

苏北盐城海岸带芦苇湿地对营养物质的净化作用初步研究

欧维新^{1,2}, 杨桂山², 高建华²

(1. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095; 2. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 对在不同污灌强度下的苏北盐城海岸带两片芦苇湿地的调查发现: 在常规水质灌溉下, 营养物质在 2 km 长的廊道中的自净率为 12.0 % ~ 45.6 %, 苇田净化率在 29.2 % ~ 95.65 % 之间; 在超负荷污水灌溉下, 廊道中的自净率在 6.5 % ~ 8.7 % 之间, 苇田净化率为 61.3 % ~ 86.2 %, 单位面积净化效果是常规水质灌溉下的 3.2 ~ 123 倍。净化效果的巨大差异, 说明对苏北盐城海岸带芦苇湿地净化污染物功能的利用还存在巨大的潜力和空间。

关键词: 营养物质; 净化作用; 芦苇湿地; 海岸带; 盐城

中图分类号: P901; Q149

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2006)04-0045-05

滨海湿地是陆生系统和水生系统之间过渡的土地^[1,2]。研究表明, 一个健康的湿地可对流经此地的水流及其所携带的物质具有截留和过滤作用^[3,4]。这种功能可用来削减入海河流对近海的污染, 起到保护和防止近海富营养化的作用。苏北盐城海岸带具有芦苇湿地 11 460 hm², 主要分布在入海河流的河口地区。苏北盐城海岸带入海河流主要有灌河、苏北灌溉总渠、射阳河、黄沙港、新洋港、斗龙港等 6 条大的河流, 这些河流携带着上游工农业生产和生活废水进入黄海, 致使河流和近海水体严重污染。据江苏省海洋污染基线调查报告资料显示, 1998 年江苏沿海海域因受陆源污染物质的大量输入影响, 沿海水域水质污染严重尤其是引发赤潮的限制性因子的污染。其中, 总氮超过评价标准值的范围约 6 210 km², 而盐城沿海水域(废黄河口至竹港一带)超标面积达 4 997 km²; 总磷超标范围约 29 130 km², 江苏沿海水域总磷质量浓度几乎全部超标; 有机污染物(COD), 超标范围较小, 全省仅有 563.28 km², 其中盐城在废黄河口、王港附近存在超标污染^[5]。造成污染的营养物的来源, 主要是入海河流、滩涂养殖和农业。运用河口湿地来截留入海营养物质是一种十分经济和适用的方法, 目前国内外对芦苇湿地净化功能的研究已有不少, 就研究区域而言, 苏北盐城海岸带芦苇湿地的研究尚未见有报道, 同时对不同污灌强度和管理运作下的比较研究还很少^[6-10]。作者拟报告苏北盐城海岸带芦苇湿地在不同污灌强度下对营养物质净化作用的初步研究结果。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究地点为新洋港河口的射阳县芦苇开发公司

1 333 hm² 的人工灌溉芦苇生产基地(灌溉水来自新洋港河), 以及在黄沙港镇射阳河的南岸, 用造纸厂尾水灌溉的芦苇生态工程基地, 面积达 1 867 hm²。这里的灌溉系统比较完善, 灌溉苇田的水经泵站进入支渠、苇田, 再由支沟排出苇田系统(图 1)。

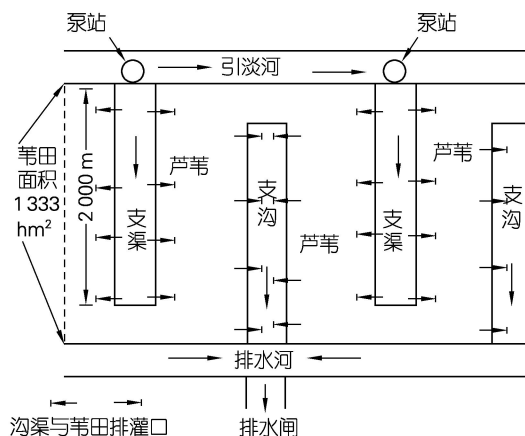


图 1 芦苇湿地人工灌溉渠系统示意图

Fig. 1 The canal system of irrigation in the reed wetland

收稿日期: 2004-04-13; 修回日期: 2004-07-15

基金项目: 中国科学院全国优秀博士论文基金; 江苏省“333 工程”基金

作者简介: 欧维新(1974-), 男, 湖南益阳人, 博士研究生, 主要从事海岸带资源利用与效应研究, 电话: 025-86882072, E-mail: wxounj@163.com

