

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

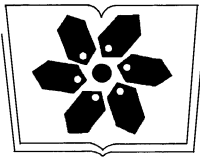
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



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 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响.....	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响.....	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡.....	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征.....	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性.....	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析.....	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响.....	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应.....	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例.....	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略.....	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征.....	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征.....	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响.....	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响.....	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响.....	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系.....	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响.....	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征.....	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例.....	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例.....	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估.....	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题.....	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展.....	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施.....	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建.....	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

水生态功能分区研究中的基本问题

唐 涛,蔡庆华*

(中国科学院水生生物研究所,武汉 430072)

摘要:重点流域水生态功能一级二级分区研究是当前我国正在开展的一项重要工作,如何进行科学、合理的分区是值得深入探讨且亟待回答的重要问题。从水生态功能分区与水生态区划的关系、水生生物在分区中的应用、以及如何选取合适的定量分析方法等方面入手,阐述了对分区目的、指标体系和技术方法等关键问题的理解。并建议:(1) 统一选用流域水生态系统结构、功能空间差异的环境驱动因子作为分区指标体系;(2) 用生境尺度的水环境、水生生物指标来验证分区结果;(3) 尽可能统一定量分析方法,以便为不同流域间分区结果的比较,以及为将来在全国尺度上开展分区工作奠定基础。

关键词:水生态功能分区;水生态区划;水生生物;定量分析方法

The essential issues in aquatic ecological function regionalization

TANG Tao, CAI Qinghua*

Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China

Abstract: Research on the first and second levels of aquatic ecological function regionalization (AEFR), a new regionalization framework, is now being conducted in several representative river/lakes watersheds in China. How to regionalize the target watersheds scientifically and logically is an important and urgent question. In this paper, we proposed understandings for regionalization objectives, guidelines and methods, through discussing the relationships between AEFR and aquatic ecological regionalization, the roles of aquatic organisms and selections of quantitative methods.

Based on summarizing the general characters of ecological regionalization schemes from various government departments, countries and regions, we firstly gave the definition and objectives of AEFR: developing and improving from existing ecological regionalization theories, it is a task that divides the target watershed into several independent and intact units by distinguishing the spatial heterogeneity of aquatic ecosystems in terms of patterns and functions, and discriminating the coupling relationship between aquatic and terrestrial ecosystems. Regionalization units provide basic management element for watershed pollution control, water quality, the benchmark and standard of ecological health and ecological capacity. By implementing regionalized, hierarchical, classified and sequential management strategies in various regionalization units, it is possible to ensure watershed health and aquatic ecological functions, so that to achieve the objectives of water quality safety and ecological integrity within target watershed.

By comparing the existing regionalization methods, we suggested to combine the up-bottom deductive method and bottom-up induction method in AEFR research. Namely, environmental driving factors, including climate, hydrology, geomorphology, soil, vegetation and land use/land cover indices, etc., should be used to divide the watershed into several units. Whereafter, habitat based variables such as biological community compositions, functional groups, biodiversity indices, physicochemical factors, etc. can be used to verify and validate the regionalization results. The above two steps are both essential and indispensable. Considering the different responses of diverse aquatic organisms to environmental stress, aquatic invertebrates and algal assemblages, which are normally used as bio-indicators, we highly recommend using as testing organisms in Chinese waters.

基金项目:国家“水体污染控制与治理”科技重大专项资助(2008ZX07526-002-07)

收稿日期:2010-02-09; **修订日期:**2010-08-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qhcai@ihb.ac.cn

Being a subjective task, after all, it is impossible to accomplish AEFR using quantitative methods completely. To achieve more objective results, we proposed to integrate expert judgments with quantitative results. The procedure will be as followings: correlation analysis or dimensionality reducing techniques such as principal component analysis (PCA) should be used firstly to find independent factors that contribute mostly to spatial heterogeneity of aquatic ecosystems. And then, such small collection of independent factors will be used to differentiate spatial patches of the watershed, with the assistance of expert judgments. Thirdly, at the stage of regionalization verification, classification and ordination methods such as clustering (unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA), Ward's method, k-means clustering, etc.), two-way indicator species analysis (TWINSPAN), detrended correspondence analysis (DCA), canonical correspondence analysis (CCA), redundancy analysis (RDA), and artificial neutral network (ANN) etc. can be used to analysis spatial patterns of aquatic organisms and other habitat variables. The results, in turn, will be used to verify or modify regionalization results, assisted with expert judgments, again. However, special attention should be given to applicability of each quantitative method. Besides, it is necessary to use and unify quantitative methods in regionalization as possible, so that to get comparable results and lay solid foundation for national regionalization work in the future.

