DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2024.02.026

许诺瑾,丁兵兵,余新晓,等.基于土地利用变化的黄河上游四川段生态系统服务价值评价[J].水土保持学报,2024,38(2):178-189.

XU Nuojin, DING Bingbing, YU Xinxiao, et al. Ecosystem service functions in the upper reaches of the Yellow River in Sichuan based on land use change value evaluation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2):178-189.

基于土地利用变化的黄河上游四川段生态系统服务价值评价

许诺瑾1,丁兵兵1,余新晓1,2,贾国栋1,2,冯岩开1,林佳雯1

(1.北京林业大学水土保持学院,北京 100083;2.水土保持国家林业和草原局重点实验室,北京 100083)

摘 要:[目的]通过定量研究 20 年间黄河上游四川段土地利用变化与生态系统服务价值的关系,评估该流域段生态综合治理效果,为健全民族区域空间规划、生态环境保护与管理提供依据,助力黄河流域高质量发展。[方法]利用黄河上游四川段 2000 年、2010 年和 2020 年土地利用数据,基于土地利用动态度、土地利用矩阵分析土地利用变化,并参考中国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值当量,对黄河上游四川段生态系统服务价值当量的经济价值进行修正,定量研究黄河上游四川段 2000—2020 年间土地利用变化对生态系统服务价值的影响。[结果](1)2000—2020 年黄河上游四川段 2000—2020 年间土地利用变化对生态系统服务价值的影响。[结果](1)2000—2020 年黄河上游四川段林地、荒漠、湿地和水系土地利用面积呈上升趋势,耕地、灌木、草地和冰川积雪呈下降趋势,2010—2020 年土地利用变化比 2000—2010 年更显著;(2)黄河上游四川段 2000 年、2010 年和 2020 年生态系统服务价值分别为 1.27×10¹⁰,2.51×10¹⁰,3.92×10¹⁰元,呈上升趋势,敏感性分析表明分析结果可靠。各土地利用类型中,对生态系统总价值贡献最为显著的地类是草地,2000—2010 年和 2010—2020 年草地生态服务贡献率分别为 93.90%和72.90%,其次为湿地和林地;(3)研究区在 20 年间各单项生态系统服务价值均呈增加趋势,区域生态服务功能的分项价值大小均为调节服务>支持服务>供给服务>文化服务,11 个单项功能中起显著服务价值的为气候调节、水文调节、土壤保持和生物多样性,4 项之和占总价值比例超过 69.50%。黄河上游四川段土地利用变化影响区域生态系统服务价值的变化,其中草地影响最显著,其次为湿地和林地。[结论]研究结果表明20 年间生态治理成果逐渐增强,生态环境不断变好。

关键词: 生态系统服务价值; 黄河上游四川段; 土地利用; 价值当量

中图分类号:F301;Q148 文献标识码:A 文章编号:1009-2242-(2024)02-0178-12

Ecosystem Service Functions in the Upper Reaches of the Yellow River in Sichuan Based on Land Use Change Value Evaluation

XU Nuojin¹, DING Bingbing¹, YU Xinxiao^{1,2}, JIA Guodong^{1,2}, FENG Yankai¹, LIN Jiawen¹

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

2. Key Laboratory of State Forestry and Grassland Administration of Soil & Water Conservation, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] To quantitatively study the relationship between land use change and ecosystem service value in Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River in the past 20 years, and to evaluate the effect of comprehensive ecological management in this section, so as to provided a basis for improving ethnic regional spatial planning, ecological environmental protection and management, and promoted the high-quality development of the Yellow River Basin. [Methods] Using the land use data of the upper reaches of the Yellow River in Sichuan in 2000, 2010 and 2020, land use change was analyzed based on land use dynamic attitude and land use matrix, and the economic value of the ecosystem service value equivalent per unit area of the terrestrial ecosystem in China was revised. The effects of land use change on the ecosystem service value in the upper reaches of the Yellow River from 2000 to 2020 in Sichuan were quantitatively studied. [Results] (1) From 2000 to 2020, the land use area of forest, desert, wetland and water system in the upper

收稿日期:2023-08-25 **修回日期:**2023-10-16

录用日期:2023-11-25

网络首发日期(www.cnki.net):2024-02-01

资助项目:中国工程院战略研究与咨询项目(2022-DFZD-26-03);国家自然科学基金项目(U2243202)

第一作者:许诺瑾(1999一),女,在读硕士研究生,主要从事水土保持与森林生态水文研究。E-mail: xunuojin123@163.com

通信作者:余新晓(1961—),男,教授,博士生导师,主要从事水土保持与生态水文研究。E-mail;yuxinxiao111@126.com

reaches of the Yellow River in Sichuan showed an increasing trend, while the land use area of cultivated land, shrub, grassland and glacial and snow in the upper reaches of the Yellow River showed a decreasing trend, and the land use change in 2010-2020 was more significant than that in 2000-2010. (2) The ecosystem service value of the upper reaches of the Yellow River in Sichuan in 2000, 2010 and 2020, was 1.27×10^{10} , 2.51×10^{10} , 3.92×10^{10} yuan, respectively, showing an increasing trend. The sensitivity analysis showed that the analysis results were reliable. Amongall land use types, grassland made the most significant contribution to total ecosystem value, and the contribution rate of grassland ecological service was 93.90% and 72.90% in 2000-2010 and 2010-2020, respectively, followed by wetland and forest land. (3) In the study area, the value of each individual ecosystem service showed an increasing trend in the past 20 years, and the sub-value of regional ecological service function was regulatory service > support service > supply service > cultural service. Among the 11 individual functions, the significant service value was climate regulation, hydrology regulation, soil conservation and biodiversity. The sum of the four items accounted for more than 69.50% of the total value. Land use change in the upper reaches of the Yellow River in Sichuan affected the changes of regional ecosystem service value, and grassland was the most significant, followed by wetland and forest land. [Conclusion] The results showed that the results of ecological governance in the past 20 years have been gradually enhanced, and the ecological environment has continuously improved.

Keywords: ecosystem service value; the upper reaches of the Yellow River in Sichuan; land use; value equivalent

Received: 2023-08-25 **Revised**: 2023-10-16 **Accepted**: 2023-11-25 **Online**(www.cnki.net): 2024-02-01

生态系统服务(ecosystem services, ES)是指人 们从生态系统和生态过程中[1]获得的利益和物品[2]。 生态系统服务价值是联系生态系统和人类福祉、健 康、生计的关键桥梁,是计算绿色 GDP 的一个重要指 标[3-4],可作为某个区域可持续发展状况的一个直观 表达[5]。在20世纪末,学者们逐渐开展对全球生态 系统服务价值进行经济价值估算[6],评估生态系统服 务价值为人类提供从生态系统中直接或间接获得服 务和商品的重要信息[7],强有力推动对生态系统的研 究,进而增强人们保护生态的意识[8]。目前国内外学 者普遍认为土地利用变化是生态系统服务价值的最 大驱动力[9],两者之间相互作用、相互制约[10]。土地 利用通过土地利用结构变化影响生态系统的组分和 作用过程[11],从而改变生态系统提供的物质产品和 服务,进一步改变生态系统服务价值[12];同时,生态 系统服务价值的变化反过来作用于土地利用效率,进 而影响人类改变土地利用结构[13]。土地利用类型与 生态系统服务价值的评估息息相关,诸多学者进行广 泛探索和深入研究。COSTANZA等[14]依据土地利 用分类,提出估算模型,对全球17类生态系统功能的 经济价值进行评估,研究结果应用于生态保护,证明 生态系统服务是应对全球变化科学研究的重要课题, 但仅局限在估算层面。MA^[15]在 COSTANZA 等^[14] 的基础上,将全球尺度下生态系统进一步划分为10

