
综
合
研
究

基于熵权灰色关联法的高寒贫困山区生态脆弱性分析

——以青海省海东市为例

郭婧^{1,2,5}, 魏珍³, 任君⁴, 周华坤¹, 师燕⁶

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 青海 西宁 810008;

2. 青海省社会科学院生态环境研究所, 青海 西宁 810000; 3. 青海省社会科学院经济研究所, 青海 西宁 810000;

4. 青海大学研究生院, 青海 西宁 810016; 5. 中国科学院大学, 北京 100049; 6. 西宁市城乡规划设计研究院, 青海 西宁 810006)

摘要: [目的] 对青海省海东市 6 个区县的生态脆弱性进行定量研究, 为缓解高寒贫困山区贫困状态、提高生态环境保护意识提供参考, 为国家深入实施精准扶贫工作提供依据。[方法] 选择经济发展状况、社会发展状况和自然生态环境状况 3 个评价维度构建高寒贫困山区生态脆弱性评价指标体系, 运用熵权灰色关联法, 对其进行定量分析与评价。[结果] 互助县生态脆弱度为 0.850 1, 属微度脆弱等级, 平安区生态脆弱度为 0.712 8, 属轻度脆弱等级, 循化县生态脆弱度为 0.557 3, 属于中度脆弱等级, 乐都、民和及化隆 3 区县生态脆弱度均小于 0.45, 属于重度脆弱等级。青海省海东市高寒贫困山区生态脆弱性评价指标的综合关联度从高到低的顺序依次为: 互助县 > 平安区 > 循化县 > 化隆县 > 乐都区 > 民和县。[结论] 自然生态环境状况和资源禀赋严重制约经济社会发展的同时, 对生态脆弱性也有显著的影响。

关键词: 熵权灰色关联法; 高寒贫困山区; 生态脆弱性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)03-0191-09

中图分类号: F323

文献参数: 郭婧, 魏珍, 任君, 等. 基于熵权灰色关联法的高寒贫困山区生态脆弱性分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 191-199. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20190329.001; Guo Jing, Wei Zhen, Ren Jun, et al. Analysis on ecological vulnerability in high-cold and poverty-stricken mountainous areas based on entropy and gray correlation methods[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 191-199.

Analysis on Ecological Vulnerability in High-cold and Poverty-stricken Mountainous Areas Based on Entropy and Gray Correlation Methods

— A Case Study in Haidong City, Qinghai Province

Guo Jing^{1,2,5}, Wei Zhen³, Ren Jun⁴, Zhou Huakun¹, Shi Yan⁶

(1. Key Laboratory of Restoration Ecology of Cold Area in Qinghai Province, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xi'ning, Qinghai 810008, China; 2. Research Department of Ecological Environment, Qinghai Academy of Social Sciences, Xi'ning, Qinghai 810000, China; 3. Research Department of Economy, Qinghai Academy of Social Sciences, Xi'ning, Qinghai 810000, China; 4. Graduate School of Qinghai University, Xi'ning, Qinghai 810016, China; 5. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 6. Xining Institute of Urban-Rural Planning and Design, Xi'ning, Qinghai 810006, China)

Abstract: [Objective] The ecological vulnerabilities of six counties and districts in Haidong City, Qinghai Province were quantitatively studied in order to alleviate poverty in high-cold and poverty-stricken mountainous areas, improve awareness of environment protection and provide basis for the implementation of national “precise poverty alleviation” policy. [Methods] The evaluation index system of ecological vulnerability in

收稿日期: 2018-11-22

修回日期: 2018-12-14

资助项目: 国家重点研发计划课题“退化高寒草甸适应性恢复及生态功能提升技术与示范”(2016YFC0501901); 国家自然科学基金青年项目(16CJY012); 青海省创新平台建设专项(2017-ZJ-Y20); 青海省自然科学基金面上项目(2019-ZJ-908); 中国科学院科技服务网络计划(STS计划KFJ-STZ-ZDTP-036); 青海大学中青年科研基金项目(2018-QSY-4)

第一作者: 郭婧(1989—), 女(汉族), 青海省西宁市人, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事生态经济、环境生态学研究。E-mail: 352097314@qq.com。

通讯作者: 周华坤(1974—), 男(汉族), 青海省乐都区人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为草地生态学、恢复生态学。E-mail: hkzhou@nwipb.cas.cn。

high-cold and poverty-stricken mountainous area was constructed from three dimensions of economic development, social development and the ecological environment. The index system was quantitatively analyzed and evaluated by the gray correlation method of entropy weight. [Results] The ecological vulnerability in Huzhu County was 0.850 1, which belonged to the slight vulnerability. The ecological vulnerability in Ping'an District was 0.712 8, belonging to light vulnerability level. The ecological vulnerability in Salar Autonomous County of Xunhua was 0.557 3, belonging to moderate vulnerability level. The vulnerabilities of ecological in Ledu, Minhe and Hualong, were less than 0.45, belonging to severe vulnerability level. The vulnerabilities of the six counties and districts in Haidong City were ranked as: Huzhu County > Ping'an District > Salar Autonomous County of Xunhua > Hualong County > Minhe County > Ledu County. [Conclusion] The ecological environment and the resource endowment not only seriously restrict the development of the social economy, but also have a remarkable impact on the ecological vulnerability.

