

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.05.022.

陈强强, 赵荣芳. 甘南黄河水源补给生态功能区人地关系协调发展时空演变及影响因素[J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 387-396, 407.

CHEN Qiangqiang, ZHAO Rongfang. Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Human-Environment Interaction in the Yellow River Water Catchment Ecological Function Area of Gannan[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 387-396, 407.

甘南黄河水源补给生态功能区人地关系 协调发展时空演变及影响因素

陈强强^{1,2}, 赵荣芳¹

(1. 甘肃农业大学 财经学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省区域农业与产业组织研究中心, 兰州 730070)

摘要: [目的] 甘南黄河水源补给生态功能区是典型的生态脆弱区, 厘清其“人—地”关系及影响因子, 对黄河流域生态安全与高质量发展具有重要意义。[方法] 运用加权法测评 2005—2019 年甘南黄河水源补给生态功能区人类活动强度、资源环境承载力及两者关系, 采用响应度模型、地理探测器分析人地关系时空变化及影响因素。[结果] 2005—2019 年, 人类活动强度不断增强, 资源环境承载力历经了“良好—下降—有限恢复”。人地关系综合状态体现出“中高度宽松—中轻度紧张—中高度紧张”的演变特征, 且区域分异明显, 牧区、半农半牧区人地关系较农区趋紧。人类活动强度对资源环境承载力的作用效应体现出显著的时空演变特征。时间演变方面, 体现为“胁迫效应”减弱—“促进效应”递减—“胁迫效应”增强。空间演变方面, 合作市体现出“胁迫效应”减弱向“促进效应”增强变化; 临夏、和政和积石山 3 县由 2015 年前的“促进效应”变为“促进效应”减弱; 康乐、临潭、卓尼、玛曲、碌曲和夏河 6 个县表现出“促进效应”减弱向“胁迫效应”增强。畜牧业发展水平、人口密度和农牧民人均纯收入成为影响人地关系时空演变的主要驱动因素, 且因子间的交互作用呈现出非线性增强和双因子增强关系。[结论] 甘南黄河水源补给生态功能区人地关系趋于紧张, 且空间分异特征明显, 未来应重点从区域畜牧业绿色转型与农牧民生计能力提升方面探索实现人地协调与高质量发展。

关键词: 人地关系; 时空演变; 驱动因素; 地理探测器; 甘南黄河水源补给生态功能区

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)05-0387-10

Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Human-Environment Interaction in the Yellow River Water Catchment Ecological Function Area of Gannan

CHEN Qiangqiang^{1,2}, ZHAO Rongfang¹

(1. College of Finance and Economics, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Regional Agricultural and Industrial Organization Research Center, Lanzhou 730070, China)

Abstract: [Objective] The Yellow River water catchment ecological function area of Gannan is a typical ecological environmental fragile area. Quantitative clarification of the human-environment interaction and its influencing factors is of great significance to realize the ecological security and high-quality development of the Yellow River Basin. [Methods] The intensity of human activities, resource and environmental carrying capacity and the relationship between them in the Yellow River water catchment ecological function area in Gannan from 2005 to 2019 were calculated and evaluated by using the linear weight method. And the response model and geographic detector were used to analyze the spatiotemporal evolution and influencing factors of human-environment interaction. [Results] The intensity of human activities continued to increase,

收稿日期: 2022-06-22

修回日期: 2022-07-15

资助项目: 国家社会科学基金项目“生态理性视域下甘南黄河水源补给区草原生态保护农户认知行为与调适机制研究”(21BJY117)

第一作者: 陈强强(1979—), 男, 甘肃陇西人, 硕士, 教授, 主要从事农业资源经济方面的研究。E-mail: jinglx666@126.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

the carrying capacity of resources and environment had experienced ‘good-decline-limited recovery’ from 2005 to 2019. The comprehensive state of human-environment relationship presented the evolution characteristics of medium-high loose, medium-low tension and medium-high tension, and there were apparent differences between north and south areas. The human-environment relationship in pastoral and semi agricultural and semi pastoral areas was tighter than that in agricultural areas. The effect of the intensity of human activities on the carrying capacity of resources and environment reflected significant characteristics of spatial-temporal evolution. In the temporal evolution, the effect of human activity intensity on the carrying capacity of resources and environment presented ‘stress effect’ weakening-‘promotion effect’ decreasing-‘stress effect’ enhancing. In the spatial evolution, the effect of the intensity of human activities on the carrying capacity of resources and environment in Hezuo city presented the change from ‘stress effect’ weakening to ‘promotion effect’ strengthening. The effect in Linxia, Hezheng and Jishishan counties had showed from ‘promotion effect’ to ‘promotion effect’ weakening since 2015, while the effect for the Kangle, Lintan, Zhuoni, Maqu, Luqu and Xiahe counties showed that the ‘promotion effect’ weakening to the ‘stress effect’ increasing. The development level of animal husbandry, population density and per capita net income of farmers and herds-men were the main driving factors for the spatiotemporal evolution of human and environment relations, and the interaction between the factors showed a nonlinear enhancement and a two-factor enhancement relationship. [Conclusion] The human-environment interaction in the Yellow River water catchment ecological function area of Gannan was on a tense trend, and there was a obvious spatial heterogeneity. In the future, the green transformation of animal husbandry and the improvement of farmers’ livelihood capabilities should be strengthened so as to achieve the human-environment coordination and high-quality development.

Keywords: human-environment interaction; temporal and spatial evolution; driving factors; Geodetector; Yellow River water catchment ecological function area of Gannan

人地关系是指人类活动对资源环境的开发利用及其引起的资源环境的变化和产生的影响以及被改变的资源环境对人类活动的反作用^[1]。人地关系在对立统一中演变,从最初的原始共生,到人类对环境的顺应改造,再到人地协调共生,对应的人地关系思想也经历了从最初的天命论到征服自然论,再到人地协调共生论的演变^[2-3]。今天,以绿色可持续发展理念为引领的人地关系协调与高质量发展成为人地关系研究的主旋律。因此,分析研判人类活动与地理环境相互作用、演变特征及驱动机制,探索区域人地关系协调与高质量发展之路,既是绿色发展时代之呼唤,又是国家生态安全战略之需要,也是生态文明理念的具体实践。

目前学术界就人地关系开展了大量研究。从研究内容看,早期人地关系研究主要关注人地关系的内涵界定^[4]、系统结构与功能^[5]、人地关系演变阶段^[6]、人地耦合评价^[7]。今天关注人地关系时空演变特征^[8]、驱动因子与作用机理^[9],以及绿色高质量发展路径^[10]。从研究方法来看,以“压力—状态—响应”^[11]为代表的可持续发展评价与绿色发展评价^[12]为人地关系综合评价提供了分析框架与方法。杨宇^[13]构建了“施压—承压—约束—开放”人地关系综

