机污染负荷 根据人工快滤床各季节的水力负荷率及调节沉淀池和人工快滤床的平均进水浓度,可分别计算出整个处理系统及人工快滤床各季节的有机负荷,最后相加得到年有机污染负荷(表 4).从表 4 可以看出,北京西郊城市污水中 COD 污染负荷较高,而 BOD₅污染负荷较低,污水可生化性较差,经调节沉淀池和污泥水解池处理后,可生化性提高,其 BOD₅/COD 比值从 0.27 增加到 0.42.另外,沉淀池和水解池负担了 76%的 SS 污染负荷,从而减轻了人工快滤床的堵塞问题.该处理系统 BOD₅污染负荷为美国典型设计的土地快速渗滤处理系统的 3 倍^[5].

表 4 人工快滤处理系统的有机污染负荷 (kg/m²·a)
Table 4 Organic loading rate of artificial soil rapid infiltration system in the west of Beijing (kg/m²·a)

污染负荷	整个处理系统	人工快滤床
BOD ₅	22.4	14.9
COD	83.1	35.8
SS	47.0	11.2

2.1.4 运行过程中人工土壤条件的稳定性 如前所述,人工快滤床的水力负荷主要取决于配水期人工土壤的渗滤速率,而土壤的渗滤速率则主要取决于土壤中直接影响重力水流的粗孔隙的数量.因此,凡影响人工土壤粗孔隙的因素均影响人工快滤床的渗滤速率和水力负荷率.影响土壤粗孔隙的因素主要是土壤质地和土壤有机质.人工快滤床中细土粒和有机质的增加,均易引起孔隙堵塞或使粗孔隙变细,数量减少,最后导致人工土壤渗滤速率和水力负荷率的下降.表 5 说明,在人工快滤床运转的前 6 个月内,人工土壤中细土粒的比例略有增加,但随着运行时间的延长,细土粒的含量接近平衡.人工土壤中有机质的含量在运行的前几个月内有增有减,但随着时间的推

延,也呈现出平衡状态.因此,在最初运行的 2 年中,虽然人工土壤的性状稍微发生了改变,但有机质的轻度积累和粗孔隙度的下降并不影响其处理能力.

表 5 人工快滤床运转过程中土壤性状的变化 (%)
Table 5 Changes of soil properties of artificial soil filter in its operative process (%)

项目	基础样	运行时间(月)					
		3	4	6	12	16	29
细土粒含量 (<0.25mm)	4.25	3.20	—	15.8	—	—	16.2
有机质含量	3.30	4.55	4.07	4.35	4.78	5.68	4.22
粗孔隙度	29.0	25.5	22.6	22.3	15.9	17.6	16.7

2.2 人工快滤床床面和处理出水利用的效果

2.2.1 人工快滤床床面的无土栽培利用 在该中试工程人工快滤床上用圆钢焊成槽架,内装无土栽培基质,用滤出水配制营养液进行浇灌,利用处理系统越冬塑料大棚进行油菜和黄瓜等的无土栽培生产.经过 2 年的试验,在 30 多 m²的滤床上每年有 600 多元的收入,并且蔬菜品质良好,黄瓜和油菜中硝酸盐的含量与清水灌溉相差不大,但比污水灌溉有所减少(表 6).随着处理规模的扩大,人工快滤床床面利用的效益也增大,可抵消污水处理运行费用的 80%以上,不仅回用了污水处理占地面积,而且可改变污水处理只有投入而无产出的传统模式,将污水处理与植物生产组合成生态工程系统.

表 6 处理出水灌溉蔬菜(鲜样)中硝酸盐含量(mg/kg)
Table 6 Nitrate content in fresh vegetables using treated effluent for irrigation (mg/kg)

栽培条件	黄瓜			油菜		
	清水	处理出水	污水	清水	处理出水	污水
基质栽培	61.3	74.0	—	226.2	371.98	—
土壤栽培	43.0	57.2	—	162.5	279.1	380.9

2.2.2 处理出水回用对农作物重金属含量的影响 利用处理出水灌溉进行作物中重金属含量的试验分别选在人工快滤床(无土栽培)和渗滤池(土壤栽培),供试作物有黄瓜、油菜和水稻,试

验结果如表 7 所示.

