

龚新蜀, 韩美玲. 干旱区生态脆弱性变化趋势及影响因素——以新疆为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 215–218.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.055

干旱区生态脆弱性变化趋势及影响因素 ——以新疆为例

龚新蜀, 韩美玲

(石河子大学经济与管理学院, 新疆石河子 832003)

摘要:基于 2001—2014 年新疆统计年鉴数据, 从自然因子、资源环境、经济发展、社会发展 4 个层面选取 20 个指标对新疆生态环境脆弱性进行评价。结果表明: 近十几年来, 新疆生态脆弱度年际变化有波动, 整体呈显著下降趋势, 生态环境质量有所好转。各指标与生态脆弱度的关联度由大到小依次为农业产值占 GDP 比重、人口自然增长率、环境污染投资总额占 GDP 比重、有效灌溉程度、年平均降水量、人均能源消耗量、农民人均纯收入。各年生态脆弱的主要贡献因子变化较大, 因子贡献度也有所差异。由此提出加快新疆产业结构升级步伐、控制人口增长速度、加大环境污染投资力度、推广农业节水灌溉技术的对策建议。

关键词:干旱; 生态脆弱性; 变化趋势; 影响因素; 主要驱动因子; 生态环境质量; 新疆; 贡献度; 熵值法; 关联度; 对策建议

中图分类号: F323.22

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2018)03-0215-04

生态环境是一定区域内气候、地貌、土壤、水文、动植物及人类活动等的综合, 它既受人类活动的影响, 又是人类赖以生

存的基础^[1-3]。随着人类经济社会的快速发展, 全球环境、气候发生一系列深刻而显著的变化, 对生态环境脆弱性的研究也逐渐提上日程^[4]。新疆地处我国西北边陲, 是我国典型的干旱区和生态脆弱区, 在国家“两屏三带”为主体的生态安全战略格局中, 新疆作为北方防沙带生态功能区, 肩负着“三北”地区生态安全屏障的重任, 承担着加强防护林建设、草原保护和防风固沙的生态职责, 对于新疆生态脆弱度的研究显得十分必要。已有研究多是对河流流域、绿洲城市、区际范围

收稿日期: 2017-05-24

基金项目: 国家社会科学基金(编号: 15BJL074)。

作者简介: 龚新蜀(1963—), 女, 四川遂宁人, 教授, 博士生导师, 研究方向为区域经济、产业经济。E-mail: xb@163.com。

通信作者: 韩美玲, 硕士研究生, 研究方向为区域经济、产业经济。E-mail: 630837357@qq.com。

[7] 潘明安, 黄仁军, 袁天泽, 等. 不同秸秆腐熟剂的玉米秸秆堆腐效果对比[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 303–304.

[8] 郝玉敏, 戴传超, 戴志东, 等. 拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6695–6704.

[9] 刘威. 甲苯降解真菌选育及应用其强化生物过滤运行性能研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015: 50–52.

[10] 竹江良, 刘晓琳, 李少明, 等. 两种微生物菌剂对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 194–199.

[11] Chen Y, Wang H W, Li L, et al. The potential application of the endophyte phomopsis liquidambari to the ecological remediation of long-term cropping soil[J]. Applied Soil Ecology, 2013, 67: 20–26.

[12] 李国媛. 秸秆腐熟菌剂的细菌种群分析及其腐熟过程的动态研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007: 21–31.

[13] 杨帆, 罗琳, 魏建宏, 等. 腐熟剂快速分解水稻秸秆的机理及效果研究[J]. 湖南农业科学, 2012(3): 26–29.

[14] 谢伟, 景春梅, 王恩. 2009—2013 年重庆地区儿童感染粪肠球菌和屎肠球菌的临床分布及耐药性分析[J]. 中国抗生素杂志, 2015, 40(8): 611–616.

[15] 夏玉, 郑华, 林捷, 等. 屎肠球菌发酵特性及其功能性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 123–126, 132.

[16] 李红亚, 李术娜, 王树香, 等. 解淀粉芽孢杆菌 MN-8 对玉米秸秆

木质纤维素的降解[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1404–1410.