合评价模型,丰富了人地关系评价体系。郭付友等^[14]借助地理探测器研究发现,政府调控是黄河流域绿色发展空间分异的主要驱动因素。另有学者运用生态足迹法、人地系统脆弱性评价、资源环境承载力预警等对不同区域尺度的人地关系演变状态进行了研究^[15-16]。总体来看,虽有学者对人地关系进行了研究,但现有研究多关注人地关系耦合评价的静态分析,较少关注人地关系时空格局演变;尽管有学者分析了黄河全流域尺度的人地协调与空间协调^[17],但对于人地关系演进背后的驱动因子以及彼此之间的交互作用有待进一步研究。同时,以往对于甘南黄河水源补给区的研究主要集中在农牧户生计及适应性^[18-19]、草原生态补偿机制^[20]、社会资本及其生态效应等^[21]方面,对人地系统耦合关系的研究鲜有报道。

甘南黄河水源补给生态功能区(简称补给区,下同)是典型水源涵养型国家重点生态功能区,在维系黄河流域水资源和生态安全方面有重要作用。受人类活动胁迫引发区域水源涵养能力下降、生物多样性减少等生态服务功能下降,已影响黄河流域乃至全国生态安全。当前,亟需厘清“人—地”关系状态,解构人地关系系统结构及相互作用。本研究在构建人地

关系综合评价指标体系的基础上,运用加权法测评2005—2019年甘南黄河水源补给区人地关系时空演变特征,采用响应度模型和地理探测器分析人地关系演变的驱动因素和作用机制,旨在为制定补给区人地耦合的高质量发展战略提供决策依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

如图1所示,甘南黄河水源补给区位于甘肃省南部,总面积33 827 km²,辖9县1市,包括纯牧业区(玛曲、碌曲、夏河3县和合作市)、半农半牧区(卓尼县)和农业区(临潭、临夏、康乐、和政、积石山5县)3种农业地域类型。补给区以占黄河流域4%的面积,每年向黄河补水108.1亿m³,占黄河源区总径流量184.13亿m³的58.7%,是黄河重要的水源补给区。然而,补给区草原“三化”严重,湿地面积减少,水土流失加剧,生态环境恶化的同时,隶属“三区三州”深度贫困区^[21],面临着全面小康与生态保护的双重任务。

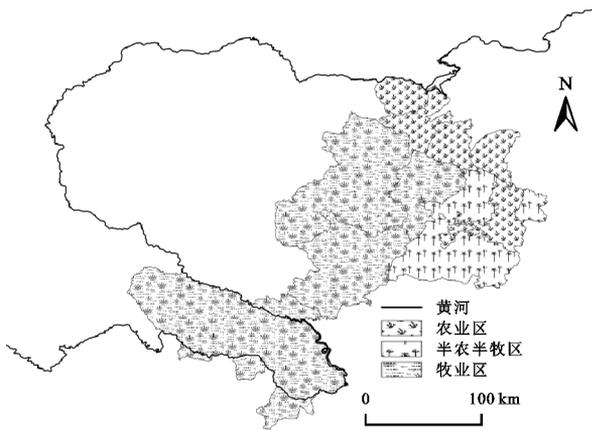


图1 研究区概况

1.2 指标体系构建

人地关系地域系统是由“人”与“地”即人类活动系统与资源环境系统构成的复杂开放巨系统^[5]，“人”系统为人类文明构成的经济社会系统，“地”系统为人类赖以生存发展的资源环境系统。“人”与“地”系统在对立统一中协调发展,人类活动强度与资源环境承载能力的匹配程度直观反映人地关系状态^[1]。人类社会在寻求生存与发展的过程中,不断向资源环境系统索取所需物质资料产生环境压力,资源环境为人类活动提供资源能源与环境支持。随着人类文明及生产力的进步,人类社会的亲环境行为调控治理资源环境系统产生良性的响应反馈作用,促进人地关系协调发展。本研究基于人地关系地域系统理论,充分吸收国家给予补给区的功能区类型、功能定位、发展方向以及考核评价等内容,针对区域“人—畜—草”复合生

态经济系统实际,结合前人研究^[17],构建人地关系综合评价指标体系。如表1所示,人类活动强度体现在人口、经济和区域开发强度3个方面^[22]。其中,“人”既是人地关系的核心组成要素,又是人地关系的创造和推动者^[6],涵盖人口数量和人口质量两方面,选取人口密度反映人口数量,平均受教育年限反映人口质量。区域开发强度反映区域空间的优化开发与拓展。考虑到研究区以畜牧业为主导产业,指标选取涵盖经济发展和畜牧业开发强度两个维度。具体用经济密度、畜牧业产值占比、人均畜牧业产值反映经济发展水平,城镇化率表征社会发展,以畜牧业开发强度、单位面积畜产品量、单位面积载畜量反映畜牧业发展水平、生产效率和发展模式。其中畜牧业开发强度(RD)是畜牧业发展的内部市场基础和重要支撑。

$$RD = \frac{1}{A} (G \times P)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中:RD表示畜牧业开发强度;A为可利用草原面积;G和P分别表示畜牧业产值和农业劳动力。

资源环境是人地关系可持续发展的基础保障和重要支撑^[4],包括资源环境本底、资源环境承载压力和资源环境治理。基于研究区以草原生态系统为主,兼有农田生态系统的实际,选取人均草地面积、畜均草地面积、人均耕地面积、人均水资源量反映补给区的草地、耕地和淡水资源条件,以此刻画资源环境本底特征和区域资源环境支撑力。研究表明^[23],超载过牧引发的草地退化和过度耕作导致的水土流失是研究区资源环境压力的根源,故选取单位耕地面积化肥施用量、草原“三化”面积和超载过牧率表征资源环境压力。同时,针对补给区生态环境问题,国家实施了“退牧还草”工程、“草原生态保护补助奖励机制”及《甘南黄河重要水源补给生态功能区生态保护与建设规划(2013—2020年)》等系列措施,强化草原生态保护。基于此,选取草原围栏面积、草原鼠害防治面积、补播改良面积以及水土流失治理面积反映资源环境综合治理即资源环境抗压力。

1.3 数据来源与权重计算

选取甘南黄河水源补给区2005—2019年相关指标数据。其中,资源环境压力与资源环境治理数据由甘南州和临夏州林业林草局、水务局等相关部门提供;城镇化率、超载过牧率数据来源于县级统计局网站以及相关文献;其余数据来源于历年《甘肃发展年鉴》《甘肃农村统计年鉴》和《甘南州年鉴》。部分缺漏数据采用插空法补齐。考虑到因评价指标量纲不同所造成的评价的不可测度性,本研究将各指标数据进行无量纲化处理,同时运用熵权法确定各指标权重,具体权重数值见表1。

