

骆马湖滨岸缓冲带土壤性质的空间异质性分析

徐德兰¹, 万 蕾¹, 张翠英¹, 韩宝平¹, 孙君瑶²

(1. 徐州工程学院 环境工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221008)

摘 要:通过野外调查、采样以及地统计学的方法,研究了骆马湖东南岸有草和无草两块滨岸缓冲带土壤的氮、磷、有机质含量的异质性特征,探讨植物带对污染物的富集、截留作用。结果表明:有草区土壤的 TN、TP 及有机质的平均含量均大于无草区;在骆马湖滨岸缓冲带,不同的植物群落对氮、磷元素的截留、富集效率差异不大;植物群落对有机质的截留作用不明显,有草区和无草区的有机质含量的性质较为接近。滨岸缓冲带植物能够通过吸收、截留、吸附、分解等作用减少湖泊水体中的碳、氮、磷的含量。研究结果可为骆马湖非点源的治理提供理论参考,为湖泊滨岸缓冲带的研究和构建提供借鉴。

关键词:骆马湖; 滨岸带; 土壤性质; 异质性

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)04-0039-05

Soil Property Spatial Heterogeneity of Riparian Buffer Zone in Luoma Lake

XU De-lan¹, WAN Lei¹, ZHANG Cui-ying¹, HAN Bao-ping¹, SUN Jun-yao²

(1. College of Environmental Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: In order to explore pollutant enrichment and interception of the plant zone, soil heterogeneity of nitrogen, phosphorus, organic matter content in Luoma Lake Southeast Coast riparian buffer zone was studied through field investigation, sampling and geostatistical methods. The results showed that the average TN, TP and organic matter content in area with plants were greater than the area without plants. In Luoma Lake Shore buffer zone, interception effect of different plant communities on nitrogen and phosphorus was nearly the same; interception effect on organic matter was not obvious. Plants in riparian buffer zone can reduce carbon, nitrogen, phosphorus content in water of the lake through interception, uptake, adsorption and decomposition. Results can provided theoretical references for Luoma Lake non-point source management, and can be used as a reference for research and establishment of riparian buffer zone.

Key words: Luoma Lake; riparian buffer zone; soil property; spatial heterogeneity

滨岸缓冲带是指建立在河湖、溪流和沟谷沿岸的各类植被带,包括林地、草地或其它土地利用类型。主要目的是保护水质清洁,拦截、过滤可能进入河流、水库的泥沙、有机质、杀虫剂和其它有害物质^[1-2]。研究表明,滨岸缓冲带具有截留雨水、防止雨水击溅侵蚀;减少地表径流、防止水土流失;增加水分渗透;连接生态廊道;净化水质,削减非点源污染;改善生物栖息地功能;提高景观多样性等多种功能^[3-8]。

滨岸缓冲带主要通过一定宽度的植物带起作用^[9-10]。例如 1990 年美国环境保护局研究指出,非点源污染约占流域污染物总量的 65%,而植被带的

过滤功能可以明显滞留并减少 N、P 的含量,并可通过土壤吸附降解净化径流中的农药,从而防止农药直接污染湖泊^[11]。吉国强等^[12]研究发现,临汾河流域草本缓冲带对悬浮固体的净化效果明显,可净化约 83.81% 的悬浮固体;沿程截流污染物效果为草本带 > 灌木带 ≈ 小乔木带;草本可提高 5—20 cm 土层的抗侵蚀能力,灌木可提高 15—30 cm 土层的抗侵蚀能力,乔木可提高 25—40 cm 土层的抗侵蚀能力。本文通过野外调查、采样以及地统计学的方法,研究骆马湖东南岸有草和无草两块滨岸缓冲带中土壤的氮、磷、有机质含量的异质性特征,探讨植物带对污染物

收稿日期:2012-08-17

修回日期:2012-10-03

资助项目:江苏省住房和城乡建设厅科技计划项目(200906170001);住房和城乡建设部科技资助项目(2011-k6-27)

作者简介:徐德兰(1975—),男,安徽宿州人,博士,副教授,主要从事沉积物地球化学性质与植物修复方面的研究。E-mail:xdlxw@126.com

通信作者:万蕾(1981—),女,山东烟台人,博士,副教授,主要从事水环境污染防治与生态修复方面的研究。E-mail:hjwanl@163.com

的富集、截留作用。以期为骆马湖非点源的治理提供理论参考,为湖泊滨岸缓冲带的研究和构建提供借鉴。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