[17] 吴文韬, 鞠美庭, 刘金鹏, 等. 一株纤维素降解菌的分离、鉴定及对玉米秸秆的降解特性[J]. 微生物学通报, 2013, 40(4): 712–719.

[18] 罗源. 玉米秸秆高效降解菌的选育及其在乙醇生产中的初步应用[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 354–356.

[19] Maeda K, Hanajima D, Morioka R, et al. Characterization and spatial distribution of bacterial communities within passively aerated cattle manure composting piles[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(24): 9631–9637.

[20] 杨梅玉. 蚯蚓堆制处理玉米秸秆机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014: 15–25.

[21] 辛世杰. 微生物菌剂在有机废弃物堆肥中的作用及其机理研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012: 47–48.

[22] Asano R, Otawa K, Ozutsumi Y, et al. Development and analysis of microbial characteristics of an acidulocomposting system for the treatment of garbage and cattle manure[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2010, 110(4): 419–425.

[23] Dandi N D, Dandi B N, Chaudhari A B. Bioprospecting of thermo- and osmo-tolerant fungi from mango pulp-peel compost for bioethanol production[J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 2013, 103(4): 723–736.

的生态环境状况进行比较和分析,鲜有把新疆作为整体研究对象,对生态脆弱度的动态变化和驱动因子进行分析^[5-10]。因此,本研究以新疆维吾尔自治区生态环境为研究对象,从自然因子、资源环境、经济发展、社会发展 4 个层面构建生态脆弱度指标体系,找到影响生态脆弱度的主要驱动因子为缓解生态恶化提供对策,以期对新疆的可持续发展提供新的思路。

1 研究设计

1.1 数据来源

本研究以 2001—2014 年为研究时段,各评价指标的原始数据来源于新疆维吾尔自治区统计局编写的相关年份《新疆统计年鉴》。

1.2 生态脆弱性评价指标体系构建

评价生态脆弱度是一个复杂的的过程,造成区域生态脆弱的原因众多,主要包括自然因素和人为因素。本研究评价新疆生态脆弱性兼顾可表征性、易获取性、动态性、相关性等原则,在参考已有相关研究成果^[4-5]的基础上,结合本研究目的、范围以及研究区域的自然地理背景和特征,建立一套科学完整的评价指标体系,指标体系共涵盖 3 个层次:一是目标层,二是系统层,三是指标层。如表 1 所示, x_1 、 x_2 、 x_3 为表征自然因子的 3 个指标, x_4 、 x_5 、 \cdots 、 x_{13} 为表征资源环境现状的 10 个指标, x_{14} 、 x_{15} 、 x_{16} 、 x_{17} 为表征经济发展状况的 4 个指标, x_{18} 、 x_{19} 、 x_{20} 为表征社会发展状况的 3 个指标。除 x_8 、 x_{11} 、 x_{15} 、 x_{17} 为正向指标外,其余均为逆向指标。为消除指标的量纲和统一指标值的变化范围,对各个指标进行标准化处理,分别采用如下公式进行处理^[11-12]。

正向指标:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min_j(X_{ij})}{\min_j(X_{ij}) - \min_j(X_{ij})}。$$

逆向指标:

$$Z_{ij} = \frac{\max_j(X_{ij}) - X_{ij}}{\max_j(X_{ij}) - \min_j(X_{ij})}。$$

式中: $\min_j(X_{ij})$ 和 $\max_j(X_{ij})$ 分别表示第 j 个指标数列的最小值和最大值; X_{ij} 表示第 j 个指标第 i 年的变量值; Z_{ij} 为第 j 个指标第 i 年的变量值的标准化结果,变化范围在 0~1 之间。

脆弱度:

$$D_i = \sum Z_{ij} \times w_j。$$

式中: D_i 表示第 i 年新疆生态环境脆弱度; w_j 表示第 j 个指标的权重。

基于系统性和可操作性原则,本研究使用熵值法确定指标权重,各个指标的权重由样本数据计算获得,能消除人为确定权重的主观性,计算公式如下:

$$\begin{aligned} p_{ij} &= \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{14} X_{ij}}; \\ e_j &= -k \times \sum_{i=1}^{14} p_{ij} \ln(p_{ij}); \\ k &= \frac{1}{\ln i} (i=14); \\ g_i &= 1 - e_j; \\ w_j &= \frac{g_j}{\sum_{j=1}^{20} g_j}。 \end{aligned}$$

