

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

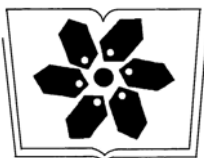
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

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 34 卷 第 3 期 2014 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富,王文杰,李京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫,罗纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳,李菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马威,孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯鹏,申文明,王桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄辉,孟平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香,李凯辉,宋韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林,杨浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红,简燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说：云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物，多生长在海拔 1000—3500m 的高山，喜光、耐干旱、耐瘠薄，适应酸性的红壤、黄壤，在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布，易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部，常形成大面积纯林，尤以云南分布最广，故有云南松之称。云南松树高可达 30m，胸径达 1m，树皮呈灰褐色，叶通常 3 针一束，鲜有两针，球果圆锥状卵圆形，种子近卵圆形或倒卵形。树干通直，木质轻软细密，是优质造纸、人造板原料，富含松脂是云南松的重要特点之一。

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/stxb201211181613

马明德, 马学娟, 谢应忠, 马甜. 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析. 生态学报, 2014, 34(3): 682-689.

Ma M D, Ma X J, Xie Y Z, Ma T. Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 682-689.

宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析

马明德¹, 马学娟², 谢应忠^{1,*}, 马甜¹

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 北方民族大学计算机科学与工程学院, 银川 750021)

摘要:生态足迹分析方法是一种度量区域生态可持续程度的有效方法, 偏最小二乘回归法(PLS)能有效解决多元回归分析中变量的多重相关性问题, 具有容易操作, 相关分析精度高等特点。以宁夏为研究区域, 在计算了宁夏 2001—2010 年人均生态足迹的基础上, 应用偏最小二乘回归分析法, 对影响宁夏生态足迹的各因子的重要程度进行了分析。通过变量投影重要性分析、特异点分析和预测分析, 证明所得偏最小二乘回归模型具有较好的精度。研究结果为: 2001—2010 年, 宁夏人均生态足迹由 1.818103793 hm² 上升至 2.894958909 hm², 生态赤字由 1.28352051 hm² 上升至 2.42316627 hm², 生态承载力由 0.53458328 hm² 下降至 0.47179264 hm²; 全区 GDP、城镇居民人均生活消费支出、第二产业产值和第一产业产值是影响宁夏生态足迹的显著因子。
关键词:生态足迹; 偏最小二乘回归法; 影响因子; 宁夏

Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS)

MA Mingde¹, MA Xuejuan², XIE Yingzhong^{1,*}, MA Tian¹

1 School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

2 School of Computer Science and Engineering, North University of Nationalities, Yinchuan 750021, China

Abstract: The model of ecological footprint (EF) was originally brought forward by ecological economist William E. Rees and his fellows in 1992, and Wackernage modified and perfected the model in 1996. Ecological footprint is an effective method to evaluate the ecological security and sustainability of a region from the aspects of demand and supply. Ecological footprint is defined as biologically productive areas required to sustainably support certain population in a region, and ecological footprint theory can be simply generalized as follows. First, people's daily consumption should be classified and the biologically productive area needed to support the consumption should be caculated. The ecological footprint of people is the summation of biologically productive area. We can then reckon the ecological capacity and convert to the biologically productive land area for comparison. At last, we can compare the ecological footprint with the ecological capacity. Partial Least-Squares Regression (PLS) method was proposed by S. Wold and C. Albano in 1983. As a statistical tool, PLS regression has been specifically designed to deal with multiple regression problems where the number of observations are limited and correlations between variables are high. PLS regression has gained great success in scientific fields, such as chemometrics, medicine, market analysis and finance. There are multi-correlation problems between ecological footprint's influencing factors of multiple regression analysis. PLS regression aims at producing a model that can transform a set of correlated explanatory variables into a new set of uncorrelated variables, called PLS factors in this paper. PLS factors capture most information of the independent variables that is useful for explaining and predicting the dependent variables. In

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31160484); 北方民族大学自主科研资助项目(2011ZQY013)

收稿日期:2012-11-18; **修订日期:**2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xieyz@ nxu.edu.cn

the meantime, PLS regression reduces the dimensionality of the regression by using fewer PLS factors than the number of independent variables. The per capita EF and ecological carrying capacity (EC) of Ningxia are calculated from 2001 to 2010 by employing the quantitative method for EF and major important factors influencing the ecological footprint selected by PLS regression. It is found that ecological footprint of Ningxia increased from 1.818103793 hm^2 to 2.894958909 hm^2 , ecological deficit (ED) increased from 1.28352051 hm^2 to 2.42316627 hm^2 and ecological capacity (EC) decreased from 0.53458328 hm^2 to 0.47179264 hm^2 . GDP of Ningxia, urban per capita life expenditure, the secondary industry, and the primary industry are the main factors influencing ecological footprint of Ningxia.