个系统和18个子系统,并认为生态系统服务功能由 供给、调节、文化和支持4种服务组成。我国对生态 系统服务价值的研究初期阶段基本延续了 COST-ANZA 等[14]提出的方法,但此方法的生态系统分类 结果不符合我国土地利用类型现状,存在较大差 异[8]。近年来,大多数国内学者基于我国土地利用现 状,主要采用谢高地等[16]基于前人研究、文献调研和 遥感监测等提出的中国陆地生态系统服务价值当量 因子法,对生态系统服务价值进行估算和动态变化分 析。大量研究[17-21]对土地利用动态变化与生态系统 服务价值变化的关系进行定量分析,结果表明,不同 土地利用变化对生态系统服务价值影响显著。郭亚 红等[17]研究 2010—2018 年和田地区土地利用对生 态系统服务的影响表明,和田地区主要土地利用类型 为草地,其面积呈现减小趋势,耕地、城镇村及工矿用 地、交通用地均呈增加趋势,但总生态系统服务价值 呈下降趋势,减少 5.89×108元;李晋昌等[18] 研究若 尔盖高原 1990 年、2000 年和 2005 年土地利用对生 态系统服务价值的影响表明,1990-2005年期间,高 覆盖度草地、湿地和林地面积持续减少,生态系统服 务价值下降。

中国黄河流域是人类文明的摇篮,流域横跨多个 气候地貌区,水资源分布从东南向西北呈现较大差 异,其中黄河上游是我国重要的生态屏障和经济带, 在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要 的地位,事关中华民族伟大复兴和永续发展的千秋大 计[22], 吴翠霞等[20] 基于甘肃省黄河流域 1995—2020 年土地利用数据,研究不同土地利用程度对生态系统 服务价值的影响。黄河上游四川段是藏族、羌族、回 族等少数民族的聚集地,其经济的发展状况与国民经 济发展、国家安全和社会稳定显著相关,习近平总书 记来川视察时,指出"四川是黄河上游重要的水源补 给区,也是全球生物多样性保护重点地区,要把生态 文明建设这篇大文章做好",并站在国家生态安全战 略格局的高度,要求四川在筑牢长江黄河上游生态屏 障上持续发力。《黄河流域生态保护和高质量发展规 划纲要》明确要加大若尔盖等主要湿地治理和修复力 度。巨大的生态系统价值是可持续发展的物质基 础[23],生态保护是维护和提高生态系统服务价值的 重要途径[24]。该区域地处高寒牧区,气候条件恶劣, 使得土地退化沙化严重,土壤保持、水源涵养等生态 功能不强,且两岸经济产业多为纯牧业,目前还存在 社会经济发展落后、生态环境形势严峻以及社会经济 发展与生态环境存在矛盾等问题,因此,掌握黄河上 游四川段土地利用现状及其对生态系统服务价值的 影响尤为重要,但目前还没有针对黄河上游四川段的 相关研究。

本研究基于以上战略定位及黄河上游四川段的特殊性和重要性,以黄河上游四川段为研究区域,对该区域土地利用变化及生态系统服务价值进行定量评价,提高人们对生态系统功能价值的认识^[25],为当地土地利用规划和生态保护提供决策支撑^[26],促进优化民族区域经济社会发展和健全生态文明建设整体布局,助力黄河上游四川段民族地区"生态—经济—社会"高质量发展。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

黄河上游四川段(31°-34°N,98°-104°E)是国家重要水源涵养生态功能区,位于四川省西北部地区,地处我国青藏高原东缘,是黄河流经四川的主要地区。在本研究中,其行政区域包括阿坝藏族羌族自治州的阿坝县、若尔盖县、红原县、松潘县以及甘孜藏族自治州的石渠县部分区域,以高原山区为主,地势南高北低,起伏和缓,平均海拔3000m以上,流域面积为18.71×10°hm²,占黄河流域总面积约2.35%,境内的黄河长174km^[22],占黄河总长度的3.18%,是我国重点生态功能区。四川境内主要支流有白河、黑河和贾曲,区域多年平均地表径流量47.6亿m³,年降水总量121.5亿m³,多年平均水资源总量44.1

亿 m³,是"中华水塔"的重要组成部分。

研究区是民族聚集地,以藏族和羌族为主,且湖泊密布,分布着广阔的草原和湿地保护区,流域内有4个国家级重要水功能区^[23],包含草甸、水系、荒漠、湿地等多种生态系统类型。该区域地处高寒生态敏感区^[27],土地退化沙化严重,生态功能有待提升,草地和湿地呈现退化趋势^[28],生态防护功能持续下降,且受自然条件限制,两岸经济产业多为纯牧业,牧民经济生活水平偏低,加剧了社会经济发展与生态环境的矛盾,使得黄河上游四川段的高质量发展存在明显短板。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源 本研究中土地利用数据来源于中国武汉大学黄昕老师基于 Google Earth Engine 上335 709 景 Landsat 数据制作的中国年度土地覆盖数据集(annual China land cover dataset, CLCD),使用2000 年、2010 年和 2020 年的土地利用数据,空间分辨率 30 m×30 m,数据来源网址为 https://zenodo.org/record/5816591。根据土地资源及其利用属性,将土地利用类型划分为耕地、林地、灌木、草地、湿地、荒漠、水系和冰川积雪共 8 种主要土地类型。社会经济统计数据中的粮食单产、播种面积均来源于研究时段内的《四川省统计年鉴》[29],粮食价格来源于各时段内《全国农产品成本收益资料汇编》[30]等统计资料。

1.2.2 土地利用变化分析 本文通过分析土地利用 动态度、转移矩阵研究土地利用时空动态变化^[19],对 分析土地利用变化趋势和区域差异有重要作用^[21]。

(1)土地利用变化动态度

土地利用类型的单一动态度反映了研究时段内各地类土地利用动态变化的速率;综合土地利用动态度是研究区总体地类变化的速率;空间动态度表示地类变化的过程和强烈程度^[31-32]。计算公式为:

$$K_{i} = \frac{S_{(t2,i)} - S_{(t1,i)}}{S_{(t1,i)}} \times \frac{1}{T} \times 100 \%$$
 (1)

$$K_{i}^{i} = \left[(S_{(t2,i)} - S_{ai}) + (S_{(t1,i)} - S_{ai}) \right] / S_{(t1,i)} / T \times 100 \%$$
 (2)

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} (S_{(t1,i)} - S_{ai})}{\sum_{i=1}^{n} S_{(t1,i)}} \times \frac{1}{T} \times 100 \%$$
 (3)