表1 人地关系评价指标体系

系统层	表达层	指标层	指标说明	单位	属性	权重
人类活动强度	人口规模扩张	总人口	反映人口数量	万人	+	0.014
		人口自然增长率		%	+	0.012
		平均受教育年限	反映人口质量	a	+	0.055
	区域开发强度	经济密度	反映经济发展水平	万元/km ²	+	0.048
		畜牧业产值占农业产值比重	反映产业结构调整状况	%	+	0.032
		人口密度	反映人口集聚程度	km ² /人	+	0.028
		城镇化率	反映社会发展状况	%	+	0.034
		人均牧业产值	反映畜牧业劳动生产率	元/(人·a)	+	0.047
		畜牧业开发强度	反映畜牧业发展水平	元/hm ²	+	0.050
		单位面积畜产品量	反映畜牧业生产效率	t/hm ²	+	0.036
资源环境承载力	资源环境本底	单位面积载畜量	反映畜牧业发展模式	羊单位/hm ²	+	0.027
		人均草地面积	反映草地资源条件	hm ² /人	+	0.070
		畜均草地面积		hm ² /羊单位	+	0.019
	资源环境压力	人均耕地面积	反映耕地资源条件	hm ² /人	+	0.077
		人均水资源拥有量	反映淡水资源条件	m ³ /人	+	0.065
		单位耕地面积化肥施用量	反映草原退化压力	kg/hm ²	-	0.041
		草地三化面积		万 hm ²	-	0.031
		水土流失面积		万 hm ²	-	0.020
		超载过牧率		%	-	0.020
		人均草原生态补偿	反映草原生态保护、治理能力	元/人	+	0.069
资源环境治理	草原围栏面积	反映禁牧、休牧、轮牧状况	万 hm ²	+	0.038	
	草原鼠害防治面积	反映草原生态治理状况	万 hm ²	+	0.043	
	补播改良面积		万 hm ²	+	0.048	
		水土流失治理面积		万 hm ²	+	0.045

1.4 研究方法

1.4.1 加权法 运用加权法测算人类活动强度指数(H)和资源环境承载力指数(R)。计算公式为^[7]:

$$H = \sum_{i=1}^m H'_i W_i \quad (2)$$

$$R = \sum_{j=1}^n R'_j W_j \quad (3)$$

式中: H, R 分别为人类活动强度指数与资源环境承载力指数; H'_i, R'_j 分别为 i, j 指标的标准化数值; W 为指标的权重。

为更直观地反映补给区人地关系状态的时空分异特征,采用“Nature Breaks”分类方法^[24],对人类活动强度与资源环境承载力进行分级与赋值。对同一区域的人类活动强度与资源环境承载力的等级进行比较,根据二者的差异,将相差4个、3个、2个及1个级别分别界定为极度、高度、中度及轻度紧张(或宽松),属同

一级别的为基本协调^[17](表2)。

1.4.2 人地关系响应度模型 构建资源环境承载力对于人类活动强度变化的响应度模型,反映经济社会发展过程中资源环境承载力的响应状况及其变化趋势。响应度函数为^[7]:

$$I(t) = \frac{dR_t}{dH_t} \times \frac{H_t}{R_t} \quad (4)$$

式中: $I(t)$ 为响应度函数; I 为响应度指数; H_t, R_t 和 $\frac{dR_t}{dH_t}$ 分别为 t 时期人类活动强度指数、资源环境承载力指数及其导数。

进一步界定响应度指数,对其取绝对值:

$$V = |I| \quad (5)$$

式中: V 值越大表示人类活动强度对资源环境承载力的影响程度越大,反之越小,响应度划分标准如表3所示^[25]。

表2 甘南黄河水源补给区分级比较方法

指标	分级及赋值
人类活动强度(H)	极强(2);较强(1);一般(0);较弱(-1);极弱(-2)
资源环境承载力(R)	极度紧张(-4);高度紧张(-3);中度紧张(-2);轻度紧张(-1);基本协调(0);轻度宽松(1);中度宽松(2);高度宽松(3);极度宽松(4)
人地关系($H-R$)	$[-0.051, 0.110] = -2$; $(0.110, 0.190] = -1$; $(0.190, 0.255] = 0$; $(0.255, 0.334] = 1$; $(0.334, 0.454] = 2$
“Nature Breaks”分类结果及赋值	

表 3 资源环境承载力对人类活动强度的响应度取值含义

I 值	响应度类型	I 与 V 的关系	I 值变化	表示含义
$I > 0$	正响应	$I = V$	I 增大	活动强度以增速增大状态提升资源环境承载力
			I 不变	活动强度以增速恒定状态提升资源环境承载力
			I 减小	活动强度以增速减小状态提升资源环境承载力
$I = 0$	无响应	$I = V = 0$		活动强度对资源环境承载能力无影响
$I < 0$	负响应	$I = -V$	I 增大	活动强度以增速减小状态降低资源环境承载力
			I 不变	活动强度以增速恒定状态降低资源环境承载力
			I 减小	活动强度以增速增大状态降低资源环境承载力

1.4.3 地理探测器 地理探测器是探测地理现象空间分异性并揭示其背后驱动力的统计学方法,适用于分析各种空间现象的解释因素及因子间的交互作用,其核心思想是通过探测自变量与因变量的空间分布是否具有相似性来揭示引起因变量空间分异的驱动力。本研究使用因子探测器中的 q 值来度量各因素对甘南黄河水源补给区各县域响应度空间分异的影响程度^[26]:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (6)$$

式中: $0 \leq q \leq 1$, q 值越大表明人类活动强度对资源环境承载力时空演变的解释力越大; $q = 1$ 表明人类活动强度与资源环境承载力的空间分布具有一致性。 L 为影响因子的样本数; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 为层 h 和全区响应度的方差。交

互作用探测器通过比较单变量的 q 值与双变量交互作用的 q 值来探测双变量交互作用的方向及强度,并评估变量交互作用是否会增加或减弱单变量对因变量 Y 的解释程度。具体探测方法是比较变量 X_1, X_2 与两者交互后的 q 值,即 $q(X_1), q(X_2)$ 和 $q(X_1 \cap X_2)$, 判断变量 X_1 和 X_2 交互作用的类型。若 $\max[q(X_1), q(X_2)] < q(X_1 \cap X_2)$, 则变量 X_1 和 X_2 的交互类型为双因子增强型;若 $q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$, 则 X_1 和 X_2 的交互类型为非线性增强型。

2 结果与分析

2.1 甘南黄河水源补给区人地关系时空演变分析

2.1.1 人类活动强度分析 如图 2 所示,2005—2019 年甘南黄河水源补给区人类活动强度呈显著增强趋势。2005—2010 年和 2010—2019 年人类活动强度分别平均提升 1 个等级和 2 个等级。

