

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

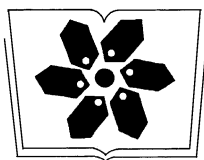
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
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 19 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

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

焦雯珺, 闵庆文, 成升魁, 袁正, 李静, 戴忱. 污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例. 生态学报, 2011, 31 (19): 5599-5606.

Jiao W J, Min Q W, Cheng S K, Yuan Z, Li J, Dai C. Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5599-5606.

污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用 ——以太湖流域上游湖州市为例

焦雯珺¹, 闵庆文^{1,*}, 成升魁¹, 袁 正^{1,2}, 李 静³, 戴 忱⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 山东师范大学, 济南 250014; 4. 中国政法大学, 北京 100088)

摘要:传统生态足迹理论虽然在可持续发展评价等方面得到了广泛的应用,但却仍然无法全面衡量人类活动对生态系统造成的各种影响。其无法全面评估人类活动的根源在于,土地功能排他性假设限制了其对利用生态系统非生物生产性产品和服务的人类活动的衡量。为了摆脱传统生态足迹理论的局限性,建议承认土地功能多样性的客观事实,将生态足迹构建于多种生态系统服务功能之上。针对传统生态足迹对定义中废弃物吸纳的考虑不足,提出了基于污染物吸纳功能的生态足迹,即污染足迹。污染足迹不是对传统生态足迹中能源足迹的简单置换,而是能够囊括人类活动产生的大部分污染物,并可以根据不同的污染物类别或类型进一步细化的足迹类型。构建了太湖流域有机物、氮和磷污染足迹模型,并利用该模型对流域上游湖州市的水污染压力进行了综合评估。结果表明:(1)2007 年湖州市污染足迹为 39948.73 hm²,东部平原地区污染足迹较大,西部丘陵地区污染足迹相对较小;(2)湖州市人类活动排放的氮磷污染物对水域空间的生态占用已经远远超过了有机污染物;(3)2007 年湖州市污染承载力为 20896.00 hm²,污染赤字为 19052.73 hm²,人类排污活动俨然超出了当地水域的承载能力;(4)2007 年湖州市污染压力指数为 1.91,当地水环境总体上处于轻度接近中度污染压力;(5)湖州市水污染压力较大的地区,区域内人类活动的维持建立在区域水环境质量恶化或污染物向下游输移的基础之上。

关键词:生态足迹;污染足迹;污染赤字/盈余;污染压力指数;太湖流域

Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed

JIAO Wenjun¹, MIN Qingwen^{1,*}, CHENG Shengkui¹, YUAN Zheng^{1,2}, LI Jing³, DAI Chen⁴

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Shandong Normal University, Jinan 250014, China

4 China University of Political Science and Law, Beijing 100088, China

Abstract: After nearly twenty years of development, ecological footprint has become one of the most widely applied methods for sustainable development assessment. The ecological footprint is, however, unable to evaluate the impacts of human activities on natural ecosystems in an all-round way. The authors indicated that the failure of the conventional ecological footprint in providing a comprehensive measurement on human impacts lies in that the assumption of the exclusive land function has prevented the non-bioproducer commodities and services from being considered. To overcome the limitations in conventional ecological footprint theories, the authors suggested that the multi-functionality of land be acknowledged and

基金项目:国家水专项资助(2008ZX07526-007)

收稿日期:2011-06-20; 修订日期:2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: minqw@igsrr.ac.cn

the ecological footprint be built on multiple ecosystem services. The authors then proposed the concept of pollution footprint and elaborated its model construction and calculation methods. The pollution footprint, an ecological footprint based on pollution absorption, is a typical ecosystem services-based ecological footprint. It should be noted that the pollution footprint is not a simple replacement of energy footprint in the conventional ecological footprint; it is able to account for most pollutants incurred by human activities and to be further clarified in terms of different classes or types of pollutants. Given that organic matter, nitrogen and phosphorus are the main pollutants in Taihu Lake Watershed, the authors constructed organic, nitrogen and phosphorus pollutant footprint models and then utilized them to evaluate water pollution pressure of Huzhou City in the upstream of the watershed. Results showed that (1) pollution footprint of Huzhou City in 2007 was 39948.73 hm^2 , of which the eastern plain river-net areas accounted for a larger part than the western mountainous and hilly areas; (2) phosphorus and nitrogen pollutant footprints were larger than organic pollutant footprint in most counties and even towns of Huzhou City, which indicated that surplus phosphorus and nitrogen released by human activities there needed more water areas to assimilate than that organic pollutants required; (3) pollution capacity of Huzhou city in 2007 was 20896.00 hm^2 , leaving 19052.73 hm^2 as pollution deficit, which implied that the amount of pollutants discharged by human activities there went far beyond the assimilation ability of local water body; (4) pollution pressure index of Huzhou City in 2007 was 1.91, revealing that the city had a moderate pollution pressure as a whole; (5) human activities in high-pollution-pressure regions were maintained through deterioration of local water quality or transport of pollutants to the down stream.