表 1 新疆生态环境脆弱性评价指标体系

目标层	系统层	指标层	指标性质	权重
生态环境脆弱性评价	自然因子指标	年均气温(℃, x_1)	逆	0.049 4
		年均降水量(mm, x_2)	逆	0.049 5
		年均日照时数(h, x_3)	逆	0.049 4
	环境资源指标	人均水资源量(m ³ /人, x_4)	逆	0.049 6
		人均耕地面积(hm ² /人, x_5)	逆	0.049 4
		森林覆盖率(% , x_6)	逆	0.049 9
		土地利用率先(% , x_7)	逆	0.049 4
		人口自然增长率(% , x_8)	正	0.049 4
		有效灌溉程度(x_9)	逆	0.049 6
		水土流失治理面积(万 hm ² , x_{10})	逆	0.052 6
		自然保护区面积占辖区面积比重(% , x_{11})	逆	0.049 4
		人均能源消耗量(kg/人, x_{12})	正	0.049 6
		环境污染治理投资总额占新疆生产总值比重(% , x_{13})	逆	0.050 7
	经济发展指标	人均 GDP(元/人, x_{14})	逆	0.051 2
		城镇化率(% , x_{15})	正	0.049 5
		农民人均纯收入(元/人, x_{16})	逆	0.051 2
		农业产值占 GDP 的比重(% , x_{17})	正	0.049 4
	社会发展指标	邮电业务总量(万元, x_{18})	逆	0.051 5
		普通中学生在学生数(人, x_{19})	逆	0.049 4
		医院床位数(张, x_{20})	逆	0.049 8

1.3 生态脆弱度与各指标之间关联度分析

本研究使用灰色关联度分析方法,测度各指标与生态脆弱度之间的关联程度,把每个指标对生态脆弱度的影响程度进行量化,以便找出影响区域生态脆弱性的主要因素,灰色关联分析具体计算步骤如下:(1) 确定参考数列和比较数列;

(2) 对参考数列和比较数列构成的数据矩阵进行无量纲化数据处理,以消除不同种类数据无法比较和计算造成的误差;(3) 求参考数列与比较数列的灰关联系数;(4) 求灰关联度;(5) 按灰关联度大小排序,在得到各个比较数列与参考数列的灰关联度的基础上,关联度越大,说明影响程度也越大。

$X_m = \{x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)\}, m = 1, 2, \dots, 20$ 。

式中: n 表示时刻, m 表示指标个数; $X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}, n = 1, 2, \dots, 14$ 为数据参考数列, $X_1 = \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)\}, \dots, X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}, \dots, X_m = \{x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)\}, m = 1, 2, \dots, 20$ 为数据比较数列。

关联系数计算公式为:

$$\gamma[x_0(k), x_i(k)] = \frac{\min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}$$

式中: 称 $\gamma_i = \gamma_{0i}(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$ 为数列 X_i 与 X_0 在 k 时刻的关联系数。

1.4 贡献度计算

把因子障碍度模型改造为因子贡献度模型, 用来分析历年生态脆弱度的主要贡献因子^[7], 计算公式如下:

$$C_j = \frac{w_j \cdot I_j}{\sum_{j=1}^m w_j \cdot I_j} \times 100\%。$$

式中: C_j 、 w_j 、 I_j 分别表示第 j 项指标对脆弱度的贡献度, 第 j 项指标对脆弱度的权重、第 j 项指标的标准化值, m 表示指标个数。

2 实证结果与分析

2.1 生态脆弱度变化趋势分析

参考赵跃龙等的分类方法, 按脆弱度 z 的大小把新疆生态环境脆弱性划分为 4 类, 即 $z > 0.65$ 为极强度脆弱, $0.5 < z < 0.65$ 为强度脆弱, $0.40 < z < 0.50$ 为中度脆弱, $z < 0.40$ 为轻度脆弱^[5]。根据脆弱度计算公式和分类标准, 新疆 14 年来生态脆弱度状况如表 2 所示。

