

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

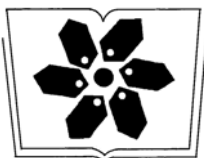
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第5期 Vol.34 No.5 **2014**

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34卷第5期 2014年3月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 干旱指标研究进展..... 李柏贞,周广胜 (1043)
- 气候变化对作物矿质元素利用率影响研究进展..... 李堃清,吴正云,张强,等 (1053)
- 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据..... 曾凡勇,孙志强 (1061)
- 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展..... 陈云峰,韩雪梅,李钰飞,等 (1072)
- 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析..... 赵良仕,孙才志,郑德凤 (1085)
- 高原河谷城市植被时空变化及其影响因素——以青海省西宁市为例..... 高云,谢苗苗,付梅臣,等 (1094)
- 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例.....
..... 赵明月,赵文武,钟莉娜 (1105)
- 赤子爱胜蚓和毛利远盲蚓对添加造纸污泥土壤的化学和生物学特征的影响.....
..... 陈旭飞,张池,戴军,等 (1114)

个体与基础生态

- 钾与信号抑制剂对外生菌根真菌分泌乙酸的调控作用..... 杨红军,李勇,袁玲,等 (1126)
- 砷诱导蚕豆气孔保卫细胞死亡的毒性效应..... 薛美昭,仪慧兰 (1134)
- 石油污染土壤中苯酚降解菌 ad049 的鉴定及降解特性..... 胡婷,谷洁,甄丽莎,等 (1140)
- 紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究..... 付川,余顺慧,黄怡民,等 (1149)
- 播种期对晚季稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响..... 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等 (1156)
- 外源钙(Ca)对毛葱耐镉(Cd)胁迫能力的影响..... 王巧玲,邹金华,刘东华,等 (1165)
- 基于植被指数的北京军都山荆条灌丛生物量反演研究..... 高明亮,官兆宁,赵文吉,等 (1178)
- 三种暖季型草坪草对二氧化硫抗性的比较..... 李西,王丽华,刘尉,等 (1189)
- 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析..... 夏鹏亮,王瑞,王昌军,等 (1198)
- 啮齿动物捕食和搬运蒙古栎种子对种群更新的影响..... 张晶虹,刘丙万 (1205)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对高寒草甸优势植物叶片和土壤氮磷化学计量特征的影响.....
..... 李倩倩,赵旭,郭正刚 (1212)
- 光、温限制后铜绿微囊藻和斜生栅藻的超补偿生长与竞争效应..... 谢晓玲,周蓉,邓自发 (1224)

种群、群落和生态系统

- 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素..... 张雷,李东来,马锐强,等 (1235)
- 泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布..... 卓异,蔡立哲,郭涛,等 (1244)

不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响.....	张海萍,武大勇,王赵明,等 (1253)
呼兰河湿地夏、秋两季浮游植物功能分组演替及其驱动因子.....	陆欣鑫,刘妍,范亚文 (1264)
江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价.....	李佳,李言阔,缪沪君,等 (1274)

景观、区域和全球生态

中国自然保护综合地理区划.....	郭子良,崔国发 (1284)
近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应	缪丽娟,蒋冲,何斌,等 (1295)
人类活动与气候变化对洪湖春旱的影响	刘可群,梁益同,周金莲,等 (1302)
2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化	谈永利,王宏志,张欢,等 (1311)

资源与产业生态

三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布.....	李芬,吴志丰,徐翠,等 (1318)
------------------------	--------------------

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 插秧季节的桂西——2009—2011 年,我国广西、云南、贵州、四川、重庆等西南地区遭受了百年不遇的特大旱灾,其中广西西北部、云南大部、贵州西部等石漠化地区最为严重,农作物大面积绝收,千百万人 and 大牲畜饮水困难,这种危害是巨大的、现实的。从对 2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力影响结果显示:2009—2011 年西南地区年均降水量和湿润指数明显低于 1980—2008 年均值,植被净初级生产力低于 2001—2008 年均值,造成的碳损失约占我国总碳汇的 7.91%。全球气候变暖给大气环流提供了动力,也造成了许多极端灾害天气,因此如何应对气候变化形势显得更加紧迫。

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

DOI: 10.5846/stxb201305251180

赵良仕, 孙才志, 郑德凤. 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析. 生态学报, 2014, 34(5): 1085-1093.

Zhao L S, Sun C Z, Zeng D F. A Spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1085-1093.

中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析

赵良仕, 孙才志*, 郑德凤

(辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029)

摘要: 计算了 1997—2010 年中国 31 个省市的水足迹强度, 整体呈现明显下降趋势; 运用全局 Moran's I 指数探讨中国各省市水足迹强度空间自相关模式, 发现 1997—2010 年水足迹强度显示出全局正的自相关, 自相关程度逐年增大。基于省际水足迹强度的面板数据, 空间计量收敛分析结果表明中国各省市水足迹强度存在绝对 β 收敛, 空间因素在水足迹强度收敛过程中起到重要作用。在考虑了空间效应情况下, 收敛时间明显延长。通过条件 β 收敛检验, 人均 GDP、人均水足迹、工业水足迹强度、教育经费比重、外商直接投资、市场化程度均在不同程度上影响着水足迹强度收敛。在标准条件 β 收敛模型中人均 GDP 和工业水足迹强度分别正向和负向显著影响水足迹强度的收敛, 而在空间滞后模型和空间误差模型中的条件 β 收敛中只有人均水足迹负向显著影响水足迹强度的收敛。最后对中国水资源利用效率健康发展提出了相应的政策建议。

关键词: 水足迹; 水足迹强度; 空间自相关; β 收敛; 空间计量收敛模型

A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China

ZHAO Liangshi, SUN Caizhi*, ZHENG Defeng

School of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: China's water resource management is currently facing two main problems: a shortage of water resources and a deterioration of the water ecological environment. The rapid economic growth of China's provinces has led to the water crisis becoming an important factor restricting China's sustainable social and economic development. To solve the problem of the sustainability of Chinese water resource use it is necessary to improve the utilization efficiency of water resources. A traditional evaluation of water resource use efficiency measures agricultural, industrial, and domestic water consumption. However, this measure cannot reflect the actual water resource consumption of society as a whole. Therefore, developing a more accurate measurement of water resource consumption is an important part of solving the problem of water resource sustainability. Water footprint intensity is an index that is able to reflect the efficiency of water resource utilization. Meanwhile, some previous researchers have investigated the convergence of the water footprint intensity of China's provinces and economic growth. In this paper, we calculate the water footprint intensity of China's 31 provinces from 1997 to 2010. Our results show that there is a general decreasing tendency, which means that water use efficiency is increasing. The Global Moran index was then applied to explore the spatial autocorrelation pattern of the water footprint intensity of China's provinces. These results show that water footprint intensity has positive autocorrelation characteristics and that the autocorrelation degree increases year by year. Based on the panel data of provincial water footprint intensity, the space measuring convergence analysis results show that the water footprint intensity in China exhibits absolute β convergence and

