

DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2015.01.008

# 内蒙古乌梁素海 N、P 的变化趋势研究

肖博文<sup>1,2</sup>, 成文连<sup>3</sup>, 姚荣<sup>1,2</sup>, 刘华民<sup>1</sup>, 刘玉虹<sup>1,2</sup>

(1. 内蒙古大学环境与资源学院, 呼和浩特 010021; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地实验室, 烟台 264003, 3. 防化指挥学院, 北京 102205)

**摘要:** 为研究乌梁素海芦苇对水体营养盐的净化作用, 采集湖区南部湖水、底泥和芦苇样本, 分析了其总氮、总磷的浓度、氮磷比变化趋势。结果表明: 湖水由湖心向岸边流动过程中, 总氮呈现先增大再减小的变化规律, 湖水和芦苇中总磷含量相对平稳, 底泥总磷持续增大; 总氮浓度的变化范围是 1.44 ~ 19.31 mg/L, 总磷浓度变化范围 0.024 ~ 0.057 mg/L, 氮磷比远远大于 16, 乌梁素海处于氮过剩的富营养化状态; 芦苇等挺水植物的生物量随着营养盐含量的升高而增加, 对营养盐具有一定的吸收作用, 通过合理的收割芦苇, 可以促进乌梁素海氮磷的去除及当地经济的发展。

**关键词:** 水体营养盐; 总氮; 总磷; 芦苇; 底泥沉积物; 乌梁素海; 湖泊

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)01-0043-04

## Study on variation trend of nitrogen and phosphorus in Wuliangusuhai lake of Inner Mongolia

XIAO Bowen<sup>1,2</sup>, CHENG Wenlian<sup>3</sup>, YAO Rong<sup>1,2</sup>, LIU Huamin<sup>1</sup>, LIU Yuhong<sup>1,2</sup>

(1. College of Environment & Resources Inner Mongolia University Hohhot 010021 China; 2. Laboratory of Coastal Wetland, Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, Yantai 264003 China; 3. Institute of Chemical Defense Beijing 102205 China)

**Abstract:** In order to study the purification of reed for water nutrient in Wuliangusuhai Lake, the paper collected some samples such as water, sediment and reed in south of the lake to analyze the variation trends of TN, TP and N/P. The results showed that in the flow process of water from the central lake to the shore, TN content first increases and then decreases, TP content in water and reed keep stable, while TP content in sediment samples continued to increase. TN and TP concentrations ranged from 1.44 to 19.31 mg/L and 0.024 to 0.057 mg/L respectively while the rate of N to P is far greater than 16, which indicates that the Wuliangusuhai Lake is in the state of eutrophication of excessive nitrogen. The biomass of reed increases with the increase of nutrient content, and has certain role of absorbing for nutrient salt. Reasonable harvest of reed can promote the removal of N and P in Wuliangusuhai lake and the development of local economy.

**Key words:** water nutrient; TN; TP; reed; sediment; Wuliangusuhai lake; lake

### 1 研究背景

湿地被称为地球之肾, 是珍贵的自然资源, 也是重要的生态系统, 是陆地、流水、静水、河口和海洋系统中各种沼生、湿生区域的总称<sup>[1]</sup>。在维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源以及涵养水源、蓄洪防旱、降解污染调节气候、补充地下水、控制土壤侵蚀等方面均起到重要作用<sup>[2]</sup>。

湖泊是全球环境变化的敏感区域, 是湖区气候变化和环境变化的指示器。然而近年来随着全球经济的飞速发展和经济快速发展过程中高强度的人类活动, 对湖泊水资源的不合理开发利用以及工农业废水的大量排放, 导致湖泊生态环境日益恶化。我国的湖泊由贫-中营养状态为主, 逐步向富营养状态转变, 富营养化湖泊的数量和面积呈现逐年增加的趋势, 尤其是在东部平原湖区和云贵高原湖区, 以

收稿日期: 2014-09-24; 修回日期: 2014-11-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAC02B03); 国家自然科学基金项目(31060076、31370474)

作者简介: 肖博文(1992-) 男, 内蒙古乌海人, 硕士研究生, 研究方向: 湖泊生态。

通讯作者: 刘玉虹(1974-) 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 副研究员, 主要从事流域、湿地生态水文及模型模拟。

