



祁连山国家公园生态环境质量综合评价及演变特征分析

杨磊 单姝瑶 桑晨 刘越 徐浩杰

Comprehensive evaluation and evolutionary characteristics of eco-environment quality in Qilian Mountain National Park

YANG Lei, SHAN Shuyao, SANG Chen, LIU Yue, XU Haojie

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0392>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

祁连山国家公园植被净初级生产力时空演变及驱动因素分析

Spatio-temporal evolution of vegetation net primary productivity in Qilian Mountain National Park and its driving factors

草业科学. 2020, 37(8): 1458 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0613>

哈密绿洲生态环境质量空间格局变化

Spatial pattern changes of eco-environmental quality in Hami Oasis

草业科学. 2021, 38(1): 20 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0372>

中国草地类自然保护区生态环境质量动态评价指标体系构建与案例

Construction of an indicator system and a case study of eco-environmental quality assessment of China's grassland nature reserves

草业科学. 2017, 11(11): 2378 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0229>

张家口市供用水结构时空演变及驱动力分析

Spatio-temporal evolution analysis and underlying driving forces of water supply and consumption structures in Zhangjiakou, China

草业科学. 2020, 37(7): 1354 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0283>

甘肃祁连山国家级自然保护区水源涵养量的时空变化

Spatiotemporal variability in the water conservation amount in Gansu Qilian Mountain National Nature Reserve

草业科学. 2021, 38(8): 1420 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0723>

基于主成分分析综合评价一年生饲草的生产性能——以甘肃庄浪为例

Comprehensive evaluation of production characteristics of annual forage crops based on principal component analysis: A case study of Zhuanglang in Gansu

草业科学. 2018, 12(6): 1503 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0284>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0392

杨磊, 单姝瑶, 桑晨, 刘越, 徐浩杰. 祁连山国家公园生态环境质量综合评价及演变特征分析. 草业科学, 2022, 39(2): 278-289.

YANG L, SHAN S Y, SANG C, LIU Y, XU H J. Comprehensive evaluation and evolutionary characteristics of eco-environment quality in Qilian Mountain National Park. Pratacultural Science, 2022, 39(2): 278-289.

祁连山国家公园生态环境质量综合评价 及演变特征分析

杨磊, 单姝瑶, 桑晨, 刘越, 徐浩杰

(兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室 / 兰州大学农业农村部草业创新重点实验室 /
兰州大学草地农业教育部工程研究中心 / 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 祁连山国家公园是西部重要的生态安全屏障, 采矿、水电开发和过度放牧导致祁连山国家公园生态环境问题突出。基于2000–2018年祁连山国家公园境内14个县(区)的遥感、气象和社会经济统计数据, 从自然、经济和社会3个层面筛选出关键的生态环境质量评价指标, 建立生态环境质量评价指标体系, 量化各指标贡献度, 构建生态环境质量指数(EQI), 阐明EQI时空变化规律。结果表明: 多年平均EQI呈“东高西低”的空间分布, 各县(区)EQI差异明显。研究时段内国家公园EQI呈极显著增加趋势($P < 0.01$), EQI均值越小其增速越慢。自然因素是影响生态环境质量变化的主要驱动力, 经济和社会因素次之, 三者的贡献度分别为52%、28%和20%。气温、降水、太阳辐射、植被覆盖度、增强型植被指数、叶面积指数、净初级生产力、林业总产值、牲畜饲养量、粮食种植面积、第一产业增加值指数、人均总产值增加值指数、人口自然增长率、受教育人口、城乡居民储蓄、农村居民纯收入和非农业人口与生态环境质量呈正向关系。第二、三产业增加值指数和农业人口与生态环境质量呈负向关系。未来应进一步落实天然林保护、退耕还林和退牧还草政策, 完善生态补偿机制, 加强生态环境监管, 严格限制国家公园中西部地区的人类活动强度。

关键词: 区域可持续发展; 空间差异; 时间演变; 驱动力; 人类活动; 主成分分析; 指数构建法

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2022)02-0278-12

Comprehensive evaluation and evolutionary characteristics of eco-environment quality in Qilian Mountain National Park

YANG Lei, SHAN Shuyao, SANG Chen, LIU Yue, XU Haojie

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems / Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Engineering Research Center of Grassland Industry, Ministry of Education / College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Qilian Mountain National Park serves as a vital ecological security barrier in Western China, but mining, hydroelectric development, and overgrazing have resulted in serious ecological and environmental damage. Using remote sensing as well as meteorological and socio-economic statistical datasets of 14 counties in Qilian Mountain National Park from 2000 to 2018, this study established an assessment indicator system for eco-environmental quality. We also employed the principal component analysis method to determine the contribution of each indicator, which was then used to develop a

收稿日期: 2021-06-28 接受日期: 2021-09-15

基金项目: 青海省重点研发与转化计划项目(2020-SF-146); 国家自然科学基金青年科学基金项目(41901113); 甘肃省青年科技基金项目(20JR5RA232); 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金自由探索项目(lzujbky-2020-21)

第一作者: 杨磊(1999-), 男, 甘肃山丹人, 在读本科生, 研究方向为区域生态环境质量评价。E-mail: yanglei16@lzu.edu.cn

共同第一作者: 单姝瑶(1995-), 女, 甘肃金昌人, 在读硕士生, 研究方向为国家公园生态承载力分析与动态模拟。E-mail: danshy20@lzu.edu.cn

通信作者: 徐浩杰(1988-), 男, 江苏无锡人, 副教授, 博士, 研究方向为生态干旱预警、生态系统动态模拟和生态系统服务功能评估。
E-mail: xuhaojie@lzu.edu.cn

new eco-environmental quality index (EQI). The spatiotemporal variations in the EQI and its influencing factors were examined. The results showed that the spatial distribution of mean annual EQI was characterized by low values in the west and high values in the east of Qilian Mountain National Park. The EQI varied significantly for the different counties. During the study period, the EQI of the national park showed a significant increasing trend ($P < 0.01$). The smaller the average EQI, the slower the rate of increase. Natural factors were the major driving force for the temporal variation of eco-environmental quality, followed by economic and social factors, showing a contribution of 52%, 28%, and 20%, respectively. The mean annual temperature and precipitation, annual average radiation, vegetation coverage, enhanced vegetation index, leaf area index, net primary productivity, gross output value of forestry, amount of livestock raised, grain planting area, value-added index of primary industry, per capita GDP added value index, natural population growth rate, the number of educated people, urban and rural household savings, per capita net income of rural residents, and non-agricultural population played a positive role. Value added index of secondary industry, value-added index of tertiary industry, agricultural population, and other indicators played a negative role. Our findings suggest the need for further implementation of natural forest protection, returning farmland to forest, and forbidden grazing programs in the future. Decision-makers need to improve the ecological compensation mechanism and eco-environment supervision. Strict limits on the intensity of human activities in the central and western parts of the national park should be set to promote the restoration of a fragile ecological environment.

