

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **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 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美姝,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

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

张强, 李剑锋, 陈晓宏, 江涛. 水文变异下的黄河流域生态流量. 生态学报, 2011, 31(17): 4826-4834.

Zhang Q, Li J F, Chen X H, Jiang T. Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 4826-4834.

水文变异下的黄河流域生态流量

张 强*, 李剑锋, 陈晓宏, 江 涛

(中山大学水资源与环境系, 广州 510275; 中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广州 510275)

摘要: 使用 t 检验和 Mann-Whitney U 检验对黄河干流 7 个水文站月均流量进行水文变异分析, 探讨了水文变异成因, 在此基础上, 确定变异前各月月均流量序列最适概率分布函数, 将概率密度最大的月平均流量定义为河道内生态流量。经与 Tennant 法、最小月平均流量法和逐月径流法比较, 考虑水文变异的河道内生态流量计算方法是可行、合理的。水文变异后, 黄河干流 7 水文站月均流量普遍减少, 月均流量满足河道内生态流量的频率降低。研究表明, 人类活动是黄河生态系统水环境恶化的重要原因。在流域生态管理中, 确保变异后生态流量满足频率与变异前相当。研究对于理解在当前气候变化与人类活动双重影响下, 干旱半干旱区流域水资源科学管理具有一定理论与现实意义。

关键词: 生态流量; 水文变异; t 检验; Mann-Whitney U 检验; 黄河

Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations

ZHANG Qiang*, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, JIANG Tao

Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Guangdong University Key Laboratory of Water Cycle and Security in South China, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Climate changes and human activities combine to cause hydrological alterations, exerting tremendous influences on water conditions of the regional ecological environment. The increasing water use and deficiency of awareness of the ecological water have contributed to the shortage of ecological flow in the Yellow River basin. Thus, hydrological alterations should be taken into account in the estimation of the ecological instream flow. In this study, the t test and the Mann-Whitney U test are applied to analyze the ecological instream flow based on the monthly streamflow data extracted from the 7 hydrological stations along the main stem of the Yellow River basin. To assure the reliability of the change pointed detected in this study, the changing point is believed to be reliable only when the results of these two testing methods are in good agreement. Since a time series may have several change points, successive hypothesis test is used to identify all possible change points. In addition, possible causes behind the hydrological alterations are also discussed based on the publications. The changing points obtained are in good line with the time when the construction of the dams was done and also when other anthropogenic factors exert influences on the hydrological processes. After the detection of the change points, the ecological flow is defined as the streamflow with the maximum possibilities before the first change point. It is true that the ecological flows in various months are different in that the probability distributions of the streamflow components in different months are not the same. Therefore, the ecological flow should be considered at the monthly scale. The Pearson III, the general extreme value (GEV), the log normal (LOGN), and the Wakeby distributions are used to analyze the probability behaviors of the streamflow series and the parameters of the probability distributions are estimated with the L-moment technique. The

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071020, 50839005); 中山大学理工科青年教师重点培育计划项目(2009-37000-1132381); 广东省自然科学基金项目(4203384)

收稿日期: 2010-07-30; 修订日期: 2011-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangq68@mail.sysu.edu.cn

probability distribution function with the highest goodness-of-fit after the Kolomogorov-Smirnov (KS) test will be accepted to evaluate the ecological flow. The results indicate that: (1) the ecological streamflow evaluated in this study based on the monthly instream flow data is reasonably right based on comparison with the results by the Tennant method, the minimum monthly average flow method, and the monthly frequency calculation method; (2) the streamflow greatly decreased after the change points due to climate change and anthropogenic activities; (3) the frequencies that the fluvial streamflow satisfies the ecological water requirements are decreasing; (4) the intensifying human activities such as human withdrawal of freshwater from the upper to the lower Yellow River basin are the major causes behind the decreasing water quantity; (5) the frequencies that the monthly streamflow satisfies the ecological water after the hydrological alteration should be kept at the same level as that before the hydrological alteration. Due to the climate changes and the booming development of the socio-economy, significantly enhancing water usage is observed, and it is particularly true in the lower Yellow River basin. In this sense, it is almost impossible for the fluvial streamflow to satisfy the water demand of the ecosystem for each month. On the other hand, the local ecosystem has acclimatized itself to the hydrological condition after the hydrological alterations. Thus, it could be feasible to keep the possibility that the fluvial streamflow may satisfy the water requirements of the ecological system at the same level as that before the hydrological variation. The results of this study could be of scientific and practical merits in terms of basin-scale water resources management.

