

DOI: 10.5846/stxb201802250383

李永格, 李宗省, 冯起, 卫伟, 杨静, 吕越敏, 桂娟, 袁瑞丰, 张百娟. 基于生态红线划定的祁连山生态保护性开发研究. 生态学报, 2019, 39(7):

Li Y G, Li Z X, Feng Q, Wei W, Yang J, Lü Y M, Gui J, Yuan R F, Zhang B J. Research on the development of the ecological protection of the Qilian Mountains based on ecological redline. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7):

基于生态红线划定的祁连山生态保护性开发研究

李永格^{1,2}, 李宗省^{1,*}, 冯 起¹, 卫 伟³, 杨 静⁴, 吕越敏^{1,2}, 桂娟^{1,2}, 袁瑞丰^{1,2}, 张百娟^{1,2}

1 中国科学院西北生态环境资源研究院(筹), 内陆河流域生态水文重点实验室/甘肃省水文水资源工程技术中心, 兰州 730000

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100080

4 青海省刚察县气象局, 海北藏族自治州 812300

摘要:运用祁连山地区的自然环境数据和社会经济数据, 基于 GIS 平台、加权求和多指标运算模型, 选取了 30 个指标, 从生态弹性力、生态敏感性和社会经济影响力 3 个方面, 构建了生态红线评价指标体系, 对祁连山生态保护性开发进行研究分析。结果表明:生态红、黄、绿线区, 分别占研究区面积的 32%、40%、28%。生态红线区主要分布于祁连山的西南段、托来山以南、青海湖区及区内所有冰川分布地区, 应实行最严格的管控;生态黄线区是祁连山分布面积最广的区域, 主要集中在祁连山中、西段, 湟水谷地的中游及乌鞘岭南部, 应以修复生态环境和提供部分农产品为主;生态绿线区主要分布在疏勒南山以东地区, 应保护优先, 以提供生态产品为主, 分区开展各具民族特色的生态旅游。

关键词:生态红线; 祁连山; 生态弹性力; 生态敏感性; 冻融侵蚀

Research on the development of the ecological protection of the Qilian Mountains based on ecological redline

LI Yongge^{1,2}, LI Zongxing^{1,*}, FENG Qi¹, WEI WEI³, YANG Jing⁴, LÜ Yuemin^{1,2}, GUI Juan^{1,2}, YUAN Ruifeng^{1,2}, Zhang Baijuan^{1,2}

1 Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin/Gansu Hydrology and Water Resources Engineering Research Center, Northwest Institute of Eco-environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China

4 Gangcha Meteorological Bureau, Haibei Tibetan autonomous prefecture 812300, China

Abstract: Using the natural environment and socio-economic data on the Qilian Mountains, China, we selected 30 indicators and constructed an ecological redline evaluation index system based on three key aspects: ecosystem resilience, ecological sensitivity, and socio-economic influence. This system was constructed based on a GIS platform and a weighted sum multi-index computing model, so that it was possible to investigate ecological protection developments in the Qilian Mountains. Results showed that the ecological redline, yellow line, and green line zones accounted for 32%, 40%, and 28% of the total zone, respectively. The ecological redline zone is mainly located in the southwestern part of the Qilian

基金项目:国家重点研发计划资助(2017YFC0404305);城市与区域生态国家重点实验室开放基金(SKLURE2018-2-6);中国科学院青年创新促进会优秀会员人才计划项目(2013274);国家自然科学基金面上项目(91547102);甘肃省杰出青年基金项目(1506RJDA282);国家重点研发计划项目(2017YFC0404304)

收稿日期:2018-02-25; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lizxhhs@163.com

Mountains, southern Tuolai Mountains, Qinghai Lake, and regions covered by glaciers, where the strictest controls should be implemented by the government. The ecological yellow line zone, characterized by the largest distribution area, mainly occurs in the middle and west Qilian Mountains, the middle reaches of the Huangshui Valley, and the southern part of the Wushaoling Mountains, where ecological restoration and the impact of agricultural land should be given priority. The ecological green line zone is mainly dominated by the eastern part of the Shulenan Mountains, where protection should be given priority in terms of providing ecological products and developing ethical ecological tourism by the regional government.

Key Words: ecological redline; Qilian Mountains; ecosystem resilience; ecological sensitivity; freeze-thaw erosion

祁连山横亘于我国西北干旱半干旱荒漠地区,是河西地区三大内陆河重要的水源涵养地,也是黄河和青海湖的重要水源补给区,更是我国生物多样性保护的优先区域^[1]。受全球气候变化和人类活动的影响,祁连山地区的冰川处于物质亏损状态,普遍退缩减薄^[2-3],水源涵养功能减弱,植被严重退化,生物多样性减少,水土流失等诸多问题加剧^[4-6],进而影响到祁连山地区的生态系统稳定,制约周边地区社会经济的可持续发展,祁连山生态环境的保护和修复成为亟待分析和解决的问题。

划定生态红线是加快生态文明制度建设的重点内容,对于维护自然生态系统服务持续稳定发挥,保障国家和区域生态安全具有关键作用,是遏制生态环境退化形势的迫切需要和有效手段^[7]。2017年7月20日,我国环保部和发改委最新印发《生态保护红线划定指南(http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/t20170728_418679.htm)》对生态红线划定提出指导借鉴,并指出“生态红线是在生态空间范围内具有特殊重要生态功能,必须强制性严格保护的区域,以保障和维护国家生态安全的底线和生命线,通常包括生态功能重要区域和生态环境敏感脆弱区域”。虽然国外没有生态红线的概念,但在生态脆弱性/敏感性^[8-9]、自然保护区、国家公园建设管理方面做的大量工作可为中国生态红线划定研究提供参考^[10-11]。如世界自然保护联盟(IUCN)推动的全球自然保护区建设^[12]、美国国家公园建设^[13]、欧盟自然保护区网络(Natura 2000)^[14-15]、澳大利亚大堡礁海洋公园对保护地的分区规划建设^[16]。