太湖、巢湖和滇池等3个湖为代表<sup>[3]</sup>。目前我国2/3的湖泊水库都面临着日益严重的富营养化危害。

富营养化是一种氮磷等营养物质含量过多所引起的水质污染现象。在自然条件下,随着河流夹带冲击物和水生生物残骸在湖底的不断沉降淤积,湖泊会从平营养湖过渡为富营养湖,进而演变为沼泽和陆地,这是一种极为缓慢的过程。但由于人类的活动,将大量工业废水和生活污水以及农田径流中的植物营养物质排入湖泊、水库、河口、海湾等缓流水体中,水生生物特别是藻类将大量繁殖,使生物量的种群种类数量发生改变,破坏了水体的生态平衡,将人为加快湖泊富营养化的进程<sup>[4]</sup>。

乌梁素海是内蒙古高原干旱区典型的浅水草型湖泊,它是全球范围内干旱草原及荒漠地区极为少见的大型多功能湖泊,也是地球同一纬度最大的湿地。目前因自然因素和人为因素,乌梁素海湿地生态系统受损严重,生态功能严重退化,湖泊水体富营养化严重,沼泽化进程加快。近年来,国内外不少学者对乌梁素海富营养化进行了相关研究,例如:河套灌区氮磷流失量及对乌梁素海的输入量<sup>[5]</sup>、湖泊水体中氮、磷的存在形态和分布特征<sup>[6]</sup>、底泥营养盐的空间分布<sup>[7]</sup>、乌梁素海芦苇的生物量研究<sup>[8]</sup>、人类活动对乌梁素海湿地环境的影响<sup>[9]</sup>等。研究发现:目前,河套灌区的农田排水是乌梁素海富营养化的重要污染源,底泥营养盐含量高并呈现为西高东低的趋势,而且乌梁素海的水质处于持续恶化阶段。

近年来,中国和加拿大开展了乌梁素海富营养化和水污染控制的研究<sup>[10]</sup>,监测显示,乌梁素海目前水体水质为劣五类,水域生态环境恶化,不仅影响湖泊整体功能发挥,还直接威胁到黄河宁蒙段供水安全。因此,分析乌梁素海水体氮磷污染现状及可能的影响因素,并结合实际情况提出相应的保护措施,对乌梁素海富营养化治理具有重要的指导意义。本文拟以乌梁素海为研究对象,主要研究挺水植物芦苇、水体及底泥沉积物N、P含量变化特征,进而揭示挺水植物芦苇对N、P净化作用。

## 2 研究区概况

乌梁素海位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特前旗境内,湖区介于40°36'N~41°03'N和108°43'E~108°57'E,南北长约35~40 km,东西宽约5~10 km,湖面平均高程为1 018.5 m,湖泊容量为2.5亿~3亿m<sup>3</sup>,最大水深为3 m,平均水深1 m。它是内蒙古高原干旱区最典型的浅水草型湖泊,是黄河中

上游重要的保水、蓄水和调水基地,也是全球范围内荒漠半荒漠地区极为少见的具有生物多样性和环境保护等多功能的大型草型湖泊,为地球上同一纬度最大的自然湿地,对调节内蒙古西部干旱区的生态环境和气候以及维持生物多样性等方面具有重要作用<sup>[11]</sup>。

## 3 样品采集与分析

### 3.1 样品采集

2012年8月在乌梁素海湖区进行了湖水、芦苇、底泥的样品采集。采样地点位于乌梁素海南部湖区一片芦苇带,根据湖水流向布设两条200 m样线,每间隔20 m为一个采样点,每条样线11个样点,两条样线距离100 m。在每个样点处用100 mL的聚乙烯塑料瓶采集3瓶湖水,用底泥采样器均匀采集湖底0~30 cm的沉积物,按1 m×1 m的采样格收集芦苇水面以上部分。样品装入塑封袋,用于实验室分析。

### 3.2 样品分析

水样总氮测定,采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,水样在高压蒸汽灭菌锅中120℃下消解,在紫外分光光度计上进行测定,参照HJ 636-2012。水样总磷测定,采用钼酸铵分光光度法,用过硫酸钾为氧化剂,将未过滤的水样消解,在分光光度计上测定,参照GB 11893-89。

