

DOI: 10.20103/j.stxb.202310072154

李佳桐,唐海萍,邝佛缘.国家公园生态系统服务与农牧户福祉的时空耦合分析——以祁连山国家公园为例.生态学报,2024,44(15):6527-6539.
Li J T, Tang H P, Kuang F Y. Spatial-temporal coupling analysis of ecosystem service and well-being of farmers and herdsmen: A case study of Qilian Mountain National Park. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(15): 6527-6539.

国家公园生态系统服务与农牧户福祉的时空耦合分析 ——以祁连山国家公园为例

李佳桐^{1,2}, 唐海萍^{1,2,*}, 邝佛缘³

1 北京师范大学地理科学学部自然资源学院, 北京 100875

2 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

3 南京财经大学经济学院, 南京 210023

摘要:国家公园是国家生态安全屏障,面对生态系统服务退化与人类福祉提升的供需矛盾日益凸显的现实困境,明晰国家公园生态系统服务与人类福祉的耦合协调关系是国家公园科学管理的基础,也是可持续发展的内在需求。以祁连山国家公园为例,基于土地利用、统计年鉴和农牧户问卷调查数据,利用耦合协调模型,分析了国家公园试点建设过程中生态系统服务与农牧户福祉的耦合协调关系。结果表明:(1)国家公园建设的推进,提升了生态系统服务价值,主要贡献来源于冰川;空间上表现为能值聚集特征,高值区成片分布,低值区主要分布在西北区域。(2)农牧户福祉水平不断提升,主要体现在基本物质需求上,空间上呈现为“中间低东西高”的分异格局。(3)生态系统服务与农牧户福祉的耦合协调性有失衡趋势,主要表现为中度协调区面积下降,磨合区面积增加,超过三分之二的区域处于生态系统服务滞后于福祉发展水平;空间上,体现为严重失调区集中分布,磨合区逐渐成片,中度协调区逐步破碎化。

关键词:生态系统服务;农牧户福祉;耦合协调度;时空格局;祁连山国家公园

Spatial-temporal coupling analysis of ecosystem service and well-being of farmers and herdsmen: A case study of Qilian Mountain National Park

LI Jiatong^{1,2}, TANG Haiping^{1,2,*}, KUANG Foyuan³

1 School of Natural Resources, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology (ESPRE), Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 School of Economics, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China

Abstract: National Parks are the ecological security barrier of the country. Under the realistic dilemma of the increasingly prominent supply-demand contradiction between the degradation of ecosystem service and the improvement of human well-being, clarifying the coupling and coordination relationship between ecosystem services and human well-being is fundamental for the scientific management of National Parks and is also a core requirement for sustainable development. Based on the data of land use, statistical yearbooks and questionnaire survey, the coupling coordination model was employed to analyze the coupling coordination relationship between ecosystem services and well-being of farmers and herdsmen during the pilot construction process of Qilian Mountain National Park. The results indicated that: (1) The promotion of National Park construction has mainly enhanced the ecosystem service value from glaciers, while the spatial energy value aggregation characteristics were characterized by high value areas distributed in patches, and low value areas mainly distributed in the

基金项目:国家第二次青藏高原综合科学考察研究项目—生物地球化学循环与环境健康研究(STEP, 2019QZKK0606);祁连山国家公园农牧民生计评估与评价指标体系研究(2021-SF-138)

收稿日期:2023-10-07; 网络出版日期:2024-05-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tanghp@bnu.edu.cn

northwest region. (2) The well-being level of farmers and herdsmen has been constantly improving, especially in the basic material needs; moreover, there was a spatial differentiation pattern of lower in the middle and higher in the east and west. (3) The coupling coordination between ecosystem service and the well-being of farmers and herdsmen showed an unbalanced trend, with the main characteristics were as follows: “declining moderate coordination areas, increased run-in areas, and over two-thirds of the regions where ecosystem services lagged behind the development of well-being”; furthermore, there was a spatial characteristic of “aggregation of severely unbalanced areas, gradual flaky of run-in areas, and gradual fragmentation of moderately coordinated areas”.

Key Words: ecosystem service; well-being of farmers and herdsmen; coupling coordination degree; spatio-temporal pattern; Qilian Mountain National Park

生态系统服务是指生态系统功能或过程所形成来维持人类福祉的服务和产品^[1]。人类社会无节制地开发利用给生态系统带来极大压力,导致生态系统服务退化^[2]。当前有 60% 的生态系统正在遭受人类活动的破坏,导致人类生产生活的需求得不到保障^[3],尤其是国家公园地区,生态系统服务供给与人类福祉需求的矛盾更加尖锐。国家公园是进行生物多样性保护和资源管理的特定自然区域,也是人类社会与自然环境交互的脆弱区,其高质量发展受到人地耦合系统协调发展的深刻影响^[4]。一方面,我国国家公园治理的首要目标是生态保护。国家公园的建设是为解决低效的自然保护、破碎化保护地空间分布等问题^[5-6]。另一方面,国家公园地区农牧户普遍对自然资源依赖性强,面对为生态保护而实施的限制性政策,表现出较强的脆弱性^[7]。例如,国家公园划分核心区以禁止放牧,导致可放牧的草场面积减少,进而增加收集食物和牧草以满足其基本必需品所需的成本,并减少了农牧户用于教育、就业和照顾家庭成员的时间,这都可能对农牧户福祉产生负面影响^[8]。国家公园完整性、原真性和公益性的特征表明,需要对生态系统服务与福祉的耦合关系进行评估,既要维持生态系统服务的持续供给,也需要满足当地农牧户福祉需求,从而促进国家公园高质量发展。

如何化解人为干扰对生态系统的不良影响,从而维持生态系统的稳定,促进生态系统与人类福祉的耦合协调发展,已成为全球的研究热点^[9-10]。为此,联合国发布了《2030 年全球可持续发展议程》^[11],美国生态学会和英国生态学会都将生态系统服务科学作为首个要解决的生态科学问题^[12-13],欧盟委员会开展绘制出其所在区域的生态系统及其服务状况行动。与此同时,我国也实施了三北防护林、退耕还林等生态保护工程及提出“两山”理论,并于 2015 年发布《建设国家公园体制试点方案》,2017 年出台《建立国家公园体制总体方案》并正式开展试点建设,2023 年党的二十大报告中提出“加快推进国家公园高质量建设,努力建设世界最大的国家公园体系”。

梳理已有研究发现,诸多学者围绕生态系统服务与人类福祉关系已展开较为深入地探索。从研究阶段来看,生态系统服务与人类福祉间的关系主要呈现出三个阶段的演变。首先,注重供给端,探索生态系统服务对人类福祉的贡献。这主要体现在生态系统服务的评估及相互作用,例如不同区域类型的生态系统服务价值评估^[14-15]、生态系统服务的权衡和协同^[16-17]、生态系统服务的驱动因素^[18]。然后,关注人类福祉对生态系统服务的响应,体现在对农村发展政策^[19]、生态系统可持续管理^[20]等方面的关注。目前,生态系统服务与人类福祉的相互作用分析是人地耦合系统研究的重要前沿。该前沿旨在构建生态系统服务与福祉的双向联系,然而直接进行二者耦合协调测度的研究较少,大多探讨二者权衡、二者的非线性反馈以及从时空角度分析获得生态系统效益的差异^[21-23]。从研究方法来看,InVEST 模型和生态系统服务价值当量是常用来测算生态系统服务价值量和物质量的常用方法,人类福祉水平的评价常用人类发展指数^[24]、居民经济和健康水平^[25]、全球幸福指数^[26]等,而探索二者的关系则常运用结构方程模型、Logistic 回归等计量统计模型^[27-28]。从研究区域来看,现有研究主要聚焦到洲、国家等大尺度区域^[29-31],亦或关注传统农区或城市等小尺度区域^[32-33]。总体而言,生态系统与人类福祉的耦合协调关系研究已从理论研究迈向实证研究,但仍存在有待深化之处:国家公

