

基于价值—风险的黄河上游生态功能区生态分区建设

谢丽霞¹, 白永平¹, 车磊², 乔富伟¹, 孙帅帅¹, 杨雪菽¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093)

摘要: 黄河上游地区生态环境脆弱, 水土流失和土地退化等生态环境问题不断威胁着生态系统健康与人居环境质量。为探究黄河上游生态功能区生态环境安全状况, 本文基于2000年、2010年和2018年的土地利用数据, 借助生态系统服务模型、生态风险模型, 定量分析了生态系统服务价值和生态风险指数的时空演变规律, 并通过Z-score标准化的方法建设了四类生态分区。结果表明: (1) 研究期内, 各土地利用类型均发生不同程度变化, 其中建设用地由于耕地和草地的转入增加最显著, 增长面积为118 km², 增长率为46.36%。(2) 研究区总体服务价值变化程度较小, 生态系统服务以调节服务为主且草地提供价值最高。高服务价值区主要分布于临夏州西南部和卓尼县等植被覆盖度较高的地区。(3) 研究区生态风险水平总体偏低, 整体呈现“南北两端高、中间低”的分布特征, 其中低、较低生态风险区占总面积的76%以上。(4) 四类生态分区均发生了较小的变化, 表明生态分区处于较为稳定的发展状态。不同生态分区的空间分布连续性差, 其中以高生态系统服务价值—高生态风险区(I)最为典型。通过生态系统服务与生态风险(价值—风险)建设生态分区, 可为协调区域人地关系与明确未来发展方向提供理论基础。

关键词: 生态系统服务; 生态风险; 生态分区; 黄河上游生态功能区

生态系统结构和效用的稳定性对于支撑人类社会可持续发展至关重要^[1]。生态系统在提供各项服务时, 自身也不断面临着各种风险; 人类在从生态系统中获取利益的同时, 过度汲取使得生态系统功能逐渐弱化, 生态系统供给价值不断损失。20世纪末, 中国城镇化速度加快使得土地利用类型剧烈变化, 导致生态系统服务和生态风险不断变化进而影响人类福祉^[2]。由于区域生态系统服务和生态风险之间存在时间和空间上的相互作用, 因此, 对不同地区生态系统供给造成的生态风险进行识别, 并建设不同等级的生态分区进行分区管控, 不仅是提升人居环境质量的重要基础, 也是区域生态工程建设的前提条件^[3]。

目前, 多数国内外学者将区域生态系统服务与生态风险评价作为两个独立的科学问题, 分别从格局^[4,5]、过程^[6,7]和功能^[8,9]等方面开展了大量卓有成效的研究。随着近年来“以人为本”生态文明建设的根本理念和价值导向的要求, 将人类福祉相关的生态系统服务纳入生态风险评价的框架, 成为生态安全研究的前沿和热点^[10]。如今, 结合生态系统服务的生态风险评价多为理论层面的分析和概念的探讨, 相关的实证案例分析较少^[11-13], 研

收稿日期: 2020-05-06; 修订日期: 2020-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771054); 甘肃省重点研发计划(18YF1FA052); 高等学校博士学科点专项科研基金联合资助课题(20106203110002)

作者简介: 谢丽霞(1994-), 女, 甘肃甘谷人, 硕士, 研究方向为区域发展与管理。E-mail: xlxuqiao@126.com

通讯作者: 白永平(1961-), 男, 江苏南京人, 博士, 教授, 研究方向为区域发展与管理。

E-mail: baiyp@nwnu.edu.cn

究区域也以京津冀^[14]、长株潭^[15]和长三角^[16]等经济发达地区和西南地区^[17,18]为主。与多数学者未将生态系统服务与生态风险联系起来并作为相对平衡的研究领域相比,本文将生态系统服务与生态风险(价值—风险)作为同等重要的研究范畴,从二者结合起来的新视角出发,基于土地利用变化,开展了生态分区建设。生态分区不仅可以兼顾生态系统内多生存对象,而且能对区域发展从生态系统、人类福祉等多方面进行考量,增强研究的实用性和效用性。此外,生态分区建设强调生态系统的完整性与独特性,可从正反两面表征区域生态安全状况,使管理者能够更精准地衡量决策环境、生态和社会要素,全方位开展地区生态安全与社会发展建设,进一步推动区域生态系统的良性循环^[19]。通过分析土地利用、生态系统服务与生态风险的时空演变特征,可为生态分区建设提供定量依据,也为生态安全建设提供新的研究思路。

黄河流域自身生态环境的脆弱性与人类干扰加剧,使得全流域水土流失、土地退化、生态系统功能弱化等问题频发,如今虽然在生态治理和环境保护等方面取得了突破性的进展,但生态治理依旧任重道远^[20]。黄河上游地区作为“中华水塔”,其土地利用的生态系统服务与生态风险整合研究对促进经济发展、改善人居环境和生境变化监测具有重要意义^[21]。分析土地利用变化对生态系统的影响能将生态系统服务和生态风险相联系并作为衡量人地关系、生态系统协调发展的标准之一,而土地资源合理利用的最终表达是生态功能区^[22]。综上所述,选取黄河上游生态功能区为研究区域,基于土地利用变化数据,构建模型指数,定量分析生态系统服务价值和生态风险值,旨在通过揭示二者的时空演变规律,将环境状态与人类福祉联系起来进行生态分区建设,为研究区生态环境进行分区管控提供理论指导。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

