

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

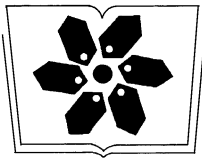
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

陈贺, 杨盈, 于世伟, 杨志峰. 基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究. 生态学报, 2011, 31(23): 7218-7226.

Chen H, Yang Y, Yu S W, Yang Z F. Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7218-7226.

基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究

陈 贺^{1,*}, 杨 盈¹, 于世伟², 杨志峰¹

(1. 北京师范大学环境学院, 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875; 2. 环境保护部东北环境保护督查中心, 沈阳 110014)

摘要:水是湿地生态系统最重要的影响因子,生态需水核算是对湿地进行生态保护,恢复重建的前提与基础。提出一种基于生态系统受扰动程度评价的适宜生态需水量计算方法。首先根据湿地水面面积变化率最大时对应的关键水位构建初始生态水位方案并将其离散得到一系列离散值;然后应用 Mann-Kendall(M-K)法分析历史水位时间序列,找出水位发生突变前自然条件下的水位状态;最后对不同情景水位方案与自然水位状态的差异程度进行修正水文指数(AAPFD)评价,确定生态系统受扰动程度在可接受范围之内的多个生态水位方案,进而确定相对应的生态需水量方案。将该方法应用于白洋淀湿地得出了7种可接受的生态水位方案,其中汛期的适宜生态水位在8.31—10.62 m之间,非汛期的适宜生态水位在7.51—9.60 m之间,全年的适宜生态需水量在 3.10×10^8 — $6.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ 之间。该方法能够为实际的水资源管理和分配提供多种备选方案,有较强的实用性和可操作性。

关键词:关键水位;适宜生态需水量;AAPFD指数;白洋淀湿地

Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland

CHEN He^{1,*}, YANG Ying¹, YU Shiwei², YANG Zhifeng¹

1 School of Environment, Beijing Normal University, State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing 100875, China

2 Northeast Environmental Supervision Centre, Ministry of Environmental Protection, Shenyang 110014, China

Abstract: Hydrological regime is the driving factor in wetland ecosystems. Its excessive alteration will lead to severe degradation of wetlands. Assessment of ecological water demands is essential for wetland protection, recovery and restoration.

To solve the existing problems arose in the traditional methods such as simple interval range and lack ecological information, in this paper a new method was developed to determine wetlands' appropriate ecological water demands. This method can maintain the resultant hydrological regime alteration within ecologically acceptable threshold. Firstly, the key water level was determined by analyzing the water level-area curve, and a series of discrete initial water level scenarios were generated based on the preliminary water level. Then, to identify the natural water level condition in a wetland, the time series of historical water level were analyzed by using the Mann-Kendall approach. A hydrological alteration assessment indicator, amended annual proportional flow deviation (AAPFD), was recommended to quantify the hydrological differences between the generated discrete initial water level scenarios and the identified natural water level condition. Each generated discrete initial water level scenarios was evaluated according to its corresponding AAPFD value. Finally, several appropriate ecological water level schemes were identified, which can ensure the corresponding hydrological alteration degree within the ecologically acceptable threshold, and their corresponding ecological water demands can be determined.

基金项目:国家自然科学基金项目(50909004);国家自然科学基金重点资助项目(50939001);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07209-009);高等学校博士学科点专项科研基金(20090003120014)

收稿日期:2010-10-22; 修订日期:2011-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenhe@bnu.edu.cn

We applied the proposed method to the Baiyangdian Wetland, the largest shallow lake and wetland complex in the North China Plain, which is now seriously suffered from water crisis. The key water levels were 7.5 m in dry periods (October to May) and 8.3 m in wet periods (June to September). Seven initial water level scenarios were set up depending on the disperse results of the preliminary water level and actual status of water resources. Hydrological regime before 1960 might be natural condition based on the mutation analysis. The appropriate ecological water level was between 8.31 m and 10.62 m during wet periods, and between 7.51 m and 9.60 m during dry periods, respectively; and the annual appropriate ecological water demand was between $3.10 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $6.47 \times 10^8 \text{ m}^3$. This method has high practicability and can offer possible ecological water level schemes for water resources management and allocation.

