

62 - 66

香蒲、灯心草人工湿地的研究
—— II. 净化污水的空间 X703

成水平 夏宜璋

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要 从人工湿地水生植物根系实际生长深度、微生物及酶的空间分布以及不同深度人工湿地对污水的净化效果比较出发, 研究了人工湿地污水处理系统的净化空间. 以种植香蒲 *Typha angustifolia* 和灯心草 *Juncus effusus* 的人工湿地为例, 水生植物根系主要分布在湿地基质上层 25cm 区域; 微生物的数量随深度增加而递减, 且 35cm 层的数量远远的低于上层; 5-10cm 层的磷酸酶、纤维素酶和蛋白酶活性亦大于 20cm 层; 60cm 深的人工湿地与 20cm 深的人工湿地对污水中污染物的净化效果基本一致. 可以推断, 人工湿地在净化污水的过程中, 其上层存在一个较佳的净化空间.

关键词 人工湿地 污水处理 净化空间
分类号 Q948.8 X52

香蒲, 灯心草

人工湿地的深度一般是按水生植物根系自然扩展的深度来设计的, 多数为 0.6 - 0.7m^[1,2], 例如蘆草根系可以达到 0.76m, 故以 0.76m 的深度来设计人工湿地^[3], 而芦苇床推荐深度为 0.6 - 0.7m, 荳芰、席草和灯心草等湿地以 0.45 - 0.6m 为宜^[4]. 但有研究表明经两个生长季节后, 水生植物的根系远未达到人工湿地的底部^[5], 而有些试验人工湿地深度小于水生植物根系自然扩展深度, 仍能表现出很好的污水净化能力^[6]. 香蒲 *Typha angustifolia* 和灯心草 *Juncus effusus* 人工湿地净化污水的效果已有另文报导^[7], 本文从水生植物根系实际生长深度、微生物及酶的空间分布以及湿地深度对净化效果的影响等出发, 探讨人工湿地的较佳净化空间.

1 材料与方方法

材料与方方法见另文^[7].

2 结果与讨论

2.1 水生植物根系在人工湿地中扩展的深度

经过一个生长周期(一年), 1996年3月检测 I 型人工湿地中香蒲和灯心草根系发展状况. 香蒲、灯心草根系主要集中在上面 25cm 厚的基质中, 下层则极为稀少. II 型人工湿地中, 由于总深度为 20cm, 植物的根布满整个湿地基质. 一般地, 在不同的基质结构、环境因子等情况下, 植物根系的扩展深度及发达程度有所变化. 有文献报道, 在 0.76m 深的人工湿地中, 两个生长季节以后, 蘆草根系主要分布在人工湿地 0.12 - 0.15m 深度以上的基质中, 只占据了

5%的湿地基质^[5]。可见,在人工湿地中水生植物的根系未能达到基质的底部,至少底部根系稀疏。水生植物除直接吸收利用污水中的营养物质及吸附富集一些有毒有害物质外,还有输送氧气至根区和维持水力传输的作用^[6]。而按水生植物根系自然扩展深度设计的人工湿地,根系实际没有扩展至底部,氧气则无法输入,水力传输也受到影响,从而底部净化效果差,影响到整个人工湿地的污水净化能力。I型人工湿地植物根系主要集中在上面25cm的基质区域,则氧气的输送也基本到此为止。

2.2 人工湿地微生物的空间分布状况

1995年7月和12月,对I型人工湿地微生物的空间分布状况作了调查(表1),结果如下:

表1 I型人工湿地微生物空间分布状况(个/克,干土)

Tab.1 The spatial distributions of microorganisms in artificial wetland (I) [ind./g(dw)]

湿 地	深 度	细菌总数($\times 10^6$)		放线菌($\times 10^5$)		真菌($\times 10^5$)	
		7 月	12 月	7 月	12 月	7 月	12 月
对照	5-10cm	190	16	160	4.5	110	55
	20cm左右	16	3.7	23	0.52	4.5	5.2
	35cm左右	3.9		5.1		3.3	
香蒲湿地	5-10cm	220	14	91	18	61	120
	20cm左右	82	12	47	12	70	31
	35cm左右	12		7.7		5.6	
灯心草湿地	5-10cm	330		63		19	
	20cm左右	95		58		9.8	
	35cm左右	19		40		3.0	

