

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.03.018

淀山湖富营养化现状及生态修复措施分析

李宏祥, 田 华, 梁国康

(上海市水环境监测中心, 上海 200232)

摘要 根据 2008—2010 年淀山湖水质监测数据, 评价该湖富营养化趋势。结果显示, 2008 年后, 淀山湖的富营养化程度呈改善趋势, 但水体富营养化存在区域差异。主要表现在: ①2008—2010 年的整个湖区水体中主要的富营养化指标 TN、TP、SS、Chl-a 质量浓度均呈下降趋势; ②淀山湖上游来水区水体中 TN、TP 质量浓度比下游出水区高, 综合营养状态指数同样也高; ③淀山湖每年夏季暴发蓝藻水华的水域面积在不断减小。结果表明, 淀山湖东南区域富营养化程度最轻, 水生植物对水体净化、生态系统恢复具有重要价值, 淀山湖的生态系统在逐步恢复。为使生态系统能巩固并形成良性循环, 一些影响因素亟待解决。

关键词 淀山湖; 富营养化; 综合营养状态指数; 生态修复

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2012)03-0083-05

Analysis of eutrophication and measures for ecological restoration in Dianshan Lake

LI Hong-xiang, TIAN Hua, LIANG Guo-kang

(Shanghai Water Environmental Monitoring Center, Shanghai 200232, China)

Abstract : The eutrophication trend of Dianshan Lake was evaluated, according to water quality monitoring data from the lake, which were obtained by the Shanghai Water Environmental Monitoring Center from 2008 to 2010. The results show that eutrophication in Dianshan Lake has been alleviated since 2008, and there exist regional and temporal variations in eutrophication, which can be described as follows: (1) the concentrations of TN, TP, SS, and Chl-a, which are the main eutrophication indices of the lake, decreased from 2008 to 2010; (2) the concentrations of TN and TP and the overall trophic state index in the water intake area upstream of Dianshan Lake were higher than those in the outflow area downstream of the lake; and (3) the area of the blue-green algal bloom in Dianshan Lake has decreased every summer. The results show that eutrophication is least significant in the southeastern area of Dianshan Lake due to water purification and ecosystem recovery by aquatic plants in this area, the ecosystem in Dianshan Lake is gradually recovering, and some effects need to be eliminated in order to achieve stability and positive cycling of the ecosystem.

Key words : Dianshan Lake; eutrophication; overall trophic state index; ecological restoration

淀山湖最早在 1985 年 8 月暴发较大面积蓝藻水华^[1]。2005 年 5 月, 上海市青浦区一带的淀山湖全面禁止围网养殖, 拉开了淀山湖水环境综合治理的序幕。当年年底, 青浦区内淀山湖岸边所有网箱、网段和地笼被清除。青浦区渔政部门出示的数据显示, 共清除 216.7 hm² 网箱、67 户渔民的近 6 万 m 网段和 80 多户共 7 万条地笼。

郑晓红等^[2]对淀山湖 2001—2007 年间水质评

价结果也反映出 2005 年前淀山湖水质逐年变差, 2005 年全面清理网箱养殖后, 水质有所好转, 2006 年水质又开始恶化。2007 年太湖暴发蓝藻, 导致饮用水危机, 影响巨大。因此相关部门决定重视太湖流域水环境问题, 尤其对太湖富营养化进行综合治理。淀山湖处于太湖流域下游, 2007 年淀山湖同样也遭受蓝藻威胁, 暴发大面积蓝藻, 蓝藻水华覆盖淀山湖湖面 80% 左右。淀山湖 2007 年暴发的蓝藻水

华,面积广、时间久、影响大,引起了社会和政府的高度关注,因此上海市相关部门、各大高校、研究机构等对淀山湖蓝藻水华问题进行深入研究,并且实施生态修复工程等综合治理措施。

笔者以 2008—2010 年淀山湖监测数据为基础,对该湖综合治理实践过程中水质状况及富营养化趋势进行分析评价,并对该湖富营养化治理面临的难题及生态修复措施进行了讨论,以为水资源管理部门制订相关规划和淀山湖的生态修复等综合治理提供参考依据。