Keywords: regional sustainability; spatial difference; temporal variation; driving force; human activity; principal component analysis; index construction

Corresponding author: XU Haojie E-mail: xuhaojie@lzu.edu.cn

生态环境包括自然资源和整个环境的各种因素,是关系到社会和经济可持续发展的复合生态系统,可分为自然环境、经济环境和社会文化环境^[1]。生态环境质量是指与人类有关的自然资源及人类赖以生存的环境的优劣程度,反映生态环境对人类生存及社会经济可持续发展的制约和限制。人口数量急剧增加和消费水平不断提升造成人类活动对生态环境的影响日益加剧,催生了气候变暖、水资源短缺、土地荒漠化和生物多样性锐减等问题。评价生态环境质量的时空演变及其驱动机制,对生态环境保护政策的制定及人类与自然耦合系统的协调发展具有重要意义。

目前生态环境质量的评价方法主要有层次分析法、模糊评价法、灰色聚类分析法、人工神经网络法和指数构建法。层次分析法可确定生态环境质量指标的相对重要性,需要专家根据经验给出因子权重,定性成分多^[2];模糊评价法以模糊数学理论为基础,将评价对象分解成若干评价因素,再利用模糊变换获得评价对象的综合评判值,当指标集个数较大时,对指标权重矢量的确定主观性较强^[3];灰色聚类分析是建立在灰数的白化函数生成基础上的多维灰色评估方法,每个特性指标对每个评判子类均需设定白化权函数,实现起来较为困难^[4];人工神经网络是

一种模仿生物神经网络结构和功能的数学模型,当样本量较少或代表性较低时,网络构建效果不佳且计算复杂^[5]。近几十年来,指数构建法以其宏观、快速、实时和综合的优点,在生态环境监测领域得到广泛应用^[6-7]。国外主要有美国国家野生动物联盟的环境质量指数和加拿大环境部的总环境质量指数,我国生态环境部在《生态环境状况评价技术规范》中提出生态环境状况指数,但使用该指数时存在权重合理性、归一化系数设定、指标可获取性和结果可视化等问题^[8]。卫星遥感对地观测技术的发展为综合指数法和遥感生态指数法提供了数据保障和技术支持。例如,有些学者基于生态系统质量的理论框架,采用综合指数法对洞庭湖区域各生态系统类型进行生态系统质量综合评价和变化分析^[9],或基于植被指数、湿度分量、地表温度和土壤指数,耦合了一种新型的遥感生态指数来监测区域生态质量,并对生态环境变化进行时空分析、建模和预测^[10]。

祁连山国家公园(以下简称“国家公园”)地处青藏高原、蒙新高原和黄土高原的交汇地带,发挥水源涵养、生物多样性保护和径流维持等诸多功能,是中国西部重要的生态安全屏障。长期以来,国家公园受矿产资源开发、水利工程建设、过度放牧和旅游业发展等人类活动的干扰,区域内森林病害严重,草地退化,

水土流失加剧,生态环境亟待加强保护与治理^[11-12]。当前,国家公园生态环境质量评价的研究十分欠缺,尚未建立适宜的生态环境质量评价指标体系,对生态环境质量的时空变化规律尚不明确。有研究提出选取自然、社会、环境污染状况、环境治理状况和生态效益等多方面指标,采用模糊综合评价法对祁连山生态环境质量进行评价,但资料收集困难,未给出评价结果^[13];也有学者利用遥感生态指数评价国家公园生态环境质量,以绿度、湿度、干度和热度为指标,该方法仅使用遥感数据,忽略了人口和经济社会等方面的影响,评价不全面^[14]。因此,本研究基于国家公园的生态环境特征,从自然、经济和社会等方面选取表征生态环境质量的关键指标,建立生态环境质量评价指标体系,构建生态环境质量指数,量化生态环境质量,并探究其时空演变规律,揭示影响生态环境质量变化的主要因素。

1 研究区概况

祁连山国家公园地处甘肃和青海两省的交界处(94°49'18"~102°59'08" E, 36°46'45"~39°47'05" N),是我国首批设立的10个国家公园体制试点之一,总面积约为5.02万 km² (图1)。甘肃片区占总面积的

68.5%,包括阿克塞哈萨克族自治县、肃北蒙古族自治县、肃南裕固族自治县、民乐县、甘州区、山丹县、永昌县、凉州区、古浪县和天祝藏族自治县;青海片区占总面积的31.5%,涉及门源回族自治县、祁连县、天峻县和德令哈市。国家公园自西北向东南由诸多的沟谷、高山和山间盆地组成,海拔1722~5791 m,属大陆性高寒半湿润山地气候,太阳辐射强,年均温在4℃左右,昼夜温差较大,气温与降水垂直分布明显,年平均降水约400 mm,干湿分明,雨热同期。区域内的森林资源、水资源、矿产资源和动植物资源丰富,是我国重要的生态功能保护区。

2 数据与方法

2.1 数据来源

2000-2018年的自然数据来源于遥感监测和气象观测。遥感监测数据由美国土地进程分布式活动档案中心提供(<http://lpdaac.usgs.gov/>)。月尺度的增强型植被指数(enhanced vegetation Index, EVI)和归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)数据来自MODIS MOD13A3产品,空间分辨率为1 km。8 d间隔和500 m空间分辨率的

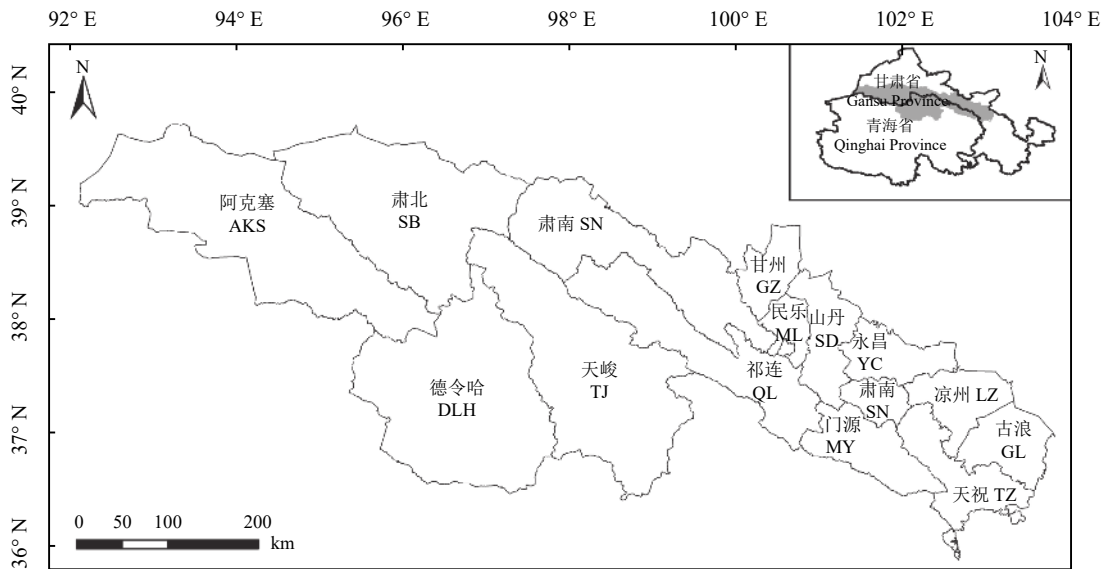


图1 祁连山国家公园行政区划图

Figure 1 Administrative division map of Qilian Mountain National Park

AKS: 阿克塞哈萨克族自治县; SB: 肃北蒙古族自治县; SN: 肃南裕固族自治县; DLH: 德令哈市; TJ: 天峻县; QL: 祁连县; MY: 门源回族自治县; TZ: 天祝藏族自治县; GL: 古浪县; LZ: 凉州区; YC: 永昌县; SD: 山丹县; ML: 民乐县; GZ: 甘州区。下同。

AKS: Aksai Kazak Autonomous County; SB: Subei Mongolian Autonomous County; SN: Su'nan Yugur Autonomous County; DLH: Delingha City; TJ: Tianjun County; QL: Qilian County; MY: Menyuan County; TZ: Tianzhu Tibetan Autonomous County; GL: Gulang County; LZ: Liangzhou District; YC: Yongchang County; SD: Shandan County; ML: Minle County; GZ: Ganzhou District. This is applicable for the following tables and figures as well.