两块芦苇湿地的管理运作方式各异,新洋港芦苇生产基地:芦苇湿地人工灌溉采取三灌三排方式,灌溉期和排水期分别有 15~20 d 左右。第一次灌溉时间为 2 月中旬,排水在 4 月中下旬;第二次灌水时间在 5 月中下旬,排水在 6 月中下旬;第三次灌水在 7 月中下旬,排水在 9 月中下旬;芦苇在 12 月份收割。黄沙港芦苇生态工程基地:芦苇灌溉水源为江苏双灯集团造纸厂尾水,在芦苇生长期,不定期地进行污水排灌,芦苇在 12 月份收割。

在调查期间,两处芦苇湿地中的芦苇群落,长势良好,植株高度在 60~200 cm 之间,盖度在 80% 以上。地上生物量在 0.975~1.53 kg/m² (干质量) 之间,地下部分生物量与地上部分生物量之比在 1.5~2.5 之间。

1.2 研究方法

采集灌渠上距泵站 0,500,1 000,2 000 m 处各点水样和苇田田面、地下 40~60 cm 处潜水水样。2003 年 7 月和 9 月的两次观测采样分析。同时观测和收集有关影响灌溉水量的野外资料,如泵站抽水

量、渗漏量、出口排出量、同期降水量与蒸发量等资料数据。调查采集的水样指标主要有 COD,总氮(TN),总磷(TP),NO₃-N,PO₄-P。其中 COD 采用碱性高锰酸钾法测定,TN,TP 采取过硫酸氧化还原法测定,NO₃-N 采用酚二磺酸比色法测定,PO₄-P 采用磷钼蓝比色法测定。

2 结果分析

2.1 新洋港芦苇湿地对污染物的截留效用

2.1.1 芦苇湿地灌渠子系统对污染物的截留效应

从引淡河进入芦苇湿地过程中,其携带的营养元素和有机污染质量浓度均有所下降,表 1 显示了灌溉水在从地表经过 2 000 m 长的支渠流向苇田的 TN,TP,COD 质量浓度($c(\text{TN})$), $c(\text{TP})$), $c(\text{COD})$),其余类推)的变化,其削减率分别为 23.3%,18.3%,12.0%。在此过程中,各形态营养元素被截留的量也各不相同,NO₃-N,PO₄-P 的截留率明显高于 TN,TP,分别有 45.6%,29.6%。

表 1 污染物在 2 000 m 灌渠中的自净情况

Tab.1 Self-purification of pollutants in the canals

采样点距泵站的距离 (m)	$c(\text{COD})$ (mg/L)	$c(\text{TN})$ (mg/L)	$c(\text{TP})$ (mg/L)	$c(\text{NO}_3\text{-N})$ (mg/L)	$c(\text{PO}_4\text{-P})$ (mg/L)
0	7.84	6.291	0.316	1.142	0.027
500	7.53	5.605	0.302	1.01	0.024
1 000	7.25	5.348	0.297	0.875	0.023
2 000	6.9	4.823 4	0.258	0.621	0.019

2.1.2 芦苇湿地苇田子系统对污染物的截留效应

在 2 个月的时间内(7 月中旬第三次灌溉至 9 月下旬的最后一次排水),苇田地表水各营养元素和有机物质量浓度变化差异较大(图 2),除 COD 外各物质的质量浓度均为下降,体现了苇田对污染的净化功效,其中 TN,PO₄-P 降幅最大,均超过了 82%,其次是 TP。COD 质量浓度不降反增,可能与苇田中动植物的腐烂分解作用有关。

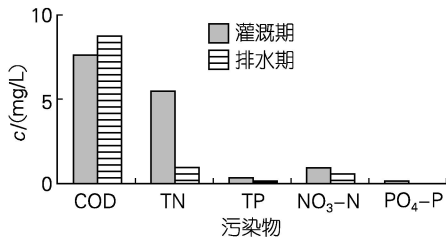


图 2 新洋港灌溉期与排水期苇田地表水污染物质量浓度差异

Fig.2 Change of pollutants mass concentration in the reed field from irrigation period to drainage period in Xinyanggang