式中: K_i 为研究时段内第i类土地利用类型的单一土地利用动态度;T为研究时段(a),即 t_2-t_1 ;n为地类的数量; $S_{(i1,i)}$ 为研究初期某地类面积(hm²); $S_{(i2,i)}$ 为研究末期某地类面积(hm²); K_i ;为第i类土地利用类型空间动态度; S_{ai} 为时段T内第i类土

地利用类型未变化面积 (hm^2) ; $S_{(i1,i)} - S_{ai}$ 表示 T 时段内第i 类土地利用类型转出为其他地类的面积总和 (hm^2) ; $S_{(i2,i)} - S_{ai}$ 表示 T 时段内其他地类转入第i 类土地利用类型面积总和 (hm^2) ; K 为研究时段内综合土地利用动态度。

(2)土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵反映研究时段区域内各地类的变化量和方向[33]。本文基于研究区土地利用数据,利用 ArcGIS 10.2 软件的融合相交功能实现。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix}$$
(4)

式中:s 为面积 (hm^2) ;n 为地类的数量;i 表示研究初期土地利用类型;i 表示研究末期土地利用类型。

1.2.3 生态系统服务价值评估 针对黄河上游四川 段区域经济发展状况,参考 COSTANZA 等[34]的生态系统服务价值评估方法和中国陆地生态系统服务 价值当量,计算研究区内不同土地利用类型的各项服 务价值当量(表1),本研究参考朱玉鑫等[35]提出的单 位面积粮食经济价值法,以中国陆地生态系统单位面 积生态服务价值当量为基础,根据该区域主要粮食作 物的平均价格和单产,修正研究区生态系统服务价值 当量系数,1个标准单位生态系统服务价值当量为 1 hm²农田每年平均粮食产量经济价值的 1/7,计算得 到研究区 2000 年、2010 年、2020 年的 1 个单位生态系统服务的经济价值分别为 509.71, 1 044.01, 1 550.65元/hm²。计算公式为:

$$E_a = 1/7 \sum_{i=1}^{n} \frac{m_i p_i q_i}{M}$$
 (5)

$$VC_j = E_a \times Y_j \tag{6}$$

式中: E_a 为研究区单位生态系统服务的经济价值 (π/hm^2) ;n 为生态系统类型总数;i 为粮食作物的种类;j 为生态系统类型; m_i 为第i 种粮食作物全国平均价格 (π/kg) ; p_i 为第i 种粮食作物单产 (kg/hm^2) ; q_i 为第i 种粮食作物播种面积 (hm^2) ;M 为粮食作物的总种植面积 (hm^2) ; VC_j 为第j 类的价值系数; Y_i 为第j 类的生态系统服务价值当量。

$$ESV = \sum_{j=1}^{n} A_j \times VC_j \tag{7}$$

$$R_i = (ESV_i / ESV) \times 100\%$$
 (8)

式中:ESV 为生态系统服务价值(元);n 为生态系统 类型总数;j 为生态系统类型; A_j 为第j 类生态系统 类型的面积(hm^2);ESV $_i$ 为第i 类生态系统类型的年 服务价值(元); R_i 为第i 类生态系统类型年服务价值 占当年总生态系统服务价值的比例。

$$S_{iT} = (\Delta \text{ ESV}_{iT} / \sum_{i=1}^{8} |\Delta \text{ ESV}_{iT}|) \times 100\%$$
 (9)

式中: S_{iT} 为第i 类生态系统在研究时段 T 内的生态服务贡献率(%); ΔESV_{iT} 为第i 类生态系统在研究时段 T 内的生态服务价值变化量。

表 1 黄河上游四川段单位面积生态系统服务价值当量

Table 1 Equivalent value of ecosystem services per unit area in the Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River

生态系统服务功能					土地	利用类型			
一级类型	二级类型	耕地	林地	灌木	草地	水系	冰川积雪	荒漠	湿地
	食物生产	0.85	0.27	0.19	0.23	0.80	0	0.005	0.51
供给服务	原料生产	0.40	0.63	0.43	0.34	0.23	0	0.015	0.50
	水资源供给	0.02	0.33	0.22	0.19	8.29	2.16	0.010	2.59
	气体调节	0.67	2.07	1.41	1.21	0.77	0.18	0.065	1.90
调节服务	气候调节	0.36	6.20	4.23	3.19	2.29	0.54	0.050	3.60
	净化环境	0.10	1.80	1.28	1.05	5.55	0.16	0.205	3.60
	水文调节	0.27	3.86	3.35	2.34	102.24	7.13	0.120	24.23
	土壤保持	1.03	2.52	1.72	1.47	0.93	0	0.075	2.31
支持服务	维持养分循环	0.12	0.19	0.13	0.11	0.07	0	0.005	0.18
	生物多样性	0.13	2.30	1.57	1.34	2.55	0.01	0.070	7.87
文化服务	美学景观	0.06	1.01	0.69	0.59	1.89	0.09	0.030	4.73

1.2.4 敏感性分析 为了得到可靠的分析结果, ESV 对价值系数变化的灵敏度应相对较低(*CS* < 1)。本研究采用经济学中弹性指数概念^[36]计算生态系统服务价值敏感指数,估计总 ESV 的百分比变化和相应的服务价值系数值调整 50%所得的敏感系数(*CS*)得到评估值^[37]。公式为:

$$CS = \frac{(ESV - ESV_a)/ESV_a}{(VC_i - VC_a)/VC_a}$$
(10)

式中:CS 为敏感性指数;ESV、 ESV_a 分别为生态系统服务价值初始值和调整后值; VC_j 、 VC_a 分别为初始及调整后生态系统服务价值系数。若 CS < 1,表明生态系统服务价值 ESV 对生态系统服务价值系数 VC 弹性

较小,说明准确度好,可信度较高;反之,亦然。

1.3 数据处理

采用 ArcGIS 10.2 和 Excel 2016 软件对数据进行处理,并利用 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 土地利用动态变化

由表 2 可知,黄河上游四川段 2000 年、2010 年和 2020 年的草地所占面积比例最大,占比介于94.4%~96.5%,在该区域土地利用类型中占主体地位,黄河上游四川段各地类面积从大到小依次为草地>湿地>林地>灌木>水系>耕地>荒漠>冰川积雪,20 年间林地、荒漠、湿地和水系面积相对增加,增量最多的是林地,为 14 901.2 hm²,其次是水系和湿地,分别为 1 666.35,1 415.5 hm²;面积相对减少的土地利用类型是耕地、灌木、草地和冰川积雪,草地减少量最显著,减少量为 18 740 hm²。从表 2 可以看出,2000—2010 年耕地、林地、草地、冰川积雪有所增加,其中草地增加的最多,为21 310 hm²,增量最少的是冰川积雪,为 42.48 hm²;灌木、水系、荒漠和湿地都呈现减少趋势,其中湿地减少量最大,为 22 381.5

hm²;从单一动态度(图 1)来看,各地类单一动态度从 大到小依次为冰川积雪>湿地>灌木>荒漠>林 地>耕地>水系>草地,且冰川积雪的空间动态度最 大,表明在研究时段内,其他土地类型向冰川积雪转 移程度剧烈,土地利用面积翻倍,空间上呈现扩张发 展态势。2010-2020年林地、灌木、水系、荒漠和湿 地的面积有所增加,且增量均大于 1 000 hm²,其中 增加最多的是湿地,为23797 hm²,增量最少的是荒 漠,为1515.78 hm²;耕地、草地、冰川积雪呈现减少 趋势,减少量最大的是草地,高达40 050 hm²,其次是 耕地,为524.07 hm²,最小的是冰川积雪;从单一动态 度来看,从大到小依次为荒漠>湿地>冰川积雪>灌 木>水系>林地>耕地>草地,荒漠单一动态度和空 间动态度均为最大,分别为44.7%和0.5%,表明 2010-2020年内荒漠面积变化剧烈,空间上呈现显著 扩张趋势,土地利用面积增加接近5倍。综合来看, 2010—2020年所有土地利用类型的单一动态度均大于 2000-2010年,2010-2020年的综合土地利用动态度 (0.6%) 大于 2000-2010 年综合土地利用动态度 (0.4%),表明 2000—2010 年土地利用变化比较稳定。

