

乌梁素海透明度的时空分布及其与环境因子的关系

马红¹, 李畅游¹, 赵胜男¹, 周晓旭²

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 中南财经政法大学 法律硕士教育中心, 湖北 武汉 430073)

摘要: [目的] 分析内蒙古乌梁素海水体透明度的时空变化及其影响因子, 为乌梁素海的沉水植物恢复及湖泊管理治理提供理论依据和技术支撑。[方法] 根据2014年4月至2015年1月乌梁素海常规监测数据及试验数据, 并采用Excel和SPSS软件进行分析, 探讨乌梁素海水体透明度的影响因子。[结果] 2014年4月至2015年1月乌梁素海水体透明度范围为0.17~2.74 m, 平均值为0.82 m, 透明度分布的总体格局是: 南部湖区>北部湖区。透明度的季节变化表现为全湖平均透明度春季(1.12 m)>秋季(0.81 m)>夏季(0.73 m)>冬季(0.61 m)。[结论] 叶绿素a是影响水体透明度的最主要因子, 随着叶绿素a浓度的增加, 透明度呈下降的趋势。而悬浮物的浓度并不是影响水体透明度的主要因素, pH值对水体透明度的影响是间接的。

关键词: 乌梁素海; 透明度; 季节变化; 叶绿素a

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0273-05

中图分类号: X524

文献参数: 马红, 李畅游, 赵胜男, 等. 乌梁素海透明度的时空分布及其与环境因子的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 273-277. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.050

Spatial-temporal Distribution of Water Transparency and Its Relationships with Environmental Factors in Wuliangsu Lake, Inner Mongolia

MA Hong¹, LI Changyou¹, ZHAO Shengnan¹, ZHOU Xiaoxu²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. Juris Master of Education Center, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan, Hubei 430073, China)

Abstract: [Objective] The objective of the study is to analyze the spatial-temporal changes of water transparency and related influencing factors in Wuliangsu Lake, Inner Mongolia and to provide theoretical basis and technical support for submerged plants recovery and lake management of Wuliangsu Lake. [Methods] According to the routine monitoring data and experimental data in Wuliangsu Lake from April 2014 to January 2015, this paper used Excel and SPSS to analyze the factors influencing water transparency of Wuliangsu Lake. [Results] During the April 2014 to January 2015, water transparency of Wuliangsu Lake ranged from 0.17 to 2.74 m with an average value of 0.82 m. The water transparency was higher in south area than in north area. The seasonal variation of the transparency was spring(1.12 m)>autumn(0.81 m)>summer(0.73 m)>winter(0.61 m). [Conclusion] Chlorophyll a is the most important factor affecting the spatial distribution of water transparency which decreases with its increases. The suspended solids is not the important factor on water transparency, pH value is an indirect factors influencing water transparency.

Keywords: Wuliangsu Lake; transparency; seasonal variation; chlorophyll a

收稿日期: 2015-11-13

修回日期: 2015-12-11

资助项目: 国家自然科学基金项目“冻融过程中湖泊污染物多介质迁移转化规律及机制研究”(51339002), “基于寒区湖区冰封期污染物归趋特征的冰冻浓缩乌梁素海水生态修复试验研究”(51569019), 国家自然科学基金项目(51569019, 51269017, 51269016, 51509133); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZC13092)

第一作者: 马红(1990—), 女(汉族), 河南省浞池县人, 硕士研究生, 研究方向为水环境科学与工程。E-mail: MAhong1949@126.com。

通讯作者: 李畅游(1955—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市土默特左旗人, 本科, 教授, 主要从事水环境污染与修复研究。E-mail: nndlichangyou@163.com。

