

不同配水周期人工土快滤系统对城市污水的净化效果

刘英¹, 李国学¹, 崔理华²

(1. 中国农业大学资源和环境学院, 北京 100094; 2. 华南农业大学资源和环境学院, 广东 广州 510642)

摘要: 在土柱内装填人工土滤料, 利用中国农业大学排放的混合污水进行了 3 种配水时间 4 种湿干比污水处理试验。结果表明, 在人工土运行过程中, 短的配水周期和干化时间可恢复较大的渗滤速率, 而较长时间淹灌, 需要相应地延长其干化时间; 春、夏、秋、冬 4 个季节人工土滤出水 COD、BOD₅ 和 SS 值均以配水 8 h 去除率最高。全磷含量的配水 8 h 最低, 去除率一般在 40%~68%。对氮的去除能力, 湿干比越小, 干化时间越长, 则越有利于氮的去除。

关键词: 污水; 人工土; 配水周期; 净化效果

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2000)06-0332-04

污水土地处理就是将城市污水经一定程度的前处理后有控制地投配到地表, 通过土壤—植物—微生物生态系统净化功能, 使污水达到预期出水水质的一种方法^[5], 它包括慢速渗滤、快速渗滤、地表漫流和湿地处理。人工土快滤处理系统就是一种特殊的快滤土地处理法, 这种方法以人工配制的人工土壤作为滤料, 通过物理、化学和生物化学等作用使污水得到净化。它是一种投资少、能耗低、灵活方便、适应性广的城市污水处理新技术。

同其他土地处理法一样, 人工土快滤处理系统必须有完善的运行管理技术和较好的处理技术才能使系统有较高的水力负荷和较好的处理效果, 并能稳定而持久地运行。这些运行管理技术包括配水周期和湿干比等调控技术, 人工土表面的管理技术包括雨季和冬季的运行管理等。其中适宜的配水周期与湿干比的确定, 是快滤运行的技术关键, 决定或影响着快滤系统的水力负荷和处理效果。配水周期与湿干比的设计取决于土壤特性、气候条件、污水水质以及处理目标^[1~4]。美国 EPA(1984)提供的资料指出^[1], 使快速渗滤(RI)系统土壤入渗速率最大(前处理为一级处理)的配水周期与干化周期, 夏季分别为 1~2 d 和 5~7 d, 冬季分别为 1~2 d 和 7~12 d。Leach^[3]等选用了四种不同配水周期与干化周期对快滤系统进行研究后指出, 配水 1 d 干化 1 d 是他所设计的试验方案中最佳方案。Reed 和 Crites^[2]的文献中提到, 对于前处理为一级处理而言, 推荐的湿干比一般介于 0.1~0.3。本文对于人工土滤床的适宜配水周期与湿干比作了进一步的研究。

1 材料和方法

1.1 土柱 土柱采用缸瓦管(直径 20 cm, 高 130 cm)内装由粗砂、草炭和耕层土壤按一定比例配制的滤料—人工土, 土层厚度为 100 cm, 土层下垫有厚 20 cm 由不同大小的卵石和石砾组成的承托层, 其总孔隙度可达 35%左右, 承托层除了起支持作用外, 还为滤出水的顺利排出, 维持较高的渗滤速率和土壤气体交换起到了良好作用。

1.2 污水 供试污水取自中国农业大学混合污水, COD 为 238 mg/L, BOD₅ 为 140 mg/L, SS 为 114 mg/L, 总氮为 62.5 mg/L, 总磷为 2.74 mg/L, pH 为 7.6。

1.3 试验方案 试验设置了 3 种配水时间, 分别为 8、12 和 16 h, 每种配水时间共设 4 种湿干比, 分别为 1:2, 1:5, 1:8 和 1:11, 共 12 种方案。

1.4 分析项目和方法^[6~8]

化学需氧量(COD)采用重铬酸钾法, 生化需氧量(BOD₅)采用碘量法, 总悬浮物(SS)采用减压抽滤法, 全氮为开氏蒸馏, 全磷采用钼蓝比色法, 土壤有机质采用重铬酸钾法, 土壤孔隙度采用环刀法, 土壤水采用重量法。

渗滤速率 K 计算方法 渗滤速率(K)是指土壤溶液呈饱和时的导水率^[6], 滤床人工土渗滤速率(K)是在配水期间内单位时间单位面积内水的通量, 是反映人工土处理污水时的水力传导度的指标。渗透速率与配水时间和湿干比有直接关系, 同时受污水性质、

收稿日期: 2000-01-23

人工土孔隙状况、气温以及湿度有很大关系。据达西定律:

$$K = \frac{Q}{S \cdot I \cdot T_w}$$

式中: K —— t 时的渗透速率, cm/min ;