Key Words: ecological footprint; pollution footprint; pollution deficit/surplus; pollution pressure index; Taihu Lake Watershed

生态足迹被定义为生产一定人口消费的资源及吸纳其产生的废弃物所需要的生物生产性土地的面积^[1]。通过将给定人口的生态足迹与其所在区域能提供的生物生产性土地面积即生物承载力进行比较,可以判断该区域的发展是否处于生态可承载的范围之内。自提出以来,生态足迹因其易于理解、便于计算、易与其他指标相结合等优点,得到世界各国学者的广泛关注,同时涌现出大量不同地理位置、不同空间尺度的实证研究^[2-9]。然而,经过近 20a 的发展,最初困扰生态足迹的一些难题至今仍未得到有效的解决,导致其仍然无法全面衡量人类活动对生态系统造成的各种影响。

生态足迹无法全面评估人类活动的根源在于,土地功能排他性假设使其只能考虑土地的生物生产功能,未能考虑土地的其他生态服务功能。因此,其对人类利用生态系统服务活动的衡量主要集中在食物生产和原材料供给,即初级产品供给服务,很难将人类对生态系统的非生物生产性产品和服务的利用纳入进来(如淡水资源供给、污染物吸纳等),而试图将某些非生物生产性产品和服务纳入进来时又难免会与其理论基础产生严重的逻辑矛盾(如 CO_2 固定)。

要克服传统生态足迹的这些缺陷和不足,从而全面衡量人类活动对生态系统产生的各种影响,就必须摆脱其理论基础的局限性,不能将生态足迹仅建立在某种单一的生态服务功能之上,而是要承认土地功能多样性的客观事实,将生态足迹构建于多种生态服务功能之上。针对传统生态足迹对定义中废弃物吸纳的考虑不足,本文提出了基于污染物吸纳功能的生态足迹,即污染足迹,并利用污染足迹模型对太湖流域上游湖州市人类活动对水环境产生的压力进行了综合评估。

1 污染足迹的基本理论与模型构建

污染足迹,即基于污染物吸纳功能的生态足迹,可被定义为吸纳一定人口产生的污染物所需要的具有污染物吸纳功能的土地面积^[10]。污染足迹认为,人类在消费生态系统提供的各种产品和资源的过程中,必然会向生态系统排放各种污染物,需要利用生态系统的纳污能力进行吸附和降解,而人类对生态系统污染物吸纳服务的利用最终可以通过一定的方式转化为提供该服务的土地面积。

从定义中可以看出,污染足迹的研究内容并不局限于能源燃烧产生的各种温室气体和污染物,还能够包括人类其他活动所产生的污染物,如农业生产中由于过量施用化肥和农药产生的氮磷残留物等。然而,不同类别污染物的吸附降解过程有所不同,如大气污染物和水污染物,同一类别不同类型的污染物在环境影响上又可能具有明显重叠,如水污染物中 N、P 营养盐,因此污染足迹的计算必须根据具体的污染物类别或类型构建相应的污染足迹模型。

例如:

基于 CO₂ 固定功能的生态足迹,即碳污染足迹,可被定义为固定一定人口排放的 CO₂ 所需要的土地面积,其计算公式可表示为:

$$PF_c = \sum_{j=1}^n (EQF_{c_j} \cdot \frac{P_{c_j}}{GY_{c_j}}) = \sum_{j=1}^n (EQF_{c_j} \cdot YF_{c_j} \cdot \frac{P_{c_j}}{NY_{c_j}}) \quad (1)$$

式(1)中, PF_c 为碳污染足迹 (ghm²)^①; j 为土地类型; EQF_{c_j} 为均衡因子,即第 j 种土地类型固碳能力与世界所有土地类型平均固碳能力的比值; P_{c_j} 为进入第 j 种土地类型的碳量 (kg); GY_{c_j} 为第 j 种土地类型世界平均固碳能力 (kg/ghm²); YF_{c_j} 为产量因子,即第 j 种土地类型国家平均固碳能力与该类土地的世界平均水平的比值 (ghm²/hm²); NY_{c_j} 为第 j 种土地类型国家平均固碳能力 (kg/hm²)。