基金项目: 国家社会科学基金项目 (11BJY063); 教育部新世纪优秀人才项目 (NCET-13-0844)

收稿日期: 2013-05-25; **修订日期:** 2013-09-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: suncaizhi@lnnu.edu.cn

conditional β convergence. Furthermore, space effect factors are shown to play an important role in the convergence process of the intensity of water footprint. Considering the spatial effect, the convergent speed slows down greatly. the convergence rate of water footprint intensity is much slower. The rapid rate of China's economic development means that underdeveloped areas are catching up with developed areas faster than the convergence rate of water footprint intensity. The conditional convergence test shows that per capita GDP, per capita water footprint, industrial water footprint intensity, the proportion of education funds, foreign direct investment, and degree of marketization have different effects on the intensity of water footprint convergence. Per capita GDP has a significant positive effect on the standard conditional β convergence model. Meanwhile, industrial water footprint intensity has a significant negative affect on the convergence rate of water footprint intensity. The conditional β convergence model contains spatial lag and spatial error effects, while per capita water footprint exhibits a significant negative impact on the convergence rate of water footprint intensity. Finally, the space effect factors show that the per capita water footprint affects the convergence of water footprint intensity. China's rapidly developing economy has led to the need to introduce a water saving policy. Our results show that the convergence rate of water footprint intensity can speed up water resource use efficiency in China's provinces, which can help to maintain sustainable development. Controlling the regional differences of water footprint intensity can improve China's water use efficiency and so ensure sustainable economic and social development. On that basis, this paper puts forward relevant policy suggestions for the healthy development of China's water resources use efficiency. Importantly, a cooperative relationship needs to be established by making full use of the conditions of water resource endowment conditions and by exploiting the differences of water footprint intensity between different regions. In addition, it is recommended that relevant departments should formulate a ladder price standard of rational consumption of water. Finally, more attention should be given to China's water use efficiency and sustainable social development.

Key Words: water footprint; water footprint intensity; spatial autocorrelation; β convergence; spatial panel data econometrics model

水资源短缺和水生态环境恶化是目前中国水资源存在的两大主要问题。中国人均水资源量约为 2200 m³, 仅为世界平均水平的 1/4, 且水资源时空分布极其不均, 部分省市严重缺水; 据《中国水资源公报》数据, 2010 年中国废污水排放量为 792 亿 t, 比 1997 年增长了 36%, 进一步加剧了水资源短缺的矛盾。随着中国各省市经济快速发展, 水资源危机已成为制约中国社会经济可持续发展的重要因素, 提高水资源利用效率是解决中国水资源可持续利用问题的关键。传统水资源利用效率评价仅涉及直接利用的农业、工业、居民生活等方面的用水量, 不能反映出人类真实的水资源消费量^[1]。因此准确衡量人类对水资源的占用状况、测度水资源利用效率及研究各地区水资源利用效率的差异趋势是解决水资源问题的重要工作。

1 研究现状

水足迹是指在一定的物质生产标准下, 生产一

定人群消费的产品和服务所需要的水资源的数量, 是维持人类产品和服务消费所需要的真实的水资源量^[2]; 水足迹总量比国内生产总值 (GDP) 得到的水足迹强度是一个反映水资源利用效率的指标。Chapagain 等^[3]对世界范围内棉花消费的水足迹进行了研究; Gerbens-Leenes^[4]计算了甜味剂和生物乙醇中的水足迹; Ertug Ercin 等^[5]研究一种含糖碳酸饮料中的水足迹; Feng 等^[6]从消费角度评价了中国黄河流域水资源流动和水足迹; Bocchiola 等^[7]对气候变化影响到作物产量和玉米水足迹进行了研究; Jenerette 等^[8]对比了中国和美国的城市水足迹; Hubacek 等^[9]通过结合生态足迹和水足迹的输入输出模型研究了在环境的影响下中国城市化和生活方式的改变; 谢鸿宇等^[10]、贾佳等^[11]、谭秀娟^[12]、焦雯珺等^[13]、王红瑞等^[14-15]分别计算了中国农畜产品水足迹、工业水足迹、生态水足迹和水污染足迹、中国虚拟水和畜产品虚拟水含量; 黄晶等^[16]和蔡振华等^[17]分别对北京市和甘肃省进行测算; 龙爱华等^[18]

计算了中国 2000 年各省市水足迹强度,并分析了水足迹强度的影响因素,但是对水足迹的计算不包含水污染足迹;孙才志等^[19]研究了 1997—2007 年中国各省市水足迹强度区域差异及成因,然而没有揭示水足迹强度的空间演变特征;孙才志等^[1,20]计算了中国各省市水足迹,并分别探讨了水足迹强度的空间演变态势和测度水资源技术效率,但是该计算水污染足迹都忽略了生活用水污染足迹。

基于 Barro 和 Sala-i-Martin 提出的新古典增长模型^[21-22](记为标准 β 收敛模型),已有学者对中国各省市经济增长和能源强度差异的收敛性进行研究。经济增长是落后地区缩小与发达地区差距的必由之路,是实现和谐发展的必要手段。然而经济增长收敛是经济学核心问题之一,是指将各地区的经济差异随时间推移而缩小的现象,因此可以通过确定各地区经济增长差异的原因找到落后经济向发达经济收敛的途径。能源强度收敛与经济增长收敛类似,是指各地区能源强度的差异随时间推移在缩小,通过对此研究可以找到提高能源效率的方法。

