

污土地生态处理脱氮技术的中型试验研究

关小满¹, 张笑一^{2*}, 彭润芝³

(1. 山东省商业职业技术学院, 山东 济南 250103; 2. 贵州师范大学, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州省环境科学研究设计院, 贵州 贵阳 550002)

摘要:地沟式污土地生态处理工艺, 是自然生态净化与人工工艺相结合的小规模污水处理回用技术。它是采用土壤毛细管浸润扩散原理的浅型土壤处理技术, 在人工可控条件下, 将污水科学、合理地投配到设计定型的装置内, 利用污水的能量, 把其所携带的污染物, 通过人工基质(土壤、砂、碎石等, 填料-水-微生物-植物系统)的物质循环和能量流动, 逐级降解; 在不同的污染负荷、水力负荷下, 完成一系列物理、化学、物理化学和微生物化学、生物化学的反应。通过以贵州典型的黄壤土为主配比的人工土作为处理系统填料的现场中型试验, 探讨地沟式污土地处理系统的脱氮效果及其影响因素。地沟式污土地生态系统对氨氮和总氮去除效果良好, 去除率分别达到 84.7% 和 70.7%, 出水氨氮(14.0mg/L)和总氮(24.7mg/L), 达到建设部颁发的生活杂用水水质标准。对处理系统微生物数量及分布的研究表明: 处理系统中氮转化细菌丰富, 氨化细菌为 $10^3 \sim 10^6$ cfu/MPN/g(土壤)(cfu: 形成菌落数; MPN: 最大可能数量), 亚硝化菌为 $10^3 \sim 10^6$ MPN/g(土壤), 硝化菌 $10^4 \sim 10^6$ MPN/g(土壤), 反硝化细菌为 $10^3 \sim 10^6$ MPN/g(土壤)。由硝化/反硝化实现生物脱氮是土地生态处理系统去除总氮的主要途径; 建立土壤、土壤微生物、土壤植被环境以促进硝化作用是提高总氮去除率的关键。对进水 C/N 的测定表明: 合适的 C/N, 是保证反硝化菌高活性脱氮的必要条件。中试调控水力负荷 4.68cm/d 运转, 出水氨氮浓度平均值为 18.96mg/L, 去除率平均值为 75.64%, 达到污水排放二级标准(<25 mg/L)。地沟式污土地生态处理装置在系统处理负荷上仍有潜力。该系统以其设备简单、基建投资少、操作管理方便、能耗低, 有广阔的发展前景。

关键词:地沟式污土地处理; NH_4^+-N 去除率; C/N

Pilot study of removing nitrogen from sewage in under ground-ditch-pattern soil treatment system

GUAN Xiao-Man¹, ZHAN Xiao-Yi^{2*}, PENG Run-Zhi³ (1. Shandong Institute of Commerce and Technology, Jinan 250103; 2. Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 3. Guizhou Research and Design Academy of Environmental Sciences, Guiyang 550002, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 854~860.

Abstract: Underground-ditch-pattern soil treatment is a procedure whereby sewage is treated through self-purification in conjunction with manual techniques in a small scale system. This process is a kind of fleet soil zoology treatment technology, which relies on the principles of diffusion and capillary action in soil. Under artificially controlled conditions, sewage was distributed into the designated system equipped with a series of devices composed of soil, sand, pebbles, and a soil-water-animalcule-filling system, and was gradually decomposed as a result of a series of physical, chemical and biological reactions in different pollutant loadings and HRT (retention time). Through the pilot plant of underground-ditch-pattern soil zoology treatment system filled with soil mainly conected by yellow clay - the typical soil type found in Guizhou, this paper investigates the efficacy of such systems in removing nitrogen and the different factors that influence the rate of removal of nitrogen. Results showed that average removal rates of NH_4^+-N and TN were 84.7% and 70.7%, with average effluent concentrations of

基金项目:贵州省科技厅“十五”重点科技资助项目(黔科合体字(2001)6014号);贵阳市科技局科学技术计划资助项目(筑科农字[2003]第29号)

收稿日期:2003-11-13; **修订日期:**2004-07-03

作者简介:关小满(1978~),男,满族,主要从事水污染控制研究。E-mail: gxm1949@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: panz@vip.sina.com

Foundation item: Science and Technology Office of Guizhou Province(No. qian-ke-he-ti-zi(2001)6014); Science and Tchnology Department of Guiyang(No. zhu ke nong zi[2003]19)

Received date: 2003-11-13; **Accepted date:** 2004-07-03

Biography: GUAN Xiao-Man, mainly engaged in the contral of water pollution.

