

引用格式: 马娟娟, 李晓兵, 齐鹏, 张耀全. 祁连山国家公园生态安全评价[J]. 山地学报, 2022, 40(4): 504-515.

MA Juanjuan, LI Xiaobing, QI Peng, ZHANG Yaoquan. Ecological security assessment of Qilian Mountain National Park of China [J]. Mountain Research, 2022, 40(4): 504-515.

祁连山国家公园生态安全评价

马娟娟^{1a}, 李晓兵^{1a,2*}, 齐鹏^{1a}, 张耀全^{1b}

(1. 甘肃农业大学 a. 资源与环境学院; b. 林学院, 兰州 730070; 2. 国家林草局驻西安专员办, 兰州 730030)

摘 要: 国家公园生态安全评价不仅可以探索被评价区域的生态环境状况, 还可以明确区域生态演变趋势, 为当地相关部门预防和控制生态环境恶化提供科学建议。祁连山国家公园是中国西部重要的生态安全屏障、黄河流域重要水源产流地及生物多样性优先保护区域。目前, 对祁连山国家公园的生态安全评价多以 PSR 模型为基础, 运用主观确权法和综合指数法进行评价, 忽略了生态系统及其功能本身与生态安全之间的内在联系, 其结果缺乏客观实际性。本研究将生态系统服务功能指标列入生态安全评价体系当中, 从自然资源条件和生态状况两方面选取 20 个指标构建评价体系, 对祁连山国家公园的 12 个行政区 2018 年度生态安全进行评价。通过熵权法确定各个指标的权重, 用模糊综合评价法计算出不同层次的隶属度, 根据障碍度模型确定影响祁连山国家公园生态安全的主要障碍因子。结果表明: (1) 祁连山国家公园由东向西生态安全等级呈逐渐下降趋势, 生态安全指数从 3.57 (天祝县) 降到 1.97 (阿克塞); (2) 天祝县、门源县、祁连县、凉州区的生态安全等级为安全, 永昌县和民乐县为临界安全, 肃南县为较不安全, 山丹马场、肃北县、天峻县、阿克塞县、德令哈市为不安全; (3) 影响祁连山国家公园生态安全的主要障碍因子有森林覆盖率、叶面积指数和载畜力, 其平均障碍度分别为 11.07%、9.70%、8.39%。研究结果可为优化祁连山国家公园管理制度和生态保护措施的制定提供理论依据。

关键词: 生态安全评价; 熵权法; 模糊综合评价法; 祁连山国家公园

中图分类号: S759.9

文献标志码: A

全球气候变暖和人类活动导致生态安全整体下降。在高原山区, 冰川消融、生物多样性锐减、生态斑块破碎、植被退化等生态问题日益严峻^[1]。

生态安全评价是对生态系统完整性以及对各种风险下维持其健康的可持续能力的识别与研判, 以生态风险和生态健康评价为核心内容^[2]。国外的生态安全评价研究, 主要以生态风险及生态系统健康评价为基础^[3-4], 多通过对单一生态系统评价, 从微观理论探讨造成生态系统不安全的根本原因和影响机理^[5], 以及基于人类福祉进行生态系统服务功能评价, 定性研究居多。国内的生态安全评价, 研究

对象以土地^[6]、城市^[7]、流域^[8]、特定生态系统^[9-11]为主; 体系构建多沿用传统的压力-状态-响应 (Pressure-State-Response, PSR) 和驱动力-压力-状态-影响-响应 (Driving Force-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR) 等模型, 或将固定模型进行叠加使用使其得以改进; 评价方法以生态安全综合指数^[12]、层次分析法^[13]、生态足迹法^[14-15]居多。生态安全评价研究的关键环节是建立科学的评价标准与指标体系^[2]。现有研究中大多指标体系构建基于社会经济发展和自然资源状态, 探讨生态安全与社会经济发展之间的联系, 忽略了生态系统本身及

收稿日期 (Received date): 2021-10-23; 改回日期 (Accepted date): 2022-05-20

基金项目 (Foundation item): 盛彤笙科技创新基金项目 (GSAU-STIS-1436)。[Shengtongsheng Foundation Project (GSAU-STIS-1436)]

作者简介 (Biography): 马娟娟 (1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 景观生态。[MA Juanjuan (1996-), female, M. Sc. candidate, research on landscape ecology] E-mail: 2522375883@qq.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 李晓兵 (1974-), 正高级工程师, 主要研究方向: 自然资源资产调查及管理。[LI Xiaobing (1974-), male, senior engineer, research on survey and management of natural resources assets] E-mail: lixbinfo@qq.com

其功能与生态安全之间的内在关系。

祁连山国家公园横跨甘肃和青海两省,是我国西部重要的生态安全屏障、黄河流域重要水源产流地及我国生物多样性优先保护区域^[16],也是雪豹、狼、棕熊等珍稀野生动物的重要栖息地和高原野生动物迁徙的重要廊道^[17]。祁连山国家公园为高原大陆性气候,常年干旱少雨且气温和降水垂直地带性明显,生态脆弱性强^[18-20]。迄今为止,对祁连山国家公园的生态安全评价多以 PSR 模型为基础,运用主观确权法和综合指数法进行评价^[21-22],其结果缺乏客观实际性。较上述方法而言,模糊综合评价法能够体现出更多分异信息,运算过程即可判断单个指标的安全等级,结果更客观可信,提出的对策和措施更具针对性和细节化^[23-25],可为维持区内生态系统平衡、生态系统健康、生物多样性以及典型生态系统的完整性^[26]提供理论依据。

国家公园及各类自然保护区是生态安全建设的重要载体和生态安全评价的关键区域^[27]。国家公园生态安全评价不仅可以探索被评价区域的生态环境状况,还可以明确区域生态演变趋势,同时为当地相关部门预防和控制生态环境恶化提供科学建议^[28]。本研究在前人研究^[19,21-22]的基础上,将生态系统服务功能指标列入生态安全评价体系当中(不涉及“人”的因素),构建了自然条件及资源-生态环境状态评价指标体系模型,运用熵权-模糊综合评价法,对祁连山国家公园不同行政区开展生态安全评价,并通过障碍度模型分析影响研究区生态安全的主要障碍因子并提出相应建议,为生态安全建设提供科学支撑。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

祁连山国家公园地处甘肃、青海两省交界处(94°50′~103°00′E、36°45′~39°48′N;图1),属于东部季风区、西北干旱区,总面积为 502.34 万 ha,核心保护区 274.67 万 ha,一般控制区 227.68 万 ha,行政区划涉及甘肃省、青海省共 14 个县(区、场)(因研究需要将宝瓶河和鱼儿红分别合并于肃南、肃北,共计 12 个行政区)。该地区是我国生物多样性保护的优先区域^[16],年平均气温在 4℃ 以下,极端最高气温

