

慢速渗滤土地处理法去除污水中 污染物的效率研究*

蔡思义 郑振华 陆 华 杨 虹

(农业部环境保护科研监测所)

摘要 本文就不同水质、不同水量、不同作物对慢速渗滤系统中污染物去除效率进行了探讨。通过该法与其它土地处理法和人工常规二级、三级污水处理技术对污染物去除率的比较,表明慢速渗滤土地处理法效果更好。

关键词 慢速渗滤;土地处理污水;污染物。

慢速渗滤污水土地处理法是指在一定的水力负荷范围内有控制地向生长有植物的土地表面施用污水。污水在土地表面流经土壤-植物复合体时得到处理。一部分污水被植物吸收利用,一部分可能进入地下水。目前,根据不同的目的,和自然条件发展了多种形式的污水土地处理系统,如慢速渗滤、快速渗滤、地表漫流和湿地灌溉等。当然,每一种类型都有自身的特点和适用范围,其中慢速

渗滤系统应用范围更广泛些,而且在所有的土地处理系统中,就可靠性和处理后的出水水质而言,慢速渗滤系统通常能产生较好的效果,并能达到投资少,效益高的目的。

一、试 验 方 案

田间工程详见图 1。

大田面积约 10 亩,划分小区(30 米 × 11 米/个,约 0.5 亩/个)9 个,设置集水取水装

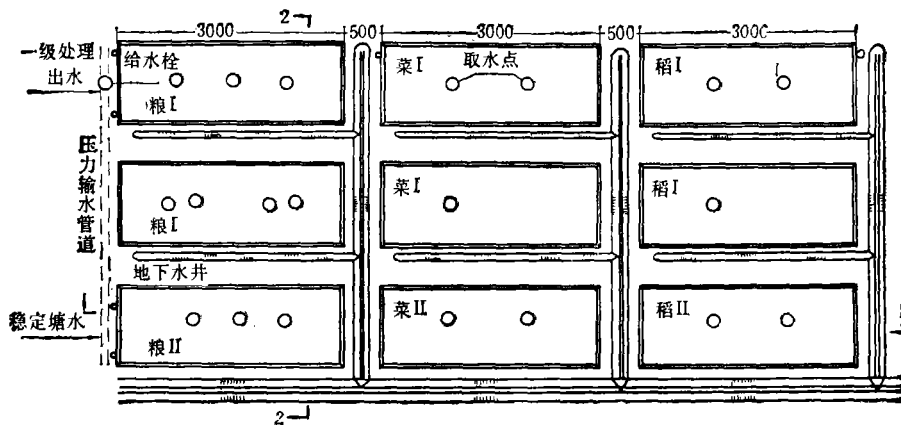


图 1 慢速渗滤系统田间工程平面图

置 12 个,打浅层地下水井 8 眼。

作物选择:粮(玉米-小麦)、菜(茄子-大白菜)和稻。作物选择的原则主要考虑作物的代表性和耗水量。至于蔬菜,不是系统推荐的作物,主要试图利用不同水质作些试

验观察,以便积累资料,将来提出较合理的利用方案 and 对策。

用水计划主要依据作物需要,土壤湿度,

* 国家“七五”科技攻关项目。

参加工作的还有李应学、刘庆余、沈伟然、邱汉文等。

天气情况决定,一般 2 周灌水一次,每次进水量为 $60\text{m}^3/\text{亩}$ 。1 号地进一级处理的污水,II 号地进一级处理加稳定塘处理的污水。同一种作物,进水的频率和灌水量都相同。水样的采集和分析频率随各种作物的灌水频率,采集进、出水进行分析,每次布水前先排除采