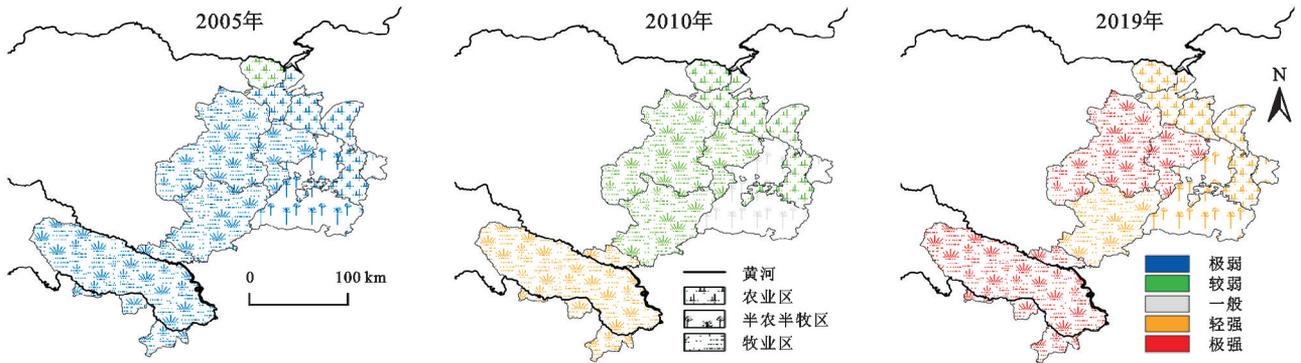


图 2 甘南黄河水源补给区人类活动强度格局

从自然区域变化看,纯牧区、半农半牧区的人类活动强度整体高于农区。2005 年,各类型区域人类活动强度平均指数值 H 为 0.035 整体表现极弱,至 2010 年农区人类活动强度平均指数值 H 增长为 0.168 表现为较弱,半农半牧区($H = 0.206$)提升为一般型,纯牧区($H = 0.204$)提升为较弱和较强。2019 年,农区($H = 0.321$)人类活动强度提升为较强型,纯牧区(0.371)及半农半牧区(0.373)提升为极强型。

2.1.2 资源环境承载力分析 如图 3 所示,甘南黄

河水源补给区资源环境承载力具有显著的时空分异特征。从时间演化角度分析,其演变历经了良好—下降—恢复 3 个阶段。2005—2010 年,各县域承载力平均下降 1 个等级,2010—2019 年,生态环境趋于恢复,资源环境承载力平均提升 2 个等级,但仍未恢复至 2005 年的状态。

从各区域状况看,2005 年和 2010 年纯牧区的资源环境承载力高于农区、半农半牧区,2019 年农区资源环境承载力高于纯牧区、半农半牧区。2005 年,纯

牧区资源环境承载力指数 $R = 0.323$, 分别高于农区 (0.201) 2 个等级、半农半牧区 (0.218) 1 个等级; 2010 年, 纯牧区资源环境承载力 (0.176) 下降为一般或较弱型, 半农半牧区 (0.144) 下降为较弱型, 农区 (0.147) 下降为较弱和极弱型。2019 年, 农区 (0.402) 提升为较强和极强型, 半农半牧区 (0.272) 提升为一般型, 纯牧区 (0.204) 仍为较弱型。究其原因主要在于, 资源环境承载力的提

升与国家治理政策息息相关。2008 年以来, 《甘南州生态文明建设示范工程试点实施规划》(2008 年)、“草原生态保护补助奖励机制”(2011 年)、《甘肃省甘南藏族自治州生态环境保护条例》(2013 年) 和《甘南州生态文明先行示范区建设实施方案》(2014 年) 等系列政策制度的实施, 切实降低了人类活动对生态资源的破坏, 提升了资源利用效率与生态修复力度。

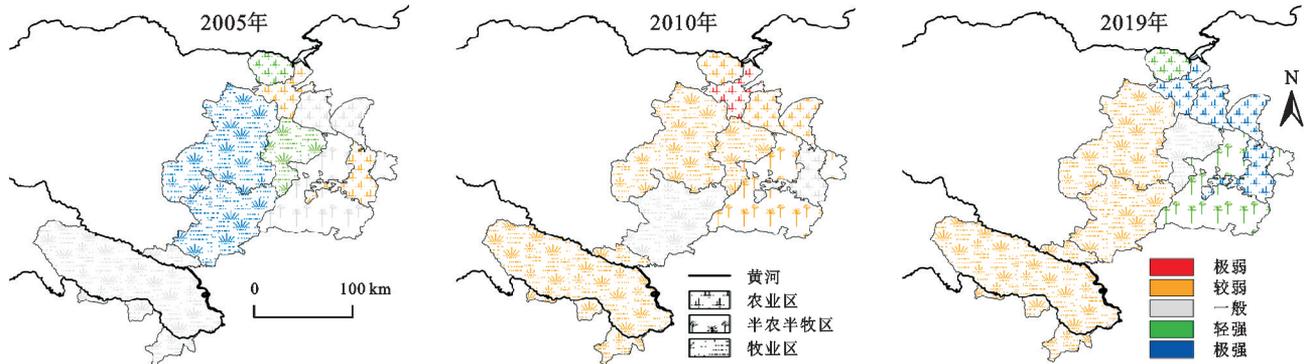


图3 甘南黄河水源补给区资源环境承载力格局

2.1.3 人地关系综合状态分析 如图4所示, 从总体上看, 2005—2019年甘南黄河水源补给区人地关系经历了中高度宽松—中轻度紧张—中高度紧张3个发展阶段。

2005年研究区呈可持续发展状态, 2005—2010年、2010—2019年人地关系综合状态分别平均下降3个、1个等级, 人地关系趋于紧张。从各区域看, 2005年, 纯牧区人地关系平均协调等级高于半农半牧区及农区, 纯牧区为中高度、极度宽松类型, 农区及半农半牧区均为轻中度宽松, 人地关系综合状态良好。

2010年, 农区人地关系下降为基本协调或轻度紧张, 半农半牧区下降为轻度紧张, 牧区则下降为基本协调和中度紧张类型。2005—2010年, 超载放牧等不合理人类活动对原本脆弱的生态环境施加压力, 人地关系趋于紧张。2010—2019年, 农区人地关系平均协调等级均高于纯牧区、半农半牧区。2019年, 农区提升为轻度宽松, 牧区下降为中高度紧张。2010—2019年, 随着国家相关生态环境保护政策颁布及实施, 研究区人地关系的紧张态势趋于缓和, 但仍呈中高度紧张状态。