黄河上游生态功能区是国家重点水源涵养区,其生态安全对全流域的环境保护与经济稳定发展具有重要的奠基作用^[23]。本文研究范围包括临夏回族自治州和甘南藏族自治州的12个县(市)(图1)。研究区位于青藏高原东北部边缘,是青藏高原向黄土高原过渡的承接区,地势落差大,大部分地区海拔在3000 m以上,垂直差异显著。气候类型为温带大陆性气候,气温年、日较差较大,降水量较少,主要集中于6-9月份。区域总面积36203 km²,总人口213万人,分布有藏、汉、回、东乡、撒拉等多个民族。全区以第一产业农、林、牧业为主,生产方式较为落后,经济发展缓慢。随着该区城市建设与人口增多,人们对自然环境的扰动加大,加之自然气候

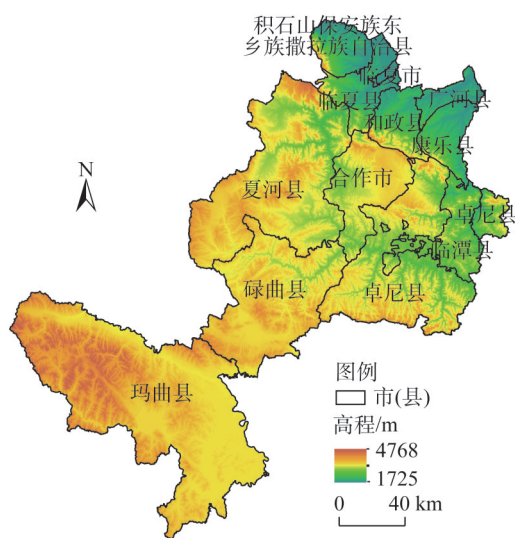


图1 黄河上游生态功能区范围

Fig. 1 The location of ecological function area in the Upper Yellow River

条件恶劣,生态环境脆弱,水土流失、草场退化、土地沙化、滑坡、泥石流、冰雹等生态环境问题和自然灾害较为严重,生态系统发展较为失衡。

1.2 数据来源及处理

采用的2000年、2010年和2018年三期土地利用数据来源于中国科学院资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn/>),分辨率为30 m×30 m。参照全国土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007),结合高原流域生态功能区不同地类的特征,将该区土地利用划分为耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地共六大类。粮食产量与粮食价格数据来源于《甘肃省统计年鉴》《中国统计年鉴》和中国统计信息网(<http://www.tjcn.org/>)。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务与生态风险研究单元的划分

为实现生态系统服务与生态风险的空间化,在考虑研究区生态空间特性和范围的基础上,依据景观生态学理论进行等间距采样,经对比发现,5 km是该地区进行生态风险研究的最优尺度,故将研究区划分为5 km×5 km共1522个格网。每个格网作为生态研究单元进行空间采样和计算。

1.3.2 生态系统服务价值评估

按照谢高地等^[24]生态系统服务价值的评估方法体系制定的中国陆地生态系统服务价值当量表,为研究区不同地类的生态系统服务当量值进行计算,具体计算公式如下:

$$ESV_{kj} = \sum_{j=1}^m A_{kj} \times VC_j \quad (1)$$

式中: ESV_{kj} 为研究单元 k 的第 j 类土地利用类型的生态系统服务价值(元); A_{kj} 为研究单元 k 的第 j 类土地利用类型的面积(km^2); VC_j 为第 j 类土地利用类型单位面积生态系统服务价值(元/ km^2)。为使研究区生态系统服务价值当量与当地实际情况相符,经过如下公式进行价值当量修正^[25]:

$$E_a = Q \times \frac{1}{7} F \quad (2)$$

$$VC_j = E_a \times V \quad (3)$$

式中: E_a 为单位价值当量(元/ km^2); Q 为2000—2018年临夏州和甘南州单位面积粮食平均产量,为 $3.60 \times 10^5 \text{ kg}/\text{km}^2$; F 为全国2018年粮食收购价格,为2.14元/kg; V 为不同土地利用类型的当量值。按照式(3)计算得到修正后不同地类的单位生态系统服务价值当量,分别为耕地8824元/ km^2 、林地31410元/ km^2 、草地13035元/ km^2 、水体55917元/ km^2 、未利用地1553元/ km^2 。

1.3.3 生态风险指数的构建

按照不同研究单元中各类土地利用类型面积比例及各地类不同风险权重构建生态风险指数,具体计算公式如下:

$$ERI_{kj} = \sum_{j=1}^m \frac{A_{kj} W_j}{A} \quad (4)$$

式中: ERI_{kj} 为生态研究单元 k 的第 j 类土地利用类型生态风险指数; j 表示不同土地利用类型; A 为生态单元总面积(km^2); W_j 为第 j 类土地利用类型生态风险权重。按照研究区土地利用类型分布特征以及每一地类对该区造成风险的强弱程度,经过参考专家学者^[26,27]的