随着经济发展、人口膨胀与对资源不合理的开发利用,越来越多的湖泊走向富营养化,导致湖泊的生态系统结构破坏、功能退化、蓝藻水华频繁暴发,水质性缺水日趋严重。而湖水透明度是评价湖泊富营养化的一个重要指标,能直接反映湖水清澈和混浊程度^[1]。同时透明度的下降,会直接影响沉水植物和其他水生生物的生存,从而导致湖泊生态系统的恶性循环,加速湖泊富营养化趋势的发展^[2]。湖水透明度与太阳辐射、湖水的理化性质、悬浮物组成与含量、水体中叶绿素 a 浓度以及气象状况等有密切关系,它受到多种环境因素的影响。但对不同的湖泊水体,每种因素的影响程度可能不同,如太湖、蠡湖透明度的主要影响因子为悬浮物,而抚仙湖、滇池和 Apopka 湖、西湖等水体透明度的主要影响因子则是藻类^[1-7]。

内蒙古乌梁素海属于蒙新高原湖区,不仅是全球范围内干旱草原及荒漠地区罕见的多功能湖泊,也是黄河中上游重要的蓄水、保水和调水场地。从 1987—2001 年,乌梁素海上覆水体的总氮浓度上升了 362 倍,总磷浓度上升了 133%,在 2012 年,乌梁素海上覆水体的总氮浓度的变化范围是 1.44~19.31 mg/L,总磷浓度变化范围为 0.024~0.057 mg/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。近些年来,随着人类活动的加剧,农田排水、生活污水和工业废水排放量也迅速上升,乌梁素海水质多为 V 类和劣 V 类,氮、磷元素过剩造成水体常年富营养状态。而 COD_{Mn} 作为有机污染的指标,浓度超标严重,是 III 类水质的 8~40 倍^[8-11]。李建茹等^[12]结合浮游植物细胞密度、优势种以及多样性指数等结果,春季乌梁素海已处于富营养化状态。根据 2011 年对表层水体的检测表明,乌梁素海表层水体中的汞的平均浓度为 1.04 g/L,所有监测点 Hg 的含量都超出地表水 III 类标准和国家渔业用水标准,50% 的监测点超出了地表水 IV 类标准^[13]。基于这些对乌梁素海水环境的研究,对水体中透明度的研究具有重要的意义。本文根据 2014 及 2015 年的观测资料,拟分析乌梁素海水体透明度的空间分布、季节变化以及与叶绿素 a、pH 值及悬浮物的相互关系,旨在揭示乌梁素海水体透明度的时空分布特征及其主要影响因子,为乌梁素海沉水植物恢复及湖泊管理治理提供理论依据和技术支撑。

1 研究区域与材料方法

1.1 研究区概况

乌梁素海(40°36′—41°03′N, 108°43′—108°57′E)位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特前旗境内,属于

蒙新高原湖区典型的中温带季风气候,降雨量少且蒸发量大,多年平均气温 7.3 °C,降雨量为 224 mm,蒸发量为 1 502 mm。现有水域面积 293 km²,其中芦苇区面积为 118.97 km²,明水区面积为 111.13 km²,明水区中 85.7 km² 为沉水植物密集区,蓄水量 2.5×10⁸~3.0×10⁸ m³^[14-15],湖水深度为 1.1~3.5 m。乌梁素海是内蒙古河套灌区排灌水系的重要组成部分,位于黄河河套平原末端,其补水来源的 90% 经总排干沟汇入乌梁素海后,又从西山咀河口排入黄河,是当地农田退水、工业废水和生活污水的最重要的排泄渠道^[16],从而加剧了湖泊水体污染的状况。

1.2 采样时间和采样点设置

根据乌梁素海的排污入湖口的分布及水动力学特征,将乌梁素海在空间上以 2 km×2 km 的正方形网格剖分,利用网格的交点,以梅花形布置水样监测点^[13],本次试验共设置 18 个水样监测点。根据湖区采样点的密度划分,其中 N₁₃(位于湖泊中间的采样点)以北的区域为北部,N₁₃以南的区域为南部。取样时间为 2014 年 4 月至 2015 年 1 月,每月取样 1 次,GPS 定位。

