

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.02.006.

侯会延, 李彤, 贾宝全, 等. 黄土高原沟壑区生态用地空间格局变化分析——以陕西省洛川县为例[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 321-330.

Hou Huiyan, Li Tong, Jia Baoquan, et al. Analysis on Spatial Pattern of Ecological Land in the Highland and Ravine Region of the Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 321-330.

黄土高原沟壑区生态用地空间格局变化分析

——以陕西省洛川县为例

侯会延¹, 李彤², 贾宝全², 张秋梦², 房有鑫²

(1.洛川县林业局, 陕西 洛川 727400; 2.中国林业科学研究院 林业研究所

国家林业和草原局林木培育重点实验室/国家林业和草原局 城市森林研究中心, 北京 100091)

摘 要: [目的]揭示基础生态用地与生产性生态用地相结合的现实条件下生态用地的时空格局变化,为探索果业生产在林地资源有限区域的现实生态意义提供支撑。[方法]利用国土二调和三调数据,从景观生态学和空间统计学视角,对洛川县生态用地数量变化、转移过程、空间冷热点进行了分析。[结果](1) 2009—2019 年,洛川县生态用地总量增加了 4 703.87 hm²,其中林地和果园增加面积最大,分别为 23 103.4,9 025.31 hm²。(2) 全县稳定性生态用地面积达 108 583.1 hm²,其中北部的低岭丘陵区稳定性生态用地以林地为主,其面积占比达到了 90.04%。中部塬区与南部残塬沟壑区稳定性生态用地以生产性生态用地类型为主,面积占比分别达到了各区域稳定生态用地总面积的 44.35%,45.7%。(3) 生态用地占比的局部空间自相关分析显示,2009 年和 2019 年两个年度基础性生态用地的聚集度格局未发生显著变化,但生产性生态用地的空间聚集格局变化较大,其高一高聚集区和低—低聚集区分别增加了 6 079.64,10 792.11 hm²,统计不显著区域减少了 18 309.15 hm²。(4) 以园地为代表的生产性生态用地变化直接促进了整个县域生态用地格局的变化,其中高一高聚集区和低—低聚集区分别减少了 18 262.62,8 373.14 hm²,统计不显著区域增加了 27 725.61 hm²,并显著提高了乡村农民的收入水平,对区域环境的可持续发展具有重要的促进作用。[结论]洛川县以果园为代表的生产性生态用地对该区生态用地稳定性影响较大,未来应加强果业生产对林地资源有限区域的生态研究。

关键词:生态用地; 空间格局; 空间统计学; 黄土高原; 洛川县

中图分类号: P964; Q149

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)02-0321-10

Analysis on Spatial Pattern of Ecological Land in the Highland and Ravine Region of the Loess Plateau —Taking Luochuan County as An Example

Hou Huiyan¹, Li Tong², Jia Baoquan², Zhang Qiumeng², Fang Youxin²

(1.Forestry Bureau of Luochuan County, Luochuan, Shaanxi 727400, China; 2.National Forestry and Grassland

Administration Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation/National Forestry and Grassland Administration, Research Center of Urban Forestry, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to reveal the spatiotemporal pattern changes of ecological land that arise from the combination of basic ecological land and productive ecological land, and to provide the support for the exploration of practical ecological significance of fruit production to the area with limited forest resources. [Methods] The quantitative changes, transfer processes, and spatial hot and cold spots of ecological land were analyzed by using data from the second and third land resources survey. [Results] The

收稿日期: 2023-04-03

修回日期: 2023-04-20

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“我国城市森林生态系统服务功能及其动态变化”(CAFYBB2020ZB008)

第一作者: 侯会延(1972—), 女, 陕西洛川人, 本科, 高级工程师, 主要从事林业造林与林业科技推广工作。E-mail: 962840009@qq.com

通信作者: 贾宝全(1963—), 男, 陕西洛川人, 博士, 研究员, 主要从事城乡景观生态研究。E-mail: jiabaoquan2006@163.com

<http://stbcj.paperonce.org>

total ecological land in Luochuan County increased by 4 703.87 hm² between 2009 and 2019, with forest land and orchard land having the most significant gains of 23 103.4 hm² and 9 025.31 hm², respectively. Additionally, the county's stable ecological land area reached up to 108 583.1 hm², with woodland comprising the main stable ecological land in the northern low hilly area, accounting for 90.04% of the region. The central and southern tablelands contained a significant proportion of stable ecological land, with productive ecological land accounting for 44.35% and 45.7% of the total stable ecological land, respectively. The proportion of ecological land was analyzed by using local spatial autocorrelation, revealing that the aggregation pattern of basic ecological land remained consistent between 2009 and 2019. However, the spatial aggregation pattern of productive ecological land changed considerably during this period. Specifically, the high-high aggregation area and low-low aggregation area increased by 6 079.64 hm² and 10 792.11 hm², respectively, while the statistically insignificant area decreased by 18 309.15 hm². The change in productive ecological land primarily represented by garden land, significantly impacted the county's ecological land pattern. This change led to the decrease in the high-high and low-low aggregation areas by 18 262.62 hm² and 8 373.14 hm², respectively, and the increase in the statistically insignificant area by 27 725.61 hm². Notably, the improved income level of rural farmers and played a crucial role in promoting the sustainable development of the regional environment. [Conclusions] The productive ecological land represented by orchards had a great impact on the stability of ecological land in Luochuan County, and the ecological research on fruit production in areas with limited forest land resources should be strengthened in the future.