Key Words: aquatic ecological function regionalization; aquatic ecological regionalization; aquatic organisms; quantitative methods

为促进我国水资源管理从单一的水质管理向流域综合管理转变^[1],实现流域水质保障与水生态安全的目标,在“十一五”期间启动的国家水体污染控制与治理科技重大专项(水专项)中专门设置了“流域监控”主题,其中一项重要任务是要“系统地开展流域水生态功能分区理论与方法研究,建立水生态功能分区分指标体系,建立全国水生态功能分区技术框架,完成重点流域水生态功能一级、二级区划,完成示范流域三级区划和污染控制单元划定方案”^[2]。“十二五”将在完善分区理论体系的基础上开展重点流域水生态功能三、四级分区研究。

当前,该项工作正在稳步推进,相关研究单位正按项目、课题的统一部署,深入分析8个重点流域水生态系统的主要特征,识别不同类型水生态功能的空间差异;探讨水生态功能分区技术方案。然而,由于水生态功能分区是一项全新的工作,没有一套现成的技术方法可用,仅可借鉴国内外一些类似的区划经验,很多基础性的问题还需要深入探讨,具体的分区方案尚待规范。如何尽快就分区指标体系、技术方法等基本问题达成共识,统一分区方案是当前急需解决的重要问题。从水生态功能分区与水生态区划的关系、水生生物在分区中的作用、分区中如何选用定量方法等3个方面,阐述了对水生态功能分区目标、分区指标体系、分区技术方案等基本问题的认识。

1 水生态功能分区与水生态区划的关系

生态区划始于19世纪,由于对自然调查不够充分及认识的局限性,早期的区划多采用单一指标(如气候、地貌、植被类型等)。在生态系统概念提出后,人们逐渐意识到生物与环境关系密切,对自然资源的研究和管理也应该综合考虑生态系统各组间的相互关系,区划方法逐渐向多参数指标体系转变。当然,由于研究对象及目标的不同,陆地、淡水、海洋的生态区划方案间有很大差异^[3-4]。其中,水生态区划最早由美国环保署(USEPA)于20世纪70年代提出,EPA认为:水环境管理不仅要关注污染控制问题,还要重视水生态系统结构与功能的保护,需要构建能够反映水生态系统空间特征差异的管理单元体系^[5]。随后,Omernik于1987年提出了首个基于地表地貌、土壤、植被和土地利用等4个区域性特征指标的三级生态区方案,将美国大陆分成15个Ⅰ级区、52个Ⅱ级区和84个Ⅲ级区^[6]。目前,美国的水生态区划尺度进一步细化,区划体系已发展到5级,并制定了各个生态区的生物基准和水质管理目标。近20a来,其它一些国家和地区也相继构建了以水质和生态管理为目标的区划方案。例如:1990年,Biggs等基于新西兰不同河流流量、水质、底栖生物群落等的差异将该国分成5个水生态区^[7];新西兰环境保护部对此方案进行了修正,将全国分成25个水生态区,其中

13 个位于北部,12 个位于南部^[8]。Wells 等依据气候、地形、海拔、植被类型等的差异将澳大利亚维多利亚州分为 17 个水生态区^[9]。欧盟水框架指令为成员国提供了两套备选区划方案^[10]、南非水务及森林部将全国分成 18 个一级水生态区^[11]。2008 年,由世界自然基金会(World Wildlife Fund, WWF)和美国大自然保护协会(The Nature Conservancy, TNC)联合资助,全球超过 200 位保护生物学家参与,耗时 10a 绘制了首张基于淡水鱼类生物多样性差异的世界淡水生态区划图^[4]等。

以上水生态区划方案虽然在指标体系、结果等方面有出入,但它们也存在很大的共性,即所有区划都是为水资源、水生态管理目标服务的,所选区划指标都是区域性的环境驱动因子,区划结果都强调了不同水生态区间存在显著的异质性特征,而同一生态区内水质、水生生物等都存在较大的相似性(表 1)。

表 1 世界主要水生态区划方案基本特征比较

Table 1 Comparisons among characteristics of aquatic ecological regionalization schemes

国家/地区 Nation/Region	主导机构 Responsible agency	区划目标 Regionalization objectives	主要指标体系 Index system	区划结果/进展 Results/Advance
美国 America	环境署(USEPA)	水质管理与水资源保护	地表地貌、土壤类型、潜在自然植被、土地利用	15 个 I 级区、52 个 II 级区、84 个 III 级区,正在各州尺度上进行 IV—V 级区划
澳大利亚 Australia	澳大利亚及新西兰环境保护委员会(ANZECC)	水生生物多样性及水资源管理	气候、地文、前欧洲时期植被	将维多利亚州分成 17 个生态区
新西兰 New Zealand	环境保护部(DC)	溪流保护及管理	新西兰气候区、降雨、地形、植被、土壤、地质。	将全国分成 25 个生态区
荷兰 Netherlands	房屋、地方规划及环境部(MHPPEM)	为国家环境管理提供统一的区划方案	地质、地貌、地下水、地表水、土壤、植被、动物区系	6 个生态区(Ecoregion: 4 个陆生型、2 个水生型); 37 个生态小区(Ecodistrict: 26 个陆生型、11 个水生型)
欧盟 European Commission	欧洲水框架指令(WFD)	河流生态特征评估	System A(指定类型): 海拔、流域面积、地质; System B: 必选参数: 海拔、地质、地理坐标) 可选参数: 地形、水文、气候	System A 将欧洲分成 25 个河流湖泊生态区。法国用 System B 构建了 22 个 I 级、54 个 II 级水文生态区(Hydro-ecoregions)
南非 South Africa	水务及森林部(DWAF)	河流生态保护	地文、气候、地质与土壤、潜在自然植被	18 个一级区
全球 The World	世界自然基金会(WWF)、美国大自然保护协会(TNC)	淡水生物多样性保护	淡水鱼类资源的组成及分布差异	将全球分成 426 个淡水生态区