叶面积指数 (leaf area index, LAI) 数据来自 MODIS MOD15A2H 产品。年植被净初级生产力 (net primary productivity, NPP) 数据来自 MODIS MOD17A3HGF 产品。采用 ArcGIS 10.0 软件中集成的双线性内插法将 LAI 和 NPP 空间重采样为 1 km。基于 NDVI 数据, 采用混合像元分解模型计算植被覆盖度 (vegetation coverage, VC)。气象台站观测数据来源于中国气象数据网 (<http://data.cma.cn>)。考虑到研究区气象站点分布稀少, 本研究采用 2000–2018 年中国 842 个基本气象观测站所监测的年均温、年降水和年太阳辐射数据, 利用 ANUSPLIN version 4.4 软件 (Australia Nation University) 的薄盘样条法进行空间插值, 生成 1 km 空间分辨率的气象数据集, 并通过矢量数据裁剪获得研究区的气象数据。2000–2018 年国家公园境内 14 个县 (区) 的社会经济统计数据来源于 EPS 数据服务平台 (<https://www.epsnet.com.cn/>) 提供的《甘肃省统计年鉴》和《青海省统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 建立生态环境质量评价指标体系

生态环境受到自然因素和人为因素的双重影响, 自然因素是生态环境质量变化的客观条件与宏

观背景; 人为因素, 如当地经济发展、人口增长和社会稳定、政策驱动与资源利用等对生态环境的保护显然不应忽视^[15]。因此, 本研究同时考虑了山地自然环境背景及其下游绿洲的经济社会活动对山区生态环境的潜在影响。在参照已有生态环境质量评价指标体系的基础上^[13-17], 以整体性、层次性和可操作性为原则, 从自然、经济和社会三方面筛选出 20 个生态环境质量表征指标 (图 2)。年均温、年降水和年辐射代表水、热、光状况, VC 和 EVI 反映植被生长状况, LAI 和 NPP 分别指示生态系统结构和生态系统生产力。粮食种植面积、林业总产值和牲畜饲养量指示农林牧生产情况, 三大产业增加值指数反映发展趋势, 人均总产值增加值指数表征发展程度。农业人口、非农业人口、人口自然增长率和受教育人口分别反映人口数量、组成、变化和受教育程度。城乡居民储蓄和农村居民纯收入反映居民消费及生活水平。

2.2.2 指标数据标准化

统计国家公园界线范围内各县 (区) 逐年的自然、经济和社会数据, 计算单位面积平均值。

$$X_{ijn} = V_{ijn}/S_i \quad (1)$$

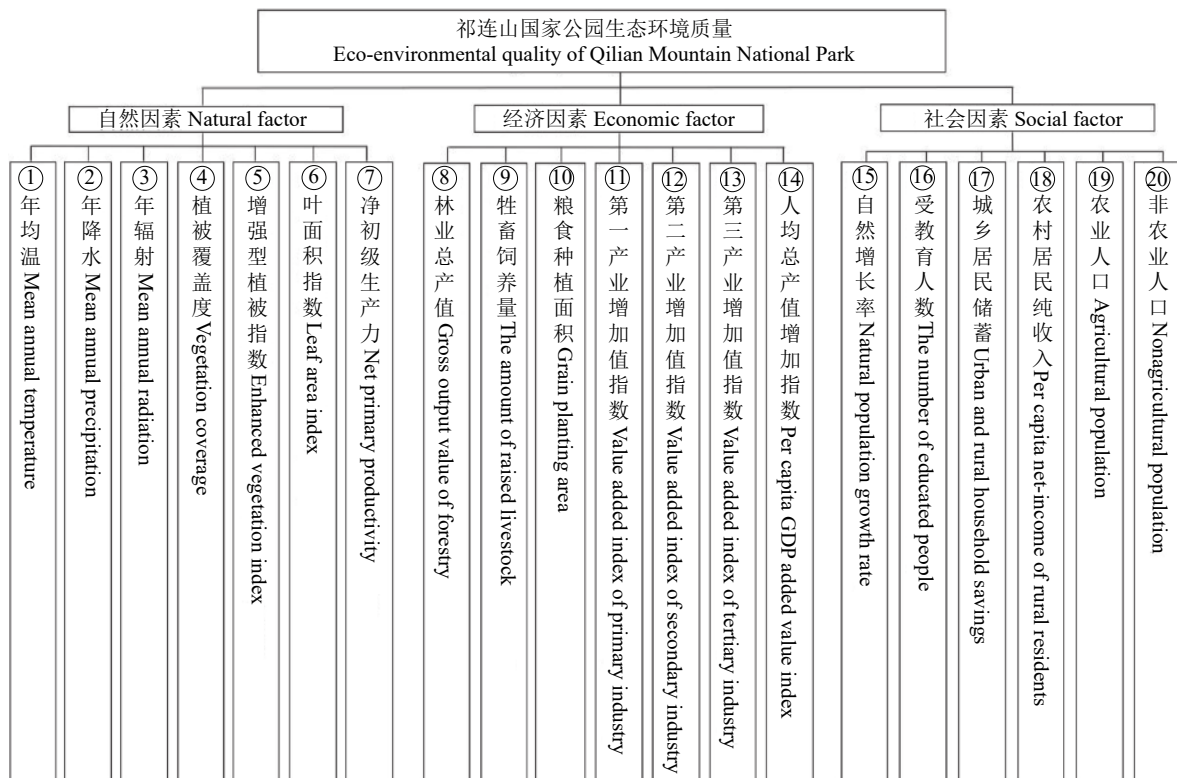


图 2 生态环境质量评价指标体系

Figure 2 Assessment indicator system for eco-environmental quality

式中： X_{ijn} 为第*i*个县(区)第*j*项指标第*n*年的单位面积统计值， V_{ijn} 为第*i*个县(区)第*j*项指标第*n*年的统计值， S_i 为第*i*个县(区)的面积。

为了使各县(区)同一指标具有可比性，采用极差标准化处理数据^[18]。

正向指标：

$$Y_{ijn} = (X_{ijn} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}); \quad (2)$$

负向指标：

$$Y_{ijn} = (X_{\min} - X_{ijn}) / (X_{\max} - X_{\min}). \quad (3)$$

式中： Y_{ijn} 为第*i*个县(区)第*j*项指标第*n*年的标准化值， X_{ijn} 为第*i*个县(区)第*j*项指标第*n*年的单位面积统计值， X_{\max} 和 X_{\min} 为所有县(区)同一指标单位面积统计数据的最大值和最小值。

2.2.3 确定指标贡献度

运用 SPSS 26.0 软件 (IBM) 对每个县(区)20 项指标的标准化结果进行主成分分析，以统计量 (KMO) 取值大于 0.7，特征根大于 1，方差贡献率大于 85%

为标准，每个县(区)共提取 4 个主成分。将指标在各主成分线性组合中的系数除以对应各主成分方差百分比的平方根^[14]。

$$A_{ijk} = M_{ijk} / \sqrt{P_{ik}}. \quad (4)$$

式中： A_{ijk} 为第*i*个县(区)第*j*项指标第*k*个主成分的系数， M_{ijk} 为第*i*个县(区)第*j*项指标第*k*个主成分的成分矩阵值， P_{ik} 为第*i*个县(区)第*k*个主成分的方差百分比。

方差百分比表示各主成分方差贡献率，方差贡献率越大则该主成分的重要性越强。指标贡献度等于以主成分的方差贡献率为权重，对该指标在各主成分线性组合中系数的绝对值进行加权平均，并进行总和标准化，最终得到各县(区)所有指标的贡献度 W_{ij} (表 1)。

$$G_{ij} = \sum_{j=1}^{20} \sum_{k=1}^4 A_{ijk} P_{ik} / \sum_{k=1}^4 P_{ik}; \quad (5)$$

$$W_{ij} = \left(G_{ij} / \sum_{j=1}^{20} |G_{ij}| \right) \times 100\%. \quad (6)$$