为 37.60℃,极端最低气温为 -35.80℃;太阳总辐射量为 5916~15 000 MJ·m⁻²;年平均降水量 400 mm。

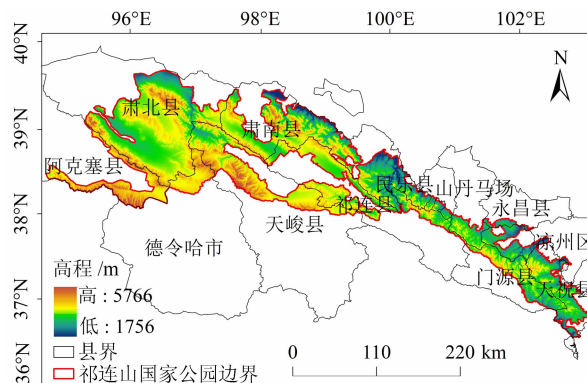


图 1 祁连山国家公园位置示意图

Fig. 1 Location of Qilian Mountains National Park in China

1.2 数据来源与处理

1.2.1 数据来源

DEM (Discrete Element Method, DEM) 数据 (90 m 分辨率) 来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>); 归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 和叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) 数据来源于美国地质调查局 USGS (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/task/area>); 土壤数据 (1:100 万土壤数据) 来源于世界土壤数据库中国土壤数据集 (<http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/E-external-World-soil-database/HTML/>); 气象数据来源于国家气象科学数据中心 (<http://data.cma.cn/>)。统计数据来源于甘肃省统计年鉴及地方统计年鉴等。

1.2.2 数据处理

生态服务功能指标计算过程中所需因子如: 年降雨量、年均温、潜在蒸散发、植物可利用含水量、降雨侵蚀力因子 R 和水土侵蚀因子 K , 运用 Excel 2016 结合 Arcgis 10.2 处理并制图、统计数据用 Excel 2016 处理、生态服务功能指标用 INVEST 3.9.0 计算 (图 2)、SPSSAU 平台进行数据分析。

2 研究方法

2.1 熵权法

权重确定的合理性直接影响评价结果的准确性和科学性^[29-30]。熵权法相对于其他方法而言,精度

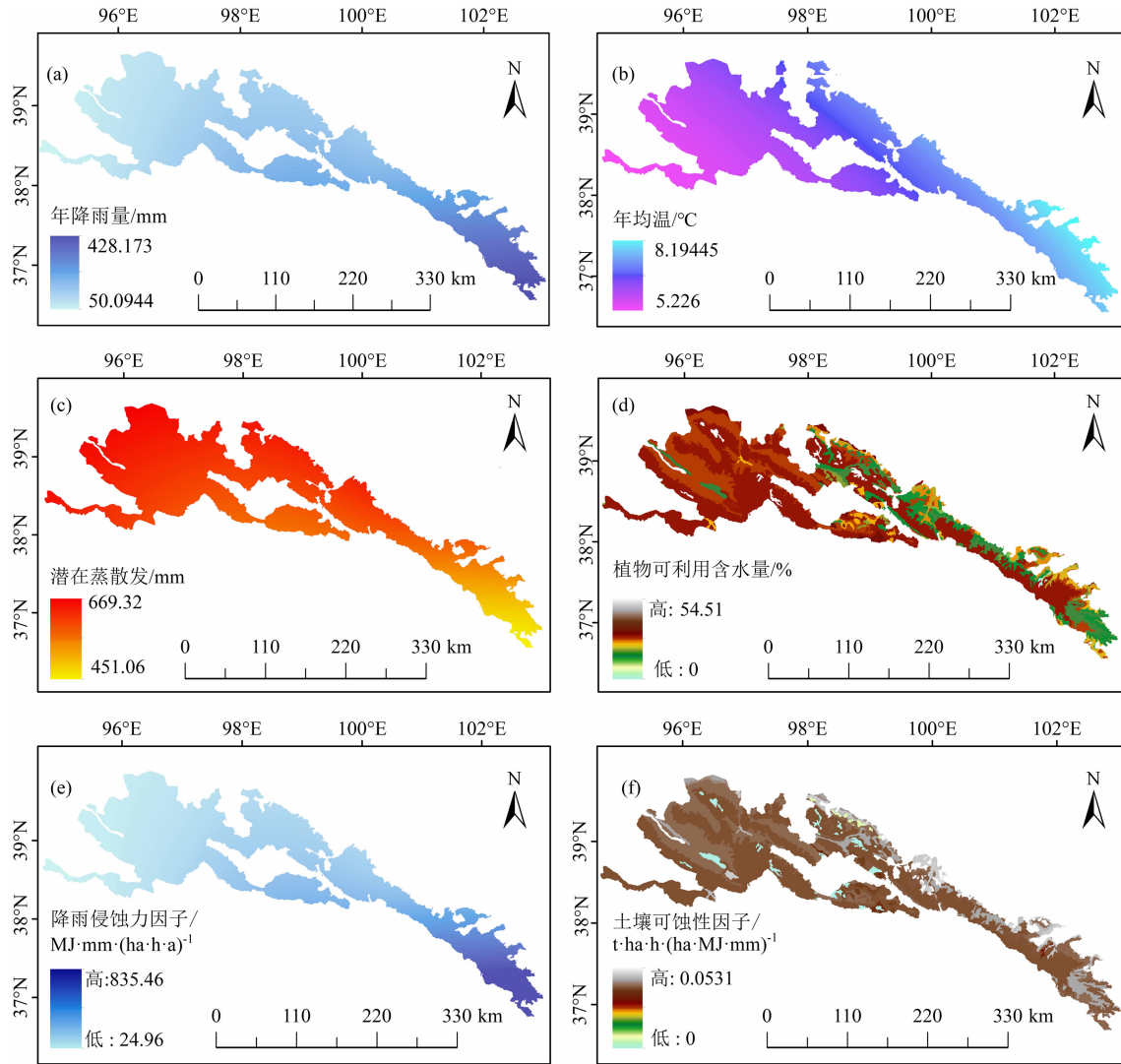


图2 气象数据及生态服务功能参数:

(a) 降雨量;(b)年均温;(c)蒸散发;(d)植物可利用含水量;(e)降雨侵蚀因子;(f)土壤侵蚀力因子

Fig.2 Meteorological data and ecological service function parameters: (a) rainfall; (b) annual temperature;

(c) evaporation; (d) plant available water content; (e) rainfall erosion factor; (f) soil erosion factor

较高、客观性强,操作方面不受专家人数限制,可更好地解释所得结果,且适用于一切需确权的过程^[31-32],在生态安全评价中以信息熵来确定权重,一般认为,一个系统的信息熵越多,其结构越平衡,差异越小^[33-34]。

操作步骤如下:

(1) 标准化

正向指标为:

$$p_{ij_1} = \frac{x_{ij} - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad (1)$$

逆向指标为:

$$p_{ij_2} = \frac{\max x_i - x_{ij}}{\max x_i - \min x_i} \quad (2)$$

式中, p_{ij_1} 、 p_{ij_2} 分别为正向化和逆向化后的值; x_{ij} 为第 j 个行政区第 i 项指标的原始值; $\max x_i$ 为第 i 项指标中的最大值; $\min x_i$ 为第 i 项指标的最小值。

