

# 典型污染物在崇明东滩不同类型湿地的分布规律

彭晓佳, 李朝君, 张文俊, 王磊 (同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要** [目的]了解湿地植被类型以及土壤质地的不同导致其对氮、磷等营养盐的吸收、净化能力的差异。[方法]以长江口崇明东滩不同类型湿地土壤(不同的土壤质地、湿地中的植物类型)为研究对象,采用分析湿地土壤中氮、磷等污染物质的含量方法。[结果]研究不同农业模式下氮、磷等农业污染物在不同类型湿地土壤中的分布特征,从而评价不同类型湿地土壤对氮、磷等污染物净化能力,表明不同类型湿地土壤对内源农业污染具有不同的吸收净化功能。[结论]堤内经济作物种植模式下的污染源氮磷含量高于养鱼业,粘质土壤对氮磷污染物的去除能力总体高于沙质土壤。研究结果对于湿地的保育、修复和优化,以及今后人工湿地的设计和运行提供了理论依据。

**关键词** 东滩湿地;农业模式;氮磷;分布规律

**中图分类号** X592 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)31-15330-03

## Research on the Distribution Rule of the Typical Pollutants in the Different Types of Wetlands in Chongming Island

PENG Xiao-jia et al (College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse of China, Shanghai 200092)

**Abstract** [Objective] It was understood that the different types of wetland vegetations and soil textures led to the difference in its capability in the absorption and purifying of nitrogen, phosphorus and other nutrients. [Method] The different types of wetland soil (the soil texture and plant type in wetland) in the eastern part of Chongming Island in the Yangtze River being taken as experimental object, the content of nitrogen, phosphorus and other pollutants in the wetland soil were analyzed. [Results] The distribution of the nitrogen, phosphorus and other agricultural pollutants in different types of wetlands under the different farming modes was studied, and the capacity in the purification of nitrogen, phosphorus and other pollutants in the different types of wetland soil was evaluated. The result indicated that the different types of wetlands had the different functions of the purification and absorption of the pollutants of agricultural soil. [Conclusion] The content of nitrogen and phosphorus under the cultivation of cash crops was higher than these of fish farming and the capacity of clayey soil in the removal of nitrogen, phosphorus and pollutants was higher than that of sandy soil. The theoretical basis of the future design and operation of artificial wetlands, and the wetland conservation, restoration and optimization were provided.

**Key words** Dongtan wetlands; Agricultural mode; Nitrogen and phosphorus; Distribution rule

目前崇明东滩湿地由于植被类型(外种护花米草的蔓延与扩散)以及土壤质地的差异(处于不同淤涨阶段的湿地土壤的质地有所差异)可能导致其对氮、磷等营养盐的吸收、转化和汇聚能力的差异。评价与比较不同类型湿地对来源于内陆和附近水体的氮、磷等营养盐的吸收、转化能力,并进行定量表征和经济价值核算,为今后崇明东滩湿地的保育、修复和优化以及提升其对附近水体和内陆农业污染的吸收、转化功提供决策依据和理论指导。

目前许多分析土壤吸收氮磷含量的研究都通过当地植物量中的氮磷含量来折算,这种方法有一定科学性和借鉴意义。但因为植物生长所需要的氮素同时来源于大气中分子氮的固定(包括微生物和植物固定)和人工施肥,而从土壤流失的氮素也不仅仅取决于植物的吸收(硝化反硝化也起着一定的作用),因此以这种核算方法来确定湿地对氮磷的吸收能力并不很精确。该研究通过探讨氮磷等营养盐从污染源头向湿地纵深迁移转化的规律,并根据氮磷在湿地土壤中的浓度变化,直接计算出被湿地生物系统从土壤中移出的氮磷含量。该方法得出的结果已经考虑了固氮、硝化反硝化等作用造成的偏差,因此是一种可参考的方法,也是对目前常用方法的一种补充。

## 1 研究区概况

崇明东滩指崇明岛东部海堤以外的自然滩涂,位于崇明岛最东端(121°45' E, 31°30' N),其西界是奚家港(岛南部)

