

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

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 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响.....	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响.....	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应.....	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化.....	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响.....	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性.....	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究.....	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例.....	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素.....	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性.....	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析.....	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征.....	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累.....	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展.....	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角.....	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107281104

周静,管卫华. 基于生态足迹方法的南京可持续发展研究. 生态学报, 2012, 32(20): 6471-6480.

Zhou J, Guan W H. Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6471-6480.

基于生态足迹方法的南京可持续发展研究

周 静, 管卫华*

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要: 20 世纪 90 年代末以来, 随着南京城市化进程的加快和城市建成区面积的扩展, 城市生态安全问题日益突出。在运用生态足迹方法分析南京市 1999—2009 年人均生态足迹及生态承载力变化的基础上, 采用 Mann-kendall 法对南京市人均生态足迹突变点进行分析, 应用灰色关联模型从经济、社会 and 生态子系统方面分析不同阶段人均生态足迹变化的原因。研究表明: 1999—2009 年间南京市人均生态足迹呈增长趋势, 人均生态承载力呈减小趋势, 单位万元 GDP 生态足迹和生态多样性指数呈逐年下降趋势, 生态经济系统发展能力较好, 但生态压力较大。南京市人均生态足迹变化分为 1999—2002 年的低位增长阶段和 2003—2009 年高位波动阶段。通过影响南京市生态足迹变化因素分析发现, 2003—2009 年与 1999—2002 年相比, 经济子系统依然处于主要地位, 但影响因素由农业向以三产为主转变, 同时生态子系统和社会子系统各因素的影响力提升。据此, 提出优化产业结构, 控制人口数量, 加强基础设施建设, 改善居民居住环境, 加大城市绿化建设, 提高城市污物处理能力, 减少污染物排放的南京可持续发展对策。

关键词: 生态足迹; 生态承载力; 可持续发展; 生态赤字; 南京

Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model

ZHOU Jing, GUAN Weihua*

School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

Abstract: With economic development and population growth occurring throughout China, there has been increasing conflict between resources, environmental protection and economic development in a number of regions. Therefore, it is important to correctly evaluate the pressure of human activities on the natural environment and the ecosystem carrying capacity at a regional scale. The ecological footprint model has received much attention as an indicator of regional sustainable development. Recent studies investigating the ecological footprint of regions in China have focused on the city of Nanjing, due to the speed of urbanization and the rate at which built-up areas are expanding in the city. Thus, based on the ecological footprint model to study per capita ecological footprint and ecological carrying capacity in Nanjing from 1999—2009, this paper applied the Mann-Kendall method to analyze the abrupt change point of per capita ecological footprint in Nanjing. The Mann-Kendall method is a non-parametric statistical test, which has the advantages of a wide range of detection, a small human impact and a high degree of quantification. In light of three subsystems—economic, social and ecological—we selected 14 indices and employed the gray indigence method to explore the reasons of per capita ecological footprint variation in Nanjing between the two different phases, from 1999—2002 and from 2003—2009. The results show that during the period between 1999—2009, per capita ecological footprint generally grew; the change of per capita ecological capacity and per capita ecological deficit had a decreasing trend; the unit of 10,000 in GDP's ecological footprint and ecological diversity index dropped gradually; the eco-ecological system development capacity improved; but ecological

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271128); 江苏高校优势学科建设工程项目(地理学); 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(11KJB170003)

收稿日期: 2011-07-28; **修订日期:** 2012-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guanweihua@njnu.edu.cn

pressure remained significant. The variation of per capita ecological footprint in Nanjing is divided into two stages: low-level growth stage, which is from 1999—2002, and high-level fluctuation stage, which is from 2003—2009. From 1999—2002, the main factors influencing per capita ecological footprint were the primary industry production value, population density, and the green coverage rate of built-up areas. While from 2003—2009, the main factors influencing per capita ecological footprint were the proportion of tertiary industry production value in GDP, rate of sewage treatment, and per capita greening area. Through comparative analysis on the ecological footprint evolution of different phases in Nanjing—from 2003—2009 and from 1999—2002—we found that the economic subsystem was still acting as the main function, but the main influencing factor had transformed from agriculture to tertiary industry. At the same time, the influences of the ecological and social subsystems had been upgraded because the degree of correlation between per capita ecological footprint and various evaluation indices (per capita housing living space and population density in social subsystem, rate of sewage treatment reflecting treatment ability of waste, and per capita greening area reflecting the level of greening in ecological subsystem) had increased. In addition to our findings, we propose a suite of sustainable development policies that aim to help in optimizing industrial structure, controlling the population, strengthening infrastructure construction, improving the resident-inhabited environment, increasing the construction of urban greening, improving the capacity of dealing with pollutants, and decreasing pollutant discharge.