Keywords: ecological land; spatial pattern; spatial statistics; Loess Plateau; Luochuan County

生态用地是以发挥生态功能或生态效应为主的土地利用类型^[1]。生态用地既是区域生态系统服务功能的重要载体,也是区域生态安全格局最重要的物质基础^[2],其数量多寡、质量高低与时空稳定性更是衡量区域生态环境优劣的重要指标^[3],对于地区可持续发展目标的实现具有重要现实意义,在维护生态平衡、保障国土生态安全、应对全球气候变化等方面具有特殊地位^[4]。目前,随着以“三区三线”为核心的国土空间规划的全面开展,生态用地的实践指导意义更为突出^[5]。由于生态用地跨越了生态学、地理学、土地科学和管理科学等不同学科,并在理论到实践之间建立了重要的联系,因此,其作为科学概念,自2004年一经提出便迅速引起了学术界的广泛关注与深入讨论^[6-7],并迅即成为了国内土地利用/土地覆盖领域最重要的研究议题与热点^[8-9]。从已有研究成果来看,相关研究主要集中在生态用地概念内涵与分类^[10]、生态用地及其生态服务功能的时空演变与驱动力分析^[11]、生态用地时空景观格局与优化^[12]、生态用地安全格局及其优化等方面^[13],近年来随着国家空间规划的逐步实施,生态用地研究也逐渐转到了“三生”空间领域^[5,14]。总体来看,随着生态建设实践的不断推进,生态用地总体呈现了外延不断扩大、分类实践逐步深入的趋势,并从最开始仅限于西北干旱绿洲区的脆弱环境^[6],慢慢渗透深入到不同的重点生

态功能区^[15],再逐步深入到城市生态用地^[16]、区域生态用地^[9]、乡村生态用地^[17]、“三生”空间与生态红线等范畴^[14],随着其内涵的丰富与外延的扩大,生态用地与生产实践的关系越来越密切,其实践指导意义也越来越强;其次,就研究数据支撑现状来看,其正从中尺度的 landsat TM 数据产品逐步深入到高分影像数据^[18],随着以国土三调数据为基础的“一张图”的逐步实施,将对未来的生态用地研究提供更为详尽而扎实的数据支撑;第三,从研究的空间尺度来看,过去的相关研究大多以县域及其以上的行政区域或自然区域为研究单元,因而研究结果的趋势性较强,但针对某一更小的空间单元时,在针对性与实践指导性方面常常显得力不从心;第四,目前的研究成果中,除了相关的生态用地变化模拟研究具有较强的空间可视性展示效果外,绝大多数的研究工作对于时空异质性的把握还不够充分,因此相关成果对区域生态保护与国土空间规划的针对性与有效性方面则相对不足;第五,相关研究成果集中于林地、草地、湿地、城市绿地等土地利用类型,而对于生产性生态用地等其他生态用地地类,目前也还仅仅停留在生态用地类型分类上,缺乏更进一步的深入研究,随着《国务院办公厅关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知》(国办发明电〔2020〕24号)和《国务院办公厅关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》(国办发〔2020〕44号)的发

布与实施,对于一些果业生产专业区域而言,这一缺陷构成的学术理论短板与实践脱节问题也愈发突出。为此,我们选择全国优势农产品(苹果)产业化建设示范县和陕西省唯一的“一县一业”示范县——洛川县为研究区域,基于1:10 000国土资源数据支撑,从空间格局的视角,以村级行政单元为基础,对其2009—2019年10 a间的生态用地空间格局变化及其环境和社会影响进行分析,以探索果业生产对于林地资源有限区域的现实生态意义,进而为生态用地的保护和高效利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

洛川县地处陕西省中部、黄土高原南部,位于东经 $109^{\circ}18'14''$ — $109^{\circ}45'47''$ 和北纬 $35^{\circ}26'29''$ — $36^{\circ}04'12''$,是黄土高原面积最大、土层最厚的塬区,县域总面积 $1\,793.12\text{ km}^2$ 。境内塬面平均海拔 $1\,100\text{ m}$,黄土层厚 $80\sim 140\text{ m}$,地势东北高西南低,北部是黄土低岭丘陵区,中部是黄土台塬区,南部为黄土残塬沟壑区(图1)。全县地处暖温带,属大陆性季风气候,年平均气温 9.9°C ,昼夜温差 12.8°C ,年降雨量 592.6 mm ,年均日照 $2\,525\text{ h}$ 。由于塬面平坦、土地宽广、雨热同季、昼夜温差大等特点,长期以来便拥有“陕北粮仓”和“苹果之乡”的美誉。洛川属暖温带半湿润落叶阔叶林,处黑垆土地带,区域内共分9个土类,11个亚类,22个土属,59个土种;其中黄土性土分布最广,占总土地面积的 48.23% ;其次为黑垆土,占总土地面积的 23.16% ;第三是灰褐土,占总土地面积的 21.51% ;第四是红土,占总土地面积的 5.23% 。