研究经验与结果，对每一地类分别赋予不同的权重， W 分别为耕地0.32、林地0.12、水体0.53、草地0.16、建设用地0.85和未利用地0.82。

1.3.4 生态系统价值—风险分区建设

依照以上对生态系统服务价值与生态风险指数的测算，对1522个研究单元进行Z-score标准化， x 轴和 y 轴分别表征标准化后生态系统服务价值与生态风险值，据此可以划分出四个象限，象限I、II、III、IV分别表示高生态系统服务价值—高生态风险、低生态系统服务价值—高生态风险、低生态系统服务价值—低生态风险、高生态系统服务价值—低生态风险四类生态分区^[28]。具体计算公式如下：

$$x = \frac{x_j - \bar{x}}{s} \tag{5}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^a x_j \tag{6}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{a} \sum_{j=1}^a (x_j - \bar{x})^2} \tag{7}$$

式中： x 为研究单元标准化后的生态系统服务价值和生态风险指数； x_j 为第 j 个研究单元的生态系统服务价值和生态风险指数； \bar{x} 为研究区平均值； s 为研究区标准差； a 为研究单元总数（个）。

2 结果分析

2.1 土地利用变化分析

不同土地利用类型均发生了变化，从各地类的增减来看，建设用地扩张最为迅速，其面积在研究期内净增加了118 km²，增长率为46.36%。面积减少最多的地类是耕地，从2000年的2894.54 km²到2018年减少至2721.56 km²，减少量为172.99 km²，减少率为5.98%。草地的面积波动减少，但发生变化的比例不大，减少率仅为0.08%。林地的面积持续增加，其面积增加量55.59 km²，增长0.74%。水域面积有所增加，总体增加17.52 km²，增长比例为6.68%。未利用地有所减少，其面积减少71.80 km²，下降比例为3.07%。根据土地利用转移矩阵可以得到（表1），自2000年，研究区土地利用发生变化的面积占总面积的17.46%，为5864.37 km²。在不同土地转移类型中，以耕地、草地和林地之间的转移所占优势明显，转移面积为5117.35 km²，占变化面积的87.26%。其中

表1 2000—2018年黄河上游生态功能区土地利用转移矩阵
Table 1 Land use transfer matrix of the ecological function area in the Upper Yellow River from 2000 to 2018 (km²)

土地利用类型		2018年土地利用面积					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000年土地利用面积	耕地	2114.14	150.45	435.33	23.84	164.63	4.88
	林地	76.71	5673.69	1699.40	13.02	7.50	27.19
	草地	430.09	1700.33	17764.13	63.72	55.40	355.81
	水体	19.11	11.30	45.21	159.73	3.70	6.53
	建设用地	79.51	7.40	24.56	1.52	141.74	0.59
	未利用地	1.79	17.13	419.01	17.76	0.92	1873.29

草地是研究区土地利用的主要转出类型,其面积主要转为林地和耕地,转出面积达2623.52 km²,占总转化面积的44.74%。建设用地是研究区土地利用的主要转入类型,其面积增多的主要来源是耕地、草地,面积变化达232.15 km²,占变化地类总面积的3.96%。耕地以转为草地和建设用地为主,转出面积达607.21 km²,占转化地类总面积的10.35%。林地主要由草地和耕地转入,变化面积为1886.61 km²,占转化总面积的32.17%。水域则主要转变为草地和耕地,变化面积为119.87 km²,占转化总面积的2.04%。未利用地主要转出为草地和水域,转出面积分别为未利用地总面积的15.68%和1.20%。总体来看,相较于建设用地和耕地,其余地类转化的面积较小。

2.2 生态系统服务时空分布特征

自然断裂法是采用组间方差最大、组内方差最小分级方法,可将生态系统服务价值间隔加以识别并进行恰当的分组,最终分类结果也与研究区实际价值分布相符合,因而采用自然断裂法将服务价值分为5个等级(图2)。高价值区主要集中分布于临夏县西南部、和政县西南部、卓尼县东部和南部,其中临夏州西南部和卓尼县南部呈大片连续分布,其余高价值区分布较为分散。高价值分布地区,多为林地、草地等植被覆盖度高、水热条件较好的地区,该地区生态系统等级较高,能够提供的服务种类和价值也相应较多。较高价值位于高价值外围区,且分布较为分散。较低价值则主要分布在临夏市、合作市等人口较密集区以及玛曲县沼泽地、裸岩石质地和沙土地等植被覆盖度较低的东南地区,以上地区生态环境人为干扰破坏严重,植被难以生长,生态系统等级低,因此服务价值也较低。

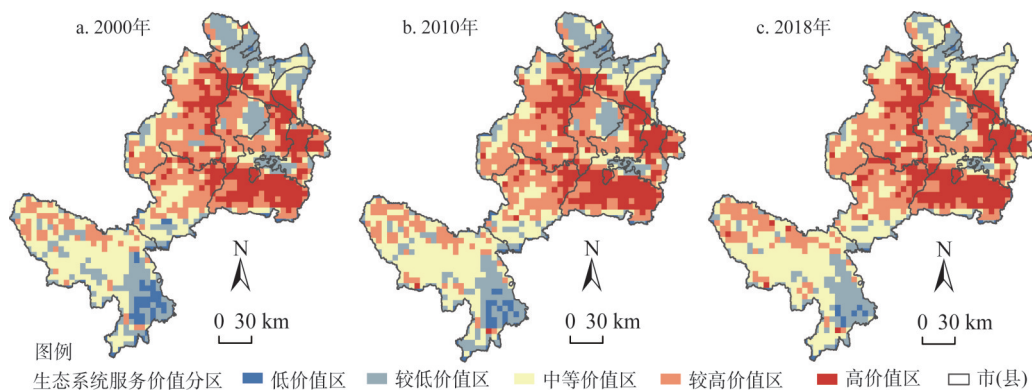


图2 黄河上游生态功能区生态系统服务价值分布

Fig. 2 Distribution of ecosystem service value of ecological function area in the Upper Yellow River

