

水陆交错带芦苇根孔及其净化污水的初步研究¹

李贵宝 周怀东 刘芳

中国水利水电科学研究院

摘要: 芦苇是我国北方地区水陆交错带区域典型的湿地植物。在白洋淀水陆交错带湿地进行的试验结果表明, 芦苇具有庞大的地下根状茎, 形成芦苇根孔。根孔以横向走向为主, 大多数芦苇根孔集中在 18~75 cm 之间。与退化芦苇湿地相比, 健康芦苇湿地苇高、苇粗, 根、茎长而重。室内芦苇和小麦原状土柱 (0-100 cm) 的污水净化实验结果表明, 苇地土柱的净化能力大于麦地土柱, 以对磷的净化最大。苇地土柱的净化率为 TP 92.6%、TN 43.5%、COD 54.1%; 麦地土柱的净化率为 TP 86.0%、TN 41.3%、COD 29.8%。

关键词: 水陆交错带 芦苇根孔 污水净化

一、前言

水陆交错带湿地指的是内陆水生态系统和陆地生态系统之间界面区, 近年来受到国内外环境学界的广泛重视^[1-3]。我国水陆交错带湿地的面积约有 10 万 km², 占天然湿地面积的 38.5%, 长期以来被人们所忽视, 水陆交错带退化严重, 其结果导致水质下降、水体富营养化、岸边崩塌、生物多样性减少以及洪涝灾害加重等^[4]。

水陆交错带湿地芦苇植物的根孔是该生态系统的一个重要组成部分, 是生态系统中物质传输不为人见的“高速公路”, 系统中部分水分和养分的变化会很快地通过根孔系统影响到系统的其它部分。植物根孔是土壤大孔隙的一个重要类型, 目前国际上对于植物根孔的结构、形成、空间分布以及在湿地生态系统中的功能研究较少, 芦苇根孔的研究几乎未见报道^[5-8]。

白洋淀素有“华北明珠”之称, 是一种以芦苇为优势群落典型的水陆交错带湿地生态系统。芦苇作为当地的“铁杆庄稼”, 具有庞大的地下根状茎, 形成芦苇湿地中的“高速通道”, 已发现芦苇群落的根区土壤具有明显的截留作用, 通过地下潜流汇入淀区的磷氮等污染物质大部分被截留下来^[9-10]。对这种特定水陆交错带湿地特有的地下管孔系统的结构、空间分布特征以及对污染物质的净化进行深入研究有着重要的理论和实践意义。

二、研究地点和试验方法

研究地点位于河北省白洋淀, 白洋淀地处冀中凹陷, 处于发育后期的草型富营养化湖泊, 淀区地形复杂, 淀内纵横沟壕 3700 余条交织错落, 将全淀分割成 143 个大小不等的淀泊, 淀区内村庄、苇地、园田星罗棋布, 构成了淀中有淀, 沟壕相联, 园田和水面相间分布的特殊地貌。

¹ 本项目得到国家自然科学基金 (50179040) 和水利部科技创新项目的资助。

白洋淀具有发育良好的水陆交错带,主要由芦苇群落、苇地间沟壕和开阔淀水面组成。在整个湖区 366 km²的范围内,以芦苇植被为景观特征的水陆交错带约占 36%,分布在围堤内湖边的洼地上和大小淀泊之间。其精细景观类型可划分成苇园和苇地二种类型,其中苇园约占 1/3,主要分布在淀泊之间和近围,特征是沟壕纵横,管理精细,景观斑块类型较小,匀一化程度高;苇地约占 2/3,分布在苇园外围地势较高处,呈大片分布,微景观结构较复杂,多样性程度较高。白洋淀芦苇 (*Phragmites australis* var. *baiyangdiansis*) 群落分布广泛,面积最大,是白洋淀的景观植物群落。目前芦苇种植面积 8000 hm²,占白洋淀总面积的 22%。