Key Words: ecological footprint; ecological capacity; sustainable development; ecological deficit; Nanjing

随着经济的快速发展和人口的不断膨胀,资源、环境及经济发展之间的矛盾日益突出,各种生态问题对人类生存环境构成了严重威胁。正确评价人类活动对区域自然环境的压力和区域生态系统的承载力,是实现社会经济可持续发展面临的重要问题^[1]。生态足迹方法自提出以来,以其简洁易懂的定量测量生态状态原理,近年来已被广泛运用。生态足迹法是加拿大生态经济学家 William 和其博士生 Wackernagel 提出的一种用于衡量人类对自然资源的利用程度以及自然界为人类提供的生命支持服务功能的方法^[2-3],该方法通过测定现今人类为了维持自身及其生存而利用自然量来评估人类对生态系统的影响。近年来,国内外学者对生态足迹方法不断完善,并广泛应用于不同领域和不同层面的生态足迹研究。从研究领域来看,已由单一的生态研究扩展到与生态相关的能源、土地、旅游和国际贸易等领域^[4-7]。从研究层面来看既有宏观的全球^[8-9]、国家^[10-11]、地区^[12-16]、城市^[17-18],也有学校^[19]、企业^[20]、家庭^[21]等微观层面。当前,区域生态足迹研究主要通过与其他相关方法结合,分析生态足迹的演化过程,预测区域生态足迹和研究区域生态足迹演化的原因,以此提出相应的可持续发展对策。赵兴国等采用灰色动态预测模型预测云南省耕地人均生态足迹^[22],Liu 等用 EMD 方法对 1949—2008 年中国生态足迹变化进行多时间尺度分析,通过动力学模拟预测至 2030 年中国生态足迹^[23]。周敬宣等采用集对分析武汉市生态足迹并进行预测^[24],陈成忠等采用自回归滑动平均模型预测 2006—2010 年中国人均生态足迹^[25],Jin 等利用系统动力学方法构建城市生态可持续发展框架,模拟和预测不同情景下生态足迹变化,并提出相应的对策^[26],Li 等采用径向基函数神经网络预测武汉市生态足迹^[27]。杨继松运用分解分析方法分析辽宁省能源足迹变化的原因^[28],Jia 等用 STIRPAT 方法模拟研究河南省生态足迹的驱动力^[29],Dai 用因子分析方法分析 1996—2007 年重庆市生态足迹变化原因^[30],Mostafa 运用 140 个国家的生态足迹数据,采用贝叶斯和马尔科夫链蒙特卡罗方法分析影响生态足迹的因素^[31],贾俊松用 Hi_PLS 方法分析了河南生态足迹的驱动因素^[32]。然而以上研究主要研究区域生态足迹时间序列的整体变化,较少从区域发展的不同阶段考虑影响区域生态足迹驱动因子的变化。

近年来,随着我国城市化进程加快,资源耗竭增大,区域可持续发展面临严峻挑战^[33]。快速城市化已成为我国生态足迹增加和生态环境恶化的重要原因^[34],城市作为人类活动对自然生态系统产生压力最大的区域^[35],城市生态足迹已远远超出自身的范围^[36]。20 世纪末以来,南京市社会经济持续快速发展,人口城市化进程进入加速发展阶段,土地城市化进程加快,建成区面积不断扩大(图 1)。由此带来人口增多,耕地面积减

少,土地利用不均衡,能源大量消耗,以及环境恶化等生态环境问题。因此,本文采用生态足迹方法计算南京市 1999—2009 年间人均生态足迹,运用 Mann-Kendall 法分析 1999—2009 年间南京市人均生态足迹演化的突变点,从经济、社会和生态方面,应用灰色关联分析研究不同阶段南京市人均生态足迹变化的驱动原因,以期为南京市制定发展规划及生态城市建设提供理论依据。

1 研究方法

1.1 生态足迹模型

生态足迹的计算是基于以下两种基本事实:一是人类可以确定自身消费的绝大多数资源、能源及其所产生的废弃物的数量;二是这些资源和废弃物能折算成生产和消纳这些资源和废弃物流的生物生产面积或生态生产面积^[12]。“生态生产性土地”是生态足迹分析法为各类自然资本提供的统一度量基础。根据生产力大小的差异,地球表面的生态生产性土地可分为 6 大类:化石能源地、耕地、牧草地、林地、建筑用地和水域。在生态足迹帐户核算中,各种物质消费、能源消费等均按相应的换算比例折算成相应的土地面积。具体计算公式如下:

$$Ef = \sum e_i = \sum r_j A_i = \sum r_j (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \quad (1)$$

式中, Ef 为人均生态足迹 ($\text{hm}^2/\text{人}$), i 为消费项目的类型, e_i 为人均生态足迹分量, r_j 为均衡因子, A_i 为第 i 种消费项目折算的人均生态足迹分量 ($\text{hm}^2/\text{人}$), Y_i 为生物生产土地生产第 i 种消费项目的世界年均产量 (kg/hm^2), P_i 、 I_i 、 E_i 分别为第 i 种消费项目的年生产量、年进口量和年出口量, N 为人口数。

$$Ec = \sum c_j = \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

式中, Ec 为人均生态承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$), c_j 为人均生态承载力分量, a_j 为人均生物生产面积, r_j 为均衡因子, y_j 为产量因子。

1.2 Mann-Kendall 法

Mann-Kendall 法是一种非参数统计检验方法,具有检测范围广、人为影响小、定量化程度高的优点。该方法是根据时间序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 构造两个标准正态分布的统计量 UF_i (正向) 和 UB_i (逆向),在给定显著水平下绘制两条曲线的统计图表来判断突变点和突变区域。若 UF 或 UB 的值大于 0,则表明时间序列呈上升趋势;反之,则表明时间序列呈下降趋势。当它们超过临界直线 (给定的显著性水平) 时,表明上升或下降趋势显著。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点,且交点在临界直线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间^[37]。

1.3 灰色关联分析法

灰色关联分析法是用关联度大小来衡量不同系统或同一系统不同因素的相似程度,根据序列的相似程度来判断其联系的紧密,两者越接近,则关联度越大;反之就越小。灰色关联分析法对样本量及样本有无规律性要求较低,因而具有广泛应用性^[38]。