目前,我国生态红线划定的研究已经取得了大量的研究成果,但我国对生态红线划定并没有统一的方法,相关研究大多是依据国家出台的生态红线划定政策,划定空间生态红线^[17]。由于生态问题具有尺度和区域差异,不同地区在生态红线划定时,都充分体现本区域生态环境的指标,国内学者已从不同空间尺度上进行了生态红线划定研究,如鄂州市^[17]、重庆涪陵区义和镇^[18]、四川省汶川县^[19]、湖南省^[20]等省市区的研究;不同地域上,前人从渤海的海洋环境灾害危险性^[21],呼伦贝尔草原的土地沙化敏感性和防风固沙敏感性^[22],喀斯特地区的水土流失和石漠化敏感性^[23],深圳市大鹏新区的环境质量、生态功能保障和资源利用^[24]等方面,开展生态保护红线的划定。上述生态红线划定研究成果中,主要借鉴生态安全、生态承载力、生态系统服务功能等方面的理论,从生态功能重要性、生态环境敏感性、生态适宜性等方面构建生态红线评价指标体系,生态环境敏感性评价中较多涉及土地沙化、水土流失、石漠化敏感性等方面,红线划定过程中缺乏关于冻融侵蚀敏感性评价,本文将冻融侵蚀敏感性作为生态敏感性评价因子。

长期以来,对于祁连山地区主要涉及植被覆盖变化^[25]、植被净初级生产力^[26]、水源涵养^[27]、气候变化^[28]、冰川冻土变化^[29]和生物多样性^[30]等方面的研究较为成熟,针对整个祁连山地区生态系统的综合评价较少,缺少整体的可视化空间分析,考虑到祁连山地区的生态系统完整性和保护祁连山生态环境的紧迫性,开展祁连山地区生态红线划定工作,对保障甘肃和青海生态环境安全、维护祁连山生态系统健康具有重要意义。本文以生态承载力为理论基础,运用GIS技术和层次分析法,从生态弹性力、生态敏感性、社会经济影响力方面,构建祁连山生态红线评价指标体系,通过划定生态红线,从空间上进行分区,对祁连山生态环境敏感区、重要生态功能区进行保护,并提出相应的管控对策,以期祁连山生态环境保护和社会经济健康发展提供有效参考。

1 研究区概况

祁连山(93.5°—103.4°E,35.5°—40°N)位于亚欧大陆中部,是青藏高原东北部最大的边缘山系,东起乌鞘岭,西至当金山口,北临河西走廊,南接柴达木盆地(图1)。祁连山横跨甘肃和青海两省(图1),共涉及37个县市,是青藏、内蒙古、黄土高原的分界线,在自然气候分区上起着非常重要的作用^[28]。祁连山脉位于季风区、非季风区和青藏高原区三大气候区的交汇处,降水量呈自东向西的递减趋势,山区多于平原,年均降水量30—600 mm左右^[31]。祁连山的中、东段属大陆性半干旱高山草原气候,西段属大陆性干旱荒漠气候^[29]。祁连山地势西北高,东南低,由多条西北—东南走向的平行山系组成,东西长约850 km,南北宽250—400 km^[32],海拔为1951—5786 m左右,最高峰——团结峰高达5826.8 m,高耸的地势使得多年冻土得以发育和保存,山区终年积雪并有现代冰川的分布,根据第二次中国冰川编目数据,祁连山共有冰川2683条,现有冰川面积(1597.81±70.30) km²,储量约84.48 km³^[3]。祁连山区河流多,以冰川融水补给为主,水系非常发育,围绕祁连山中心地向四周呈辐射状分布,主要包括河西内流水系、柴达木内流水系和黄河流域水系^[3]。独特的地理环境和气候条件孕育了森林、草原、湿地、荒漠等生态系统。祁连山的区域性特征显著,并且涉及市县较多,为了便于分析,本文将101°E和98°E分别作为祁连山区东段、中段和西段的分界线^[33]。