试验研究分两部分,野外芦苇根孔观测实验与室内苇田土柱净化污水模拟实验。

(一) 芦苇根孔分布的野外观测实验

芦苇根孔分布的野外观测实验在河北省白洋淀安新县寨里乡杨孟庄村退化苇地和安新镇南刘庄村健康苇地进行。分别在上述两村苇地选取典型样地并调查芦苇的品种、高度、直径、盖度、多度等以及苇地杂草情况。在苇地上挖取剖面 12 个,选取典型样点 2 个,挖 2 m×1.5 m 的剖面,每一剖面用细铁丝扎成 5 cm×5 cm 网格作定点定位标记,并绘根系垂直分布剖面图(按根的粗细程度分为 4 级: <1 cm、1~2 cm、2~3 cm、>3 cm,并区分死活根孔),并拍照。

两个剖面从上到下每 20 cm 土层分别取土柱(20 cm×25 cm×20 cm)共 8 个,将各层所有根全部拣净,并按层次分别装袋带回室内,在孔径 0.1 mm 筛中仔细把根上所附着的泥土冲洗干净,风干 1 天后按直径分为 <1 cm、1~2 cm、2~3 cm、>3 cm 4 级,按层次分别统计计算各类根的数量、根长及其鲜重,并取一定量的根在 80 ℃ 烘到恒重,计算干重。

(二) 苇田土柱净化污水的室内模拟实验

1、大土柱实验

在白洋淀选取芦苇地和不含芦苇根孔的小麦地各一块,挖取直径 25 cm、高 100 cm 的苇地原状土柱 3 个,麦地原状土柱 1 个,套入订做好的圆柱形白铁皮桶(直径 25 cm、高 110 cm)中,运回室内。同时在苇地和麦地将土壤自上而下分 5 个层次:0~20 cm、20 cm~40 cm、40 cm~60 cm、60 cm~80 cm、80 cm~100 cm,分层取土,运回室内,风干、过筛;分层按土壤容重填充 25 cm×100 cm 的模拟土柱。共装填 3 个苇地人工模拟土柱和 3 个麦地人工模拟土柱。加自来水数次浸泡稳定土柱,使人工模拟土柱尽可能恢复自然条件下的构造,提高土柱模拟实验的真实性。

2、小土柱实验

分别称取 0~20 cm、20 cm~40 cm、40 cm~60 cm、60 cm~80 cm、80 cm~100 cm 的风干、过筛后的苇地土壤各 1 kg,分别装入长 40 cm、内径 7 cm 的 PVC 管中(管底部用 300 目的尼龙网封住)。加自来水数次浸泡稳定土柱,使人工模拟土柱尽可能恢复自然条件下的构造,提高土柱模拟实验的真实性。

3、实验过程与测定方法

实验污水取自流入白洋淀的府河水,府河污水的总 P 浓度为 1.96 mg/L,总 N 浓度为 14.7 mg/L, COD 为 66.0 mg/L。

将府河污水分别灌入苇地原状土柱、苇地模拟土柱、麦地原状土柱、麦地模拟土柱中,保

持进水量 10 L/d，每 10 天从实验桶底部出水口取水样并测定水样全氮、全磷、COD，观测不同土柱对污水的净化能力。

小土柱实验保持进水量 1 L/d，每 10 天测定 1 次土柱中流出水样的全氮、全磷和 COD，观测苇地不同土层对污水的净化能力。

三、 结果与分析

(一) 芦苇根孔分布的野外观测实验

河北白洋淀芦苇群落的芦苇变种为白洋淀苇 (*Phragmites australis* var. *baiyangdiensis*)，植株高 2~3 m，秋季可达 4 m，茎径 1~1.5 cm。白洋淀芦苇品种主要是栽苇，平均盖度为 99%，间杂横草。寨里乡杨孟庄村由于近 10 年的干旱，苇地退化，芦苇平均苇高 2.4 m、平均直径 3 mm、密度为 86 株/m²；安新镇南刘庄村芦苇平均苇高 4.2 m、平均直径 1 cm、密度为 65 株/m²。调查表明，寨里乡杨孟庄村苇地死根孔多于安新镇南刘庄，说明退化芦苇地根孔的功能在下降。