(1) 选定参考数列和比较数列。参考数列记为 $X'_0(t)$, 比较数列记为 $X'_i(t)$ 。

(2) 对初始数据作无量纲化处理。无量纲化后的参考数列和比较数列为 $X_0(t)$ 和 $X_i(t)$ 。

(3) 计算参考数列和比较数列对应元素的绝对差值,确定 $\min \min |X_0(t) - X_i(t)|$ 和 $\max \max |X_0(t) - X_i(t)|$ 的值。绝对差值的计算公式为:

$$D_i(t) = |X_0(t) - X_i(t)| \quad (3)$$

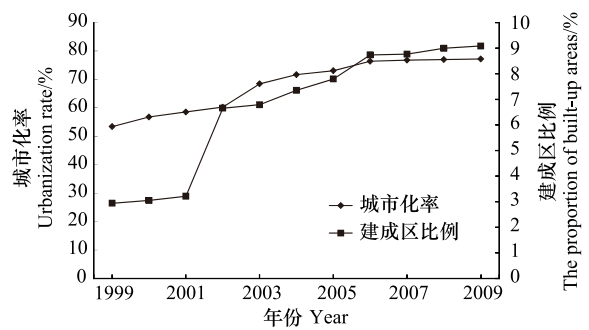


图 1 1999—2009 年南京市建成区比例和城市化率

Fig. 1 The proportion of the buildup area and urbanization rate in Nanjing (1999—2009)

数据来源:《南京统计年鉴(2000—2010)》和《中国城市统计年鉴(2000—2010)》

(4) 计算参考数列和比较数列对应元素的关联系数 $\lambda_i(t)$ 。

$$\lambda_i(t) = \frac{\min_i \min_t |X_0(t) - X_i(t)| + \rho \max_i \max_t |X_0(t) - X_i(t)|}{|X_0(t) - X_i(t)| + \rho \max_i \max_t |X_0(t) - X_i(t)|} \quad (4)$$

式中, ρ 指分辨系数, 一般为 0.5 或 1.0, 常取 $\rho=0.5$ 。

(5) 计算参考数列和比较数列之间的灰色关联度 γ_i , 计算公式为:

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \lambda_i(t) \quad (5)$$

2 1999—2009 年南京生态足迹计算及分析

2.1 人均生态足迹计算

生态足迹主要由生物资源消费和能源消费两部分组成。生物资源消费部分包括农产品、动物产品、林产品和水产等 26 项消费项目, 其中生物资源平均产量采用《国际统计年鉴 2001》中的数据。能源消费足迹的账户主要有煤、洗精煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、热力和电力等 10 种。采用国际上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准, 将南京市能源消费所消耗的热量折算成相应的化石燃料和建筑用地的土地面积^[39-40]。将各类型土地面积转化为全球平均性生物生产性土地面积时, 产量因子是根据南京市资源产量的实际情况计算得出。根据世界环境与发展委员会(WCED)的报告, 至少有 12% 的生态容量需被保存以保护生物多样性, 因此在计算南京市生态承载力时扣除 12% 的生物多样性保护面积。由此得出南京市 1999—2009 年人均生态足迹(表 1)、人均生态承载力(表 2)和人均生态盈余及生态赤字(表 3)。数据来源于《南京市统计年鉴(2000—2010)》。

表 1 1999—2009 年南京市人均生态足迹

Table 1 Calculation for per capital ecological footprint in Nanjing (1999—2009)/(hm²/人)

年份 Year	耕地 Arable land	牧草地 Grassland	林地 Woodland	水域 Waters	化石能源用地 Fossil energy land	建筑用地 Building land	人均生态足迹 Per capital Ef
1999	0.135751	0.349914	0.006398	0.681405	1.796401	0.006135	2.691596
2000	0.118582	0.396053	0.005024	0.818529	1.973528	0.009781	2.897556
2001	0.137404	0.440462	0.004563	0.884835	1.884442	0.009627	2.88679
2002	0.128936	0.445872	0.003452	0.931449	2.211766	0.011626	3.239539
2003	0.110854	0.465332	0.003971	0.976048	2.432406	0.013043	3.454802
2004	0.117426	0.454525	0.005134	1.02845	2.711445	0.014368	3.790204
2005	0.110061	0.442117	0.005038	1.044171	3.155967	0.019666	4.270233
2006	0.103025	0.397326	0.005799	1.081383	3.278634	0.020991	4.375062
2007	0.09408	0.306876	0.005242	1.049809	3.328356	0.022048	4.355517
2008	0.102557	0.27895	0.005659	1.112205	3.115876	0.022616	4.145561
2009	0.102145	0.254425	0.007514	1.109606	3.263448	0.02396	4.300287

表 2 1999—2009 年南京市人均生态承载力计算

Table 2 Calculation for per capital ecological capacity in Nanjing (1999—2009)/(hm²/人)

