

DOI: 10.20103/j.stxb.202210283070

林峰, 信忠保, 彭钟彝. 青藏高原人居环境评估指标、评估框架及其时空变化. 生态学报, 2024, 44(20): 9011-9028.

Lin F, Xin Z B, Peng Z Y. Human settlements on the Qinghai-Tibet Plateau Assessment indicators, assessment framework and spatiotemporal changes. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(20): 9011-9028.

青藏高原人居环境评估指标、评估框架及其时空变化

林 峰^{1,2}, 信忠保^{1,2,*}, 彭钟彝^{1,2}

1 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

2 北京林业大学山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100083

摘要:在气候变化与人类活动加剧的背景下, 青藏高原人居环境的空间格局及变化受到广泛关注。研究从人地关系出发, 提出了青藏高原人居环境质量综合评估的框架。依据可持续发展目标对区域评估“本土化”的时代需求, 基于高原气候特色与人体健康, 构建了青藏高原人居环境质量评估指标体系, 并对 2000—2020 年青藏高原人居环境质量时空变化进行了评估。结果表明: (1) 青藏高原人居环境质量由西向东呈逐渐上升趋势。以阿里地区、羌塘高原为代表的高原腹地, 多是人居环境恶劣的无人区。而在高原东部, 人居环境质量相对于整个青藏高原相对适宜, 尤其是一江两河、河湟谷地以及东南缘峡谷河谷地带。(2) 2000—2020 年, 青藏高原人居环境适宜区面积占比增多, 人居环境质量显著提升。其中非适宜区主要分布在青藏高原中西部, 由 70.54% 下降至 55.37%, 较适宜区及适宜区在青藏高原东缘逐渐扩张, 面积占比从 1.28% 上升至 13.99%。(3) 从子系统的变化贡献性来看, 青藏高原人居环境的改善主要源于人类社会经济发展。其中, 社会经济环境对人居环境改善影响占比较大, 贡献率达到 66.33%, 是高原地区人居环境发展的主要动力, 健康环境 (29.31%) 是重要支撑, 而自然环境变化整体趋于稳定。研究结果可提升青藏高原国土空间规划的科学性, 促进青藏高原人居环境的改善与提升, 支撑青藏高原生态保护与社会经济高质量发展。

关键词: 青藏高原; 人居环境; 评估框架; 指标体系

Human settlements on the Qinghai-Tibet Plateau Assessment indicators, assessment framework and spatiotemporal changes

LIN Feng^{1,2}, XIN Zhongbao^{1,2,*}, PENG Zhongyi^{1,2}

1 College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 National Field Scientific Observation and Research Station of Forest Ecosystem in Jixian County, Shanxi Province, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Under the background of climate change and the intensification of human activities, the spatial pattern and changes of human settlements on the Qinghai-Tibet Plateau have attracted wide attention in the world. Based on the relationship between human and land, this research puts forward the framework of comprehensive assessment of human settlement quality in the Qinghai-Tibet Plateau. According to the Sustainable Development Goals (SDGs), the regional assessment of “localization” needs of The Times, this paper constructs the Tibetan Plateau human settlement quality assessment index system based on the plateau climate characteristics and human health, and evaluates the Qinghai-Tibet Plateau human settlement quality status from 2000 to 2020. The assessment results of this research show that: (1) the quality of human settlements on the Qinghai-Tibet Plateau gradually increased from west to east. The hinterland of the plateau, represented by Ali region and Qiangtang Plateau, is mostly uninhabited areas with poor living environment. In the eastern part of the Plateau, the quality of human settlements is relatively suitable compared with the whole the Qinghai-Tibet

基金项目: 科技部第二次青藏高原综合科学考察研究项目 (2019QZKK0608)

收稿日期: 2022-10-28; **网络出版日期:** 2024-08-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinzhongbao@126.com

Plateau, especially the area of Yarlung Zangbo river and its two tributaries, the Hehuang valley and the southeast margin of the valley. (2) From 2000 to 2020, the proportion of suitable areas for human settlements on the Qinghai-Tibet Plateau has increased, and the quality of human settlements has significantly improved. The non-suitable areas mainly distributed in the central and western part of the Qinghai-Tibet Plateau, decreased from 70.54% to 55.37%. And the suitable area gradually expanded in the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, and the proportion of the area increased from 1.28% to 13.99%. (3) From the perspective of the change contribution of the sub-system, the improvement of the human settlement on the Qinghai-Tibet Plateau is mainly due to the development of human society and economy. Among them, the social and economic environment has a relatively large impact on the improvement of human settlements, accounting for 66.33% of the contribution rate, which is the main driving force for the development of human settlements in plateau areas. The healthy environment (29.31%) is an important support, and the change of natural environment tends to be stable on the whole. The research results can provide reference value for improving the scientific territorial spatial planning of the Qinghai-Tibet Plateau, promoting the improvement and upgrading of the human settlement quality on the Qinghai-Tibet Plateau, and supporting the ecological protection and high-quality social and economic development of the Qinghai-Tibet Plateau.

Key Words: the Qinghai-Tibet Plateau; human settlement; assessment framework; index system

人居环境是人类在生产、生活和发展过程中所依赖的空间及这一空间所包含的全部物质要素和精神条件,是人类赖以生存和发展的天然和人工改造过的各种因素的综合体^[1-2]。20 世纪中叶,希腊建筑规划学家 Doxiadis 首次提出人居环境的概念,创立了人类聚居学,为人类住区实现可持续发展提供了科学依据^[3-4]。20 世纪 90 年代,吴良镛对人类聚居学进行引入,建立了人居环境科学,指出人居环境的核心是“人”,并用系统观念将人居环境从内容上划分为自然、人类、社会、居住、支撑五大系统,科学的规范了人居环境研究框架^[5-6]。随着技术不断发展,3S 技术、卫星网络通讯等技术的运用有力支撑了人居环境数据获取、空间信息系统处理。针对自然禀赋条件,封志明等基于 GIS 建立起了中国人居环境指数模型^[7]。李雪铭等基于社会经济统计数据,构建了人居环境综合评价体系,较早的对中国城市人居环境进行了整体评价^[8]。张文忠等从系统性思维、经济学的规模经济、城市规划关于密度与空间的匹配以及城市宜居性等视角分析了城市体检的理论基础,提出了城市体检评估体系,对城市人居环境状态进行准确把握与治理提供了全面有效的评估技术方法,进一步促进中国人居环境向高质量发展迈进^[9-11]。时至今日,地理学界依靠“格局-过程-机制”的研究主线与地理学独特的方法论,较好的弥补了建筑学之于人居环境科学的视角局限性,促进了人居环境科学在指导区域建设等层面的发展。在科学的评估框架和方法的支撑下,人居环境领域的研究聚焦人地关系,面对不同社会发展阶段,研究气候、环境、人口、经济和生产技术等多要素与人类社会发展的综合关系^[12-13]。针对人居环境中各项要素的核算评估,可综合反映区域内自然、社会和经济的构成现状和发展潜力,对区域规划与政策实施具有指导意义^[14-16]。

我国西南部的青藏高原地势高亢,气候条件复杂,是我国生态安全与国土安全的重要屏障以及众多河流的发源地,同时也是高寒生物自然资源库,有“世界屋脊”、“亚洲水塔”、“世界第三极”之称,是世界上最为独特的地理单元之一^[17-19]。青藏高原是世界上典型的生态脆弱区,又因其独特的地理环境成为对全球气候变化响应最为敏感的地区,冰川萎缩、土壤侵蚀、草地退化等生态问题日益凸显^[20-23]。2018 年第二次青藏高原综合科学考察研究启动,习近平总书记在贺信中强调:“要着力解决青藏高原资源环境承载力、灾害风险、绿色发展途径等方面的问题,让青藏高原各族群众生活更加幸福安康”。建国乃至西藏和平解放以来,青藏高原的人口增长态势明显,人类活动强度逐渐增加,青藏高原的人居环境正因气候变化与人类活动的加剧而不断变化^[24]。科学建设青藏高原人居环境是改善当地居民生产生活条件、提升资源环境承载能力的重要手段,开展人居环境评估可为青藏高原社会经济高质量发展提供基础性支撑^[25-26]。因此在气候变化、信息时代以及生态大保护背景下,系统梳理不同地区人居环境的研究方法,提出针对青藏高原高原特色的人居环境综合评估框架,既可提升青藏高原国土空间规划的科学性,又可促进青藏高原人居环境的改善与提升。本研究回

顾了以往研究对人居环境评估指标的选取,归纳了人居环境评估的主要方法,针对青藏高原提出了人居环境评估框架并进行了初步评估,旨在促进实现青藏高原人与自然和谐共生愿景,支撑青藏高原生态保护与经济社会高质量发展。

1 人居环境指标体系构建

1.1 中外人居环境指标体系发展

科学的人居环境评估是解决人类活动强度与资源环境承载力协调问题的前提,各国根据发展需要设计制定了评估方法^[27]。美国在通过《国家环境政策法案》后,针对城市社区开发了可持续性评估(SA)、社区可持续性评估(NSA)和战略环境评估(SEA)等评估工具^[28]。在英国建筑研究机构环境设计了针对社区建筑宜居性的微观评估方法(BREEAM)^[29]。我国学者吴良镛提出了人类、自然、社会、居住和基础设施五个人居环境系统,为人居环境评估体系的维度划分奠定了理论基础^[5]。封志明等则是针对自然环境这一系统,提出了包含地形起伏度、温湿指数、地被指数以及水文指数四个维度的人居自然环境评估体系被广泛应用^[7]。李雪铭则是综合了除人类系统外的所有系统,提出了包括社会经济、基础设施、居住条件和自然环境在内的人居环境综合评估体系,科学规范了人居环境综合评估方法^[8,30]。而以张文忠等为代表的学者,将传统的城市人居环境评估与问卷调查工作进行了紧密结合,提出了中国城市体检评估理论。其相关研究通过 2019 年北京城市体检大规模居民调查问卷数据,进一步细分人群的对人居环境差异性进行了识别^[9,31]。人居环境指标体系发展至今,在中国大部分地区具有较好的普适性,但青藏高原作为我国西南部独特的大地理单元,其高海拔导致的极端气候和人体健康问题突出,在此开展人居环境评估对指标选取以及赋权需要重新审视。