Key Words: key water level; appropriate ecological water demand; AAPFD Index; the Baiyangdian Wetland

湿地是水体和陆地之间的自然过渡地带,是自然界最富生物多样性的生态景观和人类重要的生存环境之一。但最近几十年来随着人类活动的加剧,对湿地进行的引水、围垦等不合理的水土资源开发活动叠加于全球气候变化的大背景之上,致使湿地面积进一步减少,生态环境进一步恶化,水文循环也遭到了严重破坏。尤其对于生态环境脆弱的干旱半干旱地区,大量湿地趋于干旱化并且遭受到退化的威胁。正确认识湿地与水的关系,确保湿地水文循环的畅通,积极寻求解决湿地生态需水计算与水资源合理配置的新方法、新途径,已经成为湿地生态系统恢复与重建中迫切需要解决的问题,有着十分重要的现实意义。

生态需水的研究开始于 20 世纪 40 年代,目前已有将近 50 个国家开展了相关方面的研究,产生了 200 多种研究方法。这些方法可以大体归纳为四个大类,即水文学法、水力学法、栖息地模拟法和整体法^[1]。其中水文学法中比较常见的有 Tennant 法、7Q10 法等。这类方法需要的历史资料和实地调查工作较少,比较适用于宏观规划和资料较为缺乏的地区,不足之处在于对流量时间和空间上的动态变化考虑不足,且缺乏和生态参数的相关关系^[2]。基于此也产生了一些改进性方法,如杨志峰等^[3]提出一种将月保证率法和水文指数法相结合的动态生态需水计算方法,Richter^[4]在 IHA(Indicators of Hydrologic Alteration)法^[5]的基础上提出了可变范围法(Range of Variability Approach, RVA)。水力学法是将流量变化与河道的各种水力几何学参数联系起来的计算方法。其中通过寻找流量—湿周关系曲线中的转折点来确定生态需水的湿周法^[6]最为常见。栖息地模拟法又称生境模拟法,是对水力学法的扩展,通过建立河流径流量与目标生物栖息地之间的关系来求得生态需水。这种方法物理意义明确,同时也能够有效地评估生态需水的增加对于生态系统的影响^[7]。在诸多模型中,二维模型 River2D 在河流生态保护与修复的评价方面得到了较为广泛的应用^[8-11]。整体法是将生态需水目标生物从一种扩展到多种生物和整个生态系统,强调流域系统的整体性^[12]。

湿地生态需水的计算思路和以上所述的几大类方法基本一致,只是在计算时更加注重水位的涨落限制和水面面积的大小变化,更加突出湿地作为面域的特点。目前比较有代表性的针对湿地生态系统的计算方法包括:(1)从湿地生态系统结构和功能出发的生态功能法^[13-14],这类方法虽然可以满足保障生态系统健康的要求,具有较强的理论性,但是由于一方面计算时难以准确扣除重复水量,另一方面现阶段生态资料较为缺乏,使得该方法的可操作性较差。(2)从湿地敏感性物种和水文参数关系出发的曲线相关法^[15]、生态水位法^[16]以及生态水面法^[17]等,这类方法能够将关键物种的生态参数与水文参数相联系,建立于关键物种需水等同于生态系统整体需水的前提之下,难以完全得到维持生态系统完整性和生态系统健康的结果。(3)以获取并恢复湿地破坏前的水文情势为目标的水量平衡法^[18]、换水周期法^[18]、天然水位资料法^[19]、最低年平均水位法、年保证率设定法^[20]等。这类方法简单易行,应用广泛,但是在和生态系统的联系方面存在一定的缺陷。

为了在一定程度上克服现有计算方法的不足,本文在参照相关方法思路的基础上^[2-3],提出一种基于生态系统受扰动程度评价的湿地适宜生态需水量计算方法,并在白洋淀湿地做了具体应用。该方法能够在目前生态学资料不充分的情况下,通过对比分析不同水位情景和历史水位状态的差异程度,快速给出一组对生态系统健康不会造成重大干扰的生态需水方案。方法可操作性较强,更有利于实际的水资源配置。

1 适宜生态需水量的计算方法

适宜生态需水量计算的基本思路是:首先通过湿地形态分析确定关键水位,并离散得到一系列的情景水位方案;然后通过分析水位时间序列值,确定自然状态下的水位状态;最后分别对不同情景水位方案与自然水位状态的差异程度做出评价,得出能够满足生态系统健康要求的一系列生态需水方案。

1.1 初始生态水位方案的确定

湿地的生态服务功能均和湿地水面面积密切相关。因此可以用湿地面积作为湿地功能指标。采用实测湿地水位和面积资料,建立水位(H)和面积(A)变化率(dA/dH)的关系线,其示意图见图 1。由于水位和面积之间为非线性关系,随着水位下降面积的减少量是不同的。由 dA/dH 和 H 的关系曲线就可以得到水面面积变化率最大时对应的关键水位。

将得到的关键水位联系湿地实际的生态服务功能对水位(水量)的需求便可得到初始生态水位方案。设初始生态水位方案中各月水位分别为 H_1 、 H_2 、 $\cdots$ 、 H_{12} ,将各月水位向两个方向进行离散,即得到一系列的情景水位方案,如表 1 所示。