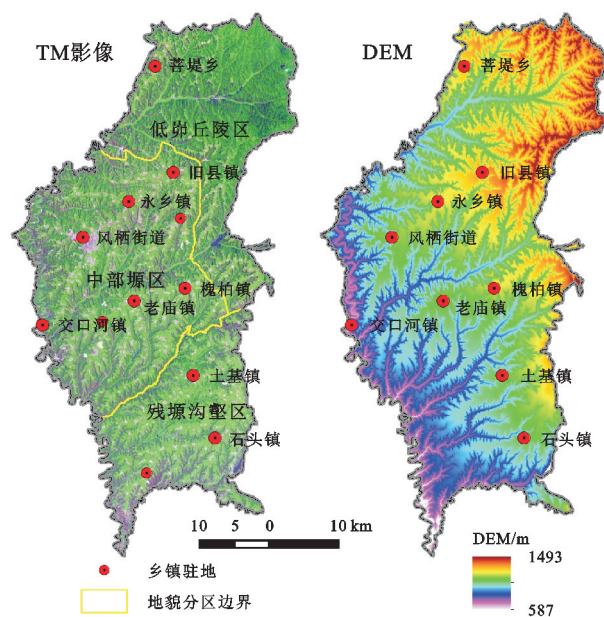
洛川县现辖7镇1乡1个街道办(图1),截至2019年年底,全县常住人口21.73万人,人口自然增长率 2.8% ,人口密度约为 $121\text{ 人}/\text{km}^2$ 。2019年全年地区生产总值243.87亿元,地方财政收入1.427亿元,城镇居民人均可支配收入34 957元,农村居民人均可支配收入13 249元。

1.2 生态用地分类与研究数据

生态用地分类是一个非常复杂的研究议题,受研究视角、研究尺度、关注焦点等不同因素的影响,目前分别提出了区域^[3,6-7]、城市等^[9]不同空间实体的生态用地分类,另外也有学者提出了基于土地管理角度的生态用地分类方案^[8],这些研究工作对于生态用地的拓展和深化起到了非常重要的作用。然而,面对目前最为急迫的国土空间规划实际需求,这些方案因其包容性差的缺陷总难以给人以满意的效果,因此探索新形势下的包容性生态用地分类,便成为了首当其冲的

工作任务,Guo等^[10]提出的服务于生态红线实施的、基于管理导向的生态用地分类系统,因其与现有土地利用分类系统衔接的有效与实践应用的多尺度性,而成为目前包容性最高的分类体系^[10]。在本项研究中,考虑到洛川县作为全国“苹果生产专业县”,苹果种植总面积已达到 $35\,333\text{ hm}^2$,覆盖了 82% 的耕地和 95% 以上农户,苹果收入占到农民收入 95% 以上,以及果园平均寿命30 a具有远高于耕地的生态与环境效益的客观事实,在分析生产性生态用地时,我们只考虑了园地,而未将该区域仅种植1 a生农作物的耕地纳入生态用地的考虑视角。

研究数据为洛川县自然资源局提供的第二次(2009年)和第三次(2019年)国土资源调查1:10 000矢量数据。原数据共包含湿地、耕地、园地、林地、草地、商业服务用地、工矿用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地、交通运输用地、水域与水利设施用地、其他用地共13个一级地类与64个二级地类。考虑到本文主要是探究生态用地的空间格局变化,为了简化土地类型数量,我们将土地分类共合并为耕地、园地、草地、林地、建设用地和水体6大类,其中生态用地包括林地、草地、水体和园地4类。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2022)1873号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图1 洛川县卫星影像与地貌区划

Fig. 1 TM imagine and landform division of Luochuan county

1.3 研究方法

1.3.1 生态用地稳定性指数 景观的稳定性是景观生态学中的核心研究议题之一^[19],目前的景观稳定性概念大多借用了生态系统稳定性概念^[20],尚没有一个可为学界普遍接受的、内涵与外延均很明确的概念。我们认为,景观的稳定性应该是指在一定区域内

不同景观要素在时间尺度上保持其本质属性不变的特性,这些属性不随时间变化的生态用地组合可称之为稳定性生态用地。从土地覆盖/土地利用的角度来看,稳定性可以用一定区域内各类土地覆盖/土地利用类型面积随时间保持不变的比率来衡量^[21-23]。为此,借用转移概率矩阵方法的结果,我们认为生态用地空间稳定性就是指在两个不同的时间点之间,生态用地在区域空间内保持其地类属性不变的特征。我们尝试提出生态用地稳定性指数作为定量刻画生态用地空间稳定性的参考工具,具体的计算方法分别为:

$$PSI = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{A} \times 100\% \quad (1)$$

式中:PSI 为生态用地稳定性指数; A_i 为在研究的时间段内研究区域中生态用地覆盖 i 类型保持覆盖性质不变的面积,这里 i 分别代表林地、草地、水体和果园; A 为研究区域内各类土地覆盖的面积总和,研究区域可以使不同级别的行政区划单元,也可以是不同尺度的地理网格单元,文中为行政村的总面积; n 为土地覆盖类型的总数。就同一区域的不同时间段或不同区域同一时间段的比较而言,PSI 值越大,表明区域生态稳定性越高;反之,稳定度则越低。