基于多余 N、P 养分去除功能的生态足迹,即氮、磷污染足迹,可被定义为去除一定人口排放的多余氮、磷养分元素所需要的土地面积,其计算公式可表示为:

$$PF_N = \sum_{j=1}^n (EQF_{N_j} \cdot \frac{P_{N_j}}{GY_{N_j}}) = \sum_{j=1}^n (EQF_{N_j} \cdot YF_{N_j} \cdot \frac{P_{N_j}}{NY_{N_j}}) \quad (2)$$

$$PF_P = \sum_{j=1}^n (EQF_{P_j} \cdot \frac{P_{P_j}}{GY_{P_j}}) = \sum_{j=1}^n (EQF_{P_j} \cdot YF_{P_j} \cdot \frac{P_{P_j}}{NY_{P_j}}) \quad (3)$$

式(2)和(3)中, PF_N 和 PF_P 分别为氮、磷污染足迹 (ghm²); j 为土地类型; EQF_{N_j} 和 EQF_{P_j} 为均衡因子,即第 j 种土地类型去除氮、磷的能力与世界所有土地类型去除氮、磷的平均能力的比值; P_{N_j} 和 P_{P_j} 为进入第 j 种土地类型的氮、磷量 (kg); GY_{N_j} 和 GY_{P_j} 为第 j 种土地类型去除氮、磷的世界平均能力 (kg/ghm²); YF_{N_j} 和 YF_{P_j} 为产量因子,即第 j 种土地类型去除氮、磷的国家平均能力与该类土地的世界平均水平的比值 (ghm²/hm²); NY_{N_j} 和 NY_{P_j} 为第 j 种土地类型去除氮、磷的国家平均能力 (kg/hm²)。

通过上述计算公式可以看出,污染足迹的计算必须建立在三大基础之上:(1)明确污染物的迁移转化规律;(2)明确进入各种土地类型的污染物质;(3)明确各种土地类型的纳污能力。污染足迹之所以必须考虑污染物的迁移转化规律,是因为污染物在迁移转化过程中经过了不同土地类型的吸附降解过程,而污染足迹要衡量的正是人类社会对这些土地类型纳污能力的消费水平。同时,明确污染物的迁移转化规律也为确定进入各种土地类型的污染物质和各种土地类型的纳污能力提供了基础。

在完成不同污染物污染足迹计算的基础上,如何确定不同污染物污染足迹之间的关系是污染足迹在实际应用中面临的一大难题。本文认为,对于在环境影响上有明显重叠的污染物,不妨取各类污染物污染足迹的最大值作为该类别的污染足迹,如取氮、磷污染足迹中的最大值作为基于多余养分去除功能的生态足迹的值;对于在环境影响上没有明显重叠的污染物,不妨将各类别污染物污染足迹的加和作为总的污染足迹,如将碳污染足迹、氮(或磷)污染足迹以及其他类别污染足迹的和作为总的污染足迹。

除了有代表人类需求的污染足迹以外,污染足迹模型还应包括代表生态系统纳污能力的生态供给方面,即污染承载力。污染承载力可被定义为区域能够吸纳人类活动产生污染物的土地面积总和,计算公式可表示为:

① ghm²,表示全球公顷,用于生态足迹研究。

$$PC = \sum_{k=1}^n pc_k = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (A_j \cdot YF_j \cdot EQF_j) \quad (4)$$

式(4)中, PC 为总的污染承载力(ghm^2); pc_k 为第 k 种类别污染物的污染承载力(ghm^2); A_j 为吸纳第 k 种类别污染物的第 j 种土地类型的面积(hm^2); YF_j 为产量因子,即第 j 种土地类型吸纳第 k 种类别污染物的国家平均能力与该类土地的世界平均水平的比值(ghm^2/hm^2); EQF_j 为均衡因子,即第 j 种土地类型吸纳第 k 种类别污染物的能力与世界所有土地类型平均能力的比值。