年份 Year	耕地 Arable land	林地 Grassland	牧草地 Woodland	水域 Waters	建筑用地 Building land	生物多样性 Biodiversity	人均生态承载力 Per capital Ec
1999	0.056427	0.01135	0.000285	0.020586	0.025302	0.053528	0.392541
2000	0.052774	0.01246	0.000157	0.019497	0.025553	0.050797	0.372508
2001	0.050042	0.012613	0.00079	0.017275	0.025975	0.048742	0.357439
2002	0.046214	0.012551	0.0000219	0.016291	0.025997	0.045745	0.335464
2003	0.043778	0.012472	0.0000132	0.015023	0.026172	0.043867	0.321688
2004	0.04208	0.012412	8.96×10 ⁻⁶	0.013591	0.026334	0.042549	0.312024
2005	0.041222	0.012408	8.51×10 ⁻⁶	0.012595	0.026395	0.041866	0.307018
2006	0.0131	0.012179	7.90×10 ⁻⁶	0.012314	0.026331	0.040979	0.300511
2007	0.039342	0.011953	7.62×10 ⁻⁶	0.012007	0.026286	0.04033	0.295754
2008	0.038768	0.0116	7.32×10 ⁻⁶	0.011812	0.026416	0.039904	0.292627
2009	0.038438	0.011491	7.19×10 ⁻⁶	0.011621	0.026974	0.039823	0.292034

表 3 1999—2009 年南京市各土地类型生态赤字或盈余

Table 3 Ecological deficit or surplus of every land in Nanjing (1999—2009) / ($\text{hm}^2/\text{人}$)

年份 Year	耕地 Arable land	林地 Grassland	牧草地 Woodland	水域 Waters	化石能源用地 Fossil energy land	建筑用地 Building land	人均生态赤字 Per capital Ed
1999	-0.060319	-0.002753	-0.174843	-0.130266	-1.976041	0.04517	2.299055
2000	-0.032947	-0.000823	-0.197964	-0.15801	-2.170881	0.03558	2.525049
2001	-0.101134	-0.000258	-0.220199	-0.17192	-2.072886	0.037047	2.529351
2002	-0.099119	0.00094	-0.222927	-0.18153	-2.432943	0.0315	2.904074
2003	-0.062295	0.00034	-0.232661	-0.18082	-2.675646	0.02797	3.133144
2004	-0.090307	-0.000961	-0.227259	-0.201719	-2.98259	0.024656	3.47813
2005	-0.074558	-0.000857	-0.221055	-0.205155	-3.471564	0.00997	3.963215
2006	-0.061038	-0.001781	-0.19866	-0.212679	-3.606497	0.0061	4.074551
2007	-0.040463	-0.001254	-0.153435	-0.206454	-3.661191	0.00303	4.059763
2008	-0.067453	-0.001846	-0.138945	-0.21899	-3.427464	0.00176	3.852934
2009	-0.068171	-0.003927	-0.12721	-0.218526	-3.589793	-0.000625	4.008253

从图 2 可见,1999—2009 年间南京人均生态足迹总体呈增长趋势,1999—2002 年增长较为缓慢,2002—2009 年先后经历了 2002—2005 年的快速增长期,增长率为 30%,以及 2005—2009 年的稳定期,增长率为 0.7%。1999—2009 年南京市人均生态承载力呈逐渐减小趋势,由 1999 年 0.392541 下降为 2009 年 0.29203,下降率为 25.6%。南京市人均生态赤字在 1999—2009 年间呈逐渐增长趋势,从 1999 年 2.299055 增长到 2009 年 4.008253,增长率为 74.3%。由于 1999—2009 年间南京人均生态足迹变化较大,而生态承载力变化较小,因此人均生态赤字增长态势和人均生态足迹大体一致。从各类生产性土地人均生态赤字构成看,南京人均生态赤字的主要来源是化石能源用地、牧草地和水域,其中化石能源用地是主要影响因素。这期间耕地类土地人均生态赤字波动最大,但整体呈增长趋势,林地类土地生态赤字呈“U”型变化,牧草地人均生态赤字呈“倒 U”型变化,水域和化石能源用地人均生态赤字则呈上升趋势,随着经济和城市的发展,建筑用地类土地的盈余持续减少,2009 年由盈余状态转为赤字状态,表明南京的城市化进程已构成对生物生产性土地的侵占。

由于南京人口基数大,增长快,1999—2009 年间人口从 537.4 万增长至 629.8 万人,致使南京生态足迹较大,因此对南京生态环境的影响加大。随着南京城市化进程加快,城市土地资源利用问题日益显现。首先,耕地面积由 1999 年的 30.33 万 hm^2 减少到 2009 年的 24.21 万 hm^2 ,年均递减 2.03%,致使南京的生物可生产性土地面积减少。加之人口压力,形成南京市人均生态承载力变化较大;其次,随着城市化进程较快,建筑用地逐年增多,未利用土地逐年减少,致使城市人均生态承载力逐年减少。2009 年南京人均生态足迹大约是其人均生态承载力的 14.7 倍,南京市的生态赤字在中国属于较严重生态赤字区,对照全球生态标杆 1.6 $\text{hm}^2/\text{人}$ ^[41],南京属于“地区—全球非可持续性”发展区域,即无论从地方尺度还是全球尺度来看,皆处于非可持续性状态。

2.2 相关指数分析

单位万元 GDP 生态足迹反映自然资源的利用效率^[20],单位万元 GDP 生态足迹需求越大,说明资源利用效益越低;反之则资源利用效益就越高。1999—2009 年南京市单位万元 GDP 生态足迹呈逐渐下降趋势(图 3),由 1999 年的 1.6291 $\text{hm}^2/\text{人}$ 下降到 2009 年的 0.637505 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。表明在经济增长中,南京对自然资本总