1 监测资料和评价方法

淀山湖横跨上海市青浦区和江苏省昆山市两地,水域面积 62 km²,属上海市境内的有 47.5 km²,是上海市唯一的淡水湖泊,也是黄浦江上游的主要水源之一。淀山湖是太湖平原地区一个受潮汐影响的吞吐性浅水湖泊,平均水深约 2.1 m,最大水深 3.6 m^[3]。淀山湖主要承泄太湖来水,太湖水由西北向东南经急水港、大朱库等河港进入湖体,然后经拦路港、淀浦河等河流泄入黄浦江。急水港和大朱库是淀山湖的主要进水河道,分别占总进水量的 35 % 和 33 %,拦路港是淀山湖的主要出水河道,占总出水量的 71 %^[4]。

1.1 水质监测

上海市水环境监测中心对淀山湖地表水体开展长期的水质监测,每月监测一次。在淀山湖区(包括湖区江苏部分)共设监测点位 12 个,位置如图 1 所示。水质监测项目主要有:水温、pH、DO、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP、TN、Cu、Zn、氟化物、Se、As、Hg、Cd、Cr⁶⁺、Pb、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性

剂、硫化物、粪大肠菌群、透明度和 Chl-a 等。水质样品采集、检测等按照文献[5-6]中相关方法进行。

1.2 数据选取和分析评价

选取淀山湖 2008—2010 年水质监测数据,对水质变化趋势和富营养化状况进行评价分析。在比较淀山湖富营养化的长期变化趋势时,在众多反映水体富营养化状态的参数中,选取 SS、TP、TN、Chl-a 进行水质变化趋势分析。同时,选取靠近来水口门的湖区监测点(千墩浦、湖北 4、汪洋湖、朝阳桥)代表进水区(以下简称上游区)水质情况,靠近出水口门的湖区监测点(西旺港、灯标 2、西闸)代表下泄区域(以下简称下游区)水质情况,对淀山湖上游区和下游区水体水质按季节划分^[7]进行变化趋势统计分析。

淀山湖富营养化状况分析选取对反映湖泊富营养化具有一定代表性的水质参数^[3]进行分析评价。湖泊富营养化评价方法较多^[8-10],笔者采用修正的 Carlson 营养状态指数,即综合营养状态指数公式计算各点的综合营养状态指数 I 。将每年 12 个月的 I 值进行平均,获得各监测点年 I 值及其误差,对 2009 和 2010 年各监测点的综合营养状态指数进行比较分析。

综合营养状态指数 I 的计算公式如下^[10]:

$$I = \sum_{j=1}^m W_j I_j$$

式中: I 为综合营养状态指数; I_j 为第 j 种参数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数营养状态指数的权重。

各参数营养状态指数的权重根据金相灿等著的《中国湖泊环境》一书中对中国 26 个主要湖泊调查得出的各参数与 Chl-a 的相关关系计算确定^[10]。将相关权重带入上式后就如下面公式所示:

$$I = 0.266 I_{\text{Chl-a}} + 0.183 I_{\text{SD}} + 0.188 I_{\text{TP}} + 0.179 I_{\text{TN}} + 0.183 I_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$$

其中: $I_{\text{Chl-a}}$ 、 I_{SD} 、 I_{TP} 、 I_{TN} 、 $I_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$ 按照如下计算方法获得,计算公式:

- ① $I_{\text{Chl-a}} = 10(2.500 + 1.086 \ln(\rho(\text{Chl-a})))$;
- ② $I_{\text{SD}} = 10(5.118 - 1.940 \ln(\text{SD}))$;
- ③ $I_{\text{TP}} = 10(9.436 + 1.624 \ln(\rho(\text{TP})))$;
- ④ $I_{\text{TN}} = 10(5.453 + 1.694 \ln(\rho(\text{TN})))$;
- ⑤ $I_{\text{COD}_{\text{Mn}}} = 10(0.109 + 2.661 \ln(\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})))$

式中: $\rho(\text{Chl-a})$ 为 Chl-a 的质量浓度,mg/m³;SD 为透明度,μm; $\rho(\text{TP})$ 、 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 分别为 TP、TN 及 COD_{Mn} 的质量浓度,mg/L。