潘文卿^[23]将地区间的相互作用关系引入到中国大陆 31 个省市的经济增长和收敛性的研究中,并对是否存在绝对 β 收敛和俱乐部收敛趋势进行深入分析;洪国志等^[24]对中国 240 个地级及以上城市的经济增长收敛性通过空间计量经济收敛分析方法进行展开讨论;基于中国省际能源强度及影响因素的面板数据,余华义^[25]对能源强度的空间溢出和 β 收敛性进行了检验;齐绍洲等^[26]通过分析 1995—2002 年中国西部 15 个省份的能源强度和东部 15 个省份的能源强度差异与人均 GDP 差异之间的关系,使用空间面板数据滞后模型进行实证估计。以上研究只对中国经济增长和能源强度进行了分析,然而关于中国各省市水足迹强度收敛性研究却为鲜见。

中国各省市水足迹强度差异反映了各地区水资源利用效率的差异,通过对水足迹强度收敛研究可以找到提高各地区水资源利用效率的途径。中国各省市水足迹强度是在上升还是下降?各地区水足迹强度之间的差异是在扩大还是缩小?随着时间推移地理空间效应对各地区水足迹强度的差异产生何种影响?对这些问题的研究,为中国制定合理区域水资源利用政策,促使各地区充分利用自身的水资源禀赋条件和水足迹强度差异进行合作,从而提高生

活和生产用水效率,走水资源可持续利用道路至关重要。

基于以上认识,本文在水足迹计算的基础上,借助于标准收敛模型和空间计量收敛模型,研究中国 1997—2009 年 31 个省市的水足迹强度的收敛情况。该研究基于中国各省市水足迹强度计算,从空间效应角度研究中国水资源利用效率的收敛情况,为评价中国水资源利用状况和经济社会的可持续发展提供理论借鉴。

2 研究方法数据来源

本文借助于收敛模型中的 σ 收敛、标准绝对 β 收敛、标准条件 β 收敛模型,以及加入空间效应的绝对 β 收敛、条件 β 收敛模型,对中国水足迹强度的收敛性展开讨论。本文的研究是在 Eviews6.0 软件和 James P. LeSage 提供的 Matlab 空间计量工具箱下完成的。

2.1 标准收敛模型设定

在新古典增长收敛的研究中,标准绝对 β 收敛和条件 β 收敛模型已在文献^[21-22]中建立和使用。在本文中,绝对 β 收敛是指高水足迹强度地区的下降速度快于低水足迹强度地区;条件 β 收敛是指不同地区水足迹强度有着不同的稳态。在此基础上本文确定的中国水足迹强度绝对 β 收敛和条件 β 收敛的面板数据模型如下:

$$\ln \frac{E_{i,t+1}}{E_{i,t}} = \alpha - b \ln E_{i,t} + h_i + k_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$\ln \frac{E_{i,t+1}}{E_{i,t}} = \alpha - b \ln E_{i,t} + \Psi X_{i,t} + h_i + k_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中, $E_{i,t}$ 为中国第 i 个省市在时期 t 的水足迹强度, h_i 是各地区的固定效应,反映各省市持续存在的差异, k_t 为各时期的固定效应,主要控制水足迹强度随时期变化的因素, $X_{i,t}$ 是中国第 i 个省市在时期 t 的稳态控制常量,具体为人均 GDP、人均水足迹、工业水足迹强度、教育经费比重、外商投资比重(外商投资总额比 GDP)和市场化程度(第三产业产值比 GDP), $\varepsilon_{i,t}$ 是与地区和时期均无关的随机扰动项。根据文献^[5]中的设定,若式(1)中的 $b > 0$,水足迹强度存在绝对 β 收敛,否则发散;若式(2)中的 $b > 0$,水足迹强度存在条件 β 收敛,否则发散, X 即为控制条

件常量矩阵,收敛速度由系数 b 确定, $\beta = -\ln(1 - b)$, 收敛到一半所用时间为 $t = (\ln 1/2)/\ln(1 - \beta)$ 。

2.2 空间计量收敛模型设定

面板数据模型综合考虑了时间相关性和空间相关性,然而由于假定所有时刻和所有个体均相等,面板数据计量经济模型有很大的改进余地。空间计量经济学理论^[27]认为一个地区空间单元上的某种经济地理现象或某一属性值与邻近地区空间单元上同一现象或属性值是相关的。空间面板计量经济模型综合考虑了变量信息的时空二维特征,可以定量分析水足迹强度收敛的溢出效应及影响因素。将水足迹强度的空间依赖性和空间误差性考虑到标准收敛的面板数据模型中,空间计量收敛模型可以分为空间滞后模型和空间误差模型。对于具体空间相关类型需要通过两个拉格朗日乘数(Lagrange Multiplier)形式 LM-Lag、LM-Err 及其稳健-LM-Lag、稳健-LM-Err 检验来实现^[28]。本文的空间权重矩阵是基于距离函数关系,该矩阵中的元素定义如下:

$$W_{ij} = \begin{cases} 0 & (i = j) \\ 1/d_{ij} & (i \neq j) \end{cases} \quad (3)$$

式中, d_{ij} 是省(自治区) i 和省(自治区) j 重心点之间的距离。以下使用的空间权重矩阵 W 是把上面基于距离定义的空间权重矩阵行标准化处理,即每一行的元素和为 1。

2.2.1 空间滞后模型

空间滞后模型(Spatial Lag Model)主要在某地区是否有扩散现象,其模型表达式为:

$$\ln \frac{E_{i,t+1}}{E_{i,t}} = \alpha + \rho \sum_{i \neq j} w_{i,j} \ln \frac{E_{i,t+1}}{E_{i,t}} - b \ln E_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$\ln \frac{E_{i,t+1}}{E_{i,t}} = \alpha + \rho \sum_{i \neq j} w_{i,j} \ln \frac{E_{i,t+1}}{E_{i,t}} - b \ln E_{i,t} + \Psi X_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

式中, $E_{i,t}$, $X_{i,t}$ 同式(2)定义, ρ 为空间滞后系数, $w_{i,j}$ 为空间权重矩阵 W 中元素, $\varepsilon_{i,t}$ 是与地区和时期均无关的随机扰动项。本文在式(1)和(2)的基础上分别对式(4)和(5)加入了空间滞后效应,空间滞后模型表明中国水足迹强度下降不但受各省市初始水足迹强度水平影响,同时受到空间上相邻近地区的下降和初始水足迹强度的影响。