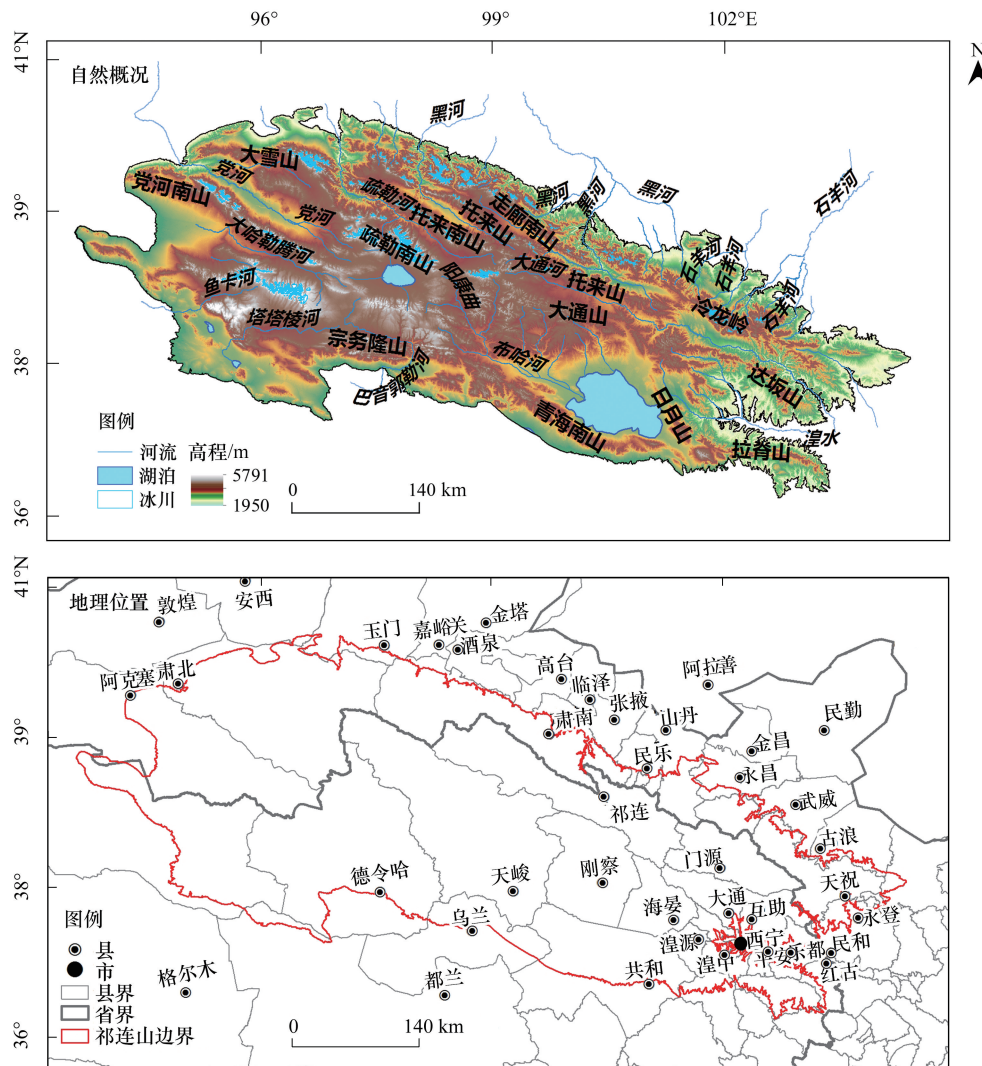


图1 研究区域(a.自然概况;b.地理位置)

Fig.1 Study area (a. Natural conditions; b. Location of Qilian Mountains)

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

生态红线评价指标体系以生态承载力为理论基础,并借鉴环保部最新生态保护红线划定技术指南、生态功能区划^[34]和中国主体功能区划^[35]中的方法和前人研究成果,结合研究区的自然地理条件和生态环境特征,并遵循指标体系构建应具代表性、易操作性、易获性、综合性和系统性原则,从生态弹性力、生态敏感性和社会经济影响力 3 个方面来构建,权重由文献调查、专家打分法和层次分析法^[36]获得,具体指标及其权重见表 1。

表 1 祁连山生态红线评价因子权重表
Table 1 Weight of assessment factor of Qilian Mountains

目标层 Target layer	要素层 Element layer	权重 Weight	准则层 Criterion layer	权重 W Weight	指标层 Alternative layer	权重 Weight
生态承载力 Ecological carrying capacity	生态弹性力	3.11	地形地貌	0.19	高程 -	0.19
			气候	0.60	日照时数 +	0.12
					年均气温 +	0.12
					年均降水量 +	0.36
			土壤	0.31	土壤有机质含量 +	0.31
			水文	1.17	河网密度 +	0.17
					冰川分布 +	0.49
					季节冻土分布 +	0.32
					多年冻土分布 +	0.19
			地表覆被	0.84	NDVI +	0.56
					生物丰度 +	0.28
	生态环境脆弱性	4.93	水土流失	0.81	降水侵蚀力 -	0.21
					土壤质地 +	0.09
					地形起伏度 -	0.13
					植被覆盖度 +	0.38
			土地沙化	1.46	干燥度指数 -	0.38
					起沙风天数 -	0.25
					土壤质地 +	0.12
					植被覆盖度 +	0.71
			冻融侵蚀	2.66	气温年较差 -	0.78
					年均降雨量 +	0.57
					坡度 -	0.30
					坡向 -	0.16
					植被覆盖度 +	0.17
					高程 -	0.68
	社会经济影响力	1.96	人口	0.77	人口密度 -	0.77
			生活	0.27	农村居民人均纯收入 +	0.27
			经济	0.54	人均 GDP +	0.54
			旅游开发	0.38	游客人次 -	0.25
					旅游收入 +	0.13

CI: 层次总排序的一致性指标, Consistency Index; RI: 层次总排序的随机一致性指标, Random Index; CR: 层次总排序的随机一致性比例, Consistency Ratio; $CR = CI / RI = 0.012785 / 0.5595 = 0.02285 < 0.10$, 总层次排序的结果具有满意的一致性^[36]

生态弹性力指生态系统的可自我维持、自我调节及抵抗各种压力与扰动的能力大小, 主要反映生态系统对外界作用的调节和缓冲能力^[37]。研究区的生态类型包括森林、草地、湿地、农田、荒漠等生态系统, 不同生

态类型的生态弹性力存在差异。生态弹性力主要由地形地貌、气候、水文、土壤、植被状况决定^[38-40]。生态敏感性指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的敏感程度和反应程度,即发生区域生态环境问题的难易程度 and 可能性大小^[41]。生态环境问题因时空而异,根据祁连山地区面临的主要问题,本文从水土流失、土地沙化和冻融侵蚀敏感性 3 个方面来评价,冻融侵蚀敏感性主要选取气温年较差、年均降水量、坡度、坡向、植被覆盖度、高程来进行评价^[42-44]。人类活动是引起生态系统变化的重要因素,社会经济发展对生态的影响有两方面,一是人口增加和生活质量的提高,引起需求增加而产生的生态压力^[3],选取人口密度、游客人数,作为负向指标。二是科技进步和社会经济发展对生态系统产生正面影响,人类社会逐渐提高生态环境修复治理能力和潜力,选取人均 GDP、农村居民人均纯收入、旅游收入等作为正向指标。

2.2 数据来源

气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn>),包括祁连山及周边地区,1981—2016 年共 74 个气象台站的月降水量、月平均温度、日降水量、日照时数、日平均温度、日平均风速等数据。降水侵蚀力采用 Arnoldus 降雨侵蚀力简易算法^[45]求得。

MODIS NDVI 数据采用 NASA(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)提供的 MOD13A1 级植被指数产品,空间分辨率为 500 m,时间分辨率为 16 d,选取时间为 2016 年 8 月份。使用 MRT(MODIS Reprojection Tools)软件将数据批处理进行合成并提取 NDVI 数据,并由 NDVI 计算得到植被覆盖度^[46]。

DEM 数据来自于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),分辨率为 30 m×30 m,并由 DEM 数据通过 ArcGIS 计算地形起伏度、坡度、坡向和河网密度^[47]。