Key Words: ecological footprint(EF); Partial Least-Squares Regression(PLS); influencing factors; Ningxia Province

可持续发展理论提出后,如何对区域可持续发展程度进行定量度量,成为学者们研究的焦点。生态足迹分析方法是近年发展的一种衡量人地协调和生态可持续发展的定量方法^[1],它同时也是度量人类活动对生态系统的压力和影响的一条新途径^[2]。生态足迹分析方法是由加拿大学者 William E. Rees 于 1992 年提出^[3],随后 Wackernagel 对生态足迹理论进行了完善^[4]。人类在消耗自然界提供的产品和服务时,会对地球生态系统产生影响。因此,生态足迹分析方法的原理是:用生态足迹测量人类生存所必需的真实生物生产性面积,然后用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的生物生产性面积进行比较,从而反映人类对自然资源的利用程度及人类生产和消费活动所带来的压力,得出该区域的可持续发展状况,揭示该区域人类生存和持续发展面临的危机与潜力。作为一种衡量人地协调度及生态可持续性的有效评估方法,生态足迹备受国内外众多学者关注和研究。1999 年生态足迹理论传入我国,我国学者对此做了大量研究。张志强和徐中民等人在介绍生态足迹理论、概念和计算模型的基础上^[5-6,9],对我国西部地区省、区、市的生态足迹进行了计算^[7-10],此后,国内学者对我国其他一些省、区、市及全国的生态足迹进行了计算^[11-14]。与此同时,生态足迹研究也被广泛应用于旅游、居民消费、交通、贸易等其他领域的研究^[15-20]。生态足迹分析法为我们提供了一个较准确地判断评价对象可持续发展程度和状况的方法^[21]。

随着生态足迹研究的深入,生态足迹与不同自然和社会经济因子之间的相互关系研究成为新的焦点。例如张永芳等人^[22]运用相关分析和主成分分析法对影响兰州市生态足迹的主要因子进行了分

析,蒋莉等人^[23]运用多元回归分析方法对影响我国各省生态足迹的因子进行了定量分析,毛锦凰^[24]运用主成分回归分析法分析了甘肃省生态足迹动态变化的影响因子。虽然传统的回归分析方法能够根据时间序列值预测生态足迹未来的发展趋势,但是其有时无法克服变量存在多重相关性的问题^[25];同时,传统的回归分析方法缺乏对影响生态足迹的内在机理研究,而且计入模型的影响因子也较少,无法综合反映生态足迹与社会经济指标间的相互影响关系^[26]。针对上述存在的问题,本文将采用一种新的统计回归分析方法——偏最小二乘回归方法(PLS),以宁夏回族自治区为研究区域,构建偏最小二乘回归模型,对生态足迹及其影响因子的相关关系进行定量诊断,以企对未来生态足迹动态发展趋势进行有效预测,为区域可持续发展战略的实施提供有意义的决策支持。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

宁夏处在黄河中上游及黄土高原与沙漠的过渡地带,介于北纬 $35^{\circ}14'—39^{\circ}23'$,东经 $104^{\circ}17'—107^{\circ}39'$ 之间,总面积 5.18 万 km^2 。全区跨暖温带半湿润区至温带干旱区三个气候区,有 75% 的面积属于干旱、半干旱区域。地表形态复杂多样,自北向依次为贺兰山地、宁夏平原、鄂尔多斯高原、黄土高原以及六盘山地。宁夏是全国水资源最少的省区之一,年均降水量 305 mm ,蒸发量达 1800 mm ,生态环境脆弱,退化类型多样。宁夏北部是较平坦的黄河淤积平原区,约占全区总面积的 21.01%,黄河为沿河地区提供了丰富的灌溉用水,引黄灌区社会经济发展较好,但是盐渍化、沙化较为严重;中部干旱带约占全区总面积的 40.22%,受水资源制约,社会经济

发展水平较低,该区域风蚀沙化、荒漠化现象严重;南部为山区,该区域黄土广布,沟壑纵横,水土流失严重,土地瘠薄化、石质化问题突出,自然环境恶劣,生产条件较差,社会经济发展落后。宁夏下辖银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市 5 个地级市,截至 2010 年全区有人口 6329550 人,其中农业人口为 3972837 人,约占全区人口总数的 62.77%。目前,宁夏发现的矿产资源有 50 余种,其中以煤炭为主要优势。2010 年宁夏 GDP 为 1689.65 亿元,其中第一产业为 159.29 亿元,第二产业为 827.91 亿元,第三产业为 702.45 亿元。

1.2 研究方法

1.2.1 算法原理

偏最小二乘回归方法是近年来应实际需要而产生和发展的一种具有广泛适用性的多元统计分析方法,它于 1983 年由 S.Wold 和 C.Albano 等人首次提出。偏最小二乘回归分析方法具有主成分分析、典型相关分析和线性回归分析等方法的特点,能有效解决变量存在多重共线性的问题^[27-29]。在解决变量存在多重共线性问题方面,偏最小二乘回归分析法采用成分提取的方法,但与传统的主成分分析法有所不同,PLS 方法是通过对信息进行重组而不是剔除变量,在成分提取时既考虑了因变量与自变量间的线性关系,又选择了对自变量、因变量解释性最强的综合变量,排除噪声干扰,因此既保证了多重共线性问题的消除,又保证了模型的稳定^[30]。其原理如下。