Keywords: entropy and gray correlation method; high-cold and poverty-stricken mountainous areas; ecological vulnerability

自 21 世纪以来,贫困与生态环境保护已成为全世界共同关注的焦点^[1-2],尤其是在中国贫困与生态脆弱叠加区,经济发展往往受到自然环境的严重制约。2011 年 11 月国务院颁布的《中国农村扶贫开发纲要(2011—2020 年)》(简称“新纲要”)中明确提出要“坚持扶贫开发 with 生态建设、环境保护相结合,促进经济社会发展与人口资源环境相协调”^[3]。因此,如何在维持生态环境的基础上协调促进经济社会全面发展,引起了学者们的广泛关注,并从贫困的概念、成因、影响因素到贫困的评价指标体系及模型构建等定量研究了生态环境的贫困问题。佟玉权等^[4]研究了脆弱生态环境耦合下的贫困地区可持续发展,张宁等^[5]对新疆和墨洛地区贫困和生态环境之间的关系进行系统分析,并提出了反贫困措施。刘慧等^[6]对西部贫困地区与生态脆弱区和重要生态功能区空间分布的关联性以及地区贫困对生态环境的影响等方面深入解析,程静^[7]分析计算了干旱脆弱性各影响因子与中国农村贫困的关联度,张家其等^[8]对恩施贫困地区生态安全状况进行综合评价,贺祥等^[9]对贵州熔岩山区农村贫困脆弱性进行定量分析与评价。国内学者对于脆弱生态环境的贫困问题进行了大量的研究并取得了丰硕的成果,但是现有的研究集中于西部黄土高原区、干旱脆弱区及云贵高原深山区等贫困地区,鲜有学者从生态环境保护视角研究青藏高原高寒山区的生态贫困及其生态脆弱性的定量分析与评价等问题。

青海省海东市地处高寒山区,是中国生态环境脆弱的地区之一,干旱、水土流失、植被稀疏等诸多生态问题频发。同时,该地区也是中国扶贫开发,任务重、难度大、贫困程度深的地区之一,全市绝大多数贫困农民居住在海拔较高、经济社会发展相对滞后,只能

生长较耐寒农作物的东部浅脑山区。因此,本文拟以青海省海东市 6 区(县)为研究对象,选择经济发展状况、社会发展状况和自然生态环境状况 3 个评价维度的 26 个评价指标,运用熵权灰色关联法,对高寒贫困山区生态脆弱性进行定量分析与评价,以期为缓解高寒山区贫困状况、提高生态环境保护意识提供参考,为国家深入实施精准扶贫工作提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

海东市位于青海省东北部,地理位置 $100^{\circ}41' - 103^{\circ}04'E, 35^{\circ}26' - 37^{\circ}05'N$,辖平安区、乐都区、互助土族自治县(互助县)、民和回族土族自治县(民和县)、化隆回族自治县(化隆县)、循化撒拉族自治县(循化县)2 区 4 自治县,行政区域土地总面积 $12\,982.42\text{ km}^2$,人口 1.70×10^6 人。海拔在 $1\,650 \sim 4\,635.5\text{ m}$ 之间,最高点位于循化县渥宝淇山端,最低点在民和县下川口村。土地气候干旱,光照充足,太阳辐射强,年降水量 $164.3 \sim 527.6\text{ mm}$,年均气温 $3.8 \sim 18.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,地域差异大,为半干旱大陆性气候。研究区地处青藏高原和黄土高原的交错地带,境内山川相间,沟壑纵横,地形复杂,其自然环境带有显著的过渡性质,属于典型的生态脆弱区^[10]。

海东市是青海省第二大城市,随着西部大开发战略的深入实施,青海省“四区两带一线”经济发展布局的推进,海东市已成为青海省重要的农业区和经济发展区^[10]。至 2015 年末,地区生产总值达 3.84×10^{10} 元,农村居民人均可支配收入 $8\,196$ 元,贫困人口 1.76×10^5 人,农村贫困发生率 18.3% 。随着国家新型城镇化综合试点工作的启动,海东市又将迎来新一轮的新型城镇化发展新时期,将会面临经济发展与脆

弱生态环境保护的矛盾。同时,该地区在青海全面推进“生态立省”发展战略中发挥着重要作用,在高寒贫困山区生态脆弱性研究中具有典型性和代表性。

1.2 研究方法

传统的数理统计法(回归分析、方差分析、主成分分析等)在中国统计数据十分有限,数据序列起伏波动频繁,数据灰度大等条件下往往难以凑效,灰色关联分析方法可应用于关系十分复杂的抽象系统,如社会系统、经济系统、农业系统、教育系统、生态系统中^[11],弥补了采用数理统计方法进行系统分析所导致的缺憾,基本思路是根据相似程度来衡量各因素间的关联度^[11]。但在指标权重的设定中,层次分析法和专家打分德尔斐法等具有较强主观性,易带来偏差。熵权法是一种客观赋权法,它依据指标观测值反映的信息大小来衡量指标权重,避免主观性,比其他方法优越^[12]。因此,将熵权和灰色关联法相结合运用,即能够弥补其在权重上不足的问题^[13],还能得出更为全面客观的评价结果。因此,熵权灰色关联法在许多方面得到广泛应用。

1.2.1 熵值法确定权重 1948年,Shanon首次引进信息熵来描述了信号源信号的不确定性^[14],熵值法确定权重系数在信息论中,熵值反映了信息的无序化程度,可以用来度量信息量的大小^[15],某项指标携带的信息越多,表示该指标对决策的作用越大^[16]。熵值法的计算步骤如下^[17]:

(1) 构建判断矩阵(m 个评价方案 n 个评价指标):