和北八淤(岛北部)。属北亚热带海洋气候,气候湿润,年平均气温 15.3℃,年总降水 1 117.1 mm,是我国淤涨幅度最大的潮滩湿地,也是中国“最年轻”的河口湿地之一。目前,海堤以外 0.2 和 5 m 等深线以上面积分别为 131.8、200.6 和 324.0 km<sup>2</sup>。东部最宽处潮滩(0 m 以上)约 10 km,植被带的宽度在南、北两侧均小于 1.5 km,而在中部最大可达 3.0 km;大约在理论基准面以上 2.7 m 开始出现连片的植物,近海堤高程最大已超过 4.0 m。植被带中潮沟体系发育,潮沟向外到达光滩后多数消失。滩面沉积物自海洋向陆地呈变细趋势,光滩和植被带沉积物平均粒径通常小于 0.10 和 0.03 mm。潮流流速一般 < 1.0 m/s,从低滩向高滩流速逐渐降低。南、北两沿以往复流为主,东部广阔滩地以旋转流为主,平均潮差约 2.5 m。

## 2 采样与研究方法

**2.1 采样区域与采样方法** 崇明东滩位于长江的入海口,整个东滩湿地由团结沙、东旺沙、北八淤 3 块组成。如表 1 所示,根据东滩沉积状况、堤内农业生产情况和堤外湿地植被分布情况设置了 3 个样区(A、B 和 C 区)。其中:A 区位于团结沙,堤内作物主要为村民承包的水稻,堤外至光滩为纯芦苇湿地,土质为沙质土;B 区位于东旺沙,堤内为连片鱼塘,堤外为互花米草和芦苇盐沼,淤泥土质;C 区位于北八淤,堤内为崇明县现代农业园区,该区因培肥改土需要而采用油菜壳还田技术,土壤有机质含量较高,团粒结构较好,堤外植被和土质情况与 B 区类似。

每个样区由堤内农田沿海梯度设置 3 条平行样线,样线间距约 100 m。每条样线设置 5 个取样点 1、2、3、4、5,分别位于堤内、高潮带、中潮带、低潮带、光滩。于 2007 年 6 月采

**基金项目** 科技部科技支撑重大项目(2006BAC01A13-4);上海市科委重大科技攻关项目(06DZ12302)。

**作者简介** 彭晓佳(1981-),男,北京人,硕士研究生,研究方向:湿地土壤。

**收稿日期** 2009-06-30

集 -20 ~ -5 cm 表层土 135 份 (3 样区 × 3 平行线 × 5 样点 × 3 重复样), 每份约 1 kg。

表 1 采样区域及其概况

Table 1 The sampling region and its survey

区域 Region	地理位置 Geographical position	堤外质土类型 Dike soil types	淤积阶段 Depositing stage	堤内土地 利用模式 Land use type in dike
A	团结沙	芦苇型沙质土	较慢	水稻种植
B	东旺沙	芦苇、米草型粘质土	较快	框围养鱼
C	北八激	芦苇、米草型粘质土	较快	果蔬栽培

2.2 样品的测定方法 测定湿地土壤中不同污染物的分布与浓度,采用如表 2 所示的分析方法、土壤指标及设备,通过实验数据的分析研究氮磷等营养盐从污染源向湿地纵深迁移转化的规律,阐明不同类型湿地土壤的污染物净化能力,并初步判断不同类型湿地对各种农业污染的净化效应。

表 2 土壤指标、分析方法及设备

Table 2 Soil index, analysis method and apparatus

分析指标 Analysis index	分析方法 Analysis method	所用仪器 Apparatus
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂光度法	紫外可见分光光度计
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	紫外分光光度法	紫外可见分光光度计
TN	碱性过硫酸钾氧化法	紫外可见分光光度计
TP	过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法	紫外可见分光光度计
速效磷	钼锑抗分光光度法	紫外可见分光光度计

### 3 结果与分析

3.1 崇明东滩不同类型湿地土壤氮的空间分布 氮是导致水体富营养化的主要物质,在大量施用氮肥后随着地表径流等途径会造成附近地区的面源污染。氮元素有 7 种存在价态(+5 ~ -3),使得其在复杂的生物地球化学循环中有多途径生物的或非生物的转化。在湿地中,最重要的无机氮是氨氮和硝态氮<sup>[1]</sup>。根据熊汉锋的研究,土壤氮的输出主要是土壤有机质的分解产物,铵态氮和硝态氮供植物吸收<sup>[2]</sup>。

