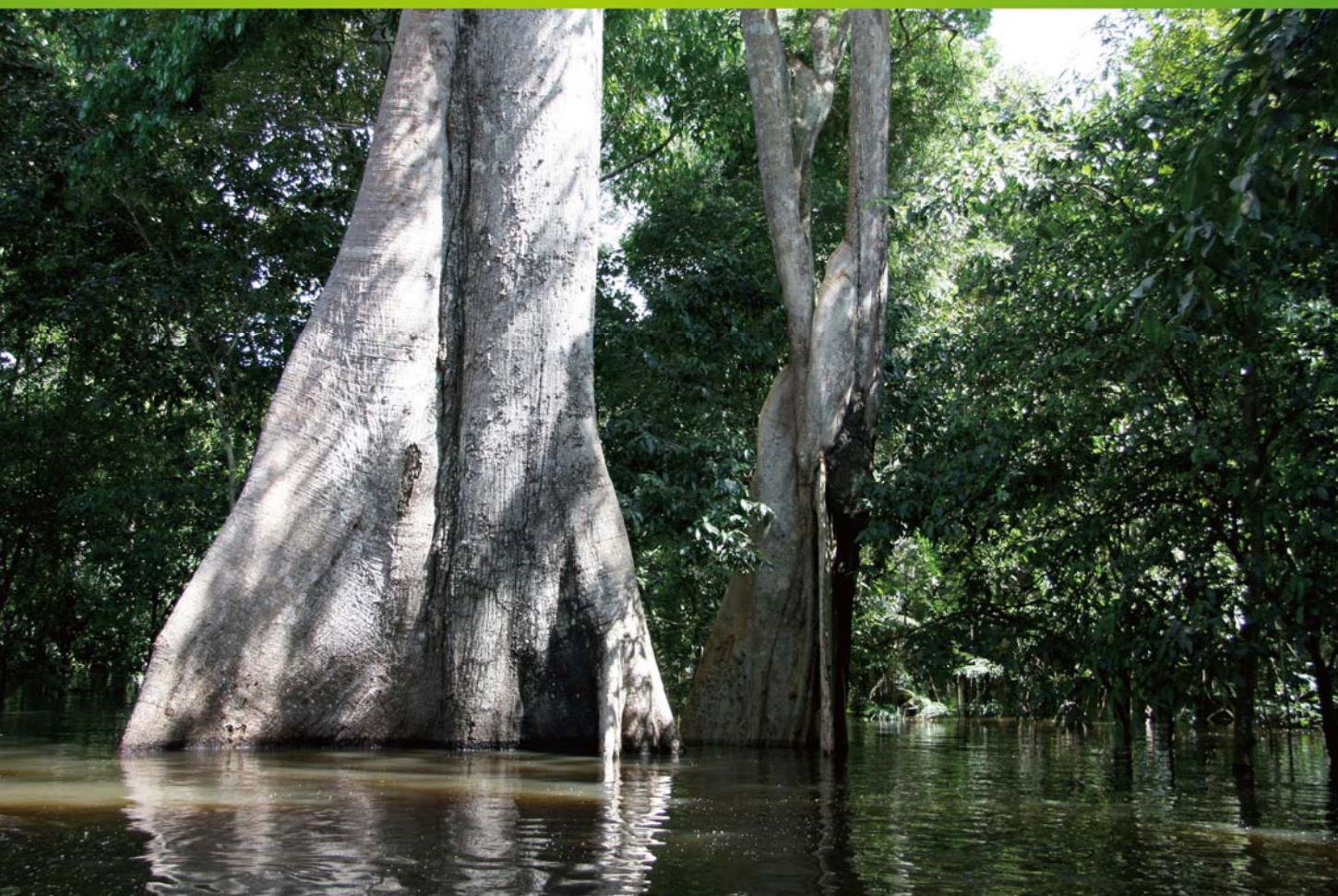


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

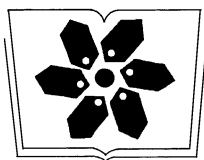
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 8 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系·····	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例·····	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响·····	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响·····	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应·····	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸·····	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响·····	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响·····	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性·····	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策·····	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响·····	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略·····	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布·····	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究·····	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性·····	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi-PLS 分析及其发展对策·····	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析·····	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响·····	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性·····	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化·····	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
桉树人工林物种多样性变化特征·····	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价·····	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用·····	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化·····	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较·····	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析·····	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益·····	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性·····	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展·····	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展·····	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性·····	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响·····	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供:中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail:xuweihua@rcees.ac.cn

河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策

贾俊松

(中国科学院科技政策与管理科学研究所能源与环境政策研究中心, 北京 100190)