2010 年土地利用数据与土地利用数据分类方法^[48]、1983—1995 年青藏高原冻土数据^[49]和冰川数据来源于“寒区旱区科学数据中心”和“黑河计划数据管理中心”(<http://westdc.westgis.ac.cn>)。冰川数据采用最新中国第二次冰川编目数据,该编目数据始于 2006 年末,2011 年完成,反映的是 2005—2006 年的冰川状况^[50]。

1990 年土壤质地和 1980s 土壤有机质含量数据是该地区所对应土壤类型下的平均值,其来源于国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn>)。

社会经济数据:年末常住人口、农村居民人均纯收入、人均 GDP、县区面积是通过 2016 年甘肃省统计年鉴、2016 年青海省统计年鉴、2016 年各市/州/县统计年鉴获得。游客人次和旅游收入是通过 2015 年各市/州/县的国民经济和社会发展统计公报获得,公报上的旅游数据是由各县旅游局提供。

2.3 评价方法

本研究利用 ArcGIS 的空间叠置法,采用行政单元和栅格单元相结合的办法,使以 1 km×1 km 栅格单元作为各评价指标的数据载体,投影 Transverse Mercator,投影坐标为 WGS_1984_UTM_Zone_46N,地理坐标系统为 GCS_WGS_1984,自然数据主要采用空间差值法,社会经济数据以县级行政单元为载体,然后矢量转栅格,并利用研究边界进行裁剪。采用层次分析法确定权重,需要通过专家打分法和查阅相关文献,根据指标相对重要性,构造判断矩阵^[36]。利用极差变换法对评价指标数据进行标准化处理,以消除指标间的量纲影响,各评价指标对生态环境的影响有正负效应之分,对负向指标通过进行正向化处理^[51]。采用加权求和多指标运算,代入模型

$$E = \sum_{i=1}^n Q_i P_i$$

式中, E 为生态红线评价结果值, Q_i 为第 i 个评价指标的权重, P_i 为第 i 个评价指标的分值, n 为评价指标的数目。

在 ArcMap 中利用地图代数进行运算,按照自下而上的顺序依次计算生态弹性力、生态敏感性和社会经济影响力指标层结果。运用 GIS 的空间分析技术,对生态弹性力、生态敏感性和社会经济影响力进行叠加分析,根据叠加结果将研究区划分为生态红线区、生态黄线区和生态绿线区。

3 结果与分析

3.1 生态弹性力评价

生态弹性力评价结果(图2)显示,祁连山地区生态弹性力指数从西北向东南呈现逐渐上升的趋势,较低值出现在祁连山西部,较高值出现在祁连山中东部地区,表明祁连山东部地区的生态系统比西部稳定。整个祁连山的冰川覆盖地区,生态弹性力指数也较小,这与高海拔、气温低,植被覆盖率低,土壤有机质含量少有关。一般情况下,影响生态弹性力的主要因素是植被和降水。祁连山的中、东段属于大陆性半干旱高山草原气候,西段属大陆性干旱荒漠气候,降水量呈自东向西减少趋势^[29]。祁连山东部降水多湿度较大,西部降水少气候干燥,东部较西部具有相对充沛水量,植被覆盖率高,乔木林、灌木林、高寒草甸、草本沼泽广布,生态系统类型丰富多样,生态系统自我调节和恢复能力较强,生态弹性力也较高,西部地区受气候影响,裸地、沙漠/沙地广布,植被稀疏,生态弹性力低。