样点原有积水,然后布水,再经 24h 后取水样,随后分析。数据是 1988—1989 年两年运行监测统计的结果。

二、结果和讨论

(一) 测定结果见 1—6 表。

表 1 慢速渗滤系统 BOD₅ 和 SS 的去除效果

水 源	作 物	水力负荷 (cm/a)	BOD ₅ (ppm)			SS(ppm)		
			进 水	出 水	去除率 (%)	进 水	出 水	去除率 (%)
一 级 处 理	玉米-小麦	160	202	1.3	99.3	113.7	16.1	84.2
	茄子-大白菜	158	180.7	1.4	99.2	91.7	14.2	81.7
	稻	266	174.3	11.1	94.0	115.0	20.9	80.4
稳 定 塘	玉米-小麦	160	30.8	1.8	91.5	46.0	17.3	64.0
	茄子-大白菜	158	24.8	1.4	90.0	48.0	11.5	72.3
	稻	266	18.6	3.3	73.0	55.2	13.3	73.0

表 2 慢速渗滤系统氮、磷的去除效果

水 源	作 物	水力负荷 (cm/a)	TK-N(ppm)			NH ₄ -N(ppm)			T-P(ppm)		
			进 水	出 水	去除率 (%)	进 水	出 水	去除率 (%)	进 水	出 水	去除率 (%)
一 级 处 理	玉米-小麦	160	34.6	0.67	98.1	22.2	0.11	99.5	2.23	0.072	96.8
	茄子-大白菜	158	33.5	0.78	97.7	21.5	0.16	99.3	2.13	0.076	96.4
	稻	266	38.8	2.31	94.1	24.1	0.88	96.4	2.36	0.099	95.8
稳 定 塘	玉米-小麦	160	11.2	0.75	93.3	6.25	0.12	98.1	0.70	0.053	92.4
	茄子-大白菜	158	12.2	0.45	96.3	6.23	0.02	99.7	0.66	0.054	91.8
	稻	266	7.41	1.22	83.5	2.53	0.56	77.9	0.35	0.054	84.6

(二) 讨论

1. 慢速渗滤系统监测数据的综合分析

从表 1—4 的结果可以看出,慢速渗滤系统对各种污染物质有很高的去除效果。在各种生态结构的组合比较中,以一级处理出水,通过 1m 土层的玉米-小麦系统的综合效果最佳。从慢速渗滤系统的处理与利用相结合的原则出发,玉米-小麦轮作系统不但对污水

的处理效果好,而且这种组合结构的工艺运行时间长,一年可以连续运行 10 个月以上,对除氮、磷的效果比较好,对污水输入氮的去除率可达 70%,对磷的去除率达 50%,作物充分利用了水肥资源,有较好的经济效益,两茬作物年产量可达 $750\text{kg}/\text{亩}$ 左右。经统计,若以日处理 1000m^3 的规模,灌溉面积按 365 亩,每亩需水 $1000\text{m}^3/\text{a}$ 计,那么一年最

表 3 难降解有机污染物的去除效果

化 合 物	系 统 浓 度 与 去 除 率	土 壤 - 玉 米			土 壤 - 小 麦		
		进水浓度* (ppb)	出水浓度 (ppb)	去除率 (%)	进水浓度* (ppb)	出水浓度 (ppb)	去除率 (%)
甲 苯		17.55	NF**	>93.2	—	—	—
二 甲 苯		9.19	3.28	64.3	4.04	NF	>71.3
1,4-二氯苯		2.049	NF	100	1.27	NF	100
1,2,3-三氯苯		0.477	NF	100	0.385	0.038	90
六 氯 苯		0.670	NF	100	0.900	0.0025	99.7
α -666		0.015	NF	100	0.064	0.016	75
β -666		NF	NF	100	0.276	0.076	99.9
γ -666		0.015	NF	100	0.899	0.0015	99.8
δ -666		0.063	NF	100	NF	NF	NF
2,6-二氯酚		9284.9	NF	100	3.67	0.184	94.95
2,4,5-三氯酚		0.1764	NF	100	0.054	0.0036	99.3
2,3,4,6-四氯酚		0.242	NF	100	0.022	NF	100
萘		47.0	NF	>97.5	9.99	8.08	19.2