1.3.2 空间自相关分析 空间自相关分析是研究某一区域属性时空格局演进的常用方法,通常采用 Moran 指数来进行测度,包括全局空间自相关和局部空间自相关两部分^[24]。所有空间自相关分析研究均借助 ArcGIS 10.8 软件平台,利用其空间统计模块的相关工具实现。

2 结果与分析

2.1 生态用地变化过程

2.1.1 生态用地总体变化过程 就生态用地的空间分布而言(图 2),在基础生态用地中,林地主要分布在

北部的低岭丘陵区,该区域仅靠黄龙县的黄龙山林区,也是洛川县惟一的天然次生林分布区,另外在一些黄土川道也有零星分布;草地主要分布于黄土川道的河流上游以及沟道两侧梁卯的海拔较高部位,由于地形分割严重,均呈小片分布;水域呈线状与分散的块状散布于县域各处,其中以西部边界的洛河河道和东部边界区域的拓家河水库、石堡川水库最为出名。而生产性生态用地的果园,则全部分布于县境内的黄土塬梁等相对平坦宽厚的地形部位,并成为农村居民点的景观基质。

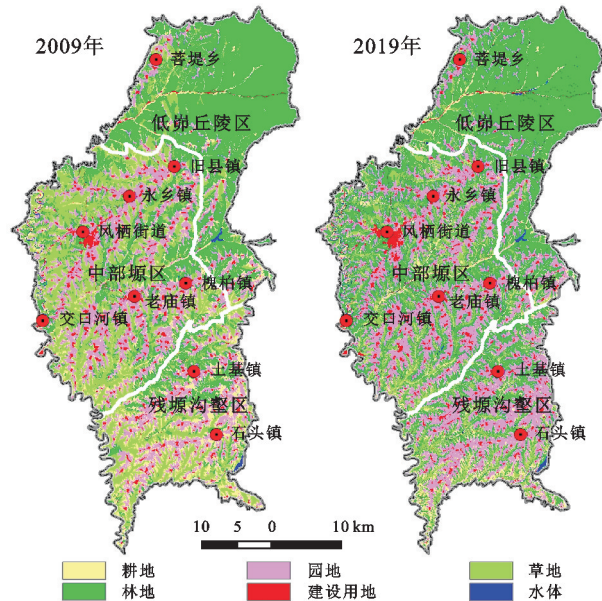


图 2 洛川县 2009 年和 2019 年土地利用现状

Fig. 2 Land use map of Luochuan County in 2009 and 2019

2009 年、2019 年洛川县土地利用数据变化情况表明(表 1),在过去的 10 a 间,基础生态用地总体减少了 4 321.45 hm²,其中草地减少规模为 27 566.65 hm²,而林地和水体则分别增加了 23 103.4,141.8 hm²;生产性生态用地总体上增加了 2 948.06 hm²,其中耕地和果园面积分别减少和增加了 6 077.25,9 025.31 hm²;非生态用地的建设用地增加了 1 373.38 hm²。

表 1 洛川县 2009 年、2019 年土地利用总体变化

Table 1 Overall change of land use in Luochuan County in 1999 and 2019

地类		2009 年		2019 年		增(+)减(-)	
		面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%
基础生态用地	林地	68218.77	38.04	91322.18	50.93	23103.40	12.88
	草地	47895.96	26.71	20329.31	11.34	-27566.65	-15.37
	水体	955.31	0.53	1097.11	0.61	141.80	0.08
	小计	117070.04	65.28	112748.60	62.88	-4321.45	-2.41
生产性生态用地	耕地	19507.39	10.88	13430.14	7.49	-6077.25	-3.39
	果园	36104.01	20.13	45129.32	25.17	9025.31	5.03
	小计	55611.40	31.01	58559.46	32.66	2948.06	1.64
非生态用地	建设用地	6631.48	3.70	8004.86	4.46	1373.38	0.77

从其内部变化过程来看(表 2),10 a 变化间隔期间,生态用地中以林地和园地最为稳定,其空间上保持不变的面积比例分别达到了 89.07%,87.91%,以草地最不稳定,其保持不变的面积比例只有 31.97%。从变化去向来看,2009 年林地中分别只有 6.34%,2.29%的面积分别转换成草地和耕地,而同期的园地中分别只有 2.75%,4.95%,3.51%的面积转换为了林地、耕地和建设用地;耕地的稳定性也很差,保持不变的面积比例只有 34.5%,转移去向主要为园地、林地和建设用地,转移概率分别达到 53.7%,7.45%,3.49%;建设用地的稳定性极高,保持不变的面积比例达到了 82.19%,其主要的转出方向为园地、林地和耕地,转移概率分别为 8.3%,3.91%,3.45%。

表 2 洛川县 2009 年、2019 年土地利用类型转移概率矩阵

Table 2 Probability matrix of land use type transition in Luochuan County in 2009 and 2019						
地类	林地	草地	水体	园地	耕地	建设用地
林地	89.07	6.43	0.18	1.57	2.29	0.45
草地	57.87	31.97	0.43	2.69	6.38	0.67
水体	14.29	10.27	65.97	0.96	7.15	1.36
果园	2.75	0.94	0.05	87.91	4.95	3.41
耕地	7.45	0.32	0.55	53.70	34.50	3.49
建设用地	3.91	1.99	0.15	8.30	3.45	82.19