表 7 处理出水灌溉的作物中重金属含量 (mg/kg)
Table 7 Heavy metals content in vegetable and rice gain using treated effluent for irrigation (mg/kg)

栽培条件	灌溉水质	重金属	黄瓜 (鲜样)	油菜 (鲜样)	水稻 (籽粒)
基质栽培	处理出水	Cd	0.007	0.004	—
	处理出水	Hg	0.016	0.0001	—
土壤栽培	处理出水	Hg	0.014	0.0004	0.017
	原污水	Hg	0.0203	0.011	0.023

从灌溉水质看,处理出水灌溉种植的黄瓜、油菜和水稻中重金属 Hg 的含量均比污水灌溉减少近一半左右,特别是污水灌溉的黄瓜和水稻中汞的含量都超过了食品卫生标准.从栽培条件看,在同一灌溉水质条件下,基质栽培和土壤栽培的黄瓜中汞的含量相差不大,但油菜中汞的含量相差较大,可能是与供试土壤 Hg 的本底含量较高有关(砂壤为 0.231mg/kg,轻壤为 0.446 mg/kg),处理出水灌溉和污水灌溉种植的水稻籽粒中重金属 Hg 的含量较高也证明了这一点.从作物品种看,黄瓜中重金属含量比油菜高,可能是与黄瓜施农药次数较多有关.

3 结论

3.1 该项中试工程运行结果表明,人工快滤处理系统对城市污水具有较高的去除率,耐负荷冲击能力强,处理出水水质优于常规二级生化处理,部分水质指标达到了中水回用水质标准.

3.2 中试 2 年运行的结果表明,城市污水人工快滤处理系统的平均渗滤速率、水力负荷率和有机污染负荷分别为 0.339cm/min,208m/a 和 14.9kgBOD₅/(m²·a),与美国典型设计的快速渗滤处理相比,该处理系统的年水力负荷率和有机污染负荷分别为后者的 2 倍和 3 倍以上.

3.3 在人工快滤床运行的前 6 个月中,人工土壤中有机的含量增加,粗孔隙度降低,但运行至 1 年,甚至 2 年后,人工土壤中有机的含量和粗

孔隙度基本保持稳定状态.

3.4 处理出水可回用于人工快滤床床面的蔬菜无土栽培,且比污水灌溉减少蔬菜中硝酸盐含量;处理出水回用于农田灌溉,可降低黄瓜、油菜和水稻籽粒中重金属汞和镉的含量.

参考文献:

- [1] 周思毅.试论城市污水土地处理系统在我国的发展前景 [J]. 环境科学动态,1988,4:6-11.
- [2] 金传圣,凌江,刘鸿志.土地处理也是城市污水集中处理的方法之一 [J]. 环境保护,1999,1:16-17.
- [3] 国家环境保护局.水污染防治与城市污水资源化技术 [M]. 北京:科学出版社,1993.359-366.
- [4] 张祖锡,白瑛,李金玲.城市污水人工土快滤处理技术 [M]. 北京:中国科学技术出版社,1991.31-35.
- [5] S.C.里德,R.W.克赖茨,杨景辉译.工业和城镇污水土地处理系统设计手册 [M]. 北京:中国环境科学出版社,1989. 281-286.

作者简介: 崔理华(1963-),男,江西九江人,华南农业大学资源环境学院副教授,硕士生导师,主要从事水污染控制工程、生态工程与污染生态方面的教学与科研工作.参加与主持过国家攻关子项目研究、农业部重点科研项目、国家和广东省自然科学基金课题多项,合编著作 3 本,发表论文 15 篇.

环 保 信 息

- 2000 年世界杰出女生物学家奖揭晓 2000 年世界杰出女生物学家奖揭晓,颁奖仪式 1 月 10 日晚在巴黎联合国教科文组织总部隆重举行.5 位分别来自世界五大洲的女生物学家获得了该项奖项.
- 台湾地震灾区重建将花费 2 千亿元台币 据台湾“经建会”初步估计,由于地震给岛内造成重大损失,灾区重建计划将需经费约 20 亿元台币.
- 日本运回出口到菲律宾的垃圾 在菲律宾政府的干预下,日本产业废弃物处理公司 1 月 10 日将出口到菲律宾的有害废弃物运回东京.