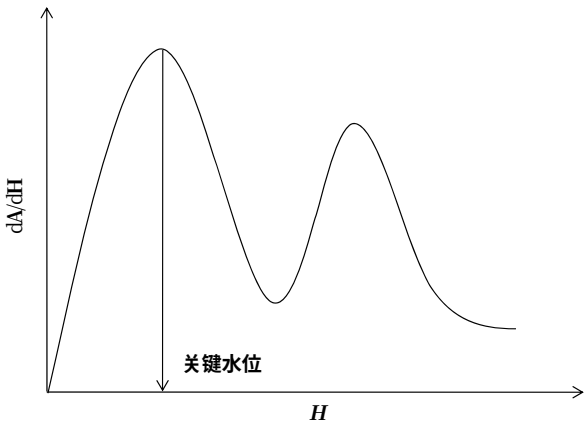


图 1 湿地水位和湿地面积变化率关系示意图
Fig. 1 The relationship between water level and change rate of water area

表 1 情景水位方案

Table 1 Scenarios of water level

月份 Month	方案 1 Scenario 1	方案 2 Scenario 2	方案 3 Scenario 3	方案 4 Scenario 4	方案 5 Scenario 5	方案 6 Scenario 6	方案 7 Scenario 7
1	(1+40%) H_1	(1+30%) H_1	(1+20%) H_1	(1+10%) H_1	H_1	(1-5%) H_1	(1-10%) H_1
2	(1+40%) H_2	(1+30%) H_2	(1+20%) H_2	(1+10%) H_2	H_2	(1-5%) H_2	(1-10%) H_2
3	(1+40%) H_3	(1+30%) H_3	(1+20%) H_3	(1+10%) H_3	H_3	(1-5%) H_3	(1-10%) H_3
4	(1+40%) H_4	(1+30%) H_4	(1+20%) H_4	(1+10%) H_4	H_4	(1-5%) H_4	(1-10%) H_4
5	(1+40%) H_5	(1+30%) H_5	(1+20%) H_5	(1+10%) H_5	H_5	(1-5%) H_5	(1-10%) H_5
6	(1+40%) H_6	(1+30%) H_6	(1+20%) H_6	(1+10%) H_6	H_6	(1-5%) H_6	(1-10%) H_6
7	(1+40%) H_7	(1+30%) H_7	(1+20%) H_7	(1+10%) H_7	H_7	(1-5%) H_7	(1-10%) H_7
8	(1+40%) H_8	(1+30%) H_8	(1+20%) H_8	(1+10%) H_8	H_8	(1-5%) H_8	(1-10%) H_8
9	(1+40%) H_9	(1+30%) H_9	(1+20%) H_9	(1+10%) H_9	H_9	(1-5%) H_9	(1-10%) H_9
10	(1+40%) H_{10}	(1+30%) H_{10}	(1+20%) H_{10}	(1+10%) H_{10}	H_{10}	(1-5%) H_{10}	(1-10%) H_{10}
11	(1+40%) H_{11}	(1+30%) H_{11}	(1+20%) H_{11}	(1+10%) H_{11}	H_{11}	(1-5%) H_{11}	(1-10%) H_{11}
12	(1+40%) H_{12}	(1+30%) H_{12}	(1+20%) H_{12}	(1+10%) H_{12}	H_{12}	(1-5%) H_{12}	(1-10%) H_{12}

1.2 自然条件下湿地水位状态的确定

Mann-Kendall 检验法是一种非参数统计检验方法。该方法被广泛应用于降水、径流、气温等要素的时间序列分析中^[21-22]。本文利用 M-K (Mann-Kendall) 法对湿地水位进行变化趋势检验以确定湿地自然条件下的水文状态。具体方法为:设水位序列为 $x_1, x_2, \cdots, x_n$, m_i 表示第 i 个样本 x_i 大于 x_j ($1 \leq j \leq i$) 的累计数,定义统计量:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i$$

(1)

在原序列随机独立假定下, d_k 的均值、方差分别为:

$$E(d_k) = \frac{k(k-1)}{4}$$

(2)

$$\text{Var}(d_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (3)$$

将 d_k 标准化:

$$\text{UF}_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\text{Var}(d_k)}} \quad (4)$$

UF_k 为标准正态分布,给定显著性水平 α ,若 $\text{UF}_k > U_{\alpha/2}$,则表明序列存在明显的趋势变化。把此方法应用到 x 的反序列中,再按上式计算,同时使 $\text{UB}_k = -\text{UF}_k (k=n, n-1, \dots, 1)$, $\text{UB}_1 = 0$ 。分别绘出 UF_k 和 UB_k 的曲线图。若 $\text{UF}_k > 0$,则表明序列呈上升趋势, $\text{UF}_k < 0$ 则表明呈下降趋势。若 UF_k 和 UB_k 在临界线内相交,则交点对应的时刻即为水位开始发生突变的时间。