Key Words: ecological flow; hydrological alterations; the t test; the Mann-Whitney U test; the Yellow River

气候变化加速了水循环,加上日益加剧的人类活动对地表水文过程的影响,降水及地表水资源量的时空分布发生显著变异^[1-2]。随着社会经济的发展,对水资源的开发利用不断增加,同时,在用水过程中对生态需水重视程度不足,导致生态用水严重不足^[3]。为了保证河流生态系统的健康,实现可持续发展的目标,必须在考虑气候变化及人类活动的基础上进行生态需水研究。崔瑛等^[4]回顾国内外生态需水的研究进展,生态需水量的界定目前尚无统一概念。目前河道内生态需水主要包括 3 个方面:河道基本生态环境需水、输沙需水量和入海水量^[5],较多研究河道基本生态环境需水。崔保山等^[6]认为湿地生态环境需水是关键保护物种正常年份的栖息、繁殖范围内的正常水量,可通过水面面积百分比和水深要素计算栖息地需水量。李丽娟等^[7]以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水。严登华等^[8]则从生态系统水分平衡和生物水分生理的角度提出了区域生态需水的风险管理方案。宋兰兰^[9]根据生物种群和环境因子之间的关系,通过筛选主要水文指数计算生态环境需水。

研究黄河生态需水有重要意义,自 20 世纪 50 年代,黄河河道内流量显著下降。利津站年径流量从 1950 年的 514 亿 m^3 减少到 2005 年的 206 亿 m^3 ,其中 2002 年,降低到 42 亿 m^3 ,并在相当长的时间内出现断流现象^[10-11]。20 世纪 90 年代后,黄河断流、水污染等问题相当严重,水利部提出在水资源配置中应考虑生态环境用水。众多学者对黄河生态需水进行研究。郝伏勤等^[12]通过历史流量法和一维水质模型计算黄河干流生态环境需水。王西琴等^[13-14]用段首控制法确定渭河河道最小环境需水量。但是,经过对过去研究的系统整理与分析发现,以往的研究较少考虑水文变异。李剑锋等^[15]考虑水文变异对黄河干流河道内生态需水进行研究,采用 Mann-Whitney U 检验法在年尺度上进行水文变异点分析,把变异前序列作为计算序列,经过拟合优度检验认为 GEV 分布更适合黄河站点的月流量序列,求出 GEV 概率密度最大处月流量作为河道内生态需水流量。基于黄河流域生态需水问题的重要性及其特殊意义,我们在此研究中对研究方法思路做了进一步的考虑:采用 t 检验法和 Mann-Whitney U 检验法两种方法,避免单一变异分析方法的缺陷,增加变异分析结果可信度;另外,采用月尺度进行分析,进一步考虑由于径流量年内分布改变而导致的水文变异;对各个站点各月流量序列均进行拟合优度检验,分别求出各月最优分布函数,更好地反映其水文特征。本文在以上改进的基础上,对黄河流域生态需水问题分析与研究。

1 数据

本文选取黄河流域干流上 7 个主要水文控制站点的日径流量观测数据,数据序列从 1949—2005 年,另外有几个站点水文数据从 1958 (1956、1967)—2005 年。径流数据由黄河水利委员会的水文年鉴等资料提供。对于个别缺测的数据,本文选用上下游相关分析法来插补(相关系数达 0.85 以上),以确保序列的完整性和连续性。水文变异受到气候变化和人类活动影响,为了分析计算出来的变异点的合理性,本文考虑了黄河流域主要水利工程的相关情况,分析水文变异可能的影响因素,主要水利工程详细信息见表 1。

表 1 主要水利工程详细信息

Table 1 Detailed information of the primary dam project

编号 No.	大坝名称 Dam	建造时间 Construct time	完工时间 Completion time	经度 Longitude	纬度 Latitude
1	龙羊峡	1979	1986	100°55′	36°07′
2	李家峡	1988	1996	101°48′	36°07′
3	刘家峡	1958	1974	103°20′	35°55′
4	青铜峡	1958	1968	105°59′	37°53′
5	三门峡	1958	1960	111°22′	34°49′
6	小浪底	1992	1997	112°30′	34°53′

2 研究方法

本文用月平均流量作为考察生态流量的指标。由于气候变化和人类活动,水文序列往往发生变异,变异前和变异后的水文序列分布发生了改变,本文主要分析变异前水文序列的概率分布情况,并据此计算河道内生态流量。

2.1 水文变异计算步骤

单变异点水文序列变异点分析方法较多,多变异点分析方法也各有优劣。Matthew 等^[16]对多变异点分析方法进行比较,认为基于两种或以上的单变异点分析方法的连续假设检验方法(Successive hypothesis test)^[17]有较好的效果。本文使用 t 检验法^[18]和 Mann-Whitney 检验^[19]的连续假设检验算法进行水文变异分析,并根据实际需要对该法进行修改。如果点 c 都被 t 检验法和 Mann-Whitney 检验法检验为变异点,或者变异点差异在两个时段内时,才确定其为变异点。