摘要:生态足迹是用来评估可持续发展的指标之一,已经获得了广泛的关注。弄清楚生态足迹增长的重要驱动因素可以帮助我们设计出科学合理的区域可持续发展对策。目前,大多研究侧重在单方面或数个方面的驱动因素,将所有可能的驱动因素综合起来一块进行考虑的研究仍较少,并且,大多数的研究仍然是采用一些常规、普通的方法。基于此,递阶偏最小二乘(Hi_PLS)模型被引入用于该主题的研究,并且,经典偏最小二乘(PLS)模型也被运用以便获得结果供对照比较。具体实证过程中采集了1952—2006年我国河南省的社会、经济、人口及资源等方面共28个指标的数据。结果表明:①与经典PLS模型相比,Hi_PLS用于该主题的研究更加有效,结果解释起来也更加方便具体;②河南生态足迹增长的重要驱动因素按重要性大小可排序为:运输活动、人口增长活动、经济活动、教育活动、医疗活动、邮电活动及投资活动,其中,前4大驱动因素的重要性又明显大于后3种驱动因素。不重要的驱动因素则来自于反映农业资源条件的农作物总播种面积指标。据此,提出了以下几点区域可持续发展对策:①注重提高运输效率,减少不必要和无效率的运输,如采用最节能降耗及最洁净的运输工具;②仍然必须严格控制人口数量的增长,坚持把计划生育定为基本国策并切实的贯彻执行;③积极调整经济增长方式,加快产业结构转型,尤其是促进高新技术产业的快速发展。

关键词:生态足迹;递阶偏最小二乘;驱动因素;河南

Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy

JIA Junsong

Center for Energy & Environmental Policy, Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: Ecological footprint (EF), as one of the sustainable development indicators, has received much attention. To find out the main driving factors of EF can help us design the scientific and rational countermeasures for regional sustainable development. At the present time, most methods in the studies selected single or several indicators, and few research comprehensively considered almost all the driving factors together. Another, most studies had still used some familiar or common methods. In this paper, a new method Hierarchical Partial Least Squares model (Hi_PLS), which roots from the classical Partial Least Squares model (PLS), was introduced to go on studying EF's drivers in detailed. Henan Province was taken as an example for the specific case study because it has the largest population and typical significance in China. The related social, economic, population and resources, etc. data (totally 28 indicators) from Henan Province during 1952—2006 were collected in the computing process. The results showed: firstly, compared with the classical PLS, the Hi_PLS was more effective and convenient, and clear to explain the results; secondly, the non-important driving factor of Henan Province's EF was the total sown area of farm crops, which was the behalf of Henan Province's agricultural resource status to some extent. All the other factors can be considered as the important driving factors, and they can be sorted as the following according to their importance: (1) transportation activities, (2) population growth, (3) economy activities, (4) education activities, (5) medical activities, (6) post activities and (7) investment activities. Moreover, the importance of

基金项目:国家自然科学基金项目(41001383);中国博士后科学基金面上项目(20090460533);中国科学院王宽诚博士后人才奖励基金项目(2010)

收稿日期:2010-04-11; 修订日期:2010-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaaniu@126.com.

the anterior four driving factors was significantly greater than that of the latter three ones. Thus, the first four could be grouped as the most important cores of driving factors. Based on this point, some specific countermeasures for Henan Province's sustainable development could be put forward as following. First, transportation activities were the most important driving factors of its EF. In the future, transportation efficiency should be improved and technological strength be enhanced, which including reducing unnecessary and inefficient transportation activities, such as passenger and cargo transport, and using the cleanest and most low-carbon transportation tools, etc. Second, population growth was the second of most important driving factors. In the next years, the rate of population growth must still be strictly controlled. The family planning policy should still be fixed as the basic state policy and be implemented without any exception. Third, the economic development activities in Henan Province coming from industries were the third most important driving factors of its EF. Thus, the fact indicated the economic growth efficiency in Henan Province should be enhanced. For example, the economic growth way or industry structure should be actively adjusted so that some high-tech, low-pollution and low-discharge industries could obtain rapid development. Last, education activities were the fourth important driving factors of Henan Province's EF. But education activities' increase could be considered as the result of population growth. Besides, the importance of the latter three driving factors was obviously smaller than that of the first four ones. Thus, no policy suggestion be put forward from education activities and the latter three factors.

Key Words: ecological footprint; Hi_PLS; driving factors; Henan

为对可持续发展进行定量评估而提出的生态足迹(Ecological Footprint, EF)方法是众多评估方法中的一种^[1]。由于理论的新颖性、概念的形象性、很强的可操作性及教育性等优点,其很快得到有关国际机构、政府部门及广大学者的关注^[2]。该方法是由加拿大生态经济学家 Rees 于 1992 年首先提出,后来由其博士生 Wackernagel 协助完善发展而形成^[2-3]。它的实质是一种资源核算的工具,用它首先可以测量某一个给定区域的人口及其活动所消耗的总生物生产性土地或水域面积,然后,将这些生物生产性面积与该区域在当前的技术和资源管理措施条件下实际可获得的总生物生产性土地或水域面积进行比较,从而得出给定区域的可持续发展状况^[1-2,4]。