2.2.2 空间误差模型

水足迹强度下降是一个复杂过程,当误差项在

空间上相关时的空间误差模型表达为:

$$\ln E_{i,t+1}/E_{i,t} = \alpha - b \ln E_{i,t} + u,$$

$$u = \lambda \sum_{i \neq j} w_{i,j} \ln E_{i,t+1}/E_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

$$\ln E_{i,t+1}/E_{i,t} = \alpha - b \ln E_{i,t} + \Psi X_{i,t} + u,$$

$$u = \lambda \sum_{i \neq j} w_{i,j} \ln E_{i,t+1}/E_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

式中, $E_{i,t}$, $X_{i,t}$ 同式(2)定义, λ 为空间误差系数, $w_{i,j}$ 为空间权重矩阵 W 中元素, $\varepsilon_{i,t}$ 是与地区和时期均无关的随机扰动项。本文在式(1)和(2)的基础上分别对式(6)和(7)加入了空间误差效应,空间误差模型意味着特定地区水足迹强度下降产生的随即冲击不但受各地区下降,由于误差空间相关的存在,该冲击效应扩散到整个系统,所有空间相邻地区均受不同程度影响。

2.3 数据来源

本文使用 1997—2010 年中国 31 个省市区(不包括台湾、香港、澳门)的数据来源于《中国统计年鉴》(1998—2011 年),《中国水资源公报》(1997—2010 年),《中国环境年鉴》(1998—2011 年)和各省统计年鉴等资料。部分地区缺失时期数据由相邻地区近似值或拟合预测值进行替代。

3 水足迹测算及水足迹强度的空间相关模式

3.1 水足迹的测算

本文对文献^[1,20]中的水足迹数据进行补充和修正,补充水污染足迹中生活污水中的化学需氧量(COD)和氨氮的污染足迹,修正缺失的 1997—2002 年生态用水量数据,增加 2010 年水足迹数据。在水足迹中农畜产品水足迹的比重最大,生态水足迹所占比重最小,污染水足迹、工业水足迹和生活水足迹在不同的省份所占比重不同。

3.2 中国省际水足迹强度的统计结果

根据水足迹总量除以国内生产总值(GDP)得到的水足迹强度是一个全新的反映水资源利用效率的指标,水足迹的强度越大,就表明单位 GDP 所消耗的水足迹的数量越多^[1]。参照文献^[1]中做法,本文的 GDP 是以 1990 年为基期计算转化的。中国各省市的水足迹强度在 1997—2010 年整体呈现出下降的趋势,且下降趋势很明显,说明中国水资源的利用效率在明显提高(图 1)。下面运用计量收敛模型对中国各省市水足迹强度是否存在收敛现象研究成为必然。

表 1 中国各地区 1997—2010 年平均水足迹

Table 1 The average water footprints of all regions from 1997 to 2010

省份 Provinces	水足迹 Water footprint /10 ⁸ m ³	污染水足迹 Polluted water footprint /10 ⁸ m ³	工业水足迹 Industrial water footprint /10 ⁸ m ³	农畜产品水足迹 Livestock products water footprint /10 ⁸ m ³	生态水足迹 Water ecological footprint /10 ⁸ m ³	生活水足迹 Life water footprint /10 ⁸ m ³
北京	171.4853	11.76168	38.05684	106.7304	1.452122	13.48429
天津	114.1509	12.3704	23.54348	73.00644	0.411406	4.819221
河北	445.833	54.59596	64.53515	302.4969	1.248644	22.95641
山西	216.2916	30.11451	24.8399	152.0469	0.495588	8.794707
内蒙古	183.8776	22.97581	24.72164	121.6009	3.405666	11.17364
辽宁	371.8458	52.23105	55.64552	239.825	1.333499	22.81071
吉林	191.3694	33.6028	24.26209	120.4006	1.379656	11.72429
黑龙江	290.7317	42.61035	37.71103	190.9658	1.730064	17.71441
上海	214.8026	25.65971	56.89512	112.0164	1.228711	19.00273
江苏	662.2665	67.57294	117.1861	424.9689	7.865054	44.67352
浙江	442.4794	48.08027	82.94227	269.4707	10.40096	31.58521
安徽	453.9803	36.90153	37.59875	356.6558	0.914272	21.90993
福建	327.374	28.97628	46.48578	231.0206	0.991209	19.9002
江西	366.0539	35.31319	27.10677	281.2949	1.484002	20.855
山东	666.9319	75.4739	116.3237	443.7363	2.022501	29.37556
河南	595.3782	62.4692	67.99333	429.4514	3.370764	32.09354
湖北	464.6994	53.15004	49.28818	333.5262	0.095217	28.63979
湖南	569.9667	64.69685	45.6092	416.5695	2.251956	40.83926
广东	883.9903	80.61005	133.5565	586.247	4.636262	78.94048
广西	491.565	77.93418	27.2405	344.9885	3.215853	38.186
海南	76.34333	7.302732	6.213742	57.12654	0.191745	5.508571
重庆	243.4802	21.07453	21.67521	185.475	0.296301	14.95914
四川	591.5606	68.28927	51.10177	439.5165	1.580872	31.07214
贵州	255.553	18.88502	13.13775	207.38	0.399889	15.75041
云南	326.3375	26.30622	23.6664	256.2684	1.20855	18.888
西藏	17.85563	1.483488	1.567764	12.68634	0.136738	1.991071
陕西	232.7867	27.07896	24.58638	168.6868	0.454449	11.98013
甘肃	178.8909	14.76037	12.57448	141.5507	1.378562	8.626771
青海	42.33742	4.418574	11.89088	22.81227	0.272502	2.9432
宁夏	46.36755	10.28622	3.978974	29.83583	0.599456	1.667071
新疆	163.1632	20.91738	16.82765	94.2338	18.38556	12.79884
全国	10299.75	1137.903	1288.763	7152.591	74.83803	645.6642