我国自 20 世纪 50 年代就开始了水体的区划研究,早期的工作多以单因素自然区划方法为主,如湖泊、流域区划^[12]、淡水鱼类区划^[13]、内陆水域渔业区划^[14]、水文区划^[15]等。80 年代以后,水资源管理转向偏重于对人类需求功能的满足,国家环保总局、水利部先后制定了我国的水环境功能区划^[16]、水功能区划^[17]方案。这些方案由于只关注水生态系统的局部特征差异,还不是真正意义上的生态区划。进入 21 世纪后,随着人们对水生态系统特征及生态健康重要性认识的加强,水生态区划受到了重视,相继开展了生态水文区划^[18-19]、水生态区划^[20-22]、流域水环境功能区划等研究^[23-24]。这些工作为我国水资源的科学管理积累了宝贵经验,但仍存在着未处理好流域内水-陆间的密切关系、未兼顾水生态系统自我维持功能及提供人类用水需求功能、未以水生态系统完整性为管理目标等问题^[25-27]。为了解决上述问题,并为我国的水资源设定科学的管理单元,国家“十一五”水专项提出要以重点流域为例,构建我国水生态功能分区体系的全新思路。

水生态功能分区是以生态学理论为指导,在流域尺度上开展的区划工作。具体而言,这是一项通过识别流域水生态系统格局与功能的空间异质性特征,辨析水-陆生态系统的耦合关系,而将流域划分成若干个相对独立、完整单元的工作。该工作为制定污染物控制、水质管理、生态健康、生态承载力基准及标准提供了基本单元;通过对不同分区单元实行“分区、分级、分类、分期”的管理模式,可以确保整个流域的生态健康及水生态功能的正常发挥,从而实现流域水质安全及水生态完整性的管理目标。

从以上定义及目标不难看出,水生态功能分区克服了以往区划中割裂水-陆联系、重水质轻生态、重人类需求轻自然系统需求等问题,强调水-陆统一性和流域完整性,是对现有各类水生态区划工作的发展与完善。而分区时首先要考虑水生态系统结构和功能的空间分布规律,因此水生态区划又是水生态功能分区的重要基础。

2 水生生物在分区中的作用

鱼类、底栖无脊椎动物、藻类、大型沉水植物等是水生态系统的重要组成部分,它们不仅分布广泛,且能在不同尺度上对各类环境影响作出灵敏响应、指示水生态系统特征,因而受到越来越普遍的关注。迄今已有很多学者提出了多个基于不同生物群落结构、功能参数的生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)用于评价水体健康^[28-32],也有学者探索用水生生物直接进行生态区划研究。例如,WWF、TNC用淡水鱼类的多样性差异绘制了世界淡水生态区划图^[2];Wright等、Lorenz等分别用大型无脊椎动物、底栖藻类、水生植物群落的空间差异对英、德、法等国的河流进行了分类^[33-37]。相对而言,更多的研究则是用水生生物来验证基于环境驱动因子划分的水生态区的精确程度^[38-41]。例如,Whittier和Hughes验证了Oregon州溪流中鱼类、大型无脊椎动物、底栖藻类群落结构与Omernik生态区间的相关性^[42];北美底栖学会还于1998年举行“景观分类与水生生物”专题研讨会,召集研究不同类型水生态系统和生物类群的专家,就各种区划方法对水生生物群落结构的辨识能力进行评估^[43-58]。自欧盟水框架指令2000年提出要对水生态系统进行评估后,比较生物群落结构与生态区间一致性的研究也日渐增多^[59-61]。

概括而言,区划研究中一直存在着两种截然相反的技术路线,即运用地带性、区域性环境驱动因子的空间差异自上而下顺序划分的演绎法和运用指示系统空间变化的指标(如水环境参数、水生生物等)自下而上逐级合并的归纳法^[62]。现有的生态区划方法大多采用前一种技术路线,该类方法的优势在于:(1)由于环境特征是相互关联的(如:气候和地质特征共同决定土壤形成,土壤特征对土地利用有影响,土地利用反过来又制约着植被演替和土壤的变化),多个因子的空间分布图能重叠并强化不能被单一类型参数所识别的格局^[63]。(2)这些参数相对稳定,较少受采样时间的限制。(3)一般可借助RS、GIS或成熟的空间插值等技术获取研究区域的参数分布图,或通过专业部门获取多年监测数据。相对而言,用基于样点采样的生物或环境数据进行的区划存在以下不足:(1)区划结果受数据密集程度影响,且缺乏外推性;(2)生物群落存在明显的时间动态,仅离散采集特定时段的数据不能很好地刻画出生态系统特征。(3)基于样点的数据可能受生境的影响更明显,空间异质性程度更高,有时无法正确反映生态系统在区域尺度上的空间变化规律。