对照中无论是7月还是12月,5-10cm处的细菌、放线菌、真菌数量比20cm处的基本上大一个数量级,其平均比值为11.1(± 7.0);而20cm处与35cm处的数量比值为3.3(± 1.7),即它们的平均数量在一个数量级之内,由此说明,对照湿地中的微生物主要集中在表层下,到20cm深处则急剧下降。香蒲型湿地中,5-10cm深处的细菌、放线菌、真菌数量与20cm深度的数量平均比值为2.0(± 1.1),其数量处于同一数量级,只相差一倍;而5-10cm处与35cm深处的数量比、20cm深处与35cm深处的数量比分别是13.7(± 4.1)和5.0(± 3.5),即20cm深处以下的微生物数量显著下降。灯心草型湿地细菌总数、真菌的分布情况类似于香蒲型湿地,只有放线菌数量下降幅度不大。可见,人工湿地的微生物数量随着深度的增加而减小,水生植物的存在有利于微生物在人工湿地纵深的扩展。水生植物能将光合作用产生的氧气通过根系输送至根区,在植物根区的还原性介质中形成了氧化态的微环境,这种根区有氧区域和缺氧区域的共同存在为根区的好氧、兼性和厌氧微生物提供了不同适宜的小环境。因而随着植物根系在基质中的向下扩展,微生物种群也向下延伸。

2.3 I型人工湿地中酶活性

1995年11月至1996年3月,对I型人工湿地的对照和香蒲型中的磷酸酶、纤维素酶和蛋白酶活性进行了4次调查,其平均结果如下:

香蒲型人工湿地中的磷酸酶、纤维素酶、蛋白酶活性在数值上高于对照,但由于数据起伏较大, t 检验($t < 2.77$)差异不显著($P > 0.05$)。香蒲型人工湿地中5-10cm深处的酶活性稍

高于 20cm 深处的酶活性,二者之间虽无显著性差异($P > 0.05$),但这种趋势正好与表 2 中的微生物空间分布相对应,表明水生植物的存在也加强了酶在人工湿地纵深的分布。

表 2 I 型人工湿地酶活性(1995 年 11 月 - 1996 年 3 月)¹⁾
Tab.2 The enzymatic activity in artificial wetland I (1995.11 - 1996.3)

酶	对 照		香 蒲	
	5 - 10cm	20cm 左右	5 - 10cm	20cm 左右
磷酸酶 [μgP -硝基酚/g(dw)]				
最小值	89.664	59.253	156.789	88.827
最大值	275.031	90.695	370.156	158.064
平均值	155.075	70.600	238.919	125.491
	(104.027)	(17.451)	(95.162)	(33.715)
蛋白酶 [$\mu\text{gNH}_2\text{-N/g(dw)}$]				
最小值	122.047	155.778	546.660	444.246
最大值	643.728	337.181	2091.343	1025.372
平均值	341.545	249.127	1152.705	710.553
	(270.491)	(79.123)	(719.217)	(258.449)
纤维素酶 [μg 葡萄糖/g(dw)]				
最小值	81.407	31.497	300.803	89.393
最大值	356.956	71.357	808.707	271.252
平均值	192.022	50.903	558.985	182.472
	(145.584)	(19.951)	(254.058)	(91.006)