1.3 适宜生态水位方案的确定

水文条件的变化是水生生态系统变化的主要驱动力^[23]。对湿地而言,水位是整个生态系统的控制性因子和关键性要素。通过 AAPFD (Amended annual proportional flow deviation,修正全年偏差)指数^[5]可以比较分析不同情景水位方案和自然条件水位状态下的湿地生态系统健康状况,从而对各情景水位方案对生态系统的扰动程度做出评价。

AAPFD 指数的计算公式如下:

$$\text{AAPFD} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{H_i - h_{ij}}{\bar{h}_{ij}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (i=1, 2, \dots, 12; j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中, n 为评价年数; H_i 为第 i 月生态水位; h_{ij} 为第 j 年第 i 月水位; $\bar{h}_{ij}$ 为第 j 年平均水位。

AAPFD 值越大,说明生态系统受到的影响越大,生态系统的健康状况也越差。参考由 Ladson 等人^[24]在 1995 年开发的 ISC (Index of Stream Condition) 方法,可以确定 AAPFD 与水文指数遵循表 2 所示的关系。因此评价结果也可以使用水文指数来表示,使得评价结果更加直观。当水文指数大于 0 时,生态系统的状况是可以接受的,水文指数越大,表明生态系统的健康状况越好。当水文指数等于 10 时,生态系统完全处于自然状态,没有人类活动的扰动,而当水文指数等于 0 时则说明生态系统受到了严重的扰动。

表 2 AAPFD 与水文指数关系

Table 2 Relationship between AAPFD and hydrological index

AAPFD	水文指数 hydrological index	AAPFD	水文指数 Hydrological index	AAPFD	水文指数 Hydrological index
<0.1	10	0.1—0.2	9	0.2—0.3	8.0
0.3—0.5	7	0.5—1.0	6	1.0—1.5	5.0
1.5—2.0	4	2.0—3.0	3	3.0—4.0	2.0
4.0—5.0	1	>5	0		

2 研究区概况

白洋淀地处华北平原,东经 $115^{\circ}38'—116^{\circ}07'$,北纬 $38^{\circ}43'—39^{\circ}02'$,是该地区最大的天然淡水湖泊,承载着缓洪治涝和蓄水灌溉的重要功能。同时对调节小气候、改善温湿状况、维护华北平原的生态平衡都起着不可忽视的作用。但近年来随着周边地区工农业的快速发展以及人口的持续增加,白洋淀的水位及水环境质量持续下降,导致了一系列的生态环境问题,对区域的可持续发展造成了很大威胁。

白洋淀属于平原半封闭式浅水型湖泊,不具备多年调剂能力。正常年份水位为 7.3—8.5 m,设计干淀水位为 6.5 m。当淀内水位为 10.5 m 时,淀内蓄水总量为 $10.38 \times 10^8 \text{ m}^3$,水面面积为 366.66 km^2 ;当淀内水位为 8.8 m 时,淀内蓄水总量为 $4.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,水面面积为 302.82 km^2 ;当淀内水位为 6.5 m 时,淀内蓄水总量仅为 $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3$,水面面积仅为 72.04 km^2 。根据保定市水利局和中国水利科学研究院的资料,白洋淀水位和水量的关系如图 2 所示。

3 白洋淀适宜生态需水量的计算

白洋淀适宜生态需水量的具体计算步骤如下:

(1)确定最低生态水位 白洋淀淀底西高东低,高程为 5.2—6.5 m,平均 5.5 m。当水位低于 6.5 m(大沽高程,下同)时,将出现局部干淀现象。确定白洋淀最低生态水位主要考虑渔业、旅游业、芦苇等水生植物生长所需要的水位。根据赵翔^[15]、刘立华^[25]的研究,满足渔业要求的最低生态水位是 1 m,相应生态水位为 6.5 m。旅游业,主要包括划船、垂钓等水上娱乐项目,一般来说当水深达到 0.7 m 时即可满足,从而确定旅游业所需要的最低生态水位为 6.2 m。芦苇不同生长期的最佳水深在 0.5—1 m 之间,其他水生植物一般生长在 1—5 m 水深的范围之内。综合考虑鱼类的繁殖、水生植物生长、生态旅游的水位要求,当水位处于 6.5 m 以下时白洋淀湿地生态系统的结构与功能将受到严重破坏。本研究将 6.5 m 作为最低生态水位,在此水位以上,能够保证不出现干淀现象,并且白洋淀湿地能够维持最为基本的结构与功能。