2 评价结果

2.1 上游区域与下游区域水质变化趋势

淀山湖上游(来水)区及下游(出水)区 2008—

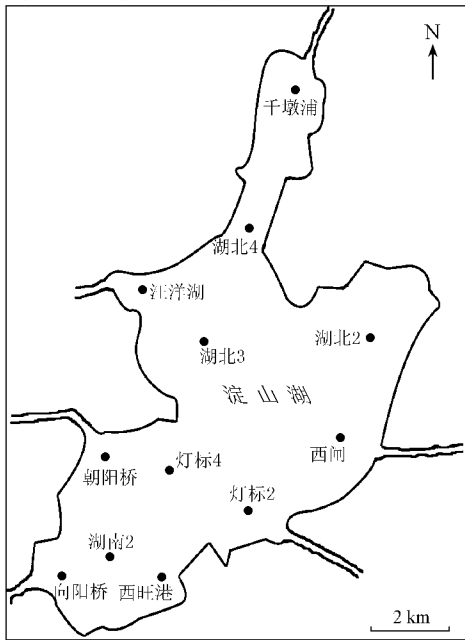


图 1 淀山湖水质监测点位示意图

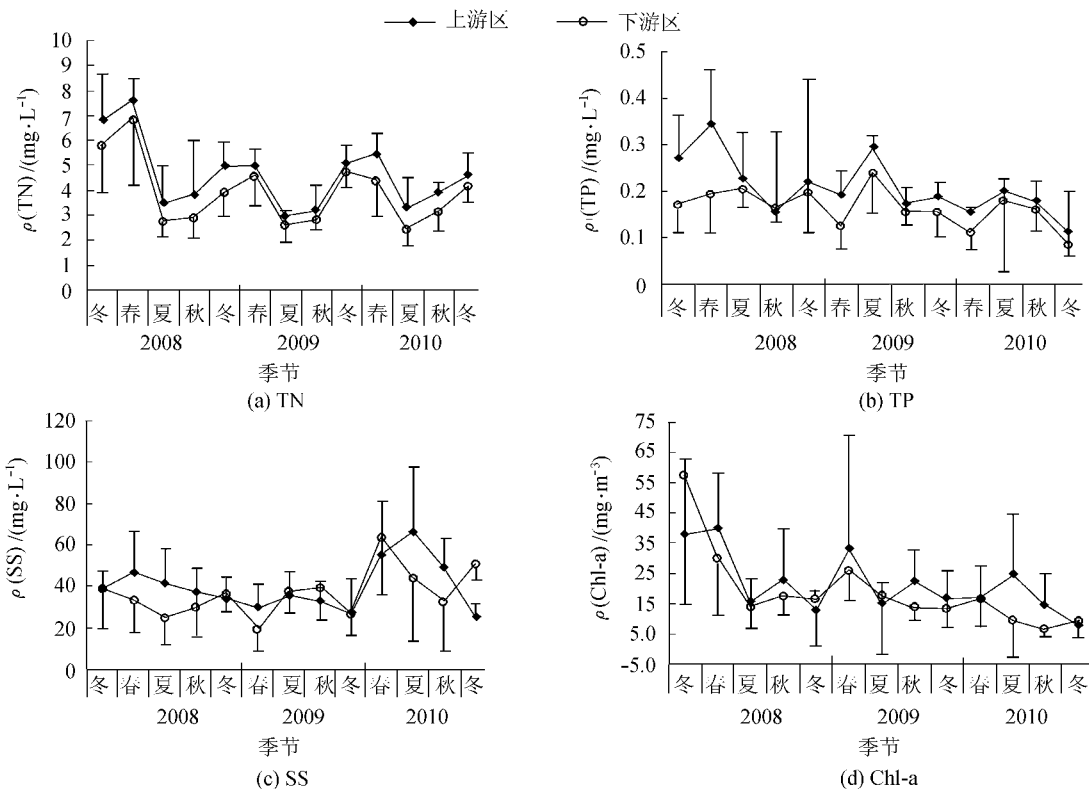


图2 淀山湖上游区及下游区水体各质量浓度季节变化趋势

2010 年水体 TN、TP、SS 及 Chl-a 的季节变化趋势如图 2。对比数据发现无论是上游区还是下游区,水体 TP 质量浓度都呈逐渐降低的趋势,2008—2010 年逐年平均质量浓度依次为 0.206 mg/L、0.200 mg/L、0.156 mg/L,水体中 Chl-a 质量浓度的变化也同样呈逐渐降低的趋势(图 2)。另外,水体中 TN 质量浓度呈现出较明显的季节特征,夏季最低,秋、冬季有所升高,春季最高,总体上 2008—2010 年呈降低趋势。水体中 SS 质量浓度有降低趋势,但 2010 年有较大的起伏。通过比较上游区与下游区主要富营养化指标的变化趋势发现,上游区水质比下游区差,TN、TP 尤其明显(TN 质量浓度 3 年平均值:上游区 4.51 mg/L,下游区 3.85 mg/L;TP 质量浓度 3 年平均值:上游区 0.218 mg/L,下游区 0.175 mg/L)。