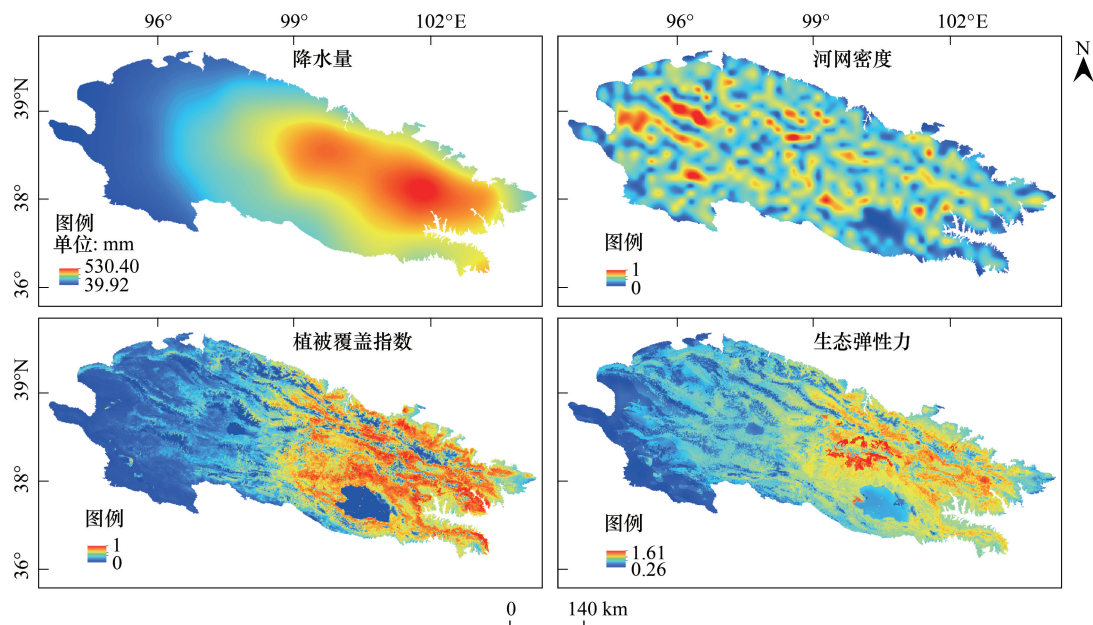


图2 祁连山生态弹性力评价

Fig.2 Ecosystem resilience evaluation of Qilian Mountains

3.2 生态敏感性评价

从水土流失、土地沙化、冻融侵蚀3个方面对生态敏感性进行评价。水土流失高度敏感区主要分布在祁连山西段和除冰川以外的大部分高山地区,这些地区大多是各个河流的中上游,处于冰川末端,冻融侵蚀强烈、地形起伏变化大,受山地降水和季风降水的影响较强烈,植被覆盖率较低,且以裸地和零星分布的高寒草原为主,易发生水土流失,同时,甘肃省境内靠近河西走廊一侧,也存在不同程度的水土流失(图3)。土地沙化高度敏感区,主要分布在天峻县以西,这些地区降水少,气候干燥,蒸发强,且干燥度指数大于6,植被覆盖度低于30%,又毗邻库姆塔格沙漠和柴达木沙漠,在人类不合理开发利用的情况下,极易加剧土地沙化(图3)。冻融侵蚀高度敏感区主要分布在祁连山的西北部,且集中于海拔3600 m及以上区域,最高敏感区分布在海拔4500 m及以上区域,这些地区海拔高、气温年较差大、坡度陡、以阳坡为主、植被盖度较低,增加了冻融侵蚀发生强度(图3)。通过叠加分析,水土流失、土地沙化和冻融侵蚀三种现象在地域上重合,导致肃北县、阿克塞县、肃南县、海西州辖区北部、天峻县西北部成为生态高度敏感区,祁连山冰川主体部分都在生态最敏感地区,多年冻土处于生态较敏感地区,国家级盐池湾保护区的核心区是最敏感区域,青海省祁连山自然保护区和甘肃省国家级祁连山自然保护区都位于此。

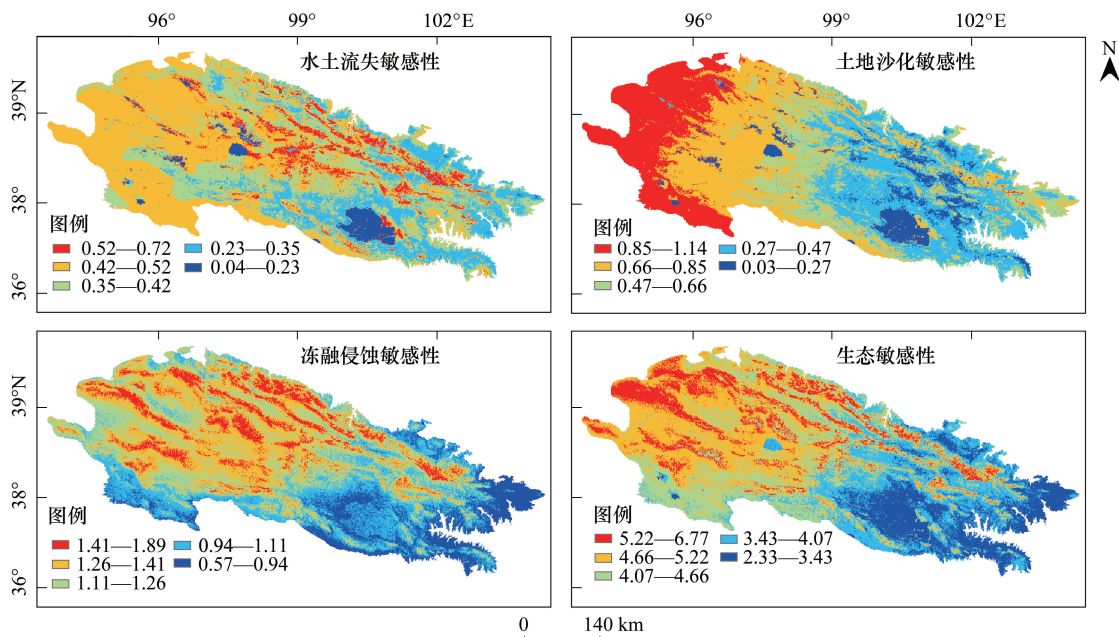


图3 祁连山生态敏感性评价

Fig.3 Ecological sensitivity evaluation of Qilian Mountains

3.3 社会经济影响力评价

祁连山地区的社会经济影响力评价结果见图4。社会经济影响力值越大,表明生态系统受到的压力越小;值越小,表明生态系统受到的压力越大。社会经济影响力最大值主要分布在祁连山西段的肃北县、阿克塞县、海西自辖区(大柴旦)和中段的肃南县(不包括北部区块),人口密度为1—15人/km²,第一产业所占GDP的比重相对较低为3%—15%,第二产业所占GDP比重高达60%以上,除肃南县以外,这些气候干旱、植被稀疏的地区,人口稀少、对土地的依存度较小,社会经济影响力的值较高,肃南县(不包括北部区块)是国家重点生态功能区,该地以高寒草甸和高寒荒漠景观为主,近些年来,草原生态环境问题凸显,政府已安排、部署生态环境的保护、监察、修复和治理工作。社会经济影响力最小值区,主要位于祁连山东侧,西宁市及周边县区的较高密度人口对农牧产品的需求量增大,人们大量开垦荒地,土地资源紧张,易形成潜在的水土流失和土地沙化,对农业生态环境造成巨大威胁。在祁连山中部地区,以海北州祁连县、刚察县,海西州天峻县为代表,人口密度也低于10人/km²,是祁连山冰川与水源涵养生态功能区主体部分,社会经济影响力处于中等水平,这些地区第一产业占GDP比重高达20%—30%,单一化的农业结构加剧了资源环境和人类需求的矛盾,经济相对落后和科技水平较低,制约其对生态环境的保护和改善。

3.4 生态红线划定

对祁连山地区的生态弹性力、生态敏感性和社会经济影响力评价结果进行叠加分析,综合评价结果见图5。综合评价指数值在3.7—8.6之间,按照GIS的自然断裂法将其划分为3个级别:3.7—5.3为生态红线区,面积61549 km²,占研究区总面积的32%;5.3—6.2为生态黄线区,面积为77469 km²,占研究区总面积的40%;6.2—8.6为生态绿线区,面积为53201 km²,占研究区总面积的28%。