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix},$$

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

(2) 指标特征值的无量纲处理:为了消除各个指标量纲不同无法进行比较带来的影响,需要先进行无量纲化处理,将 x_{ij} 转化为取值在 $[0,1]$ 区间的相对化数据,“正向型指标”〔公式(1)〕是指数值越大越好的指标和“逆向型指标”〔公式(2)〕是指数值越小越好的指标,公式如下:

$$y_{ij} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

$$y_{ij} = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

式中: x_{\min} ——该指标的最小值; x_{\max} ——该指标的最大值。

(3) 根据熵的定义, m 个评价方案 n 个评价指

标,可以确定评价指标的熵为:

$$e_i = \frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3)$$

$$f_{ij} = y_{ij} / \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (4)$$

式中: e_i ——第 i 个指标的熵; f_{ij} ——标准化后的指标数据,如果 $f_{ij}=0$,则用 0.0001 代替计算,那么第 i 项指标的熵权可定义为:

$$w_i = b_i / \sum_i b_i \quad (5)$$

式中: w_i ——第 i 项指标的权重; b_i ——指标 x_i 的差异系数, $b_i = 1 - e_i$ 。

1.2.2 灰色关联分析法 灰色关联分析法是基于邓聚龙^[18]提出的灰色系统理论提出的一种系统分析的现代统计方法。它是通过灰色关联度来分析和确定系统元素间的影响或元素对系统主行为的贡献测度的一种方法,它克服了回归分析等系统分析方法的不足,对样本量的大小及样本有无规律性没有过高的要求,不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况^[11]。

基于此,本文运用灰色关联法对青海省海东市高寒贫困山区生态脆弱度进行分析与评价。具体步骤如下:

(1) 确定参考序列和比较序列。参考序列: $X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad (i=1,2,\dots,m)$;设分级标准作为比较序列,则 $Y_j = \{y_j(1), y_j(2), \dots, y_j(n)\} \quad (i=1,2,\dots,s)$; (共分 s 级,有第 j 级标准)

(2) 求关联系数和关联度。首先,确定数列的最优向量: $G = (g_1, g_2, \dots, g_n) = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}, y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2m}, y_{n1}, y_{n2}, \dots, y_{nm})$,^[19]由于已经过无量纲化处理〔方法如公式(1)、公式(2)〕,可以直接进行比较。

式中: V ——最大运算符; G ——最优向量; y_{ij} ——标准化后的指标数据; g_i ——第 n 项指标的最优向量。

其次,计算关联系数:

$$\xi(Y_j, G) = \frac{\min_i \min_j |y_{ij} - g_i| + \rho \max_i \max_j |y_{ij} - g_i|}{|y_{ij} - g_i| + \rho \max_i \max_j |y_{ij} - g_i|} \quad (6)$$

式中: $\min_i \min_j |y_{ij} - g_i|, \max_i \max_j |y_{ij} - g_i|$ ——极差最小值和极差最大值; ρ ——分辨率(分辨系数), $0 < \rho < 1, \rho$ 越小,分辨力越大,有研究表明,当 $\rho \leq 0.5463$ 时,分辨率最好,本文中取 0.5 ^[20]。

(3) 计算加权关联度。

$$R_{ij} = \sum_{i=1}^n \omega_i \times \xi_{ij} \quad (7)$$

式中: R_{ij} ——关联度; ω_i ——第 i 项指标的权重;

ξ_{ij} ——关联度系数。

1.3 评价标准

目前还没有统一的关于生态脆弱等级划分标准,

通过咨询专家,并结合前人研究结果^[21-22]及青海省东部高寒山区的实地调研情况,构建出适用于青海省东部高寒山区生态脆弱度的评价标准(见表 1)。

表 1 生态脆弱度评价分级标准

项目	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
关联度范围	[0,0.30]	(0.30,0.45)	[0.45,0.60)	[0.60,0.75)	[0.75,1]
脆弱度	极度	重度	中度	轻度	微度

2 青海省海东市评价指标体系构建

2.1 资料来源与指标选取

本文在借鉴已有研究结果的基础上^[7,23],结合青海省海东市经济社会发展状况、自然生态环境状况以及高寒贫困山区生态脆弱程度,确定其生态脆弱性评价指标体系,选取了 3 个一级指标,26 个二级指标(详见表 2)。

本文样本数据贫困类指标来源于 2015 年海东市各区县扶贫局,环境质量指标来源于各区县环保局,水资源数据来自水文局,其余指标均来源于 2015 年度的《海东统计年鉴》《青海省互助土族自治县国民经济统计资料》《循化县“十二五”统计提要》《青海省民和土族自治县国民经济和社会发展统计资料》《乐都区统计年鉴》《青海省化隆回族自治县国民经济和社会发展统计资料》《乐都区统计年鉴》。

表 2 青海省海东市高寒贫困山区生态脆弱度评价指标体系

评价维度	指标层次	参数层	名称
经济发展状况 C_1	经济水平	人均生产总值/元*	X_1
		第一产业比重/%	X_2
	收入	农村居民可支配收入/元*	X_3
		农村居民人均年消费支出/元*	X_4
	支出	财政支农支出比重/%*	X_5
		农村居民家庭恩格尔系数/%	X_6
	固定资产	农村人均固定资产投资/元*	X_7
		贫困	贫困发生率/%
社会发展状况 C_2	教育	乡村文盲率/%	X_9
		九年义务教育巩固率/%*	X_{10}
	人口	乡村从业人员比重/%	X_{11}
	通信	通宽带村数比重/%*	X_{12}
	医疗	农村居民千人拥有乡村医生和卫生员(人/千人)*	X_{13}
	交通	公路网密度/($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)*	X_{14}
	养老保障	城乡居民养老保险参保率/%*	X_{15}
自然生态环境状况 C_3	植被	森林覆盖率/%*	X_{16}
	气候条件	年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$ *	X_{17}
		年日照时数/h*	X_{18}
		年总降水量/mm*	X_{19}
	水资源	人均水资源量/($\text{m}^3/\text{人}$)*	X_{20}
		人均林地面积/($\text{hm}^2/\text{人}$)*	X_{21}
	土地条件	人均耕地面积/($\text{hm}^2/\text{人}$)*	X_{22}
		工业二氧化硫排放量/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	X_{23}
	环境质量	氮氧化物排放量/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	X_{24}
		烟(粉)尘排放量/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	X_{25}
		空气质量优良率/%*	X_{26}