表 2 黄河上游四川段 2000—2020 年土地利用类型面积及比例

Table 2 Area and proportion of land use type in Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River from 2000 to 2020

土地利用	200	0 年	201	0 年	202	0 年
类型	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%
耕地	1 184.67	0.063	1 239.30	0.066	715.23	0.038
林地	30 952.60	1.654	36 363.10	1.943	45 853.80	2.450
灌木	8 344.73	0.446	4 291.21	0.229	8 324.37	0.445
草地	1 785 280.00	95.392	1 806 590.00	96.531	1 766 540.00	94.391
水系	3 556.80	0.190	3 478.86	0.186	5 223.15	0.279
冰川积雪	35.10	0.002	77.58	0.004	70.72	0.004
荒漠	643.86	0.034	339.21	0.018	1 854.99	0.099
湿地	41 514.50	2.218	19 133.00	1.022	42 930.00	2.294
面积总计	1 871 512.26	100.00	1 871 512.26	100.00	1 871 512.26	100.00

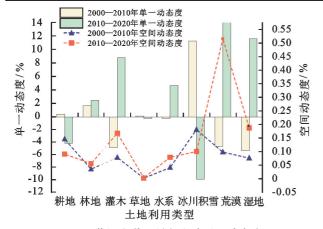


图 1 黄河上游四川段土地利用动态度

Fig. 1 Land use dynamics in the Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River

黄河上游四川段地区 2000 年、2010 年和 2020 年土地利用情况见图 2。利用 ArcGIS 10.2 软件将 2000 年、2010 年和 2020 年黄河上游四川段土地利用图叠加计算,得到 2000—2010 年和 2010—2020 年 2个研究时段内不同土地利用类型间面积转移矩阵(表 3 和表 4)。

从图 2、表 3 和表 4 可以看出,2000—2010 年时段内,湿地、灌木、水系和荒漠的转出面积大于转入面积,其中湿地的转出最多,占全部土地利用类型转出面积总量的 58.2%。耕地、林地、草地和冰川积雪的转入面积大于转出面积,表明这 4 种类型在一定程度上有所增加,该时段内 8 种地类各自的转入面积从大到小依次为草地、林地、湿地、灌木、耕地、水系、荒漠

和冰川积雪,草地的转入面积最大,转入面积占转入总量的比例超过50.0%,为70.0%。2010—2020年时段内8种土地利用类型各自转入面积总量大小依次为湿地>林地>草地>灌木>水系>荒漠>耕地>冰川积雪,湿地输入面积最大,占输入总量的49.2%,草地的输出面积最多,占输出总量的79.6%。从表3和表4可以看出,2000—2020时段内草地作为该区域主要土地利用类型,转换为其他土地利用类型以林地和湿地为主,湿地、耕地、灌木水系和荒漠转换为其他土地利用类型主要转换为草地,林地主要转换为其他土地利用类型主要转换为草地,林地主要转换为灌木。2000—2010时段内草地、冰川积雪和水系部分土地利用面积转换为荒漠,2010—2020年林地、

草地、冰川积雪和水系转换为荒漠的土地利用面积增大,该时段内区域荒漠化加剧。

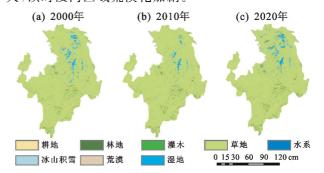


图 2 黄河上游四川段 2000 年、2010 年、2020 年土地利用

Fig. 2 Land use of the Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River in 2000, 2010 and 2020

表 3 黄河上游四川段 2000—2010 年土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transfer matrix of Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River from 2000 to 2010

土地	b 利用				2	000年				转入总量/	转入比例/
类	_ 类型		林地	灌木	草地	水系	冰川积雪	荒漠	湿地	hm²	%
	耕地	349.33	111.33	0.06	431.61	8.28	_	_	274.91	826.18	1.82
	林地	180.06	28 173.66	1 187.00	4892.26	3.24	_	0.03	384.45	6 647.03	14.62
	灌木	_	464.43	3 076.27	526.01	_	_	_	0.28	990.72	2.18
	草地	515.56	802.77	3 672.69	1 776 742.08	686.20	2.44	376.89	2 5781.16	3 1837.71	70.01
2010 年	水系	2.48	1.10	0	595.37	2 783.15	1.00	15.09	16.77	631.81	1.39
2010 ,	冰川积雪	_	_	_	12.31	0.05	24.57	35.88	_	48.24	0.11
	荒漠	_	_	_	117.28	4.38	4.60	175.87	_	126.26	0.28
	湿地	61.62	66.64	3.55	4 230.05	6.36	_	_	14 593.14	4 368.23	9.61
转出。	总量/hm²	759.72	1 446.27	4 863.30	10 804.89	708.51	8.04	427.88	26 457.56	_	_
转出	比例/%	1.67	3.18	10.69	23.76	1.56	0.02	0.94	58.18	_	_

表 4 黄河上游四川段 2010—2020 年土地利用转移矩阵

Table 4 Land use transfer matrix of Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River from 2010 to 2020

土地	1利用				2	010年				转人总量/	转入比例/
类	型	耕地	林地	灌木	草地	水系	冰川积雪	荒漠	湿地	hm ²	%
	耕地	412.92	35.51	_	194.93	0.10	_	_	13.47	244.01	0.41
	林地	311.12	31 114.10	445.47	11 976.32	7.70	_	0.003	219.22	12 959.83	21.52
	灌木	_	2 582.22	2 697.36	2 748.08	_	_	_	0.23	5 330.53	8.85
	草地	377.63	965.28	923.61 1	760 621.65	370.85	11.24	72.85	5 550.55	8 272.00	13.74
2020 年	水系	9.72	4.24	_	2 108.54	2 979.98	_	7.57	54.06	2 184.12	3.63
,	冰川积雪	_	_	_	0.04	_	0.42	0.16	_	0.19	0
	荒漠	_	0.12	_	1 472.75	48.99	61.16	221.56	_	1 583.01	2.63
	湿地	64.12	119.23	0.55	29 457.50	7.35	_	_	13 123.82	29 648.75	49.23
转出总	总量/hm²	759.72	762.59	3 706.59	47 958.14	1 369.63	434.98	72.40	80.57	5 837.54	_
转出	比例/%	1.67	1.27	6.16	79.64	2.27	0.72	0.12	0.13	9.69	_