NH_4^+-N , TN being 14.0mg/L, 24.7mg/L respectively, which meets the standard for water reuse issued by the Ministry of Construction of China. Nitrogen transformation bacteria analysis revealed that there were abundant nitrogen transformation bacteria in the pilot system. $10^3 \sim 10^6$ cfu/g(soil, colony forming unit), $10^3 \sim 10^6$ MPN/g(soil, most probable number), $10^4 \sim 10^6$ MPN/g(soil), $10^3 \sim 10^6$ MPN/g(soil), were obtained respectively for ammonifying bacteria, nitrite bacteria, nitrate bacteria, denitrifying bacteria. Nitrogen in the influent was mainly eliminated through biological removal via nitrification/denitrification processes. Improving the nitrification performance through alterations in the soil-water-animalcule-plant environment proved to be the key to enhancing nitrogen removal rate. Results showed that appropriate concentrations of C/N are necessary for the process of denitrification. Moreover, when the pilot system was implemented with HRT of 4.5h, the effluent concentrations of NH_4^+-N was 18.48mg/L and the removal rates of NH_4^+-N was 82.87%, which met the standard for wastewater emission control regulations II (< 25 mg/L). Underground-ditch-pattern soil zoology treatment system has much potential in disposal loadings. At a reduced cost compared to existing mechanisms and with easy operation and management, this technique has many opportunities for further research and development.

Key words: under ground-ditch-pattern soil treatment; the removal ration of NH_4^+-N ; C/N

文章编号:1000-0933(2005)04-0854-07 中图分类号:Q988 文献标识码:A

当前,我国水环境状况十分严峻。水资源短缺与水污染严重,已成为影响我国可持续发展的重要问题。城市化、人口的剧增,大量的生活污水排沟没有与市政污水处理系统联网,就地排放量、污染物数量及种类剧增。尤其是农业面源、工业点源及生活源含氮污水量不断增加,造成地表水环境严重污染,氮污染也成为地下水污染的主要问题。解决水污染问题只依靠常规二级处理技术,不能解决诸如水体富营养化造成的二次污染问题,寻求低成本高效率的新型城市污水处理技术,一直是世界各国环保界关注的热点^[1,2]。

地沟式污水生态脱氮处理,是利用土壤毛细管浸润扩散原理的一种浅型土壤处理技术。它利用污水的能量,把其所携带的污染物,通过人工基质生态系统的物质循环和能量流动,逐级降解。研究开发就地污水处理系统,是根据我国国情,特别是贵州地区经济发展、地质、气候及人口分布特点,因地制宜,就地处理生活污水,实现生活污水处理无害化、资源化的有效途径;是突破国内外污水深度处理技术局限的一种革新与替代^[2~4]。

1 中型试验装置工艺设置

为进行研究设计的“地沟式污水土地生态处理中型试验装置”是两套可独立运行的平行装置。具有预处理,水量储存、调节、布水,水质调配,植物吸收、监测等功能。装置位于贵阳市贵州省环境科学研究设计院内。工艺流程见图1。