Q —— T 时间内的总渗水量, cm^3 ;

S —— 渗滤床面积, cm^2 ;

I —— 水力梯度, 等于 L/H , L 为人工土厚度 (cm), H 为 L 加上水层厚度, cm ;

T_w —— 配水时间, h 。

水力负荷 HL 计算方法 从污水土地处理系统来说, 滤床的运行过程包括配水时间和干化时间两部分组成, 而反映滤床运行过程的污水处理能力的真正有意义的指标是水力负荷率, 它是指在整个水力负荷周期 (包括配水与干化时间) 内单位时间人工土滤床

的水通量, 用 HL 表示, 单位为 m/d 。

$$HL (\text{m}/\text{d}) = Q / (T_w + T_d) \cdot S$$

式中: T_d 为干化时间, h 。

2 结果与讨论

2.1 不同配水时间和湿干比对人工土渗滤速率和水力负荷的影响

表 1 为人工土在春、夏季运行过程中的渗滤速率及水力负荷变化。表 1 表明, 春季配水 12 h 和 16 h 的渗滤速率随干化时间延长即湿干比变小而增大, 尤其配水 16 h 的这种趋势表现得更明显。而配水 8 h 的渗滤速率最大值出现在湿干比为 1/5, 再延长干化时间, 渗滤速率反而下降, 这说明采用短的配水周期即可恢复较大的渗滤速率; 而较长时间淹灌, 需要相应地延长其干化时间。

表 1 人工土渗滤速率及水力负荷 ($K = \text{cm}/\text{min}$, $HL = \text{m}/\text{d}$)

配水时间(h)		8				12				16			
湿干比		1/2	1/5	1/8	1/11	1/2	1/5	1/8	1/11	1/2	1/5	1/8	1/11
春季	K	0.46	0.618	0.436	0.45	0.402	0.524	0.664	0.688	0.288	0.362	0.468	0.752
	HL	2.208	1.482	0.698	0.54	1.93	1.258	1.062	0.82	1.238	0.86	0.748	0.902
夏季	K	0.414	0.644	0.46	0.464	0.404	0.346	0.528	0.49	0.188	0.296	0.618	0.61
	HL	1.988	1.546	0.556	0.556	1.938	0.83	0.844	0.588	0.902	0.71	0.988	0.732
秋季	K	0.371	0.671	0.655	0.685	0.360	0.650	0.663	0.534	0.275	0.491	0.723	0.568
	HL	1.781	1.610	1.048	0.822	1.728	1.560	1.061	0.641	1.320	1.178	1.157	0.682
冬季	K	0.123	0.168	0.240	0.394	0.062	0.178	0.221	0.363	0.055	0.163	0.375	0.344
	HL	0.590	0.403	0.384	0.473	0.297	0.427	0.354	0.436	0.264	0.391	0.600	0.413

夏季的变化规律基本与春季一致, 但配水 12 h 与配水 16 h 的渗滤速率最大值出现在湿干比为 1/8, 而过长的干化周期由于夏季雨水多反而影响土层落干。配水 8 h 其渗滤速率最大值也是落干湿干比为 1/5, 同样说明了短时间淹灌只须较短时间落干。

从表中还可以看出, 夏季虽然气温和水温高, 但渗滤速率不比春季高, 这是由于夏季降水明显高于春季, 滤床表面湿度高于春季。

秋季气候比较干燥同时气温相对较高, 因此这种条件非常有利于滤床干化和渗滤速率的恢复。随着湿干比减小, 干化时间的延长, 滤床渗滤速率呈增大趋势, 但湿干比减小到 1/5 和 1/8 时, 滤床渗滤速率趋于稳定。而不同配水时间差异较小。由于冬季气温低, 滤床在日光温室中运行, 渗滤速率普遍较其他季节要低, 但变化规律与秋季相似。

由表中可以看出, 春季、夏季和秋季, 其水力负荷率均是随湿干比的减小而减小。水力负荷按湿干比 $1/2 > 1/5 > 1/8 > 1/11$ 明显减少, 春季、夏季和秋季均以配水 8 h, 湿干比为 1/2 的水力负荷最大。