表 2 苇田土壤对地表水污染物的净化作用

Tab.2 Purification of pollutants by soil in the reed field

污染物	芦苇田(灌水期) 污染物质量浓度 (mg/L)	芦苇潜流污染物 质量浓度 (mg/L)	截留率 (%)
COD	7.56	5.35	29.233
TN	5.423	0.343	93.675
TP	0.271	0.035	87.085
NO ₃ -N	0.853	0.319	62.603
PO ₄ -P	0.023	0.001	95.652

对苇田芦苇群落土壤剖面的观察和分析发现,从地表到地下 50 cm 之间是芦苇根茎和须根集中分布的地区,由于芦苇群落的生物量大、生产力高,根区的微生物活动旺盛,生物体对营养物质的吸收较多,所以苇田水通过地表下 60 cm 以内的土壤时,营养物质的截留作用最大。表 2 是苇田地下 40~60 cm 潜流水体与灌水时苇田地表水各营养物质和有机物质量浓度的比较,TN,TP,COD 的截留率分别为 93.675%,87.085%,29.233%,而磷酸盐的截留最大,达 95.652%。

2.2 黄沙港芦苇湿地对污染物的截留效应

与新洋港芦苇湿地相比,黄沙港的芦苇基地是在一种超污染负荷、超强度的灌排系统下的运作。图3显示了灌溉水中COD, TN, TP在芦苇湿地地表过程中的截留率,其中在渠道系统中截留率在6.5%~8.7%之间,苇田截留率为61.3%~86.2%(初始值为进入苇田的各物质的质量浓度),总的截留率在64.7%~87.4%之间。但经过湿地过滤,各污染物的质量浓度依然超标,COD, TN, TP的质量浓度高达442, 14.154, 1.125 mg/L,分别是新洋港湿地灌溉泵站处的56.4, 2.2, 3.6倍。

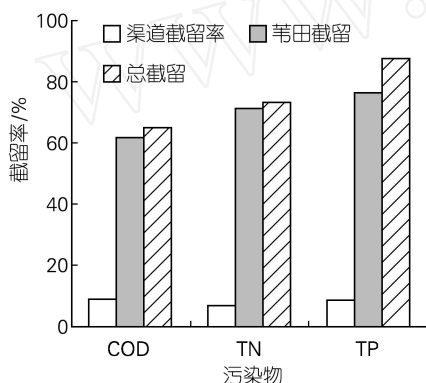


图3 黄沙港芦苇湿地对污染物的截留率

Fig.3 Retention of pollutants by reed wetland in Huangshagang

表3 黄沙港芦苇湿地潜水水质

Tab.3 The groundwater quality of reed wetland in Huangshagang

经历灌溉时段	取样点	取样时间 (年-月-日)	c(COD) (mg/L)	c(TN) (mg/L)
未污灌	苇田外芦苇滩	2002-01-21	10.3	16.26
污灌 0.5 a	苇田	2002-01-21	124.5	18.96
污灌 2 a	苇田	2002-01-21	126.6	23.73

表3是黄沙港芦苇生态工程基地芦苇收割以后潜水水质情况,根据2003年7月的测试结果,用于灌溉的污水从进入苇田到排出苇田的COD, TN的质量浓度分别为442~1143, 14.154~48.71 mg/L。因此,苇田土壤截留率,COD为71.9%~89.1%;而TN的截留率尽管也能达到61.0%,但潜水中TN的质量浓度依然偏高,说明TN在土壤中富集;未污染的苇田外芦苇滩潜水中TN质量浓度也偏高,可能是苇田潜流长期处于高水位状态,从而在水位差的作用下向滩外流动所致。

2.3 盐城海岸芦苇湿地对污染物的净化量估算

作者估算芦苇湿地对污染物净化通量,主要

从芦苇群落分布面积与湿地中灌溉水量与水质的变化来考虑。灌溉是经过泵站抽水入灌渠,再由灌渠泄水入苇田,灌期期满再由出口排水出田,因此,估算湿地对污染物的净化通量水量平衡是关键。养分总去除量是根据整个研究区的养分平衡来估算的。可用下式来预估:

$$R = Q_{in} C_{in} - Q_{out} C_{out} \quad (1)$$

(1)式中, R 是系统养分去除总量, Q_{in} 是泵站处输入水量, C_{in} 是泵站处水中养分质量浓度; Q_{out} 是输出水量, C_{out} 是苇田出水养分质量浓度。 Q_{out} 可按下式来计算:

$$Q_{out} = Q_{in} + Q_{rain} - Q_{ep} - Q_{soil} \quad (2)$$

(2)式中, Q_{rain} 为同期降水量, Q_{ep} 为同期蒸发量, Q_{soil} 为被苇田土壤所吸收的水分; Q_{out} 又可以看成是地下潜流入海部分与地表排出部分之和。