园地区是更为复杂的社会生态耦合系统,人地冲突日益凸显,而已有研究对国家公园关注较少;现有研究更多聚焦到生态系统服务的供给,而从供需角度探讨二者的耦合协调关系还有待深化,尤其是二者耦合协调关系的时空动态性及区域差异性;现有对人类福祉的研究更多采用客观指标作为评价依据,而从主观维度对人类福祉的评估还有待丰富。

在我国国家公园建设仍处于起步阶段的大背景下,聚焦到国家公园这一特定区域尺度探讨生态系统服务与人类福祉的耦合关系将有助于进一步推动我国国家公园的建设。鉴于此,本文以祁连山国家公园为例,将国家公园的建设过程划分为试点成立前、成立时和成立后三个阶段,分析生态系统服务与农牧户福祉耦合协调的时空格局,以期提出国家公园地区人地关系协调发展路径,为构建人与自然和谐共生的国家公园体系,保障国家生态安全提供参考依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

祁连山国家公园青海片区位于我国青海省东北部,是西北地区重要的生态廊道,在维持地区生态安全、可持续发展方面发挥重要作用。研究区总面积约为 1.58 万 km^2 ,占整个国家公园总面积的 31.5%,包括天峻县、门源县、祁连县和德令哈市等四个县的 17 个乡镇(图 1)。当地经济总产值较低、社会发展水平低;农牧户主要从事传统的畜牧业和种植业等,生产方式比较落后,对自然资源的依赖性强。在生态环境方面,国家公园片区出现植被覆盖度下降、水土流失加剧等诸多问题。总体来看,国家公园片区生态保护与农牧户福祉提升的矛盾较为突出,而国家公园建设的目的就是解决此种冲突,实现人地协调。因此,在国家公园建设过程中,评估生态系统服务与农牧户福祉的耦合关系变化,可为国家公园体系的管理提供科学参考。

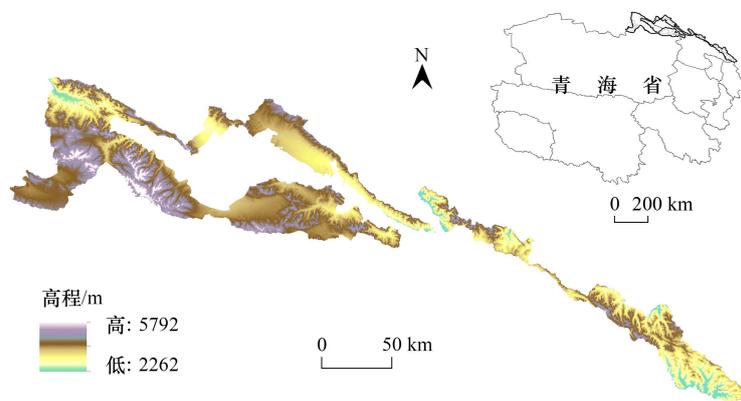


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

1.2 数据来源

本文根据我国国家公园建设进程,将国家公园试点成立前、成立时和成立后分别设置为 2015 年、2017 年、2021 年三个时间节点。粮食产物产量和种植面积来自《中国农村 2020 年统计年鉴》和《青海省 2020 年统计年鉴》。土地利用 2015、2017、2020 年现状数据来自于国家青藏高原科学数据中心(<http://data.tpdc.ac.cn>),最高分辨率为 30 $\text{m} \times 30 \text{m}$ 的祁连山地区的遥感影像,通过影像裁剪、解译等得到研究区的不同土地利用类型。本文因数据获取有限,采用 2020 年土地利用数据代替 2021 年土地利用数据。根据本文的研究目标所需、土地类型面积大小以及生态作用大小,划分林地、耕地、草地、湿地、水体、冰/雪、裸地等 7 类(图 2)。

农牧户福祉数据是来自对研究区四个县(市)随机选取的村镇的福祉调研,主要是对农牧户进行访谈。在 2021 年 5 月初,课题组选取受国家公园政策影响较大的祁连县的相关地区进行预调研。根据预调研的情

况以及福祉问卷,首先与五位生态系统服务、人类福祉、资源环境管理和社会学等研究领域的专家和两位地方政府官员进行了几次焦点小组讨论,以获取当地生计的各方面的信息,以及他们对评估福祉指标的意见,最终制定了针对研究区的最终调查问卷。2021年7月至11月分四次前往研究区及相关区域进行调研。实地调研采取简单随机抽样和分层随机抽样相结合的方式选取样本乡镇和样本农牧户。在划定研究区的基础上,根据研究区所涉及的四个县(市)的乡镇的主要生计性质,每个县区选择代表性乡镇,在每个乡镇会随机邀请25—50户农牧户进行问卷调查,分析试点成立前、成立时、成立后农牧户福祉。课题组共收集到有效调查问卷329份,其中调查对象所在乡镇完全属于国家公园片区的为280户,因国家公园片区附近乡镇对国家公园发展也有重要影响,所以同时调查了生活在国家公园外围的农牧户49户。

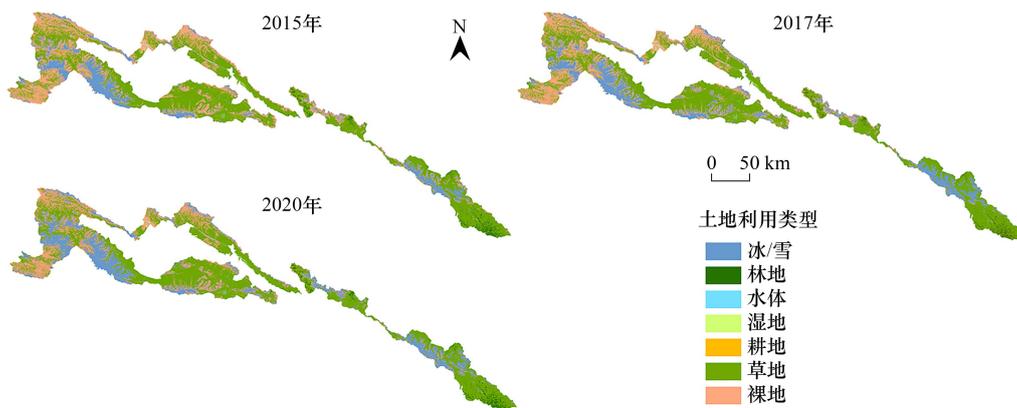


图2 研究区土地利用类型分布

Fig.2 Land use types spatial distribution of study area

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值评估

生态系统服务的直接载体是土地,因此基于土地利用数据评估生态系统服务价值是学界常用的方法。本文采用国内受欢迎的谢高地的生态系统服务价值当量法,得到不同土地利用类型单位面积的生态系统服务价值量(表1),进而计算总生态系统服务价值。根据研究区划分的林地、耕地、草地、湿地、冰/雪、水体和裸地等7种土地利用类型的基础上,通过公式(1)—(4)计算研究区的生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)。