芦苇根孔以横向走向为主。芦苇既有地上茎又有地下茎，两种茎上都有繁多的不定根组成的根系。越近表层，发根带的节根发的越多。芦苇不定根的长度，根据调查一般在 20~30 cm，最长的可达 50 cm 以上，组成了典型的须根系。芦苇地下茎一般粗度 0.3~3 cm，节间长度 5~12 cm，壁厚 0.3~0.8 cm，色泽呈乳白色或淡黄色。根据调查，芦苇根孔形态多为圆形孔道、较平直，在 100 cm 以上以横向分布和斜向分布为主，在 100 cm 以下则以垂向分布为主。在南刘庄试验点挖取剖面，发现 80~90 cm 深处，芦苇活根孔周围有灰黑色物质呈环状分布，这些物质很象煤炭，在根孔外围分布长度达 25~35 cm，厚 1.0~1.4 cm，根孔的内外径分别为 1.6 cm 和 2.7 cm。据此推断，这可能是污水经过芦苇湿地根孔传输的证据。根据挖取 12 个苇田剖面的调查，发现大多数芦苇的根孔集中在 18~75 cm 之间，0~15 cm 范围内分布有大量垂直的芦苇根状茎和芦苇不定根，数目极多，很难在野外给以计数。

不同土层芦苇根孔状况调查结果，见表 1。

表 1 芦苇根孔分布与径级组成野外观测实验结果

地点	土层深度 (cm)	地 下 茎				不 定 根				
		茎干重 (g)	茎 长(cm)			不定根数	根干重 (g)	根 长(cm)		
			<1cm	1~2cm	>2cm			<1mm	1~2mm	>2mm
寨里乡杨孟庄村	0~20	29.6	124.5	37.5		3	2.59	832.4	149.0	
	20~40	50.3	26.6	48.6	26.9	5	2.27	350.2	91.1	90.9
	40~60	23.5	29.3	22.9	12.8	4	1.61	146.1	48.2	34.6
	60~80	12.3		28.9		3	2.14	121.1	81.2	60.9
安新镇南	0~20	34.8	35.3	60.0		4	5.10	1382.6	334.5	59.0
	20~40	100.1	19.1	123.4	61.8	6	8.81	1027.8	304.7	304.8

刘庄	40~60	29.1		39.4		4	5.31	594.6	124.1	230.4
	60~80	19.6		20.6		3	3.27	386.2	86.7	66.7

从表可见,安新镇南刘庄健康芦苇湿地,无论是从茎干重、茎长,还是根干重、根长来看,均优于寨里乡杨孟庄村的退化芦苇湿地。0~20 cm 土层,茎干重健康芦苇湿地高于退化芦苇湿地 15.1%,20~40 cm 土层,高于 49.7%;茎长主要是集中在 1~2 cm 范围内,健康芦苇湿地优于退化芦苇湿地;0~20 cm 土层,根干重健康芦苇湿地高于退化芦苇湿地 49.2%,20~40 cm 土层,高于 74.2%;根长不论是<1 mm、1~2 mm,还是>2 mm,均是健康芦苇湿地优于退化芦苇湿地。由此说明,健康芦苇湿地根孔数量和质量均优于退化苇地。因此,加强芦苇湿地的保护和管理,维持健康的芦苇湿地生态系统,对水污染物的净化具有及其重要的理论和实践意义。

