

近三十年我国生态脆弱区研究热点与展望

鄢继尧^{1,2}, 赵媛^{1,2,3}

(1.南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210023)

(2.江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,江苏 南京 210023)

(3.南京师范大学金陵女子学院,江苏 南京 210097)

[摘要] 生态脆弱区不仅是中国重要的生态屏障,更是脱贫攻坚、全面建成小康社会的重要区域。以中国知网期刊全文数据库(CNKI)为数据源,采用 CiteSpace V 可视化对 1989 年以来我国生态脆弱区研究状况进行分析。结果显示,近三十年生态脆弱区研究逐渐成为学术热点,形成缓慢增长、迅速发展和成熟发展 3 个阶段;以实证研究为主,理论研究相对较少,近年来有理论探讨和综合化研究增多的趋势;研究区域以北方和西部地区为主,内蒙古、陕西、甘肃、贵州、云南是实证研究的主要区域;研究方法注重多学科融合,使用遥感影像数据和 GIS 工具进行研究的文献越来越多。通过生态脆弱区研究关键词共现图谱,结合文献阅读,提取出生态脆弱区研究的 5 大热点,并对土地利用/覆被变化、气候变化及其影响、生态脆弱性评价、人地关系与可持续发展、生态修复 5 大热点的具体研究内容、方法及逻辑框架等进行阐述。最后从完善评价指标与模型、拓宽研究时空尺度、关注人为因素的影响、关注农户生计、探究生态修复的最佳方式等方面提出展望,以期对生态脆弱区研究的进一步深入提供参考借鉴。

[关键词] 生态脆弱区,研究热点,展望,Citespace 分析,中国

[中图分类号] F062.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2020)04-0074-12

Research Hotspot and Prospect of Ecologically Vulnerable Area in China in the Past Three Decades

Yan Jiyao^{1,2}, Zhao Yuan^{1,2,3}

(1.School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2.Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

(3.Jinlin College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Ecologically vulnerable area is not only an important ecological barrier in China, but also an important area to overcome poverty and build a moderately prosperous society in all respects. Therefore, based on the database of China Knowledge Network (CNKI), this study analyzes the research status of ecologically vulnerable area in China since 1989 from the point of view of bibliometrics by using Citespace information visualization software. The results show that, in the past three decades, the study of ecologically vulnerable area has gradually become a hot topic in academic circles, and formed three stages of slow growth, rapid development and mature development. Empirical research is the main part, theoretical research is relatively less, and there is a trend of increasing theoretical research and comprehensive research in recent years. The research area is mainly in the western and northern regions, and Inner Mongolia, Shaanxi, Gansu, Guizhou and Yunnan are the main areas of empirical research. Research methods focus on multi-disciplinary integration, more and more literatures use remote sensing image data and GIS tools for research. Through the cluster knowledge map of ecologically vulnerable area in China based on keywords, combined with literature reading, five hotspots in the study of ecologically vulnerable area are extracted. Including land use and land cover change, climate change and its effects, ecological vulnerability assessment, man-land relationship and sustainable development, ecological restoration. Finally, in order to provide reference for the future research, this study puts forward five prospects. Including improve the evaluation index and model, broaden the space-time scale of research, pay attention to the influence of human factors, pay attention to the livelihood of farmers, explore the best way of ecological remediation.

Key words: ecologically vulnerable area, research hotspot, prospect, CiteSpace analysis, China

收稿日期:2020-06-24.

基金项目:国家自然科学基金项目(41971248).

通讯作者:赵媛,博士,教授,博士生导师,研究方向:区域经济与可持续发展研究. E-mail:njnuzhaoyuan@163.com

生态脆弱区往往是两种不同类型生态系统的交界过渡区域,其系统抗干扰能力弱、对气候变化敏感、时空波动性强、边缘效应显著、环境异质性高,易于发生生态退化且难以自我恢复^[1]。中国整体生态环境脆弱,是世界上生态脆弱区分布面积最大、脆弱生态类型最多的国家之一,且主要位于经济相对落后、人民生活贫困的地区^[1-2]。生态脆弱区不仅是我国重要的生态屏障,更是打赢脱贫攻坚战的重要区域,是中国全面建成小康社会、建设美丽中国的重要保障。生态脆弱区已成为目前学界研究的热点区域。

有关生态脆弱区的研究可以追溯到1905年,美国生态学家 Clements 将生态过渡带的概念引入生态学研究^[3]。20世纪60年代以来,国际生物学计划(IBP)、人与生物圈计划(MAB)以及地圈-生物圈计划(IGBP)逐步把生态脆弱区提到了研究议程。1989年在布达佩斯召开的第七届环境科学委员会大会上确认了 Ecotone(生态过渡带)的概念^[4],同年1月中科院在北京召开全球变化预研究学术报告会,国际地圈——生物圈计划中国委员会也在同年8月召开了第一次委员会会议,呼吁加强对生态脆弱区的研究,拉开了我国大规模研究生态脆弱区的大幕^[5]。1989—1998年间相关研究比较广泛,以理论初探和对策建议等定性研究为主;1999年以来研究朝着多元化方向发展,生态学、地理学、经济学、工程技术学、社会学等多学科、多领域专家学者就生态脆弱区相关问题进行了广泛探讨,研究论文数量快速上升,研究的区域范围不断细化,定量研究占比也越来越高,卓有成效地推动了我国生态脆弱区研究的发展。

为了准确把握中国生态脆弱区研究的热点和趋势,本文以中国知网期刊全文数据库(CNKI)为数据源,采用文献计量分析法和 CiteSpace V可视化,对1989年以来我国生态脆弱区研究文献进行定量分析,在关键词共现的基础上归纳出5个研究热点,并从不同视角对各热点进行深入分析和探讨,总结出我国生态脆弱区研究热点的逻辑框架,并提出未来的展望,为进一步深入开展生态脆弱区研究、寻找后续研究的突破口提供参考借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

以中国知网期刊全文数据库(CNKI)为数据源,考虑到我国大多生态脆弱区位于生态交错区,因此以“主题 OR 关键词 OR 篇名 OR 摘要=生态脆弱区 OR 生态脆弱带 OR 生态交错区 OR 生态交错带”为检索条件,检索时段为1989—2018年,期刊类别为核心期刊及 CSSCI/CSCD 来源期刊。共检索到文献1 095篇,剔除与研究主题不相关的文献等,最终得到1 026篇文献样本。

1.2 研究方法

以 CiteSpace 作为可视化分析工具。CiteSpace 是在数据和信息可视化背景下兴起的分析软件,可用来呈现文献的结构、规律及分布特征,能够很好揭示特定知识领域的研究热点及发展趋势^[6]。具体操作过程中,使用 Citespace V 对生态脆弱区相关研究文献的关键词进行分析,设置时间跨度为1989—2018年,时间切片 Slice=1,节点类型为 Keywords,词频为前50的文献,生成关键词共现图谱。由于在部分文献题目、关键词中无法获取到具体研究区域,因此通过阅读摘要和全文提取文献的具体研究区域后用 Excel 进行统计。

