基于灰色关联模型的贫困地区生态安全综合评价
——以恩施贫困地区为例

张家其[1],吴宜进[1],葛 咏[2],王程昊[1],Hsiangte Kung[3]
(1. 华中师范大学城市与环境科学学院,武汉 430079; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所,资源与环境信息系统国家重点实验室,北京100101; 3. 孟菲斯大学孔子学院, 孟菲斯 38152, 美国)

摘要: 将灰色系统理论与熵值赋权法相结合,采用压力—状态—响应模型,对恩施贫困地区生态安全状况进行综合评价,并将生态安全综合指数分别与各县农民人均纯收入及贫困村比重进行空间耦合。计算结果表明恩施贫困地区生态安全呈现以下特点: ① 研究区当前生态安全综合指数总体处于较安全水平,生态环境较好;② 研究区各县市生态安全综合指数与农民人均纯收入没有必然的联系,说明在贫困地区开展扶贫工作,若只注重经济发展并不一定能改善当地生态安全状况;③ 各县市生态安全综合指数与贫困村比重存在反相关性,表明扶贫开发在消除贫困的同时,能够改善当地生态环境,提升整体生态安全水平。

关键词: 生态安全综合指数;灰色关联;熵权;PSR模型;贫困地区
DOI: 10.11821/dlyj201408006

1 引言

当前，贫困已成为中国社会经济发展不容忽视的问题，消除贫困是国家实施可持续发展战略面临的严峻挑战之一[1]。中国的贫困人口呈现出规模大、范围广的特点，扶贫任务艰巨[2]。以往的扶贫开发，大多只注重发展经济，在评价扶贫工作成效时，较少考虑生态方面的影响。中国生态敏感地区有约76%的贫困县，环境与贫困发生率紧密相连，环境愈恶劣的地区越贫困，脱贫难度愈大[3,4]。这使得扶贫开发决策必须与生态环境保护有效衔接，成为实施可持续发展战略的重要举措。保障生态安全，必须将生态成本考虑在内，摆脱单纯追求经济发展的开发模式[5]。贫困地区生态环境脆弱，如何做到既发展经济，又不对生态环境造成破坏，日益成为人们密切关注的问题。

近年来，国外的生态安全研究主要集中在生态健康、生态风险的大尺度研究，国内研究的核心则是生态安全评价[6-9]。目前以贫困区为研究对象，结合生态省、市、县建设开展生态安全评价的研究相对较少。2011年颁布的“中国农村扶贫开发纲要（2011-2020年）”中指出：扶贫工作要充分发挥贫困地区生态环境和资源优势，发展特色产业，实现区域可持续发展。为了解贫困区的生态环境状况，对贫困区进行生态安全评价很有必要。目前生态安全评价采用的方法较多[7,10,11]，其中层次分析法和综合指数法受困于主观性较强，而生态足迹法中进出口数据较难获取，使评价结果与事实存在一定误差。

收稿日期：2013-12-20; **修订日期**：2014-05-13
基金项目：国家科技支撑计划项目(2012BAH33B00)
作者简介：张家其（1985- ），男，湖南醴陵人，博士研究生，主要从事区域资源开发与利用方面研究。
E-mail: 594089143@qq.com
通讯作者：吴宜进（1963- ），男，江西九江人，教授，博士生导师，主要从事区域资源开发与利用方面研究。
E-mail: wuyijin@mail.ccnu.edu.cn

鉴于此，采用“压力—状态—响应（PSR）”模型及灰色系统理论对恩施贫困地区的生态安全状况进行综合评价，以期为恩施地区扶贫工作的开展及生态文明建设提供决策参考。PSR模型反映了人与自然环境之间的关系，较其他方法更系统[12]。灰色理论在指标权重的确定上过于主观，因此采用熵权法来确定各指标的权重，避免主观性，使之最终的计算结果能较客观地反映研究区的现状。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

恩施贫困地区是指包括巴东县、建始县、恩施市、利川市、鹤峰县、宣恩县、咸丰县、来凤县在内的典型农业贫困地区（图1），农村人口比重近80%，是全国重点集中连片贫困地区之一，也是扶贫开发整村推进区。恩施贫困地区位于湖北省西南部，由齐跃山脉、巫山山脉、武陵山脉组成的山地地区，自然资源丰富、森林覆盖率为64.39%，是湖北省内水能资源富集地区之一；同时该地区面临着地形复杂、人口素质低、基础设施落后、医疗卫生条件较差、经济发展滞后、资源优势难以转化为经济优势等问题[13]。