1.3 样品的采集与测定方法

透明度测定利用赛克盘(Secchi disc),再利用自行研制的多功能采水器采集水样(专利号:ZL201020680966.1)^[13],水样为距表层 20 cm 的混合水样,不同点位的采样均一致。pH 值、温度均用 Thermo Fisher 生产的 Orion Star A 系列的便携式多参数测量仪进行现场测定,叶绿素 a 的测定采用取 300 ml 水样用 0.45 μm 微孔滤膜过滤藻类,用于提取和测定叶绿素 a(Chl. a);悬浮物的测定采用取 100 ml 水样用 0.45 μm 微孔滤膜过滤悬浮物质,用于分析悬浮物;总氮、总磷、溶解性总磷等理化指标按《水和废水监测分析方法(第 4 版)》^[17]进行测定分析。

1.4 数据分析

数据的分析处理使用 Excel 和 SPSS 软件。

2 结果与讨论

2.1 透明度的区域分布特征

2014 年 4 月至 2015 年 1 月全年水体透明度范围为 0.17~2.74 m,全湖加权平均值为 0.82 m,其中北部湖区均值为 0.75 m,南部湖区均值为 0.93 m。总体上,南部湖区透明度要大于北部湖区。其中河套灌区的总排干沟是从北部湖区排泄入乌梁素海,而且农业退水及生活污水经过中部密集芦苇和水草的吸附净化等作用后,使水体中的悬浮物质减少,水体透明度明显变好,造成南部湖区的透明度要高于北部湖区,而且北部湖区表层水体中总氮、总磷、溶解性总

磷、叶绿素 a 和悬浮物浓度分别为南部湖区的 1.40, 1.47, 1.23, 1.57, 1.06 倍。出现这种状况的主要原因是大量的农田退水、生活污水等从北部湖区排入乌梁素海,然后从南部的西山咀排入黄河。而北部湖区的芦苇水草生长也比较密集,加之入湖水体的氮磷浓度很高,在水流从北向南的运移过程中,通过芦苇和水草等植物的生物降解和吸收作用,各项指标的浓度也在逐步降低,所以才导致北部湖区表层水体中各项指标的浓度均大于南部湖区 1 倍多。

2.2 透明度的季节变化

从 2014 年 4 月至 2015 年 1 月对乌梁素海连续 9 个月的监测数据中,对每个月的全湖透明度取平均值后透明度的季节变化总趋势是春季最大(1.12 m) > 秋季(0.81 m) > 夏季(0.73 m) > 冬季(0.61 m)。透明度较高的月份是 2014 年的 5 月与 2014 年 11 月。根据 2003—2014 年河套灌区各个季节平均排水量的变化(图 1)。

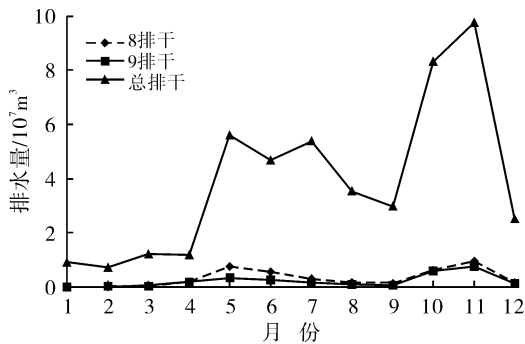


图 1 2003—2014 年乌梁素海各排干沟不同月份的平均排水量

从图 1 可以看出 5, 11, 8, 9 月总排的排水量很大,整个湖区的营养盐浓度因而得到稀释,故图 2 中 5, 11 月的透明度是增高的。另一个原因是由于河套

