

综合研究

基于灰色关联模型的江苏省农村生态文明建设水平研究

李昌新¹, 陈晓², 张辉², 郑华伟^{2,3}

(1. 南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210031; 2. 南京农业大学 人文与社会发展学院, 江苏 南京 210095; 3. 国土资源部 海岸带开发与保护重点实验室, 江苏 南京 210024)

摘要: [目的] 诊断农村生态文明建设水平, 为相关政策制定提供一定的参考依据。[方法] 建立基于 PSR 模型的农村生态文明建设水平评价指标体系, 采用灰色关联模型诊断江苏省农村生态文明建设水平。[结果] 江苏省农村生态文明建设水平具有区域差异, 其中苏州市最高, 农村居民恩格尔系数、节能环保公共财政支出、对生活污水进行处理的行政村数量比例、单位耕地农药负荷、每万人口卫生机构床位数是农村生态文明建设水平提升的关键制约因素。[结论] 基于 PSR 模型的评价指标体系能更准确地反映农村生态文明各要素之间的关系; 灰色关联模型能有效挖掘农村生态文明建设存在的具体问题, 适合用于农村生态文明建设水平诊断。

关键词: 农村生态文明建设; PSR 模型; 灰色关联模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0107-06

中图分类号: F205

文献参数: 李昌新, 陈晓, 张辉, 等. 基于灰色关联模型的江苏省农村生态文明建设水平研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 107-112. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.019; Li Changxin, Chen Xiao, Zhang Hui, et al. A study on construction level of rural ecological civilization in Jiangsu Province based on grey correlation model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 107-112. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.019

A Study on Construction Level of Rural Ecological Civilization in Jiangsu Province Based on Grey Correlation Model

LI Changxin¹, CHEN Xiao², ZHANG Hui², ZHENG Huawei^{2,3}

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing,

Jiangsu 210031, China; 2. College of Humanities and Social Development,

Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 3. The Key Laboratory of the

Coastal Zone Exploitation and Protection, Ministry of Land and Resource, Nanjing, Jiangsu 210024, China)

Abstract: [Objective] This paper aimed to diagnosis the level of rural ecological civilization construction, to provide some references for policy making. [Methods] An evaluation index system for rural ecological civilization construction level was constructed based on pressure-state-response(PSR) model, and an empirical analysis was conducted in Jiangsu Province using grey correlation model. [Results] The level of rural ecological civilization construction had regional differences in Jiangsu Province, and the highest of it was found in Suzhou City. Crucial constraints on the improvement of rural ecological civilization construction level include the Engel coefficient of rural residents, the public expenditure on energy conservation and environmental protection, the proportion of administrative villages in the treatment of domestic sewage, the pesticide load per unit of cultivated land, and the number of beds per ten thousand population of health institutions. [Conclusion] These methods are suitable in the diagnosis on the rural ecological civilization construction level because the

收稿日期: 2017-03-31

修回日期: 2017-05-23

资助项目: 国家自然科学基金项目“农村土地整治生态风险管控研究”(71403130); 国土资源部海岸带开发与保护重点实验室开放基金项目(2015CZEPK06)

第一作者: 李昌新(1965—), 男(汉族), 江苏省如东县人, 博士, 教授, 主要从事区域农业与可持续发展研究。E-mail: lichxin@njau.edu.cn。

通讯作者: 郑华伟(1985—), 男(汉族), 江苏省涟水县人, 博士, 副教授, 主要从事农村社会发展与生态文明研究。E-mail: huaweizheng2008@163.com。

evaluation index system based on the PSR model can accurately reflect the relationship among various elements of the rural ecological civilization. Furthermore, the grey correlation model can discover more specific problems existing in the rural ecological civilization construction.