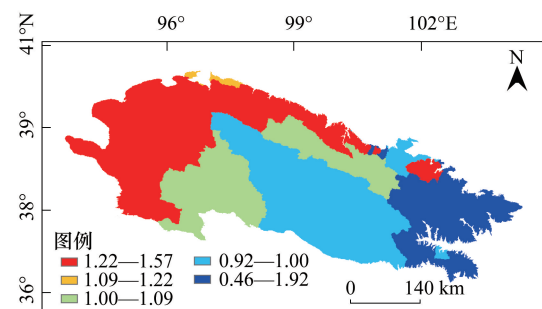


图4 祁连山社会经济影响力

Fig.4 Socio-economic influence of Qilian Mountains

3.4.1 生态红线区及开发建议

生态红线区主要位于祁连山中段托来山以南、西南段、东段的青海湖及区内所有冰川分布地区。生态红线区中所占面积较大区域是海西州自辖区(大柴旦)、德令哈,处于“低稳定、高敏感、低压力”状态,海西州自辖区属于内陆高原荒漠气候,年均降水量 50—100 mm,荒漠广布,植被覆盖度低于 20%,生态弹性力低,区内有冰川和冻土分布,且以季节冻土为主,存在一定强度的冻融侵蚀,人类不合理的采矿和开垦,导致草地进一步退化、沙化。目前,该区人口较少,除采矿开发外,其他社会经济活动对生态环境的压力较小,且该区位于柴达

木盆地,矿产资源丰富,应以点开发,以面保护,发展循环经济为主。德令哈境内的哈拉湖周边冰川和冻土广布,植被覆盖度低于 35%,地形起伏大,生态环境敏感性较强,其人口密度高于大柴旦,对生态环境也会造成不可忽视的负面影响。

甘肃祁连山自然保护区肃南县境内的西侧,处于“中等稳定、较高敏感和低压”状态,年均降水量 100—400 mm,植被覆盖度低于 50%,林地和草地交错分布,生态系统处于中等稳定状态。该区冰川分布集中,生态环境高度脆弱,且盛行西风,靠近沙源地,易加速土地沙化现象,并且位于祁连山自然保护区,但存在一定比例的农牧业人口,生态环境易遭到人为破坏,应适度引导生态移民,减轻压力。

在上述的生态红线区中,祁连山冰川分布地区是最重要的红线区,生态环境高度脆弱,也是西部干旱区最重要的重要水源补给区,应实行最严格管控,禁止祁连山冰川的末端及周边进行大规模人类开发建设活动,已经开发建设的冰川探险旅游项目,应在保护冰川、旅游环境治理、废弃物管理和污染控制的基础上,加强环境监测,保持适度保护性旅游开发,其他红线区应根据政府的相关政策和要求进行调整。

3.4.2 生态黄线区及开发建议

生态黄线区是祁连山分布面积最广的区域,主要集中在祁连山西段、青海湖周边、湟水谷地的中游,乌鞘岭南部,以肃北县、阿克塞县为代表,基本分布在生态红线的周边。生态黄线区主要处于“中稳定、中敏感,中压力”状态,在维护生态系统稳定和农产品供给中发挥着重要作用,关系到较大范围的生态安全,其级别仅次于生态红线区,大部分属部分农产品的主产区,小部分属于国家重点生态功能区,以修复治理生态环境和提供部分农产品为主,允许适度开发能源和矿产资源。

西宁市的湟中县、大通县、海东市的互助县及周边属生态黄线区,处于“高稳定、中敏感和高压力”状态,年均降水量 350—400 mm,植被覆盖度高于 40%,生态弹性力指数较大,动植物资源丰富。该区地处湟水中游盆地,存在潜在土壤盐渍化现象,也属农牧交错带,生态环境脆弱,较高的人口压力使得大量开垦荒地,易造成水土流失。由于该区属于青海省重点开发区,在开发过程中,应注重水土保持和土壤盐渍化的改良,保持必要的耕地和绿色生态空间,积极调整产业结构,提高服务产品和工业品的质量,以实现区域可持续发展。城市建设易挤占耕地和生态用地,影响城市生态系统安全,城市开发边界应介于生态保护红线与现有建设用地边界线之间,提高现有建设用地利用效率、优化城市空间布局^[52]。

3.4.3 生态绿线区及开发建议

生态绿线区处于“高稳定、低敏感、低压力”状态,主要分布在疏勒南山以东地区,以刚察县、祁连县、门源县、天峻县、海晏县、肃南县为代表,人口密度在 10 人/km²左右,植被覆盖度高于 50%,以森林、草地、湿地生态系统为主,生态承载力高,生态环境功能较强,是国家生态保护的战略要地,绿线区主要位于国家级重点生态功能区,是祁连山冰川与水源涵养生态功能区的主体部分,也是河西内陆河流域的生态屏障,祁连山地区的国家森林公园、自然保护区多数位于绿线区,动植物资源丰富。目前局部地区不合理开采,导致草原退化严

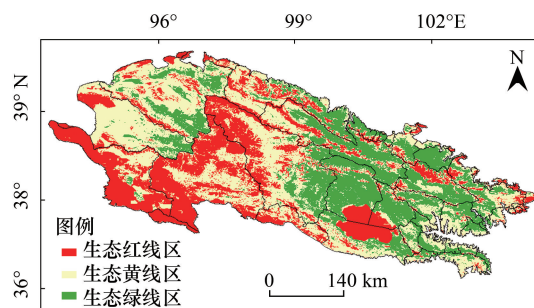


图 5 祁连山生态红线、黄线、绿线分区

Fig.5 Redline of ecological protection of Qilian Mountains

重,生态环境恶化。该区应以生态修复、保护环境、提供生态产品为主,以农牧产品、工业品、服务产品为辅,通过政府征求多方意见和建议,统一合理规划,因地制宜地发展以生态环境保护为主的相关产业,分区连片对旅游区进行统一规划,包括藏族、裕固族、蒙古族、哈萨克族等民族文化,开展各具民族特色的体验式生态旅游,构建民族文化生态旅游区,将地方宗教文化与自然旅游资源、乡村与城市旅游相结合,形成组团式开发模式^[53],在保护自然环境同时,也保护地方文化景观。