骆马湖(34°00′—34°11′N, 118°06′—118°18′E)是江苏省四大淡水湖泊之一,位于江苏省北部,京杭大运河中段;其上接山东省南四湖,下接江苏省洪泽湖,水域面积达 35 100 hm²(丰水面积 78 500 hm²,枯水面积 20 100 hm²),湖底高程 18~21 m,当蓄水位为 23.0 m 时(古黄河基地),平均水深 3.32 m,最深等深线东南部水深 5.5 m,年水位涨幅在 1.90~5.73 m,年换水次数在 10 次左右,是典型的过水性湖泊。

1.2 样品的采集与测定

在野外踏勘的基础上,在骆马湖东南岸选取有草区和无草区两种不同类型的样地,沿南北方向分别设置一个 20 m×20 m 的大样方,并在大样方内以 2 m×2 m 的距离设置连续的小样方,在小样方内取表层土壤,共 200 个土样,采样点见图 1。有草区的植物类型主要有芦苇、香蒲、黄蒿、茅草等,形成了芦苇群落、香蒲群落、黄蒿群落、茅草群落以及茅草+黄蒿群落和芦苇+香蒲群落。采样时间为 2010 年 9 月 11 日。

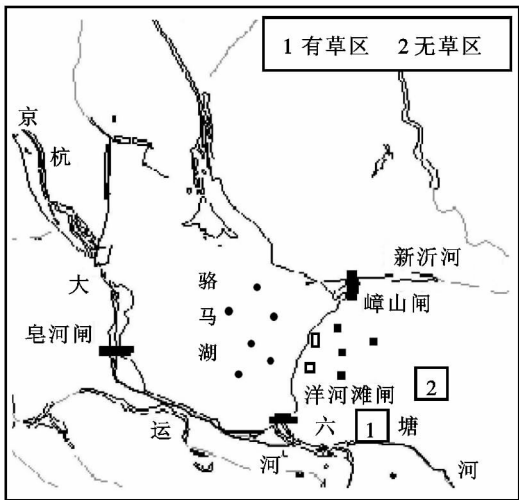


图 1 骆马湖滨岸带土壤采样区位置示意图

首先将采集的土样在 40℃烘箱中烘干,经碾钵碾磨,将磨细沉积物过 100 目筛待用,土壤的总氮、总磷的测定分别采用半微量凯氏定氮法和 H₂SO₄—HClO₄ 消解钼锑抗比色法。土壤的有机质的测定方法为重铬酸钾容量法。

将每一样方内土壤的 TN、TP、有机质含量值输

入地学统计软件 GS⁺ 中,分别得出这两种类型土壤的 TN、TP 和有机质的半方差函数图,并拟合出最优变异函数模型,得到相应的块金值、基台值、变程值和块基比等主要参数。通过对有草区与无草区土壤性质的变异函数模型的研究,比较分析植物对土壤氮、磷等营养元素富集的影响。

1.3 研究方法基本理论

当一个变量分布于空间中并显示出一定结构性和随机性的特征时,称之为区域化变量。这种变量常常反映某种空间现象的特征,用区域化定量描述的现象称之为区域化现象。以空间点 x 的 3 个直角坐标 (x_1, x_2, x_3) 为自变量的随机场 $Z(x_1, x_2, x_3) = Z(x)$ 称为一个区域化变量,它的显著特征是随机性、结构性。因而我们可以认为区域化变量土壤的总氮、总磷、有机质具有随机性与结构性。随机性是指滨岸带土壤的任意一点的养分值可以被当作是一个随机变量,是不确定的,这就体现了随机性。结构性是指滨岸带土壤任意两点之间均有一定的相关性存在,并且两点间的距离越小,相关性越好。这种连续性和关联性被认为是变量的自相关性,体现了结构性。

空间变异函数是被用来描述土壤的空间异质结构的函数,可以用来计算描述区域化变量空间特征参数。空间变异参数既能反映区域化变量的随机性,又能反映变量的空间自相关性。变异函数定义为区域化变量在任意两点处的含量差值的方差的一半。具体计算公式为:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2nh} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式中: $Z(x_i)$ ——研究区域土壤的 i 个点。