从研究区不同土地利用类型和单项生态系统服务的价值来看(表2),2000年、2010年和2018年生态系统服务价值分别为 5.42×10^4 万元、 5.44×10^4 万元和 5.43×10^4 万元,总体价值变化幅度较小。2000—2018年,在各土地利用类型中,由于草地占地区总面积比例最大,因此草地服务价值占比最多,均高于48%。耕地服务价值减少151.07万元,在城市化进程中,城镇建设占用了部分耕地,以及耕地的不合理利用加剧,使得耕地生态系统服务价值有所降低。林地与水域服务价值分别提高了181.67万元和149.54万元,退耕还林、生态文明建设等一系列生态环境保护政策的实施,林地和水域生态用地面积表现为扩大的趋势,林地和水域的服务价值得以增高。未利用地提供的服务价值占比最

表2 不同土地利用类型生态系统服务价值及占比
Table 2 Ecosystem service value and proportion of different land use types

土地利用类型	2000年		2010年		2018年	
	ESV/万元	占比/%	ESV/万元	占比%	ESV/万元	占比/%
耕地	2540.30	4.69	2435.63	4.48	2389.22	4.40
林地	23501.80	43.40	23630.93	43.43	23683.46	43.61
草地	26443.82	48.83	26365.92	48.45	26440.19	48.68
水体	1305.01	2.41	1622.96	2.98	1451.96	2.67
未利用地	359.22	0.66	358.22	0.66	348.58	0.64
供给服务	5057.63	9.12	5058.49	9.03	5058.49	9.07
调节服务	28695.17	51.74	29177.65	52.07	29177.65	52.32
支持服务	17638.66	31.81	17677.45	31.55	17677.45	31.70
文化服务	4064.53	7.33	4123.84	7.36	4123.84	7.39

少，总量均不足1%。研究区为我国青藏高原东端最大的高原湿地和黄河上游重要水源补给区，对水文调节作用显著，因而在不同的服务类型中，该区以调节作用为主，其服务价值比例均高于50%。支持服务则低于调节服务，服务价值比例均高于32%，研究区草地面积广阔，可以为较低级生态系统提供良好运作环境。供给服务和文化服务总量占比低，均不足1%，该区耕地占比较低，粮食产量相应较低，此外该区民族聚居区蕴含特色文化丰富，但特色文化产业发展程度较低，影响范围有限。

2.3 生态风险时空分布特征

通过普通克里金插值法，将研究区生态风险的属性值反映在地理空间上，得到其生态风险的空间分布。在参考前人研究成果^[26]的基础上，结合研究区的实际环境状况和三个时相的生态风险指数，将研究区划分为五类生态风险等级（表3、图3、表4）。该区三期生态风险均值分别为0.1921、0.1933与0.1918，呈波动下降的趋势，生态安全逐步向低风险类型转移，并呈现“南北两端高、中间低”的分布特征。依照图3以及风险的最大值及最小值可知，生态风险低值和高值差距逐渐增大，且低、较低生态风险区占总面积的76%以上，表明研究区部分地区如夏河县、临潭县等地区生态安全恶化趋势减慢，生态环境得到改善，但也有部分地区如临夏市、合作市等生态难以得到保护和恢复，生态环境有所恶化。

表3 生态风险分级
Table 3 Classification of ecological risks

生态风险	风险水平				
	低生态风险	较低生态风险	中等生态风险	较高生态风险	高生态风险
等级	I	II	III	IV	V
生态风险值	0.15<ERI	0.15≤ERI<0.25	0.25≤ERI<0.35	0.35≤ERI<0.45	ERI≥0.45

2000年高生态风险区集中分布于玛曲县东南部，该地区多为沼泽地、裸岩石质地和沙土地等植被覆盖度低的地类，加之该区为高原大陆性气候，温度低、雨量偏少，且地势落差大、坡度陡，天然植被在自然环境下生长缓慢，生态系统自我调节平衡能力弱。2010年高生态风险区与2000年相比基本未发生变化，始终分布于玛曲县东南部，主要

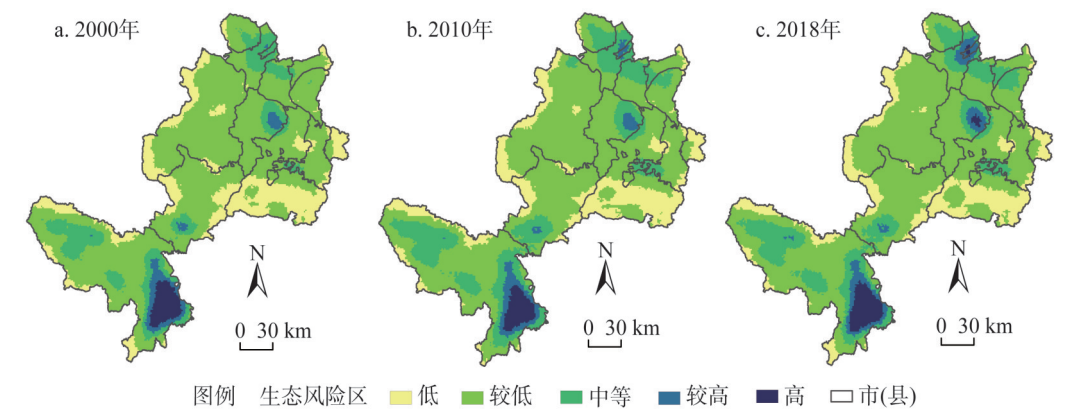


图3 黄河上游生态功能区生态风险等级分布

Fig. 3 Distribution of ecological risk levels of ecological function area in the Upper Yellow River