设 H_0 为检验序列没有发生变异。在整合计算步骤中,子序列分为 1 到 C_2 , $C_1 + 1$ 到 C_3 …… $C_{k-2} + 1$ 到 n , 对子序列逐个检验,可能出现 3 种检验结果:接受 H_0 、拒绝 H_0 且变异点没变、拒绝 H_0 且变异点改变。根据以上情况,本文的多变异点分析方法如下:(1) 拆分计算。拆分计算中,子序列分为 1 到 C_1 , $C_1 + 1$ 到 C_2 …… $C_{k-1} + 1$ 到 n ,如果任意一个子序列的检验结果拒绝 H_0 ,那么就在这个子序列拆分,确定出这个子序列的变异点, k 增加;(2) 整合计算。子序列分为 1 到 C_2 , $C_1 + 1$ 到 C_3 …… $C_{k-2} + 1$ 到 n 。任意子序列的检验结果接受 H_0 ,子序列中没有变异点,则删除该子序列中原来的变异点,该子序列整合成功, k 减小。如检验 1 到 C_2 子序列,检验结果接受 H_0 ,则删除原来的变异点 C_1 。检验结果拒绝 H_0 且子序列中变异点没有改变,则保留该子序列中原来的变异点。如检验 1 到 C_2 子序列,检验结果拒绝 H_0 ,且变异点仍然是 C_1 ,则保留变异点 C_1 。任意子序列的检验结果拒绝 H_0 且子序列中变异点发生改变,则以新的变异点替换原来的变异点,如检测 1 到 C_2 子序列,检验结果拒绝 H_0 ,变异点为 C'_1 ,则变异点更改为 C'_1 ,子序列分为 1 到 C_2 , $C'_1 + 1$ 到 C_3 …… $C_{k-2} + 1$ 到 n ,继续进行整合计算;(3) 拆分计算后进行整合计算,检验前一步计算的变异点在整合计算过程是否会失去其显著性或发生改变。

2.2 河道内生态流量计算

如果水文序列存在变异点,则前后序列的总体分布不一致,不具备一致性。假定当地生态系统适应了变异前的水文状态,变异后的水文变化已影响当地的生态平衡。所以计算河道内生态流量时,只考虑变异点前水文序列。

如果水文序列不存在变异点,可认为水文序列总体分布一致,具备一致性。当地生态系统适应该水文状态。计算河道内生态流量时,考虑整个系列水文序列。

依据环境因子与种群关系,河流生态系统的河道内生态流量即为各月份频率最大处月平均流量。要求出频率最大处月平均流量,必须要先确定最符合计算序列的概率分布函数。关于水文序列的最优概率分布函数,不同学者和不同部门有不同的见解。P-III 分布在我国的水文领域中得到广泛应用。英国推荐采用广义逻辑分布进行水文频率计算^[20]。Mares 等^[21]使用 GEV 对 Danube 流域进行分析。Park 等^[22]运用 Wakeby 分布对朝鲜半岛夏季极端降水进行分析。众多学者通常选择多种概率分布函数,然后进行优度检验选择最优概率分布函数。Zhang 等^[23]选择 EVI 和对数 P-III 分布,然后进行优度检验选择最优概率分布函数。张强等^[24]选择常用五种概率分布函数来进行频率分析:P-III 分布(3 参)、广义极值分布(3 参)、广义帕累托分布(3 参)、对数正态分布(3 参)和 Wakeby 分布(5 参)。这些概率分布函数在水文气象领域得到广泛应用。本文结合研究需要,即计算频率最大处月平均流量,选取 4 种概率分布函数:P-III 分布(3 参)、广义极值分布(3 参)、对数正态分布(3 参)和 Wakeby 分布(5 参)。并使用线形矩方法^[25]进行参数估计,最后使用 Kolmogorov-Smirnov (K-S)方法的统计量 D 进行拟合优度检验。需要注意的是,使用线形矩估计 Wakeby 分布参数,有可能无法估计出 Wakeby 分布,而简化为广义帕累托分布(3 参),该分布概率密度函数是单调函数,不适合求生态流量。

确定出最适合的概率分布函数后,根据相对应的概率分布函数,求出概率最大处月平均流量作为生态流量。

3 水文变异分析结果

本文根据研究需要采用 *t* 检验和 Mann-Whitney U 检验法,并应用于黄河干流 7 个水文站的月均流量资料上。分析黄河流域其他 7 个水文站点的水文序列,结果如表 2 所示。

表 2 黄河干流 7 个水文站月均流量水文变异分析结果

Table 2 Hydrological alterations analyzing results of 7 hydrometric stations in Yellow River	
站点 Stations	变异分段 Subsequences
唐乃亥	1956 年 1 月—2005 年 5 月,2005 年 6 月—2005 年 12 月
兰州	1967 年 1 月—1995 年 11 月,1995 年 12 月—2000 年 3 月,2000 年 4 月—2000 年 11 月,2000 年 12 月—2005 年 4 月,2005 年 5 月—2005 年 12 月
头道拐	1958 年 1 月—1986 年 9 月,1986 年 10 月—1996 年 4 月,1996 年 5 月—2005 年 12 月
龙门	1958 年 1 月—1986 年 9 月,1986 年 10 月—1988 年 6 月,1988 年 7 月—1996 年 9 月,1996 年 10 月—2005 年 12 月
花园口	1949 年 1 月—1968 年 11 月,1968 年 12 月—1996 年 11 月,1996 年 12 月—2003 年 8 月,2003 年 9 月—2005 年 12 月
孙口	1949 年 1 月—1968 年 12 月,1969 年 1 月—2003 年 8 月,2003 年 9 月—2005 年 12 月
利津	1949 年 1 月—1968 年 12 月,1969 年 1 月—1983 年 6 月,1983 年 7 月—2005 年 12 月