2.2 生态系统服务价值总体变化特征

根据公式(10)计算得到黄河上游四川段生态系统服务价值敏感性指数范围为 0.001~0.48,表明研究结果具有较高可信度。从表 2 和图 3 可以看出,2000—2020 年间湿地、耕地、灌木水系和荒漠转换为其他土地利用类型主要为草地,草地生态系统服务价值增量最大,为 2.21×105元,草地对生态系统总价值贡献最大,2000 年、2010 年和 2020 年草地生态系统

服务价值分别占总价值的 86.4%,90.6%和 84.2%,2000 年和 2020 年生态系统服务价值占总价值比最小的为冰川积雪,均小于 0.002%,且 20 年间只有冰川积雪的生态系统服务价值减小,2010 年生态系统服务价值占总价值比例最小的是荒漠,小于 0.001%。从表 5 可以看出,20 年间草地的生态服务贡献率最高,为 83.2%,综合说明草地土地利用面积变化所产生的生态服务价值变化量对区域总服务价值变化量

影响最大。研究时段内只有冰川积雪为负向贡献因 子,生态服务贡献率最低,为一0.001%,影响较小,其 余均为正向贡献因子,使得20年间黄河上游四川段 生态系统服务价值整体呈上升趋势。2000年生态系 统服务总价值为 1.27×10¹⁰ 元,2010 年为 2.51×10¹⁰ 元,2000-2010 年时段增加 1.24×10¹⁰ 元,草地土地 利用面积的增量对该时段内区域总服务价值变化量 贡献最大,其土地利用转入面积最大,为 31 837.70 hm²,且生态服务贡献率最大,为93.90%,其次是林 地,为3.70%,呈负向贡献的只有湿地,为一0.50, 2020年总价值为 3.92×10¹⁰元,2010—2020间增加 1.41×10¹⁰元,该时段内草地的生态服务贡献率最大, 为72.90%,其次是湿地和林地,分别为17.20%和 4.90%,该时段内荒漠面积增加,草地土地利用面积 减少显著,其转出面积占转出总量比例最大,为 79.60%,转换为其他土地利用类型以林地和湿地为 主,湿地和林地面积增量均大于 1 000 hm²,平衡了 由于草地退化而减少的生态系统服务价值量,整体呈 现增加趋势,说明除草地外,湿地和林地在该研究区 生态系统服务调节方面也具有至关重要的作用。

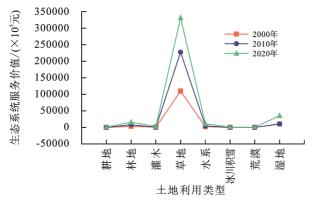


图 3 黄河上游四川段不同生态系统服务价值

Fig. 3 Value of different ecosystem services in the Yellow River Basin of Sichuan Province

表 5 黄河上游四川段 2000—2020 年生态服务贡献率

Table 5 Contribution rate of ecological services in Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River from 2000 to 2020

土地利用	生态服务贡献率/%							
类型	2000—2020 年	2000—2010 年	2010—2020 年					
耕地	0.008	0.022	-0.005					
林地	4.422	3.748	4.980					
灌木	0.496	0.027	0.909					
草地	83.184	93.884	72.932					
水系	2.976	1.822	3.976					
冰川积雪	-0.001	0.005	-0.006					
荒漠	0.006	0	0.012					
湿地	8.907	-0.492	17.180					

总体来说,2000-2020年研究时段内,耕地和冰

川积雪的生态系统服务价值先增加后减少,湿地先减少后增加,其他土地利用类型的生态系统服务价值均呈现增加趋势,研究表明黄河上游四川段生态系统主要土地利用类型面积变化对生态系统价值影响显著,其中草地影响最大,其次是湿地和林地。

2.3 生态系统单项服务价值变化特征

从图 4 可以看出,2000 年、2010 年和 2020 年的 黄河上游四川段各生态系统服务四大服务功能的价值均为调节>支持>供给>文化,总体呈增加趋势,其中调节服务增量最大,2000—2010 年增加8.08×10°元,从2010 年的 16.30×10°元增加至 2020 年的 25.60×10°元,增量为 9.24×10°元;其次是支持服务,在2000—2020 年,2 个 10 年增量分别为 2.96×10°,3.19×10°元;增量最小的是文化服务,2000—2010 年增加 0.59×10°元,2010—2020 年增加 0.77×10°元。总体来看,四大一级功能的价值 2010—2020 年增量均大于2000—2010 年增量,表明研究区内的生态系统调节能力越来越好,对生态治理、经济发展、生态布局规划等方面的发挥重要作用。

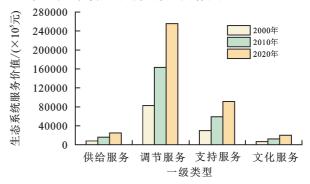


图 4 黄河上游四川段生态系统不同服务功能价值

Fig. 4 The value of different service functions of ecosystems in the upper reaches of the Yellow River in Sichuan

黄河上游四川段不同单项生态系统服务价值(图5)估算可知,2000年和2020年11个单项服务功能价值量依次排序均为气候调节>水文调节>生物多样性>土壤保持>气体调节>净化环境>美学景观>原料生产>水资源供给>食物生产>维持养分循环;2010年11个单项服务功能价值排序稍有区别,依次为气候调节>水文调节>土壤保持>生物多样性>气体调节>净化环境>美学景观>原料生产>食物生产>水资源供给>维持养分循环,3个时段的单项服务功能均为服务性功能高于生产性功能。研究发现,2000—2010年各单项生态系统服务功能均呈增加趋势,其中气候调节的增量最大,高达3.25×10°元,占总增量的26.20%;其次是水文调节功能,由2000年的2.90×10°元上涨到2010年的

5.43×10°元,增加量为 2.53×10°元;维持养分循环增量最小,10 年间共增加 1.15×10°元。2010—2020年各单项生态系统服务功能均呈增加趋势,增量最大的是其水文调节,为 3.74×10°元;其次是气候调节,增量为3.14×10°元;增量最小的是维持养分循环,占总增量的 0.80%。综合来看,2000—2010 年单项服务总功能价值增长率(46.80%)小于 2010—2020 年单项服务总功能价值增长率(53.19%),20 年间气候调节单项功能在研究时段内的生态服务功能价值量最大,增量最多,其次是水文调节,而后是土壤保持和生物多样性,4 项之和占总价值比例超过 69.50%,表明这 4 项在该区域的生态系统服务调节中占据主要位置,可能因为草地、湿地和林地的面积及价值系数较大,土地利用变化对总生态系统服务价值影响显著。

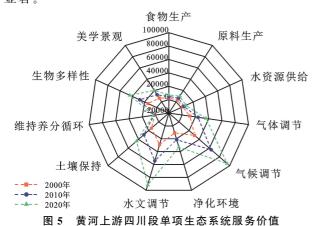


Fig. 5 Value of individual ecosystem services in the Sichuan section of the upper reaches of the Yellow River