2 发文数量、研究热点及区域提取

2.1 发文数量变化

1989—2018年我国有关生态脆弱区研究日益受到关注,发文数量呈上升态势(图1)。具体来看,以1998年、2013年为界分为3个发展阶段。1989—1998年缓慢增长阶段,研究论文数量较少,以理论初探和对策建议等定性研究为主;1999—2013年迅速发展阶段,研究论文的总量及定量研究论文占比均大幅度增长,其中2004—2005年文献数量增幅最大,达80%,这与2005年3月12日中央召开人口资源环境工作座谈会,首次提出“生态文明”建设密切相关;2014—2018年成熟发展阶段,党的十八大以来国家提出“美丽中国”、将生态文明列入“五位一体”总体布局等政策,“绿水青山就是金山银山”的两山论更加深入人心,学界更加关注生态脆弱区的研究,并在定量研究的基础上加以反思和总结,出现理论探讨和综合化研究增多的趋势。显示我国有关生态脆弱区研究日益受到广泛关注。

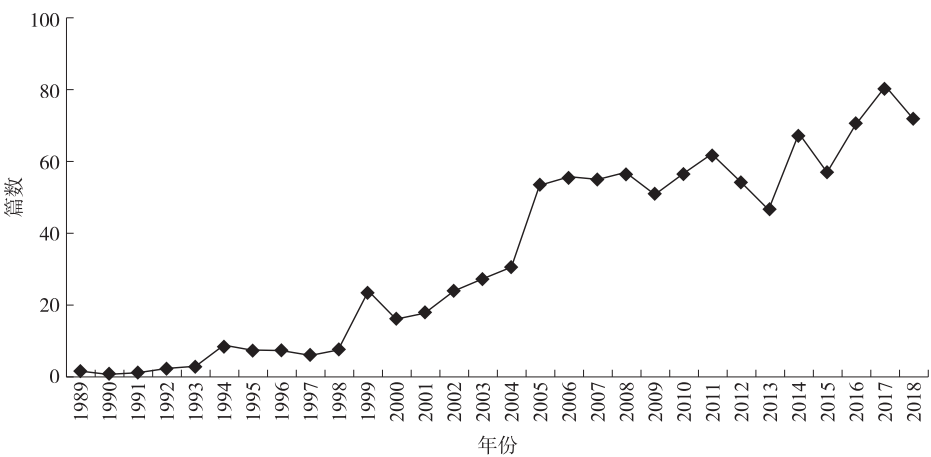


图 1 近三十年我国生态脆弱区研究发文量

Fig. 1 The number of published papers on ecologically vulnerable area in china in the past three decades

2.2 研究热点提取

通过 Citespace V 得到生态脆弱区研究的关键词共现图谱,高频关键词有生态脆弱区、生态环境、土地利用、可持续发展、气候变化、遥感、农牧交错区、景观格局、生态安全、喀斯特、生态脆弱性、农户、三峡库区、黄土高原、土地利用变化、生态修复、榆林市等(图 2). 可以看出,近三十年中国生态脆弱区研究涉及的主题较广,涵盖多学科领域,具有较强的综合性. 进一步结合文献阅读,提取生态脆弱区研究热点,包括土地利用/覆被变化、气候变化及其影响、生态脆弱性评价、人地关系与可持续发展、生态保护与修复等 5 个方面.

2.3 实证研究主要区域

研究关键词共现图谱显示(图 2),研究热点区域为农牧交错带、喀斯特地区、三峡库区、黄土高原等. 近三十年学者们对生态脆弱区的实证研究区域不断扩大,从偏向于北方农牧交错带、西南喀斯特地区逐渐趋于多元,对三峡库区、黄土高原等的研究也越来越多. 进一步通过阅读文献,以省级行政区为单元提取实证研究区域,结果显示:研究最多的区域为内蒙古,文章篇数达 98 篇,以磴口县和翁牛特旗为主要代表;陕西省以 73 篇文章排在第二位,榆林市及所属区县是研究的热点;对甘肃省的研究文章有 67 篇,其中选择甘南藏族自治州为研究区域的有 17 篇;对贵州、云南研究也较多,均为 50 篇;对新疆、四川、宁夏生态脆弱区的研究论文也都超过了 30 篇. 此外学者们还对河北、山西、广西、吉林、重庆、青海、黑龙江等地的生态脆弱区进行了实证研究(图 3).



图 2 生态脆弱区研究关键词共现图谱

Fig. 2 Cluster knowledge map of ecologically vulnerable area in china based on keywords

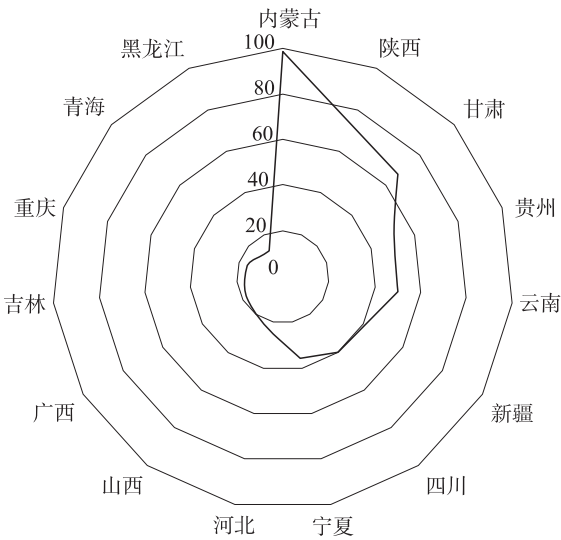


图 3 实证研究区域分布

Fig. 3 Regional distribution of empirical research

3 主要研究热点分析

3.1 土地利用/覆被变化

土地利用/覆被变化(LAND USE AND LAnd cover change, LUCC)是表征人类活动对地球表层自然生态系统影响的直接信号^[7]. 生态脆弱区土地利用变化敏感,全球环境响应比较突出,研究生态脆弱区的LUCC对区域可持续发展具有重要意义. 近三十年学者们对我国各生态脆弱区的LUCC进行了深入研究,研究内容包括变化格局与过程、驱动力及驱动机制、环境效应以及土地可持续利用评价等.

对LUCC格局与过程的研究是深入研究其驱动力和环境效应的前提与基础,因此研究开展较早^[8]. 21世纪以来,随着3S技术的快速发展,LUCC格局与过程分析由静态的、定性分析转为动态的、定量分析^[9],学者们利用MODIS、SPOT、Landsat等传感器的时序遥感影像作为数据源,GIS作为工具,通过建立LUCC转移矩阵和土地利用动态度、土地利用结构变化、土地利用程度综合指数等模型^[10-11],运用单一(综合)土地利用动态度、单一(综合)土地利用转出率和转入率、土地覆被分布空间变化指数、景观格局指数、多样性指数、优势度、破碎化指数、分离度、植被指数等指标进行度量^[12-13],不仅对不同时期土地利用的构成、数量、状态与利用方式进行比较,还将其作为全球变化研究的重要部分. 研究显示LUCC具有时空异质性和尺度复杂性,同一区域不同时段或同一时段不同区域的LUCC特征具有显著差异^[14].