2.2 综合营养状态指数的时空变化特点

除千墩浦、湖北 4 两个监测点外,其他点 2010 年

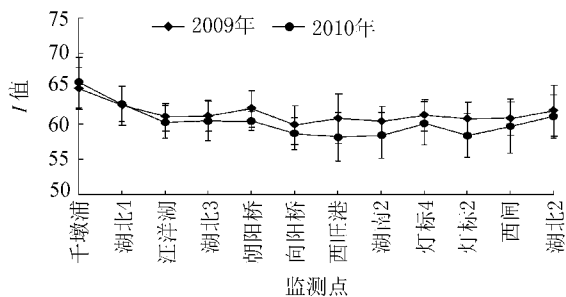


图3 淀山湖 2009 年与 2010 年 12 个监测点 I 值

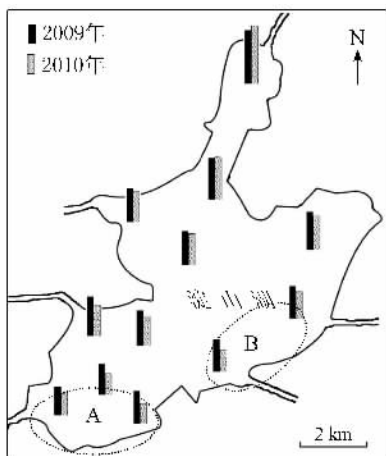
的 I 平均值均低于 2009 年(图 3)。这反映出除了淀山湖赵田湖水域(千墩浦、湖北 4)外,淀山湖大部分区域富营养化状况 2010 年较 2009 年普遍都有改善。

近几年淀山湖的实际监测过程中,实地观测也发现自 2007 年后每年夏季暴发蓝藻水华的水域面积在不断减小。容易暴发蓝藻水华的赵田湖区域、汪洋湖区域(汪洋湖、湖北 3)、水上运动场西北区域(湖北 2)以及东方绿舟湖区(西闸)近两年发生蓝藻水华的面积已经大大减小,甚至个别区域已经很难发现水面“发绿”的现象。

各监测点 I 值是全年平均值,相互间差异不是很大,2010 年各点的 I 值范围为 58.2 ~ 65.8。从 2010 年情况看,有 5 个监测点(向阳桥、西旺港、湖南 2、灯标 2、西闸)的 I 值低于 60,属于轻度富营养^[11]其他点 I 值均高于 60 属中度富营养。这与实际观测的情况一致, I 值低于 60 的这 5 个点属于淀山湖东南区域(图 4),其中 A 区域与水生植物植物(主要是芦苇)生长茂盛的湖荡相通,B 区域近岸边也有大量水生植物,这两个区域水体感官上也好于其他湖区。

3 讨论

由淀山湖水体 TN、TP、SS、Chl-a 变化趋势可见,2008—2010 年淀山湖水体富营养化呈现好转趋势。SS 质量浓度在 2010 年有较大波动,可能与淀山湖中



A、B区为2010年I值小于60的点

图4 12个监测点I值空间分布示意图

心建造综合监测平台工程对水体、底泥扰动有一定关系。此外,从监测数据分析可见淀山湖水质存在区域差异,上游来水区域水质较差,千墩浦监测点TP 3年平均质量浓度为 0.291 mg/L (范围 $0.081\sim 0.584\text{ mg/L}$)高于其他所有监测点,东南区域、下游区水质较好,说明淀山湖水体存在一定自净能力,生态系统在逐渐恢复。

图4中A、B区域较其他湖区水质良好,富营养程度轻,主要与这两个区域附近水生植物生长茂盛有关。挺水植物、沉水植物等高等水生植物对水体净化、生态系统恢复具有重要的作用^[12-15]。20世纪90年代,淀山湖沉水植物旺盛,湖水清澈,可见湖底水草。随着大规模的网箱养殖,以及在淀山湖内过度捕鱼,对原来良好的生态系统破坏严重。对青浦区渔政部门工作人员以及生活在淀山湖周边的居民调查后发现,过度捕鱼、捕虾、吸捕螺蛳对淀山湖生态具有毁灭性破坏,致使沉水植物难以生长和存活,是淀山湖水体生态系统脆弱、恢复缓慢的重要原因。