灌区的冻融期为 11 月至翌年的 3 月^[11],同时该段时期湖区内的藻类开始停止生长,因此 11 月的透明度也会增加。4 月是乌梁素海开湖的季节,经过为期 5 个月的冰封期,水体处于浑浊的状态,透明度仅为 0.74 m。而 6, 7, 8, 9, 10 月的透明度也比较低,这个时间正处于乌梁素海的夏季,正是河套灌区农作物施肥、浇灌,以及藻类大量暴发,太阳日照强度大,蒸发量大的季节,因此这几个月透明度比较低。2015 年 1 月的透明度为 0.61 m,相应的叶绿素 a 含量为全湖最高,高达 37.12 μg/L,透明度也很低(图 2)。

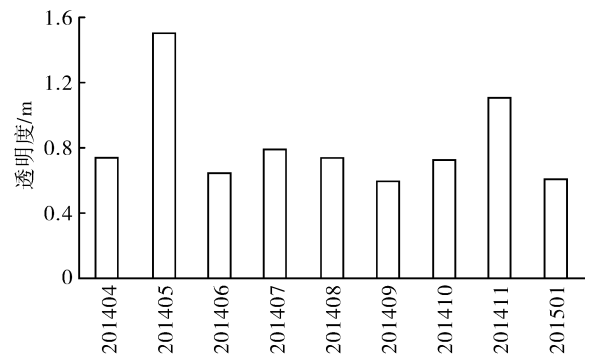


图 2 2014 年 4 月至 2015 年 1 月乌梁素海水体透明度的季节变化

2.3 水体透明度的影响因子的分析

2.3.1 透明度与环境因子的相关分析 对乌梁素海各采样点的透明度及其影响因子进行相关分析表明(表 1),透明度与 pH 值、悬浮物浓度和叶绿素 a 呈显著的相关性($p < 0.05$),与水深、温度、总氮、总磷、溶解性总磷和 N/P 等相关性并不显著($p > 0.05$)。多元逐步分析表明,叶绿素 a 与透明度的相关性最高。从表 1 可以看出,叶绿素 a 是影响水体透明度的最主要因子,随着水体中的叶绿素 a 浓度的增加,水体透明度呈下降的趋势(图 3)。

表 1 水体透明度与环境因子的线性相关系数

项目	水深/m	温度/°C	pH 值	总氮/(mg · L ⁻¹)	总磷/(mg · L ⁻¹)	溶解性总磷/(mg · L ⁻¹)	悬浮物/(mg · L ⁻¹)	叶绿素/(μg · L ⁻¹)	N/P
透明度	0.240	-0.103	-0.553	-0.008	-0.199	0.309	-0.322	-0.728	0.197

