

潜流型人工湿地污水处理系统的研究*

张甲耀 夏盛林 熊凯 金显春

(武汉大学环境科学系, 武昌 430072 E-mail: hub.wuha phys @ hubei. shspi)

摘要 研究中等负荷有较高去除率的潜流型人工湿地污水处理系统的环境状况. 湿地中水体及出水溶解氧值均为0, 氧化还原电位-200~-300mV之间, pH值偏酸, 出水pH值稍低于进水. 系统中N化合物主要为 $\text{NH}_3\text{-N}$, 是 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的4-10倍, $\text{NO}_2\text{-N}$ 的100-200倍, 说明易于进行氨化作用, 而硝化作用在较低水平上进行.

关键词 人工湿地, 氧状态, 氧化还原电位, 氮素化合物, 污水处理, 模拟实验.

Study on the Subsurface Flow Constructed Wetlands Wastewater Treatment System

Zhang Jiayao Xia Shenglin Xiong Kai Jin Xianchun

(Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuchang 430072 E-mail: hub. wuha phys @ hubei. shspi)

Abstract The environmental condition of the subsurface flow constructed wetlands wastewater treatment system which is in middle load and higher removal rate was researched. Dissolve oxygen concentration in treated water and effluent of wetlands equalled zero. Redox potential was between -200~-300 mV, pH value was below 7, pH value of effluent was lower than that of wetlands influent. The main nitrogenous compound in the system was ammonia nitrogen, which content was 4-10 times as many as nitrate nitrogen, 100-200 times as many as nitrite nitrogen. It was indicated that ammonification arose easily, and nitrification arose in the lower degree at the system.

Keywords constructed wetlands, oxygen condition, redox potential; nitrogenous compound, sewage treatment, simulated experiment.

潜流型人工湿地污水处理系统在污水处理中得到广泛应用^[1-4], 系统的氧状态、氧化还原电位与N的去除有十分密切的关系. 氮素化合物的形态、总氮的去除与环境状态的关系尤其明显. 笔者研究了潜流型人工湿地系统, 在中等植物密度、中等负荷、短停留时间、较高去除率, 连续进水运行时的氧状态、氧化还原电位、pH值以及不同N化合物的浓度与分布, 提出改善湿地系统运行条件的措施.

1 试验设计与方法

1.1 小型人工湿地污水处理系统

4个潜流型人工湿地处理系统如图1. 处理

区长140cm、宽49cm、高50cm, 坡度为2%, 水面线下部填充粒径3-5mm碎石, 上面再铺厚8cm的细砂, 其上栽种植物. 按水面线计处理区总间隙体积约为97L(总体积314L). 系统长宽比接近3:1, 使污水流态接近推流式. 分别种植芦苇(*Phragmites australis* Trin)、茭白(*Zizania latifolia* Turcz)和穿心莲子草(*Alternanthera philoxeroides* Marg, Griseb), 一个为不种植物的对照. 芦苇、茭白和穿心莲子草移栽后形成生长良好的群体, 芦苇平均株距为20×

* 国家自然科学基金资助课题 (Project Supported by National Natural Science Foundation of China)

张甲耀: 男, 52岁, 副教授

收稿日期: 1997-11-17

12cm, 每株6根茎蘖, 属中等密度, 茭白的密度与芦苇大致相当, 穿心莲子草生长茂密. 系统连续进水, 研究其在动态条件下的环境状况.

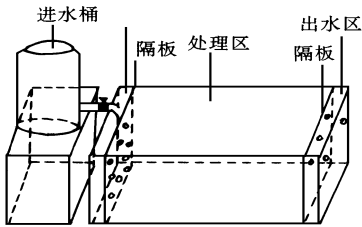


图1 潜流型人工湿地处理系统示意图

1.2 运行条件

添加葡萄糖、尿素、 KH_2PO_4 及其它小量、微量元素到天然水体中配成近似于城市混合污水的人工污水, pH 中性, COD 约210mg/L, BOD_5 约120mg/L, TN 约12mg/L, TP 约2mg/L, 进水量25L/d, 水力停留时间(HRT)约为4d, 气温在15– 32℃之间. 按处理区实际面积计算, 处理系统的 BOD_5 、COD、TN、TP(按进水实测平均值计) 面积负荷分别为 $40.93\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{hm}^2)$ 、 $74.88\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{hm}^2)$ 、 $4.38\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{hm}^2)$ 、 $0.76\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{hm}^2)$. 有效容积负荷分别为 $0.29\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$ 、 $0.53\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$ 、 $0.031\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$ 和 $0.0054\text{kg}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$. 负荷水平中等^[1].