LUCC的驱动力及驱动机制研究是揭示自然和社会经济相互关系的重要方式^[15],对于解释其变化和进行预测起关键作用,是LUCC研究的焦点问题. 定性分析是研究LUCC驱动力的基础,学者通过各种因素对不同区域的LUCC驱动力进行定性分析,得出土地利用/覆被变化主要受自然、社会经济、政策因子的影响^[16]. 定量方法包括主成分分析^[17]、典型相关分析^[18]、多元线性回归分析^[19]、灰色系统关联分析^[20]、Logistic模型^[21]等. 研究表明,LUCC的驱动因子具有综合性、动态性、层次性特征,不同区域的驱动因子具有较大差异^[14],自然驱动因子包括气候、地形地貌、土壤养分、水文与水资源等,社会经济驱动因子包括经济增长、产业结构、人口变化、城镇化、科技进步、生活生产方式、文化素质等^[14],还包括地权、价格、经营机制和国家政策导向等政策因子^[22]. 一般而言,自然驱动因子是LUCC的环境条件与物质基础,由于一般变化较为缓慢,对长时间尺度的LUCC产生影响,社会经济驱动因子是人类与自然相互作用的最直接表现形式,在短时间尺度内对LUCC影响较大.

LUCC通过影响气候、水文、土壤等要素影响自然环境,进而改变生态系统的生态多样性、物质循环及能量流动,导致生态脆弱区内生态系统的功能、结构及其服务价值发生改变,产生了巨大的环境效应^[23]. 由于LUCC引起的环境效应涉及自然、社会经济等要素,是一个复杂的动态变化过程,研究难度较大,因此对LUCC产生的环境效应过程与机理的研究较少. 目前学者们主要采用单点试验观测的方法研究LUCC对气候、土壤、水文、碳收支、景观生态等单一因子的影响^[24],还有学者通过能值分析法、物质质量评估法和价值量评估法分析LUCC对生态系统服务价值的影响,如孙慧兰等^[25]、严恩萍等^[26]分别对伊犁河流域、三峡库区生态系统服务价值对LUCC变化的相应进行了研究.

生态脆弱区抗干扰能力弱,LUCC带来生态环境的恶化一直未得到有效遏制,加剧了人地矛盾,严重影响到生态脆弱区可持续发展. 为此,对生态脆弱区土地可持续利用评价逐渐成为学者们关注的焦点. 近年来学者们分别对西北荒漠绿洲交接区^[27]、东北农牧交错区^[28]、喀斯特地区^[29]、黄土高原^[30]以及三峡库区^[31]等生态脆弱区开展了不同层次的土地可持续利用评价. 此外,许尔琪等还建立了一套适用于不同类型生态脆弱区的土地可持续利用评价体系,对我国5个生态脆弱区的土地可持续利用程度进行评价和比较,加强了研究的系统性^[32].

3.2 气候变化及其影响

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次、第五次评估报告均指出近几十年全球气候变暖现象明显,20世纪80年代以来中国的气温也显著上升,其区域差异较明显,温度升高对适应能力弱的区域带来的威胁更大^[33]. 生态脆弱区抗干扰能力弱,生态环境和农业系统对气候变化十分敏感,研究生态脆弱区内气候变化的时空演变特征对区域可持续发展具有重大意义. 近三十年,学者们基于生态脆弱区内国家基准站和基本观测站的数据,分别选取年、月、日尺度的气温、降水量、相对湿度、风速、蒸散量、日照时数等气候要素,通过空间插值法^[34]、小波分析^[35]、M—K秩次相关法^[36]等方法分析我国生态脆弱区的气候

变化特征. 研究发现我国生态脆弱区气候变化显著,以气候变暖为主,不同生态脆弱区不同气候要素变化的程度有较大差异(表 1).

表 1 我国各生态脆弱区气候变化相关研究
Table 1 Study on climate change in ecologically vulnerable area of China

研究区域	研究时段及气候要素	研究结论	研究者
北方农牧交错带	1964—2013 年气温、降水量	气温变化与全球基本同步,1987 年开始增温,1998 年后增温停滞,平均气温的增加主要由于最低气温增加的影响,年降水量总体呈下降趋势,气候趋向暖干化	赵威等 ^[37]
黄土高原	1961—2009 年降水量、气温、日照时数、风速、相对湿度和参考作物蒸散量	气温升高,降水减少,相对湿度降低且蒸散加剧,气候趋向暖干化	李志等 ^[38]
西南喀斯特地区	1960—2004 年气温、降水量	气温上升,降水量略微平稳,略有减少,气候趋向暖干化	王钧等 ^[39]
西北干旱区	1951—2008 年气温; 1961—2011 年降水量	20 世纪 60 年代到 70 年代末气温较低,90 年代起气温上升,且增温趋势明显,降水量 20 世纪 70 年代前较低,自 80 年代起部分区域开始增加,90 年代起全区增量更加明显,气候趋向暖湿化	黄蕊等 ^[40] 、 姚俊强等 ^[41]
青藏高原	1961—2005 年气温、降水量	年平均气温上升,20 世纪 80 年代以来上升速率加快;年降水量少量增加,其中 1961—1975 年以减少为主,1975—1989 年保持不变,20 世纪 90 年代后降水增加,气候趋向暖湿化	刘桂芳等 ^[42]
西北干旱区及 青藏高寒区	1960—2015 年气温	1960—1997 年西北干旱区气温升高幅度大于青藏高寒区,1998—2015 年青藏高寒区气温上升,而西北干旱区气温微弱下降	马转转等 ^[43]
中国 7 个典型 生态脆弱区	1980—2014 年气温、降水量、 相对湿度、风速和蒸发皿蒸发量	中国生态脆弱区日平均气温、日最高和最低气温几乎都呈上升趋势;降水变化趋势不明显;相对湿度以减少趋势为主;风速基本为减少趋势;全区蒸发皿蒸发量全年为减少趋势	孙康慧等 ^[33]

气候变化对陆地生态系统的影响是国际地圈生物圈计划的重要内容. 陆地生态系统中植被、土壤、水资源等对气温升高及降水量波动等气候变化存在明显的反馈作用,是生态环境的重要指示器. 因此生态脆弱区内植被、土壤、水资源等对气候变化的响应成为学者们关注的内容. 李辉霞等分不同植被类型探讨了 2001—2010 年间三江源地区植被生长对气候变化的响应机制^[44],常学礼等对比分析了 1971—2010 年间科尔沁沙地气候变化与湖泊消涨之间的关系^[45].

气候变化在对陆地生态系统影响的同时,也对农户生计产生影响. 农户是生态脆弱区内经济活动的主体,以自然资源为生计基础,不仅是气候变化的直接感知者,还是适应行为的选择和受益者^[46]. 农户能否有效地感知和适应气候变化直接影响着生态脆弱区的可持续发展. 通过入户调查等方法能知晓农户对气候变化的感知特征,对制定有效的适应政策提供依据. 学者们对我国众多生态脆弱区农户对气候变化的感知进行了研究^[47-48],其中赵雪雁等以甘南高原为例研究了高寒生态脆弱区农户对气候变化的感知以及适应需求、意向、策略,形成了较多的研究成果^[49-50].

3.3 生态脆弱性评价

生态脆弱性是生态系统在特定时空尺度下相对外界干扰所具有的敏感反应和自我恢复能力,是生态系统的固有属性. 受自然条件、人为活动干扰及系统自身恢复能力共同作用,具有复合性、动态性、相对性、可控性等特点,不同时空区域间生态脆弱性的驱动因素及其表征具有较大差异^[51]. 早期许多学者围绕生态脆弱性的概念与分类区划、生态脆弱性的成因与过程、生态脆弱区的特征与指标识别等方面开展了卓有成效的理论探讨,为后续进行生态脆弱性评价提供了重要的理论支撑.