表 1 指标贡献度
Table 1 Contribution of the indicator

指标 Indicator	县(区) County (District)														
	永昌 YC	凉州 LZ	古浪 GL	天祝 TZ	甘州 GZ	肃南 SN	民乐 ML	山丹 SD	阿克塞 AKS	肃北 SB	德令哈 DLH	祁连 QL	天峻 TJ	门源 MY	国家公园 QMNP
①	6.04	2.26	5.53	1.82	1.40	3.20	4.00	4.94	3.35	3.81	4.65	3.71	3.44	6.02	3.39
②	-0.17	2.88	9.57	4.41	5.17	4.02	0.79	4.36	4.52	3.21	3.34	4.06	4.44	1.74	3.87
③	4.03	2.66	1.22	0.82	2.79	3.47	5.31	2.44	4.00	6.22	3.25	5.53	4.82	4.60	5.88
④	8.34	9.03	17.89	8.39	7.51	5.88	6.67	4.77	7.59	6.51	4.53	6.38	5.62	6.64	6.46
⑤	7.88	8.71	15.90	7.94	6.93	5.65	6.55	3.56	7.28	6.75	4.77	6.16	5.77	6.53	5.93
⑥	8.18	9.70	18.53	8.41	8.15	6.62	8.24	6.50	7.02	7.34	5.70	6.23	6.47	5.72	6.80
⑦	8.32	9.51	19.16	7.91	8.01	6.52	8.06	6.38	7.16	7.26	4.71	6.05	5.54	6.52	7.31
⑧	4.98	4.30	9.89	5.93	-3.02	2.52	6.64	5.67	4.99	-5.31	4.77	4.60	6.28	1.71	5.40
⑨	7.60	7.11	11.89	6.34	6.09	7.03	-0.39	7.38	4.74	6.99	5.73	5.54	6.26	6.07	6.77
⑩	4.94	-3.87	-12.13	-7.67	6.15	5.95	0.14	3.54	6.38	3.84	4.77	-4.86	5.75	5.81	6.75
⑪	6.05	3.24	11.37	4.87	3.47	4.45	6.24	4.82	2.57	-0.07	5.61	5.55	6.28	6.11	6.63
⑫	-0.24	-0.66	-5.17	-0.10	-6.70	-1.31	1.11	0.28	-5.22	0.06	6.20	5.16	3.03	4.57	-2.62
⑬	-3.92	-0.16	-5.02	1.57	-1.81	-2.26	-4.99	-4.23	-1.53	-2.27	6.50	5.54	5.68	6.28	-1.84
⑭	1.09	1.50	-0.93	1.14	-1.91	0.41	2.97	3.48	-4.67	-0.25	4.27	5.50	-3.31	6.10	0.76
⑮	-4.04	3.91	10.42	-5.48	-5.14	6.86	7.19	8.31	1.66	0.88	-6.01	-2.33	0.91	-2.22	1.06
⑯	-1.07	5.54	-1.22	0.38	4.80	6.93	7.43	8.46	5.84	8.48	4.02	-2.22	5.20	0.29	4.59
⑰	6.12	7.10	-11.44	5.95	6.10	6.48	5.93	7.04	5.16	6.77	5.97	5.33	5.30	6.08	6.18
⑱	6.03	7.09	11.89	5.90	5.82	5.77	5.56	6.83	4.66	6.80	5.45	5.49	6.04	6.09	6.05
⑲	4.56	-6.45	-13.05	-7.41	1.97	6.97	-4.20	-0.97	-5.94	8.90	3.45	4.62	3.93	5.64	-7.0
⑳	-6.39	4.33	-10.69	-7.57	-7.06	7.69	7.61	-6.03	5.70	8.32	6.32	5.15	5.92	5.24	4.62

指标序号同图2。

Serial number of each indicator is shown in Figure 2. QMNP: Qilian Mountain National Park; this is applicable for the following tables and figures as well.

式中: i 表示县 (区), j 表示指标, k 表示主成分。

2.2.4 构建生态环境质量指数

生态环境质量取决于各指标的背景值与贡献度。将 2000–2018 年极差标准化后的自然、经济和社会统计数据乘以指标贡献度, 并进行加和, 逐年计算各县 (区) 生态环境质量指数 (eco-environmental quality index, EQI)。

$$E_{in} = \sum_{i=1}^{14} Y_{ijn} W_{ij} \quad (7)$$

式中: E_{in} 为第 i 个县 (区) 第 n 年的 EQI, Y_{ijn} 为第 i 个县 (区) 第 j 项指标第 n 年的标准化值, W_{ij} 为第 i 个县 (区) 第 j 项指标的贡献度。“0”定义为生态环境质量最低, “1”定义为生态环境质量最高。采用单因素方

差分析探究生态环境质量空间差异的显著性, 以时间趋势分析研究生态环境质量的年际变化, 用 F 检验法检测时间趋势的显著性, $P < 0.05$ 定义为统计显著。

3 结果

3.1 生态环境质量的空间差异

国家公园 (特指国家公园所有县域) 多年平均 EQI 大体呈现“东高西低”的空间分布, 自东南至西北, EQI 逐渐降低, 其中 EQI 最高值和最低值分别出现在民乐和肃北, 分别为 0.427 和 0.031。EQI 高于国家公园平均水平的县 (区) 占比为 64.3%, 低于平均水平的县 (区) 占比为 35.7% (图 3)。

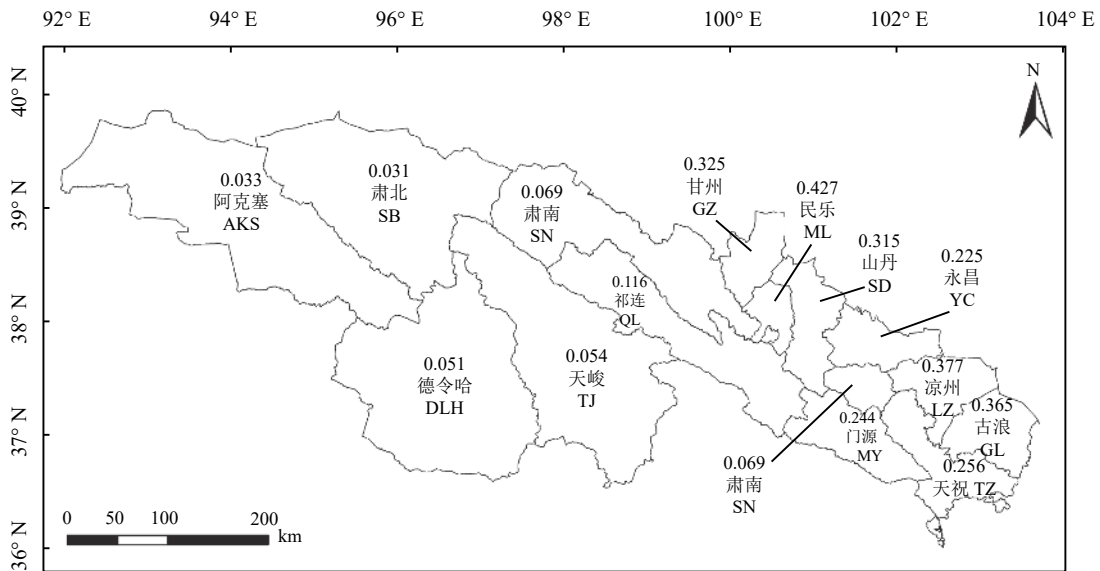


图 3 不同县 (区) 多年平均 EQI 的空间分布

Figure 3 Spatial distribution of the mean annual EQI in different counties

对研究时段内各县 (区) EQI 进行单因素方差分析 (图 4)。结果表明, 国家公园东部的永昌、凉州、古浪、天祝、甘州、民乐、山丹和门源的 EQI 显著高于国家公园平均水平 ($P < 0.05$), 国家公园中部祁连的 EQI 与国家公园的整体水平相当, 国家公园西部的肃南、阿克塞、肃北、德令哈和天峻的 EQI 显著低于国家公园平均水平 ($P < 0.05$)。

3.2 生态环境质量的时间变化特征

2000–2018 年国家公园 EQI 呈显著上升趋势 ($P < 0.05$), EQI 最低值出现在 2001 年, 为 0.075, 最高值出现在 2018 年, 为 0.128 (图 5)。2000–2004 年和 2007–

2011 年 EQI 波动较大, 2004–2007 年和 2011–2018 年 EQI 波动较小。相较于 2000–2009 年, 2009–2018 年 EQI 的增长速率提高 3.2 倍。研究时段内各县 (区) EQI 的年际变化与国家公园基本相同, 均呈显著上升趋势, 但与其他县 (区) 相比, 凉州、民乐、山丹、古浪和德令哈在 2000–2009 年间 EQI 变化较小 (图 6)。

尽管国家公园 EQI 整体呈增加趋势, 但受不同地域自然和经济社会发展状况的影响, 各县 (区) 增长速率不同 (图 7)。结果表明, 甘州、凉州、古浪、门源、永昌、山丹、民乐、天祝、祁连和德令哈的 EQI 增长速率较快, 高于整个国家公园平均水平。天峻、肃

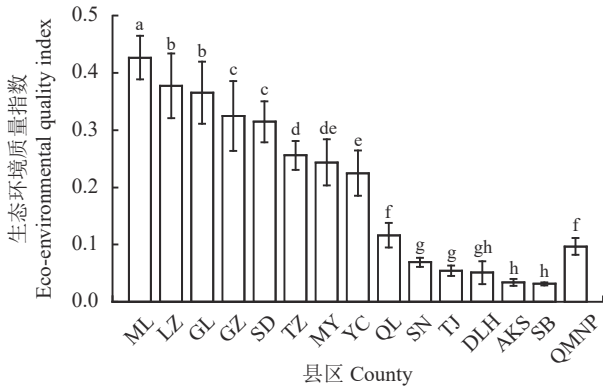


图4 各县(区)EQI 的比较

Figure 4 Comparison of the EQI for each county

不同小写字母表示不同县(区)间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences between different counties at the 0.05 level.