* 进水为一级处理出水, ** NF 表示未检出。

表 4 卫生指标的净化效果

水 源	项 目	蠕 虫 卵 (n/L)	细菌总数 (CFU/ml)	大肠菌群 (MPN/100ml)	粪大肠菌群 (MPN/L)	水力负荷 m/a
进水(一级处理出水)		0—12	4.8×10^4	6.8×10^{10}	1.7×10^9	1.58
出水(菜地系统)		未检出	2.6×10^3	1.3×10^4	3.8×10^4	
去除率(%)		99.99	99.99	99.99	99.99	

少可省水费 7000 元, 节省化肥(氮、磷)价值 18300 元, 粮食收入 40000 元, 总计可计算的收益每年达 65300 元。另外, 管理方便, 无需对常规的农事作业作较多的变化。卫生学方面也比较安全, 因小麦、玉米属中高秆种子植物, 可食部分不易受到生物性污染。

2. 对慢速渗滤系统技术路线的分析

慢速渗滤系统有别于污灌系统。国内的污灌系统有积极的一面, 也存在一些问题, 其

中最突出的是污水未经任何处理就利用, 这就难免出现污染事故, 甚至严重的污染事故。从分析的数据来看, 经一级处理的出水灌溉大田作物还可行(重金属等污染物要符合国家农田灌溉水质标准), 菜田则不可行, 因为水质中的卫生指标没有达到要求。从我国的实际情况出发, 污水灌溉必须用慢速渗滤系统的工艺加以改造, 完善提高。同时发展慢速渗滤系统又必须以现有的污水灌区作基

表 5 慢速渗滤系统冬季运行试验结果

水 源	作物与地块	水力负荷 (cm/月)	BOD ₅ (ppm)		SS(ppm)		TK-N(ppm)		NH ₄ -N(ppm)		TP(ppm)		大肠菌群 (mpn/100ml)		
			进水	出水	去除率 (%)	进水	出水	去除率 (%)	进水	出水	去除率 (%)	进水	出水	去除率 (%)	出水
一 级 处 理	麦 地	6.09	162.1	3.34	97.9	139.7	9.5	93.2	33.4	3.2	90.4	19.8	0.14	99.0	2.1
	菜地 (白地)	15.63	162.1	1.58	99.0	139.7	17.3	87.6	33.4	1.8	94.6	19.8	0.04	99.0	2.1
	稻田 (白地)	18.02	162.1	5.63	96.5	139.7	18.9	86.5	33.4	3.6	89.2	19.8	未检出	100	2.1

* 冬季运行指 12 月至来年 3 月。

表 6 不同水处理过程中污染物去除效果比较①

项 目	工 艺	慢速渗滤④		快速渗滤		土地漫流		渗滤湿地②		二级处理		三级处理	
		出水水质	去除率 (%)	出水水质	去除率 (%)	出水水质	去除率 (%)	出水水质	去除率 (%)	出水水质	去除率 (%)	出水水质	去除率 (%)
BOD ₅ (ppm)		<2	>99	<5	>85	10	>85	9.4	93.9	<30	>85	3—4	>90
SS (ppm)		<1	>90	<2	>85	10	>80	9.7	91	<30	80	<1	>90
TK-N (ppm)		<3	>90	<10	>60	5	>80	6.6	82.6	10—40	30		
NH ₄ -N (ppm)		<0.5	>99	<0.5	>60	<4	>85	2.3	90	6	30	1—10	
T-P (ppm)		<0.1	>90	<1	>60	4	>40	0.29	87.5	<5	20	<0.1	
大肠菌群③ (个/100ml)		0—10	99.99	10	>99	200	>99	2.4×10 ³	99			0—2	>99

① 上述数据综合国内外有关的资料,只反映各工艺的一般状态 and 水平; ② 渗滤湿地的数据是国内的试验资料; ③ 大肠菌群的数据除渗滤湿地工艺,其余均参考国外的资料; ④ 慢速渗滤是一级处理出水,通过 1m 不饱和土壤层的渗滤。