(2) 用 E_i 代信息熵,即:

$$E_i = \frac{1}{-\ln m} \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3)$$

其中,

$$f_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{j=1}^m p_{ij}} \quad (4)$$

式中, p_{ij} 为 p_{ij_1} 或 p_{ij_2} ; m 为样本数; ij 为第 j 个样本的

第 i 项指标。

(3) 信息熵效用价值为:

$$d_i = 1 - E_i \quad (5)$$

指标权重

$$\omega_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i} \quad (6)$$

2.2 模糊综合评价

模糊综合评价是用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价^[35-36],在实际评价研究中得到广泛应用。其步骤为:

(1) 评判标准值确定

依据国际、国家、行业、地方标准研究区域背景和本底标准^[35],以及已有研究结果等,确定评价标准值,本研究参考的标准有:《土壤侵蚀分类分级标准》^[37]、《生态环境状况评价技术规范(试行)》^[38]、《甘肃国家生态安全屏障建设发展报告》^[39]。

(2) 权重判断矩阵的构造

建立评语集 $V = \{\text{安全(V)}, \text{比较安全(IV)}, \text{临界安全(III)}, \text{较不安全(II)}, \text{不安全(I)}\}$,将原始数据带入隶属度函数^[40] $U = F(X)$ 中,获得模糊评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{n5} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, R_1 为第一个行政区的评判矩阵(本研究共有 $R_1 \sim R_{12}$, 12 个评判矩阵); r_{11} 为第一个行政区的第一个指标在第“V”评语集下的隶属度值(即处于安全等级时的概率); n 为指标数量, $n = 1, 2, \dots, 20$ 。

(3) 模糊综合评价

加权平均型模糊算子 $M(\cdot, +)$ 综合利用了 ω (权重) 矩阵和 R 矩阵信息, 分层进行模糊综合计算, 其运算公式为:

$$V' = R \cdot \omega = (V'1, V'2, V'3, V'4, V'5) \quad (8)$$

式中, V' 为模糊评价向量; R 为公式(7)中的评判矩阵; ω 为权重矩阵。

2.3 障碍度模型

本研究用障碍度模型^[41]计算各指标障碍度值 A_i 来确定影响研究区域生态安全状态的主要障碍

因子:

$$A_i = \frac{(1 - p_{ij})w_i}{\sum_{i=1}^m (1 - p_{ij}w_i)} \times 100\% \quad (9)$$

式中, w_i 为第 i 项指标的权重。

2.4 指标体系构建

本研究指标的选取以国家林业和草原局印发的《国家公园监测规范》为标准^[42],参考不同生态系统的生态安全评价指标体系构建,遵从科学性原则、全面性原则、可操作性原则和地域性原则,所筛选出来的指标可充分体现研究区生态安全现状与水平。表1为祁连山国家公园生态安全评价指标体系框架及熵权计算过程值,表2为各指标评判标准值。

3 结果分析

3.1 不同行政区模糊综合评价结果分析

模糊综合评价结果表明祁连县、天祝县、门源县、凉州区处于安全状态,永昌县和民乐县为临界安全,处于安全和临界安全状态的区域面积占 24.23%, 为 122.03 万 ha; 其余行政区为较不安全和 不安全(表3), 共 380.31 万 ha, 占全域面积的 75.77%。单值(生态安全指数)排序由大到小依次为祁连县、天祝县、民乐县、门源县、凉州区、山丹马场、肃南县、永昌、天峻县、肃北县、德令哈市、阿克塞县,祁连县单值最大为 3.76, 其次是天祝县 3.57, 阿克塞县单值最小 1.97。

3.2 生态安全等级分布结果分析

从整体来看,祁连山国家公园生态安全等级和安全指数由东向西均呈现出逐渐降低趋势(图3a和3b),与生态系统服务功能指标(图3c、3d、3e)和 NDVI(图3f)的分布一致,则说明生态安全与生态服务功能呈正相关关系。

分段来看,东部地区(门源县、天祝县、凉州区)生态稳定处于安全状态,这主要是因为东部受青藏高原西南气流影响降雨充沛,水热条件较西部更适宜植被生长,其中林、草地面积占 90.02%,植被指数均值高达 0.65,植被状态良好,生态服务功能强大,生态系统具有维持生态系统整体稳定和平衡的能力^[43-45]。中部地区(肃南县、民乐县、永昌县、山丹马场、祁连县)各行政区生态安全等级各异,这是

表 1 生态安全评价指标体系
Tab.1 Ecological security evaluation index system

目标层 A	准则层 B	权重 B	要素层 C	权重 C	指标层 D	信息熵 值 E	信息效 用值 <i>d</i>	权重 D	指标 属性
生态 安全 综 合 评 价 A	自然 条件 及 资源 B1	0.46	基础背景 条件 C1	0.14	D1 年均气温	0.90	0.10	0.05	+
					D2 湿润度	0.88	0.12	0.06	+
					D3 海拔	0.94	0.06	0.03	+
			矿产资源 C2	0.02	D4 矿产资源面积占比	0.96	0.04	0.02	—
			森林资源 C3	0.16	D5 森林覆盖率	0.81	0.19	0.09	+
					D6 树种结构	0.91	0.09	0.05	—
					D7 林分结构	0.96	0.04	0.02	+
			草原资源 C4	0.07	D8 草地覆盖率	0.94	0.06	0.03	+
					D9 草原综合植被盖度	0.93	0.07	0.04	+
			湿地资源 C5	0.08	D10 湿地面积占比	0.83	0.17	0.08	+
	生态 环境 状态 B2	0.54	植被状态 C6	0.28	D11 载畜力	0.75	0.25	0.13	+
					D12 乔木林单位面积蓄积	0.84	0.16	0.08	+
					D13 叶面积指数	0.86	0.14	0.07	+
			生物多样性 C7	0.03	D14 物种丰度指数	0.93	0.07	0.03	+
			生态系统服务 功能 C8	0.12	D15 水源涵养量	0.90	0.10	0.05	+
					D16 单位面积固碳量	0.91	0.09	0.05	+
					D17 土壤侵蚀模数	0.94	0.06	0.03	—
			生态退化及 灾害情况 C9	0.10	D18 受灾面积比	0.97	0.03	0.02	—
					D19 水土流失率	0.87	0.13	0.06	—
					D20 生态退化比	0.97	0.03	0.02	—

表 2 评判标准值
Tab.2 Standard value of evaluation

指标	评价等级值				
	安全	较安全	临界安全	较不安全	不安全
D1	>15	10~15	5~10	0~-4	<-4
D2	>0.65	0.50~0.65	0.20~0.50	0.05~0.20	<0.05
D3	>3600	3400~3600	2800~3400	2500~2800	<2500
D4	<0.50	0.50~1.00	1~2	2~5	>5
D5	>65	44~65	26~44	8~26	<8
D6	<0.20	0.20~0.40	0.40~0.60	0.60~0.80	0.80~1.00
D7	>80	60~80	50~60	30~50	<30
D8	>70	50~70	40~50	25~40	<25
D9	>80	60~80	50~60	30~50	<30
D10	>5.50	5.50~3.50	3.50~2.50	2.50~1.00	<1
D11	>1.50	1.00~1.50	0.60~1.00	0.40~0.60	0.00~0.40
D12	>100	90~100	80~90	60~80	<60
D13	>4	2.50~4.00	1.00~2.50	0.50~1.00	0.00
D14	>75	35~75	15~35	10~15	<5