注: * 表示正向指标,其他表示逆向指标。

2.2 指标权重系数计算

根据上述原理及表 2 确定的指标,选取青海省海

东市各区县 2015 年度的各项指标数据作为生态脆弱度评价指标。对选取的逆向指标(8 项)利用公式(2)

进行计算,对选取的对正向指标利用公式(1)进行计算,解决各指标不同量纲无法进行综合汇总的问题,从而得到 2015 年度青海省海东市各区县的生态脆弱

度评价指标无量纲化处理数据(见表 3)。处理后的数据利用公式(3)——(5)的熵值赋权法,可得各指标的权重 W_i (见表 4)。

表 3 青海省海东市各区县生态脆弱度评价指标无量纲化处理参数

评价维度	名称	乐都区	互助县	民和县	循化县	平安区	化隆县
经济发展状况 C_1	X_1	0.277 1	0.150 6	0.000 0	0.040 9	1.000 0	0.132 7
	X_2	0.325 3	0.000 0	0.340 8	0.170 8	1.000 0	0.564 3
	X_3	1.000 0	0.782 1	0.765 6	0.653 2	0.880 2	0.000 0
	X_4	0.809 7	0.899 3	0.656 4	0.139 4	1.000 0	0.000 0
	X_5	0.958 9	0.000 0	0.850 8	1.000 0	0.796 8	0.823 4
	X_6	0.000 0	0.637 3	0.434 4	1.000 0	0.978 4	0.850 5
	X_7	0.099 1	1.000 0	0.094 1	0.000 0	0.574 0	0.101 4
	X_8	0.796 8	0.401 8	0.602 8	0.000 0	1.000 0	0.187 1
社会发展状况 C_2	X_9	0.940 6	0.564 6	0.703 1	0.533 2	1.000 0	0.000 0
	X_{10}	1.000 0	0.404 7	0.030 6	0.000 0	0.2212	0.005 4
	X_{11}	0.217 0	0.447 6	0.696 2	1.000 0	0.000 0	0.048 8
	X_{12}	0.194 2	0.661 9	0.047 1	1.000 0	0.000 0	0.679 5
	X_{13}	0.085 2	1.000 0	0.065 6	0.031 1	0.127 9	0.000 0
	X_{14}	0.147 3	0.079 6	0.630 4	0.000 0	1.000 0	0.154 7
	X_{15}	0.034 9	0.989 3	0.000 0	1.000 0	0.895 4	0.965 1
自然生态环境状况 C_3	X_{16}	0.743 0	0.789 2	0.399 7	0.937 2	1.000 0	0.000 0
	X_{17}	0.769 2	0.230 8	0.892 3	1.000 0	0.707 7	0.000 0
	X_{18}	0.129 0	1.000 0	0.000 0	0.142 3	0.164 0	0.100 5
	X_{19}	0.337 7	1.000 0	0.392 7	0.000 0	0.272 5	0.849 8
	X_{20}	0.372 9	0.466 9	0.000 0	1.000 0	0.003 5	0.825 8
	X_{21}	0.695 8	0.454 9	0.000 0	1.000 0	0.340 0	0.592 6
	X_{22}	0.092 3	0.863 1	0.000 0	0.060 0	1.000 0	0.251 5
	X_{23}	0.435 4	0.669 6	0.000 0	1.000 0	0.858 2	0.784 2
	X_{24}	0.000 0	0.215 1	0.530 9	1.000 0	0.930 0	0.967 4
	X_{25}	0.349 3	0.462 0	0.000 0	1.000 0	0.797 6	0.713 9
	X_{26}	0.845 1	0.000 0	0.548 5	0.610 1	0.826 5	1.000 0

2.3 关联系数与加权关联度的计算

选取每个评价指标的最优向量值,将其和标准化后的数据采用公式(6)进行计算,得到关联系数(见表 4)。

将表 3 关联系数数据按照经济发展状况、社会发展状况、自然生态环境状况 3 个维度层分别代入公式(7),得到各区县评价指标方面与理想最优向量 G 之间的经济发展加权关联度(R_E)、社会发展加权关联度(R_S)、自然生态加权关联度(R_N)及海东市各区县生态脆弱度的综合关联度($R_{综合}$)(表 5),根据一级评价结果可得各维度层的规范化矩阵。

3 结果与分析

由表 5 和图 1 分析可知,经济发展状况的指标评价等级仅有平安区属于微度脆弱,其值为 0.883 5,互助县 0.496 0,属于中度脆弱,乐都区和民和县小于

0.45 属于重度脆弱,循化县和化隆县小于 0.30,属于极度脆弱。社会发展状况的指标评价仅互助县属轻度脆弱等级,其值为 0.606 5,乐都区、循化县、平安区均小于 0.45,属于重度脆弱,民和县、化隆县均小于 0.30,属极度脆弱等级。自然生态环境状况的指标评价中互助县和平安县属于轻度脆弱等级,其值分别为 0.637 6 和 0.712 8,循化县、化隆县属中度脆弱等级,其值分别为 0.557 3 和 0.435 9,乐都区和民和县属于重度脆弱等级,其值分别为 0.352 9 和 0.191 2。青海省海东市高寒贫困山区生态脆弱性评价指标的综合关联度从高到低的顺序是:互助县>平安区>循化县>化隆县>乐都区>民和县。其中,互助县生态脆弱度为 0.850 1,属微度脆弱等级,平安区生态脆弱度为 0.7128,属轻度脆弱等级,循化县生态脆弱度为 0.557 3,属于中度脆弱等级,乐都、民和及化隆 3 区县生态脆弱度均小于 0.45,属于重度脆弱等级。