2.1.2 稳定性生态用地的空间分布 从稳定性生态用地的空间分布来看(图 3),林地稳定性斑块主要分布在北部的低岭丘陵区;水体的稳定性斑块较少,集中在中部塬区,另在残塬沟壑区有少量分布;草地的稳定性斑块主要分布在中部塬区和南部的残塬沟壑区;而园地的稳定性斑块则具有与草地相同的分布格局。

表 3 洛川县 2009—2019 年稳定性生态用地统计

Table 3 Statistics of stable ecological land area in Luochuan County from 1999 to 2019						
区域	园地/hm ²	草地/hm ²	林地/hm ²	水体/hm ²	合计/hm ²	园地占稳定性生态用地比例/%
低岭丘陵区	3612.10	806.14	41071.84	97.19	45587.27	7.92
中部塬区	18857.99	9506.43	13877.16	280.73	42522.31	44.35
残塬沟壑区	9355.49	4995.66	5870.20	252.18	20473.52	45.70
全县合计	31825.58	15308.23	60819.20	630.10	108583.10	29.31

2.1.3 生态用地稳定性指数总体变化 根据公式(1)计算的全县与不同生态区的稳定性指数结果显示(图 4),以园地为代表的生产性生态用地对全县及各生态区域均有较大的影响,其对生态稳定性指数的影响幅度在 6%~23.5%(图 4)。在不包括园地的前提下,全县的生态用地稳定性指数为 42.81%,低岭丘陵区、中部塬区和残塬沟壑区分别为 74.44%,29.53%,

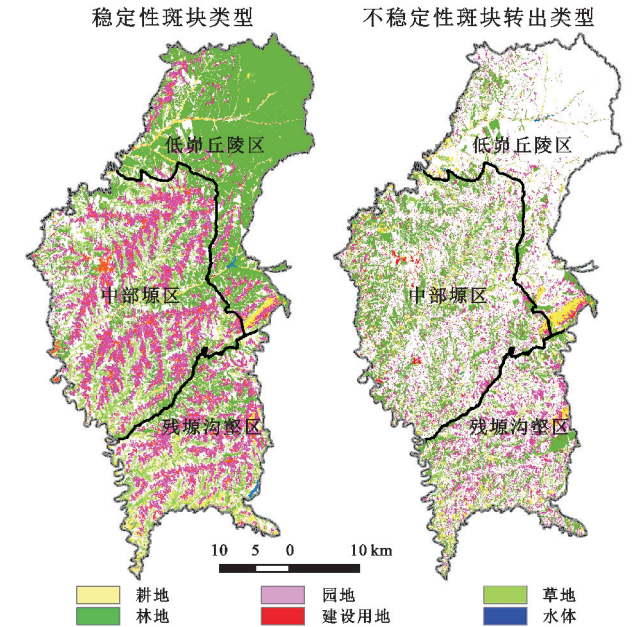


图 3 稳定性斑块类型与不稳定性斑块的转出类型空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of stable patch types and unstable patch out-types

从数量来看,全县生态用地稳定性斑块总面积 108 583.1 hm²(表 3),其中以低岭丘陵区稳定性生态用地的面积最大,达到了 45 587.27 hm²,其内部林地稳定性斑块的面积又占到了整个稳定性生态用地斑块面积的 90.04%;其次为中部塬区,该区域稳定性生态用地总面积 42 522.31 hm²,这其中又以稳定性园地所占比例最大,其占该区域稳定性生态用地的比例达 44.35%,草地稳定性斑块面积占该区域的面积比例为 22.36%;在残塬沟壑区,稳定性生态用地面积占该区域面积的 47.84%,其中园地稳定性面积占该区域稳定性生态用地总面积的 45.7%,草地稳定性斑块面积占稳定性生态用地的面积比例也达到了 24.4%。

25.98%,这与全县天然植被的分布格局非常一致;如果将稳定性园地考虑在内,则全县的生态稳定性指数达到 60.56%,低岭丘陵区、中部塬区和残塬沟壑区则分别达到了 80.85%,53.07%,47.84%,分别增加 6.41%,23.53%,25.98%。

2.2 生态用地空间格局分析

2.2.1 生态用地的局部空间自相关分析 依托 ArcGIS

平台,以 2009 年、2019 年两个时段的村域生态用地占比为基础,在明确最佳空间邻域距离(8 607 m)条件下的不同类型生态用地 Moran's *I* 指数表明,全县两个时段的生态用地均存在显著的空间聚集分布特征(表 4)。

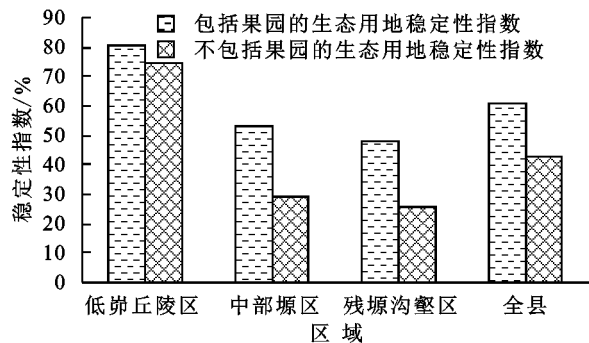


图 4 生态用地稳定性指数

Fig. 4 Ecological land stability index in different regions

表 4 2009 年、2019 年生态用地的全局统计

Table 4 Global spatial autocorrelation statistics (Moran's *I*) between 2009 and 2019 period