(二) 苇田土柱净化污水的室内模拟实验

1、大型土柱实验

试验结果表明,保定市府河生活污水的磷含量相当高,从 10 月 20 日~12 月 1 日每 3 天测定一次的结果来看,总 P 浓度为 1.5~2.5 mg/L,总 N 浓度为 11~17mg/L,COD 为 66 mg/L。对污水中的磷的净化能力苇地原状土柱的净化能力大于苇地模拟土柱,苇地模拟土柱的净化能力大于麦地土柱。在灌水 40 天后从土柱中流出的水,总 P 浓度为:苇地原状土柱为 0.149 mg/L、苇地模拟土柱为 0.216 mg/L、麦地模拟土柱为 0.280 mg/L;总 N 浓度为:苇地原状土柱 8.31 mg/L、苇地模拟土柱 8.47 mg/L、麦地模拟土柱 8.63 mg/L;COD 为:苇地原状土柱 30.3 mg/L、苇地模拟土柱 36.0 mg/L、麦地模拟土柱 46.3 mg/L(灌入府河污水的总 P 浓度为 1.97mg/L,总 N 浓度为 14.7 mg/L,COD 为 66 mg/L)。

2、小柱实验

经过一个月的观测,苇地各层土壤之间净化能力相差不大。灌水 21 L 后总 P 浓度:0~20 cm 为 0.085 mg/L、20 cm~40 cm 为 0.094 mg/L、40 cm~60 cm 为 0.093 mg/L、60 cm~80 cm 为 0.079 mg/L、80 cm~100 cm 为 0.086 mg/L。总 N 浓度:0~20 cm 为 7.75 mg/L、20 cm~40 cm 为 6.82 mg/L、40 cm~60 cm 为 6.58 mg/L、60 cm~80 cm 为 7.12 mg/L、80cm~100cm 为 6.62 mg/L(灌入府河污水的总 P 浓度为 1.97 mg/L,总 N 浓度为 14.7 mg/L)。

通过上述两个实验的初步研究,结果表明污水经过土层一定时间的处理后,得到了净化,对磷的净化能力最大,达到 86.0~92.6%,氮为 41.3~43.5%,COD 为 29.8~54.1%。因此,芦苇湿地系统对解决湖泊、水库富营养化中的关键影响因子—磷,具有非常重要的作用。芦苇湿地土壤不同土层间处理污染物的能力差别不是很大,仍需进行观测研究与探讨。

四、小结

芦苇根孔多为圆形孔道、较平直,大多数集中在 18~75 cm 之间。在 100 cm 以上以横向分布和斜向分布为主,在 100 cm 以下则以垂向分布为主。健康芦苇湿地苇高、苇粗,根、茎长而重,死根孔少。

苇地土柱的净化能力大于麦地土柱，以对磷的净化最大。苇地土柱的净化率为 TP 92.6%、TN 43.5%、COD 54.1%；麦地土柱的净化率为 TP 86.0%、TN 41.3%、COD 29.8%。苇地各层土壤之间净化能力相差不大。

参考文献

1. 尹澄清. 1995. 内陆水—陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景. 生态学报, 15(3): 331-335
2. Jaana Uusi-Kamppa, Bent Braskerud. 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. J. Environ. Quality, 29(1): 151-158
3. Gopal S. 1999. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. Water Sci. Tech. 40(23): 27-35
4. Ying C Q, Wang X. 1999. Degradation problems of the land/water ecotones in China and their ecological impact to water systems. Journal of Environmental Sciences, 11(2): 247-251
5. Li Y, Ghodrati M. 1994. Preferential transport of nitrate through soil columns containing root channels. Soil Sci. Soc. Am. J., 58: 653-659
6. Gish T J, Gimenez D, Rawls W J. 1998. Impact of roots on ground water quality. Plant and Soil, 200: 47-54
7. 王大力、尹澄清. 2000. 植物根系在土壤生态系统中的功能. 生态学报, 20(5): 869-874
8. 秦耀东、任理. 2000. 土壤中大孔隙流研究进展与现状. 水科学进展, 11(2): 203-207
9. 尹澄清、兰智文. 1995. 白洋淀水陆交错带对陆源营养物质的截留作用初步研究. 应用生态学报 6(1), 76-80
10. W. Wang, D. Wang, C. Yin. A field study on the hydrochemistry of land/inland water ecotones with reed domination. Acta Hydroch Hydrob, 2002, 30(2-3): 1-11