上式对应参数的测量值,数据对 $\{Z(x_i), Z(x_i + h)\} [i=1, 2, \dots, N(h)]$ 为在某一方向上相距为 h 的点对 $(x_i, x_i + h)$ 上的测量值, $n(h)$ 为数据对 $\{Z(x_i), Z(x_i + h)\}$ 的对数和。数据 h 则为数据对间不同的间距。从公式(1)中可以看出,半方差函数值随着数据对的增多,其精度也越高。通过公式(1),可以计算出相应的 $r(h)$ 。然后把每一点 $[h_i, r(h_i)]$ 通过图标注出来,并用线段连接起来的图形称为实验的半方差函数图。

理论方差函数模型是由实验方差函数拟合而成的,其目的在于对区域变量的未知的地段的含量进行预估。理论方差函数模型包含多种类型的变异函数模型,可以用来表达变量的空间异质性程度,在地统计学中最常用的为球面模型和高斯模型,具体拟合公式如下:

球面模型 $\gamma(h)=$

$$\begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0+C[\frac{3}{2}\frac{h}{a}-\frac{1}{2}(\frac{h}{a})^3] & 0<h<a \\ C_0+C & h>a \end{cases} \quad (2)$$

高斯模型 $\gamma(h)=C_0+C(1-e^{-\frac{h^2}{a^2}})$ [$\gamma(0)=0$] (3)

从公式(3)中可以看到,通过模型的拟合可以得到变程值 a ,块金常数 C_0 和基台值($C+C_0$) 3 个重要的参数。通过反映土壤性质的空间异质性的变程值可知,变程值以外的土壤,其性质是相互独立的,而在变程值以内的土壤,其性质是空间自相关的。土壤性质的测定误差一般用块金值表示,它代表了排除采样间距这一因素所造成的差异性程度。基台值反映了不同采样间距中所存在的半方差极大值,一般来说基台值越大,说明土壤指标总的空间异质性程度越高。而空间变异程度可以用块金值与基台值的比值来反映。

2 结果与分析

2.1 土壤 TN、TP、有机质测定结果的统计特征值

根据测定结果,并对土壤 TN、TP 及有机质含量的总体分布进行参数检验,发现土壤 TN、TP 及有机质含量多数为正态分布类型。分析每个样点的总氮、总磷和有机质的变化情况,见表 1。从表 1 中可见,骆马湖东南岸滨岸带土壤 TN 含量为 0.82~1.71 mg/g,TP 含量为 0.01~0.91 mg/g,有机质含量为 1.01~6.89 mg/g。有草区的 TN、TP 及有机质的平

均含量均大于无草区的含量,有草区的 TN 平均值比无草区高 27.7%,TP 高 54.1%,有机质高 29.8%,说明有植被区的土壤氮、磷富集效果更好。表中通过样本方差及样本的最大值、最小值等基本的统计值在一定程度上反映了样本的总体,并不能定量刻画有草区及无草区土壤 TN、TP 及有机质含量的随机性和不规则性、独立性和相关性。要对其解释并量化,必须对其进行空间变异结构分析。

表 1 土壤参数含量的统计特征值

土壤类型	均值/ (mg·g ⁻¹)	样本方差	最小值/ (mg·g ⁻¹)	最大值/ (mg·g ⁻¹)	偏度
有草区	1.423	0.019	1.12	1.71	0.14
无草区	1.114	0.018	0.82	1.38	0.135
有草区	0.521	0.046	0.12	0.91	0.216
无草区	0.338	0.038	0.01	0.71	0.196
有草区	4.135	1.780	1.05	6.89	1.336
无草区	3.185	1.530	1.01	5.86	1.238

2.2 土壤中 TN、TP 及有机质的空间变异结构分析

从空间异质性的程度来看(表 2):无草区 TP 的块金值较大,高达 0.346,说明土壤 TP 含量在小尺度上某种生态学过程不可忽视。有草区和无草区土壤 TN 的块金值仅为 0.000 91 和 0.006 6,说明随机部分在有草区和无草区 TN 含量空间分布规律中的影响较小。而无草区 TN、TP 及有机质基台值分别为 0.024,1.11,0.22,其总的空间异质性程度高于有草区的 TN、TP 及有机质,表明了无草区土壤 TN、TP、有机质含量分布具有较大的空间异质性,有草区土壤营养元素含量分布具有较小的异质性。