$$ESV = \sum_{k=1}^n A_k \times VC_k \quad (1)$$

$$VC_k = \sum_{i=1}^j EC_i \times E_a \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{x}{X} \quad (3)$$

$$EC_i = \lambda \times e_i \quad (4)$$

公式(1)的ESV为总生态系统服务价值(万元); A_k 表示园区内第 k 中土地利用类型的面积(hm^2);公式(2)的 VC_k 表示第 k 种土地利用类型一公顷的生态系统服务价值, E_a 为1单位的经济价值,单位为 $\text{元}\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$;公式(3)的 x 和 X 分别为为青海省和中国农田单位粮食产量;公式(4)的 EC_i 为修订后所计算的第 i 种生态系统服务价值当量, e_i 表示中国生态系统服务价值当量。

本文是基于“1单位的生态系统服务价值当量因子所包含的经济价值为粮食单产的市场价值的1/7”^[34]进行计算,如公式(5)所示。该公式利用的是青海省的统计年鉴数据,和不考虑通货膨胀和价格变动的2019年研究区主要三种粮食作物(小麦、马铃薯、青稞)的经济价值。

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^3 \frac{m_i}{M} \quad (5)$$

式中, i 为粮食作物的种类。 m_i 为第*i*种粮食作物在研究区内的产值,单位为元(数据来自《中国农村统计年鉴》); M 为研究区三大主要粮食作物的面积,单位 hm^2 。

为使得评估结果更具区域性,本文采用雷军成等^[35]的修订方式,对生态系统服务价值当量表进行进一步调整,公式如下所示。

$$\text{FVC} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \quad (6)$$

$$f_{vmk} = \frac{f_{mk}}{f_k} \quad (7)$$

$$Ef_{vmk} = EC_i \times f_{vmk} \quad (8)$$

式中,FVC为植被覆盖度; m 为栅格单元的序号; k 为土地利用类型; f_{vmk} 为第*m*栅格单元第*k*种土地利用类型的植被覆盖度修订系数; f_{mk} 表示第*m*栅格单元中的第*k*种土地利用类型的植被覆盖度; f_k 为第*k*种土地覆盖类型的植被覆盖度的平均值; Ef_{vmk} 为第*m*单元格经植被覆盖度修订的价值当量。因为湿地、冰/雪、水体和裸地的植被覆盖度低,NDVI基本为负值,因此只对耕地、林地、草地的土地利用类型进行生态系统服务价值的进一步的修订。

表 1 不同土地利用类型单位面积生态系统服务价值量/(元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$)

Table 1 Value of ecosystem services per unit area of different land use types

一级指标 one-level indicators	二级指标 two-level indicators	耕地 Farmland	林地 Woodland	草地 Grass	湿地 Nunja	水体 Water	裸地 Bare land	冰/雪 Ice/Snow
供给服务 Provision services	食物生产	2171.38	562.00	408.73	1302.83	2043.65	0.00	0.00
	原料生产	1021.82	1328.37	613.09	1277.20	587.55	0.00	0.00
调节服务 Regulation service	水资源供给	51.09	689.73	332.09	6616.33	21177.39	0.00	5517.87
	气体调节	1711.56	4342.76	2120.29	4853.68	1967.01	51.09	459.82
	气候调节	919.64	12951.66	5568.96	9196.45	5849.96	0.00	1379.46
	净化环境	255.45	3806.30	1839.29	9196.45	14177.86	255.45	408.73
支持服务 Support service	水文调节	689.73	8532.26	4087.31	61897.20	261179.20	76.63	18214.10
	土壤保持	2631.20	5262.41	2580.11	5901.05	2375.75	51.09	0.00
	维持养分循环	306.54	408.73	204.36	459.82	178.82	0.00	0.00
文化服务 Culture services	生物多样性	332.09	4802.59	2350.20	20104.47	6514.15	51.09	25.54
	美学景观	153.27	2094.74	1047.37	12083.12	4828.14	25.54	229.91

1.3.2 农牧户福祉水平评价

(1) 指标构建

在明确农牧户福祉的概念基础上,由于参与国家公园的农牧民的福祉与国家公园提供的生态系统服务密切相关,针对农牧户群体特征,结合杨武等^[36]的研究经验,因此选择了联合国千年生态系统评估框架中有关人类福祉的定义,它具体为五个维度来评估整体福祉,包含从基本物质需求、安全、健康、良好的社会关系以及选择和自由的五个维度。

基本物质需求是农牧户在像研究区这样相较于城市基础设施较差和环境较为恶劣的地区所需要的能够生存的基本条件和获得生活资源及讯息的手段,是农牧户生存生产的基础。主要由生活必需品、电器的使用、食物的丰富性、住房质量、交通和通信等要素组成,这些因素共同使人们能够在该地区生存下去,并对未来的生活有一个愿景^[37]。

安全是研究区农牧户在面对自然不可抗因素风险和社会重大变动时所能采取应对策略以保证生活稳定

的手段及对周围生活环境安全系数的主观感知,这对于脆弱性高的农牧户至关重要^[38]。安全维度主要包括抵御财产(如金钱、土地)和健康(如饮用水)威胁的能力、本地犯罪率、对司法机关办事效率的评价、购买的食物安全性、饮用水的放心程度、抵御自然灾害等要素。

健康是评估福祉结果的一个重要方面,对于国家公园片区农牧户而言,长期在较为原始的条件下放牧耕种,从事农业生产,尤其是在海拔较高的研究区,长期劳作及在相对氧含量较低的环境下生活,极易出现身体不适,医疗设施的需求是必备要素。身心健康非常重要。所以身体健康和情绪是评估健康的常用指标。此外,良好的自然环境和先进的医疗设施不仅反映了健康所必需的外部条件,也反映了人们对自身健康的积极态度。主要包括身体健康、情绪健康、居住自然环境情况、社区医疗条件等要素。

良好的社会关系是指存在社会凝聚力和相互尊重。在中国,邻里关系是反映农村社会关系的重要方式。对于研究区的农牧户来说,文化生活项目稀缺,劳作空闲时间多在家庭沟通与邻里交流活动中度过,应重点关注农牧户在国家公园试点建设过程中邻里关系和谐度的变化情况。

选择和自由体现农牧户对美好生活及自身精神世界的追求。对于农牧户来说,国家公园试点的成立使得土地利用有了重新划分,土地供应的减少增加了采集食物和牧草以满足基本生活必需品所需的时间,这反过来又减少了用于教育、就业和照顾家庭成员的时间。因此,收入途径、子女教育、住房购买意愿、食品购买和医疗保健支出被选为选择和自由的衡量因素。