(2)确定适宜生态水位 根据白洋淀水位和水面面积关系(图 3),推算出水面面积随水位变化的变化率(图 4)。由该变化率曲线可知,水面面积变化率最大值对应的水位为 7.5 m 和 8.3 m,这两个水位为白洋淀湿地水面面积变化的关键水位。同时统计 1950—2009 年之间汛期(6—9 月)、非汛期(10—5 月)水位在不同区间的出现次数和频率,得出历年来汛期、非汛期出现频率较高的水位结果(表 3)。可以看出汛期出现频率最高的水位值是 8—9 m,其出现次数为 19 次,其次是 7—8 m,出现次数为 17 次;非汛期出现频率最高的水位同样是 8—9 m,出现次数为 21 次,其次是 6—7 m,出现次数为 15 次。假定生态系统对于长时间出现频率较高的水位比较适应^[16],生态系统的结构和功能在这样的水位和水量状态下较为适宜,因此综合考虑确定 7.5 m 做为白洋淀非汛期生态水位,8.3 m 做为汛期生态水位,设定初始生态水位方案。并以初始生态水位方案为基础,构造出 7 个情景水位方案。

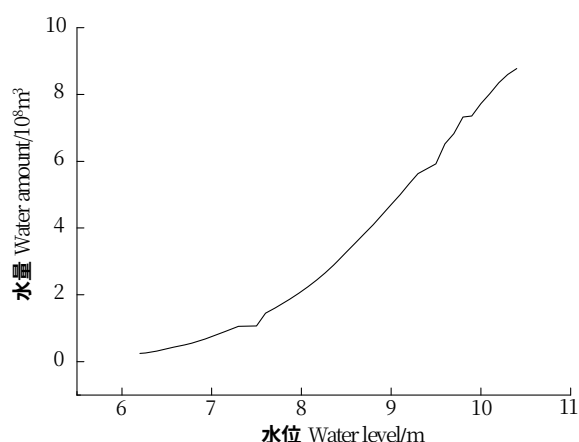


图 2 白洋淀水位-水量关系

Fig. 2 Relationship between water level and water amount in the Baiyangdian Wetland

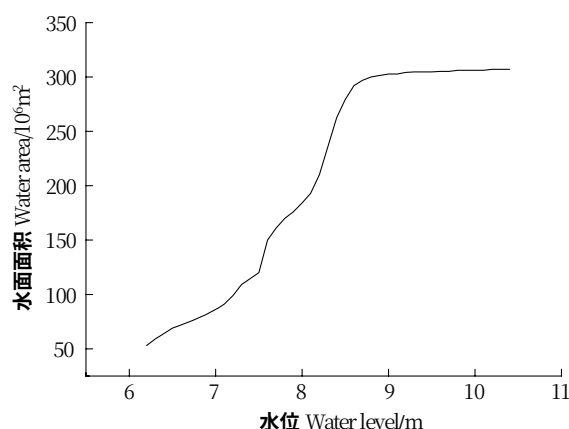


图 3 白洋淀水位-水面面积关系

Fig. 3 Relationship between water level and water area in the Baiyangdian Wetland

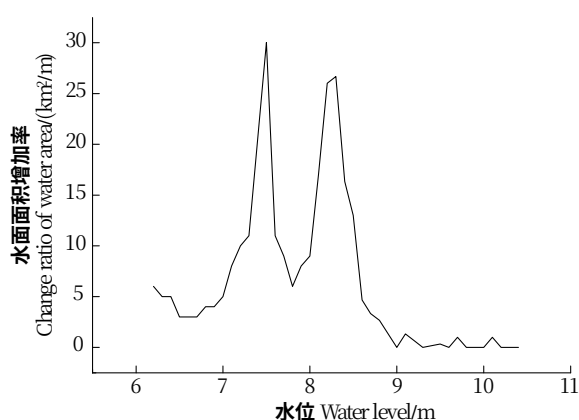


图 4 白洋淀水位-水面面积变化率关系

Fig. 4 Relationship between water level and change ratio of water area in the Baiyangdian Wetland

表3 白洋淀历年水位分组频率计算

Table 3 The water level distribution frequency of Baiyangdian between 1950 and 2009

序号 Number	水位区间 Water level intervals	汛期 Flood season		非汛期 Non-flood season	
		出现次数 Occurrence times	频率/% Frequency	出现次数 Occurrence times	频率/% Frequency
1	5—6	7	11.67	5	8.33
2	6—7	11	18.33	15	25.00
3	7—8	17	28.33	13	21.67
4	8—9	19	31.67	21	35.00
5	9—10	5	8.33	6	10.00
6	10—11	1	1.67	0	0.00
7	11—12	0	0.00	0	0.00
合计 Total		60	100.00	60	100.00

(3)确定自然水位状态 应用 M-K 法对白洋淀 1950—2000 年年平均水位进行突变分析,在 95% 的置信水平下, $U_{0.05/2} = 1.96$, M-K 法计算结果如图 5 所示。可以看出在 1953—1961 年之间 $0 < UF_k < 1.96$, 白洋淀的水位总体表现出增长的趋势,但是这种趋势并不显著。自 1961 年之后水位一直呈下降趋势 ($UF_k < 0$),而且在 1967 年之后 UF_k 超过 -1.96 临界线,表明下降趋势显著。 UF_k 和 UB_k 曲线在 1960 年和 1968 年两次相交,但只有 1960 年的交点位于 ± 1.96 临界线之间,因而我们将 1960 年确定为白洋淀水位发生突变的开始时间。