4 水文变异点的成因分析

近 40a 来,黄河流域气候变异主要表现在气温呈上升趋势,而以秋冬季节气温上升尤为明显^[26]。1960 年后,黄河大部分地区降雨呈下降趋势,而且显著变异主要发生在黄河中下游北纬 38°以南地区,变异时间基本在 1963 年到 1998 年期间,黄河下游的变异时间比黄河中上游的变异时间早^[27]。

唐乃亥站 该站上游没有大型水利工程,不受水利工程调控影响,更多地受气候变化影响,变化特征应是渐变的。唐乃亥径流量于 2005 年发生变异,但由于变异点处于序列后端,因此,怀疑此变异点的出现可能是由于变异点分析方法不足导致的。

兰州站 上游李家峡在 1993 年 4 月 28 日开始浇筑主坝,1996 年底主要计划项目基本完工,12 月 26 日水库下闸蓄水^[28],与第一次变异时间基本相近。刘家峡和龙羊峡的影响没有检测出来。20 世纪 90 年代后,随着人类活动的增加,变异情况更加复杂。可见,兰州站的水文变异更多受人类活动影响。

头道拐站 青铜峡水利枢纽是低水头发电站^[29],同时,由于青铜峡调节能力较小,对月流量影响不

大^[28]。故该站的水文调控没有导致显著水文变异。龙羊峡工程于 1976 年 2 月 25 日开始施工准备,1979 年 12 月 29 日截流,1986 年 10 月 15 日下闸蓄水。1986 年 10 月发生第一次变异。李家峡 1996 年底主要计划项目基本完工,12 月 26 日水库下闸蓄水,与第二次变异时间基本相近。水文变异主要原因是人类活动。龙门站水文序列变异成因和头道拐相似。

花园口站 1998 年黄河下游断流严重。2003 年上半年黄河来水为 50 年最枯,下半年黄河出现了罕见的秋汛。刘家峡水库 1968 年 10 月投入运用后,改变了进入黄河小北干流水量的年内分配过程,使汛期水量减少。另外,三门峡水库兴建于 1957 年 4 月,1960 年 9 月从大坝基本建成并开始蓄水至 1962 年 3 月,采用“蓄水拦沙”运用,库区产生大量的集中淤积,1965—1968 年对枢纽实施了第一次改建,潼关以下库区已由淤积转为冲刷。这两个时间与第一次变异时间相近。李家峡在 1996 年底主要计划项目基本完工,12 月 26 日水库下闸蓄水。与第二次水文变异时间一致。2003 年下半年出现了罕见的秋汛,旱情得到缓解,加上合理的调度,2003、2004、2005 年黄河下游水量得到增加。故 2003 年的水文变异是人类活动和气候变化的共同结果。孙口站和利津站的情况与花园口相似^[30]。

可以看出,人类活动对水文状况影响很大,特别是水利工程建设、水利调度和用水状况,显著地改变当地以及下游的水文状况,从而影响生态系统。下游地区人口多,经济发展快,工农业用水量大,再加上上游来水的影响,使得下游水文情况比上游复杂。对于部分没有找到成因的变异点。可能是由其他没有资料的人类活动引起的,也有可能是由滑动秩和检验自身的一些缺陷引起的;如果检验变异点在端点,其检验结果可信度较差^[31]。

5 河道内生态流量计算

根据变异点发生时间对所研究水文序列进行分段,选择序列发生首次变异前的序列计算河道生态流量。计算河道生态流量要先确定最符合各站点各月份计算序列的概率分布函数,本文选择常用的 4 种概率分布函数来进行频率分析,分别是:PIII-分布(3 参)、广义极值分布(3 参)、对数正态分布(3 参)和 Wakeby 分布(5 参)。并使用线形矩方法进行参数估计,最后使用置信水平为 5% 的 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 方法进行拟合优度检验,选择统计量 D 最小的概率分布函数。以花园口为例,基于 4 种概率分布函数描述各月平均流量的 K-S 法的概率 p 和统计量检验值 D 如表 3。