3 讨论

黄河上游四川段的土地利用类型以草地为主,其 次是湿地和林地。20年间草地、耕地呈现减少趋势, 林地、湿地大量增加与已有的研究结果[21]相符。研 究表明,2000-2020年间土地利用转化类型以草地 与林地、湿地及其他土地利用类型的相互转换为主, 与尹登玉等[38]研究 2000-2020 年黄河流域国土空 间格局演变及生态响应结果一致。本研究表明,20 年间黄河上游四川段总生态系统服务价值持续增长, 与秦明星等[39]针对黄河流域生态服务价值与经济协 调发展的时空演化研究结果一致,2000-2020年黄 河流域全域生态服务价值(ESV)持续增长。有研 究[40]表明,土地利用变化对生态系统调节有影响,土 地利用变化直接或间接影响生态系统服务价值的变 化[41],尤其是主要土地利用类型的变化,影响较为显 著,刘耕源等[41]和刘翊涵[42]研究表明,草地、湿地和 林地对黄河上游流域生态系统服务价值贡献显著,与

本研究结果相符。本研究中,2010-2020年间草地 面积减小,但研究区的整体生态系统服务呈增加趋 势,这主要是由于湿地和林地等面积增加,平衡因草 地面积减小造成的生态系统服务价值损失。草地在 2010年-2020年面积减小的原因主要是由于畜牧业 是该区的支柱产业,牧业用地占93.0%,草地沙化严 重,且畜牧量随着人口增加而不断增加,造成超载过 牧,超出草地承载能力,使草地面积呈减小趋势。庞 一剑[43]研究表明,2010-2020年间区域总生态系统 价值逐渐减小,与本研究生态系统价值变化趋势相 悖,由于庞一剑[43]只针对若尔盖湿地,本研究区为黄 河上游四川段相关区域,研究区域内主要土地利用类 型不同以及面积差异,从而相悖。庞一剑[43]研究表 明,2000-2010年间湿地生态系统服务价值呈现减 小趋势是由于湿地面积在逐渐减少,与本研究结果相 符,表明在该时段内高原湿地处于退化状态。2010— 2020年内湿地土地利用面积增加,使得湿地生态系 统服务价值增加显著,促进该时段区域总生态系统服 务价值增加,表明湿地生态治理向好。基于以上内容 提出建议,一是针对区域生态环境特点,转变生产方 式,优化畜种畜群结构,调控"草畜"平衡发展,同时根 据评价结果强化生态补偿机制;二是根据研究区产业 特点和经济发展要求,以生态保护和生态优先为前 提,大力发展高质量民族特色农牧业、工业和服务业, 多种措施助力经济发展。

本研究表明,四大服务功能对黄河上游四川段生 态系统服务价值贡献率从大到小依次为调节服务> 支持服务>供给服务>文化服务,服务性功能高于生 产性功能,与罗芳等[21]的研究结果相符,由于草地、 林地和湿地是研究区主要土地利用类型,在调节气 候、保持水土、水源涵养等方面具有积极作用,对调节 服务和支持服务功能价值贡献较大。为提高总服务 价值增加,可在维持调节和支持服务功能价值的基础 上,重点提高供给和文化服务功能价值,在今后区域 生态保护工作中应加强对草地、林地和湿地的看管, 利用该区域优越的自然资源,发展具有民族特色文化 的绿色旅游产业等,创造更丰厚的生态价值。从单项 生态系统服务功能来看,贡献率最大的是气候调节, 其次是水文调节、生物多样性和土壤保持,原料生产、 水资源供给、食物生产和维持养分循环单项服务功能 价值有较大提升空间,维持生态保护稳定的前提下, 提高这4项服务功能价值,促进该区域经济社会发 展。整体上看,黄河流域上游四川段生态状况在近20 年有明显改善,为促进"生态一经济一社会"协调发展, 基于以上内容提出建议,一是推动大型基础设施建设, 加强一二三产业融通发展,构建地方性、绿色现代农牧业;二是将区域生态建设与特色产业培育和农牧民增收有机结合,确保生态建设与保护长期可持续。

本研究基于土地利用变化对黄河上游四川段生 态系统服务价值进行评价,适用于当地资源保护、生 态补偿、土地利用格局优化和土地资源的合理配置等 方面,其评价结果可向应用实践转化。不同土地利用 类型所承载的生态系统服务价值有显著差异,结合我 国土地利用现状,对不同尺度、不同区域、不同地类的 生态系统服务价值进行评价具有重大意义,全国第7 次(2005-2009年)森林资源清查资料和国家林业局 2008 年发布的林业行业标准 LY/T 1721-2008《森 林生态系统服务功能评估规范》是全国生态系统服务 价值评估转化为应用实践的标志性事件。本研究为 监测和研究黄河上游四川段不同类型和区域土地利 用变化提供参考,为研究民族地区经济社会与生态保 护协调发展特殊对策提供依据,为改善黄河上游四川 段流域生态环境,优化水资源配置,改善人民群众生 活,维护各民族团结筑牢基底。

4 结论

(1)黄河上游四川段土地利用类型多样,主要以草地、湿地和林地为主。2000—2010年土地利用变化较 2010—2020土地利用变化稳定,20年间各地类均发生面积转移,主要表现为林地、荒漠、湿地和水系面积相对增加,林地增量最多,耕地、灌木、草地和冰川积雪面积相对减少,草地减少量最大,冰川积雪和荒漠的动态变化显著,且呈扩张趋势,应注重该地区的生态治理。此外,草地、湿地、林地和水系相较稳定,针对该民族地区以农牧业为主的情况,需进一步加强该地区"水草畜"平衡治理。

(2)受该区域土地利用变化的影响,黄河上游四川段在 2000—2020 年时段的生态系统服务价值呈上升趋势,2000 年、2010 年和 2020 年生态系统服务价值分别为 1.27×10¹⁰元、2.51×10¹⁰元和 3.92×10¹⁰元,生态系统服务价值逐渐增加反映出该地区生态系统为人类提供服务的能力逐步提高,其中草地、湿地和林地面积的变化对研究区生态系统服务价值增量的正向贡献显著。2000—2010 年间的价值增长率为 97.70%,2010—2020 年间的增长率稍下降,为56.20%,原因主要是随着追求经济的发展,对资源的开发利用,超载放牧,草地一定程度退化,生态系统服务增长率下降,但是由于湿地和林地面积增加,总价值量呈增长趋势。研究表明生态系统服务价值与各类土地利用面积显著相关,因此,在今后的土地利用规划中,应当重点关注土地利用变化对生态系统服务功能价值的影响。

(3)研究区在 2000—2020 年时段各单项生态系统服务价值呈增加趋势。研究时段内四大功能的价值均为调节服务>支持服务>供给服务>文化服务,其中调节服务贡献最大,文化服务贡献最小。从二级功能来看,2000 年、2010 年和 2020 年的气候调节、水文调节、土壤保持和生物多样性是生态系统服务价值主要贡献服务功能,4 项之和占总价值的比例超过69.50%,而维持养分循环贡献量均为最小。变化的原因主要是由于草地、湿地和林地对气候、生态等方面有很强的调节作用。