这一分析结果表明修建于 20 世纪 50 年代末 60 年代初的多个位于白洋淀上游的水利工程的拦蓄和用水对白洋淀的入淀水量、平均水位产生了重大的影响。在这些水利工程中有大型水库 7 座,中型水库 9 座,小型水库 141 座,总库容 36.35 亿 m^3 ,总控制面积占大清河流域总面积的 64%。在气候变化的综合作用下白洋淀多年平均入淀水量逐年下降。50 年代后期为 23.96 亿 m^3 ,60 年代为 17.31 亿 m^3 ,70 年代为 11.43 亿 m^3 ,80 年代为 2.37 亿 m^3 ,1990—2003 年为 4.04 亿 m^3 ,白洋淀平均入淀水量逐年减少趋势明显,淀区退化萎缩,水域面积减少,干淀次数增加,生态系统发生了很大的变化。在此我们将突变前的年份作为自然状态,用以对各情景水位方案进行评价。

(4)确定适宜生态水位方案 将每个情景水位方

案与自然条件下白洋淀水位状态进行 AAPFD 指数分析,评价各情景水位方案对生态系统的扰动程度, AAPFD 指数及水文指数的评价结果如表 4 所示。

可以看出方案 3 和方案 4 的评价结果优于其他情景方案,因此进一步在方案 2 和方案 3 之间、方案 4 和方案 5 之间进行离散化,最终确定水文指数大于 6 的生态水位范围为:非汛期(10—5 月)7.51—9.60 m,汛期(6—9 月)8.31—10.62 m,将此范围作为白洋淀适宜生态水位范围。

(5)计算适宜生态需水量 白洋淀的生态需水量包括两个部分:一部分是每个月的蒸散发、渗漏等水量损失扣除降水量后的净损失;另一部分是初始水位与目标水位之间的水量差值。

白洋淀生态需水量计算公式为:

$$Q_i = 2f(h_i) - f(h_i - hh_i) - f(h_{0i}) \quad (6)$$

式中, Q_i 为第 i 月生态需水量, h_i 为第 i 月生态水位, hh_i 为第 i 月消耗水深, h_{0i} 为第 i 月月初水位, f 为白洋淀水量-水位关系。

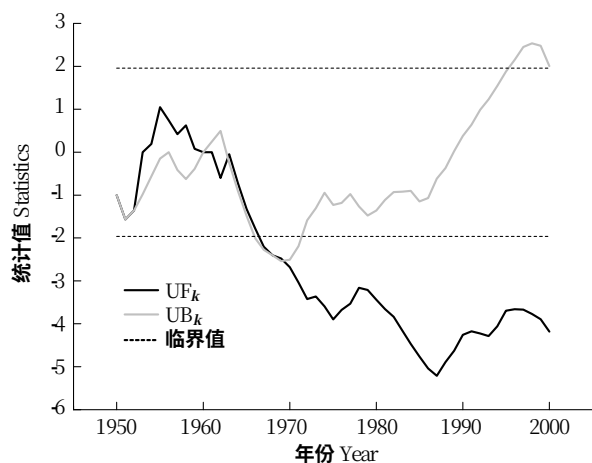


图5 白洋淀水位突变分析

Fig. 5 Mutation analysis of water level in the Baiyangdian Wetland

表 4 各生态水位方案水位及 AAPFD 指数评价结果

Table 4 Water level in different Scenarios and assessment results based on AAPFD

月份 Mnoth	方案 1 Scenario 1	方案 2 Scenario 2	方案 3 Scenario 3	方案 4 Scenario 4	方案 5 Scenario 5	方案 6 Scenario 6	方案 7 Scenario 7
1	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
2	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
3	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
4	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
5	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
6	11.62	10.79	9.96	9.13	8.30	7.89	7.47
7	11.62	10.79	9.96	9.13	8.30	7.89	7.47
8	11.62	10.79	9.96	9.13	8.30	7.89	7.47
9	11.62	10.79	9.96	9.13	8.30	7.89	7.47
10	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
11	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
12	10.50	9.75	9.00	8.25	7.50	7.13	6.75
APPFD	0.81	0.54	0.34	0.30	0.51	0.64	0.79
水文指数	6	6	7	8	6	6	6

不同年份蒸散发、渗漏等水量损失和降雨量都不同,而降水枯水年由于降水少而水量损失大,因此所需要的生态需水量也就大。本文根据 1971—1972 降水枯水年实测资料^[26]对水量净损失进行概化处理,将各月水量净损失转化为损失深度用于计算白洋淀生态需水量,计算结果如表 5 所示。