表 2 新疆 2001—2014 年生态脆弱度评价结果

年份	生态脆弱度	脆弱度等级	年份	生态脆弱度	脆弱度等级
2001	0.657 0	极强度脆弱	2008	0.472 5	中度脆弱
2002	0.583 1	强度脆弱	2009	0.416 1	中度脆弱
2003	0.612 4	强度脆弱	2010	0.394 2	轻度脆弱
2004	0.548 2	强度脆弱	2011	0.419 8	中度脆弱
2005	0.532 9	强度脆弱	2012	0.405 1	中度脆弱
2006	0.466 4	中度脆弱	2013	0.354 2	轻度脆弱
2007	0.520 5	强度脆弱	2014	0.410 8	中度脆弱

表 2 显示, 纵观时间序列变化趋势, 西部大开发以来新疆生态脆弱度年际变化有波动, 总体呈显著下降的趋势, 即新疆生态脆弱性有逐渐消减的趋势。生态脆弱性的变化大致可以划分为 3 个阶段: 第 1 个阶段, 生态脆弱高度预警阶段 (2001—2005 年)。在此期间, 生态脆弱值介于 0.532 9 ~ 0.657 0 之间, 脆弱度等级处于极强度脆弱与强度脆弱状态且脆弱度呈下降趋势。由于西部大开发战略刚刚落实, 各项社会事业处于起步阶段, 西北地区迫于对中东部发达地区经济赶超, 在权衡经济发展与生态治理时偏重经济建设, 在承接产业转移的过程中大力发展石油化工工业, 加快资源耗竭速度。同时, 由于新疆是少数民族聚居区, 宽松的人口政策造成人口自然增长率居高不下, 沉重的人口负担加重了资源环境压力, 给原本脆弱的生态系统“雪上加霜”。与此同时, 在这个阶段, 生态脆弱性也有明显的改善和好转的趋势, 生态脆弱

度由 2001 年的 0.657 0 下降到 2005 年的 0.532 9, 这与退耕还林工程和“三北”防护林工程在有效落实、环境污染治理、水土流失治理等环境整治措施有关, 森林覆盖率由 2001 年的 1.92% 上升到 2005 年的 2.94%, 累计造林面积 90.1 万 hm^2 , 环境质量有所好转。第 2 个阶段, 生态脆弱度徘徊阶段 (2006—2009 年)。生态脆弱度处在中、强度脆弱状态, 生态脆弱度介于 0.416 1 ~ 0.520 5 之间, 较上一阶段生态环境有明显的改善, 这与人均能源消费量的大幅缩减、环境污染治理投资加大、农民人均纯收入提高关系密切, 能源消费量的下降, 能缓解气温上升对区域干旱气候的影响。农民收入水平提高能减轻农民对土地的过度依赖, 减少放牧、樵采等对自然资源过度开发利用的行为。第 3 个阶段, 生态脆弱度良性波动阶段 (2010—2014 年)。在此期间, 生态脆弱度处在中、轻度脆弱状态, 年际变化相对平稳, 生态脆弱度介于 0.354 2 ~ 0.419 8 之间, 这一阶段生态环境趋向好转是多方面因素作用的结果。首先, 农业占 GDP 比重下降了 3.2 百分点, 环境污染治理投资占 GDP 比重上升了 2.7 百分点, 农业有效灌溉程度上升明显。水土流失治理面积由 2010 年的 35.9 万 hm^2 上升到 2014 年的 84.2 万 hm^2 , 年均增长 12.1 万 hm^2 。“三北”防护林造林工程与防沙治沙工程的实施, 使全区生态环境质量总体保持稳定, 呈现部分改善与局部恶化的态势。