(2) 农牧户福祉权重确定

各评价维度指标的重要性不同,各农牧户福祉维度及其指标对农牧户总体福祉水平的相对重要性也不同。因此,在评价农牧户福祉时,指标权重是决定农牧户福祉定量结果合理性的重要因素。为提高评价结果的可靠性,本文尝试采用主观和客观联合运算的方法确定指标权重^[39-40]。层次分析法(AHP)是旨在提高发展中国家生活水平的人类发展项目的合适工具,它关注受益者的需求(图3)。

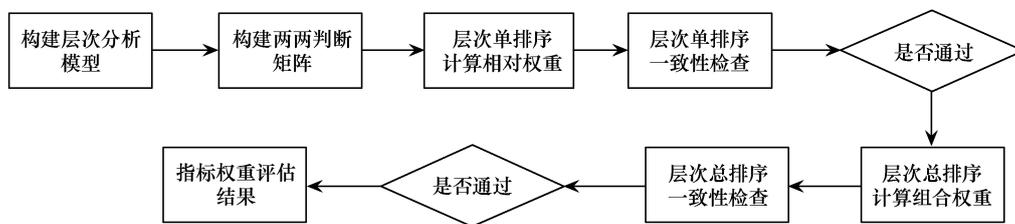


图3 层次分析法的基本流程图

Fig.3 Basic flowchart of AHP

本文采用层次分析法作为主观加权方法,确定五种幸福感的具体指标权重,并将其表示为 W_{ahp} 。然后,采用熵权法作为确定指标权重 W_e 的方法。熵权法在学术界得到了广泛的应用。客观加权使用以下公式:

$$f_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

其中, f_{ij} 是福祉第 i 个一级指标的第 j 二级指标得分 r_{ij} 与福祉第 i 个维度的之比。

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}, k = 1/\ln n \quad (10)$$

H_j 是评价福祉的第 j 个指标的信息熵,其中 W_{ahpj} 是层次分析法得出得评价福祉的第 j 个指标的主观权重, W_{ej} 是评价福祉的第 j 个指标的客观权重。计算出 W_{ahpj} 和 W_{ej} 的值后,得到评价福祉第 j 个指标的综合权重,最后计算福祉的总体值(C_a)得公式如下

$$W_{ej} = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (11)$$

$$W_j = (w_{ahpj} + w_{ej})/2 \tag{12}$$

$$C_a = \sum_{i=1}^n \sum_j^m W_{ij} r_{ij} \tag{13}$$

最终构建的评价农牧户福祉的指标体系,及各指标的主观、客观和综合权重如表 2 所示。

表 2 农牧户综合指标体系

Table 2 Comprehensive indicator system for farmers and herdsmen

维度 Dimension	评价指标 Evaluating indicator	变量定义 Variable definition	熵权法 Entropy	层次分析法 Analytic hierarchy process	最终权重 Comprehensive
基本物质需求 Basic material needs	购买生活必需品	必需品的丰富程度 (不丰富(=1)—丰富(=5))	0.04	0.03	0.04
	使用电器	使用电器满意程度 (不满意(=1)—很满意(=5))	0.05	0.09	0.07
	食物种类	吃到食物种类丰富度 (不丰富(=1)—丰富(=5))	0.03	0.02	0.03
	通讯工具	通讯方便程度 (不方便(=1)—方便(=5))	0.05	0.08	0.06
	交通	交通便捷程度 (不便捷(=1)—边界(=5))	0.04	0.11	0.08
	房屋质量	房屋质量好坏情况 (坏(=1)—好(=5))	0.03	0.07	0.05
安全 Safe	社会治安	社会治安满意程度 (不满意(=1)—很满意(=5))	0.01	0.01	0.01
	财产安全	财产安全满意程度 (不满意(=1)—很满意(=5))	0.02	0.03	0.02
	犯罪率	犯罪率高程度 (高(=1)—低(=5))	0.01	0.01	0.01
	政府办事效率	政府办事效率高程度 (低(=1)—高(=5))	0.03	0.03	0.03
	食品质量	食品质量满意程度 (不满意(=1)—很满意(=5))	0.02	0.01	0.02
	饮用水安全	饮用水质量满意程度 (不满意(=1)—很满意(=5))	0.03	0.03	0.03
	抵御自然灾害	抵御自然灾害能力 (低(=1)—高(=5))	0.05	0.01	0.03
健康 Health	身体健康	身体健康满意程度 (不健康(=1)—健康(=5))	0.06	0.12	0.09
	情绪	情绪满意程度 (不满意(=1)—满意(=5))	0.05	0.05	0.05
	居住环境	居住环境满意程度 (不满意(=1)—满意(=5))	0.04	0.02	0.03
	医疗设施	医疗设施满意程度 (不满意(=1)—满意(=5))	0.08	0.05	0.07
社会关系 Social relations	邻里关系	邻里关系好坏程度 (坏(=1)—好(=5))	0.09	0.09	0.09
选择和自由 Choice and freedom	收入途径	收入途径数量 (少(=1)—多(=5))	0.05	0.05	0.05
	购买食物	购买食物自由程度高低 (低(=1)—高(=5))	0.03	0.02	0.03
	医疗支出	医疗支付的能力 (弱(=1)—强(=5))	0.04	0.03	0.03
	孩子教育	孩子教育质量的要求 (要求低(=1)—要求高(=5))	0.01	0.03	0.02
	住房购买	住房购买的能力 (购买能力低(=1)—购买能力高(=5))	0.07	0.01	0.04

1.3.3 生态系统服务与农牧户福祉耦合协调模型

根据耦合协调模型评估研究区生态系统服务与农牧户福祉的耦合关系,公式如下:

$$C = \frac{2\sqrt{ES \times WB}}{ES + WB} \quad (14)$$

$$R = \sqrt{C \times T} \quad (15)$$

$$T = \alpha ES + \beta WB \quad (16)$$

$$U = ES/WB \quad (17)$$

式中, ES 与 WB 为生态系统服务价值与农牧户福祉指数, C 为耦合度, R 为耦合协调度, T 为综合协调度, α 和 β 分别为生态系统服务与福祉的综合协调系数,本文取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。耦合协调度能够反映生态系统服务与农牧户福祉之间的协调状况。同时本文将利用耦合协调模型探究生态系统服务与福祉协调关系的发展特征(表3)。

表3 生态系统服务与农牧户福祉耦合协调度与发展水平划分原则

Table 3 Principles for dividing coupling coordination degree and development level of ES and WB of farmers and herdsmen

R	耦合协调关系 Coupling coordination degree	发展水平 Development level
0—0.2	严重失调	$0 < U < 0.6$ ES 滞后于 WB
0.2—0.4	中度失调	$0.6 < U < 1.2$ ES 和 WB 协调
0.4—0.5	磨合	$U > 1.2$ WB 滞后于 ES
0.5—0.7	中度协调	
0.7—1	高度协调	

R :耦合协调度 Coupling coordination degree; ES :生态系统服务价值指数 Ecosystem services value index; WB :农牧户福祉指数 Welfare index of farmers and herdsmen