芦苇总氮、总磷测定,采用奈氏比色法,用浓硫酸消煮样品,滴加双氧水,将消煮液过滤放置澄清,在分光光度计上测定总氮和总磷。

底泥总氮测定,采用凯氏法测定,用浓硫酸和加速剂消煮样品,蒸馏并滴定测定总氮含量。底泥总磷测定,采用钼锑抗比色法,用浓硫酸和高氯酸消煮样品,消煮液滴加钼锑抗试剂,在分光光度计上比色,由标准曲线算出总磷含量。

## 4 结果与分析

### 4.1 芦苇生物量变化特征分析

为表明样带中芦苇生物量的变化特征,将2012年芦苇由湖心至岸边的生物量变化作图,见图1。由图1可知,从湖心向岸边的样带变化过程中,样带1和2的生物量变化趋势比较一致,即芦苇的生物量靠近湖心,岸边低,而样带中部高,这充分说明采样带中部的芦苇生长旺盛。

### 4.2 总氮、总磷变化特征分析

为了表明样带中总氮和总磷的分布和变化特

征 将总氮和总磷在湖水、底泥、芦苇中随采样点的变化关系分别作图, 见图 2 和 3。

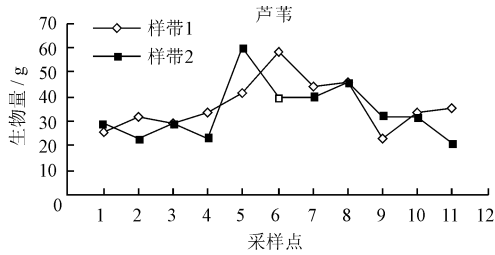


图 1 芦苇生物量变化趋势(由湖心至岸边)

根据图 2 随着采样点从湖心到岸边, 乌梁素海湖水、底泥和芦苇的总氮呈现不同的变化趋势: 湖水

总氮的波动最剧烈, 呈先升高再降低趋势, 在芦苇带中部达到最大值; 底泥总氮先缓慢升高, 然后快速降低, 也在芦苇带中部达到最大; 芦苇总氮呈现先升高再降低的趋势, 靠近岸边时略有回升。总体而言, 三者总氮的变化规律基本一致, 都在芦苇带中部达到最大值, 两边较小。

这是因为乌梁素海水的流向自北向南, 在流动过程中, 营养盐等物质由于湖水的自净作用和芦苇等植物的吸收固定慢慢减少, 造成总氮含量的降低。而芦苇带中部的芦苇过于密集, 水流受到一定阻碍, 扩散较慢, 导致营养物一定程度的富集, 说明了以芦苇为代表的挺水植物对水质的净化作用。

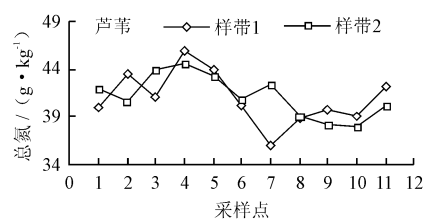
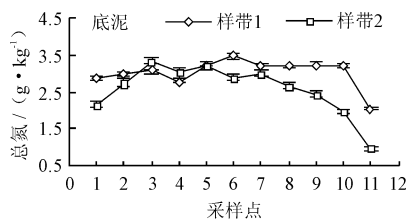
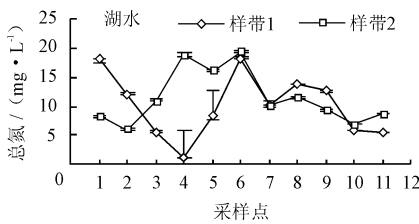


图 2 湖水、底泥、芦苇中总氮变化趋势

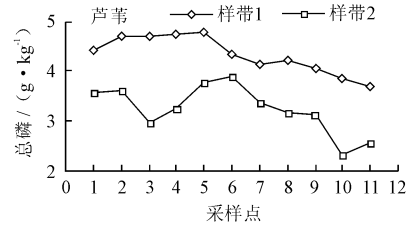
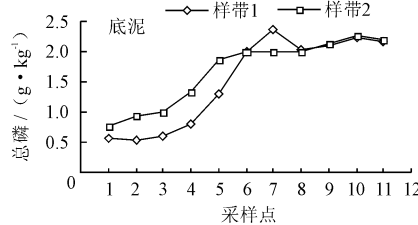
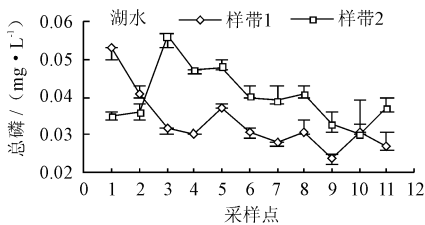