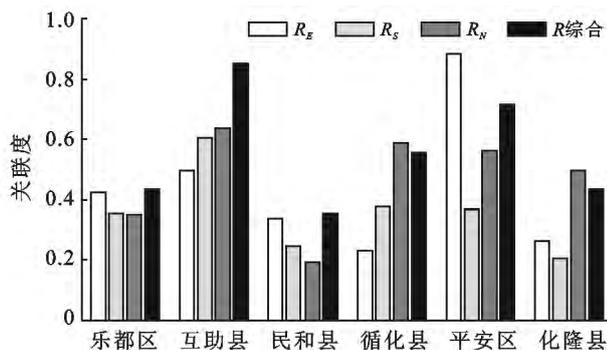
表 4 青海省海东市灰色关联系数及评级指标权重

评价维度层 (权重 W)	参数层 (权重)	乐都区	互助县	民和县	循化县	平安区	化隆县
经济发展状况 $C_1(0.275\ 8)$	$X_1(0.234\ 4)$	0.408 9	0.370 5	0.333 3	0.342 7	1.000 0	0.365 7
	$X_2(0.122\ 4)$	0.425 6	0.333 3	0.431 3	0.376 2	1.000 0	0.534 4
	$X_3(0.067\ 2)$	1.000 0	0.696 5	0.680 8	0.590 5	0.806 7	0.333 3
	$X_4(0.106\ 2)$	0.724 3	0.832 4	0.592 7	0.367 5	1.000 0	0.333 3
	$X_5(0.065\ 0)$	0.924 0	0.333 3	0.770 2	1.000 0	0.711 0	0.739 0
	$X_6(0.077\ 9)$	0.333 3	0.579 6	0.469 2	1.000 0	0.958 6	0.769 8
	$X_7(0.219\ 9)$	0.356 9	1.000 0	0.355 6	0.333 3	0.540 0	0.357 5
	$X_8(0.107\ 1)$	0.711 0	0.455 3	0.557 3	0.333 3	1.000 0	0.380 8
社会发展状况 $C_2(0.364\ 4)$	$X_9(0.056\ 7)$	0.893 8	0.534 5	0.627 4	0.517 2	1.000 0	0.333 3
	$X_{10}(0.206\ 4)$	1.000 0	0.456 5	0.340 3	0.333 3	0.391 0	0.334 5
	$X_{11}(0.121\ 4)$	0.389 7	0.475 1	0.622 0	1.000 0	0.333 3	0.344 5
	$X_{12}(0.120\ 6)$	0.382 9	0.596 6	0.344 1	1.000 0	0.333 3	0.609 4
	$X_{13}(0.248\ 7)$	0.353 4	1.000 0	0.348 6	0.340 4	0.364 4	0.333 3
	$X_{14}(0.149\ 0)$	0.369 6	0.352 0	0.575 0	0.333 3	1.000 0	0.371 7
	$X_{15}(0.097\ 1)$	0.341 3	0.979 0	0.333 3	1.000 0	0.827 0	0.934 8
自然生态环境状况 $C_3(0.359\ 8)$	$X_{16}(0.059\ 6)$	0.660 5	0.703 4	0.454 4	0.888 4	1.000 0	0.333 3
	$X_{17}(0.070\ 8)$	0.684 2	0.393 9	0.822 8	1.000 0	0.631 1	0.333 3
	$X_{18}(0.178\ 3)$	0.364 7	1.000 0	0.333 3	0.368 3	0.374 3	0.357 3
	$X_{19}(0.083\ 9)$	0.430 2	1.000 0	0.451 5	0.333 3	0.407 3	0.769 0
	$X_{20}(0.126\ 4)$	0.443 6	0.484 0	0.333 3	1.000 0	0.334 1	0.741 6
	$X_{21}(0.066\ 4)$	0.621 7	0.478 4	0.333 3	1.000 0	0.431 0	0.551 0
	$X_{22}(0.158\ 6)$	0.355 2	0.785 1	0.333 3	0.347 2	1.000 0	0.400 5
	$X_{23}(0.057\ 9)$	0.469 7	0.602 1	0.333 3	1.000 0	0.779 1	0.698 5
	$X_{24}(0.077\ 2)$	0.333 3	0.389 1	0.515 9	1.000 0	0.877 2	0.938 8
	$X_{25}(0.065\ 9)$	0.434 5	0.481 7	0.333 3	1.000 0	0.711 8	0.636 1
	$X_{26}(0.055\ 1)$	0.763 5	0.333 3	0.525 5	0.561 9	0.742 4	1.000 0

表 5 青海省海东市各区县生态脆弱性评价指标的关联度及综合关联序

区县	一级综合评价			二级综合评价	综合关联序
	R_E	R_S	R_N	$R_{综合}$	
乐都区	0.427 5	0.356 2	0.352 9	0.435 0	5
互助县	0.496 0	0.606 5	0.637 6	0.850 1	1
民和县	0.337 3	0.246 8	0.191 2	0.353 3	6
循化县	0.232 2	0.377 2	0.589 0	0.557 3	3
平安区	0.883 5	0.370 3	0.563 1	0.712 8	2
化隆县	0.262 4	0.205 9	0.495 1	0.435 9	4