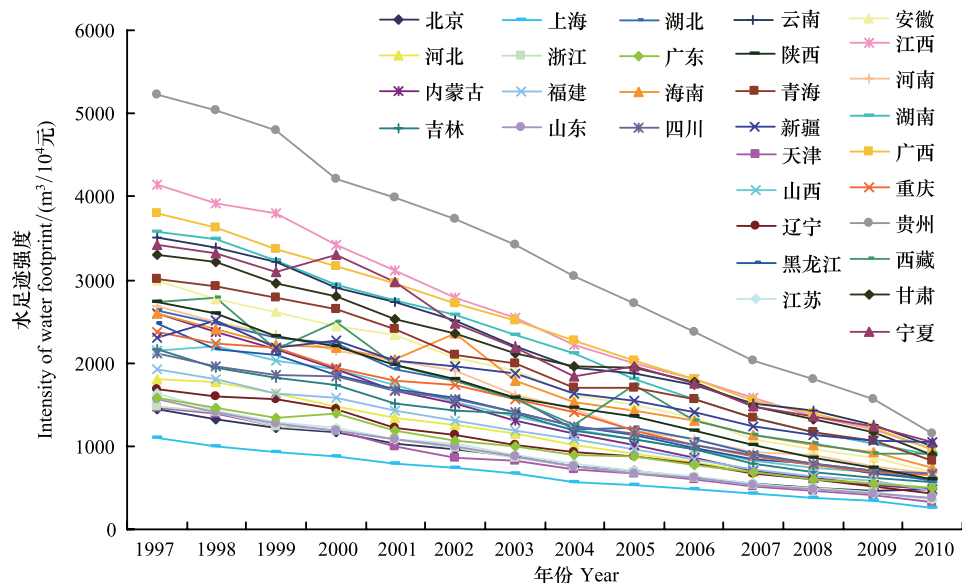


图 1 中国各省市 1997—2010 年水足迹强度变化

Fig.1 Water footprint intensity change of all provinces in China from 1997 to 2010

3.3 中国省际水足迹强度的空间自相关检验

为了正确设定模型,对中国省际水足迹强度分布模式检验是收敛分析的前提。全局 Moran's I 指数用来判断要素的属性分布是否有统计上显著的集聚或分散现象,是常用的空间自相关指数。根据文献^[1]中的公式(1)~(6),本文计算了水足迹强度的全局 Moran's I 指数。中国各省市水足迹强度明显具有正的空间集聚现象,且非常显著,这说明中国各省市的水足迹强度在空间分布上具有显著正的自相关关系,中国各省市的水足迹强度的空间分布表现出相似值之间的空间集聚,即具有较高的水足迹强

度地区相对地趋于和较高的水足迹强度地区靠近,较低的水足迹强度地区相对地趋于和较低的水足迹强度地区相邻。整体上全局 Moran's I 指数呈现波动上升趋势,从 1997 年的 0.0977 上升到 2010 年的 0.1585,说明发展过程中各省市水足迹强度集聚的强弱程度交替进行,并逐步加强(表 2)。因此在进行中国水足迹强度的研究中不能忽略客观存在的地理空间分布因素,应用空间计量分析方法在进行中国水足迹强度的收敛研究时可以考虑空间效应,即空间依赖性和异质性,运用空间计量收敛模型对中国水足迹强度的收敛性研究成为必然。

表 2 中国各省水足迹强度全局 Moran's I 指数
Table 2 The Moran's I of water footprint intensity in China

年份 Year	Moran's I	$Z(I)$	P	年份 Year	Moran's I	$Z(I)$	P
1997	0.0977	3.7226	0.0001	2004	0.1180	4.2978	0.0000
1998	0.1030	3.8738	0.0001	2005	0.1444	5.0465	0.0000
1999	0.0958	3.6692	0.0001	2006	0.1410	4.9509	0.0000
2000	0.1218	4.4064	0.0000	2007	0.1455	5.0763	0.0000
2001	0.1167	4.2614	0.0000	2008	0.1468	5.1151	0.0000
2002	0.1315	4.6812	0.0000	2009	0.1509	5.2309	0.0000
2003	0.1207	4.3745	0.0000	2010	0.1585	5.4440	0.0000

4 水足迹强度计量收敛分析

4.1 σ 收敛分析

中国水足迹强度的 σ 收敛是指随着时间的推移,各省市水足迹强度的标准差逐渐缩小,即各地区的水足迹强度差异越来越小。本文使用基尼系数和变异系数统计方法描述和刻画中国各省市水足迹强度 σ 收敛。中国各省市水足迹强度 1997—2006 年

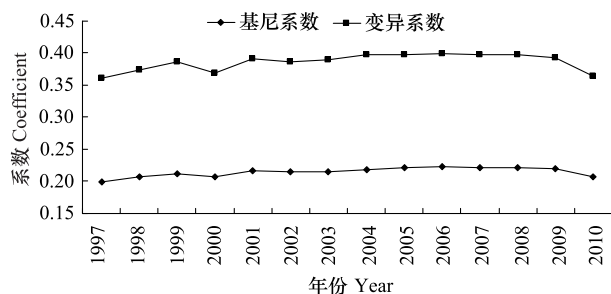


图 2 中国各省市 1997—2010 年水足迹强度基尼系数和变异系数变化

Fig.2 The Gini coefficient and variable coefficient of water footprint intensity change of all provinces in China from 1997 to 2010

基尼系数和变异系数在波动上升,2006 年以后逐渐下降,表现出一定程度的收敛趋势(图 2)。

4.2 计量收敛分析

通过 Moran's I 指数对中国水足迹强度的空间自相关检验,由表 2 可知存在正的空间自相关,进一步根据 LM 检验、稳健 LM 检验可以确定空间计量收敛模型的类型,即对空间滞后模型和空间误差模型的选择,本文得到两个检验都高度显著,空间滞后和空间误差效应同时存在,需要对两类模型进行分析;在 Eviews6.0 软件下,对式(1)和式(2)采用 Hausman 检验,结果表明固定效应模型优于随机效应模型,又通过 F 值检验固定效应模型的适用性,使用个体时点固定效应模型更有效;在 Matlab 空间计量工具箱下,通过 Hausman 检验可以确定本文空间计量收敛模型式(4)~(7)对固定效应和随机效应的选择,在绝对 β 收敛空间滞后效应和条件 β 收敛空间误差效应拒绝了原假设采用随机效应,而绝对 β 收敛空间误差效应和条件 β 收敛空间滞后效应没有拒绝了原假设采用随机效应,因此本文空间计量收敛模型分别对其采用固定效应和随机效应进行估计,如表 3。