2 区域水污染压力综合评估——以湖州市为例

2.1 研究区概况

湖州市地处浙江省北部、太湖流域上游,辖德清、长兴、安吉三县和南浔、吴兴两区(图1),总面积5817 km^2 。地势由西南向东北倾斜,西部以山地、丘陵为主,东部为平原水网区。属亚热带湿润季风气候,四季分明、雨热同期,年平均气温12.2—17.3℃,无霜期224—246d,年平均降水量761—1780 mm。境内水面面积536 km^2 ,其中河流、湖泊面积496 km^2 ,河道密度约2.6—3.8 km/km^2 ,主要河流包括东、西苕溪、长兴水系等。2007年湖州市地表水水质状况为:东部平原河网地区污染严重,水质劣于Ⅲ类;西部东西苕溪水质相对较好,以Ⅲ类水为主。

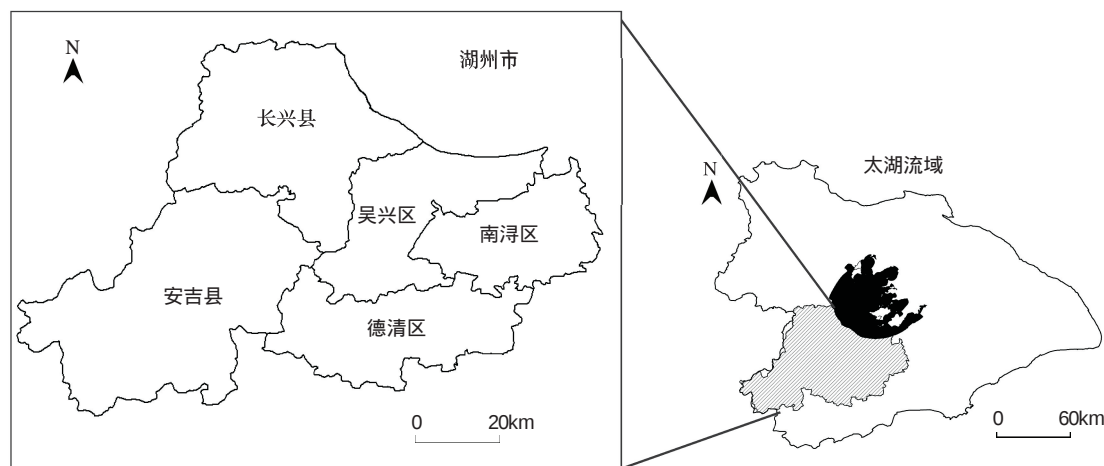


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

2007年湖州市常住总人口257.8×10⁴人,人口密度443人/ km^2 ,非农业人口79.6×10⁴人,占总人口的比重为30.9%。2007年湖州市经济总产值为892.0×10⁸元,第二产业产值510.8×10⁸元,占经济总产值的57.3%,其中工业产值为462.0×10⁸元。2007年湖州市人均生产总值为34600元,城镇居民人均可支配收入18548元,农村居民人均纯收入9163元。虽然湖州市的社会经济发展水平在太湖流域远不及苏锡常地区,但是其人口密度、城市化水平、工业化程度、人类活动强度等均高于全国平均水平,由此带来的污染物排放量增加和水质恶化已严重威胁区域的可持续发展。

2.2 研究方法与数据来源

本文认为无论人口如何变化、经济如何发展,社会经济因素对于水环境的影响最终都体现在其排放的污染物对水环境的影响,因此可以利用污染足迹模型对人类活动排放的污染物进行模拟与分析,进而综合评估人类活动对区域水环境所产生的压力。

太湖流域水污染属有机物和营养物污染类型,因此本文选择有机物和氮、磷营养盐作为主要研究内容。根据污染足迹基本理论,本文构建了太湖流域有机物污染足迹(PF_{COD})、氮污染足迹(PF_{N})和磷污染足迹(PF_{P})模型。由于本文侧重于区域尺度的研究,目的在于揭示该区域人类排污活动对水域空间的生态占用,

从而综合反映区域人类活动的大小。因此,本文在实际计算中选择“实际公顷”代替“全球公顷”,即未使用产量因子进行土地单位转换,并仅考虑了水域这一种土地类型,即未使用均衡因子进行土地类型转换。污染足迹模型因而被简化为:

$$PF_{\text{COD}} = \frac{P_{\text{COD}}}{NY_{\text{COD}}} \quad (5)$$

$$PF_{\text{N}} = \frac{P_{\text{N}}}{NY_{\text{N}}} \quad (6)$$

$$PF_{\text{P}} = \frac{P_{\text{P}}}{NY_{\text{P}}} \quad (7)$$

式(5)、(6)和(7)中, PF_{COD} 、 PF_{N} 和 PF_{P} 分别为区域有机物、氮和磷污染足迹(hm^2); P_{COD} 、 P_{N} 和 P_{P} 分别为区域排入水体的有机物、氮和磷量(kg); NY_{COD} 、 NY_{N} 和 NY_{P} 分别为区域水体对有机物、氮和磷的平均吸纳能力(kg/hm^2)。