图 3 湖水、底泥、芦苇中总磷变化趋势

根据图 3 随着采样点从湖内到岸边, 湖水和芦苇的总磷含量变化趋势是缓慢减小, 而底泥的总磷反而逐渐增加, 说明近岸底泥对磷具有较强的吸收能力。比较湖水、芦苇、底泥的总磷含量, 可以发现, 芦苇的总磷含量最高, 其次为底泥, 湖水的含量最低, 说明底泥和芦苇具有较强的磷富集能力, 对湖水具有净化作用。

据 湖水总氮远大于底泥总氮, 所以底泥中总氮不会释放, 而湖水中的氮会向底泥中沉积, 而底泥总氮的释放趋势与之相反。

底泥中氮磷的释放取决于湖水和底泥沉积物之间的浓度差, 当上腹水氮磷的浓度超过底泥氮磷的浓度时, 会抑制底泥中氮磷的释放<sup>[12]</sup>。根据图中数

### 4.3 氮磷比变化特征分析

为表明样带中氮磷比的变化, 将湖水、底泥、芦苇中氮磷比随采样点的变化关系作图, 见图 4。

根据图 4 底泥的氮磷比相对最低, 湖水的氮磷比最高。湖水氮磷比值均远远大于 16, 说明乌梁素海水体目前处于富营养化状态, 磷是乌梁素海富营养化的主要限制因子<sup>[13]</sup>。湖水氮磷比远远大于底

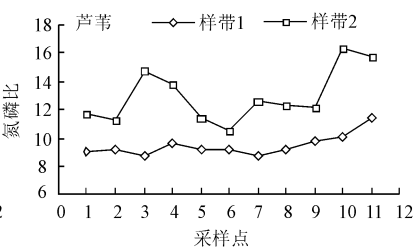
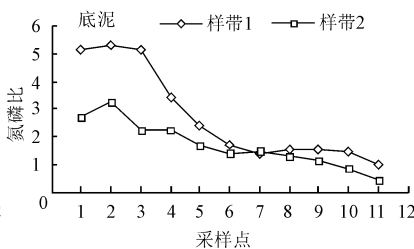
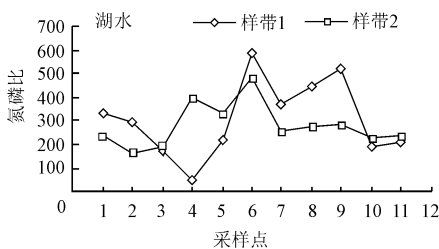


图 4 湖水、底泥、芦苇中氮磷比变化趋势

泥氮磷比和芦苇中的氮磷比,说明水体氮含量已经严重超标。比较不同样线底泥、芦苇的氮磷比,可以发现:芦苇的氮磷比呈上升趋势,底泥的氮磷比反而呈下降趋势,说明芦苇吸收底泥中氮的速度更快,引起底泥氮磷比下降。

乌梁素海的水源主要来自河套灌区的农田退水,农田退水携带大量的营养盐进入湖区,导致氮磷含量大幅度上升,进而引起富营养化。根据环境监测资料,乌梁素海水体总氮1987年为0.05mg/L,2001年为18.15mg/L,上升了362倍;总磷1987年为0.09mg/L,2001年为0.21mg/L,上升了133%,乌梁素海水质呈现日益恶化的状态。2012年,乌梁素海湖水总氮浓度的变化范围是1.44~19.31mg/L,总磷浓度变化范围0.024~0.057mg/L,氮磷比远远大于16,乌梁素海处于明显的氮过剩的富营养化状态。氮磷过剩促使湖区沉水植物和挺水植物大量生长繁衍,现已遍及全湖<sup>[14]</sup>,生物填平作用过速,每年以2~5cm的速度抬高湖底,沼泽化程度越来越大。据有关专家预测,如不采取治理措施任其发展,在生物填平作用下,30~40a后,乌梁素海将成为无水之海,变为沼泽<sup>[15]</sup>。