Keywords: rural ecological civilization construction; PSR model; grey correlation model

改革开放以来,中国工业化、城镇化快速发展,人口—资源—环境—发展间的不协调问题日益凸显,加强生态文明建设的任务尤为紧迫^[1]。党的十八大把生态文明建设纳入“五位一体”总体布局中,《全国生态环境保护“十三五”规划纲要》提出“完善生态文明示范建设体系,持续提升生态文明示范建设水平”^[2]。农村生态文明建设是生态文明建设的重要内容,推进农村生态文明建设具有非常重要的意义^[3]。生态文明的分析起始于欧美发达国家,源于他们对工业文明的反思与对资本主义的判断,具体开展了对工业文明的反思、生态马克思主义、如何推进生态文明等方面的研究^[4-6];国内专家学者主要开展了生态文明建设的理论基础、影响因素、评价体系、战略路径等研究^[2,6-10]。国外由于城市与农村环境政策、公共服务差异不大,针对农村生态文明的分析较少^[3];国内学者开展了农村生态文明建设的基本内容、评价体系、路径选择等方面的研究^[3,11-14]。客观测度生态文明建设水平,诊断主要制约因素,是有效加强生态文明建设的重要手段^[1,3],目前农村生态文明建设水平评价研究处于起步阶段,定性分析较多,定量研究较少,评价指标多集中于资源环境状况,很少考虑人类活动、社会经济状况等对农村生态文明建设水平诊断的作用。鉴于此,本文拟在阐述农村生态文明建设概念的基础上,建立“压力—状态—响应”(pressure-state-response, PSR)框架下农村生态文明建设水平评价指标体系,构建农村生态文明建设水平诊断的灰色关联模型,以江苏省为例进行实证分析,以期制定相关政策措施提供一定的参考依据。

1 研究方法

1.1 评价指标体系

农村生态文明是指农村居民在进行生产、生活时,优化改善农村社会结构,建设良好的农村生态环境、塑造良好的农村面貌、提高农民综合素质等方面取得的一系列成果的总和^[12]。农村生态文明建设是基于农村当前资源与环境压力,针对不断恶化的农村环境健康状态做出的旨在转变农业生产方式、农民生活方式,协调推进农村生产、生活、生态的重要措施^[3,8]。

PSR 模型是由联合国 OECD 和 UNEP 提出的

一项反映可持续发展机理的分析框架,它以因果关系为基础,通过剖析系统内在的因果关系,构建系统因素相互作用的因果链,在此基础上采取针对性的调控措施,最终实现系统的可持续性^[15-16]。因此,本文借鉴 PSR 模型作为农村生态文明建设水平评价指标体系的基本框架。农村生态文明建设水平分为农村生态系统压力、农村生态系统状态、农村生态系统响应。农村生态系统压力主要内容包括人口压力、经济压力和资源环境消耗压力等;农村生态系统状态主要表现在资源环境状态、社会状态;农村生态系统响应主要表现在生态保护投入、污染治理能力等^[8]。根据农村生态文明建设水平评价指标体系的基本框架,遵循科学性、可比性、可获取性、系统性等原则,在参考现有研究成果的基础上^[1,3,8-10],构建基于 PSR 模型的评价指标体系(表 1)。

1.2 灰色关联模型

灰色系统理论是由中国学者邓聚龙教授于 1982 年提出的^[17],灰色关联度是定量阐述因素之间关联程度大小、类型等的量度,值越大反映因素之间的关联越紧密^[18]。农村生态文明建设水平受到自然状况、人类活动等因素的影响,使其成为一个灰色系统,因此本研究采用灰色关联分析方法建立灰色关联评价模型诊断农村生态文明建设水平,具体步骤如下^[18-19]:

(1) 建立评价指标数据矩阵。根据农村生态文明建设水平评价对象 D_i 在评价指标 X_j 的指标值 X_{ij} ,建立农村生态文明建设水平评价指标数据矩阵:

$$D = \{X_{ij}\} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 无量纲化处理。为了消除各评价指标量纲不同对农村生态文明建设水平诊断的影响,采用直线型无量纲化公式对农村生态文明建设水平评价指标数据进行处理:

$$\text{正向指标: } X_{ij}' = X_{ij} / \max X_j \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } X_{ij}' = \min X_j / X_{ij} \quad (3)$$