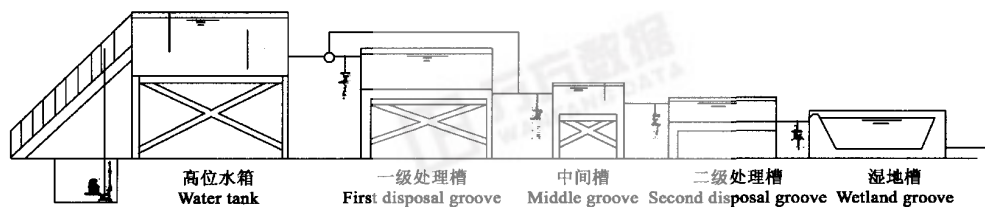


图1 中型试验装置工艺流程简图

Fig. 1 pilot plant arts and crafts flow

试验用水为贵州省环科院5#宿舍楼化粪池生活污水。经化粪池沉淀、分离、厌氧、气消化等预处理,除去大量悬浮杂物及降解了部分有机物后,由机械动力提升至高位水箱,经两次沉降,溢流进入多孔布水管,由各处理槽间相对位差和水土势,从势能大→小的位置,依次流入串联设置的处理槽,一、二植物的储存库。槽中栽种的草本植物都具有对污水中营养元素——氮磷钾吸收的共性。生活污水通过土壤级处理槽为地沟式处理槽,槽内填料是以贵州典型的黄壤为主配比的人工土,是土壤微生物、污染因子、毛细管浸润扩散作用,垂直向上或水平运动产生基质势,上升至土壤或植物根系区,其基质势随处理槽中人工土的含水率提高而增大,由此产生底部土壤和上层土壤间基质势差,不断增大污水与土壤颗粒、土壤生物膜及植物根系的直接接触面积,延长污水在系统中的停留时间。为提高二级槽的脱氮效果,增设中间槽,调控二级槽进水水质,为硝化反应提供氮源。经过周期运行的生活污水,与土壤-植物-微生物系统发生一系列相互联系的反应后,由自身重力势能作用渗滤到湿地槽底,形成积水后从集水管排出。

中型试验装置各处理单元结构、试验用填料的组成、处理槽栽种的植物情况见表 1。

表 1 地沟式污水土地生态工程处理系统中中型试验装置构筑物名细表
Table 1 Underground-ditch-patter soil treatment pilot plant building

名称 Name	规格(m) Standard	数量 Number	标高(m) Height	槽内结构及填料材质 Inside structure
高位水箱 Water tank	1.5×1.0×0.6	1	3.55	高位水箱内设塑料折板格网,设有溢流口和放空管,低部设出水管;贮水,调节配水 Water tank is equipped plastic baffle and drainpipe to reserve and regulate water
一级处理槽 First disposal groove	1.2×0.8×0.8	2	3.00	底层为 $\phi 30\sim 80\text{mm}$ 碎石, $h=20\text{cm}$;次上层为人工土(黄壤、鸡粪、草木灰、砂等), $h=60\text{cm}$;上层栽若豆藤、蔓常青藤、小玉竹(混杂自然生长)等观赏性植物;槽前、槽后分别设进、出水管 Gravel $\phi 30\sim 80\text{mm}$ is laid in the bottom;manual soil is laid upper that grow plants
二级处理槽 First disposal groove			1.90	
中间槽 middle groove	1.0×0.6×0.6	2	2.30	内设塑料折板隔段 plastic baffle is equipped inside
湿地槽 Wetland groove	1.8×1.5×0.8	2	1.15	底层 $\phi 30\sim 80\text{ mm}$ 鹅卵石碎石, $h=60\text{ mm}$;次上层为灰渣砂土;上层栽芋头、美人蕉等观赏性植物 Cobbles $\phi 30\sim 80\text{mm}$ are laid in the bottom;manual soil is laid upper that grow plants

3 中型试验

2001-11~2003-07,中型试验在常温、常压自然环境条件下分 4 个阶段进行。

水质常规理化指标的测定,执行《水和废水监测分析方法》。土壤微生物测定,按《土壤微生物分析方法手册》和《土壤微生物研究法》进行。

采样点设在各级处理槽的出水口。工艺调整后稳定运行 1 周采样。试验期间,试验水质每天不同时段(早、中、夜)在不同季节(随气温升高生活污水量增加)呈规律性的变化。第一阶段试验期间,试验水质月平均值见表 2。

中型试验装置 2001-11 投运。两套装置平行运转,测得污染因子去除效果见图 2。处理单元土壤微生物的种群数据见表 3。

3 月份温度较低时,微生物、植物活性受到抑制,温度和季节对土地生态处理系统运行效果(85.92%)有影响,但由于土人有一定保温作用。冬季处理槽表层植被虽然枯萎,根系基本停止了对营养元素(氮、磷)的摄取功能,但处理槽内受外界影响小,仍然保有一定的微生物种群数、菌落量以及土壤原生动物数量,能对污染物进行有效的降解。从取样分析结果看,污染物去除率 3 月份比 5 月份约低 11%,表明土地污水生态处理系统对冬季的低温有一定的容忍度,季节对运行效果影响不大。这是土地污水生态处理技术的优点之一。5 月份随着温度回升,微生物的活动越来越活跃,植物的生长也越来越旺盛,系统对 NH_4^+-N 的处理效率(96.49%)也相应提高。6~7 月份,由于生活污水量增加,污染物浓度相对降低,加之自然降水增多,系统的水力负荷增大,处理效果随之下降。