时间	生态用地类型	莫兰指数	Z 值得分	p 值	聚集模式
2009 年	基础生态用地	0.151197	7.25971	0.000000	聚集
	园地	0.208846	9.914594	0.000000	聚集
	合计	0.25988	12.576644	0.000000	聚集
2019 年	基础生态用地	0.1453	6.985506	0.000000	聚集
	园地	0.261157	12.349954	0.000000	聚集
	合计	0.359482	17.8829	0.000000	聚集

注:在 0.01 置信水平下,各时段 Moran's *I* 指数的 Z 值得分均大于临界值 2.58,符合显著性水平检验要求。

生态用地局部空间自相关分析结果表明(图 5),刚性生态用地的空间聚类格局在 2009 年和 2019 年间在全县尺度与分区域尺度上均未有显著变化,高一高值聚集区主要集中分布在低岭丘陵区及其与中部塬区的交界地带,低—低值聚集区主要分布在中部塬区中央以及残塬沟壑区。与基础生态用地的聚类格局不同,园地在 2009 年、2019 年间发生的变化较大,且这种变化主要发生在中部塬区与残塬沟壑区,其中中部塬区低—低聚类区有所扩大,而高一高聚类区明显缩小,但在残塬沟壑区,2019 年与 2009 年相比,随着低—低聚类区和高一低聚类区完全消失,新出现了大范围的高—高聚类区与小范围的低—高聚类区域。正是由于园地的数量与时空变化,直接促进了全域生态用地尺度下聚集效应的空间变化,一方面中部塬区高一低、低—高和低—低聚类区域的范围有所扩大,另一方面在残塬沟壑区低—低聚类区范围急速缩小与统计不显著区域快速扩张。

从聚集类型统计结果看(表 5),在 2009—2019 年时段内,只考虑基础生态用地格局的情境下,高一低和低—高聚集区的大小没有发生变化,当将园地考

虑在内时,则直接导致了高一低和低—高聚集区的增加变化,10 a 间分别增加了 8 373.14,2 773.3 hm²;统计不显著区域则从单纯的减小变化逆转为了空间增长;高一高值聚集区和低—低值聚集区也双双由纯基础生态用地在空间范围上的小幅增加逆转为了大幅减小,减小面积分别达 18 262.62,20 609.42 hm²,这一转变使得不同聚集类型在县域空间上更为均衡。

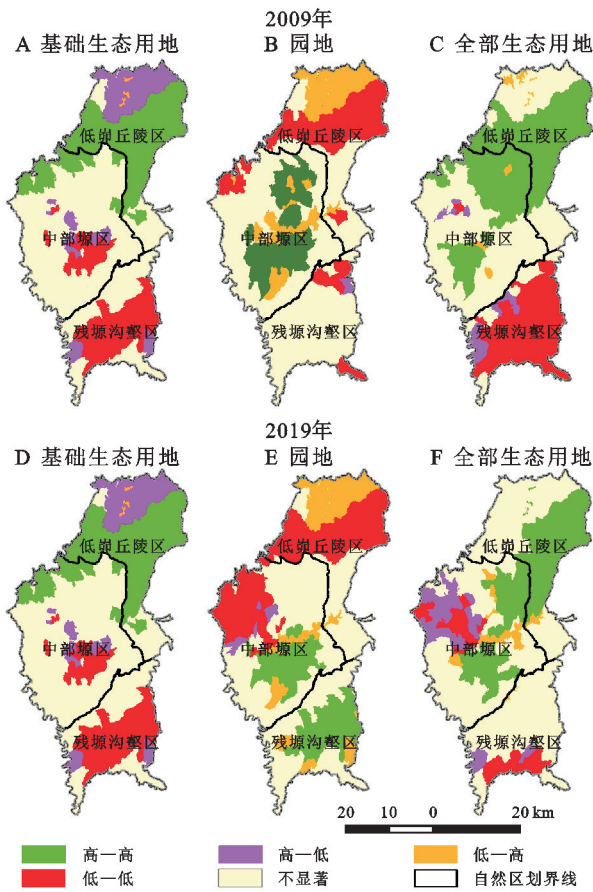


图 5 洛川县生态用地局部聚集分析

Fig. 5 Local spatial autocorrelation of ecological land in Luochuan County

2.2.2 生态用地的空间热点分析 研究区域不同生态用地类型的空间热冷点分析结果显示(表 6,图 6),就基础生态用地而言,2009 年与 2019 年的空间热、冷点格局没有太大变化,冷点面积减少了 4 066.5 hm²,热点面积与统计不显著区域面积仅分别增加了 1 748.1,2 318.6 hm²;从园地视角来看,其冷热点空间格局变化很大,2009 年时热点只集中分布在中部塬区,而冷点以 5 个大小不同的斑块散布在全县的 3 个区域中(图 6B),到了 2019 年,热点区域迅速连片扩散至南部的残塬沟壑区(图 6E),而冷点区域则集中分布在了北部的低岭丘陵区 and 中部塬区的西北部(图 6B、图 6E),其中北部低岭丘陵区空间分布及其空间构型变化不大,而中部塬区的西北部则围绕县城所在地的凤栖街道呈现明显扩大(图 6E)。