表 3 基于 4 种概率分布函数描述花园口各月平均流量的 K-S 法的概率 p 和统计量检验值 D

月份 Month	统计量 Statistics value	PIII 分布 PIII	广义极值分布 GEV	对数正态分布 LOGN	Wakeby 分布 Wakeby
1	p	0.6713	0.9559	0.2617	<u>0.9995</u>
	D	0.1544	0.1075	0.2172	<u>0.0741</u>
2	p	0.9873	0.9854	<u>0.9874</u>	0.9790
	D	0.0939	0.0951	<u>0.0938</u>	0.0987
3	p	0.9685	0.9780	0.9751	<u>0.9859</u>
	D	0.1032	0.0992	0.1005	<u>0.0948</u>
4	p	0.9417	0.9517	<u>0.9524</u>	0.8677
	D	0.1115	0.1087	<u>0.1085</u>	0.1264
5	p	0.9855	0.9793	0.9814	<u>0.9931</u>
	D	0.0951	0.0986	0.0974	<u>0.0889</u>
6	p	0.9588	0.9630	0.9584	<u>0.9838</u>

续表					
月份 Month	统计量 Statistics value	PIII 分布 PIII	广义极值分布 GEV	对数正态分布 LOGN	Wakeby 分布 Wakeby
7	<i>D</i>	0. 1066	0. 1052	0. 1067	<u>0. 0961</u>
	<i>p</i>	0. 8653	0. 8107	0. 8272	<u>0. 9082</u>
	<i>D</i>	0. 1268	0. 1353	0. 1328	<u>0. 1190</u>
8	<i>p</i>	0. 9999	<u>0. 9999</u>	0. 9999	0. 9995
	<i>D</i>	0. 0642	<u>0. 0618</u>	0. 0645	0. 0744
	<i>p</i>	<u>0. 9662</u>	0. 9609	0. 9590	0 *
9	<i>D</i>	<u>0. 1041</u>	0. 1059	0. 1065	0. 0864 *
	<i>p</i>	0. 8036	0. 8313	0. 4393	<u>0. 9057</u>
	<i>D</i>	0. 1363	0. 1322	0. 1862	<u>0. 1195</u>
10	<i>p</i>	0. 9798	0. 9835	0. 9840	<u>0. 9963</u>
	<i>D</i>	0. 1007	0. 0987	0. 0983	<u>0. 0866</u>
	<i>p</i>	0. 8980	0. 9305	0. 9227	<u>0. 9959</u>
11	<i>D</i>	0. 1240	0. 1170	0. 1188	<u>0. 0874</u>
	<i>p</i>				
	<i>D</i>				

带下划线的值代表最优概率分布函数,带星号的值代表 Wakeby 分布简化为广义帕累托分布

大部分月份的最优概率分布为 Wakeby 分布,使用线形矩法估计花园口 9 月份计算序列的 Wakeby 分布参数时,无法估算出 Wakeby 分布参数,简化为广义帕累托分布(3 参),但广义帕累托分布概率密度函数是单调函数,不能进行生态需水计算。故需选择统计量检验值 *D* 次小的 PIII 分布。确定各月份最优分布后,分别计算其概率密度最大处流量作为各月生态流量(图 1)。点虚线是变异前序列平均流量,虚线是变异后序列平均流量。生态流量基本上小于变异前序列平均流量,变异前生态需水情况良好。变异后,月平均流量均减少,且汛期月平均流量明显小于生态流量,生态需水情况恶化。

采用以上方法计算各站各月份概率密度最大处月平均流量作为河道内生态流量(表 4)。

6 与其他生态需水计算结果比较

将本文结果和 Tennant 法^[32]、最小月平均流量法^[7]和逐月径流法^[33]进行比较。这些方法都是得到广泛应用和认可水文学生态需水计算方法。Tennant 法以多年平均流量为基础,汛期和非汛期乘上相应级别的百分比,作为河流流量的推荐值。Tennant 法中的年平均流量应为多年条件下、天然情况下的年平均流量。由于缺乏黄河 7 水文站本文资料时段的用水资料,无法还原相对应时段的天然径流量。因此采用 2005 年黄河水资源公报上统计的天然径流量 1956—2000 年均值^[28]。该公报上对应的水文站有:兰州、头道拐、龙门、花园口、利津。故用 Tennant 法只能计算以上 5 站的生态需水。最小月平均流量法即以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量。其计算结果代表保持河流生态系统稳定所允许的最小流量。逐月频率计算法对尽可能长的月径流系列进行频率计算,根据不同时间径流系列的统计特征、生态系统的稳定和物种的生存繁衍对水文条件的需求等,把不同保证率条件下的月径流过程作为适宜生态径流过程。采用本文介绍的方法确定月径流量最适合概率分布函数。不同学者对保证率的选择有不同建议,李捷等^[33]认为年内各月径流量保证率均采用 50%,本文采用其观点进行计算。该法结算结果代表保持河流生态系统稳定的适合生态流量。计算结果如表 5。