表 2 试验用水水质月平均值

项目 Item	2002 年 2002				
	Table 2 experimentation water quality average per month				
	3 月份 Mar.	4 月份 Apr.	5 月份 May	6 月份 Jun.	7 月份 Jul.
Temperature (℃)	14	15	18	23	24
pH	6.9	6.9	7.4	7.9	7.8
COD _{Cr} (mg/L)	267	254	244	212	208
BOD ₅ (mg/L)	142	142	105	104	119
SS(mg/L)	33	62	59	64	59
TP(mg/L)	9.26	8.45	5.15	6.43	9.80
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	102.63	102.24	61.56	58.68	95.11
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	1.28	1.45	1.95	1.35	1.88
TN(mg/L)	128.75	116.78	77.70	73.27	118.75

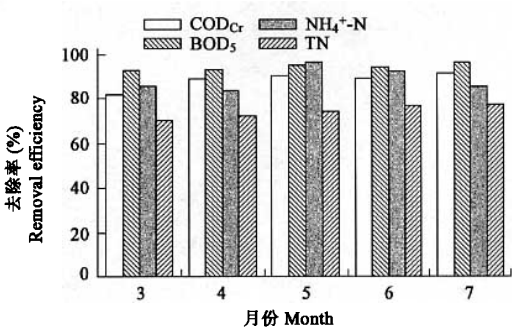


图 2 污染物去除率随时间变化图

Fig. 2 Monthly changes of contamination removal efficiency

由表 3 可以看出:

一级槽 亚硝化菌、硝化菌、反硝化菌和氨化菌的菌落在进、出水段及表土层分布均匀且均处于高活性(10^6),在深土层亚

硝化菌、硝化菌和氨化菌的数量均低 2~3 个数量级($10^3\sim10^4$)。一级槽表土层好氧菌种群的富集,深土层厌氧菌活跃。

二级槽 进水的污染因子浓度由中间槽配水调控。在表土层亚硝化菌(10^6)、硝化菌和氨化菌数量高于深土层。反硝化菌在深土层有明显的优势(10^5)。在这个独立的环境有明显的好氧、缺氧、厌氧界面。

表 3 各处理单元土壤微生物种群分布情况(MPN/g(soil))

Table 3 Bacteria distribution in per groove					
微生物种群 Bacteria name	采样点 Sampling points	进水口 Entrance	出水口 Export	表土层 Surface layer	土深层 Bottom layer
亚硝化菌 Nitrite bacteria	一级处理槽 First disposal groove	4.60×10^6	2.40×10^6	4.60×10^6	2.20×10^3
	二级处理槽 second disposal groove	2.90×10^6	2.70×10^5	2.00×10^5	1.50×10^3
	湿地槽 Wetland groove	1.50×10^6	9.30×10^5	6.50×10^5	—
硝化菌 Nitrate bacteria	一级处理槽 first disposal groove	1.10×10^6	2.10×10^6	1.50×10^6	1.60×10^4
	二级处理槽 second disposal groove	3.60×10^5	9.30×10^4	8.00×10^5	4.60×10^4
	湿地槽 Wetland groove	1.50×10^5	1.10×10^5	1.20×10^5	—
反硝化菌 Denitrifying bacteria	一级处理槽 First disposal groove	3.50×10^5	4.30×10^4	7.50×10^3	2.10×10^6
	二级处理槽 Second disposal groove	7.50×10^5	1.50×10^5	9.30×10^3	3.50×10^5
	湿地槽 Wetland groove	4.30×10^5	1.10×10^5	7.50×10^5	—
氨化菌 Ammonifying bacteria	一级处理槽 First disposal groove	2.00×10^6	4.60×10^6	2.10×10^6	4.40×10^4
	二级处理槽 Second disposal groove	2.10×10^5	2.80×10^5	1.50×10^5	3.60×10^3
	湿地槽 Wetland groove	1.20×10^6	2.80×10^5	1.30×10^6	—