表 5 不同时期生态用地空间聚集类型统计

聚集类型	2009 年			2019 年			增(+)减(-)		
	基础生态用地	园地	合计	基础生态用地	园地	合计	基础生态用地	园地	合计
	hm ²								
高一高值聚集区	42969.26	23152.87	61439.41	43706.87	29232.51	43176.79	737.60	6079.64	-18262.62
高一低值异值区	19410.58	844.56	4935.75	19410.58	2295.55	13308.88	0.00	1450.99	8373.14
低一高值异值区	189.15	20537.21	1703.74	189.15	20523.62	4477.04	0.00	-13.59	2773.30
低一低值聚集区	25441.49	30562.00	32194.18	25810.35	41354.11	11584.76	368.86	10792.11	-20609.42
统计不显著区	91302.42	104216.26	79039.83	90195.95	85907.11	106765.44	-1106.46	-18309.15	27725.61

园地的存在及其空间分布也极大影响到全县的生态用地冷、热点空间格局(图 6C、图 6F)。首先,将 2009 年横跨北部低崩丘陵区和中部塬区的热点区域,压缩到了 2019 年的中部塬区,从而将北区低崩丘陵区热点和统计不显著区域平分秋色的空间格局,改

变成了以统计不显著区域占绝对优势的空间格局;其次,在中部塬区形成了以凤栖街道为中心的冷点区域,同时将南部残塬沟壑区以冷点区域占绝对优势的格局逆转成了以统计不显著区域占优势的格局,冷点区域被压缩到了县界南部和西部边缘地带。

表 6 不同时期生态用地热点类型统计

热点类型	2009 年			2019 年			增(+)减(-)		
	基础生态用地	园地	合计	基础生态用地	园地	合计	基础生态用地	园地	合计
	hm ²								
冷点合计	36701.20	32600.38	40191.30	32634.68	44543.84	36042.88	-4066.5	11943.5	-4148.4
热点合计	43578.10	30958.63	55803.48	45326.07	42322.96	25341.82	1748.1	11364.3	-30461.7
统计不显著区	99033.60	115753.88	83318.12	101352.15	92446.10	117928.20	2318.6	-23307.8	34610.1

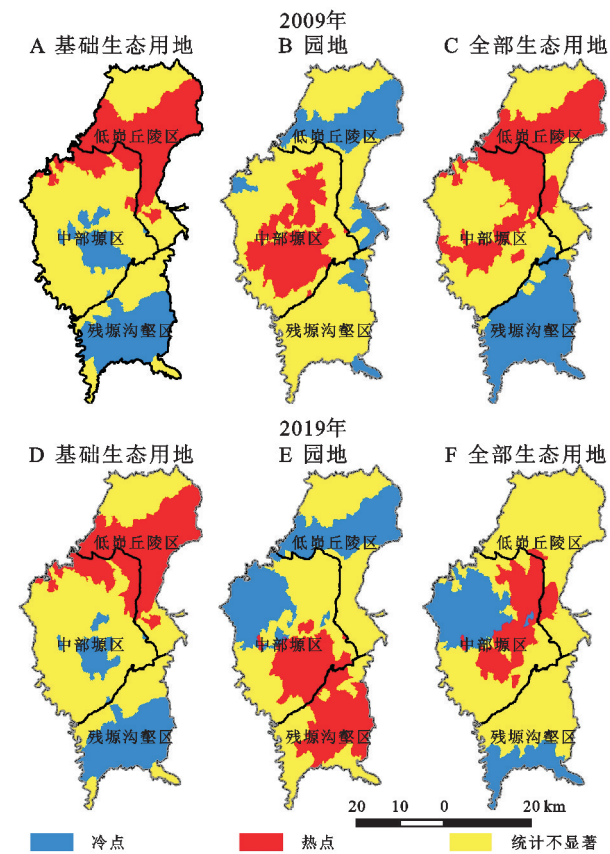


图 6 洛川县生态用地热点分析

Fig. 6 The hot spot analysis of ecological land use in Luchuan County

3 讨论

黄土高原由于自然及历史原因,水资源贫乏,干旱、土壤退化等问题严重,是我国人口、资源、环境矛盾最集中、治理难度最大的区域之一^[25],而以延安为中心的黄土高原中部丘陵沟壑区,又是该区生态环境恶劣、水土流失最为严重的区域^[26]。因此,增加植被覆盖、改善生态环境一直是该区域生态建设的重中之重^[27]。本项研究结果显示,洛川县近 10 a 的生态用地变化以基础生态用地的小幅减少和生产性生态用地的巨量增加为主要特点,其中草地减少面积最大,达到了 27 566.65 hm²,耕地减少了 6 077.25 hm²,与之相对应的是林地和果园的大幅度增加,其中林地增加 23 103.4 hm²,果园增加 9 025 hm²。从其内部转移方向来看,草地和耕地减少的土地面积绝大多数流向了林地和果园,这与邱海军等^[28]的研究的结论一致。从生态功能与生态服务效果来看,林地、草地和耕地的单位生态服务功能价值分别为 30 530.8,18 075.1,20 900 元/hm²^[29],而经济林为 54 994.81 元/hm²,扣除其产品价值外,其生态服务功能价值依然高达 44 034.34 元/hm²^[30],很显然,研究区域目前的土地利用变化是一个具有明显生态环境改善效应的变化过程。