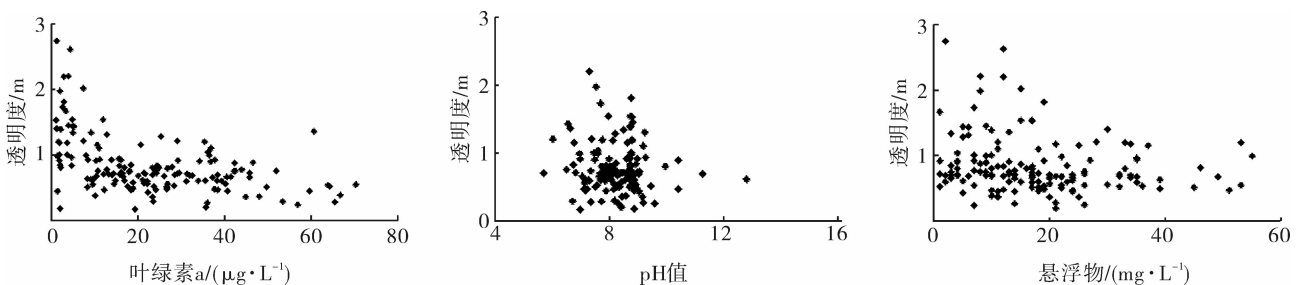


图 3 水体透明度与叶绿素 a, pH 值和悬浮物的关系

2.3.2 叶绿素 a 对水体透明度的影响 叶绿素 a 对光的衰减,主要是由于藻类对光的吸收和散射两方面引起的^[3]。从图 4 可以看出,当叶绿素 a 浓度很高时,透明度很低,总体上叶绿素 a 的浓度随着透明度的增高而降低。从图 4 中可以看出,2014 年 5 月的叶绿素 a 下降,透明度达到了全年的最高点。这是由于 2014 年 5 月,乌梁素海刚开始进入春季,藻类还没有开始繁殖,所以 2014 年 5 月叶绿素 a 下降而紧接着 6 月叶绿素 a 开始增高。藻类数量增长的速度比较慢,降低了光的衰减,从而水体透明度就上升。而 2014 年 11 月的叶绿素 a 浓度很低,透明度增高。2014 年 11 月是乌梁素海开始结冰的季节,藻类停止繁殖,叶绿素 a 的浓度降低,透明度相反要增高。

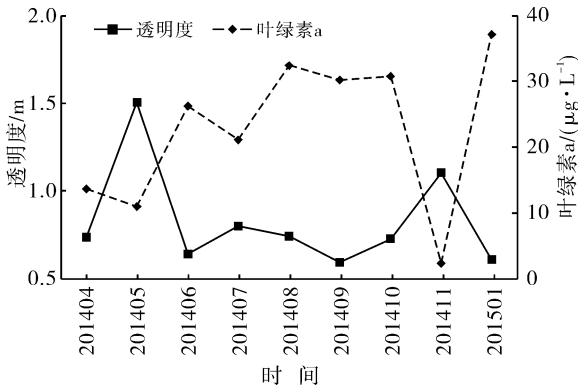


图 4 水体透明度与叶绿素的关系

2.3.3 pH 值对水体透明度的影响 pH 值是水体水化学特征的综合反映,天然水体的 pH 值受到流域的地质地貌、土壤、植被、水体的补给及水体中生物的生长等多方面因素的制约^[3]。当水体发生水华,浮游植物大量繁殖时,pH 值发生明显变化^[18]。如果水体偏碱,磷酸盐会形成难溶的磷酸三钙,Fe³⁺ 形成 Fe(OH)₃ 而悬浮在水中,一些其他碱性金属离子也会形成相应的微溶或难溶于水的物质悬浮在水中。在 pH 值升高的条件下,水体中负离子呈现绝对优势,颗粒物容易形成胶体^[3]。乌梁素海水体的 pH 值的均值为 8.09,最大值为 9.97,最小值为 6.73,说明乌梁素海水体整体为碱性。从图 5 中可以看出,乌梁素海水体 pH 值全年整体偏高,但透明度呈现偏低的趋势。而 2014 年 5 月的 pH 值是降低的,透明度是增大的。这是因为 5 月 pH 值为酸性,水体中阳离子呈现绝对优势,颗粒物不容易形成胶体,所以相应的透明度会增加。

2.3.4 悬浮物对水体透明度的影响 湖水透明度表示光线在湖水中的透射深度,其大小随湖水和其中悬浮物、浮游藻类对入射光的吸收和散射的差异而变

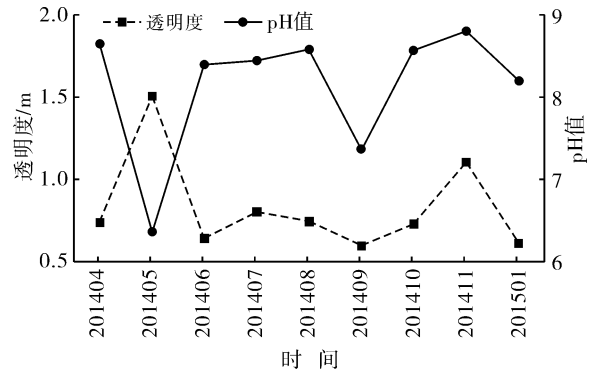


图 5 水体透明度与 pH 值的关系

化,所以悬浮物的成分和含量极大地影响着湖水的透明度变化^[1]。从图 6 中可以看出,总体上透明度随悬浮物浓度的增大而降低,而 2014 年 5 和 10 月的悬浮物的浓度很低,但透明度呈相反的趋势。这是由于 5 和 10 月正是河套灌区春浇秋灌的季节,上游大量的农田退水排入乌梁素海,悬浮物浓度会稀释,光线的透射能力也就增高,随之而来透明度相应的也就增高。