1.2 SDGs 下的人居环境指标选取

2016 年以来,随着可持续发展目标(SDGs)提出了“可持续的城市与社区”这一理念,如何制定具有可持续发展特征的评价体系已成为人居环境科学的重要研究内容^[32-33]。Ahvenniemi 等比较了 16 种可持续发展评价方法和城市评价框架,指出城市评价框架应优先考虑可持续发展理念,使评估框架具有城市特征,但目前而言城市评估的指标设计碎片化、混乱化、缺乏目标^[34]。多个可持续发展目标当中,人居环境与 SDG11:可持续城市与社区关系最为密切,相关研究较多^[35-36]。Diaz-Sarachage 等为 SDG11 设计了 RESSICOM 社区评级体系,该体系包括社会、经济、环境和治理四个维度,为各国城市实现 SDG11 提供了科学参考^[37]。Guo 等则是进一步考虑了“SDG3:健康与福祉的要求”,将健康要素加入到评价体系中,对自然环境相对恶劣的青海地区进行评价,拓展了人居环境科学与 SDGs 之间的关系^[15]。然而人居环境面向 SDGs 的评估研究仍然面临许多挑战,首先是可持续发展目标指标的代表性数据的标准化、公开性和可获得性差。其次,随着 SDGs 评价的深入,诸多研究提出,不仅限于可持续发展理念,应该更多根据地域特征制定评估体系,进而避免 SDGs 的实现空洞不实、难以达到,即 SDGs“本土化”这一概念^[36,38]。高原地区气候与地貌条件复杂,人类生存和建成区建设压力较大,城镇现代化程度较慢,如何针对高原地区特征设计人居环境评估体系有待进一步研究。

2 人居环境质量评估数据

在构建了人居环境指标体系后,需要科学的数据来源支撑,一般根据指标特征、可获得性去设计指标的数据表征。目前,在国家政策的支持下,国家青藏高原科学数据中心建立,集成发布多个领域高达 6600 余个科学数据集,为我国青藏高原地区人居环境质量评估提供了坚实数据基础。数据来源大体可分为遥感数据、统计资料、监测数据、问卷调查和网络感知五类,并各自具有优缺点(表 1)。

2.1 遥感数据

遥感数据的制作、解析和共享受到政府、科研界的重视,尤其随着信息技术发展,人口密度、交通道路网络等各种专题数据的时空分辨率日益精细化,基础算法准确度也不断提高,为当前开展人居环境质量评估提供了良好的数据基础^[39-41]。由于青藏高原的实地调查与监测难度较大,遥感数据能够充分弥补这种劣势^[12,42]。

表 1 数据类型及其优缺点
Table 1 Data types and their advantages and disadvantages

数据类型 Data type	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
遥感数据 Remote sensing data	来源广泛,精细度高,类型丰富	不同提供者生产的数据各有误差,需使用者判断
统计资料 Statistical data	来源可靠,定期更新	统计口径存在差异,更新频率较低
监测数据 Monitoring data	准确性高,类型丰富	获取难度较大,空间尺度小
问卷调查 Questionnaire	是被调查者主观感受的直接体现	需要大量人力,主观性强,难以覆盖大面积区域
网络感知 Real-time data-aware	更新频率快,数据量庞大	数据噪声高,欠发达地区人群易受到忽视

2.2 统计资料数据

统计资料一般来源于各部门发布的统计类年鉴或公报,是社会经济数据的重要来源^[43-44]。部分数据由于统计工作开展的时间较晚,存在年代较远的数据无法准确获取的问题;也有一部分数据因为统计工作开展所需时间过长以至于无法以一个较高的频率发布;或发生了统计口径的更改,从而导致前后差异较大的情况。需要使用者根据自己研究的需求,对数据进行时间或空间尺度上的匹配^[14-15]。由于统计调查工作在青藏高原地区开展相对困难,当地统计资料的类型和精细度相对较低,使得高原人居环境的综合评估研究进展较为缓慢。因此,从国家层面出发,改善青藏高原地区统计调查工作向乡镇单元进一步细化,能够改善社会经济统计数据精度,从而推动更多科研成果的产出。

2.3 监测数据

随着现代技术的日益发展,环境监测技术的应用十分广泛。在固定地点对环境中特定物质的监测,能够准确快速地获取相应指标的变化情况,并具有简易的预处理和判断功能,依据数据的辐射属性,通过将站点监测数据空间插值到制作的数据当中,该方法在水文资源监测等领域具有广泛运用^[45-46]。监测数据的准确度和记录频率均有较高的水平,但监测数据往往是围绕特定的采样点进行的,因此在面对大空间尺度的研究时,其准确性会受到损失。但不可否认的是,布设监测样点是获取高准确度数据的不二法门,而青藏高原的各类监测站点数量相较于我国其它地区是相对匮乏的,气象、水文站点的辐射范围不足以覆盖整个青藏高原。因此,推进监测站点的建设、监测仪器的布设等工作,能够为青藏高原人居环境质量综合评估提供十分有力的助益。

2.4 问卷调查数据

问卷调查常用于对小空间尺度区域的人居环境满意度评估研究^[10-11]。该方法的特点在于可以精准地掌握被调查者最主观的感受,并且问卷量表能够涉及的范围较全面,各指标收集的尺度也十分一致。但问卷数据的缺点是主观性和局限性较强,调查的范围和样本量也有限,导致问卷数据误差性较大。在科学规范的基础上进行的问卷调查是从个人感受出发揭示人居环境质量的重要手段,具有明确表达真实情况的独特优势。即便青藏高原地区的入户调查具有更高的难度,但已有学者通过小范围的入户调查取得了相应的成果。如 Wang 等基于甘肃省南部部分乡镇的入户调查,明确了社会要素对农户的气候适应策略的影响^[47]。Liu 等对青藏高原西宁—拉萨沿线的入户调查阐明了不同人群对气候舒适度各要素的认知^[48]。大范围的青藏高原地区问卷调查需要比其它地区消耗更多的人物力资源,但亦是完善当地人文数据的重要途径^[49]。

2.5 网络感知数据

大数据、云计算、人工智能、空间技术、物联网等为代表的数字技术被广泛使用,成为科学发现与知识创新的新引擎,改善人类生活水平和生活方式的同时也改变了人类对世界的深层理解。高更新频次、高精度的大数据能够更精确地把控人类行为的特征,揭示社会现象的驱动力因子和驱动机制,为评估研究提供重要的数据支持^[50-52]。通过运营商手机信令数据、公交车刷卡记录、微博等社交平台的热点数据、高德地图等地图导航软件内 POIs 等电商数据,可快速把握到社区功能、人口发展、资源环境和应急安全等情况,是大数据背景下一种相对优越的选择^[53-54]。同时也需要思考的是,由于大数据的形成主要依赖于各类通讯设施与互联网的

普及,但相较于学者更关注的发达城市中心,青藏高原地区在各类设施的普及上稍显薄弱,从而影响了数据的生成与收集^[55]。

3 人居环境评估方法

综合评估是面向具体的目标,围绕研究对象进行综合性的属性测定或衡量,以此来评估对象在某段时间内的状态水平,具有系统性、复杂性特征。人居环境体系容纳了多层次、具规模的维度及其指标,故其中需要大量使用综合评估方法^[56-57]。综合评估的流程一般划分为数据处理、指标赋权和指标聚合三个步骤(图1)。面向同一对象使用不同方法产生的评估结果差异较大,部分技术甚至缺乏机理解释,针对评估方法的优化改进是目前亟待解决的热点议题。

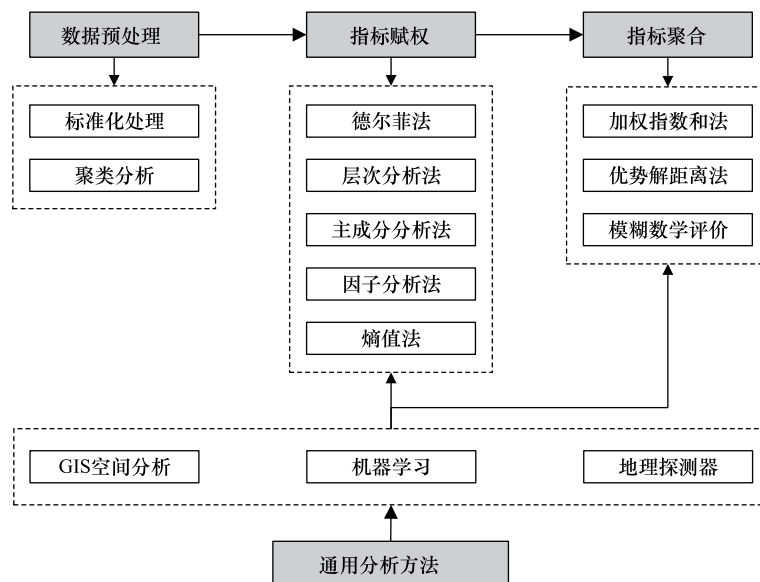


图1 人居环境质量综合评估方法

Fig.1 Integrated assessment method for human living environmental quality

3.1 数据预处理

人居环境质量综合评估可选的数据来源庞杂,所用数据往往存在空间坐标、数据格式等方面的差异。因此需要对各类专题数据根据点、线、面等不同的统计对象,通过地图投影、坐标系统的转换、要素类型的统一,以匹配相应的空间模型,实现统计数据的空间化,进而让各类数据的时空尺度达到一致,以保障统计数据和空间数据的集成与融合^[9,58]。

数据标准化是最为常见的数据预处理方式,其目的在于消除单位和数量级的差异对评估结果的影响,也可在标准化路径中赋予指标正负或适度性含义,使基础数据转换成更适宜进入评估模型的状态^[7,59]。部分研究中也会采用聚类分析方法,将趋势相近的数据进行聚合从而划定指标所属类别,在一定程度上降低指标之间的共线性^[60]。

3.2 指标赋权

指标赋权是综合评估的关键环节,能否准确反映各人居环境指标的重要程度,将直接影响综合评估的最终结果,方法上一般分为主观赋权法和客观赋权法。其中,主观赋权法以德尔菲法、层次分析法为代表,指专家根据实际情况与自身知识确定各个指标权重,优点是不会出现指标权重与实际重要性相悖的情况,但专家经验对评估体系的科学性具有决定性的影响^[53,61]。客观赋权法则以主成分分析法、因子分析法和熵值法为代表,根据数据之间的关系与特征判断指标的重要性^[11,13,15]。此类方法具有较强的数学理论作为支撑,但由