湿地槽 4 种菌落在表土层分布均匀且处于高数量级 ($10^5\sim10^6$)。湿地槽表层下 5~10cm 的反硝化菌群数量(10^5)明显高于其它处理槽(10^3)。湿地槽中氧化还原条件和充足的碳源为亚硝化菌、硝化菌、反硝化菌和氨化菌群生长繁殖,高效脱氮提供了条件。

选取 4 月份监测数据进行分析,4 月份,贵阳地区气象条件接近全年平均值,年均降水量为 1162.5mm,4~8 月份降水量占年降水量的 72%左右。年平均气温 15.3℃,年日照时数为 1370h,日照率为 31%,年辐射总量为 375.13kJ/cm²,各级处理槽不同形态氮素浓度(C)及去除率(y)见表 4。

土壤中的 NH₄⁺-N,NO₃⁻-N,NO₂⁻-N,都可能成为处理槽中栽种植物的营养被吸收。一级槽中的 C/N 是比较高的,这有利于生物脱氮,而在二和湿地槽中 C/N 几乎全部小于 1。合适的 C/N 比是生物脱氮高效进行的关键所在^[5],C/N 偏低不利于反硝化的进行。要提高二级槽、湿地槽的脱氮效果,需向二级槽中投加碳源^[6]。为降低处理成本,提高处理效率,地沟式污水处理工艺在一级处理槽后增设了中间槽,通过向中间槽中投加一定比例生活污水,提高二级槽进水中 C/N,以强化其反硝化能力。试验筛选:一级槽出水与中间槽进水比例为 3+2 时,系统对 NH₄⁺-N 去除效果最好。2001-11~2003-07 期间,中试装置通过 4 个阶段对氮素去除率的测定结果见表 5。

4 土壤微生物种群数量分布与氮转化去除规律

地沟式污水土地处理系统的人工基质中存在的好氧、缺氧、厌氧状态,为自养型好氧微生物(亚硝化菌、硝化菌、氨化菌),异养型微生物(反硝化菌)大量存在提供了条件。使要求好氧条件的硝化反应、氨化反应,要求厌氧条件的反硝化反应可以同时完成。该系统具备氨化、硝化-反硝化脱氮的良好基础和很大潜力。

亚硝化菌、硝化菌在中试装置人工基质中富集,说明该系统表土层是好氧的,亚硝化菌、硝化菌在这个好氧的微环境繁衍栖息,使氮氮→亚硝态氮→硝态氮。

反硝化菌是异养型兼性厌氧菌,以有机质为碳源,以氧气为电子受体的好氧呼吸,以氮为电子受体的厌氧呼吸所用的电子转移,使反硝化反应能以较快的速度进行,不需要发生微生物数量的变化。在中试系统反硝化脱氮中,硝态氮含量决定了反硝化效果。土层下 30cm,是反硝化菌落富集区,反硝化细菌把硝化作用的产物硝态氮还原成 N₂O、N₂,从而达到从系统中去除氮的

表 4 各级处理槽出水氮素浓度(C)及去除率(y)

Table 4 Each disposal groove N concentration and removal efficiency	NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N		TN	
	C _{NH₄⁺-N}	y _{NH₄⁺-N}	C _{NO₃⁻-N}	y _{NO₃⁻-N}	C _{TN}	y _{TN}
	(mg/L)	(%)	(mg/L)	(%)	(mg/L)	(%)
化粪池 Cesspool	102.24	—	1.45	—	116.78	—
一级处理槽 First disposal groove	27.61	72.99	63.12	—	92.73	20.59
中间槽 Middle groove	66.72	—	36.28	—	102.75	—
二级处理槽 Second disposal groove	22.26	78.23	61.30	—	82.06	29.73
湿地槽 Wetland groove	16.55	83.81	50.89	—	65.24	44.13

目的。

氨化细菌使还原态有机氮化物转化成氨,进行氨化作用。在中试装置串联设置的处理槽中,氨化菌的种群数量分布相对稳定,它们以生活污水中的氮素(蛋白质、人粪尿等)为氮源,把有机氮分解成氨。