表 3 检验结果
Table 3 Testing results

回归类型 Regression-type	绝对 β 收敛 Absolute β convergence		条件 β 收敛 Conditional β convergence	
	统计量 Statistic	P	统计量 Statistic	P
空间滞后模型 Hausman 检验	9.8362	0.0073	3.9193	0.8643
空间误差模型 Hausman 检验	4.0925	0.1292	33.4156	0.0001
LM-Lag 检验	268.6037	0.0000	205.8840	0.0000
稳健 LM-Lag 检验	1258.7023	0.0000	1543.4344	0.0000
LM-Err 检验	175.1810	0.0000	118.5800	0.0000
稳健 LM-Err 检验	1165.2795	0.0000	1456.1305	0.0000

通过使用 Eviews6.0 软件和 Matlab 空间计量工具箱,本文得到模型(1)、(2)、(4)~(7)的主要参数估计及检验的 p 值,如表 4。标准绝对 β 收敛和条件 β 收敛模型回归分析得到收敛速度为 0.4145 和 0.4472,表明在没有考虑空间效应情况下 1997—2010 年中国各省市水足迹强度存在绝对 β 收敛和条件 β 收敛,人均 GDP 在 5%显著水平上正向影响水足迹强度下降,工业水足迹强度在 5%显著水平上负

向影响水足迹强度下降。水足迹强度较高的地区下降趋势快于水足迹强度较低的地区,水足迹强度达到 1/2 收敛程度的时间约为 1.3a 和 1.2a,这个收敛速度极快,明显超越中国各省市水足迹强度 σ 收敛速度。从图 2 可知,各地区水足迹强度的地区差异 2006 年以后逐渐缩小,而不是地区差异急剧减小,这隐含着地理空间效应影响着水足迹强度的收敛模式。

表 4 模型回归结果
Table 4 Model regression results

回归结果 Regression result	标准绝对 β 收敛 Standard absolute β convergence	标准条件 β 收敛 Standard conditional β convergence	空间滞后模型 Spatial lag model		空间误差模型 Spatial error model	
			绝对 β 收敛 Absolute β convergence	条件 β 收敛 Conditional β convergence	绝对 β 收敛 Absolute β convergence	条件 β 收敛 Conditional β convergence
α	2.358361 (0.000000)	2.512457 (0.000000)	-0.120514 (0.001793)	-0.154519 (0.040845)	-0.129212 (0.001984)	-0.169216 (0.032051)
b	0.339333 (0.000000)	0.360584 (0.000000)	0.004166 (0.000000)	-0.016732 (0.094867)	-0.002463 (0.673069)	0.012445 (0.000013)
ρ			0.714997 (0.000000)	0.602987 (0.000000)		
λ					0.685789 (0.000000)	0.702995 (0.000000)
收敛速度 Convergence rate β	0.4145	0.4472	0.0042	发散	发散	0.0125
R^2	0.456861	0.478803	0.225600	0.251100	0.241800	-0.029200
调整 Adjusted R^2	0.391805	0.406456	0.112100	0.1679	0.001800	0.000300
似然比 Likelihood ratio	670.45	678.76	597.85	607.47	603.00	603.23
人均 GDP		0.016752 (0.024300)		0.004451 (0.385427)		-0.001555 (0.718129)
Per Capita GDP / 10^4 yuan						
人均水足迹		-0.000045 (0.169100)		-0.000045 (0.040949)		-0.000041 (0.060797)
Water footprint per capita/ m^3						
工业水足迹强度 Intensity of industrial water footprint / $m^3/10^4$ yuan		-0.000043 (0.019100)		0.000009 (0.152137)		0.000008 (0.178086)
教育经费比重 The proportion of education funds/%		0.268443 (0.167200)		-0.065951 (0.457892)		0.084656 (0.418096)
外商投资比重 The proportion of foreign investment/%		-0.001546 (0.842700)		0.006937 (0.129163)		0.004580 (0.309965)
市场化程度		0.033026 (0.745100)		0.051670 (0.416531)		0.020220 (0.767362)
Marketization process/%						

括号内为回归系数检验显著性水平值

通过空间自相关检验,可知中国各省市水足迹强度存在正的空间自相关,忽略空间效应的标准 β 收敛模型对中国各省市水足迹强度的收敛速度估计有所偏离。在加入了空间滞后效应下,从表2可知,存在显著的绝对 β 收敛,绝对 β 收敛达到1/2收敛程度的时间约为165.7年;而条件 β 收敛模型得到却是不显著发散的,这说明在空间滞后效应和6个条件(即为人均GDP、人均水足迹、工业水足迹强度、教育经费比重、外商直接投资、市场化程度)共同作用下,中国各省市水足迹强度是不显著发散的。在加入了空间误差效应下,从表2可知,存在显著的条件 β 收敛,达到1/2收敛程度的时间约为55a;而绝对 β 收敛模型得到却是不显著发散的,单纯加入空间误差效应导致水足迹强度不显著发散。

总体来说,在考虑了空间效应情况下,收敛时间明显延长。潘文卿^[23]对1978—2007年中国区域经济增长空间滞后绝对 β 收敛半生命周期分别为87.1a,而洪国志等^[24]对1990—2007年中国区域经济发展的空间滞后绝对 β 收敛半生命周期分别为56.5a,而本文为165.7a,相比经济增长中国各省市水足迹强度收敛需要更长的时间。

在标准条件 β 收敛模型中人均GDP和工业水足迹强度分别正向和负向显著影响水足迹强度的收敛,而在空间滞后模型和空间误差模型中的条件 β 收敛中只有人均水足迹负向显著影响水足迹强度的收敛,其它因素均不显著,这说明加入空间效应后人均水足迹因素直接影响中国水足迹强度的收敛,人均水足迹多的地区,水足迹强度下降的慢,从节约用水角度可以加快水足迹强度的收敛。

由以上分析可知水足迹强度的影响因素和地理因素是造成中国各省市水足迹强度收敛的关键因素。人均GDP、人均水足迹和工业水足迹强度影响因素不同程度影响着中国各省市水足迹强度收敛;空间滞后效应和空间误差效应抑制了各地区水足迹强度的收敛速度,这也说明缩小地区之间差异会加快水足迹强度收敛,综合提高水资源利用效率。

5 结论

通过本文研究,可以得到以下主要结论:

(1) 本文从消费角度计算了中国1997—2010年31个省市的水足迹,衡量各省市对水资源系统的真

实占用状况。本文在文献^[1,20]的基础上把生活污水所造成水污染的水足迹计算考虑在内,更全面的测算了各省市水污染足迹。

(2) 中国1997—2010年各省市水足迹强度逐年下降,水资源利用效率逐年提高;水足迹强度存在正的空间自相关模式,并且相关程度在逐年加强,水足迹强度高的地区相邻近,低的地区相邻近,并且这种集聚程度在增强;中国各省市水足迹强度表现出一定程度的 σ 收敛趋势,1997—2006年基尼系数和变异系数波动上升,而2006—2010年在逐步下降,各地区的水足迹强度差异在缩小。

(3) 通过对标准 β 收敛和加入空间效应的空间计量 β 收敛分析,可知水足迹强度较高的地区下降速度快于水足迹较低的地区,忽略空间效应的水足迹强度收敛速度极快,明显与中国各省市水足迹强度的 σ 收敛速度不符,不可能在短短两年不到的时间水足迹强度达到半生命周期水平;本文在标准 β 收敛模型中加入了空间滞后和空间误差效应,测度出的中国水足迹强度收敛速度要小于文献^[23-24]中关于中国区域经济收敛的速度,因此水足迹强度收敛时间比经济增长收敛时间漫长,也就是说中国经济落后地区追赶经济发达地区的速度快于水足迹强度高的地区下降到低的地区的速度。

(4) 人均GDP、人均水足迹和工业水足迹强度不同程度上影响到中国各省市水足迹强度的收敛速度,通过大力发展经济、节约用水和开发节水技术能加快中国水足迹强度收敛速度,使中国各省市水资源利用效率均衡可持续发展。因而,控制水足迹强度的地区差异可以具体实现方法如:第一,增强节水意识,如制定合理的用水量阶梯价格标准;第二,发展经济同时加大科研投入,并鼓励工业生产中使用节水减排设备;第三,各地区充分利用自身的水资源禀赋条件和水足迹强度差异进行合作,提高生活和生产用水效率,从而能保持中国水资源利用效率的提高和经济社会的可持续发展。

References:

- [1] Sun C Z, Chen S, Zhao L S. Spatial correlation pattern analysis of water footprint intensity based on ESDA model at provincial scale in China. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(4): 571-582.
- [2] Hoekstra A Y. The concept of 'virtual water' and its applicability in Lebanon // *Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. The Netherlands: IHE DELFT, 2003:

- 171-182.
- [3] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G, Gautam R. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 2006, 60(1): 186-203.
- [4] Gerbens-Leenes W, Hoekstra A Y. The water footprint of sweeteners and bio-ethanol. *Environment International*, 2011, 70: 749-758.
- [5] Ercin A E, Aldaya M M, Hoekstra A Y. Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of a sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management*, 2011, 25(2): 721-741.
- [6] Feng K S, Siu L Y, Guan D B, Hubacek K. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 691-701.
- [7] Bocchiola D, Nana E, Soncini A. Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agricultural Water Management*, 2013, 116: 50-61.
- [8] Jenerette G D, Wu W L, Goldsmith S, Marussich W A, Roach W J. Contrasting water footprints of cities in China and the United States. *Ecological Economics*, 2006, 57(3): 346-358.
- [9] Hubacek K, Guan D B, Barrett J, Wiedmann T. Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and Water Footprints. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(14): 1241-1248.
- [10] Xie H Y, Chen X S, Yang M Z, Zhao H Q, Zhao M C. The ecological footprint analysis of 1kg livestock product of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3264-3270.
- [11] Jia J, Yan Y, Wang C X, Liang Y J, Zhang Y J, Wu G, Liu Q L, Wang L H, Du C. The estimation and application of the water footprint in industrial processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6558-6565.
- [12] Tan X J, Zheng Q Y. Dynamic analysis and forecast of water resources ecological footprint in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3559-3568.
- [13] 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.
- [14] Wang H R, Liu X H, Dong Y Y, Wang J H. Analysis of China's water security and virtual water trade. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2006, 14(4): 18-23.
- [15] Wang H R, Wang J H. Virtual water content of livestock products in China. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(4): 609-615.
- [16] Huang J, Song Z W, Chen F. Characteristics of water footprint and agricultural water structure in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6546-6554.
- [17] Cai Z H, Shen L X, Liu J G, Zhao X. Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6481-6488.
- [18] Long A H, Xu Z M, Wang X H, Shang H Y. Impacts of population, affluence and technology on water footprint in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3358-3365.
- [19] Sun C Z, Liu Y Y, Chen L X, Zhang L. The spatial-temporal disparities of water footprints intensity based on Gini coefficient and Theil index in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1312-1321.
- [20] Sun C Z, Zhao L S. Water resources utilization environmental efficiency measurement and its spatial correlation characteristics analysis under the environmental regulation background. *Economic Geography*, 2013, 33(2): 26-32.
- [21] Barro R J, Sala-i-Martin X. Convergence. *Journal of Political Economy*, 1992, 100(2): 223-250.
- [22] Sala-i-Martin X. The classical approach to convergence analysis. *The Economy Journal*, 1996, 106(437): 1019-1036.
- [23] Pan W Q. The economic disparity between different regions of China and its reduction-An analysis from the geographical perspective. *Social Sciences in China*, 2010, (1): 72-84.
- [24] Hong G Z, Hu H Y, Li X. Analysis of regional growth convergence with spatial econometrics in China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1548-1558.
- [25] Yu H Y. Impact factors and spatial correlation of China's provincial energy intensity. *Resources Science*, 2011, 33(7): 1353-1365.
- [26] Qi S Z, Luo W. Regional economic growth and differences of energy intensity in China. *Economic Research Journal*, 2007, (7): 74-81.
- [27] Anselin L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [28] Baltagi B H. *Econometric Analysis of Panel Data*. 3rd ed. New York: Wiley, 2005.