表 2 土壤不同指标变异函数理论模型及半方差函数参数

土壤属性	土壤类型	理论模型	C_0	C_0+C	$C_0/(C_0+C)$	a/m	r^2
TN/(mg·g ⁻¹)	有草区	球面模型	9.10E-04	0.01	0.094	8.59	0.975
	无草区	高斯模型	6.58E-03	0.024	0.278	7.56	0.976
TP/(mg·g ⁻¹)	有草区	球面模型	0.0238	0.15	0.158	8.68	0.839
	无草区	高斯模型	0.346	1.11	0.312	8.11	0.958
有机质/(mg·g ⁻¹)	有草区	球面模型	0.0309	0.17	0.183	8.11	0.954
	无草区	球面模型	0.0374	0.22	0.168	8.53	0.932

空间异质性是 与尺度相关的函数,变异函数也能够通过变程值 a 这一参数描述空间异质性的尺度。从表 2 中可以看出,不管是有草区还是无草区,土壤 TN、TP 及有机质等指标的变程值 a 均较小,一般都在 8 m 左右。块金方差与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 可以反映变量的空间自相关程度。一般来说,当块基比值<25%的时候,表示区域性变量具有强烈的空间自相关性,也就是说变量的空间结构性较强烈,当块基比值在 25%~75%之间,说明区域性变量具有中等的空间结构性,若比值>75%,则说明其空间自相关

性很弱。表 2 中,空间变异大小顺序为:无草区 TP>无草区 TN>有草区有机质>无草区有机质>有草区 TP>有草区 TN,无草区土壤 TN、TP 含量的块金值和基台值之比的变化较大,大于 25%,说明在无草区 TN、TP 含量总体变异中,随机因素和结构性因素都起到重要作用,并且随机因素在总变异中占重要的比例,空间相关性中等。有草区土壤 TN、TP 含量的 $C_0/(C_0+C)$ 值<25%,具有强烈的空间相关性,表明随机因素在总变异中占有较小比例,有草区的空间 变异性主要是由土壤母质、地形等结构性因素影响,

植物群落的生长是天然形成的,人为干预因素较少。

不同指标变异函数半方差函数图见图2。由图2可见,几种土壤指标的变异函数模型中各点变化相对来说比较稳定,说明土壤TN、TP、有机质的空间分布

在较大尺度上受到自身结构的影响。无草区土壤TN的变程值最小,自相关数约为7.56 m;有草区土壤TP的变程值最大,在小于8.68 m时,植株空间分布存在空间自相关。