生态脆弱性评价是指对生态系统的脆弱程度做出定量或半定量的分析、描绘和鉴定,其目的是评价生态脆弱区的发展状态,探究脆弱性驱动因素和演化机理. 主要步骤如下:

(1)数据收集与处理. 数据是生态脆弱性评价的关键,结合生态脆弱区生态系统内部的功能和结构以及与外部环境的相互作用关系,从导致系统脆弱性的主要因素中科学选取指标. 指标数据主要包括图形和属性数据. 其中,海拔、坡度、植被覆盖度等图形数据主要来源于地质、地形、土壤、水文、气象专题图及能够提取到植被覆盖、土地利用的遥感图像,有关经济、社会、生态等方面的属性数据主要来源于统计年鉴^[52]. 为消除量纲等影响,对正向指标、负向指标采用不同的标准化公式进行指标数据标准化,目前最常用的标准化方法为极差法^[53].

(2)指标体系构建. 遵循综合、科学、可操作和因地制宜的原则建立生态脆弱性评价指标体系. 由于导致不同生态脆弱区生态脆弱性发生和演化的原因不尽相同,不同学者构建评价指标体系的角度也不相同,主要分为单一类型指标体系和综合型指标体系^[54]. 早期,学者们主要采用单一类型指标体系,如王经明等使用年降雨量、侵蚀模数、年沙暴日数等 7 个因子对黄土高原 105 个水土流失重点县进行生态脆弱性评价^[55]. 单一类型指标体系是针对特定区域典型脆弱性特征建立的,具有较强的针对性,但不同类型区域间的评价结果缺少可比性. 综合型指标体系包含的指标较为全面,一般都分“目标层—要素层—指标层”三层,综合考虑自然(生态)、经济和社会等因素,更加全面客观,近年来学界形成了类型多样的综合型指标体系(表 2).

表 2 生态脆弱性评价综合型指标体系
Table 2 Comprehensive indicator evaluation system of ecological vulnerability assessment

类型	指标体系含义	研究区域
压力—状态—响应(PSR)	压力反映人类活动对生态系统所造成的负荷,状态是生态系统内各种因素长期作用的结果,响应体现人类对生态问题所采取的对策与措施	三峡库区(重庆段) ^[56] 、 黄河三角洲 ^[57]
暴露—敏感—适应能力(VSD)	暴露度是生态系统受到外界干扰的程度,敏感性是生态系统受到环境变化影响的程度,适应能力是生态系统能够处理、适应胁迫以及恢复的能力	甘肃省临洮县 ^[58] 、 广西西江经济带 ^[59]
生态敏感性、恢复力和压力度(SRP)	生态敏感性指生态环境抵抗各种内外干扰的能力;恢复力指生态环境的自我调节与恢复能力;压力度指受到的外界干扰及产生的生理效应	甘肃省白龙江流域 ^[60] 、 沂蒙山区 ^[61]
生态压力、生态敏感、生态弹性指数(PSE)	生态压力、生态敏感同上;生态弹性指生态系统抵御扰动、维持正常运转的抗应变能力	川滇农林牧交错带 ^[62] 、 辽宁阜新 ^[63]
多系统评价指标体系	结合自然、人为、社会经济等因素进行全面系统的评价	鄱阳湖区 ^[64] 、 新疆塔里木河流域 ^[65]
自然潜在脆弱、人为干扰脆弱	生态脆弱性是由自然和人为因素共同作用而成,自然要素作为潜在(内在)脆弱因子;人为干扰作为胁迫(外在)脆弱因子	西藏“两江两河”地区 ^[66] 、 鄂尔多斯市 ^[67]
成因及结果表现	包含自然和社会等成因及经济、社会发展水平等结果表现	甘肃省 ^[68] 、 云南省 ^[69]
景观格局和生态敏感性	采用分离度、破碎度等景观格局指数表现景观类型结构特征,但由于不同景观类型格局可能相似,因此再选用能反映生态脆弱性的敏感性指标进行补充	海南西部地区 ^[70] 、 广西左江流域 ^[71]
自然生态系统生态脆弱性、人类—自然耦合系统生态脆弱性	自然生态系统脆弱性反映自然生态的本底或基底;人类—自然耦合系统脆弱性反映了人类社会系统与自然生态系统之间的相互作用和人类活动对自然生态系统产生的影响	艾布盖河流域 ^[72]

(3)生态脆弱性评价及预测. 生态脆弱性评价包括静态评价和动态评价. 评价的主要方法包括层次分析法^[73]、主层次分析法^[56]、模糊评价法^[74]、灰色关联分析法^[75]、神经网络法^[76]、集对分析法^[77]、物元可拓模型^[78]等,且有多样化、复杂化、集成化的趋势;评价后依据评价结果进行分级. 生态脆弱性分级是将生态脆弱性评价结果直观表达的关键环节之一,等级划分以生态阈值为基础,并结合生态脆弱区实际情况,常用的方法包括自然断点法和等间距分级法等^[54]. 如吴春生等采用自然断点法将生态脆弱性等级划分为轻微、轻度、中度、重度、极度脆弱和不脆弱 6 个等级^[79],邱彭华等采用等间距分级法将生态脆弱性等级划分为 5 级^[70],郭兵等使用标准差与数据直方图分布结合的方法划分生态脆弱性等级^[80]. 此外,还有学者基于情景分析法和生态模型模拟法对生态脆弱性进行预测^[54],但相关研究较少.

近年来生态脆弱区内环境问题不断加剧,水土流失、土地沙漠化、土地盐碱化、土地石漠化以及地震、泥石流等自然灾害对人类生存和发展造成了严重威胁. 在此背景下对生态脆弱区的生态安全评价也受到广泛关注. 生态安全评价方法与生态脆弱性评价方法类似,主要是通过建立评价指标体系. 如杨冬梅等从自然环境状态、人文环境状态、环境污染压力、环境保护及建设能力四个方面建立生态安全评价体系,评价了陕西省榆林市生态安全的变化趋势及地域差异^[81];郭明等还引入景观生态学的研究方法,通过景观干扰度、景观分离度、景观脆弱度、景观生态安全指数等构建景观生态安全评价体系来评价生态脆弱区的生态安全程度^[82].