而冬季各配水时间条件下, 均以 1/8 和 1/11 较小的湿干比即较长的干化时间有较大的水力负荷。

2.2 不同配水周期和湿干化的人工土处理 COD 和 BOD₅ 的效果

2.2.1 对 COD 去除的影响

人工土对污水中 COD 有显著的去 除效果, 但随配水时间和湿干比不同其处理效果也不一样 (表 2)。从表 2 可以看出, 春、夏季人工土滤出水 COD 值均以配水 8 h 最小, 按照 COD 值小于 60 mg/L 的二级生化出水标准, 则配水 8 h 的春夏季 100% 达标; 配水 12 h 春夏季只有 25% 达标; 配水 16 h 春季 25% 达标, 夏季 5% 达标。从各配水周期的平均去除率看, 春、夏季均是配水 8 h 平均最大, 由此说明配水 8 h 人工土对 COD 具有最佳的去除能力。从表中还可以看出, 秋、冬季以配水 8 h 出水水质较好, 若以 COD 小于 100 mg/L 为标准, 则配水 8 h 秋、冬季 100% 达标; 配水 12 h 秋季只有 50% 达标, 冬季 75% 达标; 配水 16 h 秋、冬季只有 75% 达标。从去除率看, 秋、冬季配水 8 h 平均去除率最高, 说明配水 8 h 对 COD 具有良

表 2 人工土滤出水 COD 及其去除率

配水周期 (h)	湿干比	春季		夏季		秋季		冬季	
		滤出水(mg/L)	去除率(%)	滤出水(mg/L)	去除率(%)	滤出水(mg/L)	去除率(%)	滤出水(mg/L)	去除率(%)
8	1 2	33.8	86.2	56.9	76.8	89.3	50.9	56.1	75.8
	1 5	39.8	78.1	58.8	66.6	90.4	51.9	88.3	61.9
	1 8	54.5	75.8	55.4	74.6	92.7	47.9	90.8	60.9
	1 11	46.7	75.3	24.7	86.0	87.1	49.4	93.6	59.6
12	1 2	68.7	73.5	42.1	77.1	106	40.4	55.7	76.0
	1 5	70.8	68.5	70.9	67.5	104	45.5	90.4	61.0
	1 8	102	52.6	86.3	58.5	84.7	46.7	89.3	61.5
	1 11	54.3	74.3	80.1	62.4	95.6	43.8	100	56.9
16	1 2	86.4	65.4	55.2	67.7	99.1	47.3	74.4	67.9
	1 5	55.8	70.5	55.7	68.4	94.9	44.5	84.1	63.8
	1 8	102	51.7	116	56.4	99.2	38.8	95.1	59.0
	1 11	80.0	57.9	95	55.0	100	47.1	132	43.1

好的去除效果。另外,秋季 COD 去除率均较低,这主要是由于秋季渗滤速率较高的缘故。

2.2.2 对 BOD₅ 去除的影响

从表 3 可看出,配水 8 h 的人工土出水 BOD₅ 较低,均小于二级生化出水标准 (BOD₅ 30 mg/L), (冬季湿干比为 1 11 的土柱其渗滤速率较快,故出水 BOD₅ 超标),秋季土柱对 BOD₅ 的去除率以配水 8 h 最高,但它低于冬季配水 8 h 的土柱。冬季配水 8 h 除湿干比 1 11 以外, BOD₅ 去除率均达 90%,可以说土柱对 BOD₅ 有良好的去除效果,这主要是因为冬季试验用污水是纯生活污水,自然较易生化降解,其

BOD₅ 去除率也很高。

2.3 不同配水周期和湿干比对悬浮物 SS 处理效果

污水渗经人工土层时,其中的悬浮物质通过土壤截留、吸除、微生物的分解等作用而得到去除。配水周期与湿干比不同,人工土对 SS 的去除效果也不同,表 4 是春、夏、秋三季不同配水周期人工土滤出水 SS 及其去除率。从表中看出,所有出水 SS 均达到或低于二级生化出水标准 (SS 30 mg/L), SS 的去除率一般在 70%~90%,其中,配水 8 h 的平均去除率最高,说明人工土对污水中 SS 有较高的去除能力,且以配水 8 h 效果最佳。

表 3 人工土滤出水 BOD₅ 及其去除率

配水时间(h)	8				12				16				
	湿干比	1 2	1 5	1 8	1 11	1 2	1 5	1 8	1 11	1 2	1 5	1 8	1 11
秋季	出水(mg/L)	21.3	21	18.5	19.6	32.9	32.4	19.4	29.6	18.8	36.8	25.9	27.8
	去除率(%)	64.4	71.4	68.2	66.8	46.7	41.5	66.9	56.1	74.4	44.7	57.5	52.2
冬季	出水(mg/L)	5.68	11.8	14	37.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	去除率(%)	95.6	90.9	89.2	70.8	—	—	—	—	—	—	—	—