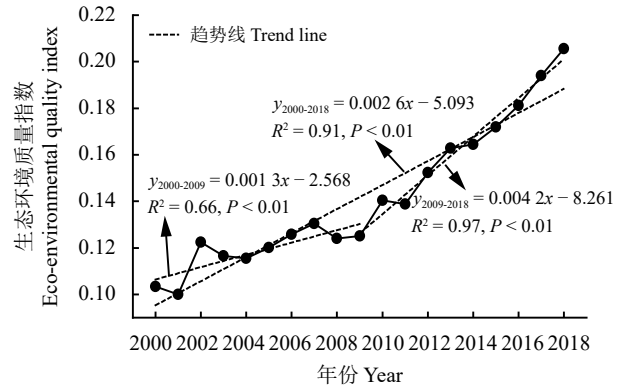


图5 不同时段国家公园EQI 的年度变化趋势

Figure 5 Inter-annual trends in the EQI for the National Park during different periods

南、阿克塞和肃北的EQI 增长速率较慢, 低于整个国家公园平均水平。

3.3 影响生态环境质量时空变化的驱动力

基于国家公园生态环境质量评价指标体系, 分析各县(区)的二级指标权重。结果表明, 影响国家公园

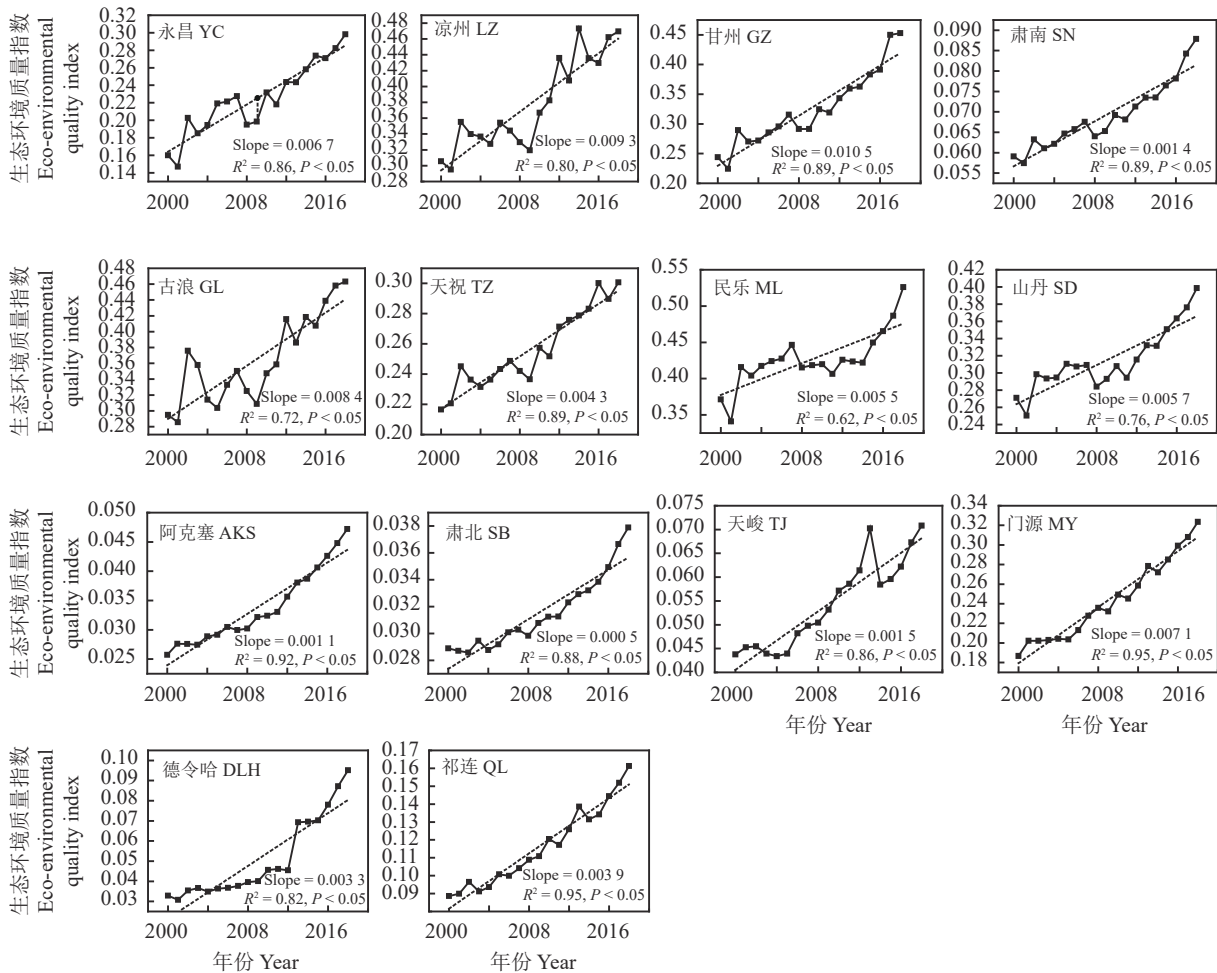


图6 各县(区)EQI 的年度变化

Figure 6 Inter-annual variations of the EQI for each county

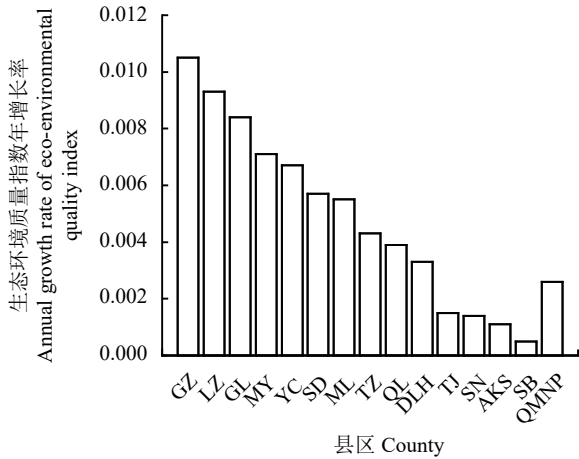


图 7 各县(区)EQI 的年增长率

Figure 7 Annual growth rates of the EQI for each county

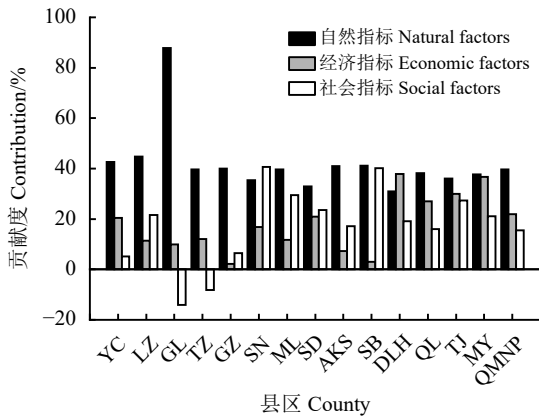


图 8 各县(区)二级指标贡献度

Figure 8 Contributions of the secondary indicators for each county

生态环境质量时空变化的因子重要性排序为自然因素 > 经济因素 > 社会因素, 三者的贡献度分别为 52%、28% 和 20% (图 8)。自然指标正向作用于生态环境质量, 重要性排序从高到低依次是 NPP、LAI、VC、EVI、年辐射、年降水和年均温, 贡献度分别为 7.3%、6.8%、6.5%、5.9%、5.9%、3.9% 和 3.4% (表 1)。2000–2018 年国家公园年降水量呈显著增加趋势 ($P < 0.05$), 2000 年为 265.9 mm, 2018 年为 449.3 mm, 平均每年增加 5.1 mm (图 9)。降水增加有利于植被生长, 植被盖度和生物量增加明显改善生态环境。2000–2018 年国家公园的年均温亦呈显著增加趋势 ($P < 0.05$), 2000 年为 $-5.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2018 年为 $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年均增加 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。2000–2018 年国家公园年辐射量显著增加 ($P < 0.05$), 年增长率为 $9.8\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 辐射量增加促进植被光合作用。