3.4 人地关系与可持续发展

生态脆弱区人地关系是区域“人类社会—生态环境—经济发展”综合作用的表现. 由于生态脆弱区内

自然条件和环境容量的限制,农户为了生存不得不进行掠夺式经营,土地过度开发、森林过度砍伐、草地过牧的现象层出不穷,致使生态环境又遭到严重破坏^[83];另一方面,受农村传统观念的影响,人口数量仍急剧增加,导致人均资源占有量继续减少,对边际土地的压力日益增大,不得不进一步过垦、过牧、过伐,使生态环境更趋脆弱,陷入“PPE(生活贫困—人口增长—生态脆弱)怪圈”^[84]。因此生态脆弱区人地关系矛盾突出,并使生态环境进一步脆弱,农户难以走出“越穷越垦,越垦越穷”的恶性循环,致使生态脆弱区与贫困地区具有一定的相关性^[2,85]。我国“三区三州”深度贫困区80%以上位于青藏高原这一典型生态脆弱区,六盘山区、秦巴山区、武陵山区、乌蒙山区、滇桂黔石漠化区等集中连片特困地区也大都是生态脆弱区^[86]。

学者们基于社会学视角,采用“现状—问题—对策”的研究框架对生态脆弱区贫困问题进行定性分析。祁新华等从博弈论的视角探讨了生态脆弱区内政府与民众、企业利益主体的博弈,发现博弈结果对扶贫和生态环境保护的效果有一定联系^[87];董锁成等对甘肃省陇西县的社会经济发展情况进行分析,发现其经济社会发展面临着农业发展阶段与全面建设小康社会的矛盾以及贫困与生态环境脆弱的矛盾,提出发展循环经济的对策^[88]。还有学者对生态脆弱环境与贫困之间的空间相关性 & 非良性耦合关系进行了研究。如牛亚琼等通过构建耦合协调度模型评价了甘肃省生态脆弱环境与贫困的耦合协调程度,发现脆弱生态环境与贫困共生共存^[89]。生态脆弱区的贫困化空间格局及其影响因素近年来也成为学者们关注的对象,研究发现导致生态脆弱区贫困的影响因素复杂多样,主要包括环境恶化、资源、多维贫困等因素^[90-91]。

研究发现,生活贫困、人口增长和生态脆弱的恶性循环极大地影响了生态脆弱区的可持续发展。自党的十七大提出“建设生态文明”的新要求、党的十八大将“生态文明建设”纳入“五位一体”战略布局以来,生态脆弱区如何实现人地关系和谐相处,推动经济社会可持续发展成为学者们研究的热点。成升魁等^[92]、徐增让等^[93]评价了青藏高原发展现状,探讨了影响其可持续发展的因子,提出了青藏高原可持续发展的战略。除此之外,学界对生态脆弱区可持续发展的评价也越来越多。由于生态脆弱区可持续发展受经济、文化、社会、环境、制度等多因素的影响,因此对不同生态脆弱区评价指标不一,常用的评价方法包括主成分分析法、综合指数法、层次分析法、能值分析法等^[94]。如刘晓琼等使用层次分析法评价了陕西省榆林市资源环境、经济、社会子系统的可持续发展状况,发现资源环境是影响其可持续发展的重要因子^[95]。

3.5 生态修复

在气候变化等自然因素和人类活动等人为因素的综合作用下,生态脆弱区经济社会发展与环境保护的协调性出现矛盾,导致生态系统退化、生态服务功能下降,严重阻碍经济社会可持续发展。通过生态修复可提高生态脆弱区资源利用和转换效率,降低环境负载率,增强生态脆弱区的可持续发展能力,保障周边地区生态安全^[96]。

生态脆弱区生态环境较为恶劣,荒漠化、石漠化、水土流失是其生态退化的主要表现形式。学界对生态脆弱区生态退化的特征及其如何进行生态修复进行了大量的研究。万军等^[97]、梁宗锁等^[98]、毛德华等^[99]分别对喀斯特地区、黄土高原地区、西北地区的生态系统退化特征进行总结,提出了生态系统修复的方法、技术和模式。生态脆弱区不仅生态环境较为恶劣,经济社会发展水平也较低,铁路、公路、天然气管道等基础设施建设对生态系统的破坏较大,其造成的生态损失和对应的生态修复技术也成为学者们关注的对象^[100-102]。

生态修复的方法主要包括自然修复、人工修复及两者相结合。学者们通过选取生态工程实施前后的土地利用变化、生态系统服务、植被覆盖度、土壤水分等单一指标或构建指标体系对生态工程的综合效益进行评估^[103]。通过评估,董林根等认为自然修复不仅具有良好的恢复效果,还能在改善生态环境的同时获得较高的经济效益^[104];张志远认为物种多样性与生态系统稳定性间可能存在一个阈值,在阈值以下物种多样性的增加对生态系统稳定性的维持是有益的^[105];王凯等认为生态脆弱区经过自然修复后水土流失等现象仍较明显,自然修复对生态脆弱区生态恢复影响不大,必须进行人工修复^[106];王朗等认为以自然修复为主、辅以人工修复对生态脆弱区的生态恢复起到的作用较好^[107]。由于不同生态脆弱区的生态退化问题不同,在选取生态修复方法上也需因地制宜。甄霖等梳理了我国主要生态退化问题及区域的生态技术需求,认为生态修复技术应针对具体的退化问题、阶段、机理及当地经济社会发展情况,根据技术需求评估选择最佳的生态修复方式^[108]。

4 结论与展望

生态脆弱区研究自 1989 年以来逐渐成为学界研究的热点. 三十年来我国生态脆弱区研究发展迅速, 研究领域越来越宽, 形成了较为丰富的研究成果. 其中, 研究内容以实证研究为主, 理论研究相对较少, 近年来有理论探讨和综合化研究增多的趋势; 研究区域从偏向北方农牧交错带和西南喀斯特地区逐渐趋于多元, 内蒙古、陕西、甘肃、贵州、云南是实证研究的主要区域; 研究方法注重多学科融合, 使用遥感影像数据和 GIS 工具进行研究的文献越来越多; 研究热点包括土地利用/覆被变化、气候变化及其影响、生态脆弱性评价、人地关系与可持续发展、生态修复 5 个主题, 研究最终目标都是为了实现生态脆弱区资源可持续利用和社会经济可持续发展. 5 大研究主题相互影响、相互作用, 形成了生态脆弱区研究热点的逻辑框架 (图 4).

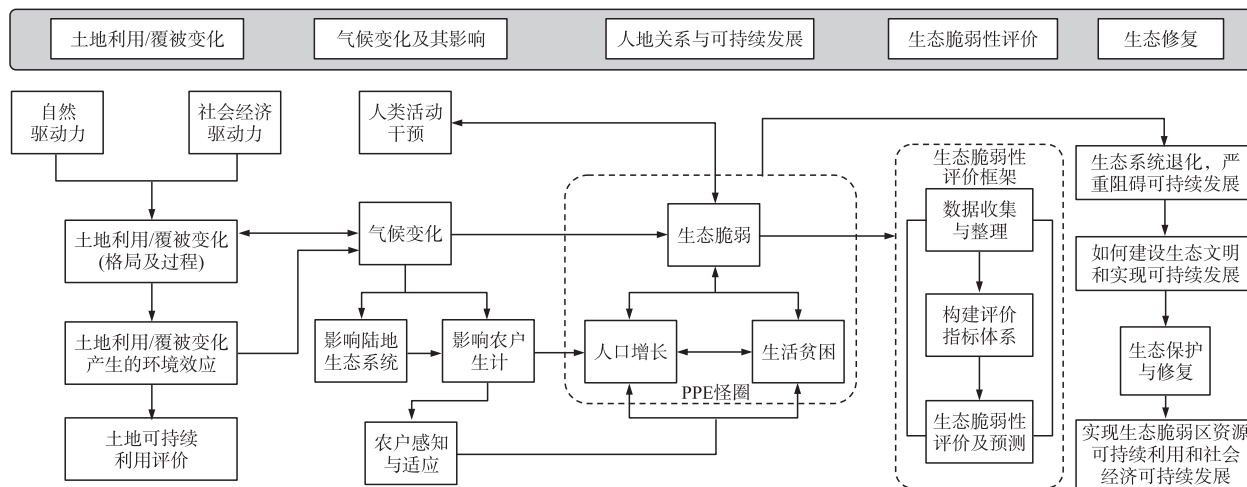


图 4 近三十年我国生态脆弱区研究热点逻辑框架

Fig. 4 Logical structure to the research hotspot of ecologically vulnerable area in China in the past three decades