注： R 为关联度。



注： R_E 为经济发展加权关联度； R_S 为社会发展加权关联度； R_N 为自然生态加权关联度。

图 1 青海省海东市各区县生态脆弱度

3.1 重度脆弱区

重度脆弱区包括乐都区、民和县、化隆县 3 个区县，其高寒山区环境下经济、社会发展状况以及自然环境状况的特点如下。

(1) 乐都区。位于黄土高原向青藏高原过渡地带，地形沟壑纵横，海拔 1 850~4 480 m，山地面积约为总面积的 80% 以上，人均耕地面积较低，为 0.13 hm²/人。工业二氧化硫排放量(4 150.30 t/a)和烟(粉)尘排放量(18865.30 t/a)明显较高，而氮氧化物排放量达到各区县最高值(3 387.90 t/a)。乐都区是青海省东部地区农业生产大区，财政支农比重占比为 22.55%，农村居民家庭恩格尔系数达到各区县最高(41.88%)。交通及通信基础设施较弱，通宽带村数比重为 26.84%，公路网密度为 0.63 km/km²。

(2) 民和县。是青海的“东大门”，地处黄土高原与青藏高原的过渡地带，海拔 1 650~4 220 m。县内人工草地退化严重，重度退化占 39.49%，轻度退化占 46.5%。森林植被覆盖率低(28.5%)，年日照时数为各区县最低(2 424.30 h)。人地矛盾突出：人均耕地面积、人均林地面积、人均水资源量均最低，分别为 0.32, 0.11, 721.75 m³/人。工业二氧化硫排放量

(6 729.30 t/a)和烟(粉)尘排放量(27 807.20 t/a)达到各区县最高。人均生产总值最低,为18 779.21元/人,财政支农比重较高,为21.21%,农村居民家庭恩格尔系数较高(32.61%)。通信基础设施较弱,通宽带村数比重低,为15.38%,医疗条件差,农村居民千人拥有乡村医生和卫生员仅有1.87人/千人。

(3)化隆县。属于典型的丘陵河谷型县区,海拔1 884~4 484.7 m,水系为黄河水系,支流支沟纵横交错,地质灾害频繁。县内森林覆盖率低,为14.3%,年均气温为各区县最低,仅3.9℃。农村居民可支配收入和农村居民人均年消费支出较其他区县最少,前者为7 571元/a,后者为6 436.85元。化隆县贫困发生率最高,为13.11%。乡村文盲率最高,为13.25%,乡村从业人员比重较高(56.22%)。医疗设施落后,农村居民千人拥有乡村医生和卫生员仅为1.47人/千人。

综上,对以上3个区县的高寒贫困山区经济发展状况、社会发展状况、自然生态环境状况综合分析得出:自然生态环境相关度与生态脆弱度成协,即自然生态环境相关度较低,生态环境脆弱度越低,这可能是自然环境的好坏直接影响了当地经济、社会的发展,从而导致贫困问题加剧,表现出重度脆弱性。区县经济、社会发展水平总体层次低,限制了农民收入,直接导致了农民难以满足基本的生产生活、医疗、通信、教育等支出,表现出生态脆弱度强。因此,自然生态环境状况差是影响乐都区、民和县、化隆县生态环境脆弱度的主要因素,要想提高地区生态环境脆弱度等级就应着重注意自然生态环境的保护,尤其是民和县需要注意自然生态环境问题。

3.2 中度脆弱区

循化县为中度脆弱区,循化县地处黄河南岸,海拔在1 760~4 635 m之间,有被誉为“青藏高原西双版纳”的孟达国家级自然保护区,森林覆盖率高,为47.6%,人均林地面积高(0.92 hm²/人)。人均水资源量为各区县最高(1 657.23 m³/人),但年总降水量较低(182.9 mm),人均耕地面积较低(0.12 hm²/人)。工业二氧化硫排放量(806.4 t/a)和氮氧化物排放量(213.3 t/a)、烟(粉)尘排放量(2 207.5 t/a)均为各区县最低。人均生产总值较低(20 351.95元/人),财政支农比重较低(6 712.69元/a),农村人均固定资产投资为各区县最低(3 327.69元),贫困发生率则最高,为13.92%。社会发展水平低,乡村文盲率较高(8.67%),农村居民千人拥有乡村医生和卫生员少,每千人仅有1.66人,县内公路密度低(0.53 km/km²),九年义务教育巩固率与其他区县相比最低。

基于上述分析,及与生态脆弱度相邻的化隆县和平安县的对比可知,循化县自然生态环境状况相对较好,为农业山区经济社会发展创造了良好条件。但由于交通、医疗、教育等基础条件差,贫困问题仍然突出,生态脆弱度为次强度级;虽然反映循化县自然环境好坏的自然生态环境相关度较好,且反映其社会发展状况好坏的社会发展相关度较中度脆弱区也高,但其较低的经济程度使其生态脆弱度只能处于中度脆弱区。因此,循化县今后在改善生态环境和社会状况的同时,必须大力发展经济,才能更好地提高其生态脆弱度等级。

3.3 轻度脆弱区

平安区为轻度脆弱区,平安区地处青海省东北部湟水河流域,海拔在2 066~2 300 m之间,有丰富的富硒土壤资源。森林覆盖率高,为49.83%,人均耕地面积相对较高,为0.26 hm²/人。空气质量优良率较高(72.6%),工业二氧化硫排放量、氮氧化物排放量、烟(粉)尘排放量均较低分别为1 646.3,435.6,7 387.8 t/a。人均生产总值为各区县最高(57 234.43元),第一产业比重最低(6.56%),农村居民可支配收入较高(8 362元/a),农村居民人均年消费支出最高,为8 415.64元,农村人均固定资产投资较高(4 109.33元)。贫困发生率则为最低(9.59%)。社会发展水平较低,乡村从业人员比重高(56.76%),乡村通宽带村数比重仅为11.71%,通信等基础设施也较落后。