表4 黄河上游生态功能区生态风险等级面积及比例

生态风险等级	2000年		2010年		2018年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
低生态风险区	10529.58	31.48	10263.95	30.69	8337.05	24.96
较低生态风险区	16421.78	49.10	16343.19	48.86	17310.04	51.81
中等生态风险区	4196.73	12.55	4390.99	13.13	4826.17	14.45
较高生态风险区	1145.84	3.43	1295.84	3.87	1614.42	4.83
高生态风险区	1154.88	3.45	1154.88	3.45	1319.76	3.95

原因是该区在自然本底脆弱状态下，若没有外部因素干预调节，本身难以实现自然生态系统良性循环。较高和中等生态风险区表现为增长趋势，分别增长了 150.00 km² 和 194.26 km²。以临夏市为中心，较高和中等生态风险区在临夏县、广和县与和政县等地区不断升高并向东南方向延伸，在合作市、临潭县和碌曲县较高和中等生态风险区由城市中心不断向四周扩张。2013年“一带一路”倡议和“脱贫攻坚”政策的提出与实施，使得内陆地区获得更多发展机遇。临夏市、广河县等地区城镇化水平进一步提升，城镇在无序发展过程中占据了大量生态用地，城镇生态功能降低，生态安全也遭受影响。2018年除低生态风险区为减少的趋势外，其余生态风险区均为增长的态势。高和较高生态风险区在临夏市、合作市和临夏县等经济发展水平较高地区仍有所增长，面积较2010年增长了 164.88 km² 和 318.58 km²。中等生态风险区在研究时段内面积增加了 435.18 km²，但卓尼县、临潭县中等生态风险区基本未增加，全国生态功能区的确立，使得当地更加致力于生态修复，部分地区治理成果显著，生态系统稳定性逐步增强。较低生态风险区面积增长了 966.85 km²，夏河县中等生态风险区全部转为较低生态风险区，生态安全有所提升。

2.4 生态分区建设

通过 Z-score 标准化，得到黄河上游生态功能区生态分区象限图（图4）与空间分布图（表5、图5），并针对不同生态分区，提出了相应的分区管理措施（表6）。从总体分布趋势来看，所有生态分区均发生了不同程度的变化。研究区占比最大的是高生态系统

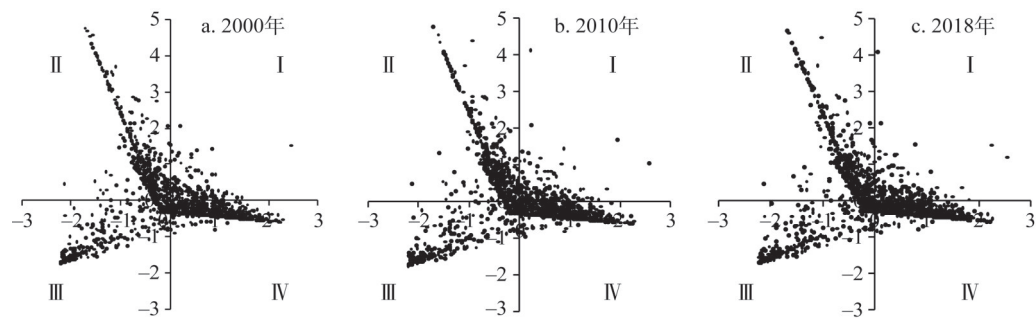


图4 黄河上游生态功能区生态分区象限分布

Fig. 4 Quadrant distribution of ecological zones in the ecological function area of the Upper Yellow River

表5 2000—2018年黄河上游生态功能区生态分区变化

象限	分区类型	总数/个			变化率/%		
		2000年	2010年	2018年	2000—2010年	2010—2018年	2000—2018年
I	高生态系统服务价值—高生态风险区	121	138	135	14.05	-2.14	11.57
II	低生态系统服务价值—高生态风险区	390	398	382	2.05	-4.02	-2.05
III	低生态系统服务价值—低生态风险区	336	327	350	-2.68	7.03	4.17
IV	高生态系统服务价值—低生态风险区	675	659	655	-2.37	-0.61	-2.96