2.2 数据来源

对恩施贫困地区开展生态安全评价，根据该区域自然资源丰富的特点，选取人均耕地面积、森林覆盖率、人均水资源量等指标；针对山区地形复杂、基础设施建设落后、产业发育不足的特点，选取有效灌溉面积占耕地面积比重、路网密度、用水普及率、万元GDP能耗、第三产业比重等指标；依据经济发展滞后、医疗卫生条件较差、人口素质低的特点，选取人均GDP、经济密度、万人拥有教师数、万人拥有卫生技术人员、万人拥有床位数、科教投入占GDP比重等指标；同时为了推进恩施贫困地区的生态文明建设，选取环保投入占GDP比重、空气质量指数达到优良天数比例、退耕还林完成率、自然保护区占区域比重、水质达标率、生活垃圾处理率、生活污水处理率、二氧化硫总量控制、化学需氧量（COD）排放强度等指标。数据包括水土保持监测站遥感调查数据、地区社会经济统计数据、土地利用类型数据（表1）。

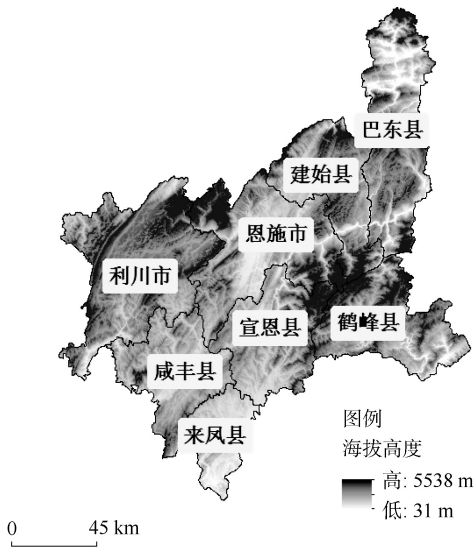


图1 研究区地形图

Fig. 1 Topographic map of the study area

3 评价方法

3.1 评价指标体系

生态安全评价与生态脆弱评价都是对地区环境问题的诊断。生态脆弱是指自然环境先天不足和人类不合理的开发利用，导致生态环境向不利于人类生存的方向发展。生态安全是指人的生产生活不受威胁的状态，包含了自然、经济和社会的复合人工生态安全系统[14]。生态安全的本质是通过脆弱性评价，因地制宜地改善脆弱性，实现人与自然和谐共处。生态安全评价的理论框架如图2。

表1 区域生态安全评价指标体系

Tab. 1 The mark-value of regional ecological security assessment

项目	类型	指标层	数据来源	基准值
研究区生态安全评价指数A	压力B_1	人口密度（人/km^2）X_1	统计资料	200
		人口自然增长率（‰）X_2	统计资料	8
		单位面积化肥使用量(kg/hm^2)X_3	统计资料	250
		人均GDP（万元/人）X_4	统计资料	2.5
		单位面积农药使用量(kg/hm^2)X_5	统计资料	30
		经济密度（万元/km^2）X_6	统计资料	850
		第三产业比重（%）X_7	统计资料	45
		路网密度（km/km^2）X_8	统计资料	1.11
		城市化水平（%）X_9	统计资料	50
	状态B_2	人均粮食产量（kg/人）X_{10}	统计资料	400
		水土流失面积比重（%）X_{11}	遥感调查	32.7
		有效灌溉面积占耕地比重（%）X_{12}	统计资料	65.8
		森林覆盖率（%）X_{13}	遥感调查	75
		人均水资源量（m^3/人）X_{14}	统计资料	2052
		人均耕地面积（hm^2/人）X_{15}	统计资料	0.08
		万元GDP能耗（t/万元）X_{16}	统计资料	1.58
		每万人拥有卫生技术人员X_{17}	统计资料	44
		每万人拥有教师数X_{18}	统计资料	99
		每万人拥有床位数X_{19}	统计资料	35
		空气质量达到优良天数比例（%）X_{20}	统计资料	90
		水质达标率（%）X_{21}	统计资料	100
	响应B_3	固废无害化处理率（%）X_{22}	统计资料	100
		废水处理率（%）X_{23}	统计资料	100
		工业烟尘排放达标率（%）X_{24}	统计资料	100
		科教支出占GDP比（%）X_{25}	统计资料	6
		环保投资占GDP比例（%）X_{26}	统计资料	3.5
		用水普及率（%）X_{27}	统计资料	100
		建成区绿地率(%)X_{28}	统计资料	31
		人均公共绿地面积（m^2/人）X_{29}	统计资料	5
		退耕还林完成率（%）X_{30}	统计资料	18.57
		自然保护区占区域面积比重（%）X_{31}	统计资料	20
		生活垃圾处理率（%）X_{32}	统计资料	100
		生活污水处理率（%）X_{33}	统计资料	60
		化学需氧量（COD）排放强度 （kg/万元） X_{34}	统计资料	4.5
		二氧化硫排放总量控制（%）X_{35}	统计资料	1.66