础,这才是比较现实可行的技术路线。

3. 关于慢速渗滤系统的终年运行问题

无论是慢速渗滤系统还是污水灌溉系统,人们普遍关心的问题之一是如何实现系统的终年运行。从表 5 可以看出,在冬季条件下,系统对污染物的去除效果仍然很好,去除率和出水水质都能达到满意的结果。以一级处理出水入麦地的系统为例,其 BOD_5 、SS、TK-N、 NH_4 -N、TP 等的去除率均在 90% 以上。实践证明,只要设计合理,管理得当,慢速渗滤系统是可以实现终年运行,当然各地要因地制宜,从实际出发。

4. 慢速渗滤系统与其他处理工艺比较

每一种工艺都有其自身的特点和适用范围,即各有优点和弱点。就工艺对污染物的去除率和出水水质比较,从表 6 可以明显看出,六种处理工艺中,慢速渗滤系统对污染物的去除率和出水水质确实有明显的优势,总体水平接近或达到了人工三级处理的水平,但是成本却远低于三级处理,特别在氮、磷的处理效果方面有其特殊的明显优势。

5. 慢速渗滤系统对污染物的净化机理

慢速渗滤系统之所以对污水中的污染物有极高的去除效果,主要是土壤-植物系统包括了过滤、吸附和生物氧化等十分复杂的综合过程。土壤有使污水得到净化恢复的特殊功能,它是多相,多孔,高度分散的体系,单位容积内具有极大的活性表面积(例如砂壤土为 $10-40m^2/g$,粘土为 $150-250m^2/g$)。它包含有各种矿物质与有机质,生长着数量惊人的各种微生物,如每克土有几亿细菌和放线菌,几十万真菌,还有少量藻类和原生动物,每亩地耕作层中可以含有上千斤活的微生物。所以土壤具有多种复杂的反应过程。

土壤-植物系统与污水中的氮可发生一系列相互联系的反应。污水中的有机氮通常随着污水中的颗粒物一起被土壤滤出或固

定。氨氮通过挥发、作物吸收及土壤粘土矿物吸附过程被去除。后者是一个可以连续进行的过程,因为土壤微生物能将粘土矿物吸附的 NH_4^+ 氧化成 NO_3^- ,从而使土壤的吸附能力得到恢复。硝态氮可以被植物吸收,或者在土壤厌气层经反硝化作用转化为 N_2 进入空气之中。

除磷机制包括作物吸收、生物、化学和物理过程。在慢速渗滤系统中,作物的吸收作用是除磷的一方面,但磷的去除主要发生在土壤中。在粘土矿物、铁铝氧化物和含钙物质存在的条件下,磷通过吸附和沉淀反应去除。

三、结 论

1. 慢速渗滤系统的污水处理工艺是一项投资少,效益高的有效应用技术,在有条件的地方可以积极推广应用。

2. 慢速渗滤系统的建设应该坚持处理与利用相结合的原则,这样比较符合国情,有利发展。

3. 慢速渗滤系统必须经过精心规划,周密设计,认真管理和经常监测,才能使之正常运行。

4. 慢速渗滤系统对污水中的污染物去除效果较高,但各地在选择处理工艺时还得因地制宜,从实际出发。

参 考 文 献

- [1] Reed, S. C., *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [2] USEPA, *Design Manual of Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*, EPA/635/1-88/022, 1988.
- [3] Reed, S. C., *Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Wastes*, Noyes Publications, 1984.
- [4] 刘永令,城市环境与城市生态,1(3),42(1988).

(收稿日期: 1991 年 1 月 28 日)

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

complete set of wastewater treating method by plants all the year round.

Key Words: artificial substratum, soilless cultivation, filtrate wastewater, *Ipomoea aquatica* Forsk, biopurification.

Removal of Pollutants in Sewage by Slow Rate Infiltration Land Treatment. Cai Siyi, Zheng Zhenhua, Lu Hua, Yang Hong (Institute of Agro-Environmental Protection, Ministry of Agriculture, Tianjin): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 52—56

This paper discusses the efficiency of the removal of pollutants from sewage with slow rate infiltration land treatment at different conditions including sewage qualities and quantities as well as plant species growing in the treating land. Compared with other treatment techniques, this method was found to be more effective.