表 2(续)

指标	评价等级值				
	安全	较安全	临界安全	较不安全	不安全
D15	> 300	200 ~ 300	100 ~ 200	50 ~ 100	0 ~ 50
D16	> 10000	8000 ~ 10000	6000 ~ 8000	4000 ~ 6000	< 4000
D17	< 5	5 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 80	> 80
D18	< 0. 20	0. 20 ~ 0. 40	0. 40 ~ 0. 60	0. 60 ~ 0. 80	0. 80 ~ 1. 00
D19	< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	> 50
D20	< 0. 20	0. 20 ~ 0. 40	0. 40 ~ 0. 60	0. 60 ~ 0. 80	0. 80 ~ 1. 00

表 3 生态安全评价结果

Tab. 3 Results of ecological security evaluation

行政区	评价模糊向量	等级	单值	排序
祁连县	(0. 46, 0. 12, 0. 15, 0. 27, 0. 00)	V	3. 76	1
天祝县	(0. 38, 0. 12, 0. 36, 0. 00, 0. 15)	V	3. 57	2
民乐县	(0. 28, 0. 09, 0. 40, 0. 15, 0. 08)	Ⅲ	3. 34	3
门源县	(0. 35, 0. 06, 0. 29, 0. 12, 0. 18)	V	3. 27	4
凉州区	(0. 35, 0. 04, 0. 23, 0. 12, 0. 25)	V	3. 13	5
山丹马场	(0. 27, 0. 10, 0. 22, 0. 10, 0. 31)	I	2. 91	6
肃南县	(0. 24, 0. 13, 0. 13, 0. 28, 0. 22)	Ⅱ	2. 90	7
永昌县	(0. 10, 0. 03, 0. 55, 0. 23, 0. 08)	Ⅲ	2. 85	8
天峻县	(0. 23, 0. 03, 0. 05, 0. 30, 0. 39)	I	2. 42	9
肃北县	(0. 17, 0. 04, 0. 17, 0. 13, 0. 50)	I	2. 25	10
德令哈市	(0. 18, 0. 03, 0. 13, 0. 09, 0. 57)	I	2. 15	11
阿克塞县	(0. 14, 0. 02, 0. 05, 0. 26, 0. 54)	I	1. 97	12

由于中部地区植被类型水平地带性变化明显,自东向西由林地向草地过渡,植被覆盖度自东向西逐渐减小,草地面积占比为 65. 39%,林地占 17. 07%,NDVI 均值为 0. 50,植被类型的多样化导致景观异质性较强,生态系统较复杂,而连通性较差限制了生态系统功能的完整性,生态系统服务功能强于西部弱于东部。西部地区(肃北县、天峻县、德令哈市、阿克塞县)生态安全等级和安全指数最低,这是由于西部地区深处内陆,受西北气流影响,年降水量远低于东部^[46],地形复杂、坡度大、植被稀疏,垂直地带呈山地荒漠-山地草原-高寒草原、草甸-高山寒漠分布,大量的裸土地和裸岩石砾加速了地表流水,水蚀、风蚀、冻融等侵蚀严重,几乎不存在水源涵养和水土保持功能,生态系统脆弱、弹性差。

3.3 不同行政区障碍因子诊断分析

由于指标较多,表 4 仅列出障碍度排序前五的障碍因子,并用 SPSS21.0 统计分析软件对不同行政

区所有障碍因子进行聚类分析,将具有较大相似性的区域分为一类,得到聚类分析图(图 4)。

结合表 4 和图 4 可以看出,叶面积指数始终是国家公园生态安全的主要限制因素。当类间距取为 11 时,可分为 4 类:(1)阿克塞县、德令哈市、肃北县和天峻县,主要障碍因子是 D5(森林覆盖率)、D11(载畜力)和 D12(乔木林单位面积蓄积量),其中 D5 在这几个地区的障碍度分别为 13. 54%、13. 60%、12. 98% 和 12. 87%;(2)山丹马场和永昌县,首要障碍因子均为 D11(载畜力),障碍度分别为 21. 52% 和 17. 21%;(3)肃南县、凉州区、天祝县和民乐县,制约该类的障碍因子除 D13(叶面积指数)外,还受 D2(湿润度)和 D19(水土流失率)的影响,其均值分别为 10. 31% 和 8. 69%,而森林覆盖率是抑制肃南县和凉州区生态安全的主要障碍因子;(4)祁连县和门源县,主要受到 D5(森林覆盖率)、D13(叶面积指数)和 D2(湿润度)的影响,平均障碍