表 5 中试装置各级处理槽不同阶段氮素去除率汇总表
Table 5 Each disposal groove N concentration and removal efficiency

阶段 Phases	时间 Time (Month-day)	采样点 Sampling points	NH ₄ ⁺ -N			NO ₃ ⁻ -N		TN		
			进水浓度 Input (mg/L)	出水浓度 Export (mg/L)	去除率 Removal efficiency (%)	进水浓度 Input (mg/L)	出水浓度 Export (mg/L)	进水浓度 Input (mg/L)	出水浓度 Export (mg/L)	去除率 Removal efficiency (%)
1	01-12~02-07	一级槽 First disposal groove	93.44	64.88	30.57	1.99	35.57	106.16	102.88	3.09
		二级槽 Second disposal groove	64.88	16.41	74.71	35.57	43.33	102.88	60.39	43.11
		湿地槽 Wetland groove	16.41	13.81	85.22	43.33	39.85	60.39	54.14	49.00
2	02-08~02-12	一级槽 First disposal groove	88.23	61.21	30.62	1.71	32.35	100.22	94.34	5.87
		二级槽 Second disposal groove	61.21	16.61	81.17	32.35	44.89	94.34	61.48	38.65
		湿地槽 Wetland groove	16.61	9.52	89.21	44.89	27.85	61.48	37.88	62.20
3	03-01~03-03	一级槽 First disposal groove	85.61	59.47	30.53	1.21	31.17	97.54	91.38	6.32
		二级槽 Second disposal groove	59.47	15.27	82.16	31.17	40.67	91.38	56.36	42.24
		湿地槽 Wetland groove	15.27	9.31	89.15	40.67	26.21	56.36	36.14	62.95
4	03-04~03-07	一级槽 First disposal groove	84.91	58.57	31.02	1.51	31.74	96.74	90.78	6.16
		二级槽 Second disposal groove	58.57	15.37	73.76	31.74	40.44	90.78	56.16	41.95
		湿地槽 Wetland groove	15.37	9.00	89.40	40.44	26.27	56.16	35.46	63.35

4 水力负荷试验

合适的水力负荷可以维持土壤中污染物质的投配与降解平衡,保证系统连续运行状态下的处理结果。生活污水所携带的氮以有机氮和氨(或铵离子)的形式进入系统,它是土地生态处理过程最难以去除的物质,受水质、环境、操作条件的影响。在特定的环境条件下,系统对水力负荷有一定的适应性(耐冲击负荷性)和限量性。超过生态条件的负荷极限时,必然会破坏土地生态处理系统微生物赖以生存的环境。较长水力停留时间(HRT)有利于污水中的 NH₄⁺-N 与土壤中各种基质充分接触,发生硝化与反硝化作用,最终转化为无害的 N₂ 释放到大气中。2001-11~2003-07 期间,中试系统两套装置平行运转,进行了在不同水力负荷与水力停留时间土地生态系统对污染因子去除的效果的试验,表 6 列出了不同的 HRT 下中试系统对各项污染物的平均去除效果。

表 6 停留时间对中试装置处理效果的影响
Table 6 HRT concentration and removal efficiency

水力负荷 Hydraulic loadings (m ³ /(m ² ·d))	停留时间 HRT(h)	考核指标 Item	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	NH ₄ ⁺ -N	TN
1.56	13.4	进水 Input (mg/L)	148.78	247.92	135.5	80.70	97.82
		出水 Export(mg/L)	6.17	24.47	4.06	9.52	23.28
		N _v (g/m ³ ·d)	11.10	18.50	10.11	6.02	7.3
		去除率(%)Removal efficiency	95.85	90.13	97.00	88.20	76.20
3.12	6.7	进水 Input (mg/L)	154.32	273.18	157.8	85.40	106.42
		出水 Export(mg/L)	8.21	30.43	5.6	11.44	30.18
		N _V (g/m ³ ·d)	23.03	40.77	14.48	12.75	15.88
		去除率(%)Removal efficiency	94.68	88.86	96.45	86.60	71.64
4.68	4.5	进水 Input (mg/L)	151.44	256.32	154.18	83.18	101.67
		出水 Export(mg/L)	18.06	50.38	16.62	14.26	40.09
		N _V (g/m ³ ·d)	33.65	56.93	34.26	18.48	22.59
		去除率(%)Removal efficiency	88.07	80.34	89.22	82.87	60.57