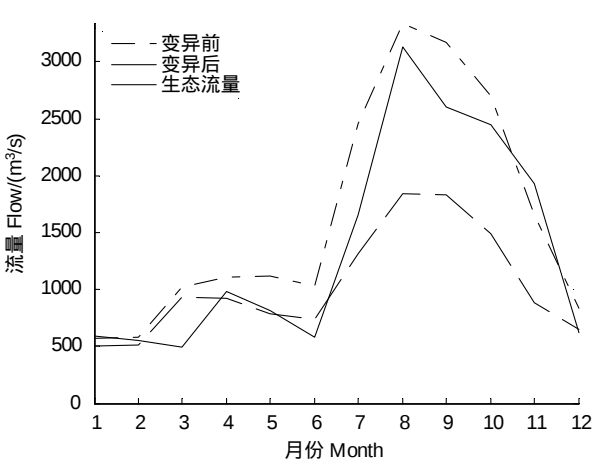


图 1 花园口各月生态流量

Fig. 1 The ecological flow of Huayankou station

表 4 黄河干流 7 水文站各月河道内生态流量/(m^3/s)

Table 4 Ecological instream flow of 7 hydrometric stations in Yellow River

月份 Month	唐乃亥	兰州	头道拐	龙门	花园口	孙口	利津
1	131.86	663.44	197.01	463.72	587.54	469.61	395.44
2	150.16	662.37	432.12	692.26	556.00	570.74	446.39
3	197.91	460.58	419.93	802.74	494.49	846.77	828.89
4	335.17	747.87	626.25	809.59	986.29	728.61	513.81
5	419.31	1129.15	184.81	445.54	815.02	544.39	729.44
6	448.88	1114.63	472.10	121.70	583.21	813.89	721.13
7	901.79	1088.69	579.09	733.78	1656.82	1184.93	2011.07
8	905.00	912.21	523.17	792.40	3127.88	2889.81	3970.85
9	696.95	714.64	462.10	498.88	2603.51	2505.69	2390.53
10	721.00	860.38	1742.54	957.68	2448.68	2870.44	3927.87
11	364.73	891.35	562.47	588.26	1931.00	1391.11	1374.98
12	193.59	725.56	299.00	366.82	615.89	561.82	672.35

表 5 与其他生态流量计算方法比较/(m^3/s)

Table 5 Compare with other ecological streamflow calculating methods

站点 Stations	本文生态流量 Ecological streamflow	Tennant 法等级 Tennant	最小月平均流量法 Minimum monthly average flow method	逐月频率算法 Monthly frequency calculation method
唐乃亥	455.53	无资料	155.84	584.68
兰州	830.91	最佳	449.35	860.68
头道拐	541.72	最佳	194.74	595.67
龙门	606.11	最佳	299.81	704.29
花园口	1367.19	最佳	396.17	1113.09
孙口	1281.48	无资料	296.19	962.53
利津	1498.56	最佳	189.18	871.82

本文计算结果与 Tennant 法相比,本文计算生态流量均处于最佳等级。但必须考虑的是,本法的河道内生态流量是河道内流量,而 Tennant 法计算的是天然径流量应该达到的水平。本文考虑频率最大处月平均流量,而最小月平均流量法考虑最小月平均流量这一极端状态,故本文计算结果比最小月平均流量法计算结果要大。逐月频率算法设定不同的保证率进行生态流量计算,其保证率的选择目前仍没有统一,本文生态流量与逐月频率算法结果相当。本文方法计算频率最大处月平均流量,其计算结果具有确定性和合理性。

7 讨论

如果月流量大于等于对应月的生态流量,则认为该月满足生态需水要求。各月满足生态需水年份数除以序列中的总年数求得生态流量满足频率。通过变异前后生态流量满足频率评价生态需水情况(表 6)。

变异前生态流量满足频率大部分在 50% 以上,说明以月为时间尺度分析,变异前保证有 50% 以上的时间月平均流量满足河道内生态需水流量,能保障河道内生态系统的正常需水。

变异后,月平均流量满足生态流量的频率减少(唐乃亥变异后序列只有 6 个月,不能统计出变异后各月份的生态流量满足频率)。变异后时段包括变异后的所有序列,即使该序列中存在变异点。如孙口变异后时段是 1969 年 1 月—2005 年 12 月,即使 1969 年 1 月—2005 年 12 月间存在变异点。

如图 1,花园口变异前,大部分月平均流量都能满足河道内生态流量,变异后月平均流量大幅减少,不满足生态流量的频率明显增加,汛期月平均流量减少幅度比非汛期大。径流量减少导致变异后生态需水流量满足频率降低。这与气候变化和人类活动有关。近年来,整个黄河流域温度升高,降雨量下降,导致天然径流量减少。随着黄河流域经济的发展,工业农业用水迅速增加。同时黄河干流不断兴建大型水利工程,黄河受到水利工程联合调控。这些人类活动改变了黄河水文状况。王厚杰等^[34]认为是厄尔尼诺现象直接导致黄河流域的降雨减小,从而减小天然年径流量;人类影响加速了水文循环中的水量损失,大坝水库储存汛期多余水