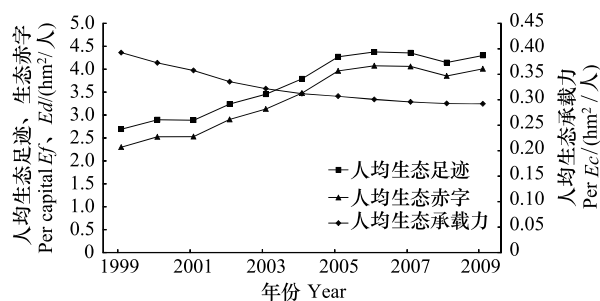


图 2 1999—2009 年南京市生态足迹动态变化

Fig. 2 Dynamic change of ecological footprint in Nanjing (1999—2009)

量需求增加的同时,对生态资源的依赖程度下降,资源利用方式由粗放型、消耗型转为集约型、节约型。生态足迹多样性指数反映区域不同土地类型利用的丰裕度和生态足迹分配的公平度,生态经济系统中生态足迹的分配越接近平等,对给定系统组分的生态经济来说,生态多样性就越高^[42]。1999—2009 年南京市生态多样性指数呈下降趋势,由 1999 年 0.879827 下降到 2009 年 0.665059(图 3)。说明在南京发展过程中,对各种土地类型开发利用影响较小,但各类土地类型利用的均衡性有待改善。

生态经济系统发展能力是由生态足迹乘以生态足迹多样性指数得到^[43]。1999—2009 年间南京生态经济系统发展能力指数呈上升趋势,但变化幅度较小(图 4),表明南京市生态经济系统发展能力在平稳中保持增长。生态压力指数为地区人均生态足迹与生态承载力的比值,反映区域生态环境的承压程度^[44]。1999—2009 年南京生态压力(图 4)经历 1999—2006 年快速增长期和 2006—2009 年的缓慢下降期,但总体生态压力较大,以 2009 年为例,南京市生态压力指数达到 12.95826,即南京 12a 多拥有生态产品和服务,仅能供应其 1a 消费。可见南京可持续发展的压力巨大,生态系统的承受能力与人类开发强度的矛盾仍很突出。

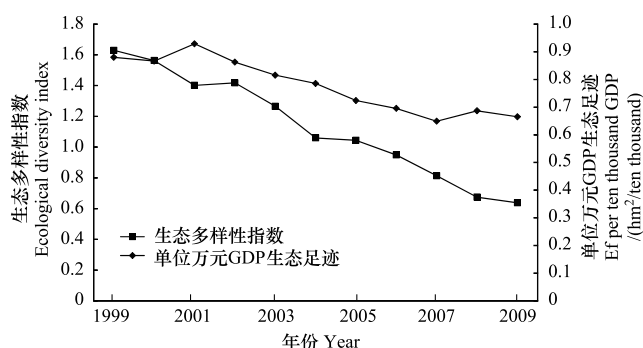


图 3 1999—2009 年南京市单位万元 GDP 生态足迹、生态多样性指数动态变化

Fig. 3 Change of ecological footprint per ten thousand GDP, ecological diversity index in Nanjing (1999—2009)

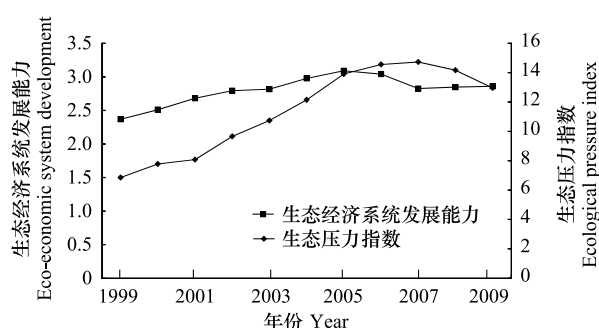


图 4 1999—2009 年南京生态压力指数和生态经济系统发展能力动态变化

Fig. 4 Change of ecological pressure index and eco-economic system development capacity in Nanjing (1999—2009)

3 1999—2009 年南京市生态足迹演化分析

3.1 南京市生态足迹演化阶段划分

采用 Mann-Kendall 法对 1999—2009 年南京人均生态足迹变化进行突变检测,在给定显著性水平 $\alpha = 0.05$,即 $U_{0.05} = \pm 1.96$,绘制 1999—2009 年南京市人均生态足迹的 Mann-Kendall 统计量曲线(图 5)。由图 5 可见,UF 和 UB 两条曲线的交点位于 2002—2003 年间,即南京市人均生态足迹变化在 2002—2003 年间发生突变,因此将南京人均生态足迹演变分为 1999—2002 年和 2003—2009 年两个阶段。通过图 1 和图 2 的比较可见,1999—2002 年间由于南京城市化率和城市建成区的快速扩张形成人均生态足迹的低位增长阶段,2003—2009 年间由于南京城市化率的增速和建成区扩张减缓形成南京人均生态足迹的高位波动阶段。

3.2 南京市生态足迹演化机制分析

可持续发展包括经济、社会和生态可持续发展^[45],因此从经济、社会和生态子系统三个方面选取测度指标。以人均生态足迹作为南京可持续发展水平的衡量依据,分析南京生态可持续发展的机制变化。根据全面性、主导性、层次性和可操作性原则,构建了南京生态足迹影响的测度指标体系,该指标体系包括经济、社会、生态三类 14 项指标,其中经济子系统有反映经济发展规模的第一、二产业产值,第二产业产值,反映经济结构的第三产业产值占 GDP 比重,反映经济发展水平的人均固定资产投资和人均 GDP;社会子系统有反映人口分布和社会占有水平的人口密度、人均社会消费总额、人均住房面积和人均道路面积;生态子系统有反映生态环境发展水平的人均耕地面积、人均绿化面积和建成区绿化覆盖率,反映环境污染及处理能力的废气排放量和污水处理率。