服务价值—低生态风险区（IV），分布面积占比均高于43%，主要分布于夏河县、碌曲县北部和卓尼县等地区，但是随着社会的发展，分布地区呈逐年减少的趋势。该区多为林地和草地，植被覆盖度高，人口分布少，生态系统受干扰较小，系统内部可以实现良性运转，从而稳定创造更高的价值。低生态系统服务价值—低生态风险区（III）分布于玛曲县中部，其余在研究区边缘地区，总体呈现为波动的增长的状态，增长率为4.17%，表明随着研究区在响应国家生态保护政策下制定的一系列环境管理措施取得了显著成效，部分地区生态系统服务与生态风险渐趋协调。低生态系统服务价值—高生态风险区（II）主要集中分布于临夏州境内、玛曲县东南部等经济发展水平较高、人口密度大和生态环境脆弱区。城市扩张占据大量草地，草地转为价值较低和风险较高的耕地，土地的不合理利用加剧，人类在向生态系统攫取更多价值的同时，人地矛盾同样加剧，造成部分地区生态风险提高。高生态系统服

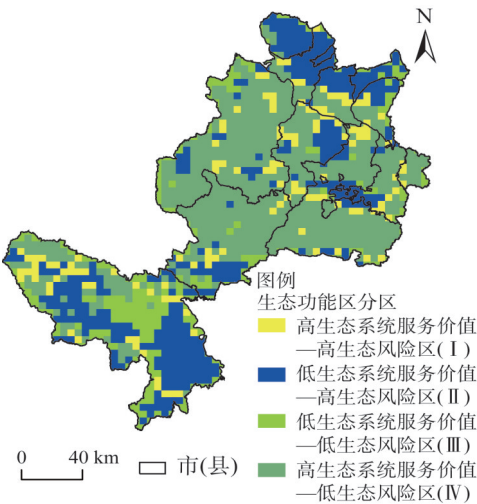


图5 黄河上游生态功能区生态分区

Fig. 5 Ecological zoning of ecological function area in the Upper Yellow River

表6 黄河上游生态功能区不同生态分区管理措施

Table 6 Management measures of different ecological zones in the ecological function area of the Upper Yellow River			
象限	分区类型	主要分布地区	分区管理措施
I	高生态系统服务价值—高生态风险区	全区均有分布，呈较为分散状态	建立生态保护片区，通过就近原则责任到乡镇，落实生态环境保护政策的实施与生态环境修复责任；增加生态建设的资金与技术投入
II	低生态系统服务价值—高生态风险区	积石山县、临夏市、临夏县、广河县、合作市、临潭县、玛曲县	加大环境保护力度，禁止过度开发、严格执行环境保护政策，为经济发展创造良好的生态环境；城区增加绿化面积，提高人居环境质量；依据草场载畜量合理放牧
III	低生态系统服务价值—低生态风险区	玛曲县、黄河上游生态功能区周边地区	适度合理开发，增强耕地、林地、草地的利用率；开展生态旅游，提高经济发展水平；开展生态旅游
IV	高生态系统服务价值—低生态风险区	夏河县、卓尼县、碌曲县北部	保护原有景观，建立村镇一级的生态示范区

务价值—高生态风险区（I）分布面积最少，呈现极为分散的状态。如合作市和卓尼县北部等地区，是建设用地与林草地的交界处，在具备一定的林草覆盖的同时又有城镇分布；玛曲县西北部则为未利用地与林草地的交界处，受地形影响，山区南北两侧温度、降水差距增加，进而导致山区植被覆盖度差异加大，这就使得合作市、玛曲县等少部分地区高价值与高风险存在于同一研究单元中。研究区城镇布局较为零散，加之与林地相邻的城镇、未利用地的分布更加稀少，因而使得高生态系统服务价值—高生态风险区（I）分布少而且分散程度高。

3 结论

根据生态系统服务价值构建、生态风险的构建和Z-score标准化的方法，客观上揭示了19年来研究区生态系统服务和生态风险的时空分布特征，并结合服务价值和风险指数进行了生态分区建设，得出结论如下：

（1）自2000年来，随着土地资源开发的强度加大，6种土地利用类型均发生不同程度的变化，其中建设用地和耕地是增加比例最大和减少比例最多的地类，分别增加了118 km²、减少了172.99 km²。

（2）研究区总体价值变化幅度较小，高价值区主要分布于临夏州西南部和卓尼县等植被覆盖度较高的地区。在不同土地利用类型中，草地的服务价值占比最多，比例高于48%；在单项生态系统服务中，则以调节服务为主，比例高于50%。

（3）研究期内，低、较低生态风险区始终占研究区总面积的76%以上，生态风险水平总体偏低，整体呈现“南北两端高、中间低”的分布特征，高生态风险区主要分布于人口密集区、高寒积雪山区以及沼泽地等生态脆弱区。

（4）四类生态分区均发生了程度较小的变化，表明生态分区处于较为稳定的发展状态，其中高生态系统服务价值—低生态风险区（IV）占比最高，比率均高于43%；高生态系统服务价值—高生态风险区（I）分布面积最少，占比均低于10%。不同生态分区受较多外在因素影响，空间分布连续性差，聚集程度较低。

以生态系统服务角度出发探究需求供给与人类福祉的关系，或是以风险视角考虑人地关系与生态安全的研究思路，不利于系统的生态管理、人居环境的提升与风险机制的预警。本文将生态系统服务和生态风险相结合，在阐释二者空间演变的基础上进行生态