2.3.1 新洋港芦苇湿地的净化量估算

芦苇湿地调查是在夏季最后一次灌排期进行的,故估算主要以调查期的数据为主,并根据降雨量、灌溉水量等外推另外两次排灌对污染物质的净化效果。根据泵站抽水能力与抽水时间以及当地气象台站同期观测数据,夏季灌溉水量约200 mm,同期降水量为414 mm,虽然在盐城海岸带一年的蒸发量比降雨量要高出500 mm以上,但在气温高、降雨多、空气湿度较大的夏季,同期蒸发量与降水量相差不大,为441 mm。苇田由于植物蒸腾过程的影响,损失水量难以估算,可以认为蒸腾水量包括在蒸发量中,因为灌溉期整个苇田面上都有水。根据地下潜水位深度,可以假设土壤部分吸收的水量为45 mm。此外,因灌溉沟渠宽度在1~3 m之间,而且在灌溉期间沟渠两侧的芦苇长势良好,盖度在50%以上,因此可将这部分的湿地当成苇田同等看待。

根据以上条件,夏季灌排(7月15日~9月22日),抽水量约为 $2.67 \times 10^6 \text{ m}^3$,苇田地表排水量为 $0.67 \times 10^6 \text{ m}^3$,地下渗漏潜流入海的量为 $1.04 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。第一次灌排(2月15日~4月10日)抽水量 $1.33 \times 10^6 \text{ m}^3$,降雨110 mm、蒸发125 mm,苇田地表排水量为0,地下渗漏潜流入海量为 $0.53 \times 10^6 \text{ m}^3$;第二次灌排(5月15日~6月20日)抽水量为 $2.67 \times 10^6 \text{ m}^3$,降雨89 mm、蒸发122 mm,苇田地表排水为 $0.67 \times 10^6 \text{ m}^3$,地下渗漏潜流入海量为 $0.96 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

根据新洋港芦苇基地灌排水各污染物质质量浓度,利用公式(1)和公式(2),采用上述条件和参数可以估算出1333 hm²芦苇第三次灌排期间对河流水的净化效果:TN 15.84 t, TP 0.75 t, COD 9.55 t,假定灌

溉水源水质稳定不变,则可以估算出 1 333 hm² 芦苇全年截留 TN,TP,COD 达 39.9,1.9,27.1 t,截留率为 95.1%,90.1%和 51.8%。

2.3.2 黄沙港芦苇湿地净化量估算

黄沙港处的芦苇生态工程基地,2003 年全年降雨量为 1 274 mm,据双灯集团提供的观测资料,1 867 hm² 芦苇地可蒸发 20×10^6 m³,双灯集团年排放污水 6.5601×10^6 m³,由地下渗漏潜流入海量按 0.54 mm/d 计,则 1 867 hm² 苇田经潜水入海的量为 3.682×10^6 m³,据此参数和公式(1)、公式(2),可算出 1 867 hm² 芦苇一年可截留 COD,TN,TP 分别为 4 670.0,177.1,49.1 t,可净化 TN 0.095,TP 0.026,COD 2.5 t/(hm²·a),分别是新洋港三灌三排方式下净化效果(TN 0.03 t,TP 0.001 4 t,COD 0.2 t)的 3.2,18.5,123 倍。

上述水量平衡运算过程中,主要存在以下误差:

(1) 蒸发量。在水量平衡表中使用当地气象站观测值,而非蒸腾量,因此会偏高。但如果使用当地的潜在蒸腾量来计算,则又会比实际值低得多,因为灌排期间田面上是布满水的。相对而言,蒸发量比较接近实际又容易得到。(2) 苇田土壤吸收的水分。盐城海岸带的苇田土壤以粘性的盐化沼泽土和盐土为主,本次调查假设不管初始田间水量大小如何,假定土壤部分吸收的水分 45 mm,应当说土壤的吸水量有待进一步研究。(3) 苇田地表水排出量。排水期地表面的排水量是根据实测和调查的结果,前提是不考虑地势高低问题,假设地表水全部排尽。