4 结论与讨论

通过对研究区的综合评价分级,划定了生态红、黄、绿线区,分别占研究区面积的 32%、40%、28%。生态红线区主要位于祁连山的西南段,托来山以南、东部的青海湖及区内所有冰川分布地区,其中,祁连山冰川分布区是最重要的红线区,占红线区的 2.5%,其生态环境高度脆弱,也是西部干旱区最重要的水资源来源地,应实行最严格的管控,禁止祁连山冰川的末端及周边进行大规模人类开发建设活动;生态黄线区是祁连山分布面积最广的区域,以修复生态环境和提供部分农产品为主,在当地资源环境可承载范围内,可允许适度开发能源和矿产资源;生态绿线区主要位于国家级祁连山冰川与水源涵养重点生态功能区的主体部分,应以生态修复、保护环境、提供生态产品为主,将地方宗教文化与自然旅游资源、乡村与城市旅游相结合,形成组团式开发模式,开展各具民族特色的生态旅游,在保护自然景观的同时,保护必要的文化景观。

祁连山生态红线区占研究区面积的 32%,这相对于其他地区(渤海^[21]、呼伦贝尔草原^[22]、鄂州市^[54]、贵安新区^[55]、淄博^[56]等)划定的生态红线区的面积比例 18%—31%稍高,而且祁连山生态绿线区是生态系统较稳定的区域,生态环境功能较高,属限制开发区,与上述其他地区的研究存在差异,是其生态战略地位重要所致,祁连山地区主体部分既是国家级祁连山冰川与水源涵养重点生态功能区,也是众多国家级自然保护区的核心区所在地,如祁连山国家级自然保护区、盐池湾国家级自然保护区、连城国家级自然保护区等。本文也存在不足之处,生态红线划定方面没有考虑完整的行政区划,而是以整个祁连山地区为边界,某种程度上忽视了祁连山周边地区的边缘效应。但在综合评价中,考虑到人类活动的能动性,红线划定过程中将冻融侵蚀敏感性作为生态敏感性评价的因子,以期为高寒区生态红线划定提供参考。

致谢:感谢国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn>)和寒区旱区科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)提供的数据支撑,感谢中共甘肃省委党校经济社会发展研究所温煜华老师提供的指导。

参考文献(References):

- [1] 张强,张杰,孙国武,狄潇泓. 祁连山山区空中水汽分布特征研究. 气象学报, 2007, 65(4): 633-643.
- [2] 王玉哲,任贾文,秦大河,秦翔. 利用卫星资料反演区域冰川冰量变化的尝试——以祁连山为例. 冰川冻土, 2013, 35(3): 583-592.
- [3] 孙美平,刘时银,姚晓军,郭万钦,许君利. 近 50 年来祁连山冰川变化——基于中国第一、二次冰川编目数据. 地理学报, 2015, 70(9): 1402-1414.
- [4] 王涛,高峰,王宝,王鹏龙,王勤花,宋华龙,尹常亮. 祁连山生态保护与修复的现状问题与建议. 冰川冻土, 2017, 39(2): 229-234.
- [5] 刘海红,汪有奎,李世霞. 祁连山生物多样性保护现状与发展措施. 中国林业, 2011, (18): 36-36.
- [6] 王根绪,程国栋,沈永平. 近 50 年来河西走廊区域生态环境变化特征与综合防治对策. 自然资源学报, 2002, 17(1): 78-86.
- [7] 杨邦杰,高吉喜,邹长新. 划定生态保护红线的战略意义. 中国发展, 2014, 14(1): 1-4.
- [8] Jackson L E, Bird S L, Matheny R W, O'Neill R V, White D, Boesch K C, Koviach J L. A regional approach to projecting land-use change and resulting ecological vulnerability. Environmental Monitoring and Assessment, 2004, 94(1/3): 231-248.
- [9] Boughton D A, Smith E R, O'Neill R V. Regional vulnerability: a conceptual framework. Ecosystem Health, 1999, 5(4): 312-322.
- [10] 高吉喜. 探索我国生态保护红线划定与监管. 生物多样性, 2015, 23(6): 705-707.
- [11] 林勇,樊景凤,温泉,刘述锡,李滨勇. 生态红线划分的理论和技术. 生态学报, 2016, 36(5): 1244-1252.
- [12] Dudley N. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland: IUCN, 2008.
- [13] Gülez S. A method for evaluating areas for national park status. Environmental Management, 1992, 16(6): 811-818.
- [14] Ostermann O P. The need for management of nature conservation sites designated under Natura 2000. Journal of Applied Ecology, 1998, 35(6): 968-973.
- [15] Kati V, Hovardas T, Dieterich M, Ibisch P L, Mihok B, Selva N. The challenge of implementing the European network of protected areas Natura