对平安区经济发展、社会发展、自然生态环境状况等综合分析得出,平安区森林覆盖率高,空气质量较好,海拔较其他地区低,自然生态环境状况、经济发展状况总体相对其他区县较好,人均生产总值高,第一产业比重低,贫困发生率低。但由于乡村从业比重高,通信基础设施较落后,这导致平安区社会发展相关度较之于生态脆弱度情况最好的互助县较低,进一步导致社会发展与较好的经济发展和自然生态环境出现一定的不协调,使其生态脆弱度处于轻度脆弱区。因此,平安区应该在进一步提高其经济发展和自然生态环境状况水平的同时,尽力促进自身社会发展,使其与经济发展与自然生态环境发展相适应,这样就能更好地提高其生态脆弱性等级。

3.4 微度脆弱区

互助县为6个区县中的微度脆弱区,其森林覆盖率高,为42.34%,年日照时数(3 531.1 h)、年总降水量(426.6 mm)、人均水资源量(1 379.0 m³/人)均为各区县最高值。县域内经济发展水平较高,农村居民人均年消费支出较高,为8 216.33元,农村人均固定资产投资高(4 689.41元)。教育、交通、通信、医疗

卫生等发展较好:九年义务教育巩固率,为 95.28%,农村千人拥有乡村医护人员为 7.57 人,通宽带村数比重 63.27%,城乡居民养老保险参保率高达 99.69%。

综上,较好的自然生态环境状况为高寒贫困山区经济、社会发展状况提供了基本保障。加之,各项基础设施、社会保障能力也相对完善,促进山区农民增收,经济发展水平同步提高,表现出较好的经济社会发展情况,从而使其处于生态脆弱度微度脆弱区。与其他区县相比,虽然其社会发展和自然生态状况均处于海东市的最好水平,但其经济发展还有较大潜力,促进经济发展可能是提高其生态脆弱度指数的有效方法。

4 结论及建议

4.1 结论

本文运用熵权灰色关联法,结合高寒贫困山区脆弱生态环境与贫困落后的现状,以青海省海东市为例,从经济发展状况、社会发展状况、自然生态环境状况 3 个方面构建评价指标体系,定量分析了生态脆弱性等级,研究结果如下。

(1) 青海省海东市高寒贫困山区生态脆弱性评价指标的关联度:互助县 R_S 的和 R_N 在 6 个研究区县中最大, R_E 相对较高,且该地区在教育、交通、通信及医疗发展水平上比其他地区较好,生态脆弱度等级最弱。平安区的 R_E 占明显优势, R_N 较好,但 R_S 较低;循化县除 R_N 较好外,其余指标均不突出;乐都区、民和县、化隆县在 R_N , R_E , R_S 上均较低,表明自然生态环境脆弱,社会发展水平总体层次低:交通、医疗、教育、通讯等基础保障设施落后,高寒山区农民收入与支出少,贫困问题随之增加。

(2) 青海省海东市高寒贫困山区生态脆弱性评价指标的综合关联度从高到低的顺序依次是:互助县 > 平安区 > 循化县 > 化隆县 > 乐都区 > 民和县。其中,互助县属微度脆弱级,可通过激发其经济潜力进一步提高生态脆弱等级;平安区属轻度脆弱级,需要促进其社会发展以促进经济、社会、自然生态协调发展,进一步提高生态脆弱等级;循化县属中度脆弱等级,需要首先提高其经济发展水平来促进生态脆弱等级;其余属重度脆弱等级。生态环境脆弱对其经济、社会发展有明显制约,不利于当地贫困问题的解决,甚至加剧贫困问题,因此首要问题是在加速经济社会发展的同时,必须着重改善自然生态,保护环境,这样就能改善生态脆弱等级重度脆弱的情况。

4.2 建议

为了在维护好生态环境质量的基础上提高经济

社会发展水平,从本质上减轻青海省海东市高寒山区贫困与生态问题,除了上文讨论中提及的各区县应该注意的提高生态脆弱等级的方式,提出以下 4 点建议。

(1) 加大农村投入,完善基础设施建设。青海省海东市地处高寒山区,全市绝大多数贫困农民居住在海拔较高的东部浅脑山区,自然环境恶劣,农村基础设施建设薄弱,文化教育程度低,因此,有必要加大对农村地区基础设施建设的资金投入,增加社会固定资产投资,改造和完善农村“村村通”道路,完善农村自来水、电力、通讯和互联网等建设,并设专人对基础设施进行定期维护和监管。此外,充分发挥当地政府部门的社会保障职能和社会服务职能,全力推进高寒贫困山区社会养老保障制度建设和“新农合”医疗保障体系建设,将广大山区农民纳入全新惠民保障体系,进一步提高高寒贫困山区养老保障标准。加大农村科教文卫事业投入,大力培育高寒山区新型农民,完善山区农业信息化建设,多形式、多途径的保障农民脱贫致富。

(2) 推广使用清洁能源,加强生态修复。海东市是中国生态环境脆弱区之一,生态环境保护压力大,加之近年来旅游资源的开发,生活垃圾的逐年增加,经济发展和生态保护的矛盾更加突出。为了更好地守住我们的绿水青山和扎实推进生态环境保护,应倡导在生态脆弱区实行严格的环境监管制度,深入实施清洁生产模式、持续实施大气污染防治行动计划^[24]。大力推广使用可循环利用的清洁能源,包括水电、太阳能、风能、生物能等^[20],限制使用污染严重的能源。同时,加强生态修复建设,开展高寒贫困山区土壤污染治理和生态环境修复。由于海东市特殊的地理环境,生态修复尺度较大、生境条件差异明显。因此,在修复过程中,因地制宜地对位配置修复措施格外重要,需在对自然环境和生物因素及其关系客观正确判断的基础上,有针对性的提出切实可行的修复措施,如对水土保持的重要位置加强防护,优先修复,降低修复过程中的盲目性。