通过灰色关联分析法研究 1999—2002 年和 2003—2009 年影响南京人均生态足迹变化原因(表 4)。1999—2002 年各主要指标与南京市人均生态足迹关联程度的大小依次为第一产业产值、人口密度、建成区绿化覆盖率、污水处理率、人均绿化面积、第三产业产值占 GDP 比重;2003—2009 年各主要指标与南京市人均生态足迹关联程度的大小依次为第三产业产值占 GDP 比重、污水处理率、人均绿化面积、人均住房居住面积、人口密度、建成区绿化覆盖率。在经济子系统中,1999—2002 年人均生态足迹与第一产业产值关联度为较强,其次为第三产业产值占 GDP 比重,2003—2009 年人均生态足迹与第三产业产值占 GDP 比重关联度为最强,其次为第一产业产值,说明经济系统对人均生态足迹变

化影响居主导地位,但作用大小减弱,由于 1999 年开始南京市产业结构由“二、三、一”变为“三、二、一”,因而作用方式的主导力量也由第一产业转变为第三产业,第二产业的作用下降。同时,社会子系统对人均生态足迹的影响程度有所提高,其中人均住房居住面积和人口密度的相关程度提高的更为显著,说明由于城市人口增长过快导致人均住房和道路的需求增加对人均生态足迹变化影响增大。生态子系统各指标的相关程度数值均有提高,尤其是体现废物处理能力的污水处理率和绿化水平的人均绿化面积对人均生态足迹的影响提高,表明生态系统中对人均生态足迹的作用增强。

表 4 不同阶段南京市人均生态足迹与各项测度指标的灰色关联度

Table 4 Gray correlative degree of per capital ecological footprint and every measure index in Nanjing during the different stage

指标系统 Indicators system	1999—2002 年		2003—2009 年	
	指标体系 Indicators	关联度值(序号) Correlation value(No.)	指标体系 Indicators	关联度值(序号) Correlation value(No.)
经济子系统 Economic subsystem	第一产业产值	0.842119(1)	第一产业产值	0.708725(10)
	第三产业产值占 GDP 比重	0.793723(6)	第三产业产值占 GDP 比重	0.894136(1)
	人均 GDP	0.677596(9)	人均 GDP	0.575777(12)
	第二产业产值	0.664881(10)	第二产业产值	0.568769(13)
	人均固定资产投资	0.622165(12)	人均固定资产投资	0.584725(11)
社会子系统 Social subsystem	人口密度	0.788661(2)	人口密度	0.847540(5)
	人均住房居住面积	0.767149(7)	人均住房居住面积	0.862086(4)
	人均社会消费总额	0.719527(8)	人均社会消费总额	0.550991(14)
	人均道路面积	0.575124(14)	人均道路面积	0.753700(8)
生态子系统 Ecological subsystem	建成区绿化覆盖率	0.787414(3)	建成区绿化覆盖率	0.817423(6)
	污水处理率	0.784451(4)	污水处理率	0.883220(2)
	人均绿化面积	0.784042(5)	人均绿化面积	0.877043(3)
	废气排放量	0.623838(11)	废气排放量	0.773219(7)
	人均耕地面积	0.620189(13)	人均耕地面积	0.732390(9)

4 结论和讨论

(1)1999—2009 年间南京人均生态足迹呈现递增的趋势,生态赤字显著,生态环境压力较大并呈逐年增加趋势,表明南京市发展可持续性较弱。南京市单位万元 GDP 生态足迹和生态多样性指数逐年减少,整体生态经济发展能力平稳增长,生态压力较大,经济增长与资源环境承载能力的矛盾仍很突出。

(2)1999—2009 年间南京人均生态足迹演化分为 1999—2002 年的低位增长阶段和 2003—2009 年的高

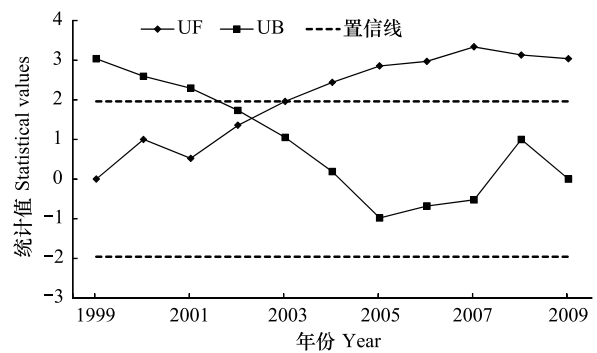


图 5 南京市人均生态足迹的 Mann-Kendall 统计量曲线

Fig. 5 Mann-Kendall curves of per capital ecological footprint in Nanjing

置信线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平临界线

位波动阶段。通过灰色关联分析表明经济子系统对南京市人均生态足迹的影响依然处于主要地位,但相关程度下降,第三产业的影响力提高,而生态子系统和社会子系统的相关程度也有所提高。

(3)为减少南京人均生态赤字,促进南京市生态经济持续发展,对此从经济角度提出优化产业结构,加大第三产业比重,提高农业产业化水平,积极发展现代农业,优化工业企业能源结构,提高能源利用率,实现清洁生产的对策。从社会角度提出控制人口数量,加强人口管理,加强基础设施建设,完善城市功能,实施安居工程的对策。从生态角度提出加大城市绿化建设,提高城市污水处理能力,减少污染物排放的对策。