根据《太湖流域水环境综合治理总体方案》,太湖流域河网水环境容量为 COD $37.41 \times 10^4 \text{ t/a}$ 、总氮 $3.79 \times 10^4 \text{ t/a}$ 、总磷 $0.26 \times 10^4 \text{ t/a}$,因此本文将流域河网水环境容量与流域河网面积的比值作为流域河网平均纳污能力,即区域河网水体对有机物、氮和磷的平均吸纳能力分别为 $1514.67 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 $153.45 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 $10.53 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。区域进入水体的氮、磷和有机污染物的量根据研究区 2007 年污染源普查资料,利用污染源产排污系数手册以及相关资料计算得到。

与污染足迹相对应的是污染承载力。由于选择“实际公顷”代替“全球公顷”,因此本文中的污染承载力(PC)便是区域的水域面积。

$$PC = A \quad (8)$$

式(8)中, PC 为区域污染承载力(hm^2); A 为区域水域面积(hm^2)。

本文认为有机物、氮和磷在对水环境的影响上具有明显重叠,因此选取三者中的最大值作为研究区的污染足迹。研究区污染承载力则为湖州市的实际水域面积,通过研究区 1:10 万土地利用遥感解译数据统计得到。

在此基础上,本文构建了污染压力指数,即利用污染足迹与污染承载力的比值来衡量区域水污染压力的大小。如果污染压力指数小于 1,说明该区域无水污染压力;如果污染压力指数大于 1 而小于 2,说明该区域存在轻度水污染压力;如果污染压力指数大于 2 而小于 3,说明该区域存在中度水污染压力;如果污染压力指数大于 3,则说明该区域存在重度水污染压力。污染压力指数的计算公式可表示为:

$$PPI = \frac{PF}{PC} \quad (9)$$

式(9)中, PPI 为区域污染压力指数; PF 为区域污染足迹(hm^2); PC 为区域污染承载力(hm^2)。

除此之外,本文还沿用了传统生态足迹模型中的生态赤字/盈余概念,来衡量湖州市人类排污活动对水环境产生的压力。如果污染承载力大于污染足迹,即存在污染盈余,人类的排污活动在区域的可承载范围之内;如果污染承载力小于污染足迹,即存在污染赤字,人类活动所产生的污染物超出了区域的纳污能力。

2.3 结果与分析

2.3.1 湖州市污染足迹的区域差异

利用污染足迹模型计算得到湖州市有机物、氮和磷污染足迹,具体计算结果见表 1。从表 1 中可以看出,2007 年湖州市有机物污染足迹为 23263.37 hm^2 ,氮污染足迹为 34109.22 hm^2 ,磷污染足迹为 39948.73 hm^2 ,三者之中最大的是磷污染足迹,即湖州市 2007 年污染足迹为 39948.73 hm^2 。

表 1 中,德清县、南浔区和吴兴区的污染物污染足迹所占比例最高,三者之和大概占到湖州市有机物、氮和磷污染足迹的 73.20%、70.12% 和 71.87%,仅德清县便占到 28.69%、25.58% 和 28.04%。具体到湖州市污染足迹的空间分布(图 2),可以看出湖州市东部平原地区,包括南浔区和德清县的大部分乡镇以及吴兴区

的沿太湖乡镇,污染足迹均较大;西部丘陵地区污染足迹较大的乡镇主要集中在长兴县和安吉县的中心城镇以及泗安水系附近。总体而言,湖州市的东部平原地区污染物入河量较高,人类排污活动对水域空间的生态占用较大;西部丘陵地区污染物的入河量相对较低,人类排污活动对水域空间的生态占用较小。