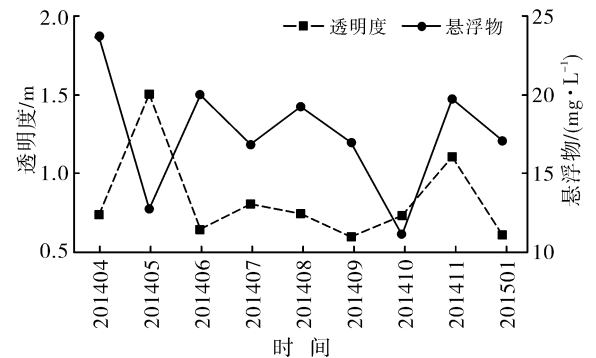


图 6 水体透明度与悬浮物浓度关系

3 结论

湖水透明度作为水质的重要外在表现之一,受很多因素的影响,各个湖区的分布也具有差异,但仍可以找到一定的规律。2014 年 4 月至 2015 年 1 月全年水体透明度范围为 0.17~2.74 m,全湖加权平均值为 0.82 m,其中北部湖区为 0.75 m,南部湖区为 0.93 m。总体上,南部湖区透明度要大于北部湖区。透明度的季节变化总趋势是春季(1.12 m) > 秋季(0.81 m) > 夏季(0.73 m) > 冬季(0.61 m)。

通过对乌梁素海透明度及其相关环境因子进行分析,影响水体透明度的最主要因子是叶绿素 a,随着水体中叶绿素 a 的增加,水体透明度呈下降的趋势。而 pH 值是影响水体透明度的间接因素,与其他湖泊不同的是,悬浮物不是影响乌梁素海水体透明度