以环境驱动因子为区划指标的方法一般都假定流域(景观)特征决定了水生生物群落结构等生态系统特征^[6, 64]。当然,由于影响水生生物的因素众多,且作用尺度不一样,各因子对群落结构的预测能力存在差异。地形(海拔、坡度等)、地质(基岩、土壤类型等)、气候(降水量、气温节律等)状况等是顶端决定因子,它们影响着植被类型和土地利用等中端决定因子,这两类因素又直接或间接地决定着水体理化特征、水文节律、基质组成、沉积物等近端因子,最终决定了水生生物群落的组成^[63]。生态区划指标体系通常由顶端和少数中端决定因子组成,往往忽略近端因子的作用,而在少数研究区域中近端因子可能更具决定作用,因此出现了水生生物群落结构与水生态区吻合度不高,甚至完全不能验证区划结果的现象^[52]。另外,人类干扰也会对水生生物造成明显影响,使其表现出无法预测的特征。

鉴于两种技术路线各自的特点,在水生态功能分区中,建议将它们联合起来使用,即先用水生态系统结构、功能空间差异的环境驱动因子组成的指标体系进行分区,再用生境尺度的水质、水生生物参数来验证分区结果并可对分区边界进行适当微调。两种技术应该是互证、互补、缺一不可的关系。在具体工作中,大尺度的分区(10^2 — 10^5 km²,包括一级、二级)宜考虑用水生态系统差异环境驱动因子(区域性主导因子):气候、水文、地质地貌、土壤、植被、土地利用等构建指标体系;并用区域性水生生物群落组成、功能类群、多样性指数、主要水质参数等的空间分布特征来验证、调整分区方案。细微尺度的分区($< 10^2$ km²,包括三级、四级)宜以水体的调节、生境(载体)、产品、信息等主要生态功能^[65](如水资源供应、水生生物生境、产卵场、保育场、水利发

电、水产品供给、旅游、文化功能等)作为分区指标体系,在此层次上,除了可用水生生物格局来验证分区结果外,很多功能其实就是依据水生生物的生态特征来判断的。例如,稀有、濒危水生物种的生活区域(包括栖息地、产卵场、迁徙地等)、水体中鱼、虾、蟹等经济动物生物量的空间差异等都可能成为确定功能区边界的重要依据。此外,水鸟聚居地也可能成为独特的旅游、文化功能区等。

选择何种水生生物进行分区验证值得推敲。相比而言,鱼类具有生活周期长(几周至数年),活动范围较大(特定点到数百公里)等优点,是国外常用的区划指示生物。然而,在我国,一方面因水体污染、过度捕捞、水利工程等的影响,鱼类物种资源已急剧降低,处于濒危状态和受到严重威胁的种类已达 9 目,24 科,80 属 97 种(亚种)^[66]。另一方面由于大规模引入外来种、大量人工繁育等造成了现有鱼类资源呈现出高度均一化的现象^[67]。例如,洱海 20 世纪 50 年代有土著鱼类 17 种,到 90 年代已灭绝了 11 种。最主要的原因就是 20 世纪 60 年代以后的几次引种,引入的鳊鲃鱼、麦穗鱼、太湖新银鱼成为绝对优势种,极大地抑制了其他鱼类的正常生长,改变了鱼类群落结构^[68]。显然,很多区域的鱼类组成已经不能客观反映其生境及生态系统特征。所以,在水生态功能分区研究中,建议谨慎使用鱼类。底栖无脊椎动物和藻类受到的人为干扰相对较小,还能很好地指示环境状况,较适用于分区研究。在水生植物分布较广的区域也可考虑其指示作用。

3 常用的定量分析方法

早期的生态区类型及边界确定主要依据专家判断^[6]。这种方法的缺陷是明显的,因为来自不同领域的专家区划结果差别会很大,即使是同一领域的专家,由于专业经验的差异也会导致区划结果有所差别。随着区划工作的普及对其重要性认识的增强,对区划方案真实性、客观性、精确性的质疑也日渐增多;区划方案具有可重复性、尽量少受专家个人经验的影响等正在成为生态区划的基本要求,越来越多的定量方法被应用到研究中来。