评价指标体系采用压力—状态—响应(Pressure-State-Responses)模型[15,16]。其中，响应指标体现人类为实现可持续发展采取的措施；状态指标反映生态系统的状况；压力指标表示人类活动造成的发展不可持续[16]。根据PSR模型框架，在参考国内外生态安全评价指标体系[9,17-19]的基础上，结合能够反映恩施贫困地区生态环境状况的个性指标，初步确

定生态安全评价指标体系；采取因子（主成分）分析法进行指标提取，并最终构建评价指标体系（表1）。

3.2 生态安全基准值确定

生态安全基准值的选取[8,9,20]：① 优先采用国家标准或者国际标准，指标X_2、X_3、X_4、X_7、X_9、X_{10}、X_{13}、X_{20}、X_{21}、X_{25}、X_{26}、X_{27}、X_{28}、X_{29}、X_{32}、X_{33}以《国家级生态县、生态市、生态省建设指标》、《小康社会标准》、《国家园林城市标准》为依据，指标X_{15}、X_{22}、X_{23}、X_{24}以国际标准为依据；② 结合研究区特点，参照恩施州生态文明建设要求及恩施州“十二五”规划，确定指标X_1、X_5、X_6、X_8、X_{11}、X_{12}、X_{14}、X_{16}、X_{17}、X_{18}、X_{19}、X_{30}、X_{31}、X_{34}、X_{35}的基准值（表1）。

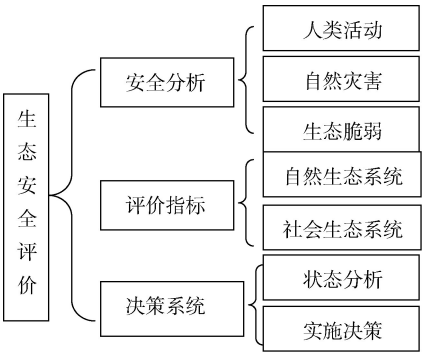


图2 生态安全评价框架

Fig. 2 The frame of ecological security

3.3 评价指标权重确定

3.3.1 标准化 熵权法是通过评价指标提供的信息量大小来计算综合指标，指标权重由评价指标构成的判断矩阵来确定[21]。由于评价体系存在正向和逆向指标，需对样本矩阵进行无量纲化处理。假定研究区有 m 个评价对象包括了 n 个评价指标，定义 X 为生态安全样本矩阵，表达为：

$$X=\begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix},\ X=\{x_{ij}\}_{m\times n}\left(0\leqslant i\leqslant m,0\leqslant j\leqslant n\right) \tag{1}$$

因为各指标系数之间的量纲不统一，所以采用极差化方法对指标系数进行规范化处理。评价指标划分为正向指标 y_{ij}^{p}，即指数值越大越好的指标；逆向指标 y_{ij}^{n}，即指数值越小越好的指标，标准化方法[9]：

$$y_{ij}^{p}=(X_{ij}-\min x_j)/(\max x_j-\min x_j) \tag{2}$$

$$y_{ij}^{n}=(\max x_j-X_{ij})/(\max x_j-\min x_j) \tag{3}$$

式中：$\min x_j$ 和 $\max x_j$ 表示第 j 个指标下各评价样本的最小值和最大值。

矩阵 X 转化为矩阵 Y，计算方法如下[9]：

$$Y=(y_{ij})_{m\times n}\quad（其中\ [y_{ij}\in[0,1]）\tag{4}$$

3.3.2 “熵权”方法 在信息论中，熵值越大，表示评价指标的值相差越小，则该指标的权重较小；反之，某项指标的值相差较大时，则熵值较小，该指标的权重较大[22]。矩阵 Y 中，j 项指标下第 i 个评价对象的指标值的比重为 f_{ij}，计算方法为[22]：

$$f_{ij}=y_{ij}/\sum_{i=1}^{m}y_{ij}\quad（其中，\ [j]=1,2,\cdots,[n]）\tag{5}$$

H_j 为第 j 项指标的熵值，计算方法为[22]：

$$H_j=-k\sum_{i=1}^{m}f_{ij}\ln f_{ij}（其中，\ [k=1/\ln m],\ 当\ [f_{ij}=0]时，\ [f_{ij}\ln f_{ij}=0]）\tag{6}$$

计算第 j 个指标的熵权 W_j，计算方法为[22]：

$$w_j=(1-H_j)/\sum_{j=1}^{n}(1-H_j)\quad（其中，\ [w_j\in[0,1],\sum_{j=1}^{n}w_j=1]）\tag{7}$$