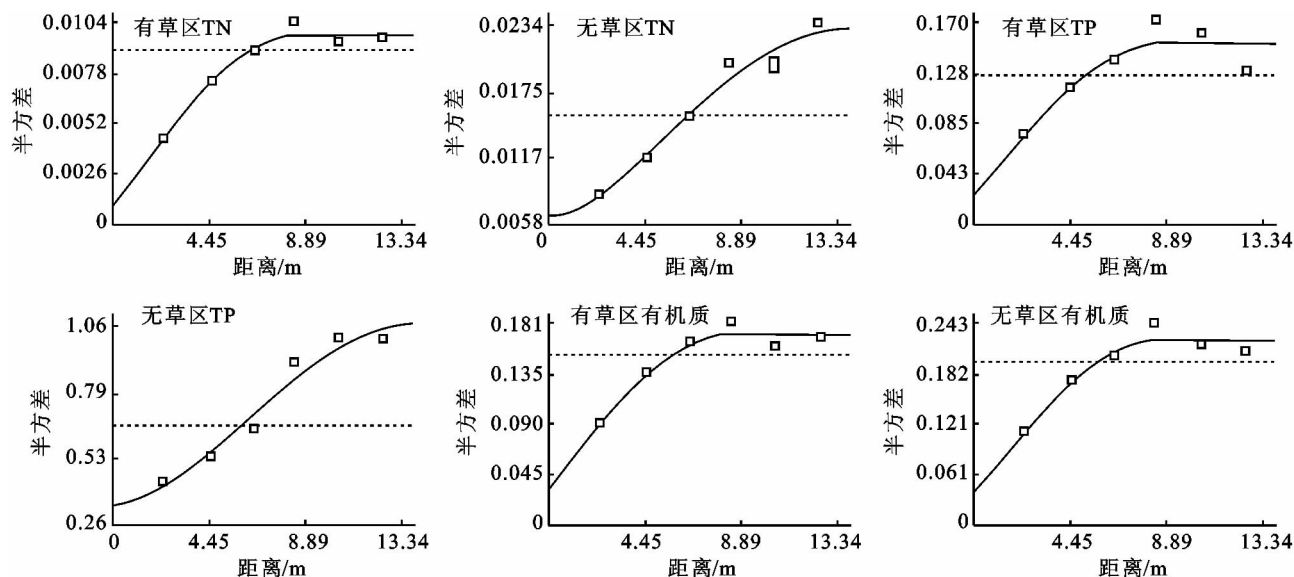


图2 有草区与无草区土壤指标变异函数曲线

2.3 有草区土壤性质的差异性分析

有草区的TN、TP含量的块金值均明显小于无草区,有草区土壤营养成分分布具有较小的异质性程度。说明不同的植物群落对TN、TP均能起到一定的截留、富集作用。进一步研究不同植物群落的立地土壤的氮磷含量发现,在6个植物群落带中,就表层来看,芦苇+香蒲群落总氮含量最高,达到3.19 mg/g,其次是芦苇群落,总氮含量为2.84 mg/g,而茅草、茅草+黄蒿、香蒲、黄蒿群落的表层土壤的总氮含量均为1.5 mg/g左右。茅草群落的表层总磷含量最高,为0.96 mg/g,最小的芦苇+香蒲群落0.35 mg/g,变幅较小。水生植物要满足自身的生长,必然对氮磷等营养元素具有一定的吸收、截留作用,在骆马湖滨岸带缓冲带,有草区的空间变异性较小,说明不同的植物群落对氮磷的截留、富集效率差异不大。六种不同植物群落中,芦苇+香蒲群落土壤表层有机质含量为65.33 mg/g;芦苇群落立地土壤有机质含量为37.12 mg/g,茅草、黄蒿等草本乔木群落有机质含量低。这是由于香蒲、芦苇等挺水植物土壤处于干旱和长期淹水之间,有机质的含量相对较高。同时,挺水植物对养分的截留有较大贡献。研究发现,土壤有机质含量与土壤的质地即土壤黏粒所占比例也有关系。茅草、黄蒿等草本乔木群落与湖泊有一定距离,因此土壤含水量较低,土壤颗粒较粗,通气性较强,造成有机质容易被分解,导致黄蒿、茅草等群落有机质含量较低。因此,植物群落对有机质的截留

作用不明显,有草区和无草区的有机质含量的性质较为接近。

3 讨论

骆马湖滨岸缓冲带有草区TN、TP及有机质的平均含量均大于无草区,说明植物对氮、磷、有机质具有一定的截留、富集作用。水生植物为满足自身生长需要对氮素的吸收实际是一种持留机制,不同种类的植物对土壤氮素的吸收富集能力也各不相同^[13]。动植物残体和生物固氮作用是湿地土壤氮素的两个重要来源,还有一部分氮素来源于大气降水^[14]。滨岸带土壤中的有机氮被分解后主要通过两个途径转移,一部分氮素直接被植物体吸收利用,另一部分有机氮通过反硝化、氨挥发等作用重新回到大气中^[15]。天然湿地的滨岸带土壤中磷素含量主要来源于成土母质和动植物的残体^[16]。磷素在湿地生态系统中具有一定的稳定性,这种稳定态的存在对湿地来说非常重要,由于水文地理条件变化频繁,磷素能够从湖泊水体转移到土壤中,被黏土吸附而留存于湿地滨岸带土壤中^[17]。土壤对磷的吸附能力还与植被覆盖、干湿交替作用等因素有关。湖泊滨岸带土壤中的有机质含量是由湖泊生态系统中有机质的输入量与输出量大小决定的。有机质的输入量依赖于动植物残体的数量和残体的腐殖化系数。而输出量主要包含植物对有机质的分解和水土侵蚀两方面,受pH、氧化还原电位等生物条件的影响^[18]。总体来说,湖泊滨岸带

土壤的有机质含量主要与土壤有机质的矿化分解和动植物凋谢残体、根系、河水周期性淹没及大气降水等外源有机物的输入有关。所以, 滨岸缓冲带植物能够通过吸收、截留、吸附、分解等作用减少湖泊水体中的碳、氮、磷的含量。