1.3 水样采集及指标测定

取样点如图2, 带小孔的尖铁管插入人工湿地中, 使小孔处于表面水下10– 20cm 处, 虹吸进入铁管水体到测氧瓶中当即固定, 用碘量法测定溶解氧(Dissolve Oxygen, DO) 虹吸水体到测样瓶中, 用离子计测定 pH 值和氧化还原电位. 水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 按标准方法测定.

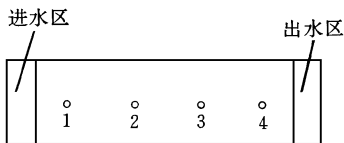


图2 湿地系统采样点示意图

1. 离进水区17.5cm 2. 离进水区52.5cm
3. 离进水区87.5cm 4. 离进水区112.5cm

2 实验结果

2.1 人工湿地系统水体中的氧状态

连续7次测定3种人工湿地中水体水及出水的 DO 值均为0. 即使在进水区曝气使水体 DO 达3.3mg/L(茭白湿地)、4.6mg/L(芦苇湿地)、2.55mg/L(无植物湿地), 但在湿地处理区内水体的 DO 仍为0. 人工湿地中氧气来源于大气向湿地的扩散和植物根的放氧作用. 关于植物根的放氧能力研究有不同的结论, 有些结果表明, 根的放氧对湿地不起重要作用, 大气的扩散也受到湿地基质的阻滞, 本研究的结果说明潜流型人工湿地的充氧能力较低.

2.2 人工湿地系统中的氧化还原电位

人工湿地中水体处于较低的氧化还原电位(– 200~– 300). 总体上出水端的氧化还原电位和进水端持平或稍有升高, 反映了污水的净化过程(表1).

2.3 人工湿地系统中水体的 pH 值

实际测定值见表2. 结果表明, pH 值变化微小, 整体状况偏酸, 出水 pH 值稍低于进水, 这是有机物在分解过程中产酸的原因所致.

2.4 人工湿地系统中不同 N 化合物($\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$) 的含量及分布

实际测定值列于表3. 对比进水、芦苇、茭白和无植物系统的数据, 可见系统中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的含量高于进水, 这说明污水中的尿素在湿地系统中易于进行氨化作用; $\text{NH}_3\text{-N}$ 量为无植物> 茭白> 芦苇; $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量表现为芦苇> 茭白> 无植物系统; 这说明有植物系统由于植物根的放氧作用局部改变了系统的氧状态, 使其硝化、反硝化作用较无植物系统更为畅通. 但把人工湿地系统中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 作比较, 可以发现 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的含量是 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的4– 10倍, $\text{NO}_2\text{-N}$ 的100– 200倍. 这说明总体上人工湿地系统易于进行氨化作用, 则在较低水平上发生. 这种结果和湿地氧状态、氧化还原电位状况相一致.

3 讨 论

本研究结果说明, 潜流型人工湿地充氧能

表1 人工湿地中水体的氧化还原电位/mV

系统	位置	测定次数						
		1	2	3	4	5	6	7
穿心莲子草	进水区				- 318	- 355	- 258	- 282
	1	- 342	- 259	- 285	- 235	- 259	- 295	- 365
	2	- 285	- 188	- 282	- 199	- 239	- 184	- 325
	3	- 333	- 219	- 290	- 211	- 237	- 194	- 265
	4	- 329	- 197	- 288	- 213	- 285	- 198	- 185
	出水区				- 193	- 333	- 238	- 300
茭白	进水区				- 316	- 333	- 238	- 300
	1	- 296	- 252	- 275	- 321	- 347	- 296	- 319
	2	- 295	- 209	- 276	- 320	- 303	- 258	- 270
	3	- 321	- 222	- 256	- 216	- 249	- 220	- 250
	4	- 321	- 214	- 272	- 302	- 315	- 210	- 235
	出水区				- 235	- 255	- 252	- 304
芦苇	进水区				- 276	- 319	- 286	- 334
	1	- 309	- 236	- 267	- 370	- 342	- 286	- 304
	2	- 301	- 160	- 263	- 272	- 250	- 294	- 310
	3	- 307	- 201	- 234	- 182	- 305	- 236	- 270
	4	- 258	- 215	- 270	- 185	- 221	- 312	- 290
	出水区				- 191	- 209	- 268	- 293
无植物	进水区				- 192	- 297	- 300	- 310
	1	- 284	- 257	- 290	- 172	- 321	- 250	- 238
	2	- 288	- 137	- 289	- 112	- 312	- 246	- 260
	3	- 329	- 214	- 297	- 167	- 273	- 214	- 240
	4	- 278	- 212	- 290	- 172	- 232	- 200	- 240
	出水区				- 88	- 242	- 254	- 314