3.1.1 不同类型湿地土壤氨氮的空间分布。图 1 为 A、B、C 号样区由污染源向湿地纵深扩散过程中土壤可溶性硝氮和氨氮的含量变化特征,图中横坐标 1~5 表示从农业模式样点向堤外纵向延伸(下图同)。

由图 1 可知,A、B、C 3 个样区氨氮空间上的分布呈现出两端高中间低的锅底型分布。堤内土壤受到农业面源污染,氨氮含量较高。而光滩高氨氮含量来源于富营养化严重的水体。3 条变化趋势线在 2、4 号点呈现出明显的拐点,即湿地内外的氨氮含量有明显差异。上述现象表明,湿地通过植物和微生物等的作用可以吸收和从土壤中移出来源于内陆农业面源污染和附近富营养化水体中的氨氮。

3.1.2 不同类型湿地土壤硝氮的空间分布。图 2 为 A、B、C 号样地由污染源向湿地纵深扩散过程中土壤可溶性硝氮的含量变化特征。

由图 2 可知,崇明东滩湿地 A、C 样区硝氮含量在堤内 1 号样点和高潮带 2 号样点之间变化最大,从高潮带 2 号样点到低潮带 4 号样点硝氮含量区域稳定,光滩 5 号样点略有上

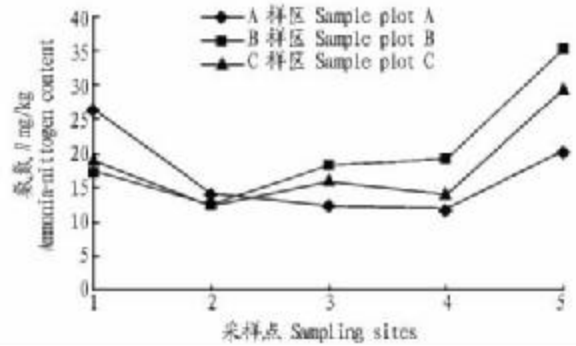


图 1 夏季 A、B、C 样区氨氮分布变化

Fig. 1 Distribution variations of ammonia nitrogen in A, B, C sample plots in summer

升。B 样区堤内硝氮含量相比 A、C 区域较低,这可能是因为 B 区为鱼塘的缘故。研究表明,鱼塘中的沉淀物有很高的反硝化速率,最高能够达到 52.5 mg(N)/(m<sup>2</sup>·d),所以堤内硝态氮含量较低<sup>[3]</sup>。B 区 2、3、4、5 号采样点的硝态氮浓度与堤内相差不大,走势平稳,根据白军红等的研究,土壤中硝态氮水平迁移的主要驱动力以硝态氮的浓度梯度为主,硝态氮的浓度随运移距离增加也不断下降,所以运移通量随运移距离增加而下降<sup>[4]</sup>。

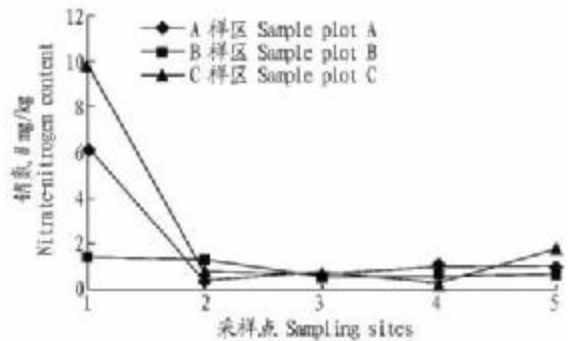


图 2 夏季 A、B、C 样区硝氮分布变化

Fig. 2 Distribution variations of nitrate nitrogen in A, B, C sample plots in summer