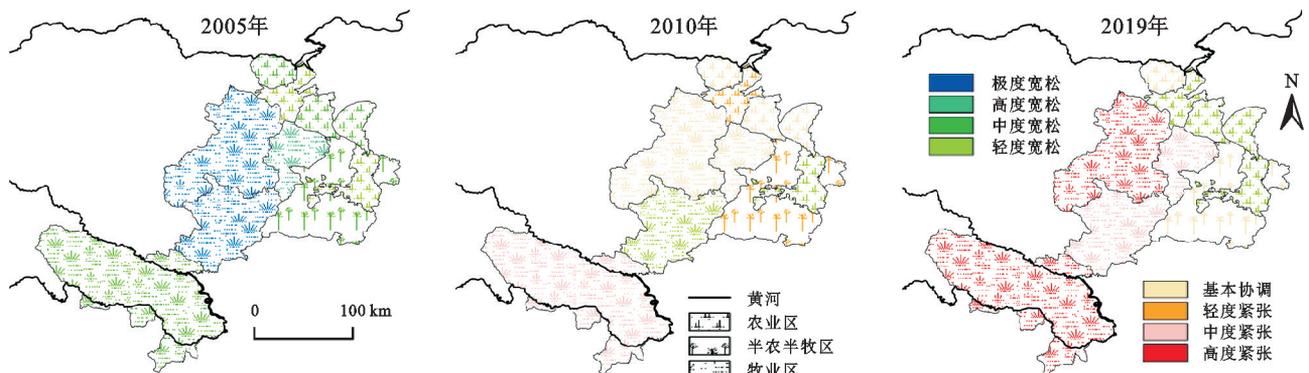


图4 甘南黄河水源补给区人地关系综合状态

2.2 资源环境承载力对人类活动强度的响应度

利用 SPSS 23.0 对各县域的资源环境承载力指数 R 和人类活动强度指数 H 进行拟合, 得到两者的最优响应方程, 如表4所示。

结合式(4)计算得到 2005—2019 年各县域资源环境承载力对人类活动强度的响应度指数, 从表5可以看出, 2005—2019 年甘南黄河水源补给区资源环

境承载力对人类活动强度的响应度指数呈现出明显的时间演化特征。甘南黄河水源补给区 10 县(市)中, 仅合作市资源环境承载力对人类活动强度的响应度指数呈上升趋势, 其余县域响应度指数呈先上升后下降的趋势。合作市资源环境承载力对人类活动强度的响应度指数从“胁迫效应”减弱(2005—2011年)向“促进效应”增强(2012—2019年)变化, 表明人类活

动有助于当地资源环境承载力提升。临夏、和政和积石山 3 县 2005—2019 年响应度指数整体为正值,表现人类活动对资源环境承载力具有“促进效应”,且正向作用程度波动上升至 2015 年后呈现“促进效应”减弱变化。

康乐、临潭、卓尼、玛曲、碌曲和夏河 6 个县,2005—2009 年响应度指数以负值为主但不断增长,表现为“胁迫效应”减弱;2010 年以来,各县响应度指

数由正值依次变化为负值,表现出由“促进效应”减弱向“胁迫效应”增强的演变趋势,且“促进效应”的持续时间体现出显著的区域分异性。其中,康县和卓尼县人类活动对资源环境承载力的“促进效应”持续时间最长至 2019 年;碌曲县“促进效应”维持时间最短,早在 2013 年便体现出单调的“胁迫效应”递增演变趋势;夏河、碌曲和临潭 3 县 2016 年以来体现出显著的“胁迫效应”增强的变化趋势。

表 4 各县域资源环境承载力对人类活动强度的响应函数及其检验

县域	响应函数	$\frac{dR}{dH}$	拟合优 R^2	统计量 p
临夏县	$R = -34.196H^3 + 16.997H^2 - 0.735H + 0.05$	$-102.588H^2 + 32.99H - 0.735$	0.748	0.001
康乐县	$R = -19.907H^3 + 13.395H^2 - 1.761H + 0.24$	$-59.721H^2 + 26.79H - 1.761$	0.623	0.110
和政县	$R = 2.666H^2 - 0.228H + 0.222$	$5.332H - 0.228$	0.334	0.088
积石山县	$R = 2.263^H + 0.139$	$2.263^H \ln 2.263$	0.232	0.069
合作市	$R = 1.596H^2 - 0.604H + 0.284$	$3.192H - 0.604$	0.222	0.222
临潭县	$R = -42.34H^3 + 18.126H^2 - 0.75H + 0.166$	$-127.02H^2 + 36.252H - 0.75$	0.812	0.000
卓尼县	$R = -12.927H^3 + 9.358H^2 - 1.568H + 0.241$	$-38.781H^2 + 18.761H - 1.568$	0.557	0.025
玛曲县	$R = -26.486H^3 + 18.13H^2 - 3.449H + 0.303$	$-79.458H^2 + 36.26H - 3.449$	0.73	0.002
碌曲县	$R = -27.528H^3 + 16.727H^2 - 3.257H + 0.425$	$-82.584H^2 + 33.454H - 3.257$	0.493	0.051
夏河县	$R = -20.075H^3 + 13.619H^2 - 2.634H + 0.319$	$-60.225H^2 + 27.238H - 2.634$	0.641	0.008

表 5 2005—2019 年各县域响应度指数

年份	临夏县	康乐县	和政县	积石山县	合作市	临潭县	卓尼县	玛曲县	碌曲县	夏河县
2005	0.749	-0.221	0.013	0.109	-0.048	0.017	-0.119	-0.227	-0.175	0.036
2006	2.298	-0.274	0.068	0.175	-0.069	-0.057	-0.233	-0.420	-0.319	-0.207
2007	2.563	0.248	0.286	0.300	-0.081	-0.023	-0.231	-0.943	-0.456	-0.347
2008	1.587	-0.309	0.039	0.011	-0.137	0.222	-0.068	-0.681	-0.361	-0.461
2009	1.826	-0.343	0.086	0.023	-0.128	0.398	0.057	-0.174	-0.184	-0.295
2010	3.087	1.435	0.797	0.274	-0.077	1.160	0.795	1.473	0.097	0.330
2011	0.841	1.345	0.866	0.193	-0.005	0.797	0.573	0.943	0.118	0.322
2012	0.862	1.132	0.954	0.145	0.052	0.569	0.873	0.933	0.075	0.455
2013	1.040	1.277	1.109	0.288	0.110	0.518	0.853	0.776	-0.014	0.405
2014	1.186	1.152	0.729	0.394	0.211	0.392	0.614	0.781	-0.256	0.466
2015	1.440	0.926	1.028	0.499	0.399	0.133	0.601	0.404	-0.449	0.334
2016	0.928	0.968	1.011	0.561	0.540	-0.276	0.655	-0.200	-0.892	0.146
2017	1.038	0.995	0.343	0.137	0.438	-0.784	0.578	-0.604	-1.533	-0.364
2018	0.575	0.800	0.368	0.127	0.608	-1.452	0.423	-2.172	-2.291	-1.098
2019	-0.611	-0.220	1.177	0.444	1.069	-1.587	-0.047	-2.545	-3.298	-3.303

2.3 人地关系演进的驱动因素分析

研究表明,人口、生产力、生产关系和自然因素是影响人地关系演变的主要因素^[6]。农牧民是最活跃的动力,是草原利用与生态保护的直接主体,并通过种植、养殖等生产活动直接作用于资源环境的同时,

其受教育程度与绿色发展意识的提升,有助于缓解人地关系紧张态势^[27]。生产力是人地关系演变最直接的推动力量。生产力发展不仅体现在经济规模的扩大,而且体现为以生产技术进步和经济发展模式转型为主要表征的发展质量,在水源补给区最主要表现在