综合来看, 新疆维吾尔自治区生态环境有着先天的脆弱性, 尽管近年来环保投入力度不断加大, 生态环境质量出现局部好转, 但新疆仍是全国面积最大的干旱半干旱荒漠区, 土地沙化、干旱依然是现阶段以及将来很长一段时间新疆生态环境治理的难题。随着区域资源开发力度的不断深入, 环境污染治理的难度也将提高。

2.2 生态脆弱度与指标之间的关联度分析

运用灰色关联分析模型, 通过公式计算出各指标与生态脆弱度之间的关联度, 排序获得影响生态脆弱度的主要因素, 结果见表 3。从新疆生态脆弱度与各指标的灰色关联度计算结果来看, 各指标与生态脆弱度的关联度由大到小依次为农业产值占 GDP 比重、人口自然增长率、环境污染投资总额占 GDP 比重、有效灌溉程度、年平均降水量、人均能源消耗量、农民人均纯收入、水土流失治理面积、自然保护区面积占辖区面积比重、人均 GDP。新疆生态脆弱度与农业产值占 GDP 比重、人口自然增长率、环境污染投资总额占 GDP 比重、有效灌溉程度的关联程度最高, 关联度均达到了 0.9 以上, 表明农业产值比重大、人口增长率高是造成生态脆弱性提高的驱动因素, 加大环境污染治理投资力度、提高有效灌溉面积是减缓区域生态脆弱性的有效途径; 年均降水量、人均能源消耗量、农民人均纯收入、水土流失治理面积、自然保护区面积占辖区面积比重、人均 GDP 对新疆生态脆弱性的影响次之, 与之关联度均达到 0.8 以上, 表明加快农民收入水平提高、加大环境建设投入力度有利于提高生态环境质量, 而能源消耗量的提高会加重生态脆弱性, 应倡导节能减排的消费观念。

2.3 生态脆弱度与指标之间的贡献度分析

选择每年生态脆弱贡献度最大的 2 个指标作为主要贡献指标, 其贡献度如表 4 所示。由此可以看出, 各年影响生态脆弱的主要贡献因子变化较大, 因子贡献度也有所差异。2010

表 3 新疆生态脆弱度与各指标的灰色关联度

指标	关联度	排名
年均气温	0.778 6	13
年均降水量	0.887 4	5
年均日照时数	0.703 5	16
人均水资源量	0.626 8	20
人均耕地面积	0.669	18
森林覆盖率	0.710 4	15
土地利用率先	0.638 6	19
人口自然增长率	0.937 1	2
有效灌溉程度	0.900 9	4
水土流失治理面积	0.867 3	8
自然保护区面积占辖区面积比重	0.833 4	9
人均能源消耗量	0.873 9	6
环境污染治理投资总额占新疆生产总值比重	0.916 5	3
人均 GDP	0.810 3	10
城镇化率	0.716 3	14
农民人均纯收入	0.867 8	7
农业产值占 GDP 比重	0.952	1
邮电业务总量	0.799 2	11
普通中学生在校大学生数	0.701 3	17
医院床位数	0.792 3	12

年生态脆弱的主要贡献因子为环境污染投资总额占 GDP 比重、人均耕地面积,2013 年生态脆弱的主要贡献因子为人均能源消耗量、自然保护区面积占辖区面积比重,2014 年生态脆弱的主要贡献因子为人均能源消耗量、人均水资源量。

表 4 新疆各指标与生态脆弱度的贡献度

年份	变量	贡献度 (%)	年份	变量	贡献度 (%)
2001	x_{16}	7.8	2008	x_2	10.48
	x_{14}	7.8		x_{13}	9.75
2002	x_{10}	9.02	2009	x_4	10.08
	x_{14}	8.65		x_{13}	9.32
2003	x_{17}	8.07	2010	x_{13}	12.18
	x_1	8.07		x_5	9.7
2004	x_{16}	8.64	2011	x_5	9.75
	x_{14}	8.4		x_{15}	9.36
2005	x_9	8.56	2012	x_5	10.68
	x_{16}	8.56		x_1	10.67
2006	x_{13}	10.87	2013	x_{12}	13.43
	x_9	9.62		x_{11}	13.4
2007	x_3	9.5	2014	x_{12}	12.06
	x_8	9.49		x_4	12.06