2005年全面禁止围网养殖,淀山湖周边逐步开始湿地保护,上海市科委组织开展了一系列淀山湖生态修复试验性工程等,这些富营养化综合治理措施对淀湖水环境改善、生态恢复初显一定成效。然而,淀山湖的生态系统仍然比较脆弱,需要更加持续、综合的治理措施来保证淀山湖生态的逐步恢复,同时,也发现目前淀山湖治理、生态恢复还面临着一些挑战。①风浪对高等水生植物的培植、生长有很大的影响。淀山湖主要受东南风和西北风影响,盛行东南风,夏秋季最大风速达 16 m/s 。往往高等水生植物刚刚长起来就易被大风刮断,勉强存活下来的往往面积很小,靠近岸边 10 m 以内。②秋季水葫芦疯长,大量堆积,如果不打捞,冬季枯死腐烂,大量N、P进入水体给藻类繁殖留下隐患。③目前实施的

一些生态修复试验工程,如前置库试验区、物理控藻区等还只是在相对小范围湖区内试验,在全湖尺度内展开可能存在一些难以预计的风险。

因此,必须加强淀山湖富营养化防治及水环境综合治理,实现生态恢复良性循环的目标。①要在淀山湖近岸开展如防护网、软浮坝或透水性较强的水下潜堤^[16]等抗击风浪、消浪技术实践,降低湖区风浪的势能,为恢复水生植物、完善生态群落创造适宜的生境条件。②需要进一步加强管理,对于过度捕鱼、捕虾、吸捕螺蛳现象予以遏制。③在秋季淀山湖中水葫芦泛滥、大量堆积时期,应增加人力、物力投入,进行打捞,避免其腐烂增加湖中N、P负荷。④通过区域协调、联动,加强对上游来水的治理,控制上游大量污染流入淀山湖,避免边治理边污染,控制污染的源头,才能使淀山湖生态修复等一系列措施起到事半功倍的效果。

4 结 论

一方面,2008—2010年的监测结果看,淀山湖的富营养化呈改善趋势,尤其是水体中TP、Chl-a指标质量浓度3年间逐年降低,并且水体中TN质量浓度呈现较明显的季节波动特征。另一方面,淀山湖上游区水质相对下游区域水质差,且富营养化程度高,因此淀山湖富营养化治理要加大对上游来水的控制和治理力度。

从淀山湖综合营养状态指数的时空变化情况看,2010年较2009年淀山湖大部分区域I指数均降低,富营养化状况有不同程度改善。同时,空间上淀山湖东南湖区富营养化程度最轻,北部赵田湖区域富营养化程度较重。近几年淀山湖监测过程中,实地观测也发现自2007年后每年夏季暴发蓝藻水华的面积在不断减小。说明一系列富营养化防治措施初显成效,淀山湖的水生态系统正在逐步恢复,但针对淀湖区风浪大,高等水生植物不宜存活,过度捕捞,秋季水葫芦大量堆积,上游来水污染较重等一些的问题,还亟待更加有力、有效的措施,使淀山湖生态系统能进一步恢复和巩固,形成良性循环。

致谢:吴军新、祁国荣、刘君、戚浩强、徐辉等参加了2008—2010年野外监测工作,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 阮仁良,王云.淀湖水环境质量评价及污染防治研究[J].湖泊科学,1993,2(2):153-158.
- [2] 郑晓红,汪琴.淀湖水水质状况及富营养化评价[J].环境监测管理与技术,2009,21(2):68-70.
- [3] 程曦,李小平.淀山湖氮磷营养物长期变化规律及其对

藻类增长影响研究[J].湖泊科学 2008 20(4):409-419.

[4] 杨漪帆,朱永青,林卫青.淀山湖富营养化控制的模型研究[J].环境科技 2009 22(2):17-21.

[5] 国家环境保护总局《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,1997.

[6] 陈伟民.湖泊生态系统观测方法[M].北京:中国环境科学出版社 2004.

[7] 杨虹,汪益斌,薄芳芳,等.淀山湖浮游植物群落时空分布动态初步研究[J].华东师范大学学报:自然科学版,2010(6):54-63.

[8] CARLSON R E. A trophic state index for lakes[J]. Limnology and Oceanography, 1977 22(2):361-369.

[9] CAI Qing-hua, LIU Jian-kang, KING L A. Comprehensive model for assessing lake eutrophication[J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2002 13(12):1674-1678.