于数学计算融合指标内涵,可能会出现指标权重与实际意义明显不符的情况^[62]。地理信息系统中的地理加权回归算法也得到应用,通过引入人口密度等参考数据,进行空间上的局部回归,使得单一指标的权重在不同地区也不同,让评估结果更符合地域特征^[63-64]。随着研究的深入,也产生了主观与客观赋权相结合的方式,不同学者针对自身研究的特点,权衡方法的优劣,选取更符合研究地区的赋权方法,能够充分发挥赋权方法的优势(表 2)。在实际使用中,需要学者依据所掌握的数据特性以及方法可操作性等方面,选取更适合研究目的的赋权方法。

表 2 指标赋权方法特征
Table 2 Characteristics of indicator assignment methods

赋权方法 Weighting method	适用条件 Application condition	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
德尔菲法 Delphi method	需专家直接进行指标赋权	最大化发挥专家个人的判断能力	完全依靠专家经验而得,主观性过强
层次分析法 Analytic Hierarchy Process	需专家依据判断矩阵进行重要性比较,结果须通过一致性检验	简洁实用,所需定量数据信息较少,将复杂的思维过程数学化	打分具有主观不确定性,过程繁琐
因子分析法 Factor analysis 主成分分析法 Principal component analysis	KMO 值>0.6,且分析项均为合理项时	具有浓缩信息量的功能	无法判断指标的内涵,存在评估结果与实际意义明显不符的情况
熵值法 Entropy method	指标众多,样本量大,且数据中不出现负值或 0 时	仅通过数学变换即可赋权	
地理加权回归 Geographical weighted regression	数据具备空间属性	单个指标权重不在限制于一个数字,每一地区进行局部加权回归,评估结果更具备区域特征	需要有人口密度等对照数据进行计算

KMO 检验:抽样适合性检验,英文全称 Kaiser-Meyer-Olkin 检验;计算 KMO 值是为了看数据是否适合进行因子分析,其取值范围是 0—1;其中 0.9—1 为评价结果极好,0.8—0.9 为较好,0.7—0.8 为尚可,0.5—0.7 为结果一般,而小于 0.5 则为结果糟糕,不适合进行因子分析

3.3 指标聚合

对指标体系内各指标赋权后,需要通过一定的数学方法将指标聚合形成综合评分,获取最终综合评估结果,以便根据研究目标对评估结果进行排序或决策。最为常见的方法是加权指数和法。随着决策学的发展,众多学者在人居环境质量研究中引入了更多新方法,诸如的优势解距离法或模糊综合评价法,以期通过更优的数学准则得到更科学的评估结果^[15,65-66]。

3.4 通用分析方法

在人居环境质量综合评估中,存在许多基础性的通用分析方法。近年来,GIS、地理探测器和机器学习方法因均能在指标赋权和指标聚合步骤中发挥特定功能被广泛使用。基础性分析方法因其功能之强大仍存在许多尚未挖掘出的使用价值,随着信息技术和数学领域的不断发展,更多新方法、新应用也会不断产生。其中 GIS 技术在集成大多数数学分析功能的基础上,强化了空间分析和可视化功能,是地理学研究的基础工具^[54,67]。而地理探测器与机器学习则在近 5—10 年逐渐在该领域崭露头角,具有十分可观的发展前景^[68-69]。其中,能够与大数据、物联网更好结合的机器学习技术,具有很强的信息识别、数据挖掘和预测能力^[53-54]。面向青藏高原这一特殊地理单元,进行实地调研获取当地人群的主观感受的过程较为艰难,而较少的科研观测站点,相对不发达的公共服务设施覆盖,均为综合评估的数据获取形成了障碍。基础性分析方法的运用,能够有效改善这一难题,如采用 GIS 分析软件进行遥感影像的精确解译,或基于地理探测器与机器学习方法,阐明难以实际考察地区的实际情况。

综合评估是一门不断发展的学科,诸如多元统计、模糊数学、决策科学、信息科学等领域的不断发展必然对该学科产生深远的影响。鉴于绝大部分综合评估,并不具有客观上可观测的真值,往往只能从主观感知的角度判断评估是否与实际情况一致。故在青藏高原人居环境综合评估中,通过实地考察、反复比对,以人口密

度和居民反馈为参考,优化评估指标和评估方法,是提升评估结果科学性和准确性的必要手段。

4 青藏高原人居环境评估框架

通过对已有人居环境研究的整合梳理,研究从背景、数据源到评估方法等方面对人居环境质量评估有了充分认识。青藏高原自然环境复杂,地理位置特殊,在此开展人居环境评估对绿色发展与国土开发利用具有重大战略意义。故结合青藏高原环境特点,论证已有评估方法在青藏高原的适用性,进而构建青藏高原人居环境质量综合评估框架(图2),以期更好地阐述高原人居环境质量综合评估的工作框架及未来发展趋势,为开展青藏高原人居环境质量综合评估工作提供切实可行的评估方案。人居环境质量评估包含确定研究背景、

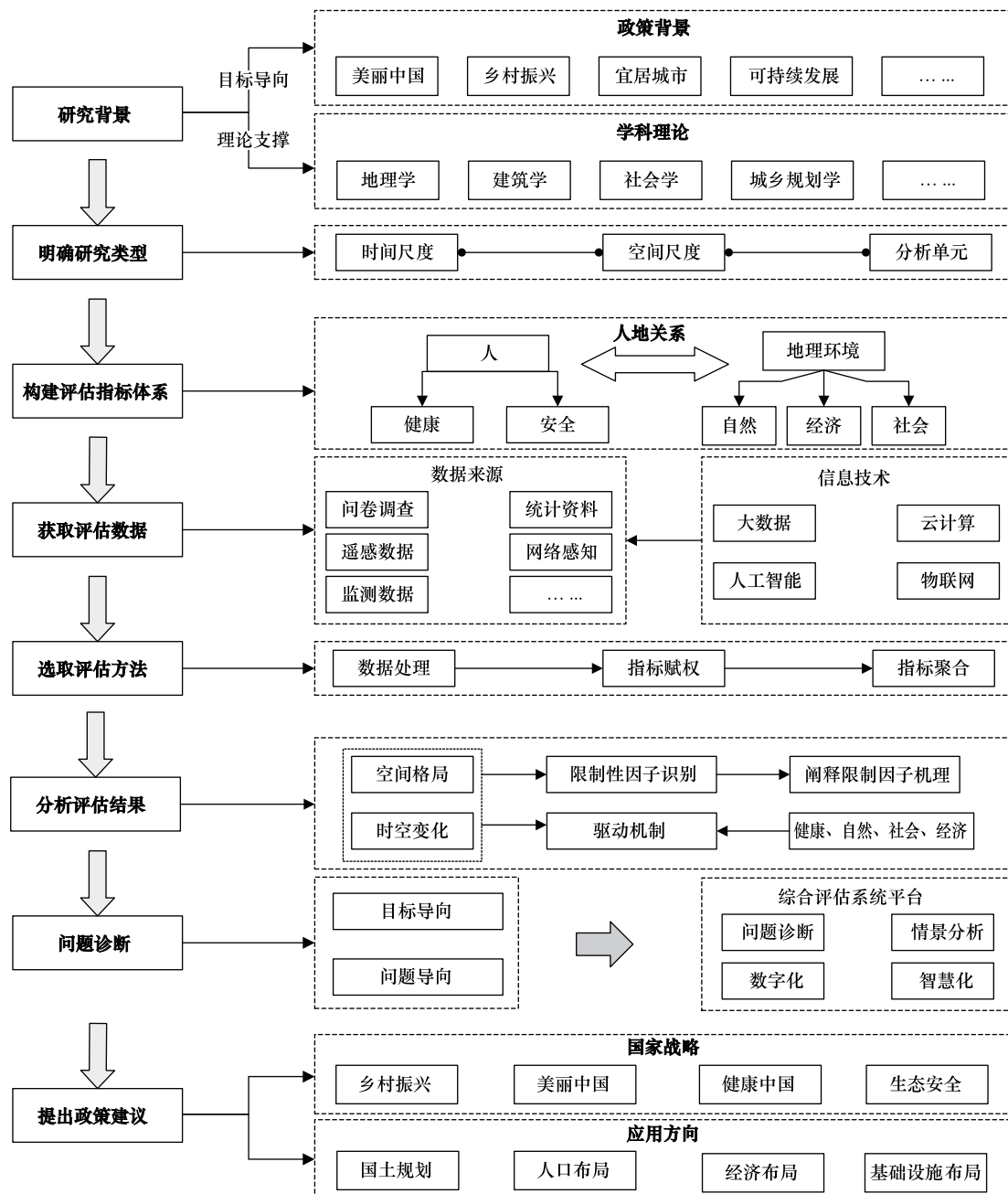


图2 青藏高原人居环境质量评估框架

Fig.2 Assessment framework for Human settlements quality on the Qinghai-Tibet Plateau

明确研究类型、构建评估指标体系、获取评估数据、选取评估方法、分析评估结果、问题诊断和提出政策建议等环节。

4.1 研究背景

确定研究背景能够为人居环境质量评估提供明确的目标导向与理论支撑,面向政策导向的评估工作能够清晰直接地反映政策的需求,提高评估成果的应用性。评估过程中需具备多学科理论支撑,系统综合地理学、建筑学、社会学、规划学等学科的理论知识,以保障评估过程与结果具备深刻的科学性^[2,5,7,70]。

4.2 研究区概况

青藏高原是世界上最高的高原,拥有世界上最独特的自然环境:高海拔、降水稀少、太阳辐射强烈、寒冷缺氧^[19,22-23,71](图3)。同时,青藏高原上生活着藏族、回族、维吾尔族和蒙古族等多个少数民族,是中国少数民族文化最丰富的地区,复杂的地理环境使青藏高原成为世界上最独特的地理单元之一^[18,72]。