表 1 2007 年湖州市污染物污染足迹
Table 1 Pollutant footprints of Huzhou City in 2007/hm²

区县 District/County	有机物污染足迹 Organic pollutant footprint	氮污染足迹 Nitrogen pollutant footprint	磷污染足迹 Phosphorus pollutant footprint	最大污染足迹 Maximum pollutant footprint
安吉县	2770.23	4387.33	4814.50	4814.50
长兴县	3463.36	5805.56	6422.27	6422.27
德清县	6673.91	8725.41	11199.73	11199.73
南浔区	4869.23	7994.61	9603.67	9603.67
吴兴区	5486.65	7196.30	7908.56	7908.56
合计 Total	23263.37	34109.22	39948.73	39948.73

从表 1 中还可以看出,湖州市及其所辖区县的 3 种污染物污染足迹中,均为磷污染足迹最大、氮污染足迹略低、有机物污染足迹最小。具体到湖州市各乡镇(或街道)的最大污染足迹,统计结果表明,共有 50 个乡镇的最大污染足迹为磷污染足迹,7 个街道和 4 个乡镇的最大污染足迹为氮污染足迹,仅有 6 个乡镇的最大污染足迹为有机物污染足迹。可以看出,湖州市人类活动排放的氮磷污染物对其水域空间的生态占用已经超过了有机污染物,即氮磷污染物排放对水环境的影响已经超过了有机污染物排放。

2.3.2 湖州市水污染压力综合评估

污染足迹的大小表征区域人类排污活动对水域空间生态占用的大小,然而人类活动产生的污染物对区域水环境是否产生了压力、是否在区域的可承载范围之内,还需要将区域污染足迹与污染承载力进行比较才可以得出。本文利用污染赤字/盈余和污染压力指数两种方法,对湖州市的水污染压力进行了综合评估,具体计算结果见表 2。

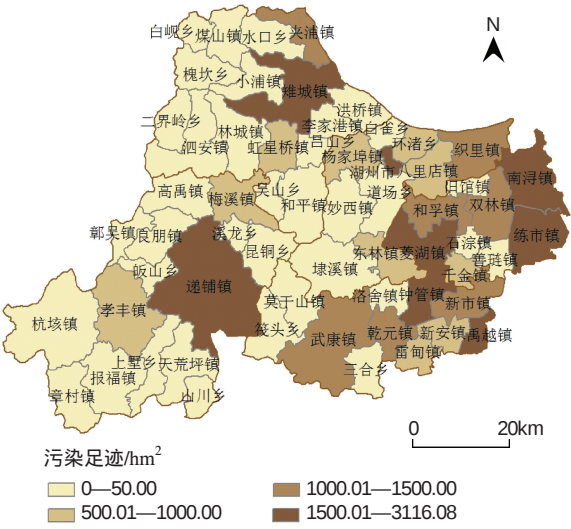


图 2 湖州市污染足迹空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of pollution footprint of Huzhou City

表 2 2007 年湖州市污染赤字/盈余和污染压力指数
Table 2 Pollution deficit/surplus and pressure index of Huzhou City in 2007

区县 District/County	污染足迹 Pollution footprint /hm ²	污染承载力 Pollution capacity /hm ²	污染赤字/盈余 Pollution deficit/surplus /hm ²	污染压力指数 Pollution pressure index
安吉县	4814.50	2828.00	-1986.50	1.70
长兴县	6422.27	3000.00	-3422.27	2.14
德清县	11199.73	4964.00	-6235.73	2.26
南浔区	9603.67	4192.00	-5411.67	2.29
吴兴区	7908.56	5912.00	-1996.56	1.34
合计 Total	39948.73	20896.00	-19052.73	1.91

表 2 中,2007 年湖州市污染足迹为 39948.73 hm^2 ,污染承载力为 20896.00 hm^2 ,污染赤字为 19052.73 hm^2 ,湖州市人类排污活动俨然超出了湖州市水域的承载能力,人们在生产生活中排放的污染物俨然对当地水环境产生了巨大的压力。湖州市不仅总体上超载,而且所辖各区县均存在污染赤字(图 3)。其中,德清县和南浔区水域的污染物吸纳能力仅能满足当地 2/5 的纳污需求,导致其污染赤字高达 6235.73 hm^2 和 5411.67 hm^2 ;长兴县次之,污染赤字为 3422.27 hm^2 ;吴兴区虽然污染足迹高达 7908.56 hm^2 ,但是由于其具有较高的污染承载力,污染赤字仅为 1996.56 hm^2 ;而安吉县则不论是污染足迹还是污染赤字都较小。