分区建设, 是对整合分析生态系统服务与生态风险之间关系的新尝试。生态分区对改善研究区生态环境、推动生态系统的良性循环具有重要意义, 按照不同的生态分区, 可以对症下药, 提出针对性较强的生态环境管理方案与未来发展规划。通过研究还可以认识到, 未来研究区在配合自然条件基础上对如何改善生态环境、协调人地关系与发展经济之间做出权衡, 并明确不同生态分区的发展定位, 制定相应的分区管控措施, 最大程度上发挥研究区对整个黄河流域的安全屏障作用, 是该区全面发展的关键。但本文未能分析影响生态分区建设主导因素, 今后研究中将分析并提出系统的生态分区保护措施, 此外, 生态系统服务与生态风险之间存在的联系仍需深入探索。

参考文献(References):

- [1] LI S C, ZHANG H, ZHOU X W, et al. Enhancing protected areas for biodiversity and ecosystem services in the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecosystem Services*, 2020, 43(6): 101090, Doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101090.
- [2] HUANG A, XU Y Q, SUN P L, et al. Land use/land cover changes and its impact on ecosystem services in ecologically fragile zone: A case study of Zhangjiakou city, Hebei province, China. *Ecological Indicators*, 2019, 104(9): 604-614.
- [3] KANG P, CHEN W P, HOU Y, et al. Linking ecosystem services and ecosystem health to ecological risk assessment: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 1442-1454.
- [4] 杜悦悦, 彭建, 赵士权, 等. 西南山地滑坡灾害生态风险评价: 以大理白族自治州为例. *地理学报*, 2016, 71(9): 1544-1561. [DU Y Y, PENG J, ZHAO S Q, et al. Ecological risk assessment of landslide disasters in mountainous areas of Southwest China: A case study in Dali Bai Autonomous Prefecture. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(9): 1544-1561.]
- [5] 肖武, 张文凯, 吕雪娇, 等. 西部生态脆弱区矿山不同开采强度下生态系统服务时空变化: 以神府矿区为例. *自然资源学报*, 2020, 35(1): 68-81. [XIAO W, ZHANG W K, LYU X J, et al. Spatio-temporal patterns of ecological capital under different mining intensities in an ecologically fragile mining area in Western China: A case study of Shenfu Mining Area. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(1): 68-81.]
- [6] 刘焱序, 王仰麟, 彭建, 等. 基于生态适应性循环三维框架的城市景观生态风险评价. *地理学报*, 2015, 70(7): 1052-1067. [LIU Y X, WANG Y L, PENG J, et al. Urban landscape ecological risk assessment based on the 3D framework of adaptive cycle. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(7): 1052-1067.]
- [7] 耿甜伟, 陈海, 张行, 等. 基于GWR的陕西省生态系统服务价值时空演变特征及影响因素分析. *自然资源学报*, 2020, 35(7): 1714-1727. [GENG T W, CHEN H, ZHANG X, et al. Spatiotemporal evolution of land ecosystem service value and its influencing factors in Shaanxi province based on GWR. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(7): 1714-1727.]
- [8] JOHNSON D N, VAN RIPER C J, CHU M, et al. Comparing the social values of ecosystem services in US and Australian marine protected areas. *Ecosystem Services*, 2019, 37(6): 100919, Doi: 10.1016/j.ecoser.2019.100919.
- [9] CHEN D S, LI J, YANG X N, et al. Quantifying water provision service supply, demand and spatial flow for land use optimization: A case study in the Yanhe watershed. *Ecosystem Services*, 2020, 43(3): 101117, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101117>.
- [10] 康鹏, 陈卫平, 王美娥. 基于生态系统服务的生态风险评价研究进展. *生态学报*, 2015, 36(5): 1192-1203. [KANG P, CHEN W P, WANG M E. Advances in ecosystem service-based ecological risk assessment *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 36(5): 1192-1203.]
- [11] 曹祺文, 张曦文, 马洪坤, 等. 景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架: ESRISK. *地理学报*, 2018, 73(5): 843-855. [CAO Q W, ZHANG X W, MA H K, et al. Review of landscape ecological risk and an assessment framework based on ecological services: ESRISK. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 843-855.]
- [12] WAYNE R M J, ANNE W R, GLENN W S, et al. Ecosystem services as assessment endpoints for ecological risk assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2016, 12(3): 522-528.
- [13] 陈峰, 李红波, 张安录. 基于生态系统服务的中国陆地生态风险评价. *地理学报*, 2019, 74(3): 26-39. [CHEN F, LI H B, ZHANG A L. Ecological risk assessment based on terrestrial ecosystem services in China. *Acta Geographica Sinica*,