参考文献:

- [1] 孙才志, 陈栓, 赵良仕. 基于 ESDA 的中国省际水足迹强度的空间关联格局分析. *自然资源学报*, 2013, 28(4): 571-582.
- [10] 谢鸿宇, 陈贤生, 杨木壮, 招华庆, 赵美婵. 中国单位畜牧产品生态足迹分析. *生态学报*, 2009, 29(6): 3264-3270.
- [11] 贾佳, 严岩, 王辰星, 梁玉静, 张亚君, 吴钢, 刘馨磊, 王丽华, 杜冲. 工业水足迹评价与应用. *生态学报*, 2012, 32(20): 6558-6565.
- [12] 谭秀娟, 郑钦玉. 我国水资源生态足迹分析与预测. *生态学报*, 2009, 29(7): 3559-3568.
- [13] 焦雯璐, 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.
- [15] 王红瑞, 王军红. 中国畜产品的虚拟水含量. *环境科学*, 2006, 27(4): 609-615.
- [16] 黄晶, 宋振伟, 陈阜. 北京市水足迹及农业用水结构变化特征. *生态学报*, 2010, 30(23): 6546-6554.
- [17] 蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 赵旭. 基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究. *生态学报*, 2012, 32(20): 6481-6488.
- [18] 龙爱华, 徐中民, 王新华, 尚海洋. 人口、富裕及技术对 2000 年中国水足迹的影响. *生态学报*, 2006, 26(10): 3358-3365.
- [19] 孙才志, 刘玉玉, 陈丽新, 张蕾. 基于基尼系数和锡尔指数的中国水足迹强度时空差异变化格局. *生态学报*, 2010, 30(5): 1312-1321.
- [20] 孙才志, 赵良仕. 环境规制下的中国水资源利用环境技术效率测度及空间关联特征分析. *经济地理*, 2013, 33(2): 26-32.
- [23] 潘文卿. 中国区域经济发展差异与收敛. *中国社会科学*, 2010, (1): 72-84.
- [24] 洪国志, 胡华颖, 李郁. 中国区域经济发展收敛的空间计量分析. *地理学报*, 2010, 65(12): 1548-1558.
- [25] 余华义. 中国省际能耗强度的影响因素及其空间关联性研究. *资源科学*, 2011, 33(7): 1353-1365.
- [26] 齐绍洲, 罗威. 中国地区经济增长与能源消费强度差异分析. *经济研究*, 2007, (7): 74-81.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.5 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advance in the study on drought index LI Bozhen, ZHOU Guangsheng (1043)
- State-of-the-art review of the impact of climatic change on bioavailability of mineral elements in crops
..... LI Longqing, WU Zhengyun, ZHANG Qiang, et al (1053)
- Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect-host interactions in forest ecosystem
..... ZENG Fanyong, SUN Zhiqiang (1061)
- Approach of nematode fauna analysis indicate the structure and function of soil food web
..... CHEN Yunfeng, HAN Xuemei, LI Yufei, et al (1072)
- A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China
..... ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng (1085)
- Pattern dynamics of vegetation coverage of Plateau Valley-City in the Western China; a case study in Xining
..... GAO Yun, XIE Miaomiao, FU Meichen, et al (1094)
- Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon; a case study in the
hilly and gully area of Northern Shaanxi Province ZHAO Mingyue, ZHAO Wenwu, ZHONG Lina (1105)
- Effects of *Eisenia foetida* and *Amyntas morrisi* on the chemical and biological properties of soil amended with the paper mill
sludge CHEN Xufei, ZHANG Chi, DAI Jun, et al (1114)

Autecology & Fundamentals

- Regulation of potassium supply and signal inhibitors on acetate effluxes by ectomycorrhizal fungi
..... YANG Hongjun, LI Yong, YUAN Ling, et al (1126)
- Arsenic induces guard cell death in leaf epidermis of *Vicia faba* XUE Meizhao, YI Huilan (1134)
- Identification and characteristics of phenol degrading bacteria ad049 screened from oil contaminated soil
..... HU Ting, GU Jie, ZHEN Lisha, YANG Jiu, et al (1140)
- Physiological response of *Medicago sativa* L. to copper stress by FTIR spectroscopy
..... FU Chuan, YU Shunhui, HUANG Yimin, et al (1149)
- Effects of sowing date on 2-acetyl-1-pyrroline content and yield of late season aromatic rice
..... YANG Xiaojuan, TANG Xiangru, WEN Xiangcheng, et al (1156)
- Effects of exogenous calcium (Ca) on tolerance of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. to cadmium (Cd) stress
..... WANG Qiaoling, ZOU Jinhua, LIU Donghua, et al (1165)
- The study of *Vitex negundo* shrubs canopy biomass inversion in Beijing Jundu mountainous area based on vegetation indices
..... GAO Mingliang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1178)
- Comparison study of sulfur dioxide resistance of three warm-season turf grasses LI Xi, WANG Lihua, LIU Wei, et al (1189)
- Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China ...
..... XIA Pengliang, WANG Rui, WANG Changjun, et al (1198)
- Patterns of seed predation and removal of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) by rodents
..... ZHANG Jinghong, LIU Bingwan (1205)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant
plants and soil in alpine meadow LI Qianqian, ZHAO Xu, GUO Zhenggang (1212)

- Overcompensation and competitive effects of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* after low temperature and light stresses XIE Xiaoling, ZHOU Rong, DENG Zifa (1224)

Population, Community and Ecosystem

- The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, et al (1235)
- Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay ZHUO Yi, CAI Lizhe, GUO Tao, et al (1244)
- The influence of variables at different scales on stream benthic macroinvertebrates in Luanhe River Basin ZHANG Haiping, WU Dayong, WANG Zhaoming, et al (1253)
- Relationships between environmental variables and seasonal succession in phytoplankton functional groups in the Hulan River Wetland LU Xinxin, LIU Yan, FAN Yawen (1264)
- Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi Province, China LI Jia, LI Yankuo, MIAO Lujun, et al (1274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation GUO Ziliang, CUI Guofa (1284)
- Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years MIAO Lijuan, JIANG Chong, HE Bin, et al (1295)
- Impact analysis of human activities and climate change on Honghu lake's spring drought LIU Kequn, LIANG Yitong, ZHOU Jinlian, et al (1302)
- Lakes evolution of central Wuhan during 2000 to 2010 DAN Yongli, WANG Hongzhi, ZHANG Huan, et al (1311)

Resource and Industrial Ecology

- The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region ... LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, et al (1318)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,280 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

本期责任副主编 象伟宁

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 34 卷 第 5 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 5 (March, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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 90.00 元