统计结果反映出:不同的水力负荷及相应的 HRT 的变化对 BOD_5 、 COD 、 SS 、 NH_4^+-N 的去除无明显影响,说明系统工艺可以满足试验设定处理负荷。即:当 HRT 较大时,由于水力负荷小, BOD_5 、 COD 、 SS 、 NH_4^+-N 的去除主要集中在中试装置前段,而随着距离增加,污染因子的浓度逐渐降低,后段的去除能力没有被充分发挥,因此减小 HRT、增大水力负荷有利于充分利用该系统的整体处理能力。含氮污染物的去除情况是本试验考察的一个重点。HRT 对 TN 去除率的影响见图 3。

不同水力负荷的污水在土壤中停留与各种基质接触,使所携带 NH_4^+-N 在微生物作用下,发生硝化与反硝化反应最终得以祛除,与其停留时间有关系(表 6、图 3),在污水土地处理系统,水力负荷对氮污染去除效果的影响主要表现在 TN 去除率随 HRT 的减少而降低,制约整个工艺的整体效益。低水力负荷时,即较长停留时间有利于污水中的 NH_4^+-N 与中各种基质充分接触。从工程投资的角度考虑,应选择适当的 HRT 获得尽可能大的处理能力。经筛选中试装置调控水力负荷 4.5h 运转,出水 NH_4^+-N 浓度平均值为 18.48mg/L,达到污水排放二级标准(<25 mg/L)。

5 污水土地生态处理基质的活性恢复试验

长周期运行的土地生态系统可能造成的环境容量问题日益受到重视,污水土地生态处理基质以土壤为主,未被转化的污染因子在土壤中持续累积,超过土壤的容许水平,土地处理工程便失去作用,必将产生土壤生态效应和环境容量的问题。

土地生态处理系统的处理效果和使用寿命也关系到生态处理技术的应用推广。因此,在筛选土地生态处理系统人工基质的同时,必须研究系统处理效果出现异常时对处理介质的恢复措施,以扩大和延伸污水处理系统使用寿命。土壤活性恢复试验结果表明:采用向筛选后的土壤中添加草木灰、鸡粪以提供电子受体和增加微生物活性。利用植物对有机污染土壤中有有机污染物的直接吸收,使植物释放的各种分泌物和酶类促进有机污染物生物降解及强化有机污染物在根际微域的矿化作用等。通过人为增加有效微生物的生物量,提高土壤微生物的代谢条件,栽种生物量大、根系复氧性能好的植物,可以加速污染物的降解过程,有效预防和控制土壤堵塞,减缓环境容量效应的速度。

6 结论

通过中试,对生活污水处理效果及脱氮机理进行了认真的探讨,在引进日本毛管浸润渗滤技术的基础上,改进并加以创新的地沟式污水土地生态处理工程,其工艺流程科学合理、运行稳定,通过不同时期(初期、中期、稳定期)、不同季节(冬季、夏、春、秋季)的运行以及不同水力负荷的考察,证明地沟式污水生态处理工程对有机、无机污染物、细菌的去除效率随着时间的推移日趋平稳、逐步提高。系统采取间歇投配生活污水的方式运行,可以延长土地生态系统的运行周期,提高土地生态系统的硝化作用强度,使氨氮的转化更加充分,使硝化~反硝化途径更加畅通。

地沟式污水土地生态处理技术,重视将自然的力量及当地环境条件有效利用,就地取材,运用自然生态环境的土壤、砂、砾石等填料,以及其中生长的微生物、植物共同作用净化污水。填料的主要成份是土壤,土壤的种类、性质,以及外添加成份对系统处理污水效果有很大影响。中试试验结果表明:地沟式污水土地生态处理系统中的人工基质为微生物的繁衍栖息提供稳定的依附表面,为植物生长提供载体和营养物质,系统栽种的植物根系在土壤中的输氧量及传递特性,随茎叶受光照强度变化发生光合及呼吸作用,加之系统采取间歇布水运行方式,使处理槽不同区域因耗氧速率不同连续呈现好氧、缺氧及厌氧状态,造就了不同种群微生物栖息的良好环境,相当于许多串联或并联的 A/A/O 处理单元,使得进入系统的有机物不仅被植物、微生物作为从属性营养物质直接吸收,而且通过硝化、反硝化作用,氧化分解转换为无机物质,融合了生物膜法和自然净化的特点,因此具有很强的净化功能。系统有机动的调控措施,在适当的水力、污染负荷下运行平稳, NH_4^+-N 去除率平均值全年达到 80% 以上。对污水土地生态处理工艺技术(处理水回用的可能性、运行模式的优化)的研究开发,在理论上、应用技术上使试验室研究向工程应用发展并加快其产业化进程。