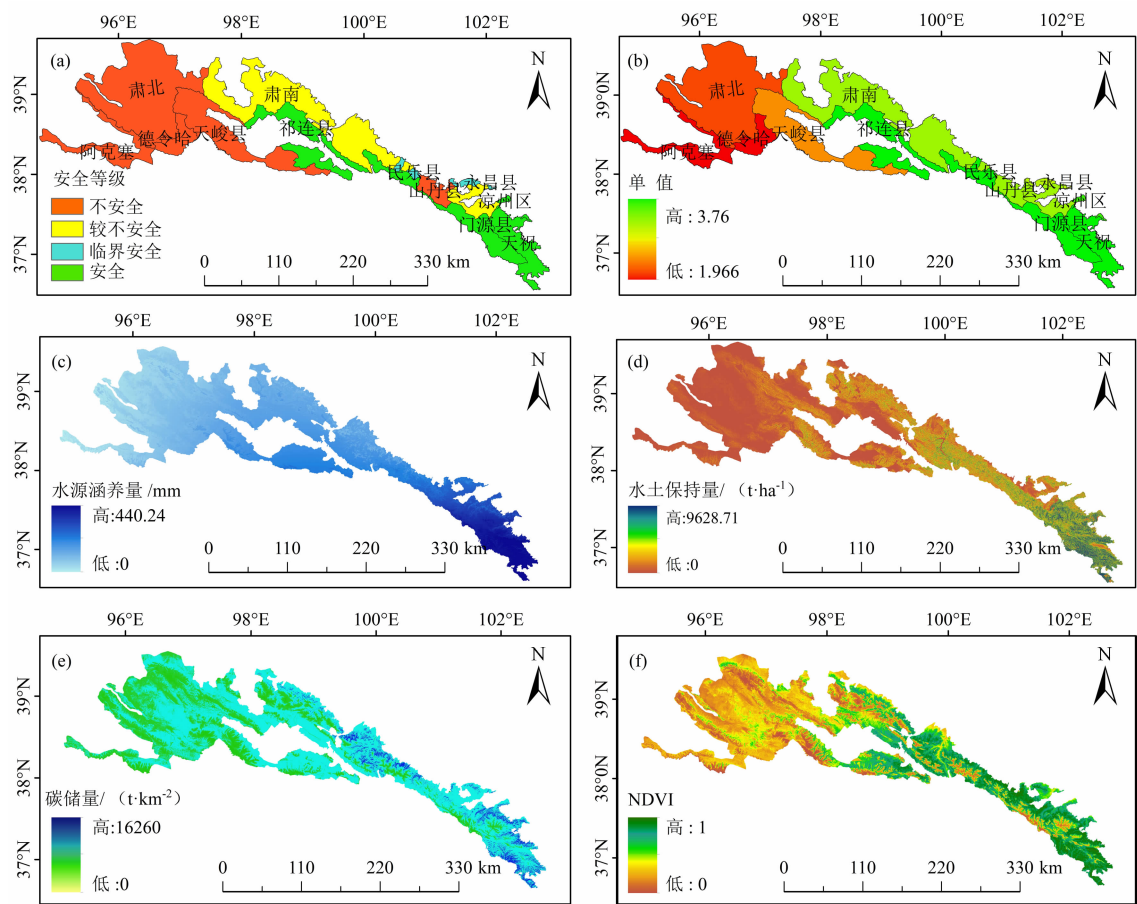


图 3 2018 年生态安全分级及单值:

(a) 生态安全等级结果; (b) 生态安全指数分布; (c) 水源涵养; (d) 水土保持; (e) 碳储量; (f) NDVI

Fig. 3 Ecological security classification and single value in 2018: (a) ecological security level results;

(b) ecological security index distribution; (c) water yiled; (d) sediment delivery ratio; (e) carbon; (f) NDVI

表 4 不同行政区指标层障碍度排序

Tab. 4 Ranking of obstacle level at indicators in different administrative regions

行政区	指标障碍因子及障碍度排序				
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5
肃北县	D5 (13.54)	D10 (12.07)	D11 (12.00)	D12 (11.94)	D13 (9.76)
天峻县	D5 (13.60)	D11 (13.07)	D10 (10.52)	D12 (9.73)	D13 (8.87)
阿克塞	D5 (12.98)	D11 (12.64)	D10 (11.55)	D12 (11.38)	D13 (9.23)
德令哈	D11 (14.17)	D5 (12.87)	D10 (11.41)	D12 (11.29)	D13 (9.15)
祁连县	D10 (17.38)	D5 (17.11)	D13 (10.46)	D1 (8.99)	D2 (8.85)
民乐县	D10 (19.27)	D19 (9.75)	D2 (9.10)	D13 (9.06)	D1 (7.86)
山丹马场	D11 (21.52)	D10 (19.01)	D2 (8.45)	D13 (8.17)	D14 (7.75)
肃南县	D10 (16.65)	D5 (13.89)	D13 (10.52)	D19 (9.73)	D2 (8.85)
永昌县	D11 (17.21)	D10 (15.51)	D5 (9.26)	D13 (9.08)	D19 (7.39)
天祝县	D10 (24.55)	D14 (9.99)	D13 (9.85)	D2 (8.59)	D17 (8.16)
门源县	D10 (21.48)	D1 (11.03)	D13 (9.93)	D14 (8.75)	D5 (8.50)
凉州区	D10 (18.41)	D5 (12.50)	D13 (12.29)	D19 (11.44)	D2 (8.22)

注:括号内的数值为障碍度(%) ;由于西北地区海拔高且干旱,湿地面积较少,湿地面积占比不作为本研究的障碍因子。

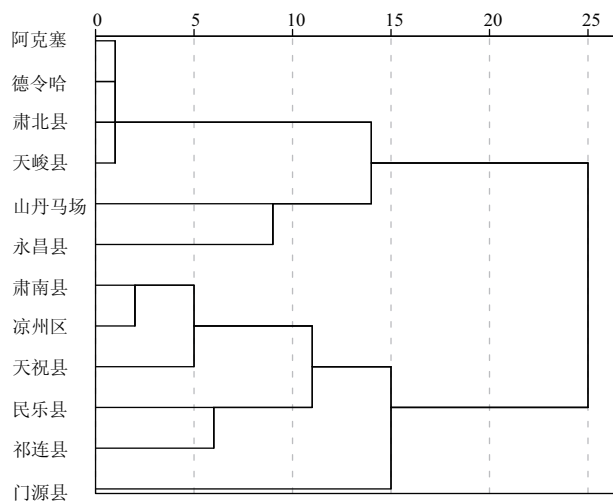


图4 障碍因子聚类图

Fig. 4 Clustering diagram of obstacle factors

度分别为 12.81%、10.01% 和 9.77%。

从出现频率来看,阻碍祁连山国家公园生态安全的主要因子依次是 D13(叶面积指数)、D5(森林覆盖率)、D11(载畜力)、D2(湿润度),D13 和 D5 的出现频率最大,为 20.00%、15.00%,D11 和 D2 出现频率为 10.00%。因此,提高祁连山国家公园生态安全等级,需要增强祁连山国家公园植被状态,增加森林覆盖率和叶面积指数,改善祁连山地区小气候,增加气候湿润度,并合理管理草地,提高草地产草力。

4 讨论

本研究从自然资源和生态环境状态两方面选取了 20 个指标构建评价体系,补充了传统 PSR^[47]、DPSIR 等模型在揭示生态系统及其功能与生态安全之间内在关系的欠缺。但人也是生态安全作用的主体^[48],本研究中不涉及“人”的因素,结果可能趋于理想化。

生态安全是一个相对概念,不仅表示一种状态,更是一种动态过程的体现^[49],本研究主要对 2018 年祁连山国家公园的 12 个行政区进行横向比较,缺少时间轴上的纵向对比。

本研究利用熵权法计算权重,得到的结果较为客观,与实际情况接近,但是该方法在运算过程中会丢失个别指标或忽略掉指标间的相对重要性^[50-51],可能导致较重要的指标具有较低权重。评判标准值

的确定参考了相关标准以及现有研究成果和本底背景值,并结合了祁连山国家公园实际情况,避免了刻板归一造成区间值过大或过小以及计算的结果与实际不符,强化了综合评价结果的科学性和客观性^[52]。

在后期的研究中,对不同区域进行生态安全评价时,其指标体系可以根据同资源分布的不同县进行建设,避免由于祁连山国家公园东西走向自然资源分布不均(如湿地、森林等资源在个别区域没有分布),致使其成为影响某区域生态安全的障碍因子,并将“人”的因素列入自然资源-生态系统体系,使得三者有机结合,采用主、客观法混合确权来评价生态安全状况,并加大研究时间尺度,以便更好地纵向对比不同区域的生态安全变化趋势;对生态系统服务功能类指标中涉及的相应参数应实地采样测定,提高计算结果准确度,使得最终评价结果更加可靠、精确。

5 结论

通过对祁连山国家公园生态安全评价研究,得出以下结论:

(1)从空间格局整体来看,2018 年祁连山国家公园生态安全等级和安全指数由东向西均呈现出逐渐降低的趋势,其中 24.23% 的面积为安全和临界安全,75.77% 的区域为较不安全和不安全。天祝县、门源县、凉州区、祁连县为安全,其单值为 3.57、3.27、3.13 和 3.76;永昌县和民乐县为临界安全,单值为 2.85 和 3.34,肃北县、肃南县、天峻县、阿克塞县、德令哈市、山丹马场处于不安全等级,单值均值为 2.43。

(2)从障碍因子来看,影响祁连山国家公园生态安全的障碍因子为森林覆盖率、叶面积指数和载畜力,平均障碍度分别为 11.07%、9.70% 和 8.39%。不同区域的限制性因子差异较大,制约东、中、西地区生态安全的第二障碍因子分别为物种丰度指数、载畜力和森林覆盖率、森林覆盖率。

(3)本研究指标体系适用于各资源均有分布的研究区域,也适用于同一区域时空变化的研究。

参考文献 (References)

- [1] HUANG Jianping, YU Haipeng, HAN Dongliang, et al. Declines

- in global ecological security under climate change [J]. *Ecological Indicators*, 2020, **117**: 106651. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106651
- [2] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. *应用生态学报*, 2003, **14**(9): 1551 - 1556. [WANG Genxu, CHENG Guodong, QIAN Ju. Several problems in ecological security assessment research [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(9): 1551 - 1556] DOI: 10.13287/j.1001 - 9332.2003.0342
- [3] OMAR H, CABRAL P. Ecological risk assessment based on land cover changes: A case of Zanzibar (Tanzania) [J]. *Remote Sensing*, 2020, **12**(19): 3114. DOI: 10.3390/rs12193114
- [4] 米锋, 谭曾豪迪, 顾艳红, 等. 我国森林生态安全评价及其差异化分析[J]. *林业科学*, 2015, **51**(7): 107 - 115. [MI Feng, TAN Zenghaodi, GU Yanhong, et al. Difference analysis and evaluation of Chinese forest ecological security [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, **51**(7): 107 - 115] DOI: 10.11707/j.1001 - 7488.20150712
- [5] NICHOLS S J, DYER F J. Contribution of national bioassessment approaches for assessing ecological water security: An AUSRIVAS case study [J]. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 2013, **7**(5): 669 - 687. DOI: 10.1007/s11783 - 013 - 0556 - 6
- [6] SU Shiliang, LI Dan, YU Xiang, et al. Assessing land ecological security in Shanghai (China) based on catastrophe theory [J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2011, **25**(6): 737 - 746. DOI: 10.1007/s00477 - 011 - 0457 - 9
- [7] HUANG Qianqian, PENG Benhong, WEI Guo, et al. Dynamic assessment and early warning of ecological security: A case study of the Yangtze river urban agglomeration [J]. *Natural Hazards*, 2020 (4): 1 - 21. DOI: 10.1007/s11069 - 020 - 04436 - 4
- [8] SHEN Yuan, CAO Huiming, TANG Mingfang, et al. The human threat to river ecosystems at the watershed scale: An ecological security assessment of the Songhua River Basin, northeast China [J]. *Water*, 2017, **9**(3): 219. DOI: 10.3390/w9030219
- [9] 秦鹏, 张志辉, 刘庆. 黄河三角洲滨海湿地生态安全评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, **41**(8): 145 - 153. [QIN Peng, ZHANG Zhihui, LIU Qing. Ecological security assessment of coastal wetland in the Yellow River delta [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, **41**(8): 145 - 153] DOI: 10.7621/cjarrp.1005 - 9121.20200816
- [10] LI Xu, LI Xiaobing, WANG Hong, et al. Spatiotemporal assessment of ecological security in a typical steppe ecoregion in Inner Mongolia [J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2018, **27**(4): 1601 - 1617. DOI: 10.15244/pjoes/77034
- [11] 蔡秀亭, 姜钰. 中国森林生态安全时空格局演变及其障碍因子诊断[J]. *统计与决策*, 2019, **35**(3): 96 - 100. [CAI Xiuting, JIANG Yu. Evolution of space-time pattern of Chinese forest ecological security and its obstacle factor diagnosis [J]. *Statistics and Decision*. 2019, **35**(3): 96 - 100] DOI: 10.13546/j.cnki.tjyjc.2019.03.022
- [12] HUANG Jianping, YU Haipeng, HAN Dongliang, et al. Declines in global ecological security under climate change [J]. *Ecological Indicators*, 2020, **117**: 106651. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106651
- [13] 李玉平, 朱琛, 张璐璇, 等. 基于改进层次分析法的水生态环境安全评价与对策——以邢台市为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2019, **55**(2): 310 - 316. [LI Yuping, ZHU Chen, ZHANG Luxuan, et al. Ecological security assessment and countermeasures of water environment based on improved analytic hierarchy process: A case study of Xingtai city [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2019, **55**(2): 310 - 316] DOI: 10.13209/j.0479 - 8023.2018.096
- [14] CHEN Hanshen. Evaluation and analysis of eco-security in environmentally sensitive areas using an emergy ecological footprint [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, **14**(2): 136. DOI: 10.3390/ijerph14020136
- [15] LI Xiaobing, TIAN Meirong, WANG Hong, et al. Development of an ecological security evaluation method based on the ecological footprint and application to a typical steppe region in China [J]. *Ecological Indicators*, 2014, **39**: 153 - 159. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.12.014
- [16] 马芳. 祁连山国家公园脆弱生态环境保护与修复的跨区域立法研究[J]. *青海民族研究*, 2021, **32**(3): 116 - 122. [MA Fang. Research on the cross-regional legislation for the environmental protection and restoration of the fragile ecological environment of Qilian Mountain National Park [J]. *Qinghai Journal of Ethnology*, 2021, **32**(3): 116 - 122] DOI: 10.15899/j.cnki.1005 - 5681.2021.03.019
- [17] 程一凡, 薛亚东, 代云川, 等. 祁连山国家公园青海片区人兽冲突现状与牧民态度认知研究[J]. *生态学报*, 2019, **39**(4): 1385 - 1393. [CHENG Yifan, XUE Yadong, DAI Yunchuan, et al. The research of human-wildlife conflict's current situation and the cognition of herdsmen's attitudes in the Qinghai area of Qilian Mountain National Park [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(4): 1385 - 1393] DOI: 10.5846/stxb201808201773
- [18] 张强, 冯悦, 魏伟, 等. 基于 GIS 的祁连山生态敏感性评价[J]. *安全与环境学报*, 2019, **19**(3): 1056 - 1064. [ZHANG Qiang, FENG Yue, WEI Wei, et al. On ecological sensitivity svaluation of Qilian Mountain range (Qinghai-Gansu) based on GIS [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2019, **19**(3): 1056 - 1064] DOI: 10.13637/j.issn.1009 - 6094.2019.03.045
- [19] 刘佳茹, 赵军, 沈思民, 等. 基于 SRP 概念模型的祁连山地区生态脆弱性评价[J]. *干旱区地理*, 2020, **43**(6): 1573 - 1582. [LIU Jiaru, ZHAO Jun, SHEN Simin, et al. Ecological vulnerability assessment of Qilian Mountains region based on SRP conceptual model [J]. *Arid Land Geography*, 2020, **43**(6): 1573 - 1582] DOI: 10.12118/j.issn.1000 - 6060.2020.06.19