1) 括号内为标准差

人工湿地中微生物的代谢作用是污水中有机污染物降解的主要机制,污水中的有机污染物包括含氮、含磷化合物,经微生物的作用,降解成终极产物释放到大气中或固定于土壤,或成为水生植物及微生物可以吸收的营养物质、或转化为对水环境无毒或弱毒的物质。各种酶在土壤中的积累是由于土壤微生物、好中温动物区系和植物根系的生命活动的结果,它们参与了土壤中腐殖质的合成和分解、有机化合物、高等植物和微生物残体的水解及其转化成为可利用的形态、以及还原反应等^[9]。例如,纤维素酶能酶促纤维素中的 β -1,4-葡聚糖键的水解,可将纤维素分解成为葡萄糖分子;磷酸酶能酶促磷酸酯水解,并释放正磷酸盐;蛋白酶能酶解蛋白质和肽类等大分子氮化物,生成氨基酸^[10]。人工湿地中有着丰富的微生物群落,水生植物根系相当发达,因而酶相当活跃。微生物数量的大小、酶活性的高低直接关系到生物降解作用的大小及生物化学活动的强弱,20cm 以下层微生物的丰度显著下降(表 1),酶活性也从表层而下逐渐下降(表 2),水生植物根系主要集中在 25cm 以上的湿地基质区域,由此可以初步得出人工湿地中有机污染物的降解主要发生在 20cm 以上的基质区域。

2.4 不同深度人工湿地对污水中污染物质的净化效果

I、II 型人工湿地对污水中凯氏氮、氨氮、总磷、 COD_c 等的净化效果及污染负荷,与其它几种人工湿地的净化效果及负荷对比如下(表 3):

通过显著性检验,II 型人工湿地对城镇污水污染物的去除能力与 I 型无差异($P > 0.05$); II 型灯心草湿地对人工污水污染物的去除能力在 1995 年与 I 型灯心草湿地相当,而 1996 年的结果要略好于 I 型^[7]。

II 型人工湿地净化污水的能力及污染物质的负荷也不亚于文献报道的结果。如 II 型灯心草湿地对人工污水 COD_c 的去除率平均达 97.7% (水力停留时间 5d),负荷 $32.7\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; 蔗

草对 BOD_5 的去除率为 77% - 96% (水力停留时间 6 - 10d), 负荷 $6.8 - 12.3g/(m^3 \cdot d)^{[3,11]}$ 。

Rosgers 的试验人工湿地尽管只有 0.28m 深, 负荷为 $2.5gTN/(m^3 \cdot d)$, 水力停留时间为 7d 的条件下, 总氮的去除率达 90.8%^[6], 不亚于其他人工湿地的结果。此结果亦表明, 虽然设计的人工湿地深度较小, 但只要根系发达, 同样能取得满意的净化效果。

表 3 几种人工湿地污染物负荷及去除率等比较

Tab.3 Comparison of the loading and removal rates of contaminants in several artificial wetlands

水生植物	污水	停留时间	KN	$NH_4^+ - N$	TP	BOD_5	COD_{Cr}	湿地深度	文献
蘆草	村镇污水	10d				$\frac{12.3^{11}}{77\%}$		0.75m	[11]
	城镇污水	6d		$\frac{1.7}{94.3\%}$		$\frac{6.8}{96\%}$		0.76m	[3]
芦苇		6d		$\frac{1.7}{78.5\%}$		$\frac{6.8}{81\%}$		0.76m	[3]
水葱 ²⁾	初级污水	7d	$\frac{2.5^3)}{90.8\%}$					0.28m	[6]
灯心草	城镇污水	5d	$\frac{0.9}{98.2\%}$	$\frac{0.85}{99.8\%}$	$\frac{0.12}{99.1\%}$		$\frac{4.06}{97.0\%}$	0.60m	本文 I 型
	城镇污水	5d	$\frac{0.9}{94.1\%}$	$\frac{0.85}{94.9\%}$	$\frac{0.12}{90.1\%}$		$\frac{4.06}{80.3\%}$	0.20m	本文 II 型
	人工污水	5d	$\frac{2.04}{96.8\%}$	$\frac{0.74}{93.9\%}$	$\frac{0.28}{97.1\%}$		$\frac{32.7}{96.7\%}$	0.60m	本文 I 型
	人工污水	5d	$\frac{2.04}{98.5\%}$	$\frac{0.74}{98.8\%}$	$\frac{0.28}{98.8\%}$		$\frac{32.7}{97.7\%}$	0.20m	本文 II 型
香蒲	城镇污水	5d	$\frac{0.9}{96.8\%}$	$\frac{0.85}{99.7\%}$	$\frac{0.12}{98.3\%}$		$\frac{4.06}{89.4\%}$	0.60m	本文 I 型
	城镇污水	5d	$\frac{0.9}{94.1\%}$	$\frac{0.85}{96.3\%}$	$\frac{0.12}{95.4\%}$		$\frac{4.06}{86.3\%}$	0.20m	本文 I 型
	人工污水	5d	$\frac{2.04}{92.9\%}$	$\frac{0.74}{88.1\%}$	$\frac{0.28}{98.1\%}$		$\frac{32.7}{93.9\%}$	0.60m	本文 II 型