(4)由于数据资料来源受限,本文在计算生物资源和能源消费时,未能包含生物资源和能源消费额中的贸易部分,所以在计算南京市人均生态足迹时难免存在一定偏差。

References:

- [1] Zhao Z Q, Li S C, Gao Y. Energy-based modification for ecological footprint accounting and application to open eco-economic system: a case study of Shenzhen City. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2220-2230.
- [2] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out? *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [3] Mathis Wackernagel, William Rees. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriela Island: New Society Publishers, 1996: 61-83.
- [4] Krivtsov V, Wäger P A, Dacombe P, Gilgen P W, Heaven S, Hilty L M, Banks C J. Analysis of energy footprints associated with recycling of glass and plastic-case studies for industrial ecology. *Ecological Modelling*, 2004, 174(1/2): 175-189.
- [5] Gerbens-Leenes P W, Nonhebel S, Ivens W P M F. A method to determine land requirements relating to food consumption patterns. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2002, 90(1): 47-58.
- [6] Gössling S, Hansson C B, Hörstmeier O, Saggel S. Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. *Ecological Economics*, 2002, 43(2/3): 199-211.
- [7] Hubacek K, Giljum S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities. *Ecological Economics*, 2003, 44(1): 137-151.
- [8] Rice J. Ecological unequal exchange: international trade and uneven utilization of environmental space in the world system. *Social Forces*, 2007, 85(3): 1369-1392.
- [9] White T J. Sharing resources: the global distribution of the ecological footprint. *Ecological Economics*, 2007, 64(2): 402-410.
- [10] Lenzen M, Murray S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 229-255.
- [11] Begum R A, Pereira J J, Jaafar A H, Al-Amin A Q. An empirical assessment of ecological footprint calculations for Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 2009, 53(10): 582-587.
- [12] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D, Chen D J. The ecological footprints of the 12 provinces of west China in 1999. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 599-610.
- [13] Yue D X, Xu X F, Li Z Z, Hui C, Li W L, Yang H Q, Ge J P. Spatiotemporal analysis of ecological footprint and biological capacity of Gansu, China 1991—2015: down from the environmental cliff. *Ecological Economics*, 2006, 58(2): 393-406.
- [14] Huang Q, Wang R H, Ren Z Y, Li J, Zhang H Z. Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, 51(1): 24-41.
- [15] Scotti M, Bondavalli C, Bodini A. Ecological footprint as a tool for local sustainability: the municipality of Piacenza (Italy) as a case study. *Environmental Impact Assessment Review*, 2009, 29(1): 39-50.
- [16] Zhang H Y, Liu W D, Lin Y X, Shan N N, Wang S Z. A modified ecological footprint analysis to a sub-national area: the case study of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2738-2748.
- [17] Guo X R, Yang J R, Mao X Q. Calculation and analysis of urban ecological footprint: a case study of Guangzhou. *Geographical Research*, 2003, 22(5): 654-663.
- [18] Muñiz I, Galindo A. Urban form and the ecological footprint of commuting. The case of Barcelona. *Ecological Economics*, 2005, 55(4): 499-514.
- [19] Gu X W, Wang Q, Li G J, Wang J. Application of ecological footprint in sustainable development of universities in Shenyang. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2006, 27(7): 823-826.
- [20] Li B, Zhang J Q, Quan J M. The research on enterprise's ecological footprint and ecological efficiency. *Environmental Engineering*, 2007, 25(6):

85-88.