在现有的生态区划中,自上而下的方法多是将不同区域性主导因子的专题图层进行叠置分析(加权或等权)后获得区划结果。而对基于监测样点数据(如水生生物群落组成、水环境指标等)无论是直接用于区划还是用于验证区划结果,所用的定量分析方法都要丰富得多^[69]。例如,Whittier 等分别用除趋势对应分析(DCA)、主成分分析(PCA)比较了 Oregon 州 8 个水生态区溪流样点间鱼类、大型无脊椎动物、底栖藻类群落组成及主要水环境指标间的差异,发现不同生态区的样点在不同轴上得到了很好地分化^[42]。Sánchez-Montoya 等首先用 PCA、K-聚类构建了基于瑞典 33 个流域水文、气候、地质、气象特征差异的 5 个河流生态区;再用 UPGMA 聚类及非度量多维尺度分析(NMDS)对水体中底栖动物的组成进行了分类;用群落相似性分析(ANOSIM)比较 4 个生态区间群落组成的差异程度时发现,其中 3 个生态区的动物组成存在明显差异^[70]。Oswood 等用基于阿拉斯加 45 种淡水鱼类 Jaccard 相似性指数对该区域内的 6 个水文区、6 个生态区间的相似性进行了研究,并比较了基于鱼类双向指示物种分析(TWINSpan)和 UPGMA 聚类的亚水文区、亚生态区分组结果间的差异,由此分析了阿拉斯加鱼类区系的分布特点^[53]。总体而言,此类研究中常用的定量方法大致可分为两类:分类及排序。分类方法主要有聚类分析(如 UPGMA 聚类、Wards 聚类、欧式聚类、K-聚类等)、TWINSpan 等。排序方法包括 PCA、对应分析(CA)、DCA、典范对应分析(CCA)、NMDS 等。在比较不同生态区间的差异时还用到判别分析、ANOSIM、分类能力、方差分析、非参数检验(如 Kruskal-Wallis 检验、Mann-Whitney-U-检验)等技术。这些方法经常组合使用。

虽然有大量的定量方法可用,但区划归根到底是分类,而这是一个不可能完全量化的工作。因此,迄今为止还没有一个区划方案能完全用定量方法进行而不需要依赖专家经验^[71]。水生态功能分区也面临同样的问题,工作中建议将定量分析与专家定性判断合理结合,以保证分区结果尽量真实、合理。具体而言,在各级分区中,可首先用相关分析或 PCA 等降维方法对流域水生态系统空间异质性的主要驱动因子进行降维排序,识别对水生态系统特征有显著影响的少数因子组合;进一步分析这些少数因子(或直接用降维排序生成的综合因子)的空间异质性特点,以它们的变化规律作为区划的依据来确定区划类型及边界。随后,用基于样点的水环境指标用类似的方法验证区划结果;同时根据样点水生生物指标的特点选取合适的聚类、排序方法分

析生物群落不同分区间的变化情况。特别需要关注临近两个区分界线处的样点在分析中的归类情况,重点比较这些临界样点间生态系统特征的相似程度,将分析结果作为确证或调整区划边界的重要依据。

在研究中还应注意各种分析方法的适用性。例如,多元统计分析一般都假定数据是符合正态分布的,但多数野外采样数据都不满足这一前提假设,因此在分析前需要对数据进行适当的转换。此外,在选用排序方法时,当 DCA 第一轴的梯度长度大于 4 SD 时,选择单峰模型排序(CA、CCA、DCA)较合适。如果小于 3 SD,选择线性模型(PCA、冗余分析(RDA))比较合理。如果介于 3—4 SD 之间,单峰模型和线性模型都是合适的。如果选择了不合适的分析方法,可能会丢失比较多的信息,导致结果误差较大^[72]。当数据存在明显弓形效应时,用 DCA 比 CA 的效果要好;而如果 CA 第一轴的特征值明显较其它轴大,考虑到 DCA 中的尺度重标会影响分析结果,此时选用 CA 较合适^[73]。近年来,人工神经网络(ANN)由于能对大量复杂的数据进行深度挖掘,找出不同样点间的相似程度,且结果直观、可视性强而逐渐受到生态学家的关注^[74]。例如, Grenier 等用 ANN 自组织映射图法(SOM)对加拿大魁北克不同生态区的溪流硅藻群落相似性进行了研究^[75]。使用中需要注意,SOM 具有对数据质量要求高的特点,即所有样点所有分析指标都不能有空缺值。这对主要通过野外采样获取分析数据的生态学研究而言有时是不现实的。此外,SOM 的分析结果也不一定是最好的,结果的稳定性不高,还需要借助主观判断或其它聚类方法完成样点的分类工作^[76-77]。因此,在水生态功能分区研究中有必要根据数据情况选取最合适的定量分析方法,以求获得最合理的分区结果。

4 结语

虽然国内外已有很多生态区划的经验,但总体而言,我国的水生态功能分区仍是一项全新的工作,分区目标虽已明确,而科学、合理的分区技术尚需深入探讨。建议在借鉴生态区划经验的基础上,确定以相对长期稳定的生态系统结构、功能空间异质性环境驱动因子作为各级分区依据。并用生境尺度的样点水环境、水生生物指标来验证分区结果。在确定分区指标体系后,需要统一野外采样指标和采样方法,并进一步统一定量分析方法,为不同流域间分区结果的比较,及为今后开展全国尺度上的分区工作奠定基础。

References:

- [1] Deng H B, Wang Q L, Cai Q H. Watershed ecosystem management and sustainable development. *China Population, Resources and Environment*, 2002, 12(6): 20-22.
- [2] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. The theme of watershed monitoring and control, the national major science and technology special project-water pollution control and treatment (water special project). [2009-12-26]. http://nwpcp.mep.gov.cn/ztsz/200809/t20080901_128007.htm.
- [3] Olson D M, Dinerstein E, Wikramanayake E D, Burgess N D, Powell G V N, Underwood E C, D'Amico J A, Itoua I, Strand H E, Morrison J C. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth. *BioScience*, 2001, 51(11): 933-938.
- [4] Abell R, Thieme M L, Revenga C, Bryer M, Kottelat M, Bogutskaya N, Coad B, Mandrak N, Balderas S C, Bussing W, Stiassny M L J, Skelton P, Allen G R, Unmack P, Naseka A, Ng R, Sindorf N, Robertson J, Armijo E, Higgins J V, Heibel T J, Wikramanayake E, Olson D, López L, Reis R E, Lundberg J G, Sabaj Pérez M H, Petry P. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*, 2008, 58(5): 403-414.
- [5] Karr J, Dudley D. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 1981, 5(1): 55-68.
- [6] Omernik J. Map supplement: ecoregions of the conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 1987, 77(1): 118-125.
- [7] Biggs B, Duncan M, Jowett I, Quinn J, Hickey C, Davies-Colley R, Close M. Ecological characterisation, classification, and modelling of New Zealand rivers: An introduction and synthesis. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1990, 24(3): 277-304.
- [8] Harding J, Winterbourn M. *New Zealand Ecoregions: A Classification for Use in Stream Conservation and Management*. Wellington: Department of Conservation, 1997: 11.
- [9] Wells F, Newall P. *An Examination of An Aquatic Ecoregion Protocol for Australia*. Canberra: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, 1997.
- [10] EU Water Framework Directive. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, 2000, L327: 1-72.

- [11] Kleynhans C, Silberbauer M, Kemper N. Preliminary Ecoregion Level 1 Classification for South Africa. Institute For Water Quality Studies. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry and Institute for Water Research, 1998.
- [12] Natural Zoning Committee of Chinese Academy of Sciences. Chinese Integrated Natural Zoning. Beijing: Science Press, 1959.
- [13] Li S Z. The Regionalization of Chinese Freshwater Ichthyofauna. Beijing: Science Press, 1981.
- [14] Zeng X C. The Regionalization of Chinese Inland Fisheries. Hangzhou: Zhejiang Science & Technology Press, 1990.
- [15] Xiong Y, Zhang J Z. Hydrological Regionalization of China. Beijing: Science Press, 1995.
- [16] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Surface Water Environmental Function Zoning in China. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2002.
- [17] The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. 2002. Water Function Zoning in China (Temporary). Beijing: The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, 2002.
- [18] Yin M, Yang Z F, Cui B S. Eco-hydrological regionalization of river system in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(4): 423-428.
- [19] Yang A M, Tang K W, Wang H, Cheng J H. Eco-hydrological regionalization in China. *Shuili Xuebao*, 2008, 39(3): 332-338.
- [20] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Aquatic ecological region approach and its application in China. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 293-300.
- [21] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Study of aquatic ecoregion in Liao River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 911-918.
- [22] Zhou B H, Zheng B H. Research on aquatic ecoregions for lakes and reservoirs in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 147: 339-350.
- [23] Yang P J, Wu W Z, Meng W, Zhou F, Liu Y, Zhang Y, Zheng B H, Hu C, Li X. Ecosystem management oriented water environmental function zoning at watershed scale-Hun River Basin as a case study. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 944-952.
- [24] Zhou F, Liu Y, Huang K, Guo H C, Yang P J. Water environmental function zoning at watershed scale and its key problems. *Advances In Water Science*, 2007, 18(2): 216-222.
- [25] Sun X Y, Zhou Q X. Primary study of freshwater ecoregionalization in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(2): 415-423.
- [26] Li Y M, Zeng W L, Zhou Q X. Research progress in water eco-functional regionalization. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(12): 3101-3108.
- [27] Huang Y, Cai J L, Zheng W S, Zhou F, Guo H C. Research progress in aquatic ecological function regionalization and its approach at watershed scale. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 542-548.
- [28] Griffith M B, Hill B H, McCormick F H, Kaufmann P R, Herlihy A T, Selle A R. Comparative application of indices of biotic integrity based on periphyton, macroinvertebrates, and fish to southern Rocky Mountain streams. *Ecological Indicators*, 2005, 5(2): 117-136.
- [29] Karr J. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*, 1991, 1(1): 66-84.
- [30] Kerans B, Karr J. A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications*, 1994, 4(4): 768-785.
- [31] Tang T, Cai Q H, Liu J K. River ecosystem health and its assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [32] Tang T, Cai Q H, Liu J K. Using epilithic diatom communities to assess ecological condition of Xiangxi River system. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 112: 347-361.
- [33] Wright J, Moss D, Armitage P, Furse M. A preliminary classification of running-water sites in Great Britain based on macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology*, 1984, 14(3): 221-256.
- [34] Lorenz A, Feld C, Hering D. Typology of streams in Germany based on benthic invertebrates: Ecoregions, zonation, geology and substrate. *Limnologica*, 2004, 34(4): 379-389.
- [35] Holmes N, Boon P, Rowell T. A revised classification system for British rivers based on their aquatic plant communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1998, 8(4): 555-578.
- [36] Foerster J, Gutowski A, Schaumburg J. Defining types of running waters in Germany using benthic algae: A prerequisite for monitoring according to the Water Framework Directive. *Journal of Applied Phycology*, 2004, 16(5): 407-418.
- [37] Tison J, Park Y S, Coste M, Wasson J G, Ector L, Rimet F, Delmas F. Typology of diatom communities and the influence of hydro-ecoregions: A study on the French hydrosystem scale. *Water Research*, 2005, 39(14): 3177-3188.
- [38] Hughes R, Rexstad E, Bond C. The relationship of aquatic ecoregions, river basins and physiographic provinces to the ichthyogeographic regions of Oregon. *Copeia*, 1987: 423-432.
- [39] Larsen D, Omernik J, Hughes R, Rohm C, Whittier T, Kinney A, Gallant A, Dudley D. Correspondence between spatial patterns in fish assemblages in Ohio streams and aquatic ecoregions. *Environmental Management*, 1986, 10(6): 815-828.
- [40] Lyons J. Correspondence between the distribution of fish assemblages in Wisconsin streams and Omernik's ecoregions. *American Midland Naturalist*, 1989, 122(1): 163-182.