经济指标中, 牲畜饲养量、第一产业增加值指

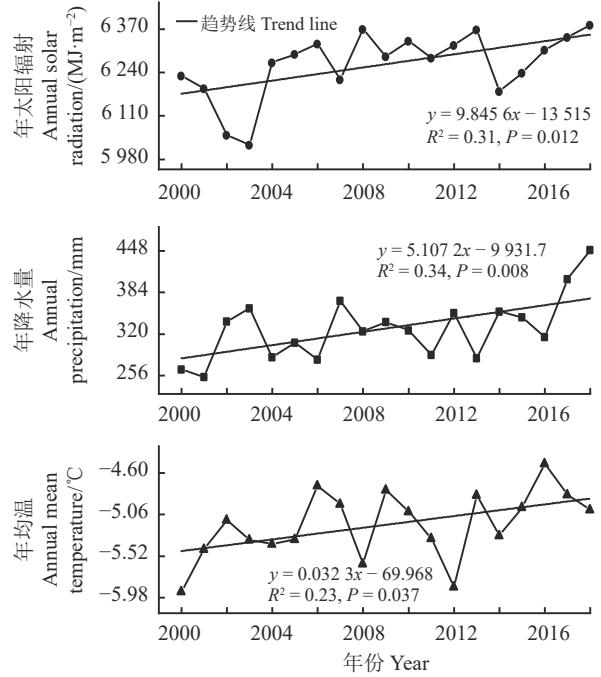


图 9 年均温、年降水和年太阳辐射的年际变化

Figure 9 Inter-annual variations of the annual mean temperature, precipitation, and solar radiation

数和林业总产值的贡献度较高且为正向贡献, 贡献度分别为 6.8%、6.6% 和 5.4% (表 1), 表明林牧业发展改善生态环境质量。第二、三产业增加值指数负向作用于生态环境质量, 贡献度分别为 2.6% 和 1.8%, 并主要发生在国家公园甘肃片区 (图 10)。

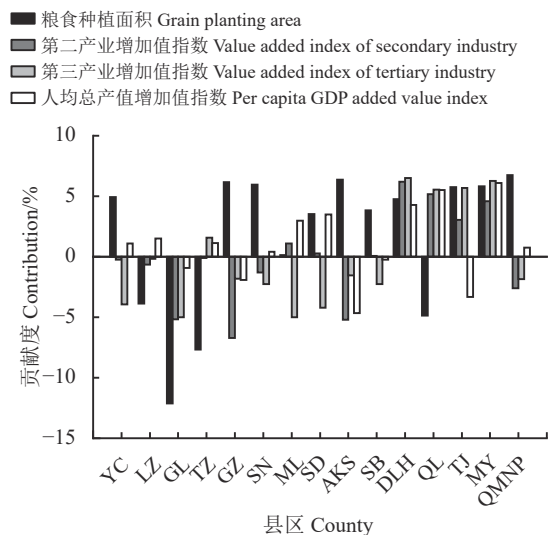


图 10 各县(区)粮食种植面积及第二、三产业增加值指数和人均总产值增加值指数的贡献度

Figure 10 Contributions of the grain planting area, added value index of secondary and tertiary industries, and per capita GDP added value index for each county

社会指标中,因子重要性排序由高到低依次为城乡居民储蓄、农村居民纯收入、受教育人口、非农业人口、自然增长率和农业人口(图 11),贡献度分别为 6.2%、6.1%、4.6%、4.6%、1.1% 和 7.1%。社会统计数据表明,诸多县(区)自然增长率和农业人口呈下降趋势,城乡居民储蓄、农村居民纯收入、受教育人口和非农业人口呈增加趋势。

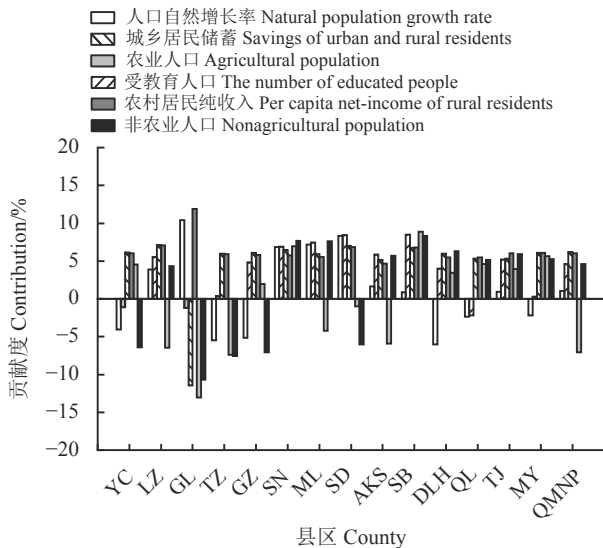


图 11 各县(区)社会指标贡献度

Figure 11 Contributions of each social factor for different counties

4 讨论

2000–2018 年国家公园 EQI 呈显著上升趋势 ($P < 0.05$), 相较于 2000–2009 年, 2009–2018 年 EQI 的增长速率增加了 3.2 倍, 这与张华等^[14]的研究结果一致。2008 年国家生态环境部印发《全国生态功能区划》, 明确了祁连山作为水源涵养地的重要地位, 推动了国家公园生态保护的进程。气候指标和植被生长状况指标正向作用于生态环境质量。已有研究表明, 国家公园植被的 LAI、NPP、VC 和 EVI 均与年降水显著正相关^[19–23]。国家公园位于内陆干旱半干旱区, 气候干旱, 水分是限制植被生长的关键生态因子。然而, 气温升高亦加速冰川消融, 导致河流上游冰雪储量减少, 冰川融水对河流的补给能力降低, 影响地表径流量和中下游植被生长^[24]。短期来看, 气温升高对国家公园生态环境质量有促进作用, 但气温的长期影响仍有待考究, 原因是气温升高可能降低土壤含水量, 抑制植被生长^[25]。辐射量增加促进植被光合作用, 但导致蒸散量增加, 降低

土壤水分有效性^[26]。因此, 气候暖湿化提升植被生态质量, 进而改善生态环境。

经济社会指标对国家公园生态环境质量的影响仅次于自然指标。农业人口和第二、三产业增加值指数负向作用于生态环境质量。山区耕地面积扩张以侵占森林和草地为代价, 生境质量下降, 水源涵养能力减弱, 水土流失加剧^[27]。矿产开采导致周边植被破坏加剧, 废水废料等污染物增多, 土地和河流的污染负荷加重, 而旅游人数增多和违规旅游开发亦可能不同程度污染大气、水源和土壤^[28]。诸多县(区)自然增长率和农业人口呈下降趋势, 城乡居民储蓄、农村居民纯收入、受教育人口和非农业人口呈增加趋势, 居民收入提高、受教育水平提升和劳动力转移可能降低人类活动对国家公园的干扰, 有利于提升生态环境质量^[29]。通过生态管护站建设, 将农牧民就地转化为管护员, 在国家公园过渡区适度发展旅游业, 可增加农牧民收入, 减少对生态环境的破坏。