3.4 灰色关联评价模型

贫困地区生态环境受自然、社会、经济等诸多不确定因素影响，该系统成为一个灰色系统，因此运用灰色系统理论[23-25]，建立恩施贫困地区生态安全评价灰色关联模型。

3.4.1 评价指标数值标准化　X_j 为第 j 个评价指标值，即公式（1）中第 j 列的样本属性值；S_j 为该指标的基准值；P_j 为第 j 个评价指标标准化后数值[26]:

正向指标: 当$X_j > S_j$时，$P_j = 1$；当$X_j < S_j$时，$P_j = X_j / S_j$　　（8）

逆向指标: 当$X_j < S_j$时，$P_j = 1$；当$X_j > S_j$时，$P_j = S_j / X_j$　　（9）

每个指标都存在一个生态安全基准值，正向指标实际值大于基准值时，该指标为安全；逆向指标实际值小于基准值时，该指标为安全。基准值标准化后记为 $G=(g_1, g_2, ..., g_{23})$，即 $g_j = s_j / s_j = 1$，生态安全级别为优[26]。

3.4.2 求关联系数　计算第 j 个评价指标 P_j 与生态安全标准序列 G 的关联系数 $\zeta_i(P_j, G)$，计算方法为[27]：

$$\zeta_i(P_j, G) = \frac{\Delta \min + \rho \times \Delta \max}{\Delta L_{ij} + \rho \times \Delta \max} \tag{10}$$

式中：$\Delta \max = \max_i \max_j |P_{ij} - g_j|$，$\Delta \min = \min_i \min_j |P_{ij} - g_j|$，$\Delta \max$ 和 $\Delta \min$ 分别为两级极大差和极小差；$\Delta L_{ij} = |P_{ij} - g_j|$；$\rho \in (0, \infty)$ 称为分辨系数，ρ 越小，分辨力越大，当 $\rho \leqslant 0.563$ 时，分辨力最好，通常取 $\rho = 0.5$。

3.4.3 生态安全指数计算　关联度的大小能够反映区域生态安全等级的优劣，即评价对象 i 的生态安全指数。计算标准序列 $\boldsymbol{G}$ 与第 i 个评价对象的关联度 $\boldsymbol{R}$，计算方法为[27]：

$$R = \sum_{j=1}^{n} w_j \times \zeta_i(P_j, G) \tag{11}$$

4 结果分析

得到恩施贫困地区2010年生态安全综合指数及压力—状态—响应指数（表2）。在参考相关科研成果[9,27-29]的基础上，通过咨询有关方面的专家，以及结合本文的计算结果，设计了恩施贫困地区生态安全分级标准（表3）。由于该研究区域范围较小，且属于连片贫困区，在自然环境、国家扶贫政策等方面整体差异不是特别明显，其生态安全综合指数值的跨度不大，因此分级标准与大尺度生态安全研究的分级标准略有不同。该分级标准以求最大程度地反映恩施贫困地区生态安全的区域差异，为扶贫工作的开展提供有针对性的参考。

表2　基于PSR模型的生态安全评价指数

Tab. 2　Evaluation results of the classification of ecological security based on PSR model

	建始县	来凤县	利川市	恩施市	鹤峰县	咸丰县	巴东县	宣恩县
生态安全综合指数	0.780	0.730	0.697	0.774	0.705	0.735	0.762	0.706
压力	0.621	0.677	0.593	0.667	0.621	0.612	0.660	0.621
状态	0.839	0.831	0.754	0.809	0.808	0.831	0.744	0.804
响应	0.818	0.654	0.687	0.795	0.647	0.712	0.822	0.652

表3 生态安全分级评价标准

Tab. 3 Classification criterion of ecological security

生态安全指数取值范围	等级	评语	生态安全特征描述
< 0.45	Ⅰ	恶劣	生态环境恶劣，不适合人类生存发展
0.45~0.55	Ⅱ	差	生态环境较差，勉强满足人类生存发展需求
0.55~0.65	Ⅲ	中	生态环境一般，基本满足人类生存发展需求
0.65~0.75	Ⅳ	良	生态环境较好，较适合人类生存发展
> 0.75	Ⅴ	优	生态环境优越，适合人类生存发展

恩施八县市生态安全压力指数处在0.593~0.677之间（表2、图3）。其中，建始县、利川市、鹤峰县、宣恩县、咸丰县处于Ⅲ级的临界安全水平，区域生态环境面临的压力主要是经济发展滞后、人民增收困难、城市化水平低。该地区人均GDP远远低于2.5万元的国家标准，经济密度均低于150万元/km^2，而湖北省平均经济密度为850万元/km^2。巴东县、来凤县、恩施市处于Ⅳ级的较安全水平，相对于研究区内其他县市，经济发展水平稍好。