量,并在枯水期泄水,这改变了当地水文季节规律,人类用水不再是靠天吃饭,在枯水期也能够按照需要用水,这导致用水量增加。这些因素共同作用下,径流量大幅减少。水利工程调控不仅提高人类取水,减少了河道内流量,同时时年径流年内分配趋于均匀,这使汛期径流减少幅度大于非汛期。所以计算生态需水需要考虑水文变异。

表 6 黄河干流各站点生态流量满足频率/%
Table 6 The frequency of monthly flows meeting ecology flows in Yellow River

站点 Stations		月份 Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
唐乃亥	变异前	80	60	60	56	80	98	67	67	82	67	73	67
	变异后	N/A											
兰州	变异前	14	3	76	41	52	52	72	97	97	66	36	14
	变异后	0	0	20	20	10	0	10	20	50	50	10	0
头道拐	变异前	97	52	97	52	97	34	69	93	96	32	61	86
	变异后	100	53	100	26	47	11	21	63	74	0	15	70
龙门	变异前	66	38	62	52	52	100	72	86	96	61	68	89
	变异后	17	8	58	25	0	100	33	33	83	0	23	85
花园口	变异前	50	50	100	60	70	80	80	50	55	60	32	68
	变异后	35	35	100	30	41	60	27	16	27	11	8	50
孙口	变异前	55	40	55	90	85	60	95	60	55	40	65	70
	变异后	49	24	35	41	51	22	46	14	27	11	14	41
利津	变异前	45	60	55	95	60	60	55	25	60	15	70	65
	变异后	62	27	14	22	16	19	3	0	24	5	16	19

8 结论

(1)考虑水文变异的河道内生态需水流量计算方法是可行的。本文方法计算结果与 Tennant 法、最小月平均流量法和逐月径流法相比,本文方法只需要河道内月平均流量资料,考虑概率密度处最大月平均流量,其计算结果具有确定性和合理性。

(2)变异后,月平均流量减少,满足河道内生态流量的频率降低(唐乃亥除外)。由于气候变化及人类活动,变异后月平均经流量减少,是满足河道内生态流量频率降低的原因。

(3)人类活动是黄河生态系统水环境恶化的重要原因。黄河干流站点水文变异与人类活动密切相关,特别是用水量的增加及上游水利工程调控。变异后各月平均流量减少,生态流量满足频率普遍降低。

(4)确保变异后生态流量满足频率与变异前相当。由于气候变化,经济发展等原因,年径流量下降是无法避免的,同时兼顾水利工程等防洪调度任务,要求每年每月都满足生态流量是不现实的。生态系统已经适应了变异前水文状况,所以变异后生态流量满足频率只需要与变异前相当即可。

References:

[1] Ziegler A D, Sheffield J, Maurer E P, Nijssen B, Wood E F, Lettenmaier D P. Detection of intensification in global- and continental-scale hydrological cycles: temporal scale of evaluation. *Journal of Climate*, 2003, 16(3): 535-547.

[2] Zhang Q, Xu C Y, Zhang Z X, Chen Y Q D. Changes of atmospheric water vapor budget in the Pearl River basin and possible implications for hydrological cycle. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 102(1/2): 185-195.

[3] Xu Z X, Wang H, Dong Z C, Tang K W. *Theories and Practices of River and Lake Ecological Water*. Beijing: China Water Power Press, 2005.

[4] Cui Y, Zhang Q, Chen X H, Jiang T. Advances in the theories and calculation methods of ecological water requirement. *Journal Lake Sciences*, 2010, 22(4): 465-480.

[5] Wang X Q, Liu C M, Yang Z F. Research advance in ecological water demand and environmental water demand. *Advances in Water Science*, 2002, 13(4): 507-514.

[6] Cui B S, Yang Z F. The classification and case study on eco-environmental water requirement of wetland. *Resources Science*, 2003, 25(1): 21-28.

[7] Li L J, Zheng H X. Environmental and ecological water consumption of river systems in Haihe-Luanhe Basins. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 495-500.

[8] Yan D H, Wang H, Wang F, Tang Y. Frame of research work on ecological water demand and key topics. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(3): 267-273.