设有 q 个因变量 $\{y_1, y_2, \dots, y_q\}$ 和 p 个自变量 $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ 。为了研究因变量与自变量的统计关系,观测了 n 个样本点,由此构成了自变量与因变量的数据表 $X = (y_1, y_2, \dots, y_q)_{n \times p}$ 和 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_q)_{n \times q}$ 。偏最小二乘回归分别在 X 与 Y 中提取出成分 t_1 和 u_1 ,为了满足回归分析的需要,要求:(1) t_1 和 u_1 应尽可能多地携带它们各自数据表中的变异信息;(2) t_1 和 u_1 的相关程度能够达到最大。在第一个成分被提取后,偏最小二乘回归分别实施 X 对 t_1 的回归以及 Y 对 t_1 的回归。如果回归方程已经达到满意的精度,则算法终止;否则,将利用 X 被 t_1 解释后的残余信息以及 Y 被 t_1 解释后的残余信息进行第二轮的成分提取。如此往复,直到能达到一个较满意的精度为止。若最终对 X 共提取了

m 个成分 $t_1, t_2, \dots, t_m$, 偏最小二乘回归将通过施行 y_k ($k = 1, 2, \dots, q$) 对 $t_1, t_2, \dots, t_m$ 的回归,然后再表达成 y_k 关于原自变量 $x_1, x_2, \dots, x_p$ 的回归方程。

1.2.2 建模步骤

根据因变量个数的不同,偏最小二乘回归分析可分为多因变量偏最小二乘回归分析和单因变量偏最小二乘回归分析。本研究只做单因变量偏最小二乘回归分析。首先对数据进行标准化处理,得到标准化后的因变量矩阵 F_0 和自变量矩阵 E_0 ,分别记为 $F_0 = Y$, $E_0 = X$ 。

(1) 第 1 成分 t_1 的提取

已知 F_0, E_0 , 可从中提取第 1 个成分 t_1 , $t_1 = E_0 W_1$ 。其中 W_1 为 E_0 的第 1 个轴,为组合系数, $\|W_1\| = 1$ 。同时,从 E_0 中提取第 1 个成分 u_1 满足 $u_1 = F_0 C_1$, 式中 C_1 为 F_0 的第 1 个轴, $\|C_1\| = 1$ 。在此要求 t_1, u_1 能分别较好地表达 X 与 Y 中的数据变异信息,且 t_1 对 u_1 有较大的解释能力。

根据主成分分析和典型相关分析的思路,取:

$$W_1 = E_0^T F_0 / \|E_0^T F_0\|$$

即可满足条件。得到 W_1 后,可得成分 t_1 , 分别求 F_0, E_0 对 t_1 的回归方程为:

$$E_0 = t_1 p_1^T + E_1, F_0 = t_1 r_1 + F_1$$

式中, $p_1 = E_0^T t_1 / \|t_1\|^2$, 向量 $r_1 = F_0^T t_1 / \|t_1\|^2$, E_1, F_1 为回归方程的残差矩阵。

(2) 第 2 成分 t_2 的提取

以 E_1 取代 E_0 , F_1 取代 F_0 , 用上面的方法求第 2 个轴 W_2 和第 2 个成分 t_2 , 有:

$$W_2 = E_1^T F_1 / \|E_1^T F_1\|, t_2 = E_1 W_2$$

同样, E_1, F_1 分别对 t_2 做回归,得到 $E_1 = t_2 p_2^T + E_2, F_1 = t_2 r_2 + F_2$ 。

第 h 成分 t_h 的提取同理。 h 的个数可以用交叉有效性原则进行识别, h 小于 X 的秩。

(3) 求偏最小二乘回归模型

综合以上分析,可以得到偏最小二乘回归模型

$$Y = XWR' + F_2$$

式中, $W = [W_1, W_2, \dots, W_h]$, $R = [r_1, r_2, \dots, r_h]$, F_2 为残差矩阵。

(4) 交叉有效性原则

利用交叉有效性原则来确定提取的成分个数 h 。记 y_i 为原始数据, $t_1, t_2, \dots, t_h$ 是偏最小二乘回归过程中的成分。 $\bar{y}_{hi}$ 是使用全部样本点并取 $t_1, t_2, \dots,$

t_h 个成分回归建模后,第 i 个样本点的拟合值。 $\bar{y}_{h(-i)}$ 是在建模时删去第 i 个样本点,取 $t_1, t_2, \dots, t_h$ 个成分建模后,再由此模型计算得拟合值。