恩施八县市生态安全状态指数处在0.744~0.839之间（表2、图3）。其中，利川市、恩施市、来凤县、建始县、鹤峰县、宣恩县、咸丰县处于Ⅴ级的安全水平，该地区水热

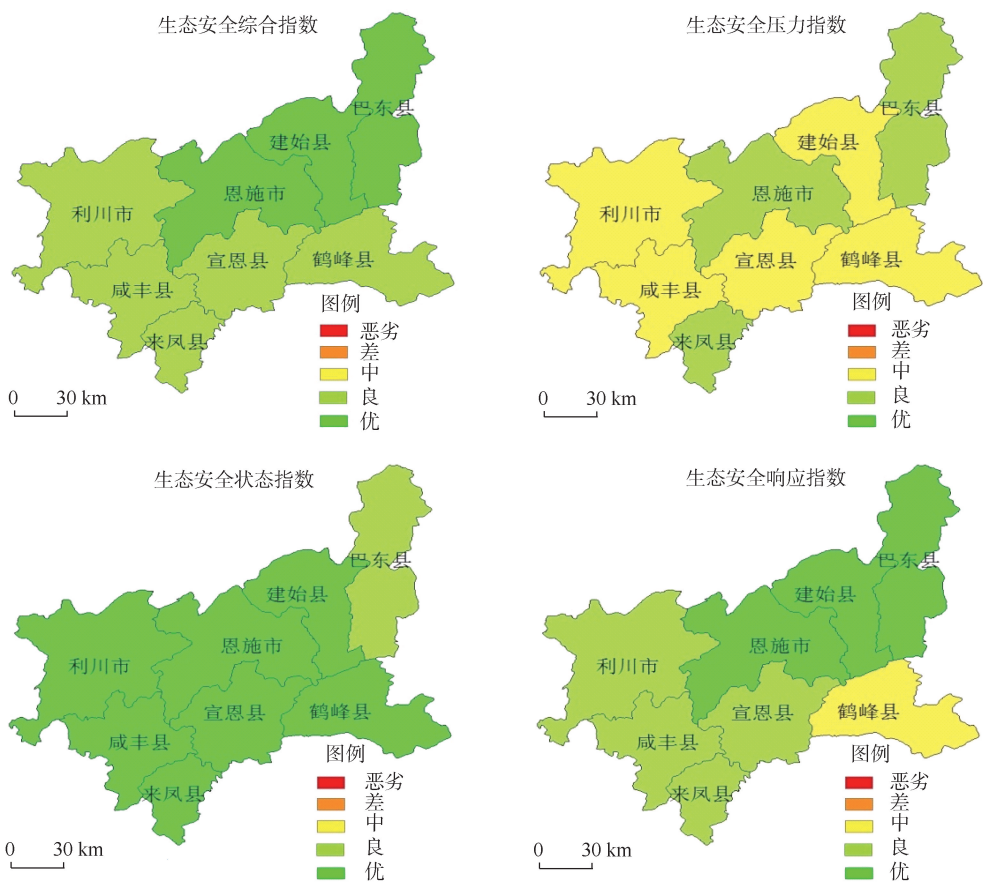


图3 研究区生态安全状况

Fig. 3 Ecological security status of the study area

条件优越，人均耕地面积较多，人均粮食产量高，森林覆盖率高，水土流失面积比重较小，且环境污染较小。巴东县处于Ⅳ级的较安全水平，主要由于该县多坡耕地，有效灌溉面积占耕地面积比重不超过40%，水土流失面积比重接近50%，环境压力较大。

恩施八县市生态安全响应指数处在0.647~0.822之间（表2、图3），鹤峰县处于Ⅲ级的临界安全水平，利川市、来凤县、宣恩县、咸丰县处于Ⅳ级的较安全水平，恩施市、建始县、巴东县处于Ⅴ级的安全水平。鹤峰县由于环境保护力度不够，工业废水、生活垃圾、污水处理率较低，城市绿化建设落后，导致生态安全响应程度较低；恩施市、建始县、巴东县在环境保护、退耕还林、城市绿化建设、市政设施完善等方面表现较好，生态安全响应指数较高。

恩施八县市生态安全综合指数处在0.697~0.780之间（表2、图3），贫困地区经济发展水平相对落后，人民生活水平较低，其人均纯收入仅为湖北省总体水平的55.7%，居民人均消费水平仅为湖北省平均水平的55.1%。但由于该地区耕地资源充足，人均耕地面积均超过0.08 hm^2的国际人均耕地安全标准，人均水资源量（超过4000 m^3）为湖北省人均水资源量的2倍，森林覆盖率高达67%，且在污染物总量控制、生态保护、污染防治、生态建设等方面投入很大，使该地区的生态安全综合指数处于较安全水平以上。