表 5 白洋淀生态需水量

Table 5 Ecological water demand of the Baiyangdian Wetland

月份 Month	生态水位/m Ecological water level		损失深度/mm Loss depth	生态需水量/10 ⁸ m ³ Ecological water demand	
	最低 Lowest	适宜 Appropriate		最小 Minimum	适宜 Appropriate
1	6.50	7.51—9.60	85.40	0.06	0.16—0.26
2	6.50	7.51—9.60	36.30	0.03	0.06—0.11
3	6.50	7.51—9.60	35.20	0.03	0.06—0.11
4	6.50	7.51—9.60	16.70	0.01	0.03—0.05
5	6.50	7.51—9.60	75.50	0.06	0.14—0.23
6	6.50	8.31—10.62	82.00	0.06	0.18—0.66
7	6.50	8.31—10.62	221.10	0.14	0.47 —1.05
8	6.50	8.31—10.62	250.30	0.15	0.53—1.189
9	6.50	8.31—10.62	318.90	0.18	0.67—1.51
10	6.50	7.51—9.60	83.90	0.06	0.16—0.28
11	6.50	7.51—9.60	150.00	0.10	0.28—0.45
12	6.50	7.51—9.60	196.30	0.12	0.37—0.59
合计 Total			1551.6	1.00	3.10—6.47

4 结论

现阶段由于我国生态资料的不足尤其是长序列资料的缺乏,水文学方法以其简单易行,对数据要求低的特点仍然被广泛应用。但是传统的水文学方法通常只能确定最小生态需水、最大生态需水或者给出一个简单的区间,对水文条件的时间性和空间性差异表达较少。并且由于缺少生态系统变化程度的表述,使其难以表征生态系统的健康水平与水资源变化之间的相关关系。本文提出的基于生态系统扰动程度评价的湿地生态需水量计算方法从湿地生态服务功能和湿地水面面积的密切相关性出发,建立湿地水位和湿地面积变化率的

关系,并结合特征水位的发生频率确定情景水位方案,通过分析不同水位方案和自然条件下水位状态的差异程度,计算得出生态系统在可接受状态下的一系列生态水位方案。这些生态水位方案的实用性和可操作性较强。

本文将该方法应用于白洋淀湿地,为其提供了 7 种可接受的生态水位方案。确定白洋淀最小生态水位为 6.5 m,适宜的非汛期生态水位在 7.51—9.60 m 之间,汛期生态水位在 8.31—10.62 m 之间,全年适宜生态需水量为 3.10×10^8 — $6.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。计算结果表明白洋淀生态需水量夏季汛期最大,冬春季非汛期最小。符合该地区年际水文气候条件的季节变化规律。虽然目前这一计算过程主要关注汛期和非汛期的生态需水,结果相对粗略,但其科学意义明确,可操作性较强。在数据资料不足的情况下,可以在一定程度上体现出生态-水量-水位之间的相互联系和影响,能够为水资源管理部门的生态配水提供参考。

总的来说生态需水的计算涉及复杂的水文过程和生态过程,单一的计算方法很难完全满足要求。在计算方法上不同方法间的交叉和融合将会是生态需水研究的发展趋势,同时今后在研究手段上应加强水生生物的现状监测和历史状况反演技术的应用,以降低生物资料缺乏的制约作用,使生态需水的研究更加科学有效。

References:

- [1] Tharme R E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Application*, 2003, 19(5/6): 397-441.
- [2] Xu Z X, Wang H, Dong Z C, Tang K W. *Theory and Practice of Ecological Water Requirement of River and Lake*. Beijing: China Water Power Press, 2005: 8-15, 90-93.
- [3] Yang Z F, Chen H. A dynamic hydrological method to calculate instream flow and its application. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2289-2995.
- [4] Richter B D. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 1997, 37(2): 231-249.
- [5] Richter B D, Baumgarmer J V, Powell J, Braun D P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 1996, 10(4): 1163-1174.
- [6] Song L L, Lu G H, Liu L. Application and improvement of wetted perimeter method. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2007, 38(10): 10-13.
- [7] Elliott C R N, Dunbar M J, Gowing I, Acreman M C. A habitat assessment approach to the management of groundwater dominated rivers. *Hydrological Processes*, 1999, 13(3): 459-475.
- [8] Lacey R W J, Robert G M. Reach scale hydraulic assessment of instream salmonid habitat restoration. *Journal of the American Water Resources Association*, 2004, 40(6): 1631-1644.
- [9] De Jalón D G, Gortázar J. Evaluation of instream habitat enhancement options using fish habitat simulations: case-studies in the river Pas (Spain). *Aquatic Ecology*, 2007, 41(3): 461-474.
- [10] Clark J S, Rizzo D M, Watzin M C, Hession W C. Spatial distribution and geomorphic condition of fish habitat in streams: an analysis using hydraulic modelling and geostatistics. *River Research and Applications*, 2008, 24(7): 885-899.
- [11] Jacobson R B, Galat D L. Flow and form in rehabilitation of large-river ecosystems: an example from the Lower Missouri River. *Geomorphology*, 2006, 77(3/4): 249-269.
- [12] Yang Z F, Liu J L, Sun T, Cui B S. *Environmental Flows in Basins*. Beijing: Science Press, 2006: 10-16.
- [13] Cui B S, Yang Z F. Water consumption for eco-environmental aspect on wetlands. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, (2): 219-224.
- [14] Cui B S, Yang Z F. The classification and case study on eco-environmental water requirement of wetlands. *Resources Science*, 2003, 25(1): 21-28.
- [15] Zhao X, Cui B S, Yang Z F. A study of the lowest ecological water level of Baiyangdian Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1033-1040.
- [16] Zhong P, Yang Z F, Cui B S, Liu J L. Studies on water resource requirement for eco-environmental use of the Baiyangdian Wetland. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(8): 1119-1126.
- [17] Zhou L F, Xu S G, Li Q S, Liu D Q. Safety threshold of eco-environmental water requirement in wetland. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(7): 845-851.
- [18] Liu J L, Yang Z F. A study on the calculation methods of the minimum eco-environmental water demand for lakes. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 604-609.

- [19] Xu Z X, Chen M J, Dong Z C. Researches on the calculation methods of the lowest ecological water level of lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (10): 2324-2328.
- [20] Cui B S, Zhao X, Yang Z F. Eco-hydrology-based calculation of the minimum ecological water requirement for lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1788-1795.
- [21] Zhang J Y, Zhang S L, Wang J X, Li Y. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 230-234.
- [22] Liu Q, Yang Z F, Cui B S. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961—2006 in Yellow River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 2008, 361: 330-338.
- [23] Chen M J, Feng H L, Li H Y. Study on Ecological Water Demand in Song Liao Basin. Beijing: China Water Power Press, 2009: 1-8.
- [24] Ladson A R, White L J. An Index of Stream Condition: Reference Manual. Department of Natural Resources and Environment, Australia, 1999.
- [25] Liu L H. Study on Water Resource Carrying Capacity and Water Environment of the Baiyang Wetlands[D]. Baoding: Agricultural university of Hebei, 2005.
- [26] Liu J Z, Wei J Q. Calculation and analysis of evaporation, leakage and water supplement in Baiyangdian Lake. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2007, (1): 15-16.

参考文献:

- [2] 徐志侠, 王浩, 董增川, 唐克旺. 河道与湖泊生态需水理论与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 8-15, 90-93.
- [3] 杨志峰, 陈贺. 一种动态生态环境需水计算方法及其应用. *生态学报*, 2006, 26(9): 2289-2995.
- [6] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌. 湿周法的改进和应用. *水利水电技术*, 2007, 38(10): 10-13.
- [12] 杨志峰, 刘静玲, 孙涛, 崔保山. 流域生态需水规律. 北京: 科学出版社, 2006: 10-16.
- [13] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量研究. *环境科学学报*, 2002, (2): 219-224.
- [14] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量等级划分与实例分析. *资源科学*, 2003, 25(1): 21-28.
- [15] 赵翔, 崔保山, 杨志峰. 白洋淀最低生态水位研究. *生态学报*, 2005, 25(5): 1033 -1040.
- [16] 衷平, 杨志峰, 崔保山, 刘静玲. 白洋淀湿地生态环境需水量研究. *环境科学学报*, 2005, 25(8): 1119-1126.
- [17] 周林飞, 许士国, 李青山, 刘大庆. 扎龙湿地生态环境需水量安全阈值的研究. *水利学报*, 2007, 38(7): 845-851.
- [18] 刘静玲, 杨志峰. 湖泊生态环境需水量计算方法研究. *自然资源学报*, 2002, 17(5): 604-609.
- [19] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 湖泊最低生态水位计算方法. *生态学报*, 2004, 24(10): 2324-2328.
- [20] 崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算. *生态学报*, 2005, 25(7): 1788-1795.
- [21] 张建云, 章四龙, 王金星, 李岩. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究. *水科学进展*, 2007, 18(2): 230-234.
- [23] 陈敏健, 丰华丽, 李和跃. 松辽流域生态需水研究. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 1-8.
- [25] 刘立华. 白洋淀湿地水资源承载能力及水环境研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2005.
- [26] 刘建芝, 魏建强. 白洋淀蒸发渗漏与补水量计算分析. *水科学与工程学报*, 2007, (1): 15-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamyia aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元