表2 人工湿地中水体的 pH 值

系统	位置	测试次数			
		1	2	3	4
穿心莲子草	进水区	6.4	6.4	6.4	6.3
	1	6.2	6.3	6.3	6.2
	2	6.0	6.1	6.2	6.1
	3	6.0	6.1	6.2	6.1
	4	6.0	6.1	6.2	6.1
	出水区	6.0	6.0	6.2	6.1
茭白	进水区	6.3	6.4	5.9	6.3
	1	6.1	6.3	5.9	6.2
	2	6.0	6.2	6.0	6.2
	3	6.0	6.1	5.9	6.1
	4	5.9	6.1	5.9	6.1
	出水区	5.9	6.0	5.8	6.1
芦苇	进水区	6.3	6.4	5.8	6.3
	1	6.1	6.3	5.7	6.2
	2	6.0	6.2	5.7	6.2
	3	6.0	6.1	5.7	6.1
	4	6.0	6.0	5.6	6.1
	出水区	5.9	6.0	5.5	6.1
无植物	进水区	6.3	6.5	5.7	6.4
	1	6.1	6.4	5.7	6.3
	2	6.0	6.3	5.6	6.3
	3	6.0	6.2	5.5	6.2
	4	5.9	6.1	5.5	6.2
	出水区	5.9	6.0	5.4	6.2

力较低,系统处于厌氧状态,氧化还原电位为负值,这与 Rogers K H 等的研究结果相似^[5]. 人工湿地中 N 的去除取决于 N 的形态及湿地的状态. 试验污水中加入的尿素在湿地系统可以完成氨化作用,但厌氧的环境不利于硝化作用的进行,所以系统中 N 化合物主要是 NH₃-N,而 NO₂-N、NO₃-N 含量相对较少.NO₃-N 含量低也就不会有有效的反硝化作用,这种情况下 BOD₅去除率可以较高,而 TN 去除率较低,实际测定 BOD₅去除率分别为 85.72%(芦苇系统)、82.29%(茭白系统)、77.13%(无植物系统),TN 去除率分别为 49.34%(芦苇系统)、45.49%(茭白系统)、38.69%(无植物系统).改善氧状态,对提高净化能力,特别是提高 N 的去除率有重要作用.国外有人提出用深浅不同的2个区域创造2种不同的处理环境解决这个问题.笔者认为表面流型的充氧能力优于潜流型,可以把表面流和潜流型结合起来,在表面流上增加挡板,使表面水体进入潜流状态,可克服表面流型的短路现象和增加水体中的DO,促进