2 结果分析

2.1 生态系统服务与农牧户福祉的格局分析

生态系统服务价值时空分析结果显示(图4),在时间特征上,国家公园建设中生态系统服务价值提升较为明显。自2015年以来,研究区生态系统服务价值总量有所提升,其中冰/雪、水体、草地是对该研究区生态系统服务价值变化贡献排前三位的土地利用类型(表4),其中冰/雪、水体是引起服务提升的主要载体。在空间特征上,生态系统服务价值分布空间异质性较为显著,整体呈现“西北低东南高”的空间格局。高值区主要

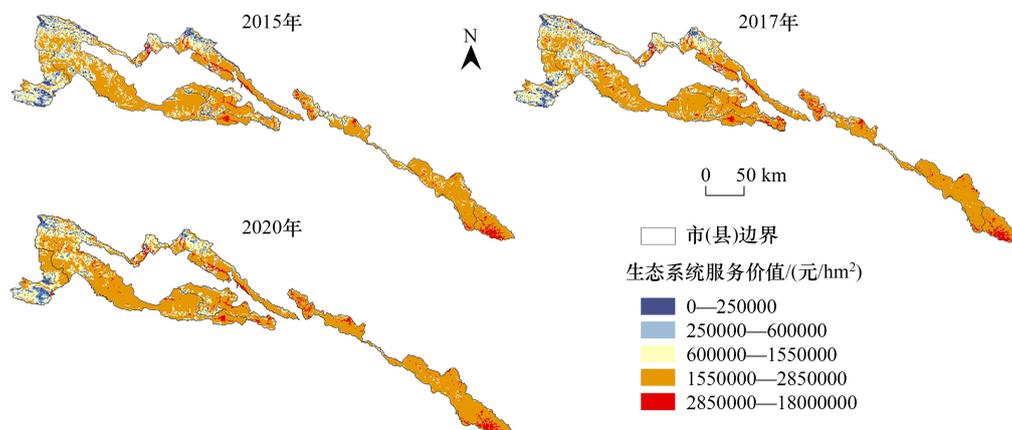


图4 研究区生态系统服务价值空间分布

Fig.4 Spatial distribution of ecosystem service value in study area

分布在海拔较低的草原地区,且沿研究区的水系延伸,低值区主要分布在耕地为主的区域。时空综合分析显示,总体空间分布特征并未随着国家公园建设出现明显变化,但低值区开始萎缩,高值区连片蔓延趋势逐渐明显,增加的高值区主要沿西北部的冰川连绵延伸,得益于生态环境质量的稳步提升。需要注意的是草地面积在国家公园试点建设期间有所下降,说明该区生态系统服务价值总量的提升得主要得益于区域气候协调和国家对冰川水源的保护,但涉及草地植被所提供的服务是有所下降的。

表 4 研究区各土地利用类型面积及对生态系统服务价值的贡献率

Table 4 The area of land use types and the contribution rate of ESV in study area

土地利用类型 Land use types	对 ESV 贡献率 The contribution rate of ESV/%	土地利用类型 Land use types	对 ESV 贡献率 The contribution rate of ESV/%
耕地 Farmland	-0.06	水体 Waters	18.38
林地 Woodland	-0.05	裸地 Bare land	-0.62
草地 Grass	-8.82	冰/雪 Ice/Snow	41.38
湿地 Nunja	-0.21		

贡献率及为各土地利用类型提供的生态系统服务价值变化量比总生态系统服务价值的变化量

自 2015 年以来,农牧户福祉呈现逐渐上升趋势。空间特征上,农牧户福祉呈现空间分异(图 5),具体表现为“中间低,东西高”,德令哈市和门源县所属乡镇表现为较高福祉,天峻县和祁连县所属乡镇福祉较低,但在研究期间空间特征的变化并不明显。统计年鉴数据数据显示,德令哈市经济水平优于其他三县区,且门源县更靠近青海省经济中心西宁市,加之,福祉数据显示除德令哈市涉及的柯鲁柯镇外,其他三县区涉及乡镇都未达到满意水平,这说明经济仍是影响研究区农牧户福祉的主要原因。在各项评价福祉指标中,基本物质需求得分最高,且与其他指标差距较大,这与当地经济动力不足有关,基本物质需求仍是农牧户生产生活的主要关注方面。

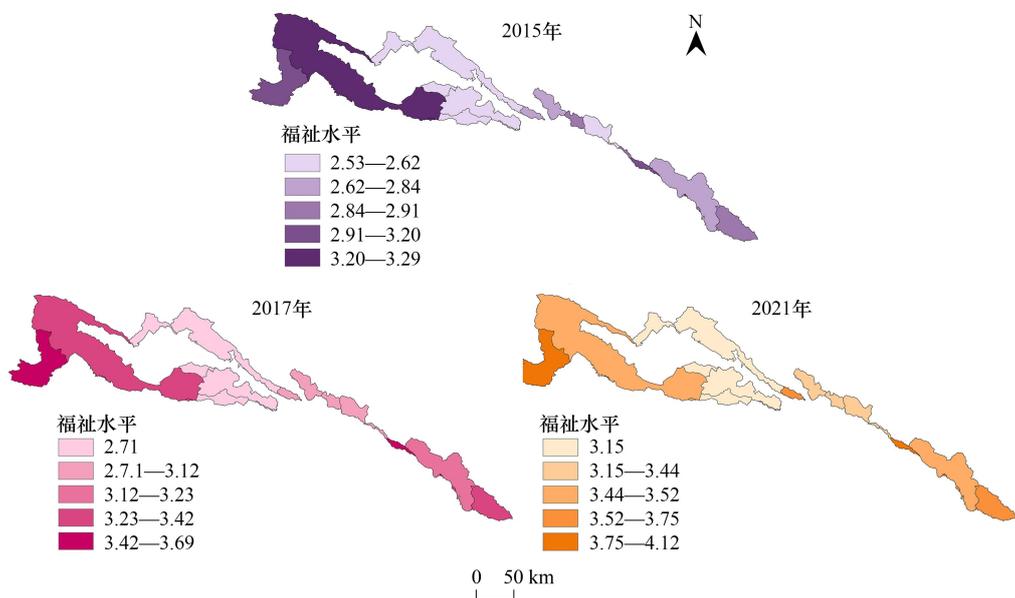


图 5 研究区农牧户福祉水平空间分布

Fig.5 Spatial distribution of WB of farmers and herdsmen in study area

2.2 生态系统服务与农牧户耦合关系

(1) 耦合协调性的空间格局

结果显示(图 6),研究区均未出现高度协调情况,处于中度协调情况的区域主要位于研究区西部及研究

区的东南部。在该区域,生态系统服务价值相较于农牧户福祉水平处于滞后的情况,但这两个区域生态系统服务与农牧户福祉耦合协调度较高,在空间中表现为良好协同关系。这表明该区域生态系统服务供给可以满足农牧户福祉需求,降低了高福祉需求带来的生态系统服务下降的风险,有利于该区域社会生态系统的良性发展。严重失调区在研究区中部偏西区域成片蔓延,且边界清晰,在该区域生态系统服务价值较高,而农牧户福祉水平较低,表明生态系统服务对农牧户福祉产生了胁迫。中度失调情况较为破碎,并内嵌于磨合或者中度协调情况之间,分布在严重失调两侧,在该区域生态系统服务发展相对滞后,农牧户高福祉需求使得生态系统服务发展受到制约。