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{h(-i)})^2$$

式中, y_i 为原始数据, $y_i - \bar{y}_{h(-i)}$ 是在建模时删去第 i 个样本点,取 $t_1, t_2, \dots, t_h$ 个成分建模后,据此模型计算拟合值。变量 $PRESS$ 取最小时表明模型的拟合效果最好,这时提取的成分个数 h 即为最佳成分数。

2 结果分析

2.1 2001—2010 年宁夏人均生态足迹测算

关于生态足迹的计算原理和方法有许多文献都做了介绍^[5,9]。宁夏 2001—2010 年生态足迹计算主要包括两部分,即生物资源的消费和化石能源的消费。由于缺乏宁夏进出口及国内贸易量的详细数据,同时在计算时直接使用了生物资源及能源的消费量数据,因此文中暂未对贸易调整进行估算。本文在生态足迹的计算过程中,有关耕地、林地、草地、化石能源用地、建筑用地和水域的均衡因子取值分别为 2.8、1.1、0.5、1.1、2.8、0.2;耕地、林地、草地、建筑用地和水域产量因子取值分别为 0.55、0.77、0.76、0.55、0.76^[31]。2001—2010 年宁夏人均生态足迹的计算结果如图 1 所示。

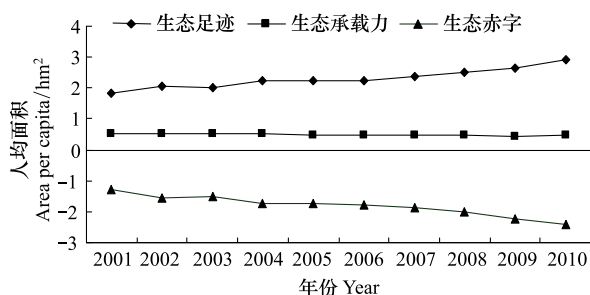


图 1 2001—2010 年宁夏人均生态足迹、生态承载力及生态赤字变化趋势

Fig.1 The change of capita EF, EC and ED for Ningxia during 2001—2010

由图 1 可知,宁夏人均生态足迹从 2001 年的 1.818103793 hm^2 上升至 2010 年的 2.894958909 hm^2 ,增加了 59.23%。2001 年至 2010 年是宁夏社会经济发展最快的 10a,2010 年全区 GDP 是 2001 年的 4.7 倍,可见,随着宁夏国民经济的快速发展,加剧了对自然界提供的产品和服务的消耗,也增加了对生

态环境的压力。宁夏人均生态承载力呈逐年下降的趋势,由 2001 年的 0.53458328 hm^2 下降至 2010 年的 0.47179264 hm^2 。人口和经济的快速增长所导致的不合理开发,使人均生态承载力持续下滑。生态赤字逐年增加,与宁夏人均生态足迹变化趋势一致,都基本保持上升趋势,由于人均生态承载力变化趋势较为平稳,因此,宁夏人均生态赤字的增加主要是由于人均生态足迹的增长引起的。通过以上分析可以看出,目前宁夏的发展处于不可持续的状态,随着经济的持续增长和人口的不断增加,这种状况有可能更加严峻。因此,揭示宁夏生态足迹与其主要的社会经济影响因子之间的内在关系,对宁夏实现区域可持续发展有着重要意义。

2.2 宁夏生态足迹及其影响因子的偏最小二乘回归分析

在比较短的时间段内,经济总量、产业结构、人口数量、消费水平和投资规模等社会经济因素是影响生态足迹的主要因素。GDP 代表了国家或者地区的经济发展水平,会对生态足迹产生重要影响;产业结构是区域资源的“转换器”,通过各产业产值可以考察各产业对能源和物质的依赖程度和转化能力;人是生产者也是消费者,生态足迹理论以人的消费为出发点,这就决定了人口因素是影响生态足迹的主导因素;随着经济的发展,居民消费水平对生态足迹的影响程度会越来越严重;固定资产投资是社会扩大再生产的有效动力,某种程度上影响着未来区域经济的发展规模。有鉴于此,本研究采用宁夏人均生态足迹作为预测数据,分别选取社会经济指标中对生态足迹有密切影响的 8 个指标,即 X_1 为全区 GDP(亿元), X_2 为第一产业产值(亿元), X_3 为第二产业产值(亿元), X_4 为第三产业产值(亿元), X_5 为全区人口数(万人), X_6 为城镇居民人均生活消费支出(元/人), X_7 为农村居民人均生活消费支出(元/人), X_8 为全社会固定资产投资(万元),建立社会经济系统指标体系。研究所需数据由相应各期《宁夏统计年鉴》和《中国统计年鉴》整理和计算而来。根据宁夏 2001—2010 年人均生态足迹时间序列值及各年份影响因子数据,运用偏最小二乘回归专业分析软件 SIMCA-P11.5 构建偏最小二乘回归模型,在 Analysis 中点击 Autofit 功能对模型进行自动拟合。当提取 1 个 PLS 成分时对 Y 的交叉有效性是