- [20] 付建新, 曹广超, 郭文炯. 祁连山国家公园青海片区山水林田湖草的时空分异[J]. 应用生态学报, 2021, **32**(8): 2866 – 2874. [FU Jianxin, CAO Guangchao, GUO Wenjong. Spatial-temporal differentiation of mountain-water-forest-farmland-lake-grass system in Qinghai area of the Qilian Mountain National Park, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, **32**(8): 2866 – 2874] DOI: 10.13287/j.1001-9332.202108.015
- [21] 王毅, 谢蓉蓉, 王菲凤, 等. 基于 Delphi-PSR 模型的祁连山国家级自然保护区生态安全评价[J]. 山地学报, 2019, **37**(3): 328 – 336. [WANG Yi, XIE Rongrong, WANG Feifeng, et al. Evaluation on eco-security of Qilian Mountain National Nature Reserve based on Delphi-PSR model [J]. Mountain Research, 2019, **37**(3): 328 – 336] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000426
- [22] 唐飞飞. 祁连山国家级自然保护区生态安全评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2014: 21 – 28. [TANG Feifei. The evaluation of ecological security in Qilian Shan National Nature Reserve [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014: 21 – 28]
- [23] LUO Y, YANG Z J, DONG Y, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in water quality evaluation [J]. Bulgarian Chemical Communications, 2016, **48**: 199 – 204.
- [24] 黄宝强, 刘青, 胡振鹏, 等. 生态安全评价研究述评[J]. 长江流域资源与环境, 2012, **21**(S2): 150 – 156. [HUANG Baoqiang, LIU Qing, HU Zhenpeng, et al. A review on ecological security assessment [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, **21**(S2): 150 – 156]
- [25] 刘红, 王慧, 张兴卫. 生态安全评价研究述评[J]. 生态学报, 2006, **25**(1): 74 – 78. [LIU Hong, WANG Hui, ZHANG Xingwei. Research review on ecological security assessment [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, **25**(1): 74 – 78] DOI: 10.13292/j.1000-4890.2006.0015
- [26] 代云川, 薛亚东, 张云毅, 等. 国家公园生态系统完整性评价研究进展[J]. 生物多样性, 2019, **27**(1): 104 – 113. [DAI Yunchuan, XUE Yadong, ZHANG Yunyi, et al. Summary comments on assessment methods of ecosystem integrity for national parks [J]. Biodiversity Science, 2019, **27**(1): 104 – 113] DOI: 10.17520/biods.2018142
- [27] 何雄伟, 盛方富. 国家级自然保护区生态预警指标体系构建与生态安全评价——以江西鄱阳湖国家级自然保护区为例[J]. 生态经济, 2021, **37**(12): 190 – 195. [HE Xiongwei, SHENG Fangfu. Construction of ecological early warning index system of national nature reserve and evaluation of ecological security: Taking Poyang Lake National Nature Reserve in Jiangxi province as an example [J]. Ecological Economy, 2021, **37**(12): 190 – 195]
- [28] ZHANG Yue, ZHANG Liyuan, YU Kanhua, et al. Analysis of the characteristics of ecological security zoning and its dynamic change pattern: A case study of the Weibei area [J]. Sustainability, 2020, **17**(12): 7222. DOI: 10.3390/su1217722
- [29] 张亚青, 王相, 孟凡荣, 等. 基于熵权和层次分析法的 VOCs 处理技术模糊综合评价[J]. 中国环境科学, 2021, **41**(6): 2946 – 2955. [ZHANG Yaqing, WANG Xiang, MENG Fanrong. Comprehensive evaluation of VOCs processing technology based on entropy weight method and analytic hierarchy process [J]. China Environmental Science, 2021, **41**(6): 2946 – 2955] DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210222.006
- [30] 瞿丽欢. 基于人工雨滴算法的义务教育资源配置优化模型研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018: 29 – 30. [QU Lihuan. Research on compulsory education resources allocation based on artificial raindrop algorithm [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018: 29 – 30]
- [31] YU A D. Entropy-based estimation in classification problems [J]. Automation and Remote Control, 2019, **80**(3): 502 – 512. DOI: 10.1134/S0005117919030093
- [32] 夏孝东. 铅锌尾矿库生态修复评价指标体系的构建及验证研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017: 37 – 39. [XIA Xiaodong. Construction of evaluation index system for ecological restoration of lead zinc tailings verification study [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2017: 37 – 39]
- [33] HAN Baolong, LIU Hongxiao, WANG Rusong. Urban ecological security assessment for cities in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods [J]. Ecological Modelling, 2015, **318**(1): 217 – 225. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.12.015
- [34] HAN Baolong, WANG Rusong, TAO Yu, et al. Urban population agglomeration in view of complex ecological niche: A case study on Chinese prefecture cities [J]. Ecological Indicators, 2014, **47**(1): 128 – 136. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.08.002
- [35] 胡秀芳, 赵军, 查书平, 等. 草原生态安全模糊评价方法研究——以甘肃天祝高寒草原为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011, **25**(3): 71 – 77. [HU Xiufang, ZHAO Jun, ZHA Shuping, et al. A study of fuzzy evaluation of grassland ecological security: A case of alpine grassland in Tianzhu [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, **25**(3): 71 – 77] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2011.03.012
- [36] 宋坤坤. 高含硫气田区域代表性植物的生态影响分析[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017: 1 – 78. [SONG Kunkun. An analysis of the ecological impact of the representative plants of the high-sulfur gas field [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2017: 1 – 78]
- [37] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL190 – 2007 [S], 2008. [Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Standard for classification and gradation of soil erosion: SL190 – 2007 [S], 2008.]
- [38] 国家环境保护局. 生态环境状况评价技术规范(试行): HJ/T192 – 2006 [S], 2006. [State Environmental Protection Bureau. Technical criterion ecosystem status evaluation: HJ/T192 – 2006 [S], 2006]