2000. Conservation Biology, 2015, 29(1): 260-270.
- [16] Day J C. Zoning—lessons from the great barrier reef marine park. Ocean & Coastal Management, 2002, 45(2/3): 139-156.
- [17] 黎斌, 何建华, 屈赛, 黄俊龙, 李一辉. 基于贝叶斯网络的城市生态红线划定方法. 生态学报, 2018, 38(3): 800-811.
- [18] 丁雨霖, 冯长春, 王利伟. 山地区域土地生态红线划定方法与实证研究——以重庆市涪陵区义和镇为例. 地理科学进展, 2016, 35(7): 851-859.
- [19] 常睿春, 郭科, 王顾希, 何予霄. RS 和 GIS 支持下的县域生态红线划定技术研究——以四川省汶川县为例. 国土资源科技管理, 2016, 33(5): 111-116.
- [20] 马世发, 马梅, 蔡玉梅, 念沛豪. 省级尺度国土空间生态保护红线划定——以湖南省为例. 热带地理, 2015, 35(1): 43-50.
- [21] 许妍, 梁斌, 鲍晨光, 兰冬东, 于春艳, 马明辉. 渤海生态红线划定的指标体系与技术方法研究. 海洋通报, 2013, 32(4): 361-367.
- [22] 冯宇. 呼伦贝尔草原生态红线区划定的方法研究[D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2013.
- [23] 赵连友, 杨广斌, 陈智虎, 杨春燕. 喀斯特地区生态红线划定研究——以正安县为例. 绵阳师范学院学报, 2017, 36(2): 100-110.
- [24] 侯春飞, 韩有志, 李岱青, 张林波, 邓义祥, 王学中, 李芬, 叶有华. 深圳市大鹏新区生态保护红线划定技术方法研究. 环境科学学报, 2016, 36(3): 1106-1112.
- [25] 陈京华, 贾文雄, 赵珍, 张禹舜, 刘亚荣. 1982—2006 年祁连山植被覆盖的时空变化特征研究. 地球科学进展, 2015, 30(7): 834-845.
- [26] 刘亚荣, 贾文雄, 黄玫, 李悦悦, 武正丽, 张禹舜, 李燕飞. 近 51 年来祁连山植被净初级生产力对气候变化的响应. 西北植物学报, 2015, 35(3): 601-607.
- [27] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森, 杨洪学. 祁连山水源涵养林土壤水文特征研究. 林业科学研究, 2006, 19(1): 39-44.
- [28] 王海军, 张勃, 靳晓华, 张华, 柳景峰, 戴声佩. 基于 GIS 的祁连山区气温和降水的时空变化分析. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1196-1202.
- [29] 张文杰, 程维明, 李宝林, 全迟鸣, 赵敏, 王楠. 气候变化下的祁连山地区近 40 年多年冻土分布变化模拟. 地理研究, 2014, 33(7): 1275-1284.
- [30] 曹昀, 陈学林, 刘左军, 赵长青, 李小伟. 甘肃省生物多样性保护与自然保护区建设. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2003, 39(4): 76-79.
- [31] 吴吉春, 盛煜, 李静, 王杰. 疏勒河源区的多年冻土. 地理学报, 2009, 64(5): 571-580.
- [32] 强芳, 张明军, 王圣杰, 刘杨民, 任正果, 朱小凡. 基于格点数据的 1961-2012 年祁连山面雨量特征分析. 地理学报, 2015, 70(7): 1125-1136.
- [33] 刘雪梅, 张明军, 王圣杰, 王杰, 赵培培, 周盼盼. 2008—2014 年祁连山区夏季降水的日变化特征及其影响因素. 地理学报, 2016, 71(5): 754-767.
- [34] 蔡佳亮, 殷毅, 黄艺. 生态功能区划理论研究进展. 生态学报, 2010, 30(11): 3018-3027.
- [35] 樊杰. 中国主体功能区划方案. 地理学报, 2015, 70(2): 186-201.
- [36] 徐建华. 计量地理学(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2014: 234-256.
- [37] 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 22-25.
- [38] 乔青, 高吉喜, 王维, 田美荣, 吕世海. 生态脆弱性综合评价方法与应用. 环境科学研究, 2008, 21(5): 117-123.
- [39] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 万军. 生态文明建设视角下土地利用规划与环境保护规划的空间衔接研究. 经济地理, 2014, 34(5): 1-8.
- [40] 付素静, 王伟, 万宝春. 基于 RS 和 GIS 的河北省生物丰度和植被覆盖度归一化系数研究. 中国环境管理, 2014, 6(2): 27-31.
- [41] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12.
- [42] 王莉雁, 肖斌, 江凌, 欧阳志云. 青藏高原冻融侵蚀敏感性评价与分析. 冰川冻土, 2017, 39(1): 61-69.
- [43] 李东, 魏霞, 李勋贵, 李耀军. 基于 RS 和 GIS 的甘肃省冻融侵蚀敏感性评价. 水土保持研究, 2015, 22(2): 1-6.
- [44] 王转, 沙占江, 马玉军, 胡菊芳, 翟于乐, 马海英. 基于 GIS 的高寒草原区土壤冻融侵蚀强度及空间分布特征. 地球环境学报, 2017, 8(1): 55-64.
- [45] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [46] 王文辉, 马祥庆, 邹显花, 田超, 靳全锋, 郭福涛. 2000—2010 年福建省植被覆盖度的时空演变特征. 水土保持研究, 2017, 24(4): 234-239, 246-246.
- [47] 王金艳, 黄永林, 谭慧明, 蒋新. 利用 ArcGIS 生成水系密度的方法. 地理空间信息, 2010, 8(6): 101-102, 158-158.
- [48] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, Zhang Z X, Deng X Z. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000. Science in China Series D: Earth Sciences, 2003, 46(4): 373-384.
- [49] 李树德, 程国栋. 青藏高原冻土图. 兰州: 甘肃文化出版社, 1996.
- [50] 刘时银, 郭万钦, 许君利, 上官冬辉, 吴立宗, 姚晓军, 赵井东, 刘巧, 蒋宗立, 李萍, 魏俊锋, 鲍伟佳, 余蓬春, 丁良福, 李刚, 盖春梅, 王媛. 中国第二次冰川编目数据集(版本 1.0). 寒区旱区科学数据中心, 2014.
- [51] 李美娟, 陈国宏, 陈衍泰. 综合评价中指标标准化方法研究. 中国管理科学, 2004, 12(S1): 45-48.
- [52] 王奇, 刘蕾. 生态文明视角下多规合一的“合”与“分”. 环境保护, 2016, 44(9): 36-39.
- [53] 王世金, 焦世泰, 牛贺文. 中国冰川旅游资源开发模式与对策研究. 自然资源学报, 2012, 27(8): 1276-1285.
- [54] 李晓翠, 何建华. 生态红线划定的技术方法研究——以鄂州市为例. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(1): 50-55.
- [55] 王洪波, 兰安军. 基于空间分析技术的生态红线划定——以贵安新区为例. 贵州科学, 2016, 34(4): 31-35.
- [56] Wang Y, Gao J X, Zou C X, Xu D L, Wang L X, Jin Y, Wu D, Lin N F, Xu M J. Identifying ecologically valuable and sensitive areas: a case study analysis from China. Journal for Nature Conservation, 2017, 40: 49-63.