给定区域的 EF 必然是由其人口数量、富裕程度、技术水平及资源条件等多种要素共同驱动的一个综合结果。那么,在这些驱动要素中,哪些是最主要的,哪些是不太重要的呢? 杨勇^[5]、方建德^[6]与温敏霞^[7]采用相关分析、主成分分析及多元线性回归等方法分析了人均 GDP、固定资产投资、第三产业比重等 7 个社会经济变量对 EF 的驱动作用;杨继松^[8]采用因素分解模型分析了经济发展、能源结构及人口规模等要素对 EF 的驱动作用;周敬宣^[9]与李湘梅^[10]采用集对分析方法分析了人口数量、经济发展等对 EF 的驱动作用;此外,徐中民^[11]采用 IPAT 模型,吴开亚^[12]及陈成忠^[13]采用经典偏最小二乘模型(Partial Least Squares, PLS),陈成忠^[14]还结合经验模态分解模型及因子分析法分析了人口数量、经济发展等对 EF 的驱动作用。不过,上述这些研究往往侧重于单方面或者几个方面的驱动因素对 EF 的驱动作用,把所有可能的驱动要素综合起来一块进行考虑的研究仍较少。

本研究正是为了弥补这一不足之处而开展的,其目的和意义在于:首先,提出了采用化学计量学中常用的一种方法——递阶偏最小二乘模型(Hierarchical Partial Least Squares, Hi_PLS)进行生态足迹主要驱动因素识别的研究。这种 Hi_PLS 模型可以把所用可能的驱动要素全部综合起来一块进行考虑,并且根据模型运算的结果,可以很快区分出哪些是最主要和最不主要的驱动因素,而这一方法在以往的生态足迹驱动因素研究中较少见。其次,以河南省为例,根据模型的运算结果,本文还将结合具体的实际情况,深入分析并探讨出减缓该区域生态足迹增长、促进其可持续发展的管理对策和建议,以供决策者参考。

1 研究假设

假定的各个驱动因素变量所属的 Hi_PLS 模型子块编号、名称、反映出来的具体内涵、缩写及其单位如表

1 所示。

表 1 各驱动因素变量及其具体内涵与所属子块

Table 1 Variable's abbreviation, specific connotation and corresponding sub-blocks of the driving factors				
块号与名称 Num. & Name	内涵 Connotation	指标变量 Indicators' variables	缩写 Abbrev.	单位 Unit
1. 医疗卫生	反映我国在一定时期内的 医疗卫生水平	各类卫生机构数	WSJG	个
		各类卫生机构床位数	WSCW	10 ⁴ 张
		各类卫生机构医生数	WSYS	10 ⁴ 人
		每万人床位数	WSCWW	张
		每万人医生数	WSYSW	人
2. 高等教育	反映我国在一定时期内的高等 教育水平	普通高等学校在校生数	JYXS	10 ⁴ 人
		普通高等学校专任教师数	JYLS	人
		普通高等学校师生比	JYSSB	%
3. 邮电业务	反映我国在一定时期内的邮电 业务水平	历年邮电业务量	YD	10 ⁴ 元
		历年邮电业务量二次方	YD2	10 ⁴ 元
4. 运输系统	反映我国在一定时期内的运输 系统水平	历年民用汽车量	YSQC	10 ⁴ 辆
		历年货物周转量	YSHWZ	10 ⁶ Ton·km
		历年旅客周转量	YSLVZ	10 ⁶ 人·km
		历年运输铁路线路长度	YSTL	km
		历年运输公路线路长度	YSGL	km
5. 农业资源	反映我国在一定时期内的农业 资源条件	历年农作物总播种面积	ZRNZM	10 ³ hm ²
		历年农作物总播种面积二次方	ZRNZM2	10 ³ hm ²
6. 固定资产投资	反映我国在一定时期内的固定 投资情况	全社会固定资产投资	TZ	10 ⁸ 元
		全社会固定资产投资二次方	TZ2	10 ⁸ 元
7. 经济状况	反映我国在一定时期内的经济 及结构状况	历年国民总收入	GDP	10 ⁸ 元
		历年国民第一产业收入	GDP1	10 ⁸ 元
		历年国民第二产业收入	GDP2	10 ⁸ 元
		历年国民第三产业收入	GDP3	10 ⁸ 元
		历年国民非服务业收入占比	GDPFB	%
8. 人口状况	反映我国在一定时期内 人口状况	历年国民年底总人口	POPT	10 ⁸ 人
		历年国民城镇总人口	POPU	10 ⁸ 人
		历年国民乡村总人口	POPR	10 ⁸ 人
		历年城市化率	URBAN	%

说明：指标系统设计按照统计年鉴本身分类进行，二级指标根据数据的完整性和统一性选取；缩写命名规则为：①WS 表医疗卫生组块，该组块中，紧接它们的两字母为其对应二级指标中文拼音首字母，每万人用字母 W 表示且放置在缩写末尾；②JY 表高等教育组块，教师用 LS 表示；③JY 表高等教育组块，其后 2 表二次方；④JS 表运输系统组块，QC 表民用汽车，HWZ 表货物周转量，LVZ 表旅客周转量，T 表铁路，G 表公路，L 表长度；⑤ZR 表农业资源组块，NZM 表农作物总播种面积；⑥TZ 表固定资产投资组块；⑦GDP 表经济状况组块，其后数字表产业类型，FB 表非服务业；⑧POP 表人口状况组块，T、U 及 R 分别表总、城镇与乡村，URBAN 表城市化率