[10] 王明翠,刘雪芹,张建辉.湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测 2002 18(5):47-49.

[11] SL395—2007 地表水资源质量评价技术规程[S].

[12] 范志锋,王丽卿,陈林兴,等.水质标识指数法在淀山湖水质评价中的应用[J].上海海洋大学学报,2009,18(3):314-320.

[13] 王海珍,陈德辉,王全喜,等.水生植被对富营养化湖泊生态恢复的作用[J].自然杂志 2002 24(1):33-36.

[14] 胡莲,万成炎,沈建忠,等.沉水植物在富营养化水体生态恢复中的作用及前景[J].水利渔业,2006,26(5):69-71.

[15] 易仲强,刘德富.富营养化湖库生态恢复研究探讨[J].中国农村水利水电,2010(6):26-29.

[16] 哈欢,朱宏进,朱雪生,等.淀山湖富营养化防治与生态修复技术研究[J].中国水利,2009(13):46-48.

(收稿日期 2011-06-05 编辑 徐 娟)

(上接第 78 页)

具有较好的节水、增产和改善水质的效应,值得在我国推广。

参考文献:

[1] WILLATT S T, TAYLOR H M. Water uptake by soya-bean roots as affected by their depth and by soil water content.[J]. Agric Sci Camb, 1977 90:205-213.

[2] 王修贵,魏小华.一种新型的现代小型农田水利工程[J].水利水电科技进展 2010 30(1):91-94.

[3] 李宝贵,周怀东,尹澄清.湿地植物及其根孔在非点源污染治理中的展望[J].中国水利 2003(4):51-52.

[4] 王海燕,邵孝侯,廖林仙,等.WRSIS 在灌溉农业水土环境修复中的应用及其展望[C]//中国土壤学会.中国土

壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集.北京:中国农业大学出版社 2008 1-5.

[5] 艾天成,李方敏.暗管排水对涝渍地耕层土壤理化性质的影响[J].长江大学学报(自科版):农学卷,2007 4(2):4-6.

[6] 茆智.水稻节水灌溉及其对环境的影响[J].中国工程科学 2002 4(7):8-16.

[7] 梁艳萍,许迪燃,季益农,等.冬小麦不同畦灌施肥模式水氮分布田间试验[J].农业工程学报 2009 25(3):22-26.

[8] 谭洪新,周琪.湿地填料的磷吸附特性及潜流人工湿地除磷效果研究[J].农业环境科学学报,2005,24(2):353-356.

(收稿日期 2011-04-07 编辑 彭桃英)

(上接第 82 页)

[5] 申爱红.中国未来人口预测的分析[J].商情(教育经济研究)2008(6):7.

[6] 李佩成.论中国农业水土工程面临的新问题及其历史使命[J].沈阳农业大学学报 2004 35(5/6):373-377.

[7] 《气候变化国家评估报告》编写委员会.气候变化国家评估报告[J].世界环境 2007(2):23-33.

[8] 居焜,许吟隆,熊伟.气候变化对我国农业的影响[J].环境保护 2007(11):71-73.

[9] 庞英.论水资源短缺与粮食安全[J].内蒙古科技与经济 2001(1):11-14.

[10] 韩洪云.21 世纪中国农业水资源利用[J].农业经济,2003(11):4-7.

[11] 韩栋,赵越.我国粮食安全与节水灌溉问题的探讨[J].中国水利 2011(11):26-27.

[12] 李英能.浅论灌区灌溉水利用系数[J].中国农村水利水电 2003(7):23-26.

[13] 彭世彰,高晓丽.提高灌溉水利用系数的探讨[J].中国水利 2011(1):33-35.

[14] 张荣彪,王慧春,王春光.浅议提高灌溉水利用率的途径[J].水利科技与经济 2007 13(12):934-935.

[15] 程伍群,安秀荣,李楠.渠道灌溉工程措施水资源利用系数的研究[C]//杨培岭.都市农业工程科技创新与发展.北京:中国水利水电出版社 2005.

[16] 许建中,赵竞成,高峰,等.灌溉水利用系数传统测定方法存在问题及影响因素分析[J].中国水利,2004(17):39-41.

[17] 崔远来,李远华,陆垂裕.灌溉用水有效利用系数尺度效应分析[J].中国水利 2009(3):18-21.

(收稿日期 2012-03-31 编辑 彭桃英)