地沟式污水土地生态处理系统是小规模分散污水就地土地处理装置。是以节能、方便操作管理、无二次污染产生;集环境、经济、社会效益为一体;运用污水-土壤-土壤微生物-植物天然净化功能的生态学处理方法;追求物种共生,物质循环再生,资源潜力利用的污水生态处理技术。适合就地处理分散排放的城镇、社区生活污水,对整体优化、改善区域生态环境质量有良好的适应性和可行性,有较好的推广应用的前景。

References:

- [1] Jia H Y, Sun T H, Li P J, et al. New advances in the land treatment technology for wastewater. *Techniques and Equipment for*

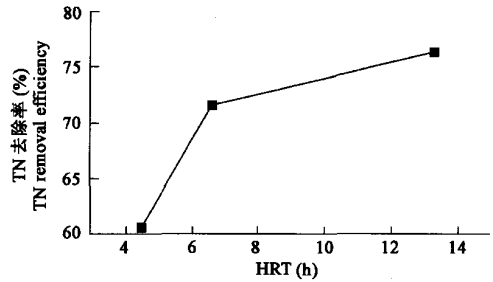


图 3 HRT 与 TN 去除率的关系

Fig. 3 The relation between HRT and TN removal efficiency

Environmental Pollution Control, 2001, **2**(1): 62~65.

- [2] Yang X Y, Peng R Z. Application and mechanism of polluted water purification of under ground-ditch-pattern soil treatment. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2002, **20**(3): 65~68.
- [3] Wu Y G, Wang Chao, Wang H N, *et al.* Study on the Pollutants Removal Function of Groundwater Infiltration System. *China Water & Wastewater*. 2002, **18**(1): 57~60.
- [4] Tian N N, Yang L P, Peng Y D. Treatment of Domestic Wastewater by Soil Infiltration System. *China Water & Wastewater*, 2000, **16**(5): 12~15.
- [5] Wang H Q, Chen J J. Modeling Nitrogen Removed in Soil-Crop System under the condition of Urban Wastewater Land Treatment. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 1998, **34**(3): 414~420.
- [6] Duan Z Y, Liu C X, Shi H C, *et al.* Research on constructed wetland with composite plant bed. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*. 2002, **3**(8): 4~7.
- [7] Zhang J, Huang X, Shi H C, *et al.* Review of subsurface wastewater infiltration system applied in sewage treatment. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2002, **3**(4): 47~51.

参考文献:

- [1] 贾宏宇, 孙铁珩, 李培军, 等. 污水土地处理技术研究的最新进展. 环境污染治理技术与设备, 2001, **2**(1): 62~65.
- [2] 杨星宇, 彭润芝. 地沟式土地处理技术净化污水的机理及其应用——以贵州省为例. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2002, **20**(3): 65~68.
- [3] 吴耀国, 王超, 王惠民, 等. 地下渗流系统的除污功能研究. 中国给水排水, 2002, **18**(1): 57~60.
- [4] 田宁宇, 杨丽萍, 彭应登. 土壤毛细管渗滤处理生活污水. 中国给水排水, 2000, **16**(5): 12~15.
- [5] 王红旗, 陈家军. 城市污水不同土地处理条件下土壤-作物系统中氮净化模拟模型与模拟分析. 北京师范大学学报(自然科学版). 1998, **34**(3): 414~420.
- [6] 蔡满成, 杨颖. 污水人工土壤植物床处理. 给水排水, 2002, **28**(9): 13~19.
- [7] 张建, 黄霞, 施汉昌, 等. 地下渗滤系统在污水处理中的应用研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2002, **3**(4): 47~51.