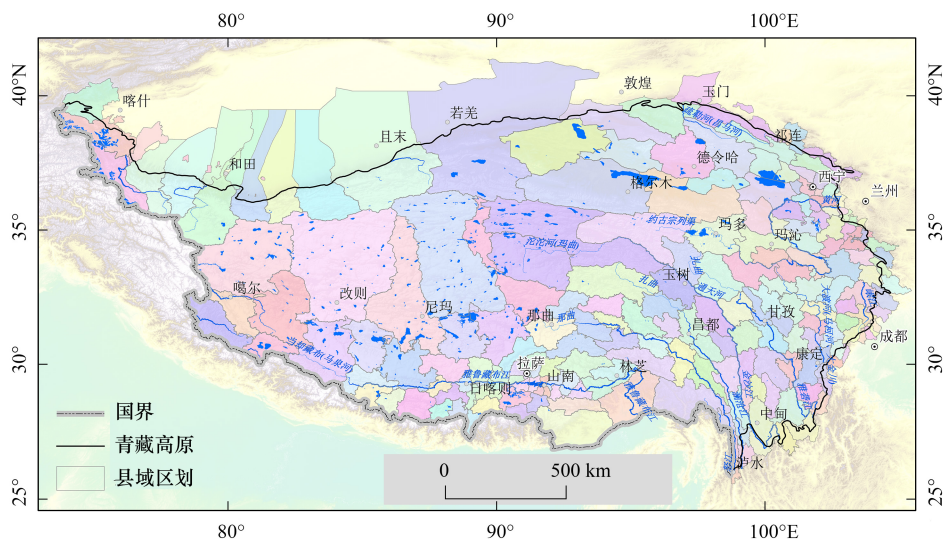


图3 县域单元视角下的青藏高原

Fig.3 The Qinghai-Tibet Plateau in the perspective of county units

本研究将对我国涉及青藏高原的214个县进行人居环境质量的综合评估,包括西藏的76个县、四川西部的47个县、青海的45个县、云南西北部的9个县、甘肃南部的23个县和新疆南部的14个县(图3)。

4.3 研究类型

明确研究类型是综合评估的关键步骤,主要按空间尺度、时间尺度和分析单元划分。其中,空间尺度大到青藏高原全域小至其中各县,根据不同的研究目标选取适宜大小的研究区是保证结果精度的重要环节^[14,73]。评估的时间尺度包括过去、现在和未来,面向不同的时代需求,青藏高原地区所面对的问题也有所差别;分析单元一般包含精细化更高的栅格或应用操作性更强的县域,应针对研究目的选取更合适的分析单元^[74]。

4.4 指标体系

构建评估指标体系是综合评估工作的核心环节,直接影响评估科学性和有效性。从人地关系角度出发,针对青藏高原特殊的地理环境与人文特色,将人类与其生存的地理环境二者有机结合,形成符合青藏高原人居环境特色的指标体系是研究的核心组成部分包括^[2,74]。对于人类本身而言,在高原得到足够的健康安全保障是适应当地环境的重要需求,故构建了预期寿命与医疗卫生资源等关键指标的健康系统^[15,52,75]。而对于地理环境,其所包含的自然禀赋条件以及社会经济发展状况与人类生存活动息息相关,且较于传统的人居环境指标体系,高原地区的地形起伏度、海拔、太阳辐射等自然要素对人居环境具有更显著的影响,专家评分时也赋予了其更高的权重^[14,66]。故以健康、自然、经济和社会四个部分所构建的指标体系,能够较为完善地概

括人居环境的综合特征。

4.5 评估数据

数据是开展评估工作的基础。在获取评估数据时,则需综合考虑数据来源、时空分辨率及获取方法。数据来源一般可划分为调查问卷、统计资料、共享数据与网络感知四类^[10—11,25,51],依据综合评估的数据可获取性原则,选取更加科学准确的评估数据,可为综合评估领域提供更多的机遇。评估方法的选择则直接关系到评估结果的有效性与科学性,目前常见综合评估方法一般可分为数据处理、指标赋权和指标聚合等三个步骤,均存在其优劣,选用不同方式的评估结果差异较大。因此,如何构建适合青藏高原的人居环境质量评估方法模型是一个关键命题。

4.6 结果呈现

评估结果的数量分析、可视化表达和问题诊断,对评估方法进行科学性检验的同时,也为实际应用提供了有效科学支撑。通过对格局演变与影响机理的研究探讨,分析驱动力因子,将有效指明不同区域发展的短板和潜力所在,并为政策建议的提出提供理论依据。人居环境质量综合评估将面向国土规划、人口经济布局 and 基础设施建设等区域发展方向,提出更具实际应用价值的政策建议,为已有政策规划提供充分的科学支持。

总体而言,该综合评估框架系统集成了当前领域内的整体思路、评估流程以及关键技术要点,并以此为基础延伸出一套切实可行的高原人居环境质量综合评估方案,为青藏高原国土资源规划、社会经济发展和生态保护提供参考与依据。

5 青藏高原人居环境初步评估

研究基于提出的人居环境评估框架,通过各方专家论证与建议,构建青藏高原人居环境评估体系,对青藏高原人居环境质量现状进行了初步评估,以摸清 2000—2020 年的青藏高原人居环境质量和时空变化,验证本文提出青藏高原人居环境质量评估框架与指标体系的可行性。

5.1 数据来源与指标体系

通过国内外人居环境研究梳理与多次专家论证会议,本文从健康环境、自然环境、经济环境和社会环境 4 个子系统中累计选取 20 个人居环境评估指标,构建了青藏高原人居环境质量评估指标体系(表 4)。预期寿命通过年龄别死亡率与年龄别人口计算获得。社会统计数据标准化后经过 ArcGIS 软件将数据依据县域编号链接至县单元,栅格数据通过 ArcGIS 软件分区统计均值适配至县单元。针对年份缺失数据,通过相邻年份数据线性插补得到。针对某一县域单元缺失数据,通过 ArcGIS 软件对相邻单元均值计算补齐。数据来源见表 3。通过邀请 15 位具有青藏高原长期研究经历的专家对所选指标进行权重评分(表 4),对青藏高原人居环境质量的现状进行初步评估。

5.2 人居环境评估结果

5.2.1 子系统时空变化

首先针对健康、自然、社会与经济 4 个子系统,分别得出了相应的评分。2000—2020 年,青藏高原自然环境质量相对稳定(图 4)。从空间分布上看,自然环境评估值极差较大(0.10—0.80),在地理分布上的连续性较强,呈现较为显著的从东部边缘向中西部腹地逐步递减的趋势。健康环境发展均衡且稳定,近 20 年保持了羌塘高原、西南腹地较低,青藏高原东缘、北部及一江两河较高的空间格局,系统极差为四个子系统中最小(0.40—0.50),且评估值整体均上升 0.1,基本达到 0.40 以上水平(图 4)。青藏高原社会环境 and 经济环境空间部分格局较为一致,整体上呈青藏高原西部、中部地区较低、东缘地区较高的空间格局,但其中空间异质性明显,评估值相对较高的地区包括青海海西地区、河湟谷地、一江两河地区以及青藏高原东南缘的四川诸县。2000—2020 年社会与经济环境提升幅度较之于自然与健康系统更大,2000 年各区县经济与社会系统评估值处于 0—0.3 居多,而到 2020 年各区县评估值基本上升到了 0.3—0.6,说明近 20 年来青藏高原经济与社会条件发展迅速(图 4)。

表 3 数据来源
Table 3 Data sources

数据 Data	尺度 Scale	年份 Year	数据来源 Resource
生产总值 (GDP) Gross Domestic Product	县	2000—2020	《中国县域统计年鉴》
一般公共预算支出 General public budget expenditure			
一般公共预算收入 General public budget revenue			
年龄别死亡率 Age-specific death-rate	县	2000、2010、2020	第五、六、七次中国人口普查
年龄别人口 Age specific population			
受教育年限 Education years			
医院卫生院床位 Hospital bed			
医疗从业人员 Medical practitioners			
气温 Air temperature	0.1°	2000—2020	https://data.tpdc.ac.cn/home
降水率 Precipitation rate		2000—2020	
太阳辐射 Solar radiation		2000—2020	
植被盖度 Vegetation coverage	1 km	2001—2020	https://modis.gsfc.nasa.gov/
海拔高程 Elevation	90 m	—	http://www.gscloud.cn/
路网 Road network	—	2012—2020	https://www.openhistoricalmap.org/
兴趣点 Point of Interest (POI)	—	2012—2020	https://lbs.amap.com/tools/picker https://opendata.pku.edu.cn/

表 4 青藏高原人居环境质量评估指标体系
Table 4 The Qinghai-Tibet Plateau human settlements quality assessment indicators system

目标层 Target level	准则层 Dimension level	指标层 Index level	单位 Units	属性 Attribute	权重/% Weight
青藏高原人居环境质量 Human settlement quality on the Qinghai-Tibet Plateau	健康环境	预期寿命	岁	+	9.11
		人均医疗从业人员	个/10 ⁴ 人	+	3.33
		人均医院卫生院床位	个/10 ⁴ 人	+	3.33
		医疗保健服务点位密度	个/10 ⁴ 人	+	3.33
	自然环境	海拔	m	—	10.87
		地形起伏度	—	—	6.75
		气温	℃	+	9.99
		降水量	mm	+	7.93
		太阳辐射	W/m ²	—	4.41
		归一化植被指数	/	+	6.17
	经济环境	地均 GDP	ln(元/km ²)	+	8.51
		地均一般公共预算支出	ln(元/km ²)	+	5.29
		地均一般公共预算收入	ln(元/km ²)	+	3.23
	社会环境	受教育年限	a	+	7.35
		路网密度	km/km ²	+	3.82
		餐饮服务点位密度	个/10 ⁴ 人	+	1.06
		民生保障点位密度	个/10 ⁴ 人	+	1.06
		体育休闲点位密度	个/10 ⁴ 人	+	1.06
		科教文化点位密度	个/10 ⁴ 人	+	1.06
		风景名胜点位密度	个/10 ⁴ 人	+	2.35

+表示该指标为正向指标,-表示该指标为负向指标

总体而言,4 个子系统呈现出青藏高原东缘、北部相对较高,青藏高原中部、西南腹地较低的空间分布格局。其中,自然环境指数从西南向东部逐级升高的均匀空间分布(图 4),但值得注意的是,除去自然环境外,其余三个系统的县域分布中异常值较多,尤其是以拉萨为中心的一江两河地区,3 个子系统的水平较于周边地区相对较高(图 4)。这反映出作为青藏高原核心建设区域的一江两河地区的人居环境质量发展迅速,当地社会经济发展与城市现代化建设克服了自然质量相对较低的客观条件,对人居环境具有显著改善效益。