3.1.3 不同类型湿地土壤总氮的空间分布。图 3 为 A、B、C 样区由污染源向湿地纵深扩散过程中土壤总氮的含量变化特征。

由图 3 可知,A、C 样区的总氮含量由堤内至光滩都呈现出降低的趋势。B 区总氮呈现先增加后减少的趋势,并且 B 区堤内总氮的含量明显少于 A、C 样区,这是因为 B 区堤内是鱼塘,施肥较少。而 A 区堤内土地使用结构是水稻养殖,C 区为果蔬栽培,相对 B 区而言总氮含量较高。比较 A、C 区总氮的变化情况可知,A 区域堤内总氮含量高于 C 区域堤内总氮含量,而在 2、3、4、5 采样点,A 区域的总氮含量明显低于 C 区域,这可能是由于 A、C 区域土质不同而导致的。根据吴金水的研究,土壤粘粒含量高,土壤有机质难分解,土壤有机碳倾向于积累,土壤质地对微生物生物量的影响,这可能影响土壤微生物量的碳、氮、磷的周转时间,土壤粘粒含量高,周转时间长,土壤微生物量碳、氮、磷积累增加<sup>[5]</sup>。

3.2 崇明东滩不同类型湿地土壤磷的空间分布 作为水陆交互作用的自然综合体,湿地对水体中磷的迁移具有一定的影响。Sakadevan 等对湿地土壤的研究表明,通过吸附作用

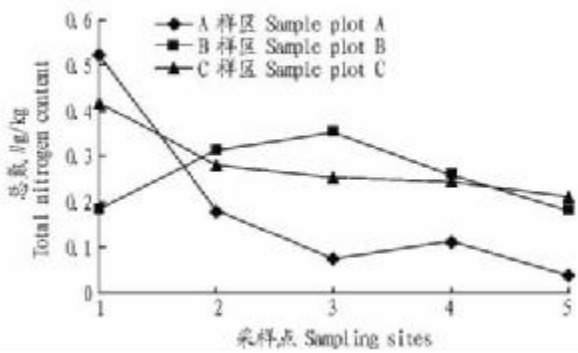


图3 夏季 A、B、C 样区总氮分布变化

Fig. 3 Distribution variations of total nitrogen in A, B, C sample plots in summer

(以化学吸附为主)能够去除污水中的磷<sup>[6]</sup>。Vymazal 的研究表明,微生物对磷的吸收进行的很快,但是吸收量十分有限,而植物根系对磷的吸收占主要地位,特别是处在生长初期阶段的植物<sup>[1]</sup>。根据横向测量各种类型湿地土壤中的速效磷和总磷含量,综合考虑各种除磷机理的存在,可以研究土壤湿地对磷的吸收能力。

3.2.1 不同类型湿地土壤速效磷的空间分布。图4为A、B、C号样地由污染源向湿地纵深扩散过程中土壤速效磷的含量变化特征。

由图4可知,A、C区速效磷含量由堤内到光滩呈现降低趋势。B区由于鱼塘的特殊性,面源污染扩散特性有别于另2区,最高值出现在2号点,而非污染源点。比较A、C2个区的速效磷含量变化可知,A区堤内速效磷含量高于C区,而在2、4、5号采样点,A区速效磷含量明显低于C区。根据以往的研究,土壤水分条件可以控制有机物的循环和矿物质的溶解、沉淀,从而影响土壤中各个形态磷的相对含量的大小。A区土壤为沙质土,相比于C区的粘质土壤,含水量相对较少,氧化作用强,有利于土壤中吸附体对磷的吸附<sup>[7-8]</sup>。同时,A、C区域速效磷变化的不同可能是由于2块湿地种植的植物不同——A区种植的是芦苇,而C区种植的是芦苇和米草。而植物对磷吸收的最大速率出现在植物生长的初期<sup>[9]</sup>,而芦苇和米草的生长周期的差异导致对磷的吸收量的差异。

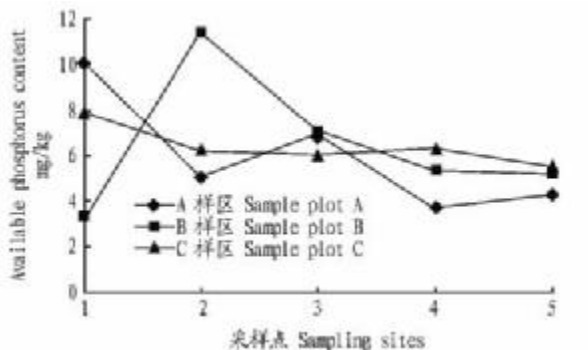


图4 夏季 A、B、C 样区速效磷分布变化

Fig. 4 Distribution variations of available phosphorous in A, B, C sample plots in summer