从表 2 中可以看出,湖州市污染压力指数为 1.91,即湖州市人类活动产生的污染量是湖州市水域污染物吸纳能力的 1.91 倍,当地水环境总体上处于轻度接近中度污染压力。德清县、南浔区和长兴县的污染压力指数略高于湖州市市值但小于 3,吴兴区和安吉县污染压力指数低于湖州市市值但大于 1。这说明德清县、南浔区和长兴县当地水环境总体上存在中度污染压力,吴兴区和安吉县当地水环境总体上存在轻度污染压力。

尽管总体上处于轻度接近中度污染压力状态,但是湖州市污染压力指数的空间分布十分不均匀。从图 4 中可以进一步看出,湖州市存在重度污染压力的地区集中在长兴县的雉城镇、水口乡和小浦镇等 7 个乡镇、南浔区的南浔镇、练市镇和善琰镇等 5 个乡镇、德清县的乾元镇、禹越镇和莫干山镇、安吉县的递铺镇、上墅乡和章村镇等 4 个乡镇以及吴兴区的主要街道;存在轻度到中度污染压力的地区主要集中在德清县的大部分乡镇、南浔区、吴兴区、长兴县和安吉县的若干乡镇。

在这些污染赤字严重且污染压力较大的地区,人类活动的维持一种情况是建立在区域水环境质量不断恶化的基础之上,如东部平原河网地区,水质总体上以 V 类和劣 V 类为主;另一种情况则是建立在将污染物输移到下游的基础之上,如长兴水系和东西苕溪沿岸,中上游地区水环境质量较好,但下游地区水环境质量却受到严重威胁。

3 结论与讨论

经过近 20a 的发展,生态足迹已经成为目前应用范围最广、关注程度最高的可持续发展评价方法之一。然而,20a 的发展并没有有效解决当初困扰生态足迹的难题,导致生态足迹仍然无法全面衡量人类活动对生态系统造成的各种影响。本文认为传统生态足迹无法全面评估人类活动的根源在于,土地功能排他性假设限制了其对利用生态系统非生物生产性产品和服务的人类活动的衡量。为了摆脱传统生态足迹理论的局限性,本文认为应当承认土地功能多样性的客观事实,将生态足迹构建于多种生态系统服务功能之上。

针对传统生态足迹对定义中废弃物吸纳的考虑不足,本文提出了基于污染物吸纳功能的生态足迹,即污染足迹。污染足迹不是对传统生态足迹中能源足迹的简单置换,而是能够囊括人类活动产生的大部分污染物,并可以根据不同的污染物类别或类型进一步细化的足迹类型。污染足迹计算的难点在于必须明确污染物

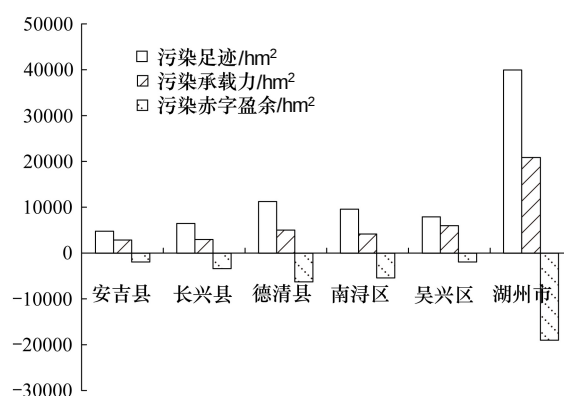


图 3 湖州市污染足迹、承载力和赤字/盈余

Fig. 3 Pollution footprint, capacity and deficit/surplus of Huzhou City

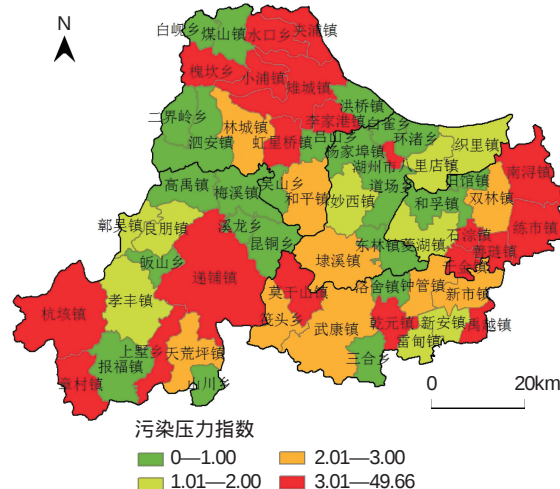


图 4 湖州市污染压力指数空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of pollution pressure index of Huzhou City