表 4 人工土滤出水 SS 及其去除率

配水时间(h)	8				12				16				
	湿干比	1 2	1 5	1 8	1 11	1 2	1 5	1 8	1 11	1 2	1 5	1 8	1 11
春季	出水(mg/L)	10.7	19.8	20.2	15.4	10.3	14.3	30.6	16.8	18.3	25.2	23.7	23.1
	去除率(%)	89.1	72	69.9	82.2	90.3	78.7	61	80.3	82.2	70.9	72.2	71.2
夏季	出水(mg/L)	17.6	17.9	17.4	12.7	15.8	19.7	22	21.1	17.3	17.4	26.5	23.3
	去除率(%)	81	75.3	79.5	82.5	79.6	76.8	73.2	74.7	76.5	76	73.2	71.9
秋季	出水(mg/L)	21.2	16.5	17	25.1	24	25.2	17.1	17.5	9.3	17.2	82.8	20.7
	去除率(%)	66.3	80.4	77	64.1	69.4	54.8	74	67.6	88.9	72.9	56.4	70.8

2.4 不同配水周期和湿干比对氮和磷的去除效果

表 5 是土柱滤出水全氮、全磷及其去除率氮的去除能力结果。我们另增设了配水 24 h 这一组。由表 5 可知,土柱对磷的去除能力较强,其去除率一般在 40%~68%,出水中全磷含量的配水 8 h 最低。土柱

对氮的去除能力有强有弱,湿干比为 1 8 和 1 11 的土柱对全氮的去除率一般为 30%~47%,高于湿干比为 1 2 和 1 5 的处理效果,但他们渗滤速率却快于前两者。由此可以看出湿干比越小,干化时间越长,则越有利于土壤恢复好氧条件,在此条件下,可使

表 5 土柱滤出水全氮、全磷及其去除率

配水时间(h)		8				12				16							
湿干比		1	2	1	5	1	8	1	11	1	2	1	5	1	8	1	11
TN	出水(mg/L)	50.7	54.8	35.1	39.5	56.3	55	47.2	42	44.1	48.7	46.4	39.2	44.1	48.7	46.4	39.2
	去除率(%)	19	16.2	46.8	38.6	12.6	13.5	29.3	33.8	32.6	25.9	33.4	39.2	32.6	25.9	33.4	39.2
TP	出水(mg/L)	1.22	0.924	1.4	0.991	2.52	1.69	1.66	1.17	2.68	1.56	1.38	2.63	2.68	1.56	1.38	2.63
	去除率(%)	55.5	67.5	55	66.3	18.2	42.9	44.3	60.1	5.6	47.3	55.5	18.1	5.6	47.3	55.5	18.1

硝化作用和反硝化作用进行得更充分,故对氮的去除也增大。而干化时间短,不能使土壤充分恢复好氧条件,从而阻碍了去除氮途径的第一步,即硝化作用的完成。

3 结论

人工土运行过程中,短的配水周期和干化时间可恢复较大的渗滤速率,而较长时间淹灌,需要相应地延长其干化时间;春、夏、秋、冬 4 个季节人工土滤出水 COD、BOD₅ 和 SS 值均以配水 8 h 去除率最高。全磷含量的配水 8 h 最低,去除率一般在 40%~68%。对氮的去除能力,湿干比越小,干化时间越长,则越有利于氮的去除。

参考文献:

- [1] Reed S C and Crites R W. Handbook of land treatment systems for industrial and municipal wastewater. Noyes Data Corp., Park Ridge, N J, 1984.
- [2] Reed SC and Crites RW. Problems with rapid infiltration—a post

mortem analysis. WPCFJ, 1985, 57(8).

- [3] Leech LE and Enfield CG. Nitrogen control in domestic wastewater rapid infiltration system. WPCFJ. 1983, 55(9).
- [4] 李国学,等. 污水人工土快滤处理系统[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [5] 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,1998,4.
- [6] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社.
- [7] 南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社,1978.
- [8] 奚旦立,等. 环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,1987.

作者简介:

刘英(1960—),女,中国农业大学资源和环境学院生态和环境科学系助研。一直从事环境保护专业的教学和科研工作,主要专业方向是环境监测、环境污染治理。已发表有关论文 10 余篇,自编和出版专著各 1 本。

Purification Effect of a Rapid Infiltration System Using Artificial Soil with Different Irrigating Period on Treatment of Municipal Sewage

LIU Ying¹, LI Guo-xue¹, CUI Li-hua²

(1. College of Resource and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing, 100094 China;

2. College of Resource and Environmental Science, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642 China)

Abstract: A test was conducted to purify sewage from CAU with a modeling cylinder filled by artificial soil with 3 irrigating time and 4 ratios of wetting - drying. The result showed that a plan with short irrigating time and short dry time was beneficial to return infiltration function of infiltration bed, if there was a long irrigation time to be used during treatment, and long dry time correspond to it. It has been found that there were highest removal effects for COD, BOD₅, SS and TN of sewage in 4 seasons with 8 h of irrigating time. The short ratio of wetting and drying time with long drying time was suitable to remove N in the sewage.

Key words: sewage; artificial soil; irrigating time; purifying effect