式中: X_{ij} , X_{ij}' ——第 i 个评价对象第 j 项评价指标的原始值、标准化值; $\max X_j$, $\min X_j$ ——农村生态文明建设水平第 j 项评价指标的标准最大值和标准最小值。

表 1 农村生态文明建设水平评价指标体系及其权重

目标层	准则层	指标层	评价函数	指标权重
农村生态文明建设水平	农村生态系统压力	人均 GDP/元	—	0.054 6
		人均水资源量(m ³ /人)	—	0.053 4
		人均耕地面积(hm ² /人)	耕地面积除以总人口	0.057 1
		单位耕地化肥负荷/(kg·hm ⁻²)	化肥施用量除以耕地面积	0.054 6
		单位耕地农药负荷/(kg·hm ⁻²)	农药使用量除以耕地面积	0.063 4
	农村生态系统状态	水土流失程度/%	水土流失面积除以土地总面积	0.052 5
		人均拥有公共图书馆藏量/册	—	0.049 5
		每万人口卫生机构床位数/张	—	0.052 5
		林木覆盖率/%	—	0.057 1
		农村居民人均住房面积/m ²	—	0.052 2
	农村生态系统响应	农村居民恩格尔系数/%	—	0.068 2
		生态文明意识水平	—	0.052 0
		农村居民人均纯收入/元	—	0.054 2
		节能环保公共财政支出/亿元	—	0.049 6
		单位耕地农业机械动力/(kW·hm ⁻²)	—	0.055 5
		村庄环境整治达标率/%	—	0.057 8
		镇村生活垃圾集中收运率/%	—	0.062 9
		对生活污水进行处理的行政村数量比例/%	—	0.052 9

(3) 测算两极最大差与两极最小差。*i* 个评价对象数列与最优值之间的绝对差公式如下:

$$\Delta_{ij} = |X_{ij}' - 1| \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

在绝对差的基础上, 计算两极最大差 $\Delta(\max)$ 、两极最小差 $\Delta(\min)$, 具体公式如下:

$$\Delta(\max) = \max_{1 < i < m} \max_{1 < j < n} (\Delta_{ij}) \quad (5)$$

$$\Delta(\min) = \min_{1 < i < m} \min_{1 < j < n} (\Delta_{ij}) \quad (6)$$

(4) 计算关联系数。关联系数 ϵ_{ij} 计算公式如下:

$$\epsilon_{ij} = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}} \quad (7)$$

式中: ρ ——分辨系数, 一般取 0.5^[19]; 关联系数 ϵ_{ij} 是小于 1 的正数, 表示农村生态文明建设水平第 *i* 个评价对象与最优参考序列在第 *j* 项评价指标的关联程度。

(5) 计算评价指标权重 w_j 。不同评价指标对农村生态文明建设水平的影响程度存在一定的差异, 需要对评价指标赋以一定的权重, 本研究采用改进的熵值法来确定农村生态文明建设水平评价指标权重, 具体步骤包括农村生态文明建设水平评价指标标准化处理、坐标平移、评价指标熵值测算、评价指标差异性系数计算、评价指标权重确定^[15]。

(6) 计算关联度。关联系数 r_i 计算公式如下:

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \epsilon_{ij} \quad (8)$$

式中: r_i ——农村生态文明建设水平第 *i* 个评价对象与最优参考序列之间相互关联的程度, 如果 $r_i > r_j$ 则

表明第 *i* 个评价对象比第 *j* 个评价对象的关系程度好, 进而判断被评价对象的顺序。

1.3 障碍度模型

在农村生态文明建设水平分析的基础上, 开展农村生态文明建设的病理剖析, 诊断影响农村生态文明建设水平的障碍因子, 为进一步提升农村生态文明建设水平提供决策参考。农村生态文明建设的障碍因素测算采用因子贡献度、指标偏离度、障碍度 3 个指标进行诊断^[15-16]: 因子贡献度(U_j)表示各评价指标对农村生态文明建设水平的权重(w_j), 指标偏离度(I_{ij})表示农村生态文明建设水平各单项指标标准化值 X_{ij}' 与 100% 之差; 障碍度(Y_j, y_j)分别表示各评价对象分类指标、单项指标对农村生态文明建设水平的影响程度, 计算公式如下:

$$y_{ij} = I_{ij} \cdot w_j / (\sum_{j=1}^n I_{ij} \cdot w_j), \quad Y_{ij} = \sum y_{ij} \quad (9)$$