0.944472,第2个成分是-0.446196,因此系统只提取了1个PLS成分。

模型对 X 和 Y 的解释能力分别为 0.971 和 0.954,回归模型精度较高,可靠性也较强。最终得到标准化偏最小二乘回归方程为:

$$Y = 7.26118 + 0.124656X_1 + 0.124457X_2 + 0.124552X_3 + 0.123784X_4 + 0.123896X_5 + 0.124585X_6 + 0.122679X_7 + 0.122629X_8$$

2.2.1 精度分析

为了进一步考证模型建立的优劣度和可靠性,对偏最小二乘回归模型进行变量投影重要性分析、特异点分析和预测分析。

(1)变量投影重要性分析

在偏最小二乘回归分析中,常用变量投影重要性(VIP_j)来衡量每个自变量 X_j 对因变量 Y 的解释力。因为 X_j 对 Y 的解释是通过 t_h 来传递的,如果 t_h 对 Y 的解释能力很强,而 X_j 在构造 t_h 时又起到了相当重要的作用,则 X_j 对 Y 的解释能力就被视为很大^[27]。一般认为, VIP_j 大于 1 的自变量重要,在 0.5—1 之间的比较重要,小于 0.5 的则不重要。由表 1 可见,因子 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 的 VIP_j 大于 1,证明对宁夏生态足迹有显著影响; X_6, X_7, X_8 的 VIP_j 在 0.5—1 之间,证明对宁夏生态足迹影响比较重要。以上结果与模型分析结果基本相符合。

表 1 变量投影重要性指标

Table 1 The variable importance for projection

因子 Influencing factors	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
VIP_j	1.02724	1.00337	1.00239	1.00223	1.00040	0.993406	0.986418	0.983922

(2)特异点分析

依据特异点分析原理,在 SMICA-P 软件中调用 t [1]/ t [2] Scatter Plot 可以画出关于主成分 t_1, t_2 的散点图—— T^2 椭圆图(图 2)。由图 2 可以看出,所有样本点都分散在 T^2 椭圆图内,证明所选样本是符合建模要求的,样本的质量能够得到保证。

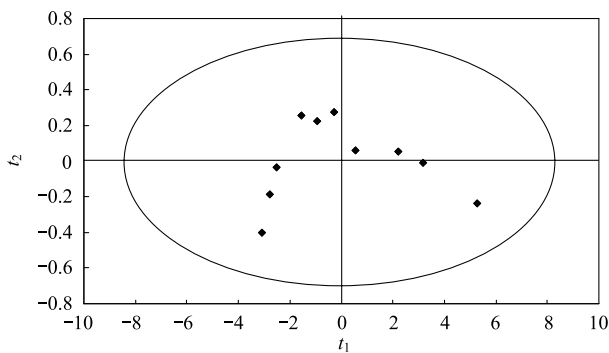


图 2 T^2 椭圆图

Fig.2 T^2 ellipse

(3)预测分析。根据实际值和预测值之间的数据比较,可以绘制出实际值与预测值比较图(图 3)。从图 3 可以看出,实际值和预测值的线性趋势是正确的,样本点分布相对集中。因此,偏最小二乘回归模型能较好地拟合出实际历史数据。

2.2.2 宁夏生态足迹及其影响因子的关系分析

由宁夏生态足迹及其影响因子的偏最小二乘回

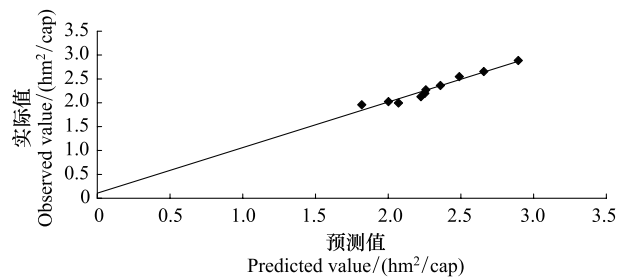


图 3 生态足迹实际值与预测值散点图

Fig.3 EF true value and prediction value scatter plots value scatter plots

归分析结果可以看出,所选取的各项指标对生态足迹的相关影响程度依次为全区 GDP、城镇居民人均生活消费支出、第二产业产值和第一产业产值。

(1)生产足迹能够反映出经济生产过程中自然资源的利用程度,在资源利用技术得不到提高的情况下,经济高速发展将带来高的生产足迹^[32]。近些年来,宁夏经济快速增长,特别是“十一五”期间,宁夏 GDP 年均增长 12.5%,高出全国 1.9 个百分点,快速增长的经济总量增加了对自然界提供的产品和服务的消耗,而且经济发展模式依然比较粗放,以 2010 年为例,全区万元 GDP 能耗为 3.308 t 标准煤,居全国之首,因此,宁夏的经济增长在一定程度上是以牺牲环境为代价取得的,而这种以牺牲环境为代价换取的经济增长反过来会威胁发展本身的可持续性。