虽然我国生态脆弱区分布面积大、脆弱生态类型多, 不同区域间生态脆弱性的驱动因素及其表征具有较大差异, 土地利用格局、气候变化程度、致贫原因以及生态修复的方法也都不尽相同, 但实现生态脆弱区经济社会可持续发展的目标是相同的. 据此, 未来研究可从以下几方面深入展开:

(1) 完善评价指标与模型, 创新研究方法. 评价指标和模型是开展生态脆弱性评价、土地利用/覆被变化研究的基础. 评价指标和模型的选取直接关系到结果是否正确, 还在一定程度上关系到政府政策的制定. 通过对我国不同区域不同尺度开展多层次和多元化的实证研究, 与世界各地与我国生态脆弱区自然环境、气候条件等类似的区域进行对比分析, 建立并完善我国不同生态脆弱区评价指标体系和 LUCC 评价模型的使用标准, 对评价体系、模型的使用范围、优劣势进行分析, 使未来研究在选择评价指标、模型时有章可循, 并可为政府制定政策和区域全面协调可持续发展提供依据. 其次, 可融合自然地理、土地生态、区域经济等多学科方法, 创新研究方法; 可尝试将大数据、机器学习等新技术运用到生态脆弱性研究中, 更深度地挖掘影响生态脆弱性的数据信息.

(2) 拓宽研究时空尺度, 丰富研究内容. 一方面, 要拓宽研究区域范围. 现有生态脆弱区研究较多以农牧交错带、喀斯特地区、三峡库区、黄土高原等典型地区宏观层面的研究为主, 对城市内部等微观层面的研究较少, 对东部地区非典型的生态脆弱区 (如沿海滩涂、长江沿岸地区、快速城镇化地区) 的研究也较少. 未来可尝试突破基于国家和某一类典型生态脆弱区宏观层面的研究, 强化城市、社区和农户等微观层面的研究. 此外, 由于生态脆弱区时空波动性强, 在不同时间尺度上的表现形式不同, 未来可延伸时间长度, 研究不同时间尺度的变化特征; 另一方面, 要丰富研究内容. 在城镇化发展新阶段背景下, 生态脆弱区的城镇化建设水平和农户的生计问题直接关系到能否实现可持续发展, 未来可通过土地利用/覆被变化、生态脆弱性评价等评估我国实施生态移民、退耕还林、产业调整等政策后生态脆弱区农户面临的生计可持续发展问题, 为响应国家区域开发新战略的实施提供参考.

(3) 关注人为因素的影响, 挖掘人地耦合关系. 土地利用/覆被变化、气候变化是自然因素和人为因素

共同导致的结果,人为因素对其影响较大,应加强对人为因素与自然因素的共同作用及其驱动土地利用/覆被变化、气候变化的机制、过程的研究.进一步挖掘生态脆弱区人地耦合关系,研究人类活动甚至当地文化、风俗对生态脆弱区产生的依赖与影响,探寻生态脆弱区人与自然和谐共生的模式与方法,为生态文明建设提供依据.

(4)关注农户生计,助力精准扶贫与生态保护共同发展.我国生态脆弱区与贫困地区具有一定的相关性,2020年我国将全面建成小康社会,位于生态脆弱区的农户能否脱贫成为全面建成小康社会的关键.如何在生态脆弱区达到绿色发展与精准扶贫双丰收,如何将精准扶贫与生态环境保护与修复相结合以达到减少贫困的效果、如何创造生态产品、如何加强当地农户参与生态保护的积极性、如何建立健全生态补偿机制及实施生态移民等都是未来可进一步关注的主题.

(5)探究生态修复的最佳方式,使生态修复与经济发展协同并进.不同的生态脆弱区,甚至不同区域的不同类型生态脆弱区生态修复的方式也不尽相同.探索生态脆弱区人工修复的必要性及如何进行人工修复、如何减小人为干扰的技术方法;探索自然修复的方法及其效果;将生态修复形成的自然与生态财富和农户对生态环境以及经济财富的需求有机融合,通过生态修复提升资源和产品供给的规模与质量也是未来研究的主题.

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国环境保护部.全国生态脆弱区保护规划纲要[EB/OL].(2008-10-09)[2020-06-15].http://www.gov.cn/gzdt/2008-10/09/content_1116192.htm.
- [2] 赵跃龙,刘燕华.中国脆弱生态环境分布及其与贫困的关系[J].人文地理,1996,11(2):1-7.
- [3] CLEMENTS F E. Research methods in ecology[M]. Lincoln:University Publishing Company,1905.
- [4] HOLLAND M M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries:report of a SCOPE/MAB work-shop on ecotones[J]. Biology international(Special issue),1988,17:47-106.
- [5] 牛文元.生态环境脆弱带 ECOTONE 的基础判定[J].生态学报,1989,9(2):97-105.
- [6] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J].科学学研究,2015,33(2):242-253.
- [7] 李秀彬.全球环境变化研究核心:土地利用/土地覆被变化的国际研究方向[J].地理学报,1996,51(6):553-557.
- [8] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.
- [9] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等.2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J].地理学报,2018,73(5):789-802.
- [10] 徐苏,张永勇,窦明,等.长江流域土地利用时空变化特征及其径流效应[J].地理科学进展,2017,36(4):426-436.
- [11] 宋开山,刘殿伟,王宗明,等.1954年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J].地理学报,2008,63(1):93-104.
- [12] 彭建,蔡运龙,何钢,等.喀斯特生态脆弱区猫跳河流域土地利用/覆被变化研究[J].山地学报,2007(5):566-576.
- [13] 刘娟,刘华民,卓义,等.毛乌素沙地1990—2014年景观格局变化及驱动力[J].草业科学,2017,34(2):255-263.
- [14] 赵锐锋,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析[J].地理学报,2009,64(1):95-106.
- [15] 刘纪远,张增祥,徐新良,等.江南.21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J].地理学报,2009,64(12):1411-1420.
- [16] 陈百明.试论中国土地利用和土地覆被变化及其人类驱动力研究[J].自然资源,1997(2):31-36.
- [17] 郭丽英,刘彦随,任志远.生态脆弱区土地利用格局变化及其驱动机制分析——以陕西榆林市为例[J].资源科学,2005(2):128-133.
- [18] 李艳华,许月卿,孙丕苓,等.生态脆弱区土地利用变化及驱动力——以河北省张北县为例[J].水土保持通报,2015,35(5):239-244.
- [19] 史纪安,陈利顶,史俊通,等.榆林地区土地利用/覆被变化区域特征及其驱动机制分析[J].地理科学,2003(4):493-498.
- [20] 苏维词,易武英.基于灰色模型的贵阳市土地利用/覆被变化的驱动力分析[J].水土保持通报,2014,34(6):256-259,266,371.
- [21] 谢花林.典型农牧交错区土地利用变化驱动力分析[J].农业工程学报,2008(10):56-62.
- [22] 刘吉平,赵丹丹,田学智,等.1954—2010年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J].生态学报,2014,34(12):3234-3244.
- [23] 张新荣,刘林萍,方石,等.土地利用、覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展[J].生态环境学报,2014,23(12):