2 数据与方法

2.1 数据来源

被本文采用到的河南省 1952—2006 年间的数 据按其来源可分为以下两类：

(1)生态足迹数据来自于文献^[15]网络版的附录文档；

(2)各主要驱动因素变量数据则来自于河南省历年统计年鉴及新中国 55a 统计资料汇编之河南篇^[16-17]，其中，河南 1966—1970 年的历年高等学校在校生数和历年高等学校专任教师数的数据缺失，本文通过先求 1965—1971 年间的年平均增长率，再分别按照逐年均匀增长的方式折算出 1966—1970 年的数据。另外，历年邮电业务量、历年农作物总播种面积及全社会固定资产投资 3 个变量分别采用了它们的二次方，二次方的

处理方法见文献^[11]。采用二次方变量的原因是这 3 个变量分别对 EF 求 PLS 回归无法获得有效结果,即无法识别,取二次方后才能得出有效结果。

2.2 方法说明

2.2.1 经典 PLS 模型

本文采用的 Hi_PLS 模型是在经典 PLS 模型的基础上进行改进而形成的^[18]。1966—1973 年, Wold 发表的一些文章中曾涉及到 PLS 的基本思想, 1983 才正式提出了 PLS 这个名称。该方法初期主要集中在实验科学(如, 化学计量学)等应用领域, 后期应用领域不断扩展。PLS 主要运算步骤如下^[18-20]:

(1) 将应变变量 Y 及自变量 X 两组的数据进行标准化, 并分别记为 F_0 和 E_0 ;

(2) 从 F_0 和 E_0 中提取出第一对 PLS 主成分 $u_1(u_1 = F_0 c_1, \|c_1\| = 1)$ 和 $t_1(t_1 = E_0 w_1, \|w_1\| = 1)$, 使得它们之间的协相关关系达到最大, 即满足如下目标式(1)和约束式(2):

$$\max_{w_1, c_1} \langle E_0 w_1, F_0 c_1 \rangle \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} w_1' w_1 = 1 \\ c_1' c_1 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

(3) 第一对 PLS 主成分被提取之后, 实施应变变量 Y 对 t_1 及自变量 X 对 t_1 的回归, 检验回归精度是否已经满意, 精度检验如式(3):

$$Q_h^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^q \text{PRESS}_{hk}}{\sum_{k=1}^q \text{SS}_{(h-1)k}} = 1 - \frac{\text{PRESS}_h}{\text{SS}_{(h-1)}} \quad (3)$$

式中, Q_h^2 称为交叉有效性, PRESS_h 称为 Y 的预测误差平方和, SS_{h-1} 称为 Y 的误差平方和。当 $Q_h^2 \geq 0.0975$, 表明增加提取下一对 PLS 主成分对提高精度有显著意义, 故需要继续下一轮提取, 反之, 计算终止, 输出最后结果。

需要说明的一个辅助分析技术是自变量 x_j (p 个 x_j 组成自变量集合 X) 在解释因变量集合 Y 的作用时, PLS 用变量投影重要性指标 VIP_j (variable importance in projection) 来表示, 其公式为:

$$\text{VIP}_j = \sqrt{\frac{P}{\text{Rd}(Y; t_1, \Lambda, t_m)} \sum_{h=1}^m \text{Rd}(Y; t_h) w_{hj}^2} \quad (4)$$

式中, p 为自变量个数, m 为提取的 PLS 主成分对数; w_{hj} 为 w_h 的第 j 个分量, 它用来测量自变量 x_j 对构造主成分轴 t_h 的边际贡献。 $\text{Rd}(Y; t_h)$ 表示轴 t_h 对 Y 的解释能力, $\text{Rd}(Y; t_1, \Lambda, t_m)$ 则表示轴 $t_1, t_2, \dots, t_h$ 对 Y 的累计解释能力。由于 x_j 对 Y 的解释是通过 t_h 来传递的, 故如果 x_j 在构造 t_h 时起到了相当重要的作用 (w_{hj} 越大), 而 t_h 又对 Y 的解释能力很强 ($\text{Rd}(Y; t_h)$ 越大), 则 x_j 对 Y 的解释能力就最大 (VIP_j 越大)。一般地, 把 VIP 值大于 1 的认为是重要的驱动因素, VIP 值在 0.8—1 之间的因素认为是不太重要驱动因素, VIP 值在 0.8 以下认为是最不重要驱动因素^[12, 18]。

2.2.2 Hi_PLS 模型

经典 PLS 模型存在一些不足之处, 如在分析含有较多自变量的问题时, 模型不能对它们进行筛选和识别且所得的结果不容易被解释。Hi_PLS 则刚好是为了克服这个缺陷而提出来的。它允许人们首先在众多的自变量中, 对相似的变量指标进行分组区划并分别构成各个自变量小组, 再依次执行回归, 这样就完成了对自变量的初步筛选和识别, 不但大大地简化了回归过程, 而且所得的结果解释起来更加容易、合理和客观。