的迁移转化规律,进而确定进入各种土地类型的污染物质以及各种土地类型的纳污能力。污染足迹应用的难点在于如何确定不同类别或类型污染物污染足迹之间的关系。

针对太湖流域水污染问题,本文构建了太湖流域有机物、氮和磷污染足迹模型,并利用该模型对流域上游湖州市的水污染压力进行了综合评估。结果表明:(1)2007 年湖州市污染足迹为 39948.73 hm^2 ,东部平原地区污染足迹较大,西部丘陵地区污染足迹相对较小;(2)湖州市人类活动排放的氮磷污染物对水域空间的生态占用已经远远超过了有机污染物;(3)2007 年湖州市污染承载力为 20896.00 hm^2 ,污染赤字为 19052.73 hm^2 ,人类排污活动俨然超出了当地水域的承载能力;(4)2007 年湖州市污染压力指数为 1.91,当地水环境总体上处于轻度接近中度污染压力;(5)湖州市水污染压力较大的地区,区域内人类活动的维持建立在区域水环境质量恶化或污染物向下游输移的基础之上。

本文的研究表明,污染足迹的大小和空间分布能够反映出区域污染物排放的数量和区域差异,污染足迹与污染承载力的比较结果能够反映出区域污染压力的大小和空间格局,能够对区域人类活动是否在区域的承载范围之内给出有效的判断。尽管如此,本文对不同类别或类型污染物污染足迹关系的处理方法尚有争议。对于在环境影响上有明显重叠的污染物,取各类污染物污染足迹的最大值作为该类别的污染足迹,缺乏对各类污染物环境影响重叠的程度以及不同程度对结果的影响的考虑;而对于在环境影响上没有明显重叠的污染物,取各类别污染物污染足迹的加和作为总污染足迹,缺乏对各类别污染物环境影响的权重以及不同权重对结果的影响的考虑。总而言之,污染物污染足迹关系的确定以及污染物迁移转化规律的明确都是污染足迹研究的重点和难点。

References:

- [1] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares C A, Falfón S L I, García M J, Guerrero I S A, Guerrero G S M. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [2] Xie G D, Lu C X, Cheng S K, Zheng D. Evaluation of natural capital utilization with ecological footprint in China. *Resources Science*, 2001, 23(6): 19-22.
- [3] Senbel M, McDanielis T, Dowlatabadi H. The ecological footprint: a non-monetary metric of human consumption applied to North America. *Global Environmental Change*, 2003, 13(2): 83-100.
- [4] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H, Haberl H, Schulz N B. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961—1999: comparing the conventional approach to an ‘actual land area’ approach. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 261-269.
- [5] Liu Y H, Peng X Z. Time series of ecological footprint in China between 1962—2001: calculation and assessment of development sustainability. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2257-2262.
- [6] van Vuuren D P, Bouwman L F. Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions. *Ecological Economics*, 2005, 52(1): 43-62.
- [7] Bagliani M, Galli A, Niccolucci V, Marchettini N. Ecological footprint analysis applied to a sub-national area: the case of the Province of Siena (Italy). *Journal of Environmental Management*, 2008, 86(2): 354-364.
- [8] Liu M C, Li W H. The calculation of China's equivalence factor under ecological footprint mode based on net primary production. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(9): 1550-1559.
- [9] Fang K, Dong D M, Shen W B. Discussion on shortcomings and improvement of ecological footprint theory in energy consumption assessment. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(6): 1013-1021.
- [10] Min Q W, Jiao W J, Cheng S K. Pollution footprint: a type of ecological footprint based on ecosystem services. *Resources Science*, 2011, 33(2): 195-200.

参考文献:

- [2] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁, 郑度. 中国的生态空间占用研究. *资源科学*, 2001, 23(6): 19-22.
- [5] 刘宇辉, 彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估. *生态学报*, 2004, 24(10): 2257-2262.
- [8] 刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国生态足迹均衡因子测算. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1550-1559.
- [9] 方恺, 董德明, 沈万斌. 生态足迹理论在能源消费评价中的缺陷与改进探讨. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 1013-1021.
- [10] 闵庆文, 焦雯珺, 成升魁. 污染足迹: 一种基于生态系统服务的生态足迹. *资源科学*, 2011, 33(2): 195-200.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yonghan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distrubution of <i>Platyclusus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow φ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

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 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 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