- [39] 刘科举, 喜文化, 高天鹏, 等. 甘肃国家生态安全屏障建设发展报告[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017. [LIU Keju, XI Wenhua, GAO Tianpeng, et al. Report on the development of Gansu province's national ecological security barriers [M]. Beijing: Publisher Social Science Literature, 2017]
- [40] 屈芳青, 周万村. RS 和 GIS 支持下的若儿盖草原生态安全模糊评价[J]. 干旱地区农业研究, 2007, **25**(4): 24–29. [QU Fangqing, ZHOU Wancun. A fuzzy evaluation of Ruogai grassland ecological security based on RS and GIS [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, **25**(4): 24–29] DOI: 10.3321/j. issn:1000–7601.2007.04.005
- [41] 廖雨辰, 谢雨, 刘俊雁, 等. 九寨沟自然保护区生态安全动态评价及障碍因子分析[J]. 生态学报, 2021, **41**(15): 5950–5960. [LIAO Yuchen, XIE Yu, LIU Junyan, et al. Ecological security dynamic assessment and obstacle factors analysis in Jiuzhaigou National Nature Reserve [J]. Acta Ecology Sinica, 2021, **41**(15): 5950–5960] DOI: 10.5846/stxb202002130243
- [42] 国家林业和草原局. 国家公园监测规范: GB/T 39738–2020 [S], 2020. [National Forestry and Grassland Administration. Specification for monitoring of the national park: GB/T 39738–2020 [S], 2020]
- [43] 蒲莹, 牟耀杰, 邵景安. 三峡库区近 20 年森林生态服务功能变化及影响因素分析——以石柱县为例[J]. 林业资源管理, 2020(6): 31–39. [PU Ying, MU Yaojie, SHAO Jing'an. Analysis of forest ecological service function change and its influencing factors of the Three Gorges Reservoir area in the past 20 years: A case study of Shizhu county [J]. Forest Resources Management, 2020(6): 31–39] DOI: 10.13466/j. cnki. lyzygl. 2020.06.006
- [44] 陈彩虹, 肖默. 长株潭城市群城市森林生态系统服务功能的价值评估[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, **31**(2): 50–54. [CHEN Caihong, XIAO Mo. Evaluation of forest ecosystem service function value of urban forest in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan city group [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2011, **31**(2): 50–54] DOI: 10.3969/j. issn. 1673–923X.2011.02.008
- [45] 汤萃文, 陶玲, 杨国靖, 等. 祁连山典型林区生态服务功能间接价值估算[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(3): 569–575. [TANG Cuiwen, TAO Ling, YANG Guojing, et al. Estimation of indirect values of forest ecosystem services in a typical forest area of Qilian Mountains [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, **30**(3): 569–575] DOI: 10.13292/j. 1000–4890.2011.0091
- [46] 蒋友严, 杜文涛, 黄进, 等. 2000—2015 年祁连山植被变化分析[J]. 冰川冻土, 2017, **39**(5): 1130–1136. [JIANG Youyan, DU Wentao, HUANG Jin, et al. Analysis of vegetation changes in the Qilian Mountains during 2000–2015 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, **39**(5): 1130–1136] DOI: 10.7522/j. issn. 1000–0240.2017.0401
- [47] 张强, 杜志成. 丝绸之路经济带上区域生态安全评价研究——以祁连山冰川与水涵养生态功能区为例[J]. 生态经济, 2016, **32**(10): 169–173. [ZHANG Qiang, DU Zhicheng, et al. Evaluation research on regional ecological security of Silk Road Economic Belt: A case study of Qilian Mountains and water conservation ecological functional district province [J]. Ecological Economy, 2016, **32**(10): 169–173] DOI: 10.3969/j. issn. 1671–4407.2016.10.036
- [48] 应凌霄, 孔令桥, 肖斌, 等. 生态安全及其评价方法研究进展[J]. 生态学报, 2022, **42**(5): 1679–1692. [YING Lingxiao, KONG Lingqiao, XIAO Yan, et al. The research progress and prospect of ecological security and its assessing approaches [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, **42**(5): 1679–1692] DOI: 10.5846/stxb202104171002
- [49] 王丽娜, 李爽, 吴迪, 等. 景感生态学: 生态安全研究与实践的重要途径[J]. 生态学报, 2020, **40**(22): 8028–8033. [WANG Lina, LI Shuang, WU Di, et al. Landsenses ecology: An important approach to research and practice of ecological security [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, **40**(22): 8028–8033] DOI: 10.5846/stxb202003110495
- [50] 曹秉帅, 邹长新, 高吉喜, 等. 生态安全评价方法及其应用[J]. 生态与农村环境学报, 2019, **35**(8): 953–963. [CAO Bingshuai, ZOU Changxin, GAO Jixi, et al. Review on methodology and application of ecological security assessment [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, **35**(8): 953–963] DOI: 10.19741/j. issn. 1673–4831.2018.0449
- [51] RAO Kai, YANG Zisheng. Evaluation of mountain land ecological security based on DPSIR model and entropy weight method [J]. Asian Agricultural Research, 2020, **12**(2): 28–33 + 37. DOI: 10.19601/j. cnki. issn1943–9903.2020.02.007
- [52] WANG Qingfeng, YANG Qianqian, GUO Hong, et al. Hydrothermal variations in soils resulting from the freezing and thawing processes in the active layer of an alpine grassland in the Qilian Mountains, northeastern Tibetan Plateau [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, **136**(3–4): 929–941. DOI: 10.1007/s00704–018–2529–y

Ecological Security Assessment of Qilian Mountain National Park of China

MA Juanjuan^{1a}, LI Xiaobing^{1a,2*}, QI Peng^{1a}, ZHANG Yaoquan^{1b}

(1. a. Resource and Environmental Faculty; b. Faculty of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Commissioner's Office of the State Forestry and Grass Administration in Xi'an, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Assessment on the ecological security of a national park in China facilitate defining the ecological environment on a regional scale and its evolution trend, and it is beneficial to actions guided by local government to prevention and control of deterioration of regional ecological environment.

Qilian Mountain National Park was constituted with a purpose of building up a fundamental ecological security defense in western China, an original water source of the Yellow River Basin, and a priority area of biodiversity protection.

Most ecological security assessments of Qilian Mountain National Park were performed based on PSR model with Subjective Weight Determination Method and Comprehensive Index Method; however, the internal relationship between ecosystem and its function and ecological security was not included in the assessments, making their conclusion impractical.

In this study, 12 administrative districts in Qilian Mountain National Park were selected as cases for a proper evaluation of ecological security of the whole Park in 2018. 20 ecosystem service function indicators selected from two aspects of natural resource conditions and ecological conditions were introduced in the ecological security evaluation system. Entropy weight method was used to determine the weight of each index, and fuzzy comprehensive evaluation method was used to calculate the membership degree of each level. Then main obstacle factors affecting the ecological security of Qilian Mountain National Park were determined by obstacle degree model.

The following results are listed here: (1) The ecological security level of Qilian Mountain National Park gradually decreased from east to west in the Park, with an obvious drop from 3.57 (Tianzhu county) to 1.97 (Aksai county) in the ecological safety value. (2) According to Ecological Security Level Standard, it found that combined with the result of fuzzy comprehensive evaluation, Tianzhu, Menyuan county, and Liangzhou district were safe, but Yongchang and Minle county at critical in safety, Sunan county at low safe level, and Shandan Machang, Subei county, Tianjun county, Aksai county, and Delingha were judged as unsafe. (3) The main obstacles to ecological security were forest coverage, leaf area index, as well as livestock carrying capacity, with average obstacle degree of 11.07%, 9.70%, and 8.39%, respectively. The conclusions will provide a theoretical basis for optimizing the management policy of Qilian Mountain National Park and formulation of ecological protection measures.

Key words: ecological security assessment; entropy weight method; fuzzy comprehensive evaluation method; Qilian Mountains National Park