因而, 可以看出这种 Hi_PLS 模型特别适用于解决具有海量自变量数据的回归建模问题^[19]。具体地, 该模型的基本步骤为^[20]:

(1) 首先将自变量集合划分为若干子块 $X_1, X_2, \dots, X_p$, 使得在每一子块中的变量均具有相同或相似的含义;

(2) 接着分别建立每一个子块与因变量 Y 的偏最小二乘 PLS 回归模型(称为底层模型 Base Model, 见图

1 中虚线部分),进行求解并提取出这些底层模型的偏最小二乘主成分($t_{11}, t_{12}, \Lambda, t_{1m_1}; t_{21}, t_{22}, \Lambda, t_{2m_2}; \Lambda; t_{p1}, t_{p2}, \Lambda, t_{pm_p}$);

(3) 然后将从底层模型中提取出来的偏最小二乘主成分作为自变量,原来的因变量仍为因变量构建一个整体的偏最小二乘回归模型(称为顶层模型 Top Model,见图 1 中实线部分)。

(4) 最后执行整体模型的回归,提取出顶层 PLS 主成分($t_{Top,1}, t_{Top,2}, \Lambda, t_{Top,m}$)并进行结果解释。建模示意图见图 1^[20]。

本文中因变量集 Y 为中国河南省域的生态足迹数据,反映我国在一定时期内的医疗、教育、经济及人口状况等 28 个指标则组成自变量集 X ,两者共同构建了研究所用的分析数据库。具体分析过程中,先将自变量集 X 划分成为医疗卫生、高等教育、邮电业务、运输系统、农业资源、固定资产投资、经济状况和人口状况 8 个子块(表 1),构建 8 个底层模型,分别执行各个子块对 Y 的 PLS 回归,提取出相应的子块 PLS 主成分;然后,把这些子块的 PLS 主成分作为自变量,构建了 1 个总体的顶层模型,执行总体的 PLS 回归,得出最终结果(图 1)。

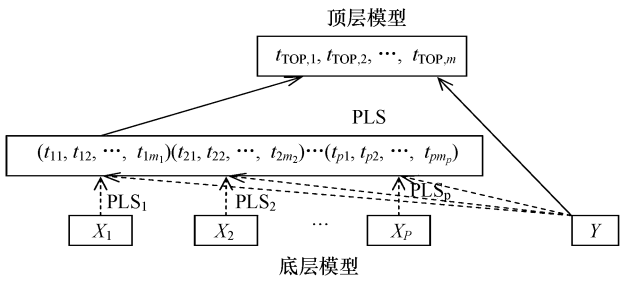


图 1 递阶偏最小二乘 Hi_PLS 建模示意图
Fig. 1 Drawing of structuring Hierarchical Partial Least Squares Model

3 结果与分析

3.1 结果

Hi_PLS 模型回归的结果如表 2 中的模型 1 至模型 9 所示,根据其中顶层的模型(模型 9)的解释 Y 能力指标值(R^2Y)可知,该结果是十分理想的(R^2Y 值为 0.9902>0.987,0.987 为所有底层的模型 1 至模型 8 中解释 Y 能力 R^2Y 指标值的最大值),这一理想结果的效果图也可直接从图 2 看出。

表 2 河南生态足迹驱动因素 Hi_PLS 模型回归的结果			
Table 2 Regression result of Henan EF's driving factors by Hi_PLS Model			
编号 Num.	类型 Type	解释 X 能力 R^2X	解释 Y 能力 R^2Y
模型 1	底层 PLS	0.937	0.925
模型 2	底层 PLS	0.984	0.893
模型 3	底层 PLS	0.948	0.692
模型 4	底层 PLS	0.909	0.986
模型 5	底层 PLS	0.578	0.167
模型 6	底层 PLS	0.867	0.676
模型 7	底层 PLS	0.898	0.936
模型 8	底层 PLS	1	0.987
模型 9	顶层 PLS	0.710	0.990
模型 10	经典 PLS	0.667	0.986