恩施贫困地区各县市生态安全综合指数与农民人均纯收入没有必然联系（图4），说明贫困地区在开展扶贫工作时，只注重经济发展并不一定能改善当地生态安全状况。在评价扶贫成果时，要避免单纯用经济指标衡量扶贫开发效果。恩施贫困地区在发展经济的同时，应当注意保护当地森林资源，积极发展农田水利，继续加大对教育、医疗卫生、交通、科技的投入，加快城市化步伐，落实生态文明建设战略方针。恩施贫困地区各县市生态安全综合指数与贫困村比重存在反相关性（图5），即贫困村比重越小，生态安全综合指数越高。恩施贫困地区应采取整村推进的扶贫政策，积极发展社会公益事业，完善基础设施建设，确保贫困群众收入稳步增长，努力提高人民生活水平。这种扶贫模式在消除贫困的同时，有利于改善当地的生态环境，提高生态安全综合指数。

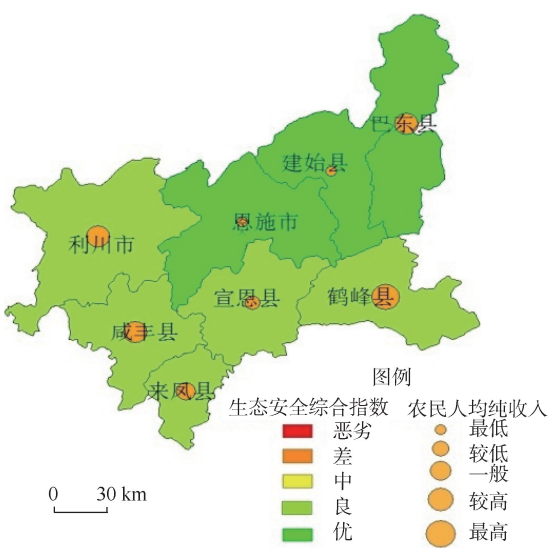


图4　生态安全综合指数与农民人均纯收入比较

Fig .4　Ecological security comprehensive index compared with the per capita net income of farmers

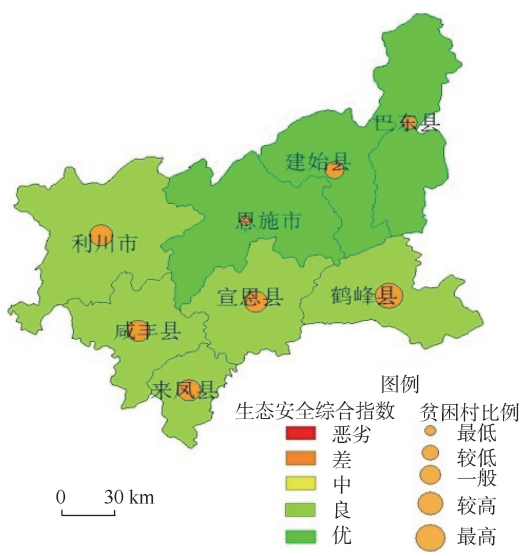


图5　生态安全综合指数与贫困村比例比较

Fig. 5　Ecological security comprehensive index compared with the proportion of poor village

5 结论与讨论

贫困地区生态系统脆弱，扶贫开发不当，极易导致生态环境恶化，因此有必要对贫困区进行生态安全评价，突出生态保护的重要作用和意义，最终实现贫困地区的可持续发展。基于PSR模型理论框架，采用熵值法与灰色关联分析法相结合的方式对恩施贫困地区的生态安全进行综合评价，结果表明该地区生态环境面临的压力较小，整体较安全。恩施贫困地区在扶贫工作推进的同时，要保证生态环境维持在一个较好的状态，甚至能够进一步改善当地生态安全状况，做到既发展经济，又能保护生态环境。

通过灰色关联与熵值赋权的方式进行贫困地区生态安全评价尚属尝试。尽管熵权法赋权比较客观，但却不能表现决策者的主观意愿，赋权问题仍有待进一步研究。

参考文献（References）

[1] 刘英, 闫慧珍. 生态移民: 西部农村地区扶贫的可持续发展之路. 北方经济, 2006, (6): 37-38. [Liu Ying, Yan Huizhen. Ecological migration: The road of sustainable development in rural areas of western poverty alleviation. Northern Economy, 2006, (6): 37-38.]

[2] 许飞琼. 中国的贫困问题与缓贫对策. 中国软科学, 2000, (10): 18-21. [Xu Feiqiong. China's poverty problem and alleviative strategy. China Soft Science, 2000, (10): 18-21.]

[3] 黄季, 马恒运, 罗泽尔. 中国的扶贫问题和政策. 改革, 1998, (4): 72-83. [Huang Ji, Ma Hengyun, Luo Zeer. China's poverty issues and policies. Reform, 1998, (4): 72-83.]