(2)城镇居民的生态足迹占全民生态足迹的比重一般较大^[33]。伴随着经济的发展,宁夏城镇居民人均生活消费支出保持着较快增长,从2000年的1017元/人增加至2010年3447元/人,与此同时,2000年以来宁夏城镇居民的恩格尔系数均低于40%,并逐年减少,2010年达到33.24%,低于全国平均水平7.9个百分点,表明宁夏城镇居民生活质量和消费水平有了大幅度地提高,居民消费结构不断发生升级变化,并呈现多样化,也预示着宁夏城镇居民今后将更加注重生活质量的提高。

(3)宁夏煤炭资源储量丰富,目前宁夏煤炭预测储量约为2027亿t,居全国第5位,已探明储量约为316.5亿t(不含预测储量),居全国第6位,人均煤炭占有量居全国第1位。因此,长期以来围绕煤炭资源,宁夏形成了资源性重工业为主导的“二、三、一”产业结构^[34],而工业特别是重工业具有资源、能源消耗量大的特征,因此,工业化意味着将对资源过度利用^[35]。据统计,2000—2010年在第二产业中工业所占比重由79.64%减少至77.34%的情况下,宁夏的重工业在工业中所占比重却由76.74%增加至83.62%,而在能源消耗结构中,煤炭消耗量始终保持在86%以上。与此同时,近些年宁夏围绕能源优势,上马了一大批诸如冶金、化工、建材、电力等高耗能项目。高耗能产业的发展使宁夏经济对能源的依赖度不断增加。

(4)研究表明,第一产业对生态资源占用的比例在三次产业中最高^[36],而宁夏是我国西北内陆地区重要的农业省区,宁夏平原是我国重要的商品粮产地之一;宁夏地处农牧交错地带,畜牧业在全区农业产值中占有较大比例,2010年全区畜牧业总产值达到86.1亿元,占农业总产值的38%^[37]。但是与全国农业大省相比,宁夏农业产业整体经济技术水平还很低,农业产业结构不合理,区域间农业产业发展水平不平衡,在自然条件相对恶劣的宁夏南部山区,农业生产受自然条件影响较深,当地农业生产依然是“靠天吃饭”。

3 结论和讨论

(1)通过对模型进行变量投影重要性分析、特异点分析和预测分析,证明偏最小二乘回归在对宁夏生态足迹及其影响因子相关性研究方面具有较好的

分析能力,对生态足迹的分析结果与实际情况相符合。因此,用偏最小二乘回归分析法对宁夏生态足迹影响因子重要程度进行分析是可行、可信的。

(2)2001年至2010年是宁夏社会经济发展最快的10年,这期间,宁夏的人均生态足迹从2001年的1.818103793 hm²上升至2010年的2.894958909 hm²,增加了59.23%;宁夏人均生态承载力呈逐年下降趋势,由2001年的0.53458328 hm²下降至2010年的0.47179264 hm²;生态赤字逐年增加,与人均生态足迹变化趋势一致,都基本保持上升趋势。这说明国民经济的高速发展和人口的过快增长加剧了对生态环境的压力,宁夏可持续发展形式非常严峻。

(3)运用偏最小二乘回归分析法对宁夏生态足迹影响因子的重要性进行了定量分析,结果表明:全区GDP、城镇居民人均生活消费支出、第二产业产值和第一产业产值4项因子属于显著影响因子。长期以来宁夏经济的持续增长对生态环境具有很强的依赖性,鉴于此,宁夏要实现区域经济的可持续增长,必须调整产业结构,转变现有的经济增长方式,严格控制高耗能产业盲目扩张;发展循环经济,降低资源和能源消耗量,采用高新技术,加快对高耗能产业的技术改进,提高资源和能源的利用效率,不断提升全区工业发展水平和区域竞争能力;转变人们的消费观念,引导居民杜绝奢侈和浪费,倡导可持续的消费模式;控制人口增长,以减少新增人口对资源和能源的需求;加快农业产业结构调整,加大对农业科技的投入,注重高效率农业生产方式的普及,提高自然资源单位面积的生物产量。

References:

- [1] Chen X P, Lu C P, Yang J, ZHANG Z L. Analysis of human-environment coordination fluctuations of Ningxia in 1986—2005 based on the ecological footprint model. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(10): 15-20.
- [2] 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): 654-662.
- [3] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [4] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero M G S. National nature capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological*

- Economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [5] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D. The concept of ecological 'footprints' and computer models. *Ecological Economy*, 2000, (10): 8-10.
- [6] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. A resolution to the conception of ecological footprint. *China Population, Resources and Environment*, 2001, 21(9): 69-78.
- [7] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. The calculation and analysis of ecological footprints of Gansu Province. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 607-616.
- [8] 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.
- [9] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Measuring sustainable development with the ecological footprint method; take Zhangye prefecture as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1484-1493.
- [10] Chen D J, Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Ecological footprint in northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, 23(2): 164-169.
- [11] Dong Z Q, Sun T H. Ecological footprints; calculation and analysis of ecological footprints from 1999 to 2001 in Liaoning Province, *Acta Ecologica Sinica*. 2004, 24(12): 2736-2742.
- [12] Yang Y K, Wang D Y. Dynamic calculation and analysis of ecological footprint of Chongqing after establishing municipality status. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2382-2390.
- [13] Xiong Y, Wang K L, Guo X, Xie C H. Application of ecological footprint analysis method in measuring sustainable development; with Hunan Province as an example. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(4): 322-327.
- [14] Chen C Z, Lin Z S. Wavelet analysis of China's per capita ecological footprint from 1961 to 2005. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 338-344.
- [15] Yang G H, Li P. Touristic ecological footprint; a new yardstick to assess sustainability of tourism. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1475-1480.
- [16] Zhang J H, Zhang J. Touristic ecological footprint model and analysis of Huangshan City in 2002. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 763-771.
- [17] Min Q W, Yu W D, Cheng S K, Wang X Z. Ecological footprint-based comparison of consumption differences of Xianju's Urban-rural Residents. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(4): 86-88.
- [18] Min Q W, Yu W D, Cheng S K. Time serial analysis of residents' living consumption with ecological footprint in Shangqiu of Henan Province. *Resources Science*, 2004, 26(5): 125-131.
- [19] Liang Y, Cheng S K, Min Q W. Ecological footprint method and its application to evaluating influence of urban transportation to environment. *Journal of Wuhan University of Technology* (Transportation Science & Engineering), 2004, 28(6): 821-824.
- [20] Chen L P, Yang Z Z. Ecological Footprint of Import and Export Trade of China. *World Economy Study*, 2005, (5): 8-11.
- [21] Zhang Y Y, Han X Z, Li Z Z, Su M. Improvement of the ecological capacity model and its application. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2007, 43(1): 75-79.
- [22] Zhang Y F, Zhang B, Guo L X. Analysis on the development trends and influence factors of ecological footprint in Lanzhou City. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(9): 25-29.
- [23] Jiang L, Chen Z J, Shen X J, Guo N. Quantitative analysis on the impact factors of ecological footprint; a case study of China's provinces ecological footprints in 1999. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(2): 238-242.
- [24] Mao J H. Development trends and influence factors of ecological footprint in Gansu Province. *Research on Development*, 2011, (4): 68-70.
- [25] Wu K Y, Wang L J. Partial Least Square Regression model of ecological footprint and its influencing factors. *Resources Science*, 2006, 28(6): 182-188.
- [26] Lu F, Xu J H, Wang Z Y, Hu X F. Qualitatively analysis on influence factors of ecological footprint and dynamic prediction of ecological footprint; a case study in Xinjiang. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(6): 70-74.
- [27] Wang H W, Wu Z B, Meng J. Partial Least-Squares Regression-Linear and nonlinear methods. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [28] Gao H X. Statistical analyses for multiple correlation variables of two sets (3) (Partial least-squares Regression and PLS Procedure). *Application of Statistics and Management*, 2002, 21(2): 58-64.
- [29] Zhang H X, Guo J L, Zhu J Y, Yu J F. Multivariate data analysis methods and applications. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2002.
- [30] Sun Y, Xu C M, Xia R. The analysis on the impact of different R&D input channels on the scientific and technological innovation; an empirical research based on the Partial Least Square method. *Journal of Financial Research*, 2009, (9): 165-174.
- [31] Liu M C, Li W H, Xie G D. Estimation of China ecological footprint production coefficient based on net primary productivity. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(3): 592-597.
- [32] Liu Y H. Resource demand of provincial region economic production China—based on the ecological footprint model. *Economic Geography*, 2006, 26(Supplement): 293-297.
- [33] Li Z C, Wang G C, Guan X J. Co-integration analysis and an error correction model for footprint and economy growth in China. *Research Science*, 2008, 30(2): 261-266.