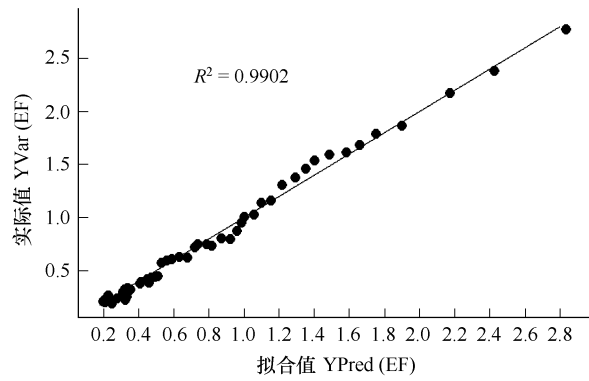
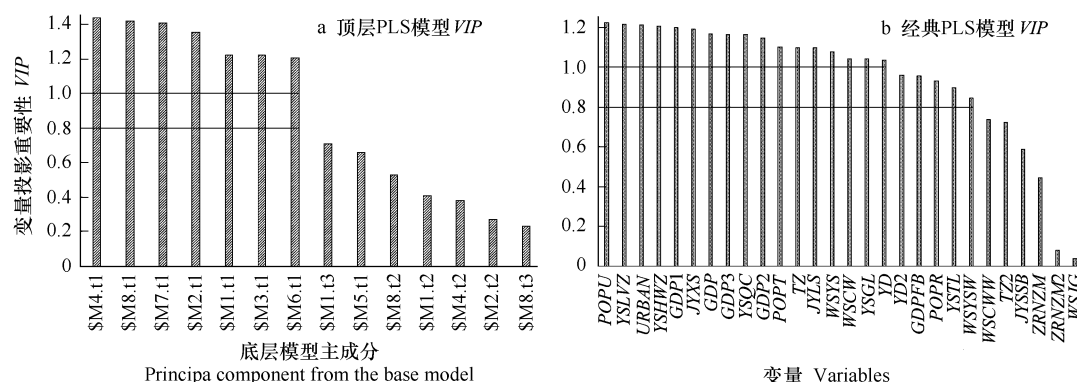


图 2 河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 拟合效果
Fig. 2 Regression effect of Henan EF's driving factors by Hi_PLS Model

3.2 分析

为进行对照分析,本文还将 Hi_PLS 模型得出的结果与仅用经典 PLS 模型回归的结果进行比较。经典 PLS 模型的结果如表 1 中的模型 10 所示,从中可以看出,与经典 PLS 模型相比,采用 Hi_PLS 的结果更好。这不仅体现在回归效果的指标值 R^2Y 上(Hi_PLS 模型的 R^2Y 值为 0.9902>0.986,0.986 为经典 PLS 模型的 R^2Y 值),还体现在解释 X 能力的指标值 R^2X 上(Hi_PLS 模型的 R^2X 值为 0.710>0.667,0.667 为经典 PLS 模型的 R^2X 值)。

此外,与经典 PLS 模型相比,Hi_PLS 模型的优越性还体现在结果解释的方便性上。图 3 表示了 Hi_PLS 模型顶层 VIP 图(图 3a)与经典 PLS 模型 VIP 图(图 3b)的对比情况。



*说明: \$表示采用了Hi_PLS模型, M表示表1中的8大模块, M之后的数字表示模块的编号, t表示底层提取出来的PLS主成分, t之后的数字表示底层PLS主成分对数的序号。

图3 河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 模型顶层 VIP 图与经典 PLS 模型 VIP 图对比

Fig. 3 Comparison of the top Hi_PLS model's VIP graph and the classical PLS model's VIP graph of Henan EF's driving factors

\$表示采用了Hi_PLS模型, M表示表1中的8大模块, M之后的数字表示模块的编号, t表示底层提取出来的PLS主成分, t之后的数字表示底层PLS主成分对数的序号

从经典 PLS 模型 VIP 图(图 3b), 仅仅可以看出: 这些驱动因素的重要性大小依次为: POPU、YSLVZ、URBAN、YSHWZ、GDP1、JYXS、GDP、GDP3、YSQC、GDP2、POPT、TZ、JYLS、WSYS、WSCW、YSGL、YD、YD2、GDPFB、POPR、YSTL、WSYSW、WSCWW、TZ2、JYSSB、ZRNZM、ZRNZM2 及 WSJG。更加具体的一些结果如下:

(1) 首先, 对河南生态足迹增加最不重要的驱动因素为卫生机构个数 WSJG, 因它对应的 VIP 值极小 (<0.1 , 图 3b)。

(2) 其次, 对河南生态足迹不重要的驱动因素为历年农作物总播种面积 ZRNZM 及其二次方 ZRNZM2。它们反映了我国过去农业资源条件对 EF 增长的影响, 由于它们对应的 VIP 值处于 0.5 左右 (<0.8 , 图 3b), 故其驱动作用也是不重要的。

(3) 第三, 对河南生态足迹不重要的驱动因素还有普通高等学校师生比 JYSSB、全社会固定资产投资二次方 TZ2 和每万人床位数 WSCWW, 因它们的 VIP 值略大于 0.5, 但小于 0.8 (图 3b)。

(4) 第四, 对河南生态足迹不太重要的驱动因素有历年邮电业务量二次方 YD2、历年国民非服务业收入占比 GDPFB、历年国民乡村总人口 POPR、历年运输铁路线路长度 YSTL 及每万人医生数 WSYSW 这 5 个变量, 因为他们的 VIP 值界于 0.8—1 之间。