2 实证研究—以江苏省为例

2.1 区域概况与数据来源

(1) 区域概况。江苏位于中国大陆东部沿海中心, 东濒黄海, 东南与浙江和上海毗邻, 西接安徽, 北接山东, 介于东经 116°18'—121°57', 北纬 30°45'—35°20'。江苏地处长江三角洲, 平原辽阔, 自然条件优越, 经济基础较好。全省面积 1.072×10⁵ km², 占全国总面积的 1.1%; 全省耕地面积 4.60×10⁶ hm², 人均占有耕地 0.06 hm²。2013 年全省人均地区生产总值 74 607 元, 农村居民人均纯收入达 13 598 元。江苏省

农业生产稳定发展,全年粮食总产达 3.42×10^{10} kg;农村改革有序推进,新型经营体系加快构建^[20]。

(2) 数据来源。江苏省农村生态文明建设水平评价指标数据主要来源于《江苏统计年鉴(2014)》《江苏农村统计年鉴(2014)》《中国统计年鉴(2014)》《中国农村统计年鉴(2014)》《中国环境统计年鉴(2014)》《江苏省村镇建设年报(2014)》《江苏省水土保持公报》2013年江苏省国民经济和社会发展统计公报、江苏省土地利用变更调查数据等。

2.2 结果分析

收集江苏省有关农村生态文明建设水平评价指标数据,经分析整理后,按照改进的熵值法确定各评价指标的权重(表1)。根据前文提供的研究方法,得到江苏省农村生态文明建设水平评价结果(图1)。

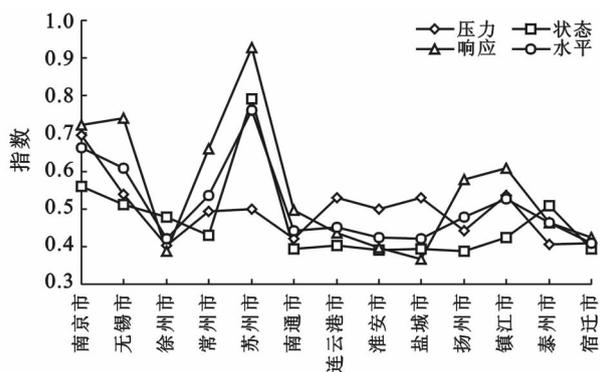


图1 江苏省农村生态文明建设水平评价结果

(1) 综合评价结果分析。由图1可知,江苏省13个市农村生态文明建设水平综合评价指数从高到低依次为苏州、南京、无锡、常州、镇江、扬州、泰州、连云港、南通、淮安、徐州、盐城、宿迁市。苏州、南京、无锡、常州、镇江5市农村生态文明建设水平高于江苏省平均水平,在江苏省农村生态文明建设水平中处于前列位置,对于其他地区具有借鉴意义。江苏省农村生态文明建设水平最高的是苏州市(0.7612),最低的是宿迁市(0.4085),说明江苏省农村生态文明建设水平区域差异明显。苏州市作为毗邻上海的“小上海”,经济发展水平较高,基础设施较为完善,社会发展基础良好,生态建设推进较快,率先建成的“国家城市生态群”形成辐射,带动苏州市周边农村加快资源环境保护工程,持续推进农村生态文明建设,促进农村生态文明建设水平不断提升。从总体来看,农村生态文明建设水平苏南地区(苏州、南京、无锡、常州、镇江市)高于苏中地区(扬州、泰州、南通市)和苏北地区。在此基础上,本研究运用IBM SPSS Statistics 20软件对13个市农村生态文明建设水平进行聚类分