乌梁素海湖区内分布大量的芦苇,芦苇越密集的地方,对营养盐的吸收效果就越明显,但与此同时底泥中营养盐的含量也越高,原因是无人收割的芦苇在水底腐烂沉积,导致底泥中氮磷含量越来越高,内源污染日益严重<sup>[16]</sup>。同时,经有关部门鉴定和试制,芦苇具有较高的经济价值,包括制浆造纸原料、可代替优质木材、人造棉和人造丝的原料及芦苇的根状茎富含淀粉和蛋白质,有熬糖、酿酒等多种经济功能<sup>[17]</sup>。因此,可以通过定期收获芦苇以及其他沉水植物,把大量的氮和磷带出水体,有效地防止内源污染、恢复生态,并且能为乌梁素海的经济提供有力的支持。

## 5 建议

(1) 乌梁素海的富营养化过程中,总氮主要来自农田退水和工业废水,总磷主要来自城市生活污水。要保护乌梁素海湿地,必须减少河套灌区化肥施放量,提高化肥的利用率,进而减少农田退水氮污染的危害,并对城市污水和工业废水进行必要的处理后再排放。

(2) 乌梁素海是典型的草型浅水湖泊,生长着大量水生植物,以挺水植物芦苇为优势种。芦苇不但具有优秀的吸收固定营养盐的能力,还具有良好的经济价值,因此可以从收割芦苇等植物入手,进行

乌梁素海营养盐的去除,并需控制其生长趋势,如果芦苇区面积越来越大并连接成片,将导致湖泊湿地功能的丧失<sup>[18]</sup>。

(3) 底泥可以反映水体的污染历史,在水中氮磷浓度降低时,底泥能够向上覆水体释放污染物,是重要的二次污染源<sup>[19]</sup>,所以治理内源污染时,对底泥的治理必不可少。

## 6 结语

通过对乌梁素海湖水、底泥、芦苇样品氮磷等数据的分析,得到以下结论:从湖心到岸边,总氮呈现先增大再减小的变化规律,湖水和芦苇中总磷含量相对平稳,底泥总磷持续增大,水中总氮含量为1.44~19.31mg/L,总磷含量为0.024~0.057mg/L,水中氮磷比值过高,表明乌梁素海的水质仍在恶化,总氮含量已经严重超出水体负荷。农田退水是最大的氮污染源,大量废水进入湖泊导致水体氮含量增加并向底泥沉积物中沉积,又会导致内源污染,形成恶性循环。所以控制农田的化肥施用,并在污水入湖前进行必要的处理,是恢复湖区生态的重点。除此之外,芦苇吸收氮磷,净化水质的作用非常显著,人工种植芦苇并定期收割也是治理富营养化的有效措施。

### 参考文献:

- [1] 许其功,曹金玲,高如泰,等.我国湖泊水质恶化趋势及富营养化控制阶段划分[J].环境科学与技术,2011,34(11):147-151.
- [2] Zarul H H, Amir S R M S, Khoo K H et al. The recovery of two long-logged headwaters in temengor reservoir, Perak, Malaysia[J]. 湿地科学,2011,9(2):140-150.
- [3] 包淑梅,姚荣,成文联,等.我国湖泊湿地面临的问题及其对策研究[J].水资源与水工程学报,2013,24(4):78-81.
- [4] 程丽巍,许海,陈铭达,等.水体富营养化成因及其防治措施研究进展[J].环境保护科学,2007,33(1):18-21+38.
- [5] 李晓霞,白洋.浅谈河套灌区农田氮磷流失量及对乌梁素海输入量的估算[J].内蒙古环境科学,2009,21(3):44-49.
- [6] 李卫平,李畅游,史小红,等.内蒙古乌梁素海氮、磷营养元素分布特征及地球化学环境分析[J].资源调查与环境,2008,29(2):131-138.
- [7] 赵锁志,孔凡吉,赵军,等.内蒙古乌梁素海底泥总氮空间分布特征[J].现代地质,2009,23(1):82-85.