1) 横线上数值为负荷 ($g/(m^3 \cdot d)$), 下值为平均去除率; 2) *Schoenoplectus validus*; 3) 为 TN。

3 小结

(1) 按水生植物根系自然扩展深度设计的人工湿地, 表底各部分并非都发挥同等重要的净化污水的作用, 而存在着一个较佳的净化空间。根据以上试验结果与讨论, 可以推断这个较佳的净化空间大致为 20 - 25cm 以上的湿地上层。只有增加人工湿地净化污水的有效空间, 才能充分地利用湿地体积, 也是提高人工湿地污水净化功能的重要途径。

(2) 湿地植物有助于微生物、酶在人工湿地空间的扩展, 有利于扩大人工湿地净化污水的有效空间, 提高人工湿地的污水净化能力。

参 考 文 献

- 1 Conley L. M., Dick R. I. & Lion L. W. An assessment of the root zone method of wastewater treatment. *Res JWPWF*, 1991, 63, 239 - 247
- 2 诸惠昌, 胡纪萃. 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 - 43
- 3 Gersberg R. M., Elkins B. V., Lyon S. R., et al. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Wat Res.*, 1986, 20(3): 363 - 368
- 4 胡康萍. 人工湿地设计的水力学问题研究. *环境科学研究*, 1991, 4(5): 8 - 12

- 5 Edwards G S. Root distribution of soft-stem bulrush (*Scirpus validus*) in a constructed wetland. TVA Coop For Stud Program. TVA Foresty Buld. Norris, TN37828, USA. 29054194G, 1992:239 - 243
- 6 Rosgers K H, Breen P F & Chuck A J. Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems; evidence for the role of aquatic plants. *Res J WPCF*, 1991, 63:934 - 941
- 7 成水平, 况琪军, 夏宜珍, 香蒲、灯心草人工湿地的研究——I. 净化污水的效果. *湖泊科学*, 1997, 9(4):351 - 358
- 8 Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants—the root-zone method. *Wat Sci Technol*, 1987, 19: 107 - 118
- 9 哈兹耶夫(苏) 土壤酶活性. 北京: 科学出版社, 1990. 172
- 10 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986. 314
- 11 Fetter C W Jr, Sloey W E, Spangler F L. Potential replacement of septic tank drain fields by artificial marsh wastewater treatment systems. *Ground Water*, 1976, 14:396 - 401

Artificial Wetland with Cattail (*Typha angustifolia*), Rush (*Juncus effusus*), II: Purifying Space

Cheng Shuiping Xia Yicheng

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhun 430072)

Abstract

Dealt with the growing depth of macrophytes roots, spatial distributions of microorganisms and enzyme in artificial wetland and comparison of removal rates of contaminants in different depths of artificial wetlands, the better purifying space in artificial wetland wastewater treatment system has been discussed.

From studies on the artificial wetland with cattail (*Typha angustifolia*) and rush (*Juncus effusus*), roots of macrophyter are distributed mainly over 25cm up surface in wetland, spatial distribution of microorganisms is as follows. The numbers of 5 - 10cm depth are more than the 20cm depth's and further more than the 35cm depth's. The activity of phosphatase, glucan dehydratase and proteinase in surface is higher than 20cm depth's. In winter, the performance of purifying wastewater of the wetland which deeps 20cm shows almost no difference with the wetland which deeps 60cm.

It may be deduced that there is a better purifying space in the upper level of artificial wetland for wastewater treatment.

Key Words Artificial wetland, wastewater treatment, better purifying space