- [41] Newall P, Magnuson J. The importance of ecoregion versus drainage area on fish distributions in the St. Croix River and its Wisconsin tributaries. *Environmental Biology of Fishes*, 1999, 55(3) : 245-254.
- [42] Whittier T, Hughes R, Larsen D. Correspondence between ecoregions and spatial patterns in stream ecosystems in Oregon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1988, 45(7) : 1264-1278.
- [43] Feminella J W. Correspondence between stream macroinvertebrate assemblages and 4 ecoregions of the southeastern USA. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 442-461.
- [44] Gerritsen J, Barbour M, King K. Apples, oranges, and ecoregions: on determining pattern in aquatic assemblages. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 487-496.
- [45] Hawkins C, Norris R. Performance of different landscape classifications for aquatic bioassessments: introduction to the series. *The North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 367-369.
- [46] Hawkins C, Norris R, Gerritsen J, Hughes R, Jackson S, Johnson R, Stevenson R. Evaluation of the use of landscape classifications for the prediction of freshwater biota: synthesis and recommendations. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 541-556.
- [47] Hawkins C, Vinson M. Weak correspondence between landscape classifications and stream invertebrate assemblages: implications for bioassessment. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 501-517.
- [48] Heino J, Muotka T, Paavola R, Hämäläinen H, Koskenniemi E. Correspondence between regional delineations and spatial patterns in macroinvertebrate assemblages of boreal headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 21(3) : 397-413.
- [49] Johnson R. Spatial congruence between ecoregions and littoral macroinvertebrate assemblages. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 475-486.
- [50] Marchant R, Wells F, Newall P. Assessment of an ecoregion approach for classifying macroinvertebrate assemblages from streams in Victoria, Australia. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 497-500.
- [51] McCormick F, Peck D, Larsen D. Comparison of geographic classification schemes for Mid-Atlantic stream fish assemblages. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 385-404.
- [52] Newall P, Wells F. Potential for delineating indicator-defined regions for streams in Victoria, Australia. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 557-571.
- [53] Oswood M, Reynolds J, Irons III J, Milner A. Distributions of freshwater fishes in ecoregions and hydroregions of Alaska. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 405-418.
- [54] Pan Y, Stevenson R J, Hill B H, Herlihy A T. Ecoregions and benthic diatom assemblages in Mid-Atlantic Highlands streams, USA. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 518-540.
- [55] Rabeni C F, Doisy K E. Correspondence of stream benthic invertebrate assemblages to regional classification schemes in Missouri. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 419-428.
- [56] Sandin L, Johnson R. Ecoregions and benthic macroinvertebrate assemblages of Swedish streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 462-474.
- [57] Van Sickle J, Hughes R. Classification strengths of ecoregions, catchments, and geographic clusters for aquatic vertebrates in Oregon. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 370-384.
- [58] Waite I, Herlihy A, Larsen D, Klemm D. Comparing strengths of geographic and nongeographic classifications of stream benthic macroinvertebrates in the Mid-Atlantic Highlands, USA. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3) : 429-441.
- [59] Rimet F. Benthic diatom assemblages and their correspondence with ecoregional classifications: case study of rivers in north-eastern France. *Hydrobiologia*, 2009, 636(1) :137-151.
- [60] Rimet F, Ector L, Cauchie H M, Hoffmann L. Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia*, 2004, 520(1) :105-117.
- [61] Urbanic G. Redelineation of European inland water ecoregions in Slovenia. *Review of Hydrobiology*, 2008(1) :17-25.
- [62] Zheng D. *Research on Chinese Eco-geographic Regional Systems*. Beijing: The Commercial Press, 2008: 23-25.
- [63] Gallant A, Whittier T, Larsen D, Omernik J, Hughers R. *Regionalization as a Tool for Managing Environmental Resources*. Corvallis: U. S. Environmental Protection Agency EPA/600/3-89/060, 1989: 1-14.
- [64] Bailey R G. *Description of the Ecoregions of the United States (2nd edition)*. Washington, DC: Miscellaneous Publication No. 1391, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, 1995.
- [65] De Groot R, Wilson M, Boumans R. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, 41(3) : 393-408.
- [66] Tang J W, Zhang F, Chen Z B. The strategy of fish biodiversity conservation in China. *Freshwater Fisheries*, 2009, 39(4) : 75-79.