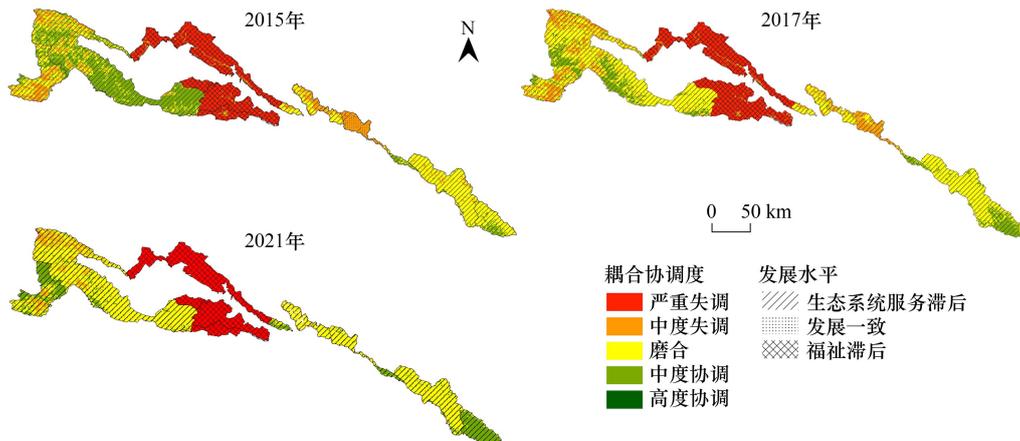


图6 耦合协调度空间分布图

Fig.6 Spatial distribution map of coupling coordination degree

(2) 耦合协调性的时间格局

国家公园建设以来,研究区二者耦合协调关系有趋于失调的趋势,在德令哈市和天峻县境内耦合协调性变化表现最为明显:从2015到2021年全区中度协调区面积减少17.18%,中度及以上失调区面积基本持平,磨合区面积增加17.92%。整个国家公园片区有70.25%面积的区域生态系统服务发展水平滞后于农牧户福祉水平,且随着时间递进,该面积占比有所扩大,此外该区域的生态系统服务发展水平总体呈现上升趋势,生态系统服务与农牧户福祉的耦合协调性却并未趋于协调。综上,表明耦合格局自国家公园建设以来总体呈现失调,且耦合协调关系的时空格局是以农牧户福祉为主导,生态系统服务起弹性约束作用。

3 讨论

本文基于耦合协调模型,分析了生态系统服务与福祉耦合的时空关系。这一研究视角属于生态学、地理学和社会科学的交叉学科领域,适用于人地关系复杂的国家公园地区^[41]。研究结果有助于分析国家公园建设下人地关系耦合协调性的变化情况,为国家公园管理提供科学方向,以协调生态系统服务提升与农牧户福祉增进下的国家公园高质量发展。同时,这一交叉视角也呼应了国家公园建设中多样化的诉求^[42-43]。一方面,国家公园生态系统服务提升,符合国家公园建设的原真性和完整性保护需求,与国家公园自然资源的持久保育和永续利用的目标直接相关^[44];另一方面国家公园农牧户福祉提升有助于缓解生态保护和民生改善的矛盾冲突,与“全民公益性”相关^[45]。本文将二者进行耦合,有助于实现国家公园多样化建设任务,使得国家公园真正实现人与自然和谐共生。

国家公园建设以来,研究区生态系统服务空间分布变化显示低值区域开始萎缩,高值区域增加。增加的高值区主要沿水系和冰川分布,表明国家公园片区的生态系统改善主要来自于冰川面积扩大和水源质量的提升^[46-47],这得益于我国对于区域气候调节的重视,冰川和水资源的保护。但值得注意的是,草地面积处于下

降趋势,以至于其带来的生态系统服务下降。相关研究表明,优化土地利用结构有助于增强生态系统的完整性,从而促进生态恢复,尤其是林草面积的增加对于整合生境破碎度具有重要意义^[48]。因此祁连山国家公园相关管理部门应进一步完善土地利用结构,注重对草原、林地的保护,持续采取封山育林,退牧还草等措施。研究区农牧户福祉保持上升趋势,这表明国家公园建设并未对农牧户福祉上升产生较大负面影响。这可能得益于政府在国家公园建设中对农牧户进行了经济补偿、采取“粮改饲”等政策向农牧户提供生产资料^[49]、及旅游产业发展使得农牧户收入途径增多等,这些举措都缓冲了国家公园生态建设给农牧户带来的损失。

耦合协调模型的数据显示研究区生态系统服务与福祉的之间不是简单的线性关系,而是随着时间和空间的变化,呈现出相互促进或抑制的反馈关系,在其他相关研究中也类似发现^[50]。在严重失调区,福祉水平落后于生态系统服务水平,表明该区域生态系统服务对农牧户福祉提升产生了制约作用,该区域缺乏生态系统服务价值流向农牧户福祉的渠道,需要在继续夯实生态基底的同时,应丰富该区域发展途径,如有效利用好旅游产业及其他相关产业,使得发展渠道多元化。在中度失调区、磨合区,虽然农牧户福祉水平高于生态系统服务水平,但生态系统服务价值如果长期处于较低的状态甚至出现下降的趋势,那么农牧户福祉必然最终会受到负面影响^[51],这要求该区域在持续落实国家公园“分区管控”政策的同时,应加快草地、林地等植被恢复速度。在中度协调区,国家公园相关管理部门应注重加强生态系统服务的广域外溢,同时充分利用协调的人地耦合系统,进一步带动周边区域统筹协调人地系统。此外,在研究期间生态系统服务价值与农牧户福祉耦合协调关系呈现向失调趋势。这可能是由于研究区相对闭塞,与外界经济文化往来频率低,生态保护措施太过强硬等原因^[52],最终导致生态系统服务与福祉关系趋于失衡。

总之,耦合协调模型的结果表明生态环境保护和恢复仍是祁连山国家公园管理的重点。鉴于此,提出以下管理策略:国家公园相关管理部门可通过增设生态保护专项资金,积极扩展资金来源渠道,支持依法合规的相关产业项目等举措来吸引企业前来投资^[53],增加祁连山国家公园地区与外界的交流机会,获取更多发展机会;利用数字化技术构建监测网络和数据库,及时监测环境承载水平,保障对国家公园资源评估的科学性^[54];优化国家公园生态效果评估机制,加强对生态修复工程的评估。同时构建多元主体参与的协同机制,构建国家公园-社区共管模式;加强农牧户的教育培训和引导,以增强农牧户的技术能力及对生态系统服务的感知,鼓励农牧户借助国家公园建设发展多样化生计,深化生态系统服务与农牧户福祉的空间供需关联。目前祁连山国家公园片区的生态系统服务与农牧户福祉耦合协调关系并不乐观,今后科技工作者和管理人员应密切关注二者耦合协调关系的动态变化,始终践行绿色协调高质量发展理念,助力国家公园建设。