[4] 郭来喜, 姜德华. 中国贫困地区环境类型研究. 地理研究, 1995, 14(2): 1-7. [Guo Laixi, Jiang Dehua. A study on classification and development of the poor areas in china. Geographical Research, 1995, 14(2): 1-7.]

[5] 陶然. 生态安全与国防安全同样重要. 经济视点报, 2005-02-03(1). [Tao Ran. Ecological security and national security are equally important. The Economic View, 2005-02-03(1).]

[6] Norton B G, Costanza R, Haskell B D, et al. Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Washington: Island Press, 1992.

[7] 邱微, 赵庆良, 李崧, 等. 基于“压力—状态—响应”模型的黑龙江省生态安全评价研究. 环境科学, 2008, 29(4): 1148-1152. [Qiu Wei, Zhao Qingliang, Li Song, et al. Ecological security evaluation of Heilongjiang province with Pressure-State-Response model. Environmental Science, 2008, 29(4): 1148-1152.]

[8] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价. 自然资源学报, 2004, 9(6): 769-775. [Xiao Rongbo, Ouyang Zhiyun, Hang Yishi, et al. Ecological security assessment of Hainan Island. Journal of Natural Resources, 2004, 9(06): 769-775.]

[9] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 广东省生态安全状态及趋势定量评价. 生态学报, 2006, 26(7): 2191-2197. [Gao Changbo, Chen Xingeng, Wei Chaohai, et al. Quantitative evaluation of ecological security status and trends: A case study of Guangdong province, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2191-2197.]

[10] 张军以, 苏维词, 张凤太. 基于PSR模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价. 中国环境科学, 2011, 31(6): 1039-1044. [Zhang Junyi, Su Weici, Zhang Fengtai. Regional land ecological security evaluation in the case of Chongqing Three Gorges Reservoir ecological economy area based on the PSR model. China Environmental Science, 2011, 31(6): 1039-1044.]

[11] 陶晓燕. 基于模糊物元和熵权法的土地生态安全评价. 统计与决策, 2012, (6): 55-57. [Tao Xiaoyan. Land ecological security evaluation based on fuzzy matter element and the entropy weight method. Statistics and Decision, 2012, (6): 55-57.]

[12] 仝川. 环境指标研究进展与分析. 环境科学研究, 2000, 13(4): 53-55. [Tong Chuan. Review on environmental indicator research. Research on Environmental Science, 2000, 13(4): 53-55.]

[13] 熊郁云, 曹昌. 专访全国人大代表、湖北恩施州州长杨天然: 一个国家级贫困地区的小康战略. 中国经济周刊, 2013, (8): 47-48. [Xiong Yuyun, Cao Chang. Interview with representatives of the National People's Congress, Hubei Enshi governor Yang Tianran: A strategy for a national poverty areas. China Economic Weekly, 2013, (8): 47-48.]

[14] 任志远, 刘焱序. 基于价值量的区域生态安全评价方法探索: 以陕北能源区为例. 地理研究, 2013, 32(10): 1771-1781. [Ren Zhiyuan, Liu Yanxu. Exploring the regional ecological security evaluation methods based on values: A case study in the energy region of northern Shanxi. Geographical Research, 2013, 32(10): 1771-1781.]

[15] 郭旭东, 邱扬, 连纲, 等. 基于“压力—状态—响应”框架的县级土地质量评价指标研究. 地理科学, 2005, 25(5): 579-583. [Guo Xudong, Qiu Yang, Lian Gang, et al. Land quality evaluation indicators at county scale based on "Press-State-Response" framework. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(5): 579-583.]

[16] 魏兴平. 基于PSR模型的三峡库区重庆段生态安全动态评价. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1095-1099. [Wei Xingping. Ecological safety evaluation of Three Gorges Reservoir area in Chongqing with the Pressure-State-Response model. Progress in Geography, 2010, 29(9): 1095-1099.]

[17] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 61-67. [Zuo Wei, Wang Qiao, Wang Wenjie, et al. Study on regional ecological security assessment index and standard. Geography and Geo-Information Science, 2002, 18(1): 61-67.]

[18] Spiegel J M, Bonet M, Yassi A, et al. Developing ecosystem health indicators in Centro Habana: A community-based approach. Ecosystem Health, 2001, 7(1): 15- 26.

[19] 左伟. 基于RS、GIS 的区域生态安全综合评价研究: 以长江三峡库区忠县为例. 北京: 测绘出版社, 2004. [Zuo Wei. Based on the RS, GIS Comprehensive Assessment of the Regional Ecological Security in Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River in Zhongxian as An Example. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2004.]