- 2019, 74(3): 26-39.]
- [14] KANG P, CHEN W P, HOU Y, et al. Linking ecosystem services and ecosystem health to ecological risk assessment: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 1442-1454.
- [15] 欧阳晓, 朱翔, 贺青云. 基于生态系统服务和生态系统健康的生态风险评价: 以长株潭城市群为例. *生态学报*, 2020, 40(16): 1-12. [OUYANG X, ZHU X, HE Q Y. Incorporating ecosystem services with ecosystem health for ecological risk assessment: Case study in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(16): 1-12.]
- [16] XU X B, YANG G S, TAN Y, et al. Ecological risk assessment of ecosystem services in the Taihu Lake Basin of China from 1985 to 2020. *Science of the Total Environment*, 2016, 554-555: 7-16.
- [17] 王慧芳, 林子雁, 肖焱, 等. 基于生态系统服务潜在损失的滑坡灾害生态风险评价. *应用生态学报*, 2019, 30(10): 3553-3562. [WANG H F, LIN Z Y, XIAO Y, et al. Ecological risk assessment of landslide disasters based on potential loss of ecosystem services. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(10): 3553-3562.]
- [18] DONG T, XU W H, ZHENG H, et al. A framework for regional ecological risk warning based on ecosystem service approach: A case study in Ganzi, China. *Sustainability*, 2018, 10(8): 2699, Doi: 10.3390/su10082699.
- [19] 李俊翰, 高明秀. 滨州市生态系统服务价值与生态风险时空演变及其关联性. *生态学报*, 2019, 39(21): 7815-7828. [LI J H, GAO M X. Spatiotemporal evolution and correlation analysis of ecosystem service values and ecological risk in Binzhou. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(21): 7815-7828.]
- [20] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略. *改革*, 2019, (11): 304-310. [JIN F J, Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. *Reform*, 2019, (11): 304-310.]
- [21] 乔旭宁, 王林峰, 牛海鹏, 等. 基于NPP数据的河南省淮河流域生态经济协调性分析. *经济地理*, 2016, 36(7): 173-181. [QIAO X N, WANG L F, NIU H P, et al. The Eco-economic coordinate analysis of Huaihe River Basin in Henan province based on NPP data. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 173-181.]
- [22] 朱会义, 孙明慧. 土地集约化研究的回顾与未来工作的重点. *地理学报*, 2014, 69(9): 1346-1357. [ZHU H Y, SUN M H. Main progress in the research on land use intensification. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1346-1357.]
- [23] 陆大道. 关于黄河流域高质量发展的认识与建议. *中国科学报*, 2019-12-10(7). http://news.sciencenet.cn/dz/dznews_photo.aspx?id=33727. [LU D D. Cognition and suggestions about the high-quality development of the Yellow River Basin. *China Science Journal*, 2019-12-10(7). http://news.sciencenet.cn/dz/dznews_photo.aspx?id=33727.]
- [24] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919. [XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.]
- [25] 王万同, 孙汀, 王金霞, 等. 基于多源遥感数据的区域生态系统服务价值年际动态监测: 以中原城市群为例. *地理科学*, 2019, 39(4): 680-687. [WANG W T, SUN T, WANG J X, et al. Annual dynamic monitoring of regional ecosystem service value based on multi-source remote sensing based on multi-source remote sensing data: A case of central plains urban agglomeration region. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(4): 680-687.]
- [26] 徐羽, 钟业喜, 冯兴华, 等. 鄱阳湖流域土地利用生态风险格局. *生态学报*, 2016, 36(23): 7850-7857. [XU Y, ZHONG Y X, FENG X H, et al. Ecological risk pattern of Poyang Lake Basin based on land use. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7850-7857.]
- [27] 白立敏, 修春亮, 冯兴华. 基于土地利用变化的长春市生态风险评价. *生态科学*, 2019, 38(3): 26-35. [BAI L M, XIU C L, FENG X H. Ecological risk assessment for Changchun based on land use change. *Ecological Science*, 2019, 38(3): 26-35.]
- [28] 彭建, 杨旸, 谢盼, 等. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. *生态学报*, 2017, 37(13): 4562-4572. [PENG J, YANG Y, XIE P, et al. Zoning for the construction of green space ecological networks in Guangdong province based on the supply and demand of ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(13): 4562-4572.]

Construction of ecological zone based on value-risk ecological function area in the Upper Yellow River

XIE Li-xia¹, BAI Yong-ping¹, CHE Lei², QIAO Fu-wei¹, SUN Shuai-shuai¹, YANG Xue-di¹

(1. School of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The ecological environment in the upper reaches of the Yellow River is fragile, and ecological and environmental problems such as soil erosion and land degradation continue to threaten the health of the ecosystem and the quality of human settlements. In order to explore the safety status of the ecological environment in the ecological function area in the upper reaches of the Yellow River, this article quantitatively analyzed the spatio-temporal distribution of ecosystem service value and ecological risk index based on land use data in 2000, 2010 and 2018, with the help of ecosystem service models and ecological risk models, and built four types of ecological divisions through z-score standardized methods. The results show that: (1) During the study period, various land use types changed to varying degrees. Among them, construction land increased most significantly due to the transfer of cultivated land and grassland, with an increase area of 118 km² and a growth rate of 46.36%. (2) The overall service value of the study area has a small degree of change, the ecosystem services are mainly regulating services and the grassland provides the highest value. High service value areas are mainly distributed in areas with high vegetation coverage such as the southwestern part of Linxia prefecture and Zhuoni county. (3) The ecological risk level of the study area is generally low, showing the characteristics of "high in the north and south, but low in the middle". The low and low ecological risk areas account for more than 76% of the total area. (4) Little changes have taken place in the four types of ecological zoning, indicating that the ecological zoning is in a relatively stable state of development. The continuity of the spatial distribution of different ecological zones is poor, among which high ecosystem service value-high ecological risk area (I) is the most typical. Constructing ecological zoning through ecosystem services and ecological risks (value-risk) can provide a theoretical basis for coordinating the relationship between humans and land in the region and clarifying future development directions.

Keywords: ecosystem services; ecological risk; ecological zoning; ecological function area in the upper reaches of the Yellow River