以单位草地面积畜牧业产值为表征的畜牧业发展水平提升。生产关系包括生产资料所有制关系、生产过程中的人人关系以及产品的分配关系3个方面,主要通过制度设计与安排影响人地关系演变。研究发现^[28],草原生态保护与补助奖励政策对农牧民草原保护意愿与行为具有直接影响作用。另外,以草原和耕地为表征的“地”在人地关系演变中主要发挥支撑和制约作用。

综上,以资源环境承载力对人类活动强度变动的响应度指数为因变量,以人口密度(X_1)、平均受教育年限(X_2)、经济密度(X_3)、农牧民人均纯收入(X_4)、畜牧业发展水平(X_5)、牲畜数量(X_6)、人均耕地面积(X_7)和人均草原生态保护补助奖励(X_8)8项指标为自变量,基于地理探测器分析各因变量对响应度的影响程度及其变化。

运用地理探测器模型分别对2005年、2010年和2019年甘南黄河水源补给区的人地关系响应度演变进行因子探测,因子探测结果如表6所示。

表6 影响因素 q 值与交互因子探测结果

因素	2005年		2010年		2019年	
	q 值	p 值	q 值	p 值	q 值	p 值
X_1	0.392	0.000	0.322	0.000	0.746	0.000
X_2	0.059	0.005	0.403	0.000	0.221	0.000
X_3	0.729	0.000	0.771	0.000	0.221	0.000
X_4	0.307	0.000	0.249	0.000	0.501	0.000
X_5	0.279	0.000	0.758	0.000	0.501	0.000
X_6	0.922	0.000	0.454	0.000	0.427	0.000
X_7	0.570	0.000	0.386	0.000	0.349	0.000
X_8	—	—	—	—	0.263	0.000

2005—2019年,所有影响因子均通过了0.01显著性水平检验。2005年各因子对响应度空间分异的影响系数介于0.1~0.9,解释强度较高的因子依次为牲畜数量(0.922)>经济密度(0.729)>人均耕地面积(0.570)。2010年各因子对响应度空间分异的影响系数介于0.2~0.8,解释强度较高的因子依次为经济密度(0.771)>畜牧业发展水平(0.758)>牲畜数量(0.454)。2019年各因子对响应度空间分异的影响系数介于0.2~0.8,解释强度较高的因子依次为人口密度(0.746)、畜牧业发展水平(0.501)和农牧民人均纯收入(0.501)。对比2005年、2010年和2019年3个时间段影响因子的变化情况可以看出,2005年牲畜数量、经济密度和人均耕地面积是影响响应度空间分异的主导因素;2010年畜牧业发展水平取代人均

耕地面积成为主导因素;至2019年,人口密度、畜牧业发展水平和农牧民收入成为主要影响因素,体现出补给区发展模式由通过资源强依赖追求经济增长向以畜牧业生产效率提升为主的可持续发展方式转变。

甘南黄河水源补给区人地关系响应度演变影响因子交互作用探测结果表明(表7),2005—2019年补给区响应度空间分异变化中,双因子之间的交互作用呈现出非线性增强和双因子增强两种关系,不存在独立起作用的因子,两两因子交互后均增强了响应度空间分异的解释力度,且非线性增强效应增长的解释力度高于双因子增强效应。2005年,双因子交互作用值0.950及以上的有15个,占比71%,双因子交互作用值为1的有7个,呈非线性增强相互作用的有11个,占比52%。2010年,双因子交互作用值在0.950及以上的有11个占比52%,其中人口密度和平均受教育年限的相互作用值最大为1。2019年双因子交互作用值0.950及以上的有8个,占比29%,双因子交互作用值为1的有4个,分别为耕地面积∩人口密度/农牧民人均纯收入/畜牧业发展水平/牲畜数量。呈非线性增强相互作用的有10个,占比36%。其中,耕地面积、牲畜数量、人均草原生态补助奖励、平均受教育年限和经济密度产生非线性增强效应的频率最高,是主要交互因子。

3 讨论与结论

3.1 讨论

系统评价人地关系综合状态及演变规律是实现区域生态安全与高质量发展的前提。张佩佩等^[29]运用生态足迹法研究发现,自2018年以来甘南州出现生态赤字,生态承载力未来发展不容乐观;孙梦华等^[30]对1995—2020年黄河流域中上游段生态系统服务价值时空演变研究表明,陕甘宁地区生态系统服务价值总量呈现“下降—上升”变化。温煜华^[31]研究认为,甘南黄河重要水源补给区生态环境与社会经济两系统的耦合度一直处于较低状态,两系统长期处于拮抗状态。本研究发现,甘南黄河水源补给区人类活动对资源环境承载的施压不断增强,资源环境承载力得到有限恢复,3个阶段。这与上述学者研究结论基本一致。

本研究发现,甘南黄河水源补给区人地关系历经中高度宽松—中轻度紧张—中高度紧张的演变过程,未来人地关系趋紧。李小建等^[17]基于人地关系视角分析了黄河流域地市级人类活动施压、资源环境承压及两者关系,结果表明,2017年近1/5的地

区趋于紧张,人类活动施压强度不断增强使人地关系趋于紧张。温煜华^[31]分析了甘南黄河重要水源补给区生态环境与社会经济的耦合协调过程与变化趋势,结果发现 2007—2017 年 10 a 间生态环境与社会经济系统的耦合协调度呈现先下降再波动上升后

下降的趋势,经历了濒临失调衰退型—勉强耦合协调型—中级耦合协调型—勉强耦合协调型 4 个发展阶段。不难看出,本研究对甘南黄河水源补给区当前人地关系基本状态及未来演变趋势的判断与前人研究结论基本一致。