(下转第51页)

了潘家口水库流域的分布式水文模型,并通过三道河子水文站的实测数据,进行模型的率定与验证,采用确定性系数  $R^2$  和 Nash-Sutcliffe 效率系数  $E_{ns}$  评价模型模拟精度,验证期  $R^2 = 0.78$ ,  $E_{ns} = 0.64$ ,说明该模型适用于潘家口水库流域。模型校准成功后,输入 2006 年土地利用数据,重演模拟 1986-1999 年的径流过程,在假定气候条件不变的情况下,分析土地利用变化的水文响应。

(2) 1980-2006 年潘家口水库流域土地利用变化主要表现为耕地向林地、草地转变。模拟结果表明:与 1980 年土地利用情景相比,2006 年土地利用情景下的多年平均径流减少 11%;对于不同典型水文年份,土地利用变化对枯水年径流的影响最大,对丰水年和平水年的影响相当;潘家口水库流域的土地利用变化使得汛期径流减少,而非汛期径流变化不明显。

(3) 影响流域径流变化的因素较多,除了土地利用变化以外,径流受到气候变化和人类直接取水等因素的影响,所以研究的局限性较大。本文模拟中未能考虑流域上游的水土保持工程措施,对研究结论产生一定影响。潘家口水库上游流域修建的大量谷坊坝等水土保持工程措施对径流变化的影响

需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 姚允龙,吕宪国,王蕾. 流域土地利用/覆被变化水文效应研究的方法评述[J]. 湿地科学, 2009, 7(1): 83-88.
- [2] 李丽娟,姜德娟,李九一,等. 土地利用/覆被变化的水文效应研究进展[J]. 自然科学学报, 2007, 22(2): 211-224.
- [3] Franchini M, Pacciani M. Comparative analysis of several conceptual rainfall-runoff models[J]. Journal of Hydrology, 1991, 122(1-4): 161-219.
- [4] 董国强,杨志勇,于赢东. 下垫面变化对流域产汇流影响研究进展[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(3): 111-115.
- [5] 董国强,杨志勇,史晓亮,等. 基于 SWAT 模型的滦河流域径流模拟[J]. 人民黄河, 2013, 35(6): 46-49+52.
- [6] 李远平,苏志强,杨太保,等. 基于 SWAT 模型的渭河流域土地利用变化的水文响应模拟[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(5): 662-665.
- [7] 郭宗峰,马友鑫,李红梅,等. 流域土地利用变化对径流的影响[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 139-142.
- [8] 冯平,李建柱,徐仙. 潘家口水库入库水资源变化趋势及影响因素[J]. 地理研究, 2008, 27(1): 213-220.
- [9] 史晓亮. 基于 SWAT 模型的滦河流域分布式水文模拟与干旱评价方法研究[D]. 长春:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2013.
- [8] 段晓男,王效科,欧阳志云,等. 乌梁素海野生芦苇群落生物量及影响因子分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 246-251.
- [9] 于瑞宏,刘廷玺,许有鹏,等. 人类活动对乌梁素海湿地环境演变的影响分析[J]. 湖泊科学, 2007, 19(4): 465-472.
- [10] 尚士友,杜健民,李旭英,等. 乌梁素海富营养化适度控制的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2003, 34(5): 588-592.
- [11] 蒙荣,尚士友,谢玉红,等. 乌梁素海生态恢复规划设计[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2001, 22(3): 61-65.
- [12] 梁文,张生. 乌梁素海表层底泥污染特征分析[J]. 节水灌溉, 2011(4): 35-39+43.
- [13] 孙惠民,何江,吕昌伟,等. 乌梁素海沉积物中有机质和全氮含量分布特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 620-624.
- [14] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sediment ecological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [15] 张晓晶,李畅游,张生,等. 乌梁素海表层沉积物营养盐的分布特征及环境意义[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(9): 1770-1776.
- [16] 史小红. 乌梁素海营养元素及其存在形态的数值模拟分析[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2007.
- [17] 刘海军. 洞庭湖湿地芦苇保护和开发利用的思考[J]. 造纸信息, 2009(7): 23-24.
- [18] 王丽敏. 水草收割工程对乌梁素海氮元素转移过程的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2004.
- [19] 姜慧琴,李畅游,史小红,等. 乌梁素海沉积物总磷分布及其影响因素研究[J]. 节水灌溉, 2010(6): 39-41.

(上接第 46 页)