3.2.2 不同类型湿地土壤总磷的空间分布。由图5可见,A区的总磷含量从堤内到光滩,总磷的变化幅度较小。B区域由于堤内是鱼塘,堤内总磷含量相对较低,最高点出现在3号采样点,4号样点为拐点,光滩总磷含量高于低潮带,这对

富营养化海水有阻挡作用。C区总磷含量比较稳定,在比较小的范围内波动。速效磷的含量占总磷的含量比例相当低,所以植物吸收对总磷的变化影响可以忽略。考虑磷在土壤中转化的另外一个主要途径——土壤对磷的吸附和沉淀。土壤对磷的吸附作用受到土壤孔隙水磷酸盐的浓度以及土壤向土壤间孔隙水补充磷酸盐的能力影响,并且土壤和土壤中孔隙水磷酸盐含量存在平衡点<sup>[1]</sup>。

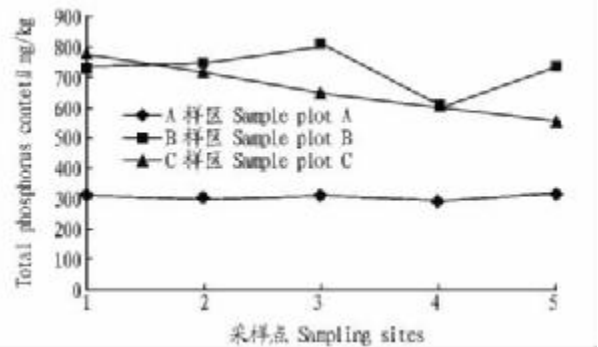


图5 夏季 A、B、C 样区总磷分布变化

Fig. 5 Distribution variations of total phosphorous in A, B, C sample plots in summer

#### 4 结论

(1)崇明东滩湿地土壤氮氮的空间分布呈现出两头高中间低的分布规律,说明崇明东滩湿地可以吸收和从土壤中移出来源于内陆农业面源污染和附近富营养化水体中的氮氮。

(2)崇明东滩A、C区湿地土壤硝氮的空间分布:堤内硝氮含量明显高于堤外,由堤内到高潮带,硝氮含量迅速降低并在中潮带、低潮带和光滩区含量保持基本稳定。B区鱼塘较强的反硝化能力使得其堤内硝氮含量低于高潮带,总体硝氮浓度较低。

(3)崇明东滩湿地A、C区土壤总氮的空间分布都呈现出由堤内向光滩逐渐减低的趋势,由于土质和种植植物的差异,A区总氮去除量明显高于C区。B区堤内为鱼塘,总氮分布呈现出先增加后减少的分布规律。

(4)崇明东滩湿地A、C区土壤速效磷的空间分布都呈现出由堤内向光滩逐渐降低的趋势,B区堤内为鱼塘,速效磷分布呈现出先增加后减少的分布规律,在2号样点处出现拐点。

(5)崇明东滩湿地不同类型的3种土壤总磷的变化量较小,说明土壤对总磷的吸收量较低。

#### 参考文献

- [1] VYMAZAL J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands [J]. Science of the Total Environment, 2007, 380: 48-65.
- [2] 熊汉锋. 湖北梁子湖湿地土壤养分的分布特征和相关性分析[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 93-99.
- [3] FLEISCHER S, GUSTAFSON A, JOELSSON A, et al. Nitrogen removal in created pondsp [J]. Ambio, 1994, 23: 349-357.
- [4] 白军红. 向海沼泽湿地土壤中硝态氮的水平运移规律[J]. 中国环境科学, 2004, 24(4): 414-416.
- [5] 吴金水. 土壤有机质及其周转动力学[M]//何电源. 中国南方土壤肥力与作物栽培施肥. 北京: 科学出版社, 1994: 28-62.
- [6] SAKADEVAN K, BAVOR H J. Phosphate adsorption characteristics of soils, slugs to be used as substrates in constructed wetland systems [J]. Water Research, 1998, 32(2): 393-399.
- [7] MELLO J W V, BARRON V, TORRENT J. Phosphorus and iron mobilization in flooded soils from Brazil [J]. Soil Sci, 1998, 163(2): 122-132.