表3 人工湿地系统 NH₃-N、NO₂-N、NO₃-N 的含量及分布/ mg·L⁻¹

测试 次数	进 水 区 ¹⁾			位 置	芦苇湿地			茭白湿地			无植物湿地		
	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N		NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
1	3.45	0.139	0.95	1	7.31	0.044	1.32	8.01	0.024	0.94	9.42	0.024	
				2	7.02	0.014	1.27	6.02	0.066	1.21	8.81	0.036	0.82
				3	7.00	0.032	1.17	4.45	0.018	0.91	8.03	0.030	0.88
				4	5.62	0.018	1.07	4.27	0.032	1.02	7.12	0.018	0.63
2	3.29	0.093	1.06	1	6.26		1.43	5.76	0.022	1.47	9.41	0.026	0.89
				2	3.02		1.86	5.33		1.19	7.01	0.034	0.42
				3	2.13	0.012	1.23	5.20	0.004	1.36	6.91	0.004	0.87
				4	4.00	0.026	1.23	3.24	0.012	1.08	6.77	0.008	0.74
3	2.68	0.332	1.35	1	5.71	0.096	1.66	6.73	0.116		8.52	0.044	1.20
				2	4.82	0.054	1.64	6.12	0.180		6.13	0.92	0.78
				3	4.13	0.076	1.54	6.41	0.044	1.70	5.52	0.078	0.87
				4	5.35	0.18	1.60	4.32	0.126	1.64	5.91	0.044	0.54
4	3.05	0.154	0.92	1	7.51	0.074	1.34	7.74	0.022	0.97	8.71	0.022	0.74
				2	6.32	0.048	1.11	6.30	0.020	1.01	7.23	0.014	0.60
				3	6.20	0.022	1.45	6.23	0.034	1.03	7.55	0.066	1.21
				4	5.42	0.092	1.52	5.28	0.018	1.33	6.21	0.018	0.71
平均	3.12	0.180	1.07		5.48	0.056	1.40	5.71	0.049	1.20	7.58	0.035	0.79

1) 进水 TN 含量平均12.01mg/L

系统中的硝化作用和反硝化作用,从而提高 N 的去除率.此外降低负荷,曝气,采用间歇式进水,增加植物密度,提高植物的充氧作用也有助于改变系统内的氧状态.

参 考 文 献

1 诸惠昌等.新型废水处理工艺——人工湿地的设计方法.环境科学,1993,14(2):39

2 Haberl R et al..Constructed Wetlands in Europe. Water

Sci. Technol., 1995, 32(3):306- 315

3 Brown D S et al..Inventory of constructed wetlands in the United States. Water Sci. Technol., 1994, 29(4):309- 318

4 Juwarka A S et al.. Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India. Water Sci. Technol., 1995, 32(3):291- 294

5 Rogers K H et al.. Nitrogen removal in experimental wetlands treatment system: Evidence for the role of aquatic plants. Research Journal WPCF, 1991, 63(7):934

(上接第35页)

3 结论

(1) UASB 反应器可以较有效地处理含 PCP 有机废水.在以啤酒废水处理的厌氧颗粒污泥为接种污泥(VSS 接种量约为15g/L),运行温度为35±1℃,HRT 为20—24h;进水 COD 浓度2500—2800mg/L,进水 PCP 浓度由1.0mg/L 上升至8.0mg/L 条件下,UASB 反应器运行120d 左右完成启动,PCP 和 COD 的去除率分别为94%和86% 以上.

(2) 高效液相色谱仪检测结果分析表明:PCP 的厌氧降解途径是:先经过间位脱氯生成四氯酚和2,4,6-三氯酚,再经过邻位和对位脱氯生成2,4-二氯酚和邻氯苯酚,最后矿化为 CH₄和 CO₂.

参 考 文 献

1 Nicholson D K et al.. Reductive Dechlorination of Chlorophenols by a Pentachlorophenol-Acclimated Methanogenic Consortium. Appl. Environ. Microbiol., 1992, 58(8):2280- 2286

2 Bryant Y O et al.. Regiospecific Dechlorination of Pentachlorophenol by Dichlorophenol-Adapted Microorganisms in Freshwater, Anaerobic Sediment Slurries. Appl. Environ. Microbiol., 1991, 57:2293- 2301

3 Weimin Wu et al.. Performance of Anaerobic Granules for Degradation of Pentachlorophenol. Appl. Environ. Microbiol., 1993, 59(2):389- 397

4 魏复盛等.水与废水检测分析方法(第三版).北京:中国环境科学出版社,1989:235

5 吴唯民等.厌氧污泥的最大比产甲烷速率的间歇式试验测定法.中国给水排水,1988,1:30- 36

6 Guthrie M A et al.. Pentachlorophenol Biodegradation. Wat. Res., 1984, 18:451- 461

7 Krumme M L et al.. Reductive Dechlorination of Chlorinated Phenols in Anaerobic Upflow Bioreactors. Wat. Res., 1988, 22:171- 177

8 Hendriksen H V et al.. Influence of a Supplemental Carbon Source on Anaerobic Dechlorination of Pentachlorophenol in Granular Sludge. Appl. Environ. Microbiol., 1992, 58:365- 370