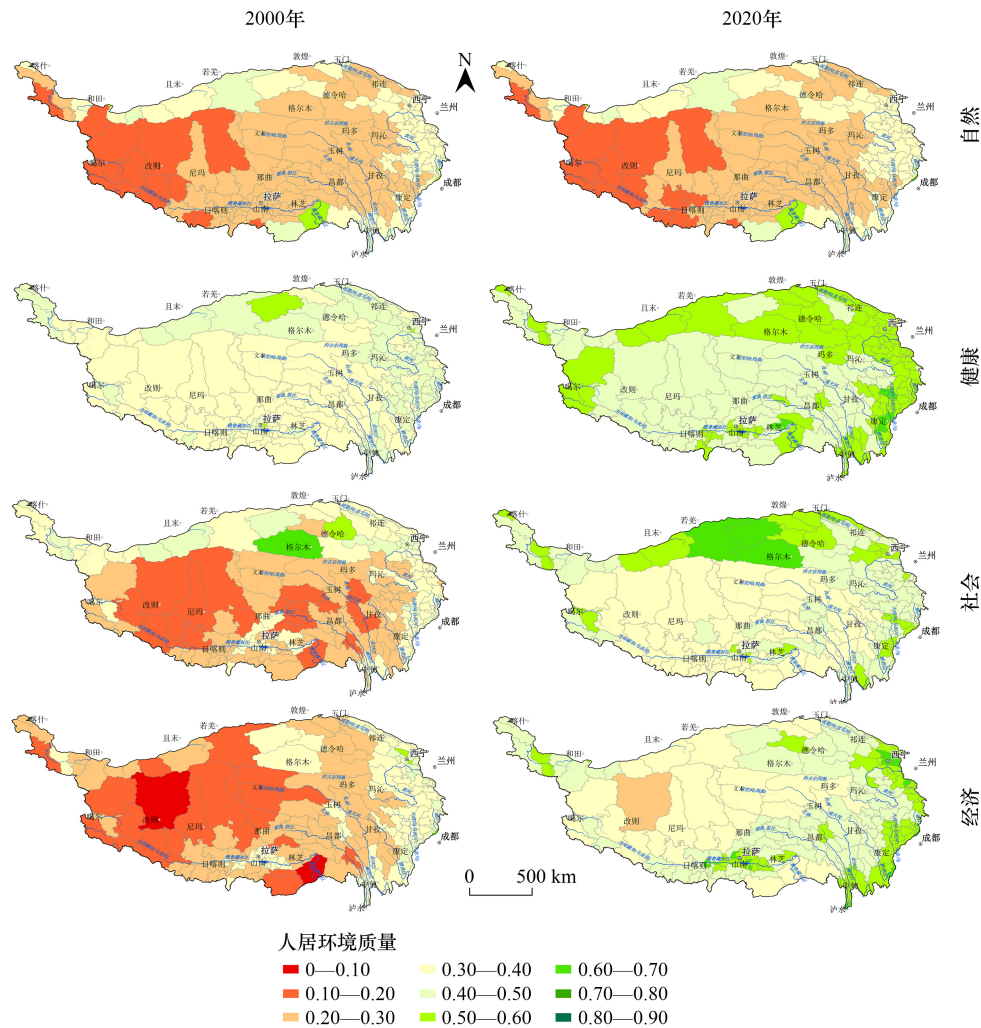


图 4 2000 与 2020 年人居环境各子系统评分空间格局

Fig.4 Spatial patterns of four subsystems of human settlements quality on the Qinghai-Tibet Plateau in 2000 and 2020

5.2.2 人居环境质量时空变化

研究对比了 2000—2010 年与 2010—2020 年人居环境质量的差异,并以后 10 年(2010—2020 年)为基准,将青藏高原人居环境质量划分为适宜区、较适宜区、一般适宜区、不适宜区和极不适宜区 5 个等级,断点分别为 0.50、0.42、0.35 和 0.30(图 5)。根据该标准,2000—2010 年青藏高原昆仑山脉与喜马拉雅山脉所组成的大部分地区人居环境普遍处于极不适宜区,不适宜区包括青海南部、甘肃西北部以及横断山北部,仅有青藏高原外缘的带状地区人居环境水平处于一般适宜区(图 5)。而 2010—2020 年人居环境较于前 10 年,人居环境不适宜区域向西缩减,极不适宜区以阿里地区、羌塘高原以及喜马拉雅山脉西段地区为主,不适宜区主要分布于青藏高原中部腹地地区,一般适宜区呈带状分布于昆仑山脉、喜马拉雅山脉外围地区,青藏高原范围内的甘肃、四川区县全部转变为一般适宜区及适宜区,较适宜与适宜区分布于青藏高原的河湟谷地、东南缘地带以及

林芝墨脱地区(图 5)。从整体上看,青藏高原人居环境格局变化表现为中部地区大范围的不适宜地区地改善以及东南缘核心城市群人居环境的显著提升。

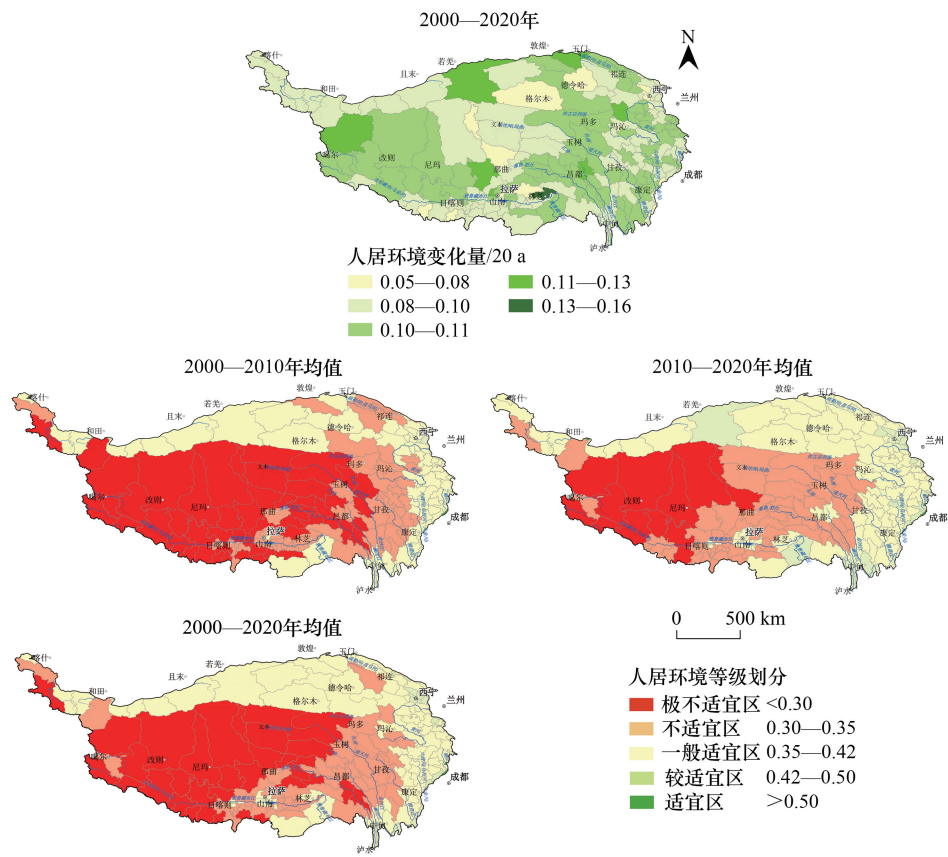


图 5 2000—2020 年青藏高原人居环境质量时空变化

Fig.5 Temporal and spatial changes of human settlements quality on the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2020

从面积变化来看,经过 20 年的发展,青藏高原人居环境极不适宜区面积占比从 49.64%降至 24.68%,同比下降 24.96%,剩余的极不适宜区分布于阿里、羌塘高原以及西藏西南缘的喜马拉雅山脉地区。不适宜区面积占比提升 9.79%,由原本极不适宜区改善而来,主要集中于青海省西南部与喜马拉雅山脉。一般适宜区较为稳定,上升 2.46%,在青藏高原东部、北部形成了环带状的人居环境质量居中的地区。较适宜区及适宜区面积提升 12.71%,集中分布于青藏高原东缘地区(表 5、图 5)。从增长量上看,青藏高原人居环境质量评估值增长量在 0.05 至 0.13 之间,其中 0.06—0.10 增量面积占比较多,该地区面积占比超过 80%(表 5)。总体而言,青藏高原各县域的人居环境质量在 20 年间得到了有效的提升。

表 5 青藏高原人居环境质量分区基本统计信息

Table 5 Basic statistical information of human settlements quality zoning on the Qinghai-Tibet Plateau

	极不适宜/% Highly unsuitable	不适宜/% Unsuitable	一般/% Normal	较适宜/% Suitable	适宜/% High suitable
2000 年	49.64	20.90	28.18	1.23	0.05
2020 年	24.68	30.69	30.64	13.89	0.10
差值 Difference value	-24.96	9.79	2.46	12.66	0.05
上升趋势 Upward trend	0.05—0.06	0.06—0.08	0.08—0.10	0.10—0.12	0.12—0.13
面积占比 Area ratio	7.08	41.58	41.85	9.16	0.33

5.2.3 各子系统对人居环境改善的贡献

2000—2020 年,青藏高原的人居环境质量提升幅度显著,本研究进一步分析了各系统的促进作用。从贡献率上看,经济环境对人居环境变化的促进作用最为明显,健康与社会环境居中,而自然环境作用最小(图 6)。其中自然环境贡献率相对均值为 4.36%,在青藏高原东缘以及西部阿里地区对人居环境贡献性大于 10%,在青藏高原北部、羌塘高原中部以及一江两河地区呈现自然环境评估值变化较为稳定,贡献性并不显著(图 6)。而健康环境贡献率处于 10%—30%之间,社会环境大部处于 20%—40%之间(图 6),甚至在青藏高原腹地社会系统贡献率达到 40%以上,在人口加权后,健康环境贡献率均值达到 29.31%,超过了社会环境的 25.08%,说明健康要素对人居环境的改善集中于人口密度更高的地区,而青藏高原腹地、北部等人口稀少地区对基础设施、生活机构等社会要素提升对人居环境的提升程度更高。经济环境的促进作用则十分显著,平均相对贡献率达到 41.25%,部分地区贡献率一度达到 50%以上,这些高贡献率地区主要分布于海西州、新疆喀什与和田地区以及一江两河地区,多是近二十年来青藏高原的新发展城市(图 6)。总体而言,社会经济对人居环境质量提升贡献 66.33%,占比近 2/3,而健康环境则起到一定辅助作用。