注:表中所选变量为生态脆弱度贡献最大的 2 个变量。

2.4 生态脆弱度的预测分析

本研究基于灰色系统理论,使用灰色预测模型,依据预测问题的特征,揭示中短期内新疆生态环境脆弱性演变趋势,以 2001—2014 年新疆生态环境脆弱度作为原始数据,预测中短期 2018、2020 年生态脆弱度的可能性变化,预测结果和误差检验如表 5 所示。

表 5 2018、2020 年新疆生态脆弱度预测结果

年份	生态脆弱度	脆弱度等级
2018	0.348 9	轻度脆弱
2020	0.283 6	轻度脆弱

3 结论与对策

本研究从自然因子、资源环境、经济发展、社会发展 4 个方面构建了新疆生态环境脆弱性评价体系,使用灰色预测模型对新疆 2018、2020 年生态脆弱度进行预测,经研究发现,新疆生态脆弱性与农业产值占 GDP 比重、人口自然增长率、环境污染投资总额占 GDP 比重、有效灌溉程度的关联程度最大,关联度均达到 0.9 以上。因此,应从以下 4 个方面提高新疆生态环境质量:第一,在本研究得到农业占 GDP 比重是影响生态脆弱性的首要因素,农业用水是新疆第一用水大户,新疆生态环境基础较弱,农业用水比例过大势必会挤占其他部门用水份额,不利于部门间的协同发展。因此,加快产业结构调整步伐,提高二、三产业在新疆国民经济中的比重从而引导自然资源重新配置是改善生态环境质量的重要手段。第二,人口数量增长会提高资源消耗量和废物排放量,加大环境承载压力,造成环境质量下降。因此,在可持续发展观的指导下,新疆应从实际出发,严格执行计划生育政策,鼓励晚婚晚育少生优生,有效控制人口增长,促进人口与环境良性发展。第三,发展循环经济,减少污染物排放,改变以往资源—产品—废物的发展模式为资源—产品—再生资源的发展路径,坚持走经济高增长、环境低污染的新型工业化发展道路。第四,加快科技研发和创新步伐,进而提高资源利用效率,推广农业节水灌溉技术,发展旱作农业。对水利基础设施加强建设和管理,提高水利设施抗灾减灾能力。

参考文献:

[1]赵跃龙. 脆弱生态环境评价方法的研究[J]. 地理科学,1998,18(1):73-78.

[2]姚建,艾南山,丁晶. 中国生态环境脆弱性及其评价研究进展[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2003,39(3):77-80.

[3]高洪文. 生态交错带理论研究进展[J]. 生态学杂志,1994(1):32-38.

[4]赵跃龙,张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究[J]. 地理科学,1998(1):78-84.

[5]马真臻,王忠静,顾艳玲,等. 中国西北干旱区自然保护区生态脆弱性评价——以甘肃西湖、苏干湖自然保护区为例[J]. 中国沙漠,2015,35(1):253-259.

[6]裴欢,房世峰,覃志豪,等. 干旱区绿洲生态脆弱性评价方法及应用研究——以吐鲁番绿洲为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2013,38(5):528-532.

[7]李梦娜,钱会,乔亮. 关中地区农业干旱脆弱性评价[J]. 资源科学,2016,38(1):166-174.

[8]黄宝荣,欧阳志云,张慧智,等. 海南岛生态环境脆弱性评价[J]. 应用生态学报,2009,20(3):639-646.

[9]钟晓娟,孙保平,赵岩,等. 基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价[J]. 生态环境学报,2011,20(1):109-113.

[10]邱芳,马丁丑,孙小丽,等. 西部大开发以来甘肃省生态脆弱度变化趋势研究[J]. 生态经济,2016,32(4):194-198.

[11]於琨. 干旱对生态系统脆弱性的影响研究——以长江中下游地区为例[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(7):1021-1028.

[12]刘晓琼,刘彦随. 大型能源开发前后区域生态环境脆弱度变化研究——以陕西省榆林市为例[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(1):46-51.