[20] 宋永昌, 戚仁海, 由文辉, 等. 生态城市的指标体系与评价方法. 城市环境与城市生态, 1999, 12(5): 16-19. [Song Yongchang, Qi Renhai, You Wenhui, et al. A study on indices system and assessment criterion of eco-city. Urban Environment & Urban Ecology, 1999, 12(5): 16-19.]

[21] 魏兴萍. 基于灰色关联分析三峡库区重庆段生态安全. 水土保持研究, 2010, 17(4): 124-128. [Wei Xingping. Ecological security assessments of Three Gorges Reservoir area in Chongqing based on gray relational analysis. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(4): 124-128.]

[22] 邹志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用. 环境科学学报, 2005, 25(4): 552-556. [Zou Zhihong, Sun Jingnan, Ren Guangping. Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzz synthetic evaluation for water quality assessment. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 552-556.]

[23] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学出版社, 2004. [Liu Sifeng, Dang Yaoguo, Fang Zhigeng, et al. Grey Ssystem Ttheory and its Application. Beijing: Science Press, 2004.]

[24] 杨仕升. 自然灾害等级划分及灾情比较模型探讨. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 10-15. [Yang Shisheng. Study on the model of grade division of natural disaster and comparison of disastrous conditions. Journal of Natural Disasters, 1997, 6 (1): 10-15.]

[25] 陈亚宁, 杨思全. 自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究. 地理科学进展, 1999, 18(2): 64-68. [Chen Yaning, Yang Siquan. The application and model of grey association for evaluation of natural disaster. Progress in Geography, 1999, 18(2): 64-68.]

[26] 郭秀云. 灰色关联法在区域竞争力评价中的应用. 统计与决策, 2004, 5(11): 55-56. [Guo Xiuyun. Application of gray correlation method in evaluation of regional competitiveness. Statistics and Decision, 2004, 5(11): 55-56.]

[27] 张凤太, 苏维词, 周继霞. 基于熵权灰色关联分析的城市生态安全评价. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1249-1254. [Zhang Fengtai, Su Weici, Zhou Jixia. Assessment of urban ecological security based on entropy-weighted gray correlation analysis. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(7): 1249-1254.]

[28] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(5): 705-710. [Xie Hualin, Li Bo. A study on indices system and assessment criterion of ecological security for city. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2004, 40(5): 705-710.]

[29] 刘勇, 刘友兆, 徐萍. 区域土地资源生态安全评价: 以浙江嘉兴市为例. 资源科学, 2004, 26(3): 69-75. [Liu Yong, Liu Youzhao, Xu Ping. Evaluation on ecological security of regional land resources: A case study of Jiaxing city, Zhejiang province. Resources Science, 2004, 26(3): 69-75.]

Eco-security assessments of poor areas based on gray correlation model: A case study in Enshi

ZHANG Jiaqi[1], WU Yijin [1], GE Yong [2], WANG Chenghao[1], Hsiangte KUNG[3]
(1. College of Urban and Environmental Science, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Confucius Institute at the University of Memphis, Memphis 38152, USA)

Abstract: Nowadays the poverty has been a serious problem that has a negative effect on social economic development in China. Eliminating poverty is one of challenges to sustainable development strategy of China. The ecological system in poor areas is very fragile. If poverty alleviation and development are not properly promoted, the ecological system will be driven to a worse situation. Therefore it is necessary to make an ecological security evaluation of the poor areas, the significant effect and meaning of ecological protection should be made prominent, so that the sustainable development can finally be achieved.

Based on the domestic and foreign existing studies, this thesis combines the grey system theory with entropy method, uses the pressure-state-response model, conducts a comprehensive assessment of ecological security in poor areas of Enshi, and makes spatial coupling of ecological security comprehensive index with the per-capita net income of farmers and the proportion of poor villages. The calculation results show that the ecological security of Enshi poverty areas have the following characteristics: (1) The comprehensive index of ecological security of current study areas is at a security level with good ecological environment, but the ecological system is at fragile edge; (2) There is no necessary relationship between the ecological security comprehensive index of cities and counties and the per-capita net income of farmers, and showing that only paying attention to economic development does not necessarily improve the local ecological security status in the poverty alleviation work in poor mountainous areas; (3) Compared with the specific gravity of poor villages, there is negative correlation the comprehensive index of ecological security in each county and city. That is to say, the lower the specific gravity of poor villages, the higher the comprehensive index of ecological security. The poor areas in Enshi shake off poverty, the ecological environment should be kept in a relatively good situation, even can further improve the situation of local ecological security, so that not only the economy will be developed, but also the ecological environment could be protected. In a word, the poverty alleviation project can help the local people to get rid of poverty; furthermore, it promotes the ecological environment improvement in poverty-stricken areas, thus making the areas more suitable for human life and development.

Key words: eco-security comprehensive index; gray correlation; entropy weigh; Press-State-Response model; poor areas