表2 插值样本和检验样本数据的分布规律

Table 2 The distribution laws of interpolation samples and testing sample data

样本 Samples	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	标准差 Standard error	标准偏差 Standard deviation	个数 Number
插值样本	144	3 208	1 230	6 645	645	79
检验样本	144	2 552	1 243	3 745	711	29

由此可以看出,在上述的4种插值方法中,克里金指数半变差函数模型的离和平方差最小,为38 583 472,是4种插值方法中最优的,图5为最优方法的效果图及3D图形。

3.2 数字地价模型对土地级别的调整 建立好地价空间面后,可以利用空间面直接划分土地级别、制作地价立体图,制作地价等值线,对各条路段上的地价制作地价剖面图等,以便对城镇的地价空间分布特征进行研究。笔者在此采用地价交易点2004~2008年样点地价,在进行分析后,利用克里金法进行插值,生成的数字地价模型,每个栅格的属性值即为其地价。对栅格图进行重新分级,等间距分为5个级别,即得到标准化后地价图,栅格属性值从1至5。通过对频率直方图的分析,选择地价突变点的分值作为级别界线分值,并做出理论级别界线,划分理论土地级别。将作出的理论土地级别图及原土地级别图进行叠加,并将叠加后的成果图作

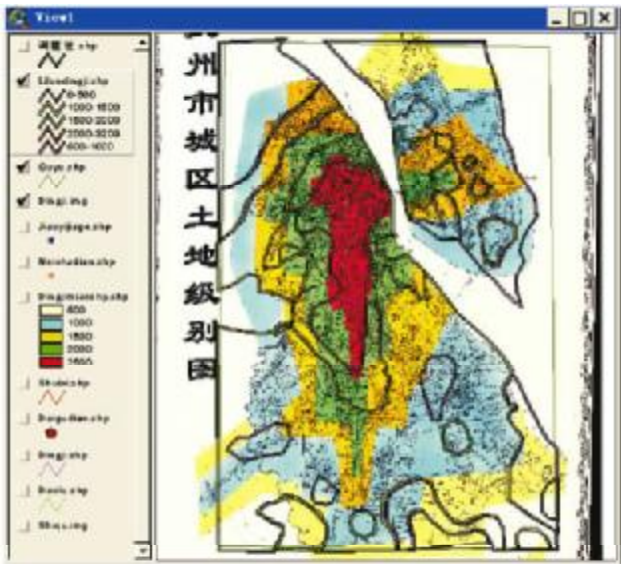


图6 理论图与原有级别图比较

Fig. 6 The comparison between the theoretical map and original map

为土地级别调整的范围(图6)及一级地效果图(图7)。



图7 一级地效果图

Fig. 7 The effect of the best land map

以一级地为例,原有的一级用地面积为1 423 058 m<sup>2</sup>,笔者做出的一级用地为1 666 324 m<sup>2</sup>,需要调整的面积为243 266 m<sup>2</sup>。

4 结论

(1) 通过对几种插值方法生成的结果图的定性比较及插值结果的定量比较得出,在相同参数设置的情况下,克里金插值法的效果好、精度高。在克里金法的几种理论模型中,指数模型最适合该例模型插值。

(2) 利用确定好的参数生成数字地价模型后,用2002年级别图进行验证可以得到调整范围及面积,结果证明有其可行性。

(3) 空间查询功能能够弥补传统定级的人为性,可快速查询某地块的未来交易价格。

参考文献

[1] 陈浮,李满春,周寅康,等. 城市地价空间分布因式的地统计学分析[J]. 南京大学学报:自然科学版,1999,35(6):719-723.  
 [2] 国土资源部. 城镇土地分等定级规程[M]. 北京:中国标准出版社,2000:13-20.  
 [3] 毕宝德. 土地经济学[M]. 北京:中国人民大学出版社,2005:375-289.  
 [4] 吴信才. 地理信息系统的原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社,2005:168-180.  
 [5] 杨海娟. 基于数字地价模型的小城镇地价评估研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2004:12-15.

[9] VYMAZAL J. Algea and element cycling in wetlands[M]. Chelsea Michigan:Lewis Publishers,1995:698.

(上接第15332页)

[8] 秦胜金,刘景双,王国平,等. 三江平原湿地土壤磷形态转化动态[J]. 生态学报,2007,27(9):3844-3851.