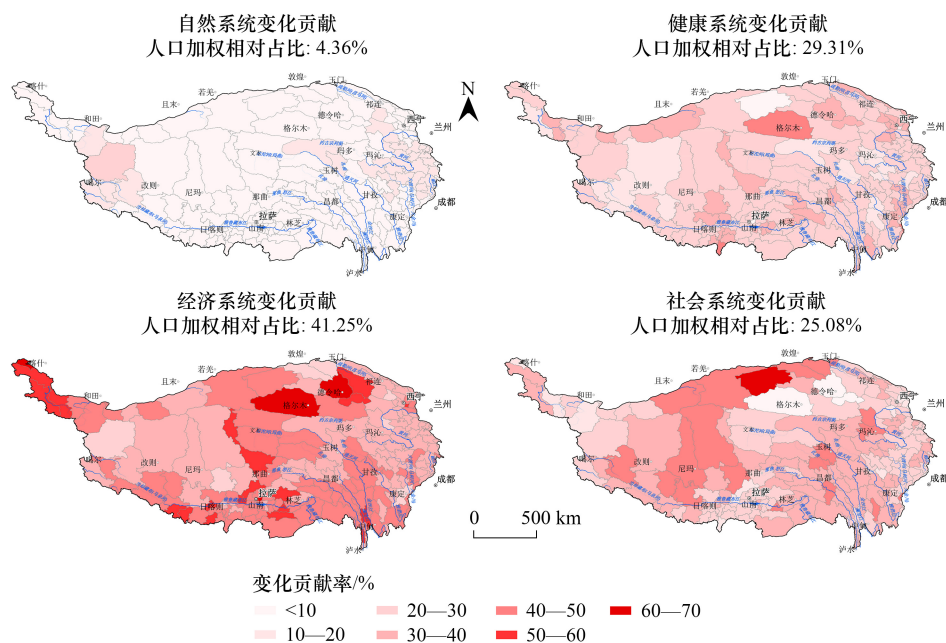


图 6 2000—2020 年青藏高原人居环境子系统贡献率

Fig.6 The sub-system contribution rate of human settlements on the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2020

变化贡献率=子系统变化值/人居环境质量变化值 $\times 100\%$;人口加权均值=($\sum$ 区县人口 $\times$ 区县评分)/总人口

5.3 人居环境时空变化格局分析

5.3.1 人居环境格局分析

自然资源禀赋条件是人类生活生产的基础,是高原人居环境评估体系中权重相对较高的一个系统^[7,74],青藏高原人居环境也基于自然环境的分布规律,遵循了自西南向东部逐步提升的空间格局。青藏高原人居环境较优的地区主要集中青藏高原东缘地区(图 5)。其中分布在青藏高原东南部边缘四川多县域组成了连续成片的适宜区,拥有较多人口居住,气候宜人,有较为完善的交通设施与各类资源,并拥有一定数量与规模的农牧业或工业产业^[76—78]。另外包括海西自治州多区县在内的柴达木地区的经济和社会环境也较为突出(图 5),两个社会经济系统贡献性占比较大(图 6)。该地区的资源开发以及能源产业带动了当地社会经济的高速发展,人均 GDP 甚至超过中国东部一线城市^[79—80]。核心产业的支撑以及现代化的城市建设让海西自治区各县区克服了自然条件本身较差的困境,将当地人居环境提升至适宜区,是高原人居环境建设的典范(图 4;图

5)。人居环境相对处于劣势的区域主要集中在西藏,典型的如措勤县、日土县、仲巴县、革吉县和改则县等(图5)。这些地区往往靠近羌塘高原、阿里地区以及西南边境等无人区,当地高寒缺氧的恶劣自然条件加之欠发达的经济水平,直接导致了当地基础设施建设困难,交通可达性低,基本公共服务缺失等问题突出^[81-82]。该地区的人居环境具有地缘政治敏感、民族文化融合等特殊性质,因此政府或其他部门需要通过多种途径对当地人居环境进行改善,如促进自然资源可持续利用,大力推进基础设施投资与建设,促进本地特色产业发展等。

5.3.2 人居环境变化

通过人居环境变化贡献率结果发现,自然环境系统权重占比较大的情况下(表5),对人居环境本身的变化影响较小。较于社会经济指标的大幅增长,自然系统下属的气候、植被指标数值上变化并不显著,地形地貌指标的变化量甚至可以忽略不计(图6)。青藏高原自然环境指标并非像社会经济一样呈现指数型增长态势,全球气候暖湿化背景下,温度、湿度逐渐增长,但数量级与经济指标相去甚远,另外,人类活动强度增强过程中,光照和植被覆盖的变化对人居环境影响是否只表现为简单的线性影响也需要进一步考量^[18-19,23,83]。

社会环境的贡献率主要保持在20%—50%之间,不仅是核心城市群,阿里地区、羌塘高原等地区的社会环境也有较好的贡献程度(图6),这表明青藏高原社会服务水平的提升趋势保持了较好整体性。而从健康环境上看,其系统贡献性在10%—30%之间,但经过人口加权以后的健康环境整体贡献率达到了29.31%,超过了社会环境的25.08%(图6)。这表明青藏高原健康环境提升与人口分布更加相关,人口密度更高的核心城市群健康环境提升程度更高,但低人口密度地区的健康环境提升则相对缓慢。在社会经济建设的同时,如何实现人口稀疏地区的健康卫生服务高效覆盖,保证这些地区人类活动安全,是青藏高原人居环境要进一步实现高质量发展的建设关键。

经济环境系统的权重尽管只有19.11%(表4),但贡献性整体达到了30%以上,人口加权均值达到41.25%为子系统最高,甚至一江两河地区和柴达木部分地区的经济环境贡献性达到了50%—70%(图6),这表明人居环境改善的核心动力来源于经济发展,尤其是在自然环境较差的地区,人居环境质量能否取得快速发展很大程度上取决于该地区的经济状况。另外,2000—2020年青藏高原经济环境能取得较大幅度的增长,一是源于其经济发展起点较低,青海省人均GDP从0.5万元上升至5.08万元,而西藏自治区人均GDP则是从0.46万元上升至5.23万元^[84-85],经过20年的发展,青藏高原地区的经济环境增长显著。另外,前文提到的海西自治州资源开发促进的能源产业发展,在国家政策的重点扶持下,日渐成为除旅游业、服务业外,带动青藏高原经济发展的一大引擎^[80,86]。但这些经济快速发展地区面临着生态环境发展困境,保持这些青藏高原核心城市经济增速同时实现生态文明持续建设是未来青藏高原科学研究需要关注的重点。

5.3.3 人居环境改善的政策建议

(1) 核心产业转型绿色发展,坚持生态保护工程建设

本研究明确了经济发展对人居环境的促进作用,但经济快速发展对生态环境的影响需要引起充分关注(图6)。自然因素是维持青藏高原人居环境水平的基底,但由于人类活动加剧、气候变化等原因,该地区的生态环境面临着巨大的压力^[18]。青藏高原的生存环境较为特殊,产业结构单一,因此地区特色产业发展需要投入更多的力量去发掘和培育。青藏高原北部的柴达木地区盐、化工等产业发展迅猛,拉动经济高速发展的同时也大幅增加了当地的碳排放总量^[80]。为了实现柴达木资源可持续利用,首先需要优化产业结构,改变产能低的粗放经济增长道路,大力建设资源集约、循环利用的能源开发基地,同步对太阳能、风能等清洁能源进行开发,加快柴达木能源绿色产业建设^[87]。能源产地配套建设生态防护与修复措施,防治当地荒漠化以及碳排放强度。

除了资源开采行业,青藏高原草地广布,传统的农牧业也对草地环境造成了较大的压力。政府部门需要根据地区优势,引导当地农牧民逐步实现从传统农牧业向现代农牧业的转型升级,通过推广高原节水农业、发展高效养殖业以及混合种植业等方式,促进地区生产活力,减少土地承载压力,增加农牧业收入^[88]。针对自

然环境遭破坏、生态风险较大的地区,采用逐步降低生产强度与人口密度,通过生态红线规划、移民搬迁、生态补偿等措施,恢复地区生态平衡。

(2) 不适宜区生态移民搬迁与针对性人居环境提升

生态移民政策是生态文明战略背景下乡村振兴工作的重要内容^[89-90]。青藏高原腹地人类生存环境较恶劣地区(图5),海拔较高、人口密度较少、生态环境脆弱,通过大量投入实现大范围的人居环境提升工作效率低下、不切实际。本研究建议在不适宜区开展居民统一安置,局部性进行人居环境改善工作,提升人居环境提升效益^[91-92]。首先开展整体调研工作,对具有搬迁倾向和定居倾向进行调查。后对具有搬迁倾向的居民,开放高原安置政策,在青藏高原人口密度不高、合适生活生产的适宜地区划定聚居地,修建安置房区,展开一次大规模的生态移民搬迁工作。针对不适宜区的定居意愿强烈的居民,开展不适宜区聚居地规划工作,在原有乡镇统一安置,配套建设道路、医疗机构等基础设施。这类地区普遍处在生态红线范围以内,需要对居民进行生态保护宣传教育,严格控制牧区范围,防止生态环境退化。为解决地区收入与就业,在青藏高原人居环境相对适宜区适度开放、发展生态旅游产业,也能够进一步推动青藏高原交通、旅游以及服务行业整体发展。以提升人居环境质量为抓手,积极探索生态环境高水平保护与区域高质量发展的协同机制与路径,培育高原特色产业,探索生态产品价值实现路径,优化现有生态补偿政策,促进联合国可持续发展目标(SDGs)实现,实现青藏高原高质量发展。

6 结论与展望

本研究对国内外人居环境研究从学科建设到评估框架设计进行了梳理,并基于青藏高原的地理背景,提出了具备高原特色的人居环境评估框架,并基于2000—2020年的县域单元数据以及专家打分法对青藏高原人居环境时空变化进行评估,旨在对青藏高原城乡现代化建设及人口资源规划进行科学指导。研究结论如下:

(1) 本研究结合人居环境科学理论及青藏高原地理背景,提出了青藏高原人居环境评估框架。依据SDGs子目标以及其强调的区域评估“本土化”要求,在青藏高原对人居环境指标体系进行优化并系统再划分。评估框架对遥感、统计、监测、问卷以及网络感知五类数据的优劣进行表征进行了梳理,对青藏高原人居环境评估数据选取及数据处理进行了归纳。最后本文对该评估框架可行性进行了验证并对人居环境评估结果进行了分析及讨论,旨在科学指导青藏高原人居环境建设。

(2) 青藏高原人居环境指标体系基于高原人体健康发展战略,选取预期寿命、人均医疗床位、人均医疗人员以及医疗点位密度4个指标构建健康系统。为突出青藏高原的气候特殊性,在自然系统中加入了辐射、降雨及温度等气候指标,并专家打分赋权,强化了自然要素对青藏高原人居环境影响。创新性地提出了包含自然、健康、经济以及社会四个系统的青藏高原人居环境指标体系。

(3) 人居环境质量评估结果表明,青藏高原人居环境质量整体呈西南缘及高原腹地较低、东缘较高的空间分布格局,包括喜马拉雅山脉、羌塘高原在内地区人居环境质量恶劣,普遍处于极不适宜区,而青藏高原东缘的河湟谷地、横断山区的人居环境质量发展水平较高,较适宜区县数量较多。2000—2020年青藏高原人居环境改善显著,非适宜区域面积占比从49.64%下降至24.68%,同比下降15.17%,较适宜以上区域面积占比从1.28%上升至13.99%,同比上升12.71%。

(4) 青藏高原经历20年发展,经济环境对人居环境提升作用最为明显,人口加权平均贡献率达到41.25%,局部地区贡献率超过70%,经济建设成为人居环境建设的核心引擎,而健康与社会环境各贡献29.31%和25.08%,是提升人居环境质量的重要抓手。为了提升青藏高原人居环境,本研究建议对核心产业进行结构转型和产业升级工作,维护生态环境的同时,促进区域配套基础设施建设以及就业条件改善。另对不适宜区居民开展局部生态移民搬迁工程,实现人居环境提升工作集约化,以提高青藏高原人居环境改善效益。

目前,人居环境质量综合评估的评估框架与方法论等方面需要统一认识,使得人居环境研究工作流程具

有标准化的科学依据。同时人居环境评估研究目前以评估现状为主,迫切开展面向及未来人居环境发展预测的长时间尺度研究,从长时间尺度明晰人居环境的时空格局以及驱动机制,识别人居环境发展相对滞后区并因地制宜地探索人居环境高效提升的主要途径和措施,这对贯彻国家发展战略、提升区域科学发展具有重要意义。针对青藏高原这类大范围独立地理单元的人居环境评估,需充分利用大数据、云计算等现代信息技术去支撑。依托青藏高原人居环境综合评估框架,构建青藏高原人居环境综合评估云平台,整合网络、通信等人居环境相关时空大数据,精细刻画青藏高原人类活动时空动态与驱动机制,克服传统统计数据更新慢、精度低的问题,实现青藏高原人居环境质量的多时空尺度的精细评估,可为青藏高原生态保护与修复、国土空间开发保护以及人居环境改善提供强有力的支撑作用。

参考文献 (References):

- [1] 吴良镛. 关于人居环境科学. 城市发展研究, 1996, 3(1): 1-5, 62.
- [2] 李雪铭, 徐梁, 田深圳, 杨俊, 刘美含, 刘贺. 基于地理尺度的中国人居环境研究进展. 地理科学, 2022, 42(6): 951-962.
- [3] Doxiadis C A.. Ekistics, an introduction to the science of human settlements; by Constantinos A. Doxiadis, 527 pages. 168s. Hutchinsons, London. Futures, 1969, 1(4): 373-374.
- [4] Doxiadis C A. Ekistics, the Science of Human Settlements; Ekistics starts with the premise that human settlements are susceptible of systematic investigation. Science, 1970, 3956(170): 393-404.
- [5] 吴良镛. 人居环境科学导论. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 吴良镛. 人居环境科学的探索. 规划师, 2001, 17(6): 5-8.
- [7] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 张丹. 基于 GIS 的中国人居环境指数模型的建立与应用. 地理学报, 2008, 63(12): 1327-1336.
- [8] 李雪铭, 田深圳. 中国人居环境的地理尺度研究. 地理科学, 2015, 35(12): 1495-1501.
- [9] 张文忠, 何炬, 湛丽. 面向高质量发展的中国城市体检方法体系探讨. 地理科学, 2021, 41(1): 1-12.
- [10] 许婧雪, 张文忠, 湛丽. 杭州城市人口密度对人居环境感知的影响. 地理科学, 2022, 42(2): 208-218.
- [11] 湛东升, 周玄, 周侃, 张文忠, 虞晓芬. 城市人居环境感知对幸福感的影响——基于长三角地区城市体检数据的分析. 地理科学进展, 2023, 42(4): 730-741.
- [12] Lin Y M, Zhu F X, Li W J, Liu X N. Assessment of climate suitability for human settlements in Tibet, China. Journal of Resources and Ecology, 2022, 13(5): 880-887.
- [13] Liao B, Wang Z L, He J, Wu J X, Su J F. The driving mechanisms for human settlement and ecological environment in the upper Minjiang watershed, China. Frontiers in Environmental Science, 2023, 11: 1097801.
- [14] Fang C L, Ma H T, Bao C, Wang Z B, Li G D, Sun S A, Fan Y P. Urban-rural human settlements in China: objective evaluation and subjective well-being. Humanities and Social Sciences Communications, 2022, 9(1): 395.
- [15] Guo Y L, Chen P Y, Zhu Y L, Zhang H. Study on comprehensive evaluation of human settlements quality in Qinghai Province, China. Ecological Indicators, 2023, 154: 110520.
- [16] Wang Y, Zhu Y M. Exploring the effects of rural human settlement on rural development: evidence from Xianju County in Zhejiang Province, China. Environmental Development, 2023, 46: 100845.
- [17] 姚檀栋, 邬光剑, 徐柏青, 王伟财, 高晶, 安宝晟. “亚洲水塔”变化与影响. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1203-1209.
- [18] 傅伯杰, 欧阳志云, 施鹏, 樊杰, 王小丹, 郑华, 赵文武, 吴飞. 青藏高原生态安全屏障状况与保护对策. 中国科学院院刊, 2021, 36(11): 1298-1306.
- [19] 张强, 王港, 赵佳琪, 李田田, 吴文欢, 张恺雯, 冯安兰, 申泽西. 亚洲水塔水循环和水资源研究进展与展望. 科学通报, 2023, 68(36): 4982-4994.
- [20] 崔鹏, 郭晓军, 姜天海, 张国涛, 靳文. “亚洲水塔”变化的灾害效应与减灾对策. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1313-1321.
- [21] 朴世龙, 张宪洲, 汪涛, 梁尔源, 汪诗平, 朱军涛, 牛犇. 青藏高原生态系统对气候变化的响应及其反馈. 科学通报, 2019, 64(27): 2842-2855.
- [22] 杨耀先, 胡泽勇, 路富全, 蔡英, 于海鹏, 郭瑞霞, 付春伟, 樊威伟, 吴笛. 青藏高原近 60 年来气候变化及其环境影响研究进展. 高原气象, 2022, 41(1): 1-10.
- [23] 张倚浩, 阎建忠, 程先. 气候变化与人类活动对青藏高原湿地的影响研究进展. 生态学报, 2023, 43(6): 2180-2193.
- [24] 黄祖宏, 王新贤, 张玮. 青藏高原地区人类发展水平评估及其演变分析. 地理科学, 2021, 41(6): 1088-1095.
- [25] 游珍, 封志明, 杨艳昭, 施慧, 李鹏. 栅格尺度的西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价. 资源科学, 2020, 42(2): 394-406.