本文也存在以下不足:受限于研究尺度和样本量,得到研究结论的普适性还有待进一步检验。虽然祁连山国家公园青海片区是西北地区重要的生态保护优先区域,人地冲突明显,但不可否认的是研究区域尺度较小,研究的普适性和一般性也有待进一步验证。本文使用的调查问卷数据的样本量对于该研究区域虽具有一定的代表性,若需要得到更为一般性的研究结论,还需要对更多国家公园地区进行调研;本文由于研究尺度较小,所以选择当量因子法计算生态系统服务价值^[55]。为使得生态系统服务价值更为精确,本文对生态系统服务价值当量因子法进行了经济价值的修正和单元格尺度的修订。但在经济价值的修订方面,由于研究区的数据较难获取、准确性较差,并未采用研究区数据进行修正,而是采用研究区所在青海省的数据进行的修正。后续研究应尝试获取更为精确的数据以完善价值当量计算法的修正,提高生态系统服务价值计算的精准度。

4 结论

本文以祁连山国家公园为例,将国家公园建设过程分为试点成立前、成立时和成立后三个阶段,基于土地利用、统计年鉴和农牧户调查数据,利用耦合协调模型,分析生态系统服务与农牧户福祉的时空耦合关系。结论如下:国家公园建设以来,(1)生态系统服务价值有所提升,其中冰/雪对与研究区生态系统服务的提升贡献最大;空间上表现为能值聚集特征,高值区成片分布,低值区主要分布在西北区域,研究期间增加的高值区主要沿冰川分布,这得益于我国对冰川的保护。(2)农牧户福祉水平不断提升,主要体现在基本物质需求上,

空间上呈现为“中间低东西高”的分异格局。经济发展水平仍然是影响研究区农牧户福祉的主要原因,经济发展水平的制约使得基本物质需求仍是农牧户生产生活的主要关注方面。(3)生态系统服务与农牧户福祉的耦合协调度呈现失衡趋势:全区中度协调区面积减少 17.18%,中度及以上失调区面积基本持平,磨合区面积增加 17.92%。整个研究区有 70.25% 面积的区域生态系统服务发展水平滞后于农牧户福祉水平,且随着时间递进,该面积占比有所扩大;空间上,体现为严重失调区集中分布,磨合区逐渐成片,中度协调区逐步破碎化。综合来看,耦合协调关系的空间性是以农牧户福祉为主导,生态系统服务起弹性约束作用。

参考文献(References):

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [2] 王悦露,董威,张云龙,傅伯杰,赵正嫒,吕一河,张建军,伍星. 基于生态系统服务的生态安全研究进展. *生态学报*, 2023, 43(19): 7821-7829.
- [3] 王晓琪,赵雪雁. 人类活动对国家公园生态系统服务的影响——以祁连山国家公园为例. *自然资源学报*, 2023, 38(4): 966-982.
- [4] 赵雪雁,苏慧珍. 国家公园可持续生计研究框架及关键议题. *自然资源学报*, 2023, 38(9): 2217-2236.
- [5] 唐小平. 高质量建设国家公园的实现路径. *林业资源管理*, 2022(3): 1-11.
- [6] 杨锐. 中国国家公园治理体系:原则、目标与路径. *生物多样性*, 2021, 29(3): 269-271.
- [7] Saeede N N, Luuk F, Diana S, Hossein A. Typology of vulnerability of wheat farmers in Northeast Iran and implications for their adaptive capacity. *Climate and Development*, 2019: 1-14.
- [8] Li J T, Tang H P, Kuang F Y. Exploring livelihood strategies of farmers and herders and their human well-being in Qilian Mountain National Park, China. *Sustainability*, 2023, 15(11): 8865.
- [9] Ma L, Qin Y T, Zhang H, Zheng J, Hou Y L, Wen Y L. Improving well-being of farmers using ecological awareness around protected areas: evidence from Qinling region, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(18): 9792.
- [10] 高玉娟,石娇. 基于 Citespace 的生态系统服务与人类福祉的关系研究. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(1): 202-211.
- [11] Gehre Galvão T, Zeferino de Menezes H. Editorial-global politics, the 2030 agenda and the sustainable development goals (SDG). *Meridiano 47- Journal of Global Studies*, 2020, 21: : e21016.
- [12] Sutherland W J, Armstrong-Brown S, Armsworth P R, Tom B, Brickland J, Campbell C D, Chamberlain D E, Cooke A I, Dulvy N K, Dusic N R, Fitton M, Freckleton R P, Godfray H C J, Grout N, Harvey H J, Hedley C, Hopkins J J, Kift N B, Kirby J, Kunin W E, MacDonald D W, Marker B, Naura M, Neale A R, Oliver T, Osborn D, Pullin A S, Shardlow M E A, Showler D A, Smith P L, Smithers R J, Solandt J L, Spencer J, Spray C J, Thomas C D, Thompson J, Webb S E, Yalden D W, Watkinson A R. The identification of 100 ecological questions of high policy relevance in the UK. *Journal of Applied Ecology*, 2006, 43(4): 617-627.
- [13] Palmer M, Bernhardt E, Chornesky E, Collins S, Dobson A, Duke C, Gold B, Jacobson R, Kingsland S, Kranz R, Mappin M, Martinez M L, Micheli F, Morse J, Pace M, Pascual M, Palumbi S, Reichman O J, Simons A, Townsend A, ... Turner M. Ecology. Ecology for a crowded planet. *Science*, 2004, 304(5675): 1251-1252.
- [14] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 19-25.
- [15] 谢高地,张钰铎,鲁春霞,郑度,成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [16] Cord A F, Bartkowski B, Beckmann M, Ditttrich A, Hermans-Neumann K, Kaim A, Lienhoop N, Locher-Krause K, Priess J, Schröter-Schlaack C, Schwarz N, Seppelt R, Strauch M, Václavík T, Volk M. Towards systematic analyses of ecosystem service trade-offs and synergies: main concepts, methods and the road ahead. *Ecosystem Services*, 2017, 28: 264-272.
- [17] 刘颂,张浩鹏,裴新生,王颖. 长时间序列生态系统服务权衡与协同驱动因素研究——以芜湖市生态系统服务功能极重要区为例. *生态学报*, 2024, 44(5): 1-11.
- [18] 邓钰铎,王丹,许涵. 双尺度下广东韶关市生态系统服务及其权衡/协同关系及社会生态驱动因素. *应用生态学报*, 2023, 34(11): 3073-3084.
- [19] Tolessa T, Senbeta F, Kidane M. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central Highlands of Ethiopia. *Ecosystem Services*, 2017, 23: 47-54.
- [20] Bardgett R D, Bullock J M, Lavorel S, Manning P, Schaffner U, Ostle N, Chomel M, Durigan G, L Fry E, Johnson D, Lavalley J M, Le Provost G, Luo S, Png K, Sankaran M, Hou X Y, Zhou H K, Ma L, Ren W B, Li X L, Ding Y, Li Y H, Shi H X. Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2021, 2: 720-735.
- [21] Howe C, Suich H, Vira B, Mace G M. Creating win-wins from trade-offs? Ecosystem services for human well-being: a meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world. *Global Environmental Change*, 2014, 28: 263-275.
- [22] 李文青,赵雪雁,杜昱璇,马平易. 秦巴山区生态系统服务与居民福祉耦合关系的时空变化. *自然资源学报*, 2021, 36(10): 2522-2540.
- [23] Johnston R J, Bauer D M. Using meta-analysis for large-scale ecosystem service valuation: progress, prospects, and challenges. *Agricultural and Resource Economics Review*, 2020, 49(1): 23-63.