析^[21],由此把江苏省13个市农村生态文明建设水平划分为3类:第1类包括苏州市,该市农村生态文明建设水平高居江苏省第1,且与其他市差距较大,短时间内无法被赶超;第2类包括南京、无锡、常州、镇江市,该类地区农村生态文明建设水平整体较高;第3类包括扬州、泰州、连云港、南通、淮安、徐州、盐城、宿迁市,该类地区经济发展方式有待进一步转变,农业面源污染对生态文明建设的压力依然存在、农村工业污染问题较为突出、农村生活污染治理难度依然较大,农村生态文明建设投入依然不足、环境保护投入总额占地区生产总值比重不高,农村生态文明建设意识有待进一步提高,由此导致该类地区农村生态文明建设水平不高。

(2) 分类指标对比分析。从农村生态系统压力评价指数来看,排在首位是南京市,徐州市排在最后;可见,江苏省13个市之间的农村生态系统压力水平差异较大,苏南地区压力相对较小、苏北地区压力相对较大,其中南京市压力最小、徐州市压力最大(负向指标。数值越小,生态压力相对越大)^[22],徐州市资源消耗压力、环境污染压力等较大,由此给农村生态系统带来的胁迫较大。农村生态系统状态评价指数最高值出现在苏州市,最低值是扬州市,从总体来看农村生态系统状态水平苏南地区大于苏中地区、苏中地区大于苏北地区。农村生态系统响应评价指数从高到低依次是苏州、无锡、南京、常州、镇江、扬州、南通、泰州、连云港、宿迁、淮安、徐州、盐城市,由此可见农村生态系统响应水平苏南地区大于苏中地区,苏中地区大于苏北地区。相比苏中地区、苏北地区,苏南地区农村生态系统压力较小,生态保育状态较好,生态保护意识较高,农村生态文明建设的重视程度较高,生态环境保护投入较大,污染治理能力较强,生态治理措施较为完善。

(3) 障碍因素诊断。根据障碍度模型,对江苏省13个市农村生态文明建设水平障碍因素进行诊断(图2)。苏南地区(苏州、南京、无锡、常州、镇江市)阻碍农村生态文明建设水平提高的制约因素主要集中在农村生态系统状态、农村生态系统压力方面,主要包括农村居民恩格尔系数、单位耕地农药负荷、人均耕地面积、人均水资源量等。苏中地区(扬州、泰州、南通市)农村生态文明建设水平提升的障碍因素主要集中在农村生态系统状态、农村生态系统响应方面,主要包括每万人口卫生机构床位数、林木覆盖率、农村居民恩格尔系数、节能环保公共财政支出、对生活污水进行处理的行政村数量比例等。苏北地区(连云港、淮安、徐州、盐城、宿迁)阻碍农村生态文明建设

水平改善的制约因素主要集中在农村生态系统响应方面,主要包括村庄环境整治达标率、农村居民人均纯收入、节能环保公共财政支出、对生活污水进行处理的行政村数量比例、每万人口卫生机构床位数、农村居民恩格尔系数、单位耕地农药负荷等。由此可见,江苏省农村生态文明建设水平障碍因素主要集中在农村居民恩格尔系数、节能环保公共财政支出、对生活污水进行处理的行政村数量比例、单位耕地农药负荷、每万人口卫生机构床位数等方面。