4 结 论

(1) 骆马湖东南岸滨岸缓冲带土壤 TN 含量为 0.82~1.71 mg/g, TP 含量为 0.01~0.91 mg/g, 有机质含量为 1.01~6.89 mg/g。有草区的 TN、TP 及有机质的平均含量均大于无草区。

(2) 无草区土壤 TN、TP、有机质含量分布具有较大的空间异质性, 有草区土壤营养元素含量分布具有较小的异质性。空间变异大小顺序为: 无草区 TP > 无草区 TN > 有草区有机质 > 无草区有机质 > 有草区 TP > 有草区 TN。无草区 TN、TP 含量变异中, 随机因素和结构性因素都起到重要作用, 有草区的空间变异性主要受结构性因素影响。

(3) 在骆马湖滨岸缓冲带, 不同的植物群落对氮磷的截留、富集效率差异不大; 植物群落对有机质的截留作用不明显, 有草区和无草区的有机质含量的性质较为接近。

(4) 滨岸缓冲带植物能够通过吸收、截留、吸附、分解等作用减少湖泊水体中的碳、氮、磷的含量。其它区域的不同植物群落对不同污染物的截留作用、防止水土流失的作用、不同区域的最佳滨岸带长度和坡度等有待进一步研究。

参考文献:

[1] 赵杭美, 由文辉, 罗扬, 等. 滨岸缓冲带在河道生态修复中的应用研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(4): 116-122.

[2] 程洪, 颜传盛, 李建庆, 等. 草本植物根系网的固土机制模式与力学试验研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 62-65.

[3] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 等. 湖滨带的功能及其管理[J]. 生态环境, 2005, 14(2): 294-298.

(上接第 38 页)

[11] 张红平, 周锁铨. 山地降水的空间分布特征研究综述[J]. 陕西气象, 2004(6): 27-29.

[12] 樊述全. 鄱阳湖流域降雨时空分布规律及其水文响应[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[13] 刘健, 张奇, 左海军, 等. 鄱阳湖流域径流模型[J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 570-578.

[14] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教

[4] 郭彬, 汤兰, 唐莉华, 等. 滨岸缓冲带截留污染物机理和效果的研究进展[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 257-262.

[5] 高大文, 杨帆. 滨岸缓冲带在水源地农业面源污染防治上的应用[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(10): 92-100.

[6] 秦明周. 美国土地利用的生物环境保护工程措施: 缓冲带[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 119-121.

[7] 戴尔·米勒. 美国的生物护岸工程[J]. 水利水电快报, 2000, 21(24): 8-10.

[8] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.

[9] 董凤丽, 袁峻峰, 马翠欣. 滨岸缓冲带对农业面源污染 NH_4^+-N , TP 的吸收效果[J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2004, 33(2): 93-97.

[10] 王敏, 吴建强, 黄沈发, 等. 不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4951-4956.

[11] Narumalani S, Zhou Y C, Jensen J R. Application of remote sensing and geographic information system to the delineation and analysis of riparian buffer zones[J]. Aquatic Botany, 1997, 58(3/4): 393-409.

[12] 吉国强, 韩伟宏, 赵国斌. 不同缓冲带植物在滨岸缓冲带中的作用[J]. 山西农业科学, 2011, 39(8): 850-852.

[13] 白军红, 王庆改, 余国营. 吉林省向海沼泽湿地土壤中氮素分布特征及生产效应研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 113-116.

[14] 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.

[15] 白军红, 邓伟, 朱颜明. 湿地生物地球化学过程研究进展[J]. 生态学杂志, 2002, 21(1): 53-57.

[16] Xie Y H, Yu D, Ren B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants[J]. Aquatic Botany, 2004, 80(1): 29-37.

[17] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统模型研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(3): 352-355.

[18] Wetzel R G, Comers H. The role of the littoral zone and detritus in lake metabolism[J]. Aich Hydrobiologie, 1979, 13: 145-161.

程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[15] 门明新, 字振荣, 许皞, 等. 基于地统计学的河北省降雨侵蚀力空间格局研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(11): 2270-2277.

[16] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 基于地统计学和 GIS 的土壤速效养分空间变异研究: 以四川盆地两个自然村为例[J]. 山地学报, 2006, 24(增刊): 153-160.