- [34] Chen D H, He F Q. Industrial restructuring and development direction of Ningxia. *Social Sciences in Ningxia*, 2011, (4): 29-34.
- [35] He B B, Mei Y. An Empirical Study on the Relationship between Economic Growth and Ecological Footprint in Jiangsu Province, China. *Research Science*, 2009, 31(11): 1973-1981.
- [36] Liu J X, Gu X W, Li G J, Wang Q, Liu H. Economic development and ecological footprint in China. *Resources Science*, 2005, 27(5): 33-39.
- [37] Zhang G F. Ningxia animal husbandry economy appears new posture. *China Animal Husbandry Veterinary Newspaper*, 2012 - 1-15(2).
- 参考文献:**
- [1] 陈兴鹏, 逮承鹏, 杨静, 张子龙. 基于生态足迹模型的宁夏 1986—2005 年人地协调度演变分析. *干旱区资源与环境*. 2011. 25(10): 15-20.
- [2] 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.
- [5] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型. *生态经济*, 2000, (10): 8-10.
- [6] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(6): 69-78.
- [7] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. *地理学报*, 2000, 55(5): 607-616.
- [8] 张志强, 徐中民, 程国栋, 陈东景. 中国西部 12 省(区)的生态足迹. *地理学报*, 2001, 56(5): 599-610.
- [9] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例. *生态学报*, 2001, 21(9): 1484-1493.
- [10] 陈东景, 徐中民, 程国栋, 张志强. 中国西北地区的生态足迹. *冰川冻土*, 2001, 23(2): 164-169.
- [11] 董泽琴, 孙铁珩. 生态足迹研究——辽宁省生态足迹计算与分析. *生态学报*, 2004, 24(12): 2736-2742.
- [12] 杨永奎, 王定勇. 重庆市直辖以来生态足迹的动态测度与分析. *生态学报*, 2007, 27(6): 2382-2390.
- [13] 熊鹰, 王克林, 郭炯, 谢春花. 生态足迹在可持续性定量测度中的应用——以湖南省 2000 年为例. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(4): 322-327.
- [14] 陈成忠, 林振山. 中国 1961—2005 年人均生态足迹变化. *生态学报*, 2008, 28(1): 338-344.
- [15] 杨桂华, 李鹏. 旅游生态足迹: 测度旅游可持续发展的新方法. *生态学报*, 2005, 25(6): 1475-1480.
- [16] 章锦河, 张捷. 旅游生态足迹模型及黄山市实证分析. *地理学报*, 2004, 59(5): 763-771.
- [17] 闵庆文, 余卫东, 成升魁, 王秀珍. 仙居县城乡居民消费差异的生态足迹分析. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(4): 86-88.
- [18] 闵庆文, 余卫东, 成升魁. 商丘市居民生活消费生态足迹的时间序列分析. *资源科学*, 2004, 26(5): 125-131.
- [19] 梁勇, 成升魁, 闵庆文. 生态足迹方法及其在城市交通环境影响评价中的应用. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2004, 28(6): 821-824.
- [20] 陈丽萍, 杨忠直. 中国进出口贸易中的生态足迹. *世界经济研究*, 2005, (5): 8-11.
- [21] 张彦宇, 韩晓卓, 李自珍, 苏敏. 生态承载力模型的改进及其应用. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2007, 43(1): 75-79.
- [22] 张永芳, 张勃, 郭玲霞. 兰州市生态足迹变化趋势及其影响因素分析. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(9): 25-29.
- [23] 蒋莉, 陈治谏, 沈兴菊, 郭娜. 生态足迹影响因子的定量分析——以中国各省(区) 1999 年生态足迹为例. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(2): 238-242.
- [24] 毛锦凰. 甘肃省生态足迹发展趋势及影响因素分析. *开发研究*, 2011, (4): 68-70.
- [25] 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.
- [26] 鲁凤, 徐建华, 王占永, 胡秀芳. 生态足迹影响因子定量分析及其动态预测比较研究——以新疆为例. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(6): 70-74.
- [27] 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.
- [28] 高惠璇. 两个多重相关变量组的统计分析(3) (偏最小二乘回归与 PLS 过程). *数理统计与管理*, 2002, 21(2): 58-64.
- [29] 张恒喜, 郭基联, 朱家元, 虞健飞. 小样本多元数据分析方法及应用. 西安: 西北工业大学出版社, 2002.
- [30] 孙杨, 许承明, 夏锐. 研发资金投入渠道的差异对科技创新的影响分析——基于偏最小二乘法的实证研究. *金融研究*, 2009, (9): 165-174.
- [31] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算. *生态学杂志*, 2010, 29(3): 592-597.
- [32] 刘宇辉. 中国省级区域经济增长的资源需求——基于生态足迹模型的分析. *经济地理*, 2006, 26(增刊): 293-297.
- [33] 李中才, 王广成, 关晓吉. 中国生态足迹与经济增长的协整与误差修正. *资源科学*, 2008, 30(2): 261-266.
- [34] 陈冬红, 赫凤起. 宁夏产业结构调整及其发展方向研究. *宁夏社会科学*, 2011, (4): 29-34.
- [35] 何蓓蓓, 梅艳. 江苏省生态足迹与经济增长关系的实证研究. *资源科学*, 2009, 31(11): 1973-1981.
- [36] 刘建兴, 顾晓薇, 李广军, 王青, 刘浩. 中国经济发展与生态足迹的关系研究. *资源科学*, 2005, 27(5): 33-39.
- [37] 张国凤. 宁夏畜牧业经济呈现新态势. *中国畜牧兽医报*. 2012-1-15(2).

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS) MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《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

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 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 3 (February, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元