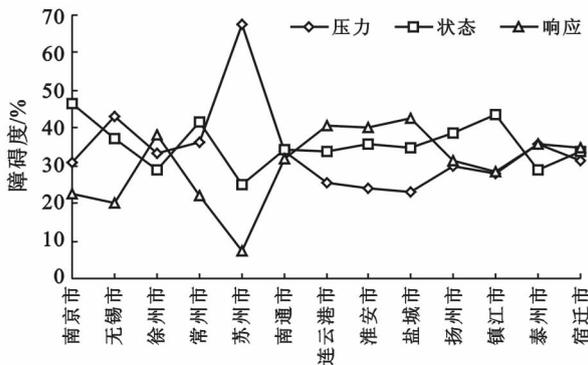


图2 农村生态文明建设分类指标障碍度

3 讨论与建议

(1) 江苏省实证分析结果表明,基于PSR模型的指标体系综合考虑了社会经济、人类活动、资源与环境等,可以更准确地体现社会经济系统与农村生态系统之间的关系;基于灰色关联模型的综合评价系统能使农村生态文明评价系统中的复杂关系简单明了,获得量化的评价指标体系,提供科学的判断分析,它对农村生态文明建设水平的评价更加有效;基于PSR模型的评价指标体系与灰色关联模型能够对农村生态文明建设水平的有效诊断。

(2) 江苏省农村生态文明建设水平存在区域差异,从总体来看苏南地区高于苏中地区、苏北地区。苏南地区农村生态文明建设水平主要受农村生态系统状态、农村生态系统压力方面制约,为进一步提高农村生态文明建设水平,苏南地区要不断缓解人口压力,提高农民收入水平,改善农村居民生活,同时加快发展绿色农业、循环农业,减少农药化肥的施用,提高区域生态环境等;苏中地区农村生态文明建设水平提升的阻碍因素主要集中在农村生态系统状态、农村生态系统响应方面,要进一步转变经济发展方式,提高农民收入水平,加大环境治理的财政投入,推进农村人居环境建设,强化农村污水治理和垃圾处理,实施

环保先行政策,提高绿化覆盖率等;苏北地区农村生态文明建设水平主要受到农村生态系统响应的阻碍,应进一步转变经济发展方式,提高农民收入水平,不断加强农村居民的生态环保意识和生态重视程度,提高苏北地区生态建设的资金投入,大力发展绿色农业,持续推进村庄环境整治,有效提升苏北地区农村整体的环境风貌。

(3) 根据江苏省农村生态文明建设水平诊断结果,进一步优化调整产业结构,深入推进供给侧结构性改革,倒逼经济转型升级,加强工业污染治理,加快发展现代服务业、大力发展生态旅游,提高农民收入水平、降低农村居民恩格尔系数;加快推进农业科技创新,普及农业标准化清洁生产,加快生态循环农业建设,持续推进农药减量化;加强农村生态文明建设资金投入,推进绿色江苏建设,加快美丽乡村建设,深入开展农村环境整治,加快推进生活污水治理,优化农村人居环境,加强农村生态文明建设宣传教育,提升公众农村生态文明建设意识,进而有效提升农村生态文明建设水平。

(4) 本研究在建立农村生态文明建设水平评价指标体系的基础上,尝试性将灰色关联模型运用到农村生态文明建设水平诊断中,达到了预期研究目的。由于此类研究尚不多见,农村生态文明建设水平评价的指标选择等问题有待于进一步深入分析。

[参 考 文 献]

- [1] 李平星,陈雯,高金龙. 江苏省生态文明建设水平指标体系构建与评估[J]. 生态学杂志, 2015, 34(1): 295-302.
- [2] 张艳,何爱平. 生态文明建设的理论基础及其路径选择[J]. 西北大学学报:哲学社会科学版, 2016, 46(2): 120-125.
- [3] 陈巍,李焯,郑华伟. 基于改进灰靶模型的农村生态文明建设差异分析[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 90-96.
- [4] Foster J B. Ecology Against Capitalism[M]. New York: Monthly Review Press, 2002.
- [5] Kemp R, Pontoglio S. The innovation effects of environmental policy instruments: A typical case of the blind men and the elephant? [J]. Ecological Economics, 2011, 72(12): 28-36.
- [6] 林爱广. 中国生态文明建设及路径研究[D]. 杭州:浙江农林大学, 2013.
- [7] Zhang Lei, Zhang Dayong. Relationship between ecological civilization and balanced population development in China[J]. Energy Procedia, 2011, 5: 2532-2535.
- [8] 张欢,成金华,陈军,等. 中国省域生态文明建设差异分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(6): 22-29.