- [21] Crompton S, Roy R, Caird S. Household ecological footprinting for active distance learning and challenge of personal lifestyles. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2002, 3(4): 313-323.
- [22] Zhao X G, Pan Y J, Wang S, Yao H, Cui W F. Dynamic analysis of sustainability of arable land resources use in Yunnan Province: A new method of ecological footprint based on national hectare. *Resources Science*, 2011, 33(3): 542-548.
- [23] Liu M C, Li W H, Fu C, Zhang D. Dynamic prediction of Chinese development based on the ecological footprint method. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2010, 17(6): 499-506.
- [24] Zhou J X, Li X M, Chen L, Li Y. Updating methods for dynamic assessment of ecological footprint: a case study of wuhan city. *Resources Science*, 2007, 29(3): 111-116.
- [25] Chen C Z, Lin Z S. Study on the components of ecological footprint and biocapacity in China 1949—2006 based on entropy method. *Geographical Research*, 2009, 28(1): 129-142.
- [26] Jin W, Xu L Y, Yang Z F. Modeling a policy making framework for urban sustainability: incorporating system dynamics into the Ecological Footprint. *Ecological Economics*, 2009, 68(12): 2938-2949.
- [27] Li X M, Xiao R B, Yuan S H, Chen J A, Zhou J X. Urban total ecological footprint forecasting by using radial basis function neural network: a case study of Wuhan city, China. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 241-248.
- [28] Yang J S, Hu X J, Wu H. Analysis of energy ecological footprint change in Liaoning province. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(6): 2216-2219.
- [29] Jia J S, Deng H B, Duan J, Zhou J Z. Analysis of the major drivers of the ecological footprint using the STIRPAT model and the PLS method-A case study in Henan Province, China. *Ecological Economics*, 2009, 68(11): 2818-2824.
- [30] Dai F Q, Nan L, Liu G C. Assessment of regional ecological security based on ecological footprint and influential factors analysis: a case study of Chongqing Municipality, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2010, 17(5): 390-400.
- [31] Mostafa M M. A Bayesian approach to analyzing the ecological footprint of 140 nations. *Ecological Indicators*, 2010, 10(4): 808-817.
- [32] Jia J S. Hierarchical partial least squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's ecological footprint (EF) and its development strategy. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2188-2195.
- [33] Tan M Z, Chen J, Tian X S, Zhang X L. Dynamics and forecasting of average ecological footprint and carrying capacity during rapid urbanization process of Nanjing city. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(6): 754-759.
- [34] Guo J H, Xing X J. Dynamic quantitative analysis of the relationship between urbanization and ecological footprint in China. *Journal of East China Jiaotong University*, 2009, 26(5): 131-134.
- [35] Zheng Z H, Fu L, Di H f. Urban energy system analysis based on ecological footprint theory. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2009, 49(12): 1905-1914.
- [36] Cao X X, Liang L K, Ding S Y. Study development on ecological Footprint analyses. *Chinese Journal of Nature*, 2003, 25(6): 335-339.
- [37] Wei F Y. *Modern Climate Diagnostic and Statistic Forecasting Techniques*. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 63-66.
- [38] Fu L. *The Theory and Application of Grey System*. Beijing: Scientific and Technical Literature Press, 1992: 185-186.
- [39] Costanza R, Daly H E. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, 1992, 6(1): 37-38.
- [40] Qiu D X. *Energy Planning and System Analysis*. Beijing: Tsinghua University Press. 1995: 48.
- [41] Zhang Y. Change of ecological footprint and its effect on sustainable development in Beijing, China. *Journal of China University of Geosciences: Social Sciences Edition*, 2006, 6(4): 47-55.
- [42] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D, Chen D J. Ecological footprint calculation and development capacity analysis of China in 1999. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 280-285.
- [43] Chen D J, Zhang Z Q, Cheng G D, Xu Z M. Calculation and analysis on ecological footprints of China. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3): 441-445.
- [44] Zhao X G, Xiao L, Ma C H, Wei L H, Gao L F. Design of sustainability indicators system based on ecological footprint. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1202-1207.
- [45] Li F, Liu X S, Hu D, Wang R S. Evaluation method and index system of eco-city development: a case study in Dafeng city of Jiangsu province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2006-2012.

参考文献:

- [1] 赵志强, 李双成, 高阳. 基于能值改进的开放系统生态足迹模型及其应用——以深圳市为例. *生态学报*, 2008, 28(5): 2220-2230.
- [12] 张志强, 徐中民, 程国栋, 陈东景. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹. *地理学报*, 2001, 56(5): 599-609.

- [16] 张恒义, 刘卫东, 林育欣, 单娜娜, 王世忠. 基于改进生态足迹模型的浙江省域生态足迹分析. 生态学报, 2009, 29(5): 2738-2748.
- [17] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. 地理研究, 2003, 22(5): 654-662.
- [19] 顾晓薇, 王青, 李广军, 王军. 应用生态足迹指标对沈阳市高校可持续发展的研究. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(7): 823-826.
- [20] 李兵, 张建强, 权进民. 企业生态足迹和生态效率研究. 环境工程, 2007, 25(6): 85-88.
- [22] 赵兴国, 潘玉君, 王爽, 姚辉, 崔文芳. 云南省耕地资源利用的可持续性及其动态预测——基于“国家公顷”的生态足迹新方法. 资源科学, 2011, 33(3): 542-548.
- [24] 周敬宣, 李湘梅, 陈雷, 李勇. 基于集对分析的城市生态足迹预测——以武汉市为例. 资源科学, 2007, 29(3): 111-116.
- [25] 陈成忠, 林振山. 中国人均生态足迹和生物承载力构成的变动规律. 地理研究, 2009, 28(1): 129-142.
- [28] 杨继松, 胡晓钧, 吴昊. 辽宁省能源足迹变动的分析. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2216-2219.
- [32] 贾俊松. 河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策. 生态学报, 2011, 31(8): 2188-2195.
- [33] 檀满枝, 陈杰, 田晓四, 张学雷. 南京市快速城市化过程中人均生态足迹的动态变化与预测研究. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 754-759.
- [34] 郭军华, 幸学俊. 中国城市化与生态足迹的动态计量分析. 华东交通大学学报, 2009, 26(5): 131-134.
- [35] 郑忠海, 付林, 狄洪发. 基于生态足迹法的城市能源系统分析. 清华大学学报: 自然科学版, 2009, 49(12): 1905-1914.
- [36] 曹新向, 梁留科, 丁圣彦. 可持续发展定量评价的生态足迹分析方法. 自然杂志, 2003, 25(6): 335-339.
- [37] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999: 63-66.
- [38] 傅立. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1992: 185-186.
- [40] 邱大雄. 能源规划与系统分析. 北京: 清华大学出版社, 1995: 48.
- [41] 张颖. 北京市生态足迹变化和对可持续发展的影响研究. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2006, 6(4): 47-55.
- [42] 徐中民, 张志强, 程国栋, 陈东景. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280-285.
- [43] 陈东景, 张志强, 程国栋, 徐中民. 中国 1999 年的生态足迹分析. 土壤学报, 2002, 39(3): 441-445.
- [44] 赵先贵, 肖玲, 马彩虹, 韦良焕, 高利峰. 基于生态足迹的可持续评价指标体系的构建. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1202-1207.
- [45] 李锋, 刘旭升, 胡聃, 王如松. 生态市评价指标体系与方法——以江苏大丰市为例. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2006-2012.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

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:1000717	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