3 结果与讨论

在常规水质灌溉下(新洋港芦苇湿地),污染物 2 000 m 长的廊道中的自净率为 12.0%~45.6%;苇田净化率在 29.2%~95.65%之间;1 333 hm² 芦苇全年截留 TN,TP,COD 达 39.9,1.9,27.1 t,截留率为 95.1%,90.1%和 51.8%。

在超负荷污水灌溉下(黄沙港芦苇湿地),污染物 2 000 m 长的廊道中的自净率在 6.5%~8.7%之间;苇田净化率为 61.3%~86.2%;1 867 hm² 芦苇一年可截留 COD,TN,TP 分别为 4 670.0,177.1,49.1 t,单位面积净化效果是常规水质灌溉下的 3.2~123 倍。

芦苇湿地对营养物质或其他污染物质的截留和

净化能力的估算,与区域的空间差异、气候上的降雨量及蒸发量、土壤质地、地下潜水位深度、人工灌溉的管理形式、灌溉水源水质的状况等有着密切的联系。而野外采样和实验工作,尤其是采样点的密度、采样时间的连续性、周期性更是影响净化能力估算的关键因子。作者主要用了一次排灌周期的调查数据,只是粗略地估算了盐城海岸带芦苇湿地的年度养分平衡,要进行精确估算还有待进一步的调查和研究。

目前苏北盐城海岸带的芦苇湿地,其营养成分的供给并不都是来自污水灌溉,常规管理运作和超负荷灌排方式对营养成分和有机污染的截留效果的巨大差异,反映了对海岸带芦苇湿地净化污染物功能的利用还存在巨大的潜力和空间。

参考文献:

- [1] 刘厚田.湿地的定义和类型划分[J].生态学杂志,1995,14(4):73-77.
- [2] 王宪礼,李秀珍.湿地的国内外研究进展[J].生态学报,1997,16(1):58-62.
- [3] Muscutt A D, Harris G L, Baily S W. Butter zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture [J]. *Agric Ecosys and Environ*, 1993, 45:59-77.
- [4] 尹澄清.内陆水—陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景[J].生态学报,1995,15(3):331-335.
- [5] 江苏省海洋污染基线调查队.江苏省海洋污染基线调查报告[M].南京:河海大学出版社,2001.12-19.
- [6] 曲向荣,贾宏宇,张海荣,等.辽东湾芦苇湿地对陆源营养物质净化作用的初步研究[J].应用生态学报,2000,11(2):270-272.
- [7] 李秀珍,肖笃宁,胡远满,等.湿地养分截留功能的空间模拟 I.模型的概念和方法[J].生态学报,2002,22(3):300-310.
- [8] 李秀珍,肖笃宁,胡远满,等.湿地养分截留功能的空间模拟 II.模型的完善和应用[J].生态学报,2002,22(4):486-495.
- [9] 王为东,王大力,尹澄清,等.芦苇型湿地生态系统的潜水质状态研究[J].生态学报,2001,21(6):919-925.
- [10] 尹澄清,兰智文,晏维金.白洋淀水陆交错带对陆源营养物质的截留作用初步研究[J].应用生态学报,1995,6(1):76-80.

Preliminary study on purification function of reed wetland for nutrients in coastal zone of Yancheng

OU Wei-xin^{1,2}, YANG Gui-shan², GAO Jian-hua²

(1. Land Management College of Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, the Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

Received : Apr. ,13 ,2004

Key words : nutrients; purification function; reed wetland; coastal zone; Yancheng

Abstract : Surveying purification function of two patches of reed wetland was managed by effluent irrigation with different intensities in the coastal zone of Yancheng. The results show that , under general irrigation by river water , the purification rates for N , P and COD are 12.0 % ~ 45.6 % in a 2 km-length channel and 29.2 % ~ 95.65 % in the reed field. Under effluent irrigation with sewage from paper mill , the purification rates for N , P and COD are 6.5 % ~ 8.7 % in the channel and 61.3 % ~ 86.2 % in the reed field. About 0.095 t of total N , 0.026 t of total P and 2.5 t of COD can be removed from reed wetland per hectare per year , the purification efficiency of the reed wetland per unit was 3.2 , 18.5 ~ 123 times as that of general irrigation by general irrigation with river water , respectively. The gap of the purification efficiency between general irrigation reed wetland and effluent irrigation reed wetland shows that there are great potential and space for utilizing the purification functions for nutrients of the reed wetlands in the coastal zone of Yancheng.

(本文编辑 :刘珊珊)