- [9] 吴小节,彭韵妍,汪秀琼. 中国生态文明发展状况的时空演变与驱动因素[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(8): 1-9.
- [10] 袁晓玲,景行军,李政大. 中国生态文明及其区域差异研究[J]. 审计与经济研究, 2016(1):92-101.
- [11] 宋洪远,金书秦,张灿强. 强化农业资源环境保护 推进农村生态文明建设[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2016, 17(5):33-41.
- [12] 刘海涛. 我国农村生态文明建设问题研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2014.
- [13] 赵明霞,包景岭. 农村生态文明建设的评价指标体系构建研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(2):131-135.
- [14] 刘晓光,侯晓菁. 中国农村生态文明建设政策的制度分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(11):105-112.
- [15] 郑华伟,张锐,孟展,等. 基于 PSR 模型与集对分析的耕地生态安全诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(12): 42-50.
- [16] 曲衍波,朱伟亚,郎文聚,等. 基于压力—状态—响应模型的土地整治空间格局及障碍诊断[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3):241-249.
- [17] 张锐,刘友兆,丑建立. 中国土地利用系统健康动态评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2):197-203.
- [18] 李自琼,李向东,陈晓雪. 基于灰色关联度的开发区创新转型能力综合评价研究[J]. 宏观经济研究, 2015(12):115-120.
- [19] 高春泥,程金花,陈晓冰. 基于灰色关联法的北京山区水土保持生态安全评价[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(2):69-77.
- [20] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [21] 王波,吴子玉. 基于范数灰关联度确定权重的江苏省文化产业竞争力综合评价研究[J]. 江苏社会科学, 2016(3):244-251.
- [22] 郑华伟,夏梦蕾,张锐,等. 基于熵值法和灰色预测模型的耕地生态安全诊断[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 284-289.

(上接第 106 页)

- [8] 陈志强,陈志彪. 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变: 以福建省长汀县为例[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 3002-3010.
- [9] 李小飞,陈志彪,陈志强,等. 南方红壤侵蚀区芒萁生长特征及其对环境因子的响应[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3):33-37.
- [10] 张明如,何明,温国胜,等. 芒萁种群特征及其对森林更新影响评述[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(4):303-308.
- [11] 厉婉华. 栓皮栎、杉木和火炬松根际与非根际土壤氮素及 pH 差异的研究[J]. 南京林业大学学报, 1996, 20(2):50-53.
- [12] 曾曙才,苏志尧,陈北光,等. 植物根际营养研究进展[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(6): 79-83.
- [13] 黄刚,赵学勇,张铜会,等. 科尔沁沙地 3 种灌木根际土壤 pH 值及其养分状况[J]. 林业科学, 2007, 43(8): 138-142.
- [14] 朱秋莲,邢肖毅,程曼,等. 宁南山区典型植物根际与非根际土壤碳、氮形态[J]. 应用生态学报, 2013, 24(4): 983-988.
- [15] 张学利,杨树军,张百习. 我国林木根际土壤研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(6):461-465.
- [16] 张学利,杨树军,刘亚萍,等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1):72-76.
- [17] 孔祥斌,张凤荣,齐伟,等. 集约化农区土地利用变化对土壤养分的影响: 以河北省曲周县为例[J]. 地理学报, 2003, 58(3):333-342.
- [18] 李菊梅,王朝辉,李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. 土壤学报, 2003, 40(2):232-238.
- [19] 谢林毅. 植物氮素营养与氮肥施用[J]. 农村实用技术, 2004(12):37-38.
- [20] 杜明新,张丽静,梁坤伦,等. 高寒沙化草地不同灌木根际与非根际土壤氮素、有机碳含量特征[J]. 中国草地学报, 2011, 33(4):18-23.
- [21] 张福锁. 植物根引起的根际 pH 值改变的原因及效应[J]. 土壤通报, 1993, 24(1):43-45.