(4)本研究还存在2点不足之处,一方面是将土地利用类型分为耕地、林地、草地、灌木、水系、湿地等8种地类,未对土地利用类型进行细分(如高覆盖草地、中覆盖草地等),应考虑不同草地和林地单位生态价值的存在差别;另一方面,只考虑土地利用面积,没有考虑土地质量,使研究结果与实际存在一定程度偏差。由此,对土地利用类型进行细分后结合土地利用类型质量,赋予生态系统服务价值系数后计算生态系统服务价值将是下一步研究的方向之一。

(5)综上所述,为保持和促进黄河上游四川段典型民族地区生态系统高质量、可持续的服务价值,应针对该民族地区未来生态和经济的需求,不断优化土地利用结构,重点维护湿地、草地和林地的生态环境,增加生态用地,提高草地、湿地等调节能力的同时关注提供生产力的耕地。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014,33(4):441-446. FU B J, ZHANG L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography,2014,33(4):441-446.
- [2] 赵晓慧,朱明畅,雷军成,等.东江源区生态系统服务价值时空变化及驱动力研究[J].水生态学杂志,2023,44 (2):26-33.
 - ZHAO X H, ZHU M C, LEI J C, et al. Spatio-temporal changes and driving forces of ecosystem service value in the headwater region of Dongjiang River[J]. Journal of Hydroecology, 2023, 44(2):26-33.
- [3] XU Y Q, XIAO F J, LIAO Y M. Assessment of grass-land ecosystem service value in response to climate change in China[J]. Diversity, 2022, 14(3):e160.
- [4] 刘玉龙,马俊杰,金学林,等.生态系统服务功能价值评估方法综述[J].中国人口·资源与环境,2005,15(1):88-92. LIU Y L, MA J J, JIN X L, et al. Summary of assessment methods for valuation of ecosystem service function[J]. China Population, Resources and Environment,2005,15(1):88-92.

- [5] 魏慧,赵文武,张骁,等.基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价:以山东省德州市为例[J].生态学报,2017,37(11):3830-3839.
 - WEI H, ZHAO W W, ZHANG X, et al. Regional ecosystem service value evaluation based on land use changes: A case study in Dezhou, Shandong Provience, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37 (11): 3830-3839.
- [6] 邵梅,马立鹏,王新源,等.2004—2014年河西走廊荒漠 化草地生态系统服务价值估算[J].中国沙漠,2022,42 (3):63-73.
 - SHAO M, MA L P, WANG X Y, et al. The valuation of ecosystem service value of desertification grassland from 2004 to 2014 in Hexi Corridor, China[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(3):63-73.
- [7] 彭文甫,周介铭,杨存建,等.基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(7):1053-1062.
 - PENG W F, ZHOU J M, YANG C J, et al. Research on ecosystem service values based on land use change in Sichuan Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(7):1053-1062.
- [8] 谢高地,张钇锂,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.
 - XIE G D, ZHANG Y L, LU C X, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(1):47-53.
- [9] 申梦姝,郑航,刘悦忆,等.基于改进的当量因子法的生态服务价值时空变化研究:以长江流域为例[J].长江科学院院报,2023,40(9):47-54.
 - SHEN M S, ZHENG H, LIU Y Y, et al. Spatio-temporal changes of ecological service value based on improved equivalent factor method: Case study on Yangtze River Basin [J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2023, 40(9):47-54.
- [10] 朱治州,钟业喜.长江三角洲城市群土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1520-1530.
 - ZHU Z Z, ZHONG Y X. Spatio-temporal evolution of land use and ecosystem service value in Yangtze River Delta urban agglomeration [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28 (7): 1520-1530.
- [11] 欧阳晓, 贺清云, 朱翔. 多情景下模拟城市群土地利用 变化对生态系统服务价值的影响: 以长株潭城市群为例 [J]. 经济地理, 2020,40(1):93-102.
 - OUYANG X, HE Q Y, ZHU X. Simulation of impacts of urban agglomeration land use change on ecosystem

- services value under multi-scenarios: Case study in Changsha-Zhuzhou-xiangtan urban agglomeration[J]. Economic Geography, 2020, 40(1):93-102.
- [12] 房学宁,赵文武.生态系统服务研究进展: 2013 年第 11 届国际生态学大会(INTECOL Congress)会议述评[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6736-6740.
 - FANG X N, ZHAO W W. Research progress of ecosystem services: Review of the 11th International Ecological Congress in 2013[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,33(20):6736-6740.
- [13] 张瑜.黄土高原生态系统服务价值动态评估及其变化研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2018.
 - ZHANG Y. Research on the dynamic evaluation and change of ecosystem service value in Loess Plateau[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences), 2018.
- [14] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [15] ASSESSMENT M E. Ecosystems and human well-being [M]. Washington D. C.: Island Press, 2005.
- [16] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
 - XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8):1243-1254.
- [17] 郭亚红,阿布都热合曼·哈力克,魏天宝,等.基于土地利用变化的和田地区生态系统服务价值分析[J].生态学报,2021,41(16):6363-6372.
 - GUO Y H, ABDIRAHMAN H, WEI T B, et al. The ecosystem service value evaluation of Hotan area based on land use changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41 (16):6363-6372.
- [18] 李晋昌,王文丽,胡光印,等.若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2011,31 (12):3451-3459.
 - LIJC, WANG W L, HUGY, et al. Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(12): 3451-3459.
- [19] 高奇,师学义,黄勤,等.区域土地利用变化的生态系统服务价值响应[J].中国人口·资源与环境,2013,23(增刊 2):308-312.
 - GAO Q, SHI X Y, HUANG Q, et al. Response of eco-

- system service value to regional land use change [J]. China Population, Resources and Environment, 2013,23 (S2):308-312.
- [20] 吴翠霞,冯永忠,赵浩,等.基于土地利用变化的甘肃省 黄河流域生态系统服务价值研究[J].中国沙漠,2022,42 (6):304-316.
 - WU C X, FENG Y Z, ZHAO H, et al. Study on ecosystem service value of the Yellow River Basin in Gansu Province based on land use change[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(6):304-316.
- [21] 罗芳,潘安,陈忠升,等.四川省土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J].云南农业大学学报(自然科学),2021,36(4):734-744.
 - LUO F, PAN A, CHEN Z S, et al. Impact of land use change on the ecosystem service value in Sichuan Province[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2021, 36(4):734-744.
- [22] 周强伟,李萌.长效机制推进四川黄河流域生态保护与高质量发展[J].当代县域经济,2021(10):8-10.
 ZHOU Q W, LI M. Long-term mechanism to promote ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin in Sichuan[J].Contemporary County Economy,2021(10):8-10.
- [23] 王寅,高磊,胡士辉,等.实施黄河流域四川片生态补偿的对策建议[J].水利发展研究,2022,22(1):60-62. WANG Y, GAO L, HU S H, et al. Countermeasures and recommendations for implementing ecological compensation in Sichuan Province of the Yellow River Basin [J]. Water Resources Development Research, 2022, 22 (1):60-62.
- [24] 丁辉,安金朝.黄河上游甘南段生态系统服务价值估算 [J].人民黄河,2015,37(5):74-76. DING H, AN J Z. Study on the ecosystem service value of the upper Yellow River in Gannan area[J]. Yellow River,2015,37(5):74-76.
- [25] 张晓云,吕宪国,沈松平.若尔盖高原湿地生态系统服务价值动态[J].应用生态学报,2009,20(5):1147-1152.