- [26] 周侃, 刘汉初, 樊杰, 虞虎. 青藏高原国家公园群区域人类活动环境胁迫强度与空间效应——以三江源地区为例. 生态学报, 2021, 41(1): 268-279.
- [27] Esch T, Heldens W, Hirner A, Keil M, Marconcini M, Roth A, Zeidler J, Dech S, Strano E. Breaking new ground in mapping human settlements from space-The Global Urban Footprint. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017, 134: 30-42.
- [28] Sharifi A, Murayama A. A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools. Environmental Impact Assessment Review, 2013, 38: 73-87.
- [29] Retzlaff R C. Green buildings and building assessment systems. Journal of Planning Literature, 2009, 24(1): 3-21.
- [30] 李雪铭, 晋培育. 中国城市人居环境质量特征与时空差异分析. 地理科学, 2012, 32(5): 521-529.
- [31] 张文忠. 宜居城市建设的核心框架. 地理研究, 2016, 35(2): 205-213.
- [32] 高秀秀, 张晓彤, 何正. 城镇和人类住区议题的演进与实践:SDG11 的形成背景及执行进展. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 144-154.
- [33] 邵超峰, 陈思含, 高俊丽, 贺瑜, 周海林. 基于 SDGs 的中国可持续发展评价指标体系设计. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 1-12.
- [34] Ahvenniemi H, Huovila A, Pinto-Seppä I, Airaksinen M. What are the differences between sustainable and smart cities? Cities, 2017, 60: 234-245.
- [35] 陈佑淋, 余珮珩, 李志刚, 王静, 陈奕云. 基于 SDG11 的城市绿地环境公平测度——以武汉市中心城区为例. 地理与地理信息科学, 2021, 37(4): 81-89.
- [36] Kushwaha N, Nangia C, Adhvaryu B. Achieving localization of SDG11: A critical review of South Asian region and learnings for India. International Review for Spatial Planning and Sustainable Development, 2023, 11(3): 102-115.
- [37] Diaz-Sarachaga J M, Jato-Espino D. Development and application of a new Resilient, Sustainable, Safe and Inclusive Community Rating System (RESSICOM). Journal of Cleaner Production, 2019, 207: 971-979.
- [38] Sachs J D, Schmidt-Traub G, Mazzucato M, Messner D, Nakicenovic N, Rockström J. Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. Nature Sustainability, 2019, 2(9): 805-814.
- [39] 许珺, 徐阳, 胡蕾, 王振波. 基于位置大数据的青藏高原人类活动时空模式. 地理学报, 2020, 75(7): 1406-1417.
- [40] Esch T, Brzoska E, Dech S, Leutner B, Palacios-Lopez D, Metz-Marconcini A, Marconcini M, Roth A, Zeidler J. World Settlement Footprint 3D-A first three-dimensional survey of the global building stock. Remote Sensing of Environment, 2022, 270: 112877.
- [41] Schiavina M, Melchiorri M, Freire S, Florio P, Ehrlich D, Tommasi P, Pesaresi M, Kemper T. Land use efficiency of functional urban areas: global pattern and evolution of development trajectories. Habitat International, 2022, 123: None.
- [42] Lin Y M, Li P, Feng Z M, Yang Y Z, You Z, Zhu F X. Climate suitability assessment of human settlements for regions along the Belt and Road. Chinese Geographical Science, 2021, 31(6): 996-1010.
- [43] 吴英迪, 蒙古军. 中国自然资源生态服务重要性评价与空间格局分析. 自然资源学报, 2022, 37(1): 17-33.
- [44] 古丽巴哈尔·阿不里孜. 新疆喀什地区地下水水资源承载能力综合评价. 地下水, 2023, 45(3): 40-41, 66.
- [45] 侯光良, 许长军, 李晓勤, 戚宝正. 河湟谷地水源涵养功能空间格局研究. 生态科学, 2021, 40(4): 169-176.
- [46] 张昌顺, 范娜, 刘春兰, 谢高地. 1990—2018 年中国生态系统水源涵养功能时空格局与演变. 生态学报, 2023, 43(13): 5536-5545.
- [47] Wang W J, Zhao X Y, Li H, Zhang Q. Will social capital affect farmers' choices of climate change adaptation strategies? Evidences from rural households in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. Journal of Rural Studies, 2021, 83: 127-137.
- [48] Liu J H, Xin Z B, Huang Y Z, Yu J. Climate suitability assessment on the Qinghai-Tibet Plateau. The Science of the Total Environment, 2022, 816: 151653.
- [49] Liu X X, Zhao W W, Liu Y X, Hua T, Hu X P, Cherubini F. Contributions of ecological programs to sustainable development goals in Linzhi, over the Tibetan Plateau: a mental map perspective. Ecological Engineering, 2022, 176: 106532.
- [50] 甄峰, 秦萧, 王波. 大数据时代的人文地理研究与应用实践. 人文地理, 2014, 29(3): 1-6.
- [51] 贺宏斌, 丁浩洪, 孙然好, 李佳蕾, 段兴武. 基于社会感知的城市功能区人居环境愉悦度时空分析. 生态学报, 2023, 43(6): 2298-2309.
- [52] 龙瀛. 基于城市大数据的健康人居环境研究. 西部人居环境学刊, 2023, 38(2): 4.
- [53] 黄昕, 刘隼. 面向中国主要城市的 101630 个社区的宜居性评估: 从遥感的视角. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(7): 1283-1298.
- [54] 薛冰, 赵冰玉, 李京忠. 地理大数据中 POI 数据质量的评估与提升方法. 地理学报, 2023, 78(5): 1290-1303.
- [55] Xu J, Hu L. Geospatial semantics analysis of the qinghai-tibetan plateau based on microblog short texts. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(10): 682.
- [56] 彭张林, 张强, 杨善林. 综合评价理论与方法研究综述. 中国管理科学, 2015, 23(S1): 245-256.
- [57] 田深圳, 杨兵, 李雪铭, 杨俊, 刘章力. 从分科知识到交叉融通的国内外人居环境综述与展望. 世界地理研究, 2023, 32(7): 134-147.
- [58] 彭坤杰, 许春晓, 贺小荣. 长三角地区城市人居环境韧性水平演化特征. 经济地理, 2023, 43(6): 74-84.

- [59] 封志明, 游珍, 杨艳昭, 施慧. 基于三维四面体模型的西藏资源环境承载力综合评价. 地理学报, 2021, 76(3): 645-662.
- [60] 许长军, 金孙梅, 王英. 基于 GIS 的青藏高原人居环境自然适宜性评价. 生态科学, 2020, 39(6): 93-103.
- [61] 张维琛, 张国军, 魏小燕, 马文涛, 程金花. 宁夏固原市水土流失风险与人居环境自然适宜性的耦合关系. 水土保持通报, 2023, 43(5): 252-261.
- [62] 唐宁, 王成. 重庆县域乡村人居环境综合评价及其空间分异. 水土保持研究, 2018, 25(2): 315-321.
- [63] 彭鹏, 顾丹丹, 周国华. 湖南省乡村人居环境脆弱性格局变化及响应指数的影响机制. 经济地理, 2022, 42(6): 168-178.
- [64] 关莹莹, 李雪铭, 杨俊, 李松波, 田深圳. 基于地理加权回归模型的辽宁省城市人居环境综合适宜性评价. 地理科学, 2022, 42(12): 2097-2108.
- [65] 么泽恩, 蔡海生, 张学玲, 曾珩, 邵晖. 基于 CRITIC-TOPSIS 模型的浮梁县土地生态安全时空分异及其障碍因素分析. 长江流域资源与环境, 2021, 30(10): 2452-2463.
- [66] 徐燕青. 基于 WELL 社区标准的乡村社区人居环境健康化评价体系构建研究——以扬州四庄村为例. 华中建筑, 2023, 41(9): 168-173.
- [67] Li L H, Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F, Zhang H M, Li S C, Ding M J. Mapping changing population distribution on the qinghai-tibet plateau since 2000 with multi-temporal remote sensing and point-of-interest data. Remote Sensing, 2020, 12(24): 4059.
- [68] 张文忠. 中国城市体检评估的理论基础和方法. 地理科学, 2021, 41(10): 1687-1696.
- [69] 湛东升, 张文忠, 余建辉, 党云晓, 李小云. 问卷调查方法在中国人文地理学研究的应用. 地理学报, 2016, 71(6): 899-913.
- [70] 张文忠, 许婧雪, 马仁锋, 马诗萍. 中国城市高质量发展内涵、现状及发展导向——基于居民调查视角. 城市规划, 2019, 43(11): 13-19.
- [71] 姚檀栋. 青藏高原水-生态-人类活动考察研究揭示“亚洲水塔”的失衡及其各种潜在风险. 科学通报, 2019, 64(27): 2761-2762.
- [72] 李月皓, 王晓峰, 楚冰洋, 牛泽鹏, 符鑫鑫, 延雨. 青藏高原生态屏障生态系统时空演变及驱动机制. 生态学报, 2022, 42(21): 8581-8593.
- [73] 王艳飞, 李婷婷, 孟祥涛. 2010—2020 年中国乡村人居环境质量评价及其演变特征. 地理研究, 2022, 41(12): 3245-3258.
- [74] 庞瑞秋, 胡宁, 魏冶. 基于多源数据的新疆人居环境质量评价. 地理科学, 2021, 41(12): 2127-2137.
- [75] 戴自祝. 要健康必须有一个健康的人居环境. 中华环境, 2021(11): 75-77.
- [76] 向珈瑶, 彭文甫, 陶帅, 银盈, 刘华山. 2000—2019 年四川省植被恢复成效与影响因素. 生态学报, 2023, 43(4): 1596-1609.
- [77] 郝嘉元, 智烈慧, 李晓文, 董世魁, 李巍. 青藏高原土地利用格局和生态系统服务的时空演变特征及关系. 应用生态学报, 2023, 34(11): 3053-3063.
- [78] 吴雪, 刘峰贵, 刘林山, 刘飞, 才项措毛. 青藏高原牲畜数量变化及其空间特征. 生态科学, 2021, 40(6): 38-47.
- [79] 张宇, 曹卫东, 梁双波, 李影影. 西部欠发达区人口城镇化与产业城镇化演化进程对比研究——以青海省为例. 经济地理, 2017, 37(2): 61-67.
- [80] 张雨露, 丁生喜. 柴达木盆地经济增长与区域碳排放的关系分析. 生态经济, 2020, 36(8): 35-40, 48.
- [81] Zhang H P, Liu H C, Sun Y, He R W. Spatial differentiation characteristics of human settlements and their responses to natural and socioeconomic conditions in the marginal zone of an uninhabited area, Changtang Plateau, China. Chinese Geographical Science, 2022, 32(3): 506-520.
- [82] 廖冶寅. 西藏边境县域经济发展研究[D]: 拉萨: 西藏大学, 2023.
- [83] Kraaijenbrink P D A, Stigter E E, Yao T D, Immerzeel W W. Climate change decisive for Asia's snow meltwater supply. Nature Climate Change, 2021, 11: 591-597.
- [84] 狄方耀, 赵丽红. 推动西藏经济高质量发展的机遇与路径——学习中央第七次西藏工作座谈会精神. 西藏民族大学学报: 哲学社会科学版, 2020, 41(6): 37-43.
- [85] 吴瑞君. 从“五普”到“七普”: 中国人口分布与经济增长的时空耦合和区域均衡发展. 华东师范大学学报: 哲学社会科学版, 2021, 53(5): 174-183, 240-241.
- [86] 方创琳, 余丹林. 区域可持续发展 SD 规划模型的试验优控——以干旱区柴达木盆地为例. 生态学报, 1999, 19(6): 767-774.
- [87] 侯献华, 樊馥, 郑绵平, 宋彭生. 青海盐湖钾盐资源开发利用及产业发展. 科技导报, 2017, 35(12): 67-71.
- [88] 杨阿维, 贾利乐. 基于乡村振兴视阈下的西藏农业现代化实证研究. 西藏大学学报: 社会科学版, 2019, 34(4): 147-154.
- [89] 刘洋, 王娅, 杨国靖, 周立华. 祁连山北麓生态移民工程问题分析与政策建议. 中国沙漠, 2023, 43(1): 37-47.
- [90] 何思源, 王博杰, 王国萍, 魏钰. 自然保护区社区生计转型与产业发展. 生态学报, 2021, 41(23): 9207-9215.
- [91] 李振男, 潘影, 武俊喜, 张燕杰, 赵忠旭, 余成群. 西藏生态移民安置村人类活动强度变化. 资源科学, 2021, 43(11): 2356-2368.
- [92] 张伟, 周亮, 孙东琪, 胡凤宁. 干旱区生态移民空间迁移特征与生态影响——以甘肃省古浪县为例. 干旱区地理, 2022, 45(2): 618-627.