(5) 第五, 剩下的均是 EF 增长的重要驱动因素, 可以将它们分为以下几类指标 (图 3b): ①人口方面, 有 POPU、URBAN 及 POPT; ②经济方面, 有 GDP1、GDP、GDP3 及 GDP2; ③运输方面, 有 YSLVZ、YSHWZ、YSQC 及 YSGL; ④投资方面, 有 TZ; ⑤文教方面, 有 JYXS 及 JYLS; ⑥卫生方面, 有 WSYS 及 WSCW; ⑦邮电方面, 有 YD。至此, 根据经典 PLS 分析, 我们无法再对最后的这几组重要驱动因素进行更加详细的排序。

但是, 在 Hi_PLS 模型中, 却可以很方便做到这一点。

(1) 从表 2 可以看出, 在 8 个底层模型中, 模型 5 在执行 PLS 回归时, 结果非常不显著 ($R^2Y=0.167 \ll 1$), 这表明模型 2 所代表的变量与河南生态足迹增长之间不存在显著 PLS 关系, 即历年农作物总播种面积 ZRNZM 及其二次方 ZRNZM2 不是河南生态足迹的主要驱动因素, 这一点也可以直接从图 3a 的 \$M5.t₁ 变量看出, 其对应的 VIP 值小于 0.8 (图 3a)。

(2) 从表 2 还可看出结果不太显著的另外两个底层模型是 3 ($R^2Y=0.692$) 和 6 ($R^2Y=0.676$), 这说明它们代表的两组变量 (邮电 YD 及其二次方 YD2, 投资 TZ 及其二次方 TZ2) 对河南生态足迹增长的驱动作用不

很明显,具体情况还需结合 VIP 值分析。

(3)其它 5 组均是河南生态足迹增长的主要驱动因素,它们分别是医疗活动($R^2Y=0.925$)、教育活动($R^2Y=0.893$)、运输活动($R^2Y=0.986$)、GDP 经济活动($R^2Y=0.936$)及人口增长活动($R^2Y=0.987$)。

(4)根据图 3a 中的顶层 PLS 模型 VIP 顺序图,可知除第 5 组变量外的其它 7 组变量的第一对 PLS 主成分的 VIP 值均大于 1,且它们按照大小可依次排序为 \$ M4. t_1 、\$ M8. t_1 、\$ M7. t_1 、\$ M2. t_1 、\$ M1. t_1 、\$ M3. t_1 及 \$ M6. t_1 (图 3a),据此,可将它们驱动作用的大小依次排序为:①运输活动、②人口增长活动、③经济活动、④教育活动、⑤医疗活动、⑥邮电活动及⑦投资活动。

进一步分析可以发现,前 4 大重要驱动因素的重要性很接近,并且它们的第一对 PLS 主成份 VIP 值约为 1.4 明显大于 1.2(1.2 为后 3 个也重要的驱动因素第一对 PLS 主成份 VIP 值近似值,图 3a),这说明前 4 大重要驱动因素可以归为一类,后 3 大重要驱动因素又可以归为一类。

4 结论与讨论

4.1 结论

与经典 PLS 模型相比,Hi_PLS 模型用于生态足迹重要驱动因素的研究更加有效,其结果解释起来更加方便、具体及细致。对河南生态足迹增长最没有驱动作用的因素是历年农作物总播种面积(反映农业资源条件),其它几组因素按照它们驱动作用的大小可排序为:①运输活动、②人口增长活动、③经济活动、④教育活动、⑤医疗活动、⑥邮电活动及⑦投资活动,其中,前 4 大重要驱动因素的重要性又要明显大于后 3 大驱动因素。

4.2 讨论

根据 Hi_PLS 模型的分析结果,可知:为了减轻河南省生态足迹的压力,促进该区域的可持续发展,可以根据生态足迹增长的驱动因素重要性程度来设计该区域科学合理的发展对策:

(1)运输活动是河南生态足迹增长的最重要驱动因素,因而,在未来的发展过程中,应注重提高运输效率,减少不必要的和无效率的运输活动(包括客运和货运等),具体措施如大力提升运输系统的科技水平,采用最节能减排及最洁净的运输工具等。

(2)人口增长活动是第二重要的驱动因素,所以在未来发展中仍然必须严格控制人口数量的增长,坚持把计划生育定为国家基本国策并切实的贯彻执行,不能允许这类政策上有丝毫的松动。

(3)3 大产业的经济增长活动是河南生态足迹增长的第三大重要驱动因素,表明在抑制生态足迹增长的同时又不能过度的影响经济发展,因而,有必要积极调整经济增长的方式,加快产业结构转型,促进高新科学技术产业的快速发展。

(4)教育活动是促进河南生态足迹增长的第四重要驱动因素,这一点可以理解成从事教育活动的人数越来越多,而人口数量的增长本身是促进生态足迹增长的。因而,针对这一点可设计出的区域可持续发展对策与第二点类同。

Hi_PLS 模型是在经典 PLS 模型的基础上发展而形成的。这两种方法在化学计量学领域应用广泛,对于样本变量不多的案例,是十分适宜的。而本研究样本变量较多(28 个,8 组),得出的最终结果还是比较宏观,因而,将来可以对本文的 Hi_PLS 模型进行改进,或考虑与其它的方法结合,以便做出更加具体细致的研究成果供决策者参考。

References:

- [1] William E R. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 1992, 4 (2): 121-130.
- [2] Wackernagel M, William E R. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola, B C, Canada: New Society Publishers, 1996: 54-198.
- [3] Wackernagel M, Onisto L, Bello P. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.