- 2013-2021.
- [24] 王晓东,蒙古军. 土地利用变化的环境生态效应研究进展[J]. 北京大学学报(自然科学版),2014,50(6):1133-1140.
- [25] 孙慧兰,李卫红,陈亚鹏,等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报,2010,30(4):887-894.
- [26] 严恩萍,林辉,王广兴,等. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力[J]. 生态学报,2014,34(20):5962-5973.
- [27] 王爱辉,张丹,戴新俊. 干旱区绿洲型城市土地持续利用评价:以奎屯市为例[J]. 干旱区地理,2006,29(3):431-438.
- [28] 韩锦辉,赵文晋,杨天通,等. 基于改进 TOPSIS 法的东北农牧交错区土地可持续利用评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持研究,2018,25(3):279-284,291.
- [29] 苏广实,胡宝清,罗华艳. 基于网格法与 ANN 的县域喀斯特土地可持续利用评价——以广西都安瑶族自治县为例[J]. 水土保持研究,2010,17(4):262-268.
- [30] 赵有翼,赵廷刚,岳斌,等. 黄土高原丘陵沟壑区城市土地持续利用评价研究[J]. 中国沙漠,2009,29(6):1178-1185.
- [31] 贾雷,邱道持. 三峡库区土地整治的可持续性评价研究——以开县大德乡为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(3):78-84.
- [32] 许尔琪,张红旗. 中国生态脆弱区土地可持续利用评价研究[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(3):1-6.
- [33] 孙康慧,曾晓东,李芳. 1980—2014 年中国生态脆弱区气候变化特征分析[J]. 气候与环境研究,2019,24(4):455-468.
- [34] 时忠杰,高吉喜,徐丽宏,等. 内蒙古地区近 25 年植被对气温和降水变化的影响[J]. 生态环境学报,2011,20(11):1594-1601.
- [35] 姚玉璧,肖国举,王润元,等. 近 50 年来西北半干旱区气候变化特征[J]. 干旱区地理,2009,32(2):159-165.
- [36] 王刚,严登华,黄站峰,等. 近 52 年来滦河流域气候变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(7):134-139.
- [37] 赵威,韦志刚,郑志远,等. 1964—2013 年中国北方农牧交错带温度和降水时空演变特征[J]. 高原气象,2016,35(4):979-988.
- [38] 李志,赵西宁. 1961—2009 年黄土高原气象要素的时空变化分析[J]. 自然资源学报,2013,28(2):287-299.
- [39] 王钧,蒙古军. 西南喀斯特地区近 45 年来气候变化特征及趋势[J]. 北京大学学报(自然科学版),2007,43(2):223-229.
- [40] 黄蕊,徐利岗,刘俊民. 中国西北干旱区气温时空变化特征[J]. 生态学报,2013,33(13):4078-4089.
- [41] 姚俊强,杨青,刘志辉,等. 中国西北干旱区降水时空分布特征[J]. 生态学报,2015,35(17):5846-5855.
- [42] 刘桂芳,卢鹤立. 1961—2005 年来青藏高原主要气候因子的基本特征[J]. 地理研究,2010,29(12):2281-2288.
- [43] 马转转,张明军,王圣杰,等. 1960—2015 年青藏高寒区与西北干旱区升温特征及差异[J]. 高原气象,2019,38(1):42-54.
- [44] 李辉霞,刘国华,傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J]. 生态学报,2011,31(19):5495-5504.
- [45] 常学礼,赵学勇,王玮,等. 科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应[J]. 生态学报,2013,33(21):7002-7012.
- [46] 谭灵芝,马长发. 中国干旱区农户气候变化感知及适应性行为研究[J]. 水土保持通报,2014,34(1):220-225.
- [47] 朱国锋,秦大河,任贾文,等. 山区牧民对极端气候事件的感知与适应——基于祁连山区少数民族乡的调查[J]. 气候变化研究进展,2015,11(5):371-378.
- [48] 邓茂芝,王英巍,毛炜峰,等. 阿克苏河流域公众气候变化感知及适应措施选择的差异分析[J]. 干旱区研究,2012,29(1):17-26.
- [49] 王亚茹,赵雪雁,张钦,等. 高寒生态脆弱区农户的气候变化适应策略评价——以甘南高原为例[J]. 生态学报,2017,37(7):2392-2402.
- [50] 赵雪雁,薛冰. 高寒生态脆弱区农户对气候变化的感知与适应意向——以甘南高原为例[J]. 应用生态学报,2016,27(7):2329-2339.
- [51] 徐广才,康慕谊,贺丽娜,等. 生态脆弱性及其研究进展[J]. 生态学报,2009,29(5):2578-2588.
- [52] 张学玲,余文波,蔡海生,等. 区域生态环境脆弱性评价方法研究综述[J]. 生态学报,2018,38(16):5970-5981.
- [53] 杨飞,马超,方华军. 脆弱性研究进展:从理论研究到综合实践[J]. 生态学报,2019,39(2):441-453.
- [54] 徐君,李贵芳,王育红. 生态脆弱性国内外研究综述与展望[J]. 华东经济管理,2016,30(4):149-162.
- [55] 王经民,汪有科. 黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨[J]. 水土保持通报,1996(3):32-36,43.
- [56] 马骏,李昌晓,魏虹,等. 三峡库区生态脆弱性评价[J]. 生态学报,2015,35(21):7117-7129.
- [57] 吴春生,黄肿,刘高焕,等. 基于模糊层次分析法的黄河三角洲生态脆弱性评价[J]. 生态学报,2018,38(13):4584-