的主要因素。

本文采用相关分析法揭示了乌梁素海透明度与其影响因素的相关关系,但是未能全面揭示,还需结合其他学科进行深入的探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 张运林,秦伯强,陈伟民,等.太湖水体透明度的分析、变化及相关分析[J].海洋湖沼通报,2003,96(2):30-36.
- [2] 潘继征,熊飞,李文朝,等.云南抚仙湖透明度的时空变化及影响因子分析[J].湖泊科学,2008,20(5):681-686
- [3] 杨顶田,陈伟民,曹文熙.太湖梅梁湾水体透明度的影响因素分析[J].上海环境科学,2003(S1):34-38.
- [4] 王书航,姜霞,王雯雯,等.蠡湖水体透明度的时空变化及其影响因素[J].环境科学研究,2014,27(7):688-695.
- [5] 赵碧云,贺彬,朱云燕,等.滇池水体中透明度的遥感定量模型研究[J].环境科学与技术,2003,26(2):16-17.
- [6] Bachmann R W, Hoyer M V, Canfield D E. Evaluation of recent limnological changes at Lake Apopka [J]. *Hydrobiologia*, 2001,448(1/2/3):19-26.
- [7] 张运林,秦伯强,朱广伟,等.杭州西湖水体光学状况及影响因子分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(6):744-749
- [8] 李兴,杨乔媚,勾芒芒.内蒙古乌梁素海水质时空分布特征[J].生态环境学报,2011,20(8/9):1301-1306.
- [9] 赵锁志.内蒙古乌梁素海湖水及底泥营养元素和重金属污染及其环境效应研究[D].北京:中国地质大学,2013.
- [10] 肖博文,成文连,姚荣,等.内蒙古乌梁素海 N, P 的变化趋势研究[J].水资源与水工程学报,2015,16(1):1672-643.
- [11] 田志强,彭芳,史贞贞,等.乌梁素海营养状态的水质标识指数法适用性研究与评价[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2015,36(3):1009-3575.
- [12] 李建茹,李畅游,张生,等.乌梁素海春季浮游植物群落结构特征分析[J].农业环境科学学报,2013,32(6):1201-1209.
- [13] 赵胜男,史小红,李畅游,等.乌梁素海水体汞的分布特征及污染风险评估[J].湖泊科学,2014,26(2):221-227.
- [14] Ren Chuntao, Li Changyou, Jia Keli, et al. Water quality assessment for Ulansuhai Lake using fuzzy clustering and pattern recognition[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2008,26(3):339-344.
- [15] Zhang Yan, Li Changyou, Shi Xiaohong. The migration of total dissolved solids during natural freezing process in Ulansuhai Lake[J]. *Journal of Arid Land*, 2012,4(1):85-94.
- [16] 李建茹,李畅游,李兴,等.乌梁素海浮游植物群落特征及其与环境因子的典范对应分析[J].生态环境学报,2013,22(6):1032-1040.
- [17] 水和废水监测分析方法编委会.水和废水监测分析方法[M]4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [18] 何俊,谷孝鸿,刘国峰.东太湖水生植物及其环境的相互作用[J].湖泊科学,2008,20(6):790-795.
- [7] 朱天明,桂杨山,万荣荣.城市土地集约利用国内外研究进展[J].经济地理,2009,29(6):977-983.
- [8] 江苏省统计局.江苏省2013年全省国民经济和社会发展主要指标[EB/OL]. [2015-04-20]. <http://www.jssb.gov.cn>.
- [9] 许平,孙玉华.非期望产出的DEA效率评价[J].经济数学,2014,31(1):90-93.
- [10] 魏新强,张宝生.不同环保意识视角下的DEA效率模型[J].运筹与管理,2014,23(3):202-208.
- [11] 陶雪萍,王平,朱帮助.基于SBM-undesirable和Meta-frontier模型的APEC能源效率研究评价:以长三角地区16城市为例[J].北京理工大学学报:社会科学版,2015,17(2):20-28.
- [12] 杨清可,段学军,叶磊,张伟.基于SBM-Undesirable模型的城市土地利用效率分析[J].资源科学,2014,36(4):712-721.
- [13] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [14] 赵荣钦,黄贤金,高珊,等.江苏省碳排放清单测算及减排潜力分析[J].地域研究与开发,2013,32(2):109-115.
- [15] 孙赫,梁红梅,常学礼,等.中国土地利用碳排放及其空间关联[J].经济地理,2015,35(3):154-162.
- [16] 杨杨,吴次芳,韦仕川,等.中国建设用地扩展的空间动态演变格局:基于EBI和EBIi的研究[J].中国土地科学,2008,22(1):23-31.
- [17] 赵荣钦,黄贤金,钟大洋.区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J].农业工程学报,2013,29(17):220-229.
- [18] 段晓男,王效科,逯非,等.中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J].生态学报,2008,28(2):463-469.
- [19] 张润森,濮励杰,文继群,等.建设用地扩张与碳排放效应的库兹涅茨曲线假说及验证[J].自然资源学报,2012,27(5):723-733.
- [20] 白宏涛,王会芝,徐鹤.我国省域碳排放差异性及其转型发展模式研究[J].经济地理,2012,32(12):21-26.
- [21] 魏玮,张万里.不同要素密集型制造业集聚对效率的非线性影响研究:基于负外部性的PSTR实证分析[J].经济经纬,2015,32(1):72-77.
- [22] 郭克莎.我国技术密集型产业发展的趋势、作用和战略[J].产业经济研究,2005,18(5):1-12.
- [23] 文东伟,沈国明,马静. FDI、产业结构变迁与中国的出口竞争力[J].管理世界,2009(4):96-107.

(上接第272页)