- [67] Taylor E. An analysis of homogenization and differentiation of Canadian freshwater fish faunas with an emphasis on British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2004, 61(1): 68-79.
- [68] Du B H, Li Y A. Danger risk to fish diversity in erhai lake and proposals to dispel it. *Research of Environmental Sciences*, 2001, 14(3): 42-44.
- [69] Bernert J, Eilers J, Freemark K, Ribic C. A quantitative method for delineating regions: an example for the western corn belt plains ecoregion of the USA. *Environmental Management*, 1997, 21(3): 405-420.
- [70] Sánchez-Montoya M, Puntí T, Suarez M, Vidal-Abarca M, Rieradevall M, Poquet J, Zamora-Munoz C, Robles S, Alvarez M, Alba-Tercedor J. Concordance between ecotypes and macroinvertebrate assemblages in Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 2007, 52(11): 2240-2255.
- [71] Hargrove W, Hoffman F. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, 2004, Suppl. 1: S39-S60.
- [72] ter Braak C J F, Šmilauer P. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). New York: Microcomputer Power(Ithaca), 2002: 81-114.
- [73] Lavoie I, Campeau S, Grenier M, Dillon P. A diatom-based index for the biological assessment of eastern Canadian rivers: an application of correspondence analysis (CA). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2006, 63(8):1793-1811.
- [74] Park Y S, Tison J, Lek S, Giraudel J L, Coste M, Delmas F. Application of a self-organizing map to select representative species in multivariate analysis: A case study determining diatom distribution patterns across France. *Ecological Informatics*, 2006, 1(3):247-257.
- [75] Grenier M, Campeau S, Lavoie I, Park Y, Lek S. Diatom reference communities in Qu bec (Canada) streams based on Kohonen self-organizing maps and multivariate analyses. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2006, 63(9):2087-2106.
- [76] Tran L, Knight C, O'Neill R, Smith E, O'Connell M. Self-organizing maps for integrated environmental assessment of the mid-Atlantic region. *Environmental Management*, 2003, 31(6):822-835.
- [77] Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. Berlin: Springer, 2001: 501.

参考文献:

- [1] 邓红兵, 王庆礼, 蔡庆华. 流域生态系统管理研究. *中国人口资源与环境*, 2002, 12(6): 20-22.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 国家水体污染控制与治理科技重大专项, 流域监控主题. (2008-09-01) [2009-12-26]. http://nwpep.mep.gov.cn/ztsz/200809/t20080901_128007.htm.
- [12] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国综合自然区划. 北京: 科学出版社, 1959.
- [13] 李思忠. 中国淡水鱼类的分布区划. 北京: 科学出版社, 1981.
- [14] 曾祥琮. 中国内陆水域渔业区划. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.
- [15] 熊怡, 张家楨. 中国水文区划. 北京: 科学出版社, 1995.
- [16] 国家环境保护总局. 全国地表水环境功能区划. 北京: 国家环境保护总局, 2002.
- [17] 中华人民共和国水利部. 中国水功能区划(试行) 北京: 中华人民共和国水利部, 2002.
- [18] 尹民, 杨志峰, 崔保山. 中国河流生态水文分区初探. *环境科学学报*, 2005, 25(4): 423-428.
- [19] 杨爱民, 唐克旺, 王浩, 程金花. 中国生态水文分区. *水利学报*, 2008, 39(3): 332-338.
- [20] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景. *水科学进展*, 2007, 18(2): 293-300.
- [21] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 辽河流域水生态分区. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 911-918.
- [23] 阳平坚, 吴为中, 孟伟, 周丰, 刘永, 张远, 郑丙辉, 胡成, 李璇. 基于生态管理的流域水环境功能区划——以浑河流域为例. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 944-952.
- [24] 周丰, 刘永, 黄凯, 郭怀成, 阳平坚. 流域水环境功能区划及其关键问题. *水科学进展*, 2007, 18(2): 216-222.
- [25] 孙小银, 周启星. 中国水生态分区初探. *环境科学学报*, 2010, 30(2): 415-423.
- [26] 李艳梅, 曾文炉, 周启星. 水生态功能分区的研究进展. *应用生态学报*, 2009, 20(12): 3101-3108.
- [27] 黄艺, 蔡佳亮, 郑维爽, 周丰, 郭怀成. 流域水生态功能分区以及区划方法的研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 542-548.
- [31] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [62] 郑度. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008: 23-25.
- [66] 汤娇雯, 张富, 陈兆波. 我国鱼类生物多样性保护策略. *淡水渔业*, 2009, 39(4): 75-79.
- [68] 杜宝汉, 李永安. 洱海鱼类多样性危机及解危对策. *环境科学研究*, 2001, 14(3): 42-44.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 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	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2; 影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

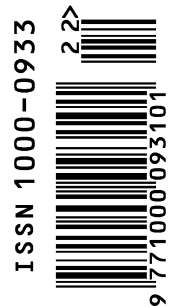
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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