以上研究结果表明, 未来应提高受教育人口数量, 加强天然林保护、退耕还林和退牧还草政策执行力度, 建立区域生态环境监察机制, 加大生态保护宣传力度, 重点关注肃北、阿克塞、肃南、天峻、德令哈和祁连等生态环境质量提升较慢的县(区)。肃北、阿克塞和天峻位于祁连山中西部, 降水量少, 蒸发量大, 气候干旱, 植被稀少。近几十年来, 人口增加、耕地扩张, 林草复垦, 二、三产业持续增加, 生态环境与经济矛盾的矛盾日益加剧, 应优化水资源配置, 使自然与经济协调发展, 加快生态恢复。肃南应合理发展畜牧业, 开发草原生态旅游资源。德令哈和祁连应适度增加人口, 提高资源利用效率, 通过经济增长增加生态保护投入。对生态环境质量较高的县(区), 应着力于生态环境的长效保护和修复机制。

本研究在国家公园生态环境质量影响因素分析方面仍存在一定的不足, 例如, 环境污染负荷、土壤生境、牲畜载畜量和生物多样性等空间信息难以获取, 导致生态环境质量评价指标体系不够完善。国家公园生态承载力的综合评价和变化分析研究薄弱, 未来将从生态承载力的形成和演变开展研究, 为国家公园的建设和管理提供科学依据和决策支持。

5 结论

国家公园多年平均 EQI 大体呈现“东高西低”的空间分布,自东南至西北, EQI 逐渐降低。生态环境质量存在空间异质性, 2000–2018 年生态环境质量显著改善, 本底值影响其增速。自然因素对生态环境质量的贡献度最高, 经济和社会因素次之。气候暖湿化、植被恢复、林牧业发展、受教育水平提升和居民收入提高正向作用于生态环境质量, 农田开

垦、矿产开采和旅游业发展可能对生态环境质量产生负向影响。近几十年来国家公园水热状况显著改善, 生态管控和恢复措施不断强化, 有效促进了生态环境的自我修复。未来应持续加强天然林保护、退耕还林和退牧还草政策的实施, 重点关注肃北、阿克塞、肃南、天峻、德令哈和祁连等生态环境质量提升较慢的县(区), 提高受教育人口数量, 建立区域生态环境监察机制, 加大生态保护宣传力度, 加快生态恢复。

参考文献 References:

- [1] 李晓秀. 北京山区生态环境质量评价体系初探. 自然资源, 1997(5): 33-37.
LI X X. A preliminary study on mountain eco-environmental quality evaluation system in Beijing. Resources Science, 1997(5): 33-37.
- [2] 李恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 183-185.
LI K. Application of analytical hierarchy process to integrate evaluation of eco-environment. Environmental Science & Technology, 2009, 32(2): 183-185.
- [3] 冀晓东, 靳燕国, 刘纲, 刘杰, 周朔. 基于可变模糊集模型的区域生态环境质量评价. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(9): 148-154.
JI X D, JIN Y G, LIU G, LIU J, ZHOU S. Variable fuzzy set model for assessment of regional eco-environmental quality. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2010, 38(9): 148-154.
- [4] 吕洁华, 李欣. 基于灰色聚类的国家公园综合评价模型. 林业经济, 2018, 40(5): 22-27.
LYU J H, LI X. Comprehensive evaluation model of national park based on grey clustering. Forestry Economics, 2018, 40(5): 22-27.
- [5] 李洪义, 史舟, 沙晋明, 程街亮. 基于人工神经网络的生态环境质量遥感评价. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1475-1480.
LI H Y, SHI Z, SHA J M, CHENG J L. Evaluation of eco-environmental quality based on artificial neural network and remote sensing techniques. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(8): 1475-1480.
- [6] 熊丽君, 袁明珠, 吴建强. 大数据技术在生态环境领域的应用综述. 生态环境学报, 2019, 28(12): 2454-2463.
XIONG L J, YUAN M Z, WU J Q. Application of big data technology in ecological environment: A review. Ecology and Environmental Sciences, 2019, 28(12): 2454-2463.
- [7] 吴季友, 陈传忠, 蒋睿晓, 胡天洋, 于勇. 我国生态环境监测网络建设成效与展望. 中国环境监测, 2021, 37(2): 1-7.
WU J Y, CHEN C Z, JIANG R X, HU T Y, YU Y. Progress and prospects of ecological and environmental monitoring network construction in China. Environmental Monitoring in China, 2021, 37(2): 1-7.
- [8] 张沛, 徐海量, 杜清, 凌红波, 张鹏, 赵新风. 基于 RS 和 GIS 的塔里木河干流生态环境状况评价. 干旱区研究, 2017, 34(2): 416-422.
ZHANG P, XU H L, DU Q, LING H B, ZHANG P, ZHAO X F. Change of ecological conditions in the mainstream area of the Tarim River based on RS and GIS during the period of 1990–2010. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 416-422.
- [9] 陈强, 陈云浩, 王萌杰, 蒋卫国, 侯鹏, 李营. 2001–2010 年洞庭湖生态系统质量遥感综合评价与变化分析. 生态学报, 2015, 35(13): 4347-4356.
CHEN Q, CHEN Y H, WANG M J, JIANG W G, HOU P, LI Y. Ecosystem quality comprehensive evaluation and change analysis of Dongting Lake in 2001–2010 based on remote sensing. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4347-4356.
- [10] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数. 中国环境科学, 2013, 33(5): 889-897.
XU H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes. China Environmental Science, 2013, 33(5): 889-897.
- [11] 汪有奎, 贾文雄, 刘潮海, 陈文, 赵成章, 王启尤, 汪杰. 祁连山北坡的生态环境变化. 林业科学, 2012, 48(4): 21-26.
WANG Y K, JIA W X, LIU C H, CHEN W, ZHAO C Z, WANG Q Y, WANG J. Ecological environment change in the north slope of the Qilianshan Mountains. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(4): 21-26.
- [12] 马蓉蓉, 黄雨晗, 周伟, 周际, 白中科, 官炎俊, 郑连福, 詹培元, 杨正, 张艳. 祁连山山水林田湖草生态保护与修复的探索与实