- [24] 姜世忠, 侯林秀, 费陶, 陆学岩, 哈斯娜, 温璐, 王立新. 内蒙古自治区生态福利绩效评估及其驱动效应分解. 中国农业大学学报, 2022, 27(10): 196-211.
- [25] 李娜. 中国农村居民清洁能源应用的驱动机制与福祉效应研究[D]. 江西: 江西财经大学, 2023.
- [26] King M F, Renó V F, Novo E M L M. The concept, dimensions and methods of assessment of human well-being within a socioecological context: a literature review. *Social Indicators Research*, 2014, 116(3): 681-698.
- [27] 霍冉, 徐向阳, 高俊莲, 祝婷婷, 鲁博. 煤炭资源型城市生态系统服务空间特征及其与居民福祉关系. 土壤通报, 2020, 51(1): 31-39.
- [28] 符琳蓉, 任以胜, 陆林, 李天宇. 新安江流域生态系统服务福祉效应及实现路径研究——基于 798 份乡村居民问卷调查的实证分析. 长江流域资源与环境, 2023, 32(10): 2109-2123.
- [29] Yee S H. Contributions of ecosystem services to human well-being in Puerto Rico. *Sustainability*, 2020, 12(22): 1-38.
- [30] Daw T M, Hicks C C, Brown K, Chaigneau T, Januchowski-Hartley F A, Cheung W W L, Rosendo S, Crona B, Coulthard S, Sandbrook C, Perry C, Bandeira S, Muthiga N A, Schulte-Herbrüggen B, Bosire J, McClanahan T R. Elasticity in ecosystem services: exploring the variable relationship between ecosystems and human well-being. *Ecology and Society*, 2016, 21(2): art11.
- [31] Song M, Huntsinger L, Han M M. How does the ecological well-being of urban and rural residents change with rural-urban land conversion? the case of Hubei, China. *Sustainability*, 2018, 10(2): 527.
- [32] 周李磊, 苏湘媛, 向洪莉, 官冬杰. 重庆市生态系统服务与人类福祉耦合关系模拟. 中国环境科学, 2023, 43(5): 2560-2573.
- [33] 马随随, 张华兵, 王清. 生态系统服务与农户生计的时空耦合关系研究——以里下河地区为例. 中国农业资源与区划, 2023, 44(3): 79-88.
- [34] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [35] 雷军成, 王莎, 汪金梅, 吴松钦, 游细斌, 吴军, 崔鹏, 丁晖. 土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2019, 39(9): 3089-3099.
- [36] Yang W, Dietz T, Liu W, Luo J Y, Liu J G. Going beyond the Millennium Ecosystem Assessment: an index system of human dependence on ecosystem services. *PLoS One*, 2013, 8(5): e64581.
- [37] Lapointe M, Gurney G G, Coulthard S, Cumming G S. Ecosystem services, well-being benefits and urbanization associations in a Small Island Developing State. *People and Nature*, 2021, 3(2): 391-404.
- [38] Furey E M, O'Hora D, McNamara J, Kinsella S, Noone C. The roles of financial threat, social support, work stress, and mental distress in dairy farmers' expectations of injury. *Frontiers in Public Health*, 2016, 4: 126.
- [39] 刘媛媛, 王绍强, 王小博, 江东, N H Ravindranath, Atiq Rahman, Nyo Mar Htwe, Tartirose Vijiapan. 基于 AHP 熵权法的孟印地区洪水灾害风险评估. 地理研究, 2020, 39(8): 1892-1906.
- [40] Kuang F Y, Jin J J, He R, Wan X Y, Ning J. Influence of livelihood capital on adaptation strategies: evidence from rural households in Wushen Banner, China. *Land Use Policy*, 2019, 89: 104228.
- [41] 赵新全, 徐世晓, 赵亮, 张同作, 胡林勇, 李奇, 郭同庆. 三江源国家公园生物多样性保护创新及实践. 中国科学院院刊, 2023, 38(12): 1833-1844.
- [42] 蔡晓梅, 苏杨, 吴必虎, 王毅, 杨锐, 徐卫华, 闵庆文, 张海霞. 生态文明建设背景下中国自然保护地发展的理论思考与创新实践. 自然资源学报, 2023, 38(4): 839-861.
- [43] 欧阳志云, 唐小平, 杜傲, 臧振华, 徐卫华. 科学建设国家公园: 进展、挑战与机遇. 国家公园(中英文), 2023, 1(2): 67-74.
- [44] 李世东. 中国和美国国家公园时空发展及驱动因素. 生物多样性, 2023, 31(6): 199-206.
- [45] 马炜, 刘增力, 王志臣, 蒋亚芳, 唐小平. 中国国家公园体制试点追踪研究. 林业资源管理, 2023(3): 1-8.
- [46] 王有恒, 李丹华, 卢国阳, 蒋友严, 黄鹏程. 祁连山气候变化特征及其对水资源的影响. 应用生态学报, 2022, 33(10): 2805-2812.
- [47] 薛健, 李宗省, 冯起, 缪驰远, 邓晓红, 狄振华, 叶爱中, 龚伟, 张百娟, 桂娟, 高文德. 1980—2017 年祁连山水源涵养量时空变化特征. 冰川冻土, 2022, 44(1): 1-13.
- [48] 韩晓佳, 王继军, 温昕. 退耕区域生态系统服务作用关系的尺度效应及分异机制研究——以安塞区为例. 生态学报, 2024, 44(5): 1-17.
- [49] 乔斌, 王乃昂, 王义鹏, 赵航, 程弘毅, 刘锐, 孙德浩, 祝存兄. 山地-绿洲“共轭型”生态牧场理念源起、概念框架与发展模式. 生态学报, 2023, 43(21): 8917-8932.
- [50] 邱坚坚, 刘毅华, 袁利, 陈澄静, 黄清瑶. 人地系统耦合下生态系统服务与人类福祉关系研究进展与展望. 地理科学进展, 2021, 40(6): 1060-1072.
- [51] 刘家根, 黄璐, 严力蛟. 生态系统服务对人类福祉的影响——以浙江省桐庐县为例. 生态学报, 2018, 38(5): 1687-1697.
- [52] 刘庆芳, 杨定, 杨振山, 宋金平, 陈东军. 青藏高原国家公园群人文生态系统耦合协调评价及障碍因子识别. 地理学报, 2023, 78(5): 1119-1135.
- [53] 蔡晓梅, 苏杨. 从冲突到共生——生态文明建设中国国家公园的制度逻辑. 管理世界, 2022, 38(11): 131-145.
- [54] 王昌海, 谢梦玲. 以国家公园为主体的自然保护地治理: 历程、挑战以及体系优化. 中国农村经济, 2023, 5: 139-162.
- [55] 陈东军, 钟林生. 生态系统服务价值评估与实现机制研究综述. 中国农业资源与区划, 2023, 44(1): 84-94.