 ZHANG X Y, LÜ X G, SHEN S P. Dynamic changes of Ruoergai Plateau wetland ecosystem service value [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20 (5): 1147-1152.
- [26] 胡运禄,张明善.中国若尔盖高原湿地生态系统服务价值评价[J].安徽农业科学,2021,49(12):70-73,79. HUYL, ZHANGMS. Evaluation on the service value of wetland ecosystem in zoige plateau, China[J].Journal of Anhui Agricultural Sciences,2021,49(12):70-73,79.
- [27] 庞丙亮,崔丽娟,马牧源,等.若尔盖高寒湿地生态系统服务价值评价[J].湿地科学,2014,12(3):273-278.

- PANG B L, CUI L J, MA M Y, et al. Evaluation of ecosystem services valuation of alpine wetlands in zoigê plateau[J]. Wetland Science, 2014, 12(3): 273-278.
- [28] 张晓云,吕宪国,沈松平,等.若尔盖高原湿地区主要生态系统服务价值评价[J].湿地科学,2008,6(4):466-472. ZHANG X Y, LÜ X G, SHEN S P, et al. Service value evaluation of main ecosystems of Ruoergai Plateau marshes[J].Wetland Science,2008,6(4):466-472.
- [29] 四川省统计局.四川统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
 Sichuan Provincial Bureau of Statistics. Sichuan statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press,2021.
- [30] 国家发展和改革委员会价格司,价格成本调查中心.全国农产品成本收益资料汇编-2021[M].北京:中国统计出版社,2021.

 Price Department, National Development and Reform
 - Price Department, National Development and Reform Commission. National compilation of agricultural product cost and benefit information[M].Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [31] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究 [J]. 遥感学报,1997,1(3):225-230.

 LIU J Y. Study on national resources and environment survey and dynamic monitoring using remote sensing [J]. Journal of Remote Sensing,1997,1(3):225-230.

[32] 王飞,高建恩,邵辉,等.基于 GIS 的黄土高原生态系统

- 服务价值对土地利用变化的响应及生态补偿[J].中国水土保持科学,2013,11(1):25-31.
 WANG F, GAO J E, SHAO H, et al. Response of ecosystem service values to land use change based on GIS and ecological compensation in Loess Plateau[J].Science
- [33] 朱晓昱,王宗明,徐大伟,等.呼伦贝尔草原生态功能区 土地利用变化及驱动力分析[J].中国农业资源与区划, 2020,41(4):74-82.

of Soil and Water Conservation, 2013, 11(1): 25-31.

- ZHU X Y, WANG Z M, XU D W, et al. Analysis of land use change and driving forces in ecological functional area of Hulunber grassland [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(4):74-82.
- [34] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services [J]. Global Environmental Change, 2014, 26:152-158.
- [35] 朱玉鑫,姚顺波.基于生态系统服务价值变化的环境与 经济协调发展研究:以陕西省为例[J].生态学报,2021, 41(9):3331-3342.
 - ZHU Y X, YAO S B. The coordinated development of environment and economy based on the change of eco-

- system service value in Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9):3331-3342.
- [36] 陈万旭,李江风,朱丽君.长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J].自然资源学报,2019,34 (2):325-337.
 - CHEN W X, LI J F, ZHU L J. Spatial heterogeneity and sensitivity analysis of ecosystem services value in the Middle Yangtze River region[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2):325-337.
- [37] 陈相标,丁文荣,李孝川.滇中城市群土地利用转型及生态系统服务价值交叉敏感性分析[J].水土保持研究,2022,29(6):233-241.
 - CHEN X B, DING W R, LI X C. Analysis of cross-sensitivity of land use transition and ecosystem service value of urban agglomeration in central Yunnan[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(6):233-241.
- [38] 尹登玉,于吴辰,卢彦琦,等.2000—2020 年黄河流域国 土空间格局演变及生态响应[J].农业工程学报,2023,39 (4):217-228.
 - YIN DY, YUHC, LUYQ, et al. Spatial pattern evolution of territorial space and its effects on ecological response in the Yellow River Basin during 2000—2020[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(4):217-228.
- [39] 秦明星,杨翠翠,徐立帅,等.黄河流域生态服务价值与 经济协调发展的时空演化研究[J].地球环境学报,2022, 13(4):491-505.
 - QIN M X, YANG C C, XU L S, et al. Analysis of the

- spatiotemporal evolution of the coordinated development of ecosystem service value and economy in the Yellow River Basin[J]. Journal of Earth Environment, 2022, 13 (4):491-505.
- [40] LUO Q L, ZHOU J F, LI Z G, et al. Spatial differences of ecosystem services and their driving factors: A comparation analysis among three urban agglomerations in China's Yangtze River Economic Belt[J]. The Science of the Total Environment, 2020, 725; e138452.
- [41] 刘耕源,杨青,黄俊勇.黄河流域近十五年生态系统服务价值变化特征及影响因素研究[J].中国环境管理,2020,12(3):90-97.
 - LIU G Y, YANG Q, HUANG J Y. The change characteristics and influence factors of ecosystem services valuation of the Yellow River Basin from 2000 to 2015[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 12 (3):90-97.
- [42] 刘翊涵.川西高山高原区不同土地利用情景对生态服务价值的影响研究[D].成都:四川师范大学,2022. LIU Y H. Evaluating the impacts of land use changes on ecosystem service value under different scenarios in the Alpine Plateau Area of Western Sichuan[D].Chengdou: Sichuan Normal University,2022.
- [43] 庞一剑.基于遥感技术的若尔盖高原湿地生态系统的评价及其监测[D].武汉:武汉大学,2019.
 - PANG Y J. Evaluation and monitoring of Zoigê Plateau wetland ecosystem based on remote sensing technology [D]. Wuhan; Wuhan University, 2019.

(上接第177页)

- [37] 陆大道,姚士谋,李国平,等.基于我国国情的城镇化过程综合分析[J].经济地理,2007,27(6):883-887.
 - LU D D, YAO S M, LI G P, et al. Comprehensive analysis of the urbanization process based on China's conditions[J]. Economic Geography, 2007, 27(6):883-887.
- [38] 张乐艺,李霞,冯京辉,等.2000—2018 年黄河流域 NDVI 时空变化及其对气候和人类活动的双重响应 [J].水土保持通报,2021,41(5):276-286.
 - ZHANG L Y, LI X, FENG J H, et al. Spatial-temporal changes of NDVI in Yellow River Basin and its dual response to climate change and human activities during 2000—2018[J]. Bulletin of Soil and Water Con-

- servation, 2021, 41(5): 276-286.
- [39] 杜际增,王根绪,李元寿.近 45 年长江黄河源区高寒草地 退化特征及成因分析[J].草业学报,2015,24(6):5-15. DU J Z, WANG G X, LI Y S. Rate and causes of degradation of alpine grassland in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers during the last 45 years[J]. Acta Prataculturae Sinica,2015,24(6):5-15.
- [40] 梁晓文.基于 GEE 的黄河流域湿地时空演变及驱动力分析[D].郑州:河南大学,2023.
 - LIANG X W. Temporal and spatial variations and driving forces of wetlands in the Yellow River basin based on GEE [D].Zhengzhou: Henan University, 2023.