- 4595.
- [58] 陈枫,李泽红,董锁成,等. 基于 VSD 模型的黄土高原丘陵沟壑区县域生态脆弱性评价——以甘肃省临洮县为例[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(11):74-80.
- [59] 李平星,樊杰. 基于 VSD 模型的区域生态系统脆弱性评价——以广西西江经济带为例[J]. 自然资源学报,2014,29(5):779-788.
- [60] 齐姗姗,巩杰,钱彩云,等. 基于 SRP 模型的甘肃省白龙江流域生态环境脆弱性评价[J]. 水土保持通报,2017,37(1):224-228.
- [61] 刘正佳,于兴修,李蕾,等. 基于 SRP 概念模型的沂蒙山区生态环境脆弱性评价[J]. 应用生态学报,2011,22(8):2084-2090.
- [62] 乔青,高吉喜,王维,等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. 环境科学研究,2008(5):117-123.
- [63] 孙平军,修春亮,王忠芝. 基于 PSE 模型的矿业城市生态脆弱性的变化研究——以辽宁阜新为例[J]. 经济地理,2010,30(8):1354-1359.
- [64] 陈美球,蔡海生,赵小敏,等. 基于 GIS 的鄱阳湖区脆弱生态环境的空间分异特征分析[J]. 江西农业大学学报(自然科学),2003(4):523-527.
- [65] 王让会,樊自立. 干旱区内陆河流域生态脆弱性评价——以新疆塔里木河流域为例[J]. 生态学杂志,2001(3):63-68.
- [66] 陶和平,高攀,钟祥浩. 区域生态环境脆弱性评价——以西藏“一江两河”地区为例[J]. 山地学报,2006(6):761-768.
- [67] 蒙古军,张彦儒,周平. 中国北方农牧交错带生态脆弱性评价——以鄂尔多斯市为例[J]. 中国沙漠,2010,30(4):850-856.
- [68] 尚立照,张龙生. 基于“成因—结果”指标的甘肃各县区生态脆弱性定量评价[J]. 中国水土保持,2010(6):11-13+23.
- [69] 钟晓娟,孙保平,赵岩,等. 基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价[J]. 生态环境学报,2011,20(1):109-113.
- [70] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,等. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析[J]. 生态学报,2007,27(4):1257-1264.
- [71] 卢远,苏文静,华瑾. 基于景观格局和生态敏感性的左江流域生态脆弱性分析[J]. 水土保持研究,2011,18(3):78-82,87.
- [72] 宋一凡,郭中小,卢亚静,等. 一种基于 SWAT 模型的干旱牧区生态脆弱性评价方法——以艾布盖河流域为例[J]. 生态学报,2017,37(11):3805-3815.
- [73] 刘振乾,刘红玉,吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究[J]. 应用生态学报,2001(2):241-244.
- [74] 刘茹,张晶晶,雷蕾. 岷江上游生态脆弱性的模糊评价[J]. 资源开发与市场,2006(6):500-501+533.
- [75] 邱芳,马丁丑,孙小丽,等. 西部大开发以来甘肃省生态脆弱度变化趋势研究[J]. 生态经济,2016,32(4):194-198.
- [76] 付博,姜琦刚,任春颖,等. 基于神经网络方法的湿地生态脆弱性评价[J]. 东北师大学报(自然科学版),2011,43(1):139-143.
- [77] 陈群利,左太安,孟天友,等. 基于 SPA 的毕节水土流失区生态脆弱性评价[J]. 中国水土保持,2010(12):53-56+61.
- [78] 巫锡柱,晏路明. 脆弱生态环境的综合评判物元模型研究[J]. 中国生态农业学报,2007(3):138-141.
- [79] 吴春生,黄翀,刘高焕,等. 基于模糊层次分析法的黄河三角洲生态脆弱性评价[J]. 生态学报,2018,38(13):4584-4595.
- [80] 郭兵,孔维华,姜琳. 西北干旱荒漠生态区脆弱性动态监测及驱动因子定量分析[J]. 自然资源学报,2018,33(3):412-424.
- [81] 杨冬梅,任志远,赵昕,等. 生态脆弱区的生态安全评价——以榆林市为例[J]. 干旱地区农业研究,2008(3):226-231.
- [82] 郭明,肖笃宁,李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析[J]. 生态学报,2006,26(2):457-466.
- [83] 佟玉权,龙花楼. 脆弱生态环境耦合下的贫困地区可持续发展研究[J]. 中国人口·资源与环境,2003(2):50-54.
- [84] 李陇堂,吴玲娜. 西海固地区的环境重建与可持续发展[J]. 人文地理,2000(5):43-46.
- [85] 李周,孙若梅. 生态敏感地带与贫困地区的相关性研究[J]. 农村经济与社会,1994(5):49-56.
- [86] 中央政府网. 中共中央国务院印发《中国农村扶贫开发纲要(2011-2020)》[EB/OL]. (2012-01-19)[2020-06-15]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2011/content_2020905.htm.
- [87] 祁新华,叶士琳,程煜,等. 生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析[J]. 生态学报,2013,33(19):6411-6417.
- [88] 董锁成,刘桂环,李岱,等. 黄土高原生态脆弱区循环经济发展模式研究——以甘肃省陇西县为例[J]. 资源科学,2005(4):82-88.
- [89] 牛亚琼,王生林. 甘肃省脆弱生态环境与贫困的耦合关系[J]. 生态学报,2017,37(19):6431-6439.
- [90] 赵雪雁,马艳艳,陈欢欢,等. 干旱区内陆河流域农村多维贫困的时空格局及影响因素——以石羊河流域为例[J]. 经济地理,2018,38(2):140-147.

- [91] 文琦,施琳娜,马彩虹,等. 黄土高原村域多维贫困空间异质性研究——以宁夏彭阳县为例[J]. 地理学报,2018,73(10):1850-1864.
- [92] 成升魁,沈镭. 青藏高原人口、资源、环境与发展互动关系探讨[J]. 自然资源学报,2000(4):297-304.
- [93] 徐增让,张懿铨,成升魁,等. 青藏高原区域可持续发展战略思考[J]. 科技导报,2017,35(6):108-114.
- [94] 陈盼,施晓清. 基于文献网络分析的生态文明研究评述[J]. 生态学报,2019,39(10):3787-3795.
- [95] 刘晓琼,刘彦随. 基于 AHP 的生态脆弱区可持续发展评价研究——以陕西省榆林市为例[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(5):19-23.
- [96] 甄霖,王继军,姜志德,等. 生态技术评价方法及全球生态治理技术研究[J]. 生态学报,2016,36(22):7152-7157.
- [97] 万军,蔡运龙. 喀斯特生态脆弱区的土地退化及生态重建——以贵州省关岭县为例[J]. 中国人口·资源与环境,2003(2):55-59.
- [98] 梁宗锁,左长清,焦巨仁. 生态修复在黄土高原水土保持中的作用[J]. 西北林学院学报,2003(1):20-24.
- [99] 毛德华,夏军,黄友波. 西北地区生态修复的若干基本问题探讨[J]. 水土保持学报,2003(1):15-18+28.
- [100] 王仁德,钱金平. 生态脆弱区道路边坡生态恢复适用技术研究——以沙蔚铁路建设工程为例[J]. 水土保持研究,2007(3):163-165.
- [101] 赵丹,王伯铎,马俊杰,等. 中国西北生态脆弱区天然气管线建设的生态环境影响[J]. 水土保持学报,2004(6):196-199.
- [102] 包卫星. 高寒生态脆弱区高速公路建设生态环境保护技术研究[J]. 公路,2014,59(6):220-224.
- [103] 王壮壮,王浩,冯晓明,等. 重点脆弱生态区生态恢复综合效益评估指标体系[J]. 生态学报,2019,39(20):7356-7366.
- [104] 董林根,杜国坚,楼焕泽. 低丘生态脆弱区植被恢复与经济开发研究[J]. 浙江林业科技,1998(3):1-7.
- [105] 张志远. 晋北生态脆弱区人工种源补充对植被的影响研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):121-126.
- [106] 王凯,王道涵,刘锋,等. 露天矿排土场边坡自然恢复规律及其环境解释[J]. 生态环境学报,2014,23(4):581-585.
- [107] 王朗,傅伯杰,吕一河,等. 生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化[J]. 应用生态学报,2010,21(8):2109-2116.
- [108] 甄霖,胡云锋,魏云洁,等. 典型脆弱生态区生态退化趋势与治理技术需求分析[J]. 资源科学,2019,41(1):63-74.

[责任编辑:黄 敏]