表 7 交互作用探测结果

2005 年			2010 年			2019 年		
交互项	交互值	交互作用	交互项	交互值	交互作用	交互项	交互值	交互作用
$X_1 \cap X_2$	1.000	非线性增强	$X_1 \cap X_2$	1.000	非线性增强	$X_1 \cap X_2$	0.960	双因子增强
$X_1 \cap X_3$	0.950	双因子增强	$X_1 \cap X_3$	0.782	双因子增强	$X_1 \cap X_3$	0.960	双因子增强
$X_1 \cap X_4$	0.431	双因子增强	$X_1 \cap X_4$	0.665	非线性增强	$X_1 \cap X_4$	0.839	双因子增强
$X_1 \cap X_5$	0.988	非线性增强	$X_1 \cap X_5$	0.986	双因子增强	$X_1 \cap X_5$	0.839	双因子增强
$X_1 \cap X_6$	0.989	双因子增强	$X_1 \cap X_6$	0.659	双因子增强	$X_1 \cap X_6$	0.879	双因子增强
$X_1 \cap X_7$	0.965	非线性增强	$X_1 \cap X_7$	0.796	非线性增强	$X_1 \cap X_7$	1.000	双因子增强
$X_2 \cap X_3$	1.000	非线性增强	$X_2 \cap X_3$	0.987	双因子增强	$X_1 \cap X_8$	0.816	双因子增强
$X_2 \cap X_4$	1.000	非线性增强	$X_2 \cap X_4$	0.969	非线性增强	$X_2 \cap X_3$	0.222	双因子增强
$X_2 \cap X_5$	0.350	非线性增强	$X_2 \cap X_5$	0.793	双因子增强	$X_2 \cap X_4$	0.597	双因子增强
$X_2 \cap X_6$	1.000	非线性增强	$X_2 \cap X_6$	0.686	双因子增强	$X_2 \cap X_5$	0.597	双因子增强
$X_2 \cap X_7$	0.828	非线性增强	$X_2 \cap X_7$	0.969	非线性增强	$X_2 \cap X_6$	0.962	非线性增强
$X_3 \cap X_4$	0.988	双因子增强	$X_3 \cap X_4$	0.986	双因子增强	$X_2 \cap X_7$	0.751	非线性增强
$X_3 \cap X_5$	0.988	双因子增强	$X_3 \cap X_5$	0.983	双因子增强	$X_2 \cap X_8$	0.674	非线性增强
$X_3 \cap X_6$	0.988	双因子增强	$X_3 \cap X_6$	0.783	双因子增强	$X_3 \cap X_4$	0.597	双因子增强
$X_3 \cap X_7$	0.745	双因子增强	$X_3 \cap X_7$	0.796	双因子增强	$X_3 \cap X_5$	0.597	双因子增强
$X_4 \cap X_5$	0.988	非线性增强	$X_4 \cap X_5$	0.955	双因子增强	$X_3 \cap X_6$	0.962	非线性增强
$X_4 \cap X_6$	0.939	双因子增强	$X_4 \cap X_6$	0.930	非线性增强	$X_3 \cap X_7$	0.751	非线性增强
$X_4 \cap X_7$	1.000	非线性增强	$X_4 \cap X_7$	0.969	非线性增强	$X_3 \cap X_8$	0.674	非线性增强
$X_5 \cap X_6$	1.000	双因子增强	$X_5 \cap X_6$	0.987	双因子增强	$X_4 \cap X_5$	0.511	双因子增强
$X_5 \cap X_7$	0.944	非线性增强	$X_5 \cap X_7$	0.969	双因子增强	$X_4 \cap X_6$	0.876	双因子增强
$X_6 \cap X_7$	1.000	双因子增强	$X_6 \cap X_7$	0.785	双因子增强	$X_4 \cap X_7$	1.000	非线性增强
—	—	—	—	—	—	$X_4 \cap X_8$	0.553	双因子增强
—	—	—	—	—	—	$X_5 \cap X_6$	0.876	双因子增强
—	—	—	—	—	—	$X_5 \cap X_7$	1.000	非线性增强
—	—	—	—	—	—	$X_5 \cap X_8$	0.553	双因子增强
—	—	—	—	—	—	$X_6 \cap X_7$	1.000	非线性增强
—	—	—	—	—	—	$X_6 \cap X_8$	0.512	双因子增强
—	—	—	—	—	—	$X_7 \cap X_8$	0.854	非线性增强

朱纹君^[32]基于宏观生态经济系统,选取宏观经济指标和气候类型指标,实证研究了黄河三角洲人地关系协调度时空演变,得到 1998—2018 年黄河三角洲人地关系整体呈良好协调水平,人地关系逐步缓和。本研究基于黄河水源补给区“人—畜—草”基本状况及内在关系,侧重于分析畜牧业发展和草原生

态之间的协调关系,得到人地关系趋于紧张,这与朱纹君研究结论相左。究其原因,人—地系统演进过程中,其演进特征、系统结构及其关系因研究区域、研究视角与评价指标选取不同体现出明显的时空分异性。因此,具体实证研究中应因地制宜多视角、系统性探索^[4]。

本研究表明,现阶段人口密度、畜牧业发展水平和农牧民人均纯收入代替牲畜数量、经济密度和人均耕地面积成为影响响度空间分异的主导因素,体现出研究区域发展方式的绿色转型方向。一方面,随着生态问题频发和国家对生态文明建设重视程度的不断提升,以牺牲生态环境为代价,换取种养规模的行为已不可取。另一方面,随着经济发展水平和农牧民草原生态保护意识的不断提升,农牧民生计方式逐渐趋于多元化,收入水平不断提高,促使农牧民对美好环境的诉求^[33],进而增强了资源环境承载力对人类活动强度的响应。另外,通过生产技术改进提高畜牧业生产效率,不仅有助于减轻资源环境的压力,而且可以强化资源环境保护行为,进而提高资源环境承载力。

3.2 结论

本研究以甘南黄河水源补给生态功能区作为研究对象,构建人地关系综合评价指标体系,运用人地关系综合评价、响度模型以及地理探测器研究了2005—2019年人地关系时空演变特征及驱动因素。可以得出如下结论:(1)研究区资源环境承载力得到有限恢复,而日趋增强的人类活动强度对资源环境产生更大的“胁迫效应”,人地关系处于中高度紧张状态,且县域分异特征明显,未来人地关系趋紧。(2)人地关系时空演变是多重因素综合作用的结果,畜牧业发展水平、人口密度、农牧民收入是主要的驱动因子,且因子之间存在非线性增强和双因子增强的交互作用。(3)加快畜牧业绿色发展转型,增强农牧民生计资本和生计能力,是当地发展突破资源环境路径依赖,实现人地协调高质量发展的有效路径。

参考文献:

- [1] 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学[J]. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234.
- [2] 王长征, 刘毅. 人地关系时空特性分析[J]. 地域研究与开发, 2004, 23(1): 7-11.
- [3] 蔡运龙. 人地关系研究范型: 哲学与伦理思辨[J]. 人文地理, 1996, 11(1): 1-6.
- [4] 吴传钧. 人地关系地域系统的理论研究及调控[J]. 云南师范大学学报, 2008, 40(2): 1-3.
- [5] 李小云, 杨宇, 刘毅, 等. 中国人地关系的系统结构与2050年趋势模拟[J]. 地理科学, 2021, 41(2): 187-197.
- [6] 李小云, 杨宇, 刘毅. 中国人地关系的历史演变过程及影响机制[J]. 地理研究, 2018, 37(8): 1495-1514.
- [7] 李华, 高强, 丁慧媛. 中国海洋经济发展的生态环境响应变化及影响因素分析[J]. 统计与决策, 2020, 36(20): 114-118.
- [8] 胡书玲, 余斌, 卓蓉蓉, 等. 中国陆域地表人类活动与自然环境的空间关系研究[J]. 生态学报, 2020, 40(12): 3935-3943.
- [9] 宋洋, 朱道林, 张立新, 等. 2000年以来黄河流域土地市场化时空格局演变及驱动因素[J]. 自然资源学报, 2020, 35(4): 799-813.
- [10] 曹乃刚, 赵林, 高晓彤. 黄河三角洲县域绿色经济效率的时空演变与驱动机制[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3299-3310.
- [11] 赵敏敏, 何志斌, 蔺鹏飞, 等. 基于压力—状态—响应模型的黑河中游张掖市生态安全评价[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 9039-9049.
- [12] 程钰, 王晶晶, 王亚平, 等. 中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究[J]. 地理研究, 2019, 38(11): 2745-2765.
- [13] 杨宇, 李小云, 董雯, 等. 中国人地关系综合评价的理论模型与实证[J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1063-1078.
- [14] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 726-739.
- [15] 李扬, 汤青. 中国人地关系及人地关系地域系统研究方法述评[J]. 地理研究, 2018, 37(8): 1655-1670.
- [16] 翟家宁, 李宏庆, 任婉侠, 等. 市域尺度农村系统氮素流动及污染氮足迹核算: 以沈阳市为例[J]. 应用生态学报, 2021, 32(12): 4475-4487.
- [17] 李小建, 文玉钊, 李元征, 等. 黄河流域高质量发展: 人地协调与空间协调[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 1-10.
- [18] 高志玉, 赵雪雁, 兰海霞, 等. 多重压力对重点生态功能区农户生计资产可得性的影响: 以甘南黄河水源补给区为例[J]. 地理研究, 2020, 39(5): 1152-1165.
- [19] 赵雪雁, 介永庆, 何小风, 等. 多重压力下重点生态功能区农户的生计适应性研究: 以甘南黄河水源补给区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(1): 140-149.
- [20] 赵雪雁, 张丽, 江进德, 等. 生态补偿对农户生计的影响: 以甘南黄河水源补给区为例[J]. 地理研究, 2013, 32(3): 531-542.
- [21] 陈强强, 陈文娟, 马亚飞, 等. 社会资本对牧户参与草原生态治理意愿的影响: 以甘南州黄河水源补给区为例[J]. 草业学报, 2021, 30(6): 40-53.
- [22] 徐志刚, 庄大方, 杨琳. 区域人类活动强度定量模型的建立与应用[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 452-460.
- [23] 王生荣, 李巍. 人地协调、中心城镇发展与甘南州新型城镇化研究[J]. 西北师范大学学报, 2014, 50(4): 104-110.
- [24] Li X J, Jim P, Liu G J, et al. Assessing regional sustainability: the case of land use and land cover change in the middle Yiluo catchment of the Yellow River basin, China [J]. Applied Geography, 2001, 21(1): 87-106.

- 时空分异研究:以广西土地农产品为例[J].中国生态农业学报,2020,28(12):1859-1868.
- [31] 戴尔阜,李双元,吴卓,等.中国南方红壤丘陵区净生态系统生产力空间分布及其与气候因子的关系:以江西省泰和县为例[J].地理研究,2015,34(7):1222-1234.
- [32] 陈晓杰,张长城,张金亭,等.基于CASA模型的植被净初级生产力时空演变格局及其影响因素:以湖北省为例[J].水土保持研究,2022,29(3):253-261.
- [33] Tallis H T, Ricketts T, Guerry A D, et al. InVEST 2.6.0 User's Guide[M]. Stanford C A: The Natural Capital Project,2013.
- [34] Jopke C, Kreyling J, Maes J, et al. Interactions among ecosystem services across europe: bagplots and cumulative correlation coefficients reveal synergies, trade-offs, and regional patterns[J]. Ecological Indicators, 2015,49:46-52.
- [35] 高艳丽,李红波,侯蕊.汉江流域生态系统服务权衡与协同关系演变[J].长江流域资源与环境,2020,29(7):1619-1630.
- [36] 钱彩云,巩杰,张金茜,等.甘肃白龙江流域生态系统服务变化及权衡与协同关系[J].地理学报,2018,73(5):868-879.
- [37] 武文欢,彭建,刘焱序,等.鄂尔多斯市生态系统服务权衡与协同分析[J].地理科学进展,2017,36(12):1571-1581.
- [38] 冉凤维,罗志军,吴佳平,等.鄱阳湖地区生态系统服务权衡与协同关系的时空格局[J].应用生态学报,2019,30(3):995-1004.
- [39] 李冬花,张晓瑶,王咏,等.新安江流域生态系统服务演化过程及权衡协同关系[J].生态学报,2021,41(17):6981-6993.
- [40] 王修文,于书霞,史志华,等.南方红壤区生态系统服务权衡与协同关系演变对退耕还林的响应[J].生态学报,2021,41(17):1-13.
- [41] Feng Y Y, Zhao Y L, Yang Z M, et al. Spatio-temporal differentiation of trade-offs and synergies of ecosystem services in typical mountain areas of China [J]. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(2):268-279.

(上接第 386 页)

- [17] 李硕,沈占锋,刘克俭,等.大清河流域土地利用变化的地形梯度效应分析[J].农业工程学报,2021,37(5):275-284.
- [18] Li Q, Zhou Y, Mary A C, et al. Spatio-temporal changes in wildlife habitat quality in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1980 to 2100 based on the InVEST model[J]. Journal of Resources and Ecology, 2021,12:43-55.
- [19] 丁智强,华红莲,王平,等.哈尼梯田遗产核心区土地利用信息图谱及地形梯度效应[J].农业工程学报,2021,37(23):225-234.
- [20] 张国坤,邓伟,张洪岩,等.新开河流域土地利用格局变化图谱分析[J].地理学报,2010,65(9):1111-1120.
- [21] 赵璐,赵作权.基于特征椭圆的中国经济空间分异研究[J].地理科学,2014,34(8):979-986.
- [22] 赵媛,杨足膺,郝丽莎,等.中国石油资源流动源:汇系统空间格局特征[J].地理学报,2012,67(4):455-466.
- [23] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.

(上接第 396 页)

- [25] 张玉,任建兰,刘凯.近 15 年山东省人地关系演变过程与驱动因素分析[J].湖南师范大学自然科学学报,2019,42(2):1-8.
- [26] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [27] 桑晚晴,柴剑峰.川甘青毗邻藏区农牧民生计困境调研:基于川甘青三省八县的调查实证[J].资源开发与市场,2018,34(2):211-217.
- [28] 李志东,刘某承.我国草原生态保护补助奖励政策效应评价研究进展[J].草地学报,2021,29(6):1125-1135.
- [29] 张佩佩,董锁成,李泽红,等.甘南藏族自治州生态足迹与生态承载力分析[J].生态科学,2017,36(2):171-178.
- [30] 孙梦华,牛文浩,张蚌蚌,等.黄河流域土地利用变化下生态系统服务价值时空演变及其响应:以陕甘宁地区为例[J].应用生态学报,2021,32(11):3913-3922.
- [31] 温煜华.甘南黄河重要水源补给区生态经济耦合协调发展研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(12):35-43.
- [32] 朱纹君,韩美,魏丹妮,等.黄河三角洲人地关系协调度时空演变及其驱动机制[J].水土保持研究,2023,30(12):388-396.
- [33] 杜三强,程云湘,周国利.生态奖补政策下的牧民收入影响因素分析:以肃南、甘南为例[J].中国草地学报,2019,41(4):118-127.