- [4] Kitzes J, Wackernagel M. Answers to common questions in ecological footprint accounting. *Ecological Indicators*, 2009, 9(4): 812-817.
- [5] Yang Y, Ren Z Y. Dynamic change of ecological footprint from 1994 to 2003 in Tongchuan city and socio-economic cause analysis. *Agricultural Research in the Arid Area*, 2007, 25(3): 213-217.
- [6] Fang J D, Yang Y, Ye T, Zhou X, Chen X Y. Analysis on dynamical character of ecological footprint and its driving factors in Chongqing City. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(4): 1337-1341.
- [7] Wen M X, Liu S L, Cui B S. The spatio-temporal dynamics and driving factors of the ecological carrying capacity in longitudinal range-gorge region (LRGR). *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52: 64-70.
- [8] Yang J S, Hu X J, Wu H, Li Y. Analysis of energy ecological footprint change in Liaoning province. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(6): 2216-2219.
- [9] Zhou J X, Li X M, Chen L. Updating methods for dynamic assessment of ecological footprint: a case study of Wuhan City. *Resources Science*, 2007, 29(3): 111-116.
- [10] Li X M, Zhou J X, Chen L, Luo L Q. Study on trend of urban ecology and environment based on Set Pair Analysis model: A case study of Wuhan. *Ecology and Environment*, 2007, 16(1): 83-87.
- [11] Xu Z M, Cheng G D. Impacts of population and affluence on environment in China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(5): 767-773.
- [12] Wu K Y, Wang L J. Partial least square regression model of ecological footprint and its influencing factors. *Resources Sciences*, 2006, 28(6): 182-188.
- [13] 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.
- [14] Chen C Z, Lin Z S. Driving forces analysis of energy ecological footprint growth fluctuation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 758-767.
- [15] Jia J, Zhao J, Deng H, Duan J. Ecological footprint simulation and prediction by ARIMA model a case study in Henan Province of China. *Ecological Indicators*, 2009, 10(2): 538-544.
- [16] Henan's Bureau of Statistics, Henan's Survey Team of China's National Bureau of Statistics. *Henan Statistical Yearbook (1984—2006)*. Beijing: China Statistical Press, 1985-2007.
- [17] China's National Bureau of Statistics. *Statistical data collection of China's 55 years (1949—2004)*. Beijing: China Statistical Press, 2006.
- [18] Wang H W. *Partial Least-Squares Regression Method and Applications*. Beijing: National Defence Industry Press, 1999: 21-348.
- [19] Jia J S, Deng H B, Duan J, Zhao J Z. Analysis of major drivers of ecological footprint by the STIRPAT model and PLS method. *Ecological Economics*, 2009, 68(11): 2818-2824.
- [20] Wang H W, Wu Z B, Meng J. *Partial Least-Squares Regression Linear and Nonlinear Methods*. Beijing: National Defence Industry Press, 2006: 142-274.

参考文献:

- [5] 杨勇, 任志远. 铜川市 1994—2003 年人均生态足迹变化及社会经济动因分析. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(3): 213-217.
- [6] 方建德, 杨扬, 叶堤. 重庆市生态足迹时间序列动态特征及其驱动因子分析. *生态环境学报*, 2009, 18(4): 1337-1341.
- [7] 温敏霞, 刘世梁, 崔保山. 纵向岭谷区生态承载力的时空动态及驱动因子研究. *科学通报*, 2007, 52: 64-70.
- [8] 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.
- [9] 周敬宣, 李湘梅, 陈雷. 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.
- [10] 李湘梅, 周敬宣, 陈雷. 城市生态环境演变趋势的集对分析预测研究——以武汉市为例. *生态环境*, 2007, 16(1): 83-87.
- [11] 徐中民, 程国栋. 中国人口和富裕对环境的影响. *冰川冻土*, 2005, 27(5): 767-773.
- [12] 吴开亚, 王玲杰. 生态足迹及其影响因子的偏最小二乘回归模型与应用. *资源科学*, 2006, 28(6): 182-188.
- [13] 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.
- [14] 陈成忠, 林振山. 中国能源足迹增长波动的驱动因子分析. *生态学报*, 2009, 29(2): 758-767.
- [16] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. *河南统计年鉴 (1984—2006)*. 北京: 中国统计出版社, 1985-2007.
- [17] 国家统计局. *新中国 55 年统计资料汇编 (1949—2004)*. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [18] 王惠文. *偏最小二乘回归方法及其应用*. 北京: 国防工业出版社, 1999: 21-348.
- [20] 王惠文, 吴载斌, 孟洁. *偏最小二乘回归的线性与非线性方法*. 北京: 国防工业出版社, 2006: 142-274.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shengcong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixin, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

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 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 8 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