Key Words: slow rate infiltration, land treatment, sewage, pollutants.

Study on the Design Parameters for Slow Rate Land Treatment. Lui Zhonghan (Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 57—61

The main design parameters of slow rate land treatment are hydraulic loading rate, constituent loading rates, application frequency and depth of water applied. As SR systems share better capability of deleting organic contaminants and the organic contaminant contents of municipal wastewater are far below the loading rates of SR system, the design parameters of SR system will be dominated by nitrogen concentration of wastewater. Under Kunming experimental conditions, 3.57g/m²·d of BOD₅ loading amount will not affect the process performance, however, nitrogen loading rate should not exceed 0.6—0.7g/m²·d. Hydraulic loading rate based on nitrogen limits is 3—6m/a. Under given allowable loading rates, the depth of applied water should be less than 7cm and the intervals between applications range from 4 to 5 days.

Key Words: land treatment, hydraulic loading rate.

Recent Advances in Dyeing Wastewater Treatment. Wang Kaimin Jin Zhijun (Engineering Institute of the Ministry of Textile Industry): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(4), 1991, pp. 62—67

Advances of the techniques in dyeing Wastewater treatment in recent years lies mainly in two aspects: improvement of biological processes, and development of new wastewater treatment chemicals. This paper presents the achievements during the Seventh Five-year Plan, most of which have already been tested by pilot experiments, and some of them have already had history of practical application. These include anaerobic aerobic bio-treatment

systems, bio-ferrous system, selection and application of fine varieties of decolouring bacteria and PVA degradation bacteria, new types of efficient coagulants, high voltage pulse electrolysis processes. All the techniques mentioned above, when applied to dyeing wastewater treatment, high treatment efficiency can be acquired: CODcr reduced by 70—90%, and colourity reduced by more than 70%.

Key Words: dyeing wastewater, biological treatment, chemical treatment, dominant species, sludge disposal.

Development of National Environmental Information System. Li Ya, Zhang Jiqiang (Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 68—72

"National Environmental Information System" (NEIS) was a National Key Project of the 7th 5-year Plan. The research background, methodology of the project as well as the structure, scale, main functions of NEIS and its further development objectives in the 8th 5-year Plan Period were described in this paper. The current situation of the information techniques was also outlined.

Key Words: National Environmental Information System.

A Study on Residues and Persistence of Insecticide 1-(4-Chlorophenyl)-3-(2-Chlorobenzoyl) Urea (CCU) in Chinese Cabbage and Soil. Mo Hanhong, An Fengchun (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica), Zhou Zhenhui, Xu Zhengyin, Weng Chaolian (Shanghai Institute of Entomology, Academia Sinica), Bi Wangfu, Deng Wenhong, Li Dengzhen, Li Yanning (Biology Center of Beijing Forestry University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 73—78

A study on the residues and persistence of insecticide 1-(4-chlorophenyl)-3-(2-chlorobenzoyl) urea (CCU), a chitin synthetase inhibitor, in Chinese cabbage and soil was carried out in northern and southern China during 1988 and 1989, respectively. The results in the study indicated that CCU could break down easily in plant and soil. The half-life values for CCU was 3.8—14.0 days in Chinese cabbage and 8.8—27.0 days in soil. The maximum level of CCU residues was 2.67 ppm in Chinese cabbage and 13.81 ppm in soil 21 days after the last application of the pesticide at the application rates of 150 or 300g a. i./hectare and with application frequencies of 2 or 3. 3ppm as the maximum residues level for CCU in Chinese cabbage and 21 days as the safety interval for the vegetable treated with CCU were recommended.

Key Words: residue, persistence, insecticide 1-(4-chlorophenyl)-3-(2-chlorobenzoyl) urea (CCU), Chinese cabbage, soil.

A Comparison of the Elemental Character-