- 践. 生态学报, 2019, 39(23): 8990-8997.
- MA R R, HUANG Y H, ZHOU W, ZHOU J, BAI Z K, GUAN Y J, ZHENG L F, ZHAN P Y, YANG Z, ZHANG Y. Exploration and practice of ecological protection and restoration about mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands in the Qilian Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(23): 8990-8997.
- [13] 潘爱华, 裴雯. 祁连山区生态环境质量评价指标体系的构建. 甘肃林业科技, 2004, 29(2): 11-13, 77.
- PAN A H, PEI W. Design on evaluate indicator system of eco-environment quality in Qilian Mountains. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2004, 29(2): 11-13, 77.
- [14] 张华, 宋金岳, 李明, 韩武宏. 基于 GEE 的祁连山国家公园生态环境质量评价及成因分析. 生态学杂志, 2021, 40(6): 1883-1894.
- ZHANG H, SONG J Y, LI M, HAN W H. Eco-environmental quality assessment of Qilian Mountain National Park based on GEE. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(6): 1883-1894.
- [15] 宋静, 王会肖, 王飞. 生态环境质量评价研究进展及方法评述. 环境科学与技术, 2013, 36(S2): 448-453.
- SONG J, WANG H X, WANG F. Research progress of ecological environment quality assessment and methods review. *Environmental Science & Technology*, 2013, 36(S2): 448-453.
- [16] 李婷, 胡永强, 张世熔. 海子山自然保护区生态环境质量评价. 环境科学与管理, 2011, 36(2): 172-175.
- LI T, HU Y Q, ZHANG S R. Ecological environment evaluation on Haizishan Natural Reserve. *Environmental Science and Management*, 2011, 36(2): 172-175.
- [17] 杜金鸿, 张玉波, 刘方正, 陈冰, 李俊生, 王伟. 中国草地类自然保护区生态环境质量动态评价指标体系构建与案例. 草业科学, 2017, 34(11): 2378-2387.
- DU J H, ZHANG Y B, LIU F Z, CHEN B, LI J S, WANG W. Construction of an indicator system and a case study of eco-environmental quality assessment of China's grassland nature reserves. *Pratacultural Science*, 2017, 34(11): 2378-2387.
- [18] 解钰茜, 张林波, 罗上华, 杨娇, 李芬, 王德旺. 基于双目标渐进法的中国省域生态文明发展水平评估研究. 中国工程科学, 2017, 19(4): 60-66.
- XIE Y Q, ZHANG L B, LUO S H, YANG J, LI F, WANG D W. Evaluating the level of provincial ecological civilization development in China using the double-benchmark progressive method. *Strategic Study of CAE*, 2017, 19(4): 60-66.
- [19] 王莉娜, 宋伟宏, 张金龙, 马晓芳, 赵鸿雁, 黄晓东. 祁连山国家公园植被净初级生产力时空演变及驱动因素分析. 草业科学, 2020, 37(8): 1458-1474.
- WANG L N, SONG W H, ZHANG J L, MA X F, ZHAO H Y, HUANG X D. Spatio-temporal evolution of vegetation net primary productivity in Qilian Mountain National Park and its driving factors. *Pratacultural Science*, 2020, 37(8): 1458-1474.
- [20] 徐浩杰, 杨太保, 曾彪. 2000-2010 年祁连山植被 MODIS NDVI 的时空变化及影响因素. 干旱区资源与环境, 2012, 26(11): 87-91.
- XU H J, YANG T B, ZENG B. Spatial-temporal changes of vegetation in Qilian Mountains from 2000 to 2010 based on MODIS NDVI data and its affecting factors. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(11): 87-91.
- [21] 武正丽, 贾文雄, 赵珍, 张禹舜, 刘亚荣, 陈京华. 2000-2012 年祁连山植被覆盖变化及其与气候因子的相关性. 干旱区地理, 2015, 38(6): 1241-1252.
- WU Z L, JIA W X, ZHAO Z, ZHANG Y S, LIU Y R, CHEN J H. Spatial-temporal variations of vegetation and its correlation with climatic factors in Qilian Mountains from 2000 to 2012. *Arid Land Geography*, 2015, 38(6): 1241-1252.
- [22] 张蓉, 潘竟虎, 李娜. 泛祁连山地区植被动态变化及其对水热条件的响应. 兰州大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 740-748.
- ZHANG R, PAN J H, LI N. Vegetation dynamic changes and their responses to hydrothermal conditions in the Pan-Qilian Mountains. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2020, 56(6): 740-748.
- [23] 贾文雄, 赵珍, 俎佳星, 陈京华, 王洁, 丁丹. 祁连山不同植被类型的物候变化及其对气候的响应. 生态学报, 2016, 36(23): 7826-7840.
- JIA W X, ZHAO Z, ZU J X, CHEN J H, WANG J, DING D. Phenological variation in different vegetation types and their response to climate change in the Qilian Mountains, China, 1982-2014. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7826-7840.
- [24] 姚俊强, 杨青, 陈亚宁, 胡文峰, 刘志辉, 赵玲. 西北干旱区气候变化及其对生态环境影响. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1283-1291.
- YAO J Q, YANG Q, CHEN Y N, HU W F, LIU Z H, ZHAO L. Climate change in arid areas of Northwest China in past 50 years and its effects on the local ecological environment. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(5): 1283-1291.
- [25] 陆丰帅, 阿的鲁骥, 程云湘, 侯扶江. 祁连山高寒草原土壤水分与植被盖度的关系. 草业学报, 2020, 29(11): 23-32.
- LU F S, Adeluji, CHENG Y X, HOU F J. Relationship between soil moisture and vegetation cover in Qilian Mountain alpine

steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(11): 23-32.

- [26] 赵双喜, 张耀生, 赵新全, 孙广春, 冯承彬. 祁连山北坡草地蒸散量及其与影响因子的关系. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(1): 109-115.
ZHAO S X, ZHANG Y S, ZHAO X Q, SUN G C, FENG C B. Research on evapotranspiration and its impact factors on grassland in the northern slopes of Qilianshan Mountains. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2008, 36(1): 109-115.
- [27] 周沙, 黄跃飞, 王光谦. 黑河流域中游地区生态环境变化特征及驱动力. 中国环境科学, 2014, 34(3): 766-773.
ZHOU S, HUANG Y F, WANG G Q. Changes in the ecological environment and there determining factors in the middle Heihe River Basin. *China Environmental Science*, 2014, 34(3): 766-773.
- [28] 陈丽红, 刘普幸, 花亚萍. 基于 RSEI 的疏勒河流域生态质量综合评价及其成因分析. 土壤通报, 2021, 52(1): 25-33.
CHEN H L, LIU P X, HUA Y P. Comprehensive evaluation of ecological quality and its factors analysis in the Shule River Basin based on RSEI. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(1): 25-33.
- [29] 刘佳茹, 赵军, 沈思民, 赵彦军. 基于 SRP 概念模型的祁连山地区生态脆弱性评价. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1573-1582.
LIU J R, ZHAO J, SHEN S M, ZHAO Y J. Ecological vulnerability assessment of Qilian Mountains region based on SRP conceptual model. *Arid Land Geography*, 2020, 43(6): 1573-1582.

(责任编辑 魏晓燕)

2022 年 1 月国际市场主要畜产品与饲料价格分析

1 月份, 国际饲料价格除菜籽下降外, 其他饲料价格均持续上涨; 畜产品市场价格除育肥牛、牛肉、羊肉和羊羔肉外, 其他畜产品价格持续上涨。

一、国际饲料价格除菜籽下降外, 其他饲料价格均持续上涨

1 月份, 菜籽的平均价格为 779.54 USD·t⁻¹, 环比下降 0.42%; 玉米、大豆、高粱、豆粕、豆粉、棉籽饼和苜蓿粉的平均价格分别为 240.02、513.63、254.83、458.13、412.95、388.06 和 307.34 USD·t⁻¹, 环比分别上涨 2.54%、8.26%、6.40%、6.85%、7.62%、10.96% 和 0.78%。

二、畜产品市场价格除育肥牛、牛肉、羊肉和羊羔肉外, 其他畜产品价格持续上涨

1 月份, 育肥牛、牛肉、新西兰羊肉和羊羔肉的市场价格分别为 3.56、5.76、5.42 和 7.51 USD·kg⁻¹, 环比下降 1.43%、3.03%、5.47% 和 4.21%。瘦肉猪、牛奶、欧盟鸡肉和欧盟猪肉市场价格分别 1.83、0.44、2.88 和 2.30 USD·kg⁻¹, 环比分别上涨 6.40%、13.91%、3.96% 和 29.94%。

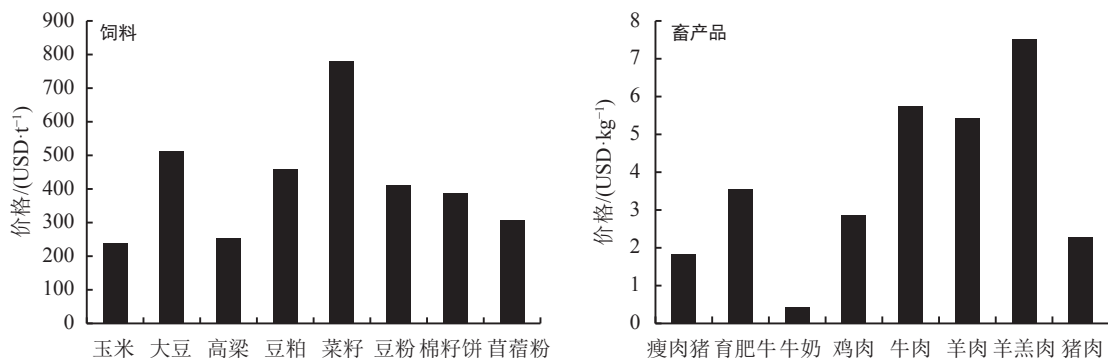


图 1 2022 年 1 月国际市场主要饲料与畜产品价格

数据来源: 国际市场商品价格网 <http://price.mofcom.gov.cn/>; 中国农业信息 <http://www.agri.gov.cn/>; 鸡肉 <http://www.indexmundi.com/>; 羊肉 <http://interest.co.nz/rural>; 牛肉 <http://www.thebeefsite.com/>; 猪肉 <http://www.thepigsite.com/>; 货币汇率 <http://qq.ip138.com/hl.asp>。

(兰州大学草地农业科技学院 谢凯丽 整理)