(3) 健全生态保护法规,提高生态保护意识。海东市是多民族融合地区,也是高寒山区生态环境脆弱区,当地居民在长期的生产生活中,传统的生产生活方式难免会损害原有的生态环境,而且为了脱贫致富,一些农民只是重视眼前利益忽视了生态环境保护,导致高寒山区生态环境更加脆弱,引发了一系列生态安全问题。虽然青海省政府已先后出台了一系列生态环境保护的规范性文件,如在《青海省生态文明建设促进条例》中提及要求省人民政府应当实施东

部干旱山区生态环境综合整治规划,编制和落实各项工作方案^[25]。但是,何时干,谁来干,怎么干却没有具体细节,缺乏针对性、可行性。在法律保护缺位、政府重视程度不足,民众参与不够等多因素叠加下,高寒贫困山区生态保护法律问题陷入了困境。亟需通过电视、广播及报纸等多种宣传教育方式和途径提高当地居民生态环境保护意识,并在国家和省级主体功能区规划限制和禁止开发区域的基础上,制定适用于高寒贫困山区的生态功能区划规划和健全的生态环境保护法规。

(4) 发展当地特色产业,着力解决“三农”问题。海东市高寒山区地广人稀、无污染源,是生产绿色无公害食品的理想基地,在保护当地生态环境的基础上,充分利用各区县资源优势发展特色产业。如平安区以富硒产业为主导,推动相关的健康养生项目,互助县加快旅游与文化、生态等的深度融合,推动特色旅游业发展。循化县依托生态林业,通过发展当地特色产业,破解农民脱贫致富的窘境,改变农村贫困落后的面貌,拓展农业产业发展的渠道,深入推进农业供给侧结构性改革,达到生产发展、生活富裕、村容整洁,促进生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀,最终实现生态保护与农民增收双赢的良好发展格局。

[参 考 文 献]

- [1] Leslie C G, William G M. A geographical perspective on poverty-environment interactions[J]. The Geographical Journal, 2005,171(1): 9-23.
- [2] Sachs J D, Reid W V. Investments toward sustainable development[J]. Science, 2006,312(5776):1002.
- [3] 国务院扶贫开发领导小组办公室. 中国农村扶贫开发纲要(2011-2020)干部辅导读本[M]. 北京:中国财政经济出版社,2012.
- [4] 佟玉权,龙花楼. 脆弱生态环境耦合下的贫困地区可持续发展研究[J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(2): 47-51.
- [5] 张宁,张振兴,郭怀成. 新疆和墨洛地区贫困与生态环境关系分析[J]. 中国人口·资源与环境,2001,11(52):57-59.
- [6] 刘慧,叶尔肯·吾扎提. 中国西部地区生态扶贫策略研究[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(10):52-58.
- [7] 程静. 农业干旱脆弱性与我国农村贫困的灰色关联分析[J]. 生态经济,2010(9):88-90,145.
- [8] 张家其,吴宜进,葛咏,等. 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[J]. 地理研究,2014,33(8):1457-1466.
- [9] 贺祥,雄康宁. 基于熵权灰色关联法的贵州岩溶山区农村贫困脆弱性分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):376-381.
- [10] 陈晓玲,曾永年,王慧敏. 区域土地利用总体规划碳效应分析:以青海省海东市为例[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(5):31-34.
- [11] 刘思峰,杨英杰,吴利丰,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 7版,北京:科学出版社,2014.
- [12] 高明,吴雪萍. 基于熵权灰色关联法的北京空气质量影响因素分析[J]. 生态经济,2017,33(3):142-147.
- [13] 王才军,游泳,左太安,等. 基于熵权灰色关联法的岩溶石漠化区土地质量评价:以毕节试验区为例[J]. 水土保持研究,2011,18(4):218-222.
- [14] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948,27:379-423.
- [15] 张少坤,付强,张少东,等. 基于 GIS 与熵权的 DRAS-CLP 模型在地下水脆弱性评价中的应用[J]. 水土保持研究,2008,15(4):134-141.
- [16] 贾艳红,赵军,南忠仁,等. 基于熵权法的草原生态安全评价:以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志,2006,25(8):1003-1008.
- [17] Mon Donlin, Cheng Chingsue, Lin Jiannchern. Evaluating weapon system using fuzzy analytic hierarchy process based on entropy weight[J]. Fuzzy Sets and Systems,1994,62(2):127-134.
- [18] 邓聚龙. 灰色系统综述[J]. 世界科学,1983(7):1-5.
- [19] 郭秀云. 灰色关联法在区域竞争力评价中的应用[J]. 决策参考,2004(11):54-59.
- [20] 刘爱芹. 山东省能源消费与工业经济增长的灰色关联分析[J]. 中国人口·资源与环境,2008,18(3):103-107.
- [21] 白艳芬,马海州,张宝成,等. 基于遥感和 GIS 技术的青海湖环湖地区生态环境脆弱性评价[J]. 遥感技术与应用,2009,24(5):635-641.
- [22] 于伯华,吕昌河. 青藏高原高寒区生态脆弱性评价[J]. 地理研究,2011,30(12):2289-2295.
- [23] 韩林芝,邓强. 我国农村贫困主要影响因子的灰色关联分析[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(4):88-94.
- [24] 倪琳,李梦琴,游雪梅,等. 基于熵权法的我国生态消费发展状况评价研究[J]. 生态经济,2015,31(9):80-84.
- [25] 李学敏. 青海省生态文明建设促进条例[N]. 青海日报,2015-1-27(9).