- [9] Song L L, Lu G H, Liu L. Estimation of instream flow based on hydrological indexes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37 (11): 1336-1341.
- [10] Liu C M, Xia J. Water problems and hydrologic research in the Yellow River and the Huai and Hai River basins of China. *Hydrological Processes*, 2004, 18(12): 2197-2210.
- [11] Zhang Q, Xu C Y, Yang T. Variability of water resource of the Yellow River basin of past 50 years, China. *Water Resources Management*, 2009, 23(6): 1157-1170.
- [12] Hao F Q, Huang J H, Gao C D, Wang X G, Zhang J J. Overview on study of eco-environmental water demand for main stream of Yellow River. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2006, 37(2): 60-63.
- [13] Wang X Q, Liu C M, Yang Z F. Method of resoloving lowest environmental water demands in river course (I)——theory. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(5): 544-547.
- [14] Wang X Q, Yang Z F, Liu C M. Method of resoloving lowest environmental water demands in river course (II)——application. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(5): 548-552.
- [15] Li J F, Zhang Q, Chen X H, Jiang T. Study of ecological instream flow in Yellow River, cosidering the hydrological change. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 99-110.
- [16] Menne M J, Williams C N Jr. Detection of undocumented changepoints using multiple test statistics and composite reference series. *Journal of Climate*, 2005, 18(20): 4271-4286.
- [17] Hawkins DM. Point estimation of the parameters of piecewise regression models. *Applied Statistics*, 1976, 25(1): 51-57.
- [18] Bridge P D, Sawilowsky S S. Increasing physicians' awareness of the impact of statistics on research outcomes: comparative power of the *t*-test and wilcoxon rank-sum test in small samples applied research. *Journal of Clinical Epidemiology*, 1999, 52(3): 229-235.
- [19] Seigel S. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1956.
- [20] IH (Institute of Hydrology). *Flood Estimation Handbook*. Wallingford: Institute of Hydrology, 1999.
- [21] Mares C, Mares I, Stanciu A. Extreme value analysis in the danube lower basin discharge time series in the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 2009, 95(3/4): 223-233.
- [22] Park J S, Jung H S, Kim R S, Oh J H. Modelling summer extreme rainfall over the Korean peninsula using wakeby distribution. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(11): 1371-1384.
- [23] Zhang L, Singh V P, Asce F. Bivariate flood frequency analysis using the copula method. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2006, 11(2): 150-164.
- [24] Zhang Q, Jiang T, Chen Y D, Chen X H. Changing properties of hydrological extremes in south China: natural variations or human influences? *Hydrological Proecess*, 2010, 24(11): 1421-1432.
- [25] Hosking J R M. L-Moments: analysis and estimation of distributions using lineear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1990, 52(1): 105-124.
- [26] Xu Z X, Li J Y, Liu C M. Long-term trend analysis for major climate variables in the Yellow River Basin. *Hydrological Processes*, 2007, 21(14): 1935-1948.
- [27] 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(3/4): 330-338.
- [28] YRCC, <http://www.yrcc.gov.cn/>
- [29] Gou X H, Chen F H, Cook E, Jacoby G, Yang M X, Li J B. Streamflow variations of the Yellow River over the past 593 years in western China reconstructed from tree rings. *Water Resources Research*, 2007, 43: W06434, doi: 10.1029/2006WR005705.
- [30] XinHua Net, <http://www.ha.xinhuanet.com>.
- [31] Xie P, Chen G C, Li D, Zhu Y. Comprehensive diagnosis method of hydrologic time series change-point analysis. *Water Resources and Power*, 2005, 23(2): 11-14.
- [32] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *American Fisheries Society*, 1976, 1: 6-10.
- [33] Li J, Xia Z Q, Ma G H, Guo L D. A new monthly frequency computation method for instream ecological now. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2916-2921.
- [34] Wang H J, Yang Z S, Saito Y, Liu J P, Sun X X. Interannual and seasonal variation of the Huanghe (Yellow River) water discharge over the past 50 years: connections to impacts from ENSO events and dams. *Global and Planetary Change*, 2006, 50(3/4): 212-225.

参考文献:

- [3] 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.
- [4] 崔琰, 张强, 陈晓宏, 江涛. 生态需水理论与方法研究进展. *湖泊科学*, 2010, 22(4): 465-480.
- [5] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻. *水科学进展*, 2002, 7, 13(4): 507-514.
- [6] 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.
- [7] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算. *地理学报*, 2000, 55(4): 495-500.
- [8] 严登华, 王浩, 王芳, 唐蕴. 我国生态需水研究体系及关键研究命题初探. *水利学报*, 2007, 38(3): 267-273.
- [9] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌. 水文指数法确定河流生态需水. *水利学报*, 2006, 37(11): 1336-1341.
- [12] 郝伏勤, 黄锦辉, 高传德, 王新功, 张建军. 黄河干流生态与环境需水量研究综述. *水利水电技术*, 2006, 37(2): 60-63.
- [13] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 河道最小环境需水量确定方法及其应用研究(1)——理论. *环境科学学报*, 2001, 21(5): 544-547.
- [14] 王西琴, 杨志峰, 刘昌明. 河道最小环境需水量确定方法及其应用研究(2)——应用. *环境科学学报*, 2001, 21(5): 548-552.
- [15] 李剑锋, 张强, 陈晓宏, 江涛. 考虑水文变异的黄河干流河道内生态需水研究. *地理学报*, 2011, 66(1): 99-110.
- [30] 谢平, 陈广才, 李德, 朱勇. 水文变异综合诊断方法及其应用研究. *水电能源科学*, 2005, 23(2): 11-14.
- [32] 李捷, 夏自强, 马广慧, 郭利丹. 河流生态径流计算的逐月频率计算法. *生态学报*, 2007, 27(7): 2916-2921.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwu, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

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 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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