除生态效益之外,耕地向果园转变还产生了巨大的经济与社会效益。从研究区域果园面积与农民纯收入变化来看(图7),2004年是一个分水岭,在1992—2004年,全县苹果种植面积由10 777.5 hm²稳步增加到33 130 hm²,在2004年之后,全县苹果生产面积基本上稳定在33 100 hm²左右,其占耕地面积的比重也由1992年的24.9%增加到了2020年的

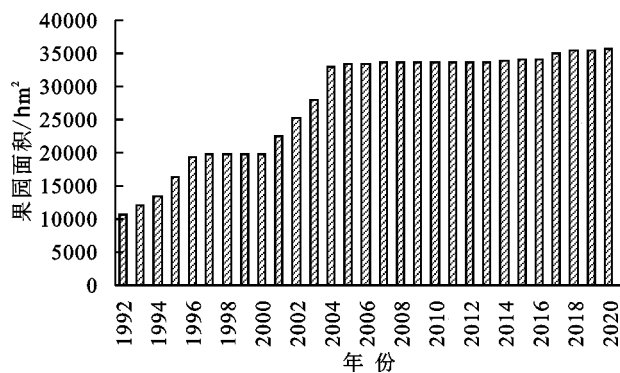
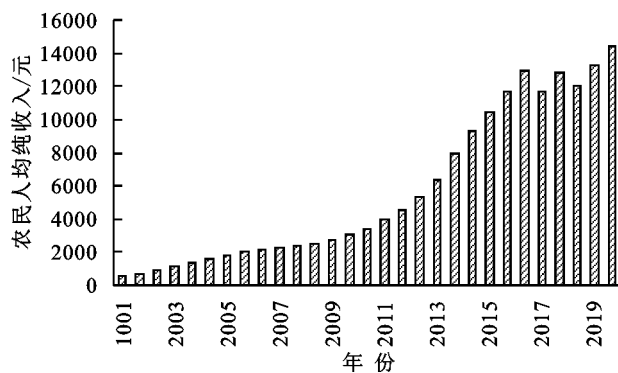


图7 洛川县果园面积与农民人均纯收入变化

Fig. 7 Changes of Orchard area and farmer per capita net income in Luchuan County

从上述分析可见(图5—6),在2009—2019年的10 a间,基础生态用地的空间格局基本保持了稳定,其低—低聚类区域与冷点区域在空间上高度重合,其时间动态变化也主要为内部类型之间的转换(表2),这种内部地类向林地的流向变化只增强了相关基础生态用地的功能,但很难对长期形成的基础生态用地空间分布的不平衡性产生有效影响,从景观生态学景观格局决定景观过程与景观功能的视角来看^[20],该情况对区域的可持续发展是非常不利的;以果园为代表的生产性生态用地的扩展,则在相当大的程度上改善了基础生态用地形成的空间不平衡性,一方面果园面积在持续增加,10 a间面积净增9 025.31 hm²(表1),另一方面,其增加的面积主要来源于耕地(转移概率为53.7%)和建设用地(转移概率为8.3%)等非生态用地类型,相较于生态用地自身转换,源自生态用地系统外组分向生态用地的空间转换与扩展对整个研究区域生态用地格局的影响是巨大的。这一情况也启示我们,在生态资源相对稳定的区域开展生态建设,如果仅在基础生态用地范围内开展生态建设活动,其最终结果只对提高生态质量有效,受总体规模的制约,其很难对区域整体的生态用地空间格局产生影响,要想改变区域的生态用地空间格局,必须从基础生态用地类型以外的其他土地利用类型入手,生态效益与经济效益并举的经济林扩增无疑是一个最好的目标实现途径。

77.92%,目前全县农村人均占有果园0.22 hm²、户均0.83 hm²,位居全国苹果基地县之首。随着苹果产业的发展,农民人均纯收入也从2001年的2 269元增加到了2020年的14 356元,整整翻了6.3倍,人均苹果收入占农民人均年纯收入的比例也从2001年的69.63%增加到了2020年的100%。可以说,洛川已经成为了践行习近平总书记“两山论”的生动样板。



4 结论

(1) 2009—2019年,洛川县生态用地增加了4 703.87 hm²,其中林地和果园增加面积最大,分别增加了23 103.4,9 025.31 hm²,虽然草地面积减少了27 566.65 hm²,但其中的绝大部分转变为生态价值与效益更高的林地。非生态用地中,耕地面积减少了6 077.25 hm²,而建设用地则增加了1 373.38 hm²。

(2) 从生态用地10 a间的空间稳定性规模与比例来看,全县稳定性生态用地面积达到了108 583.1 hm²,但不同区域的类型差异较大,其中北部的低岭丘陵区稳定性生态用地面积最大,达到了45 587.27 hm²,其内部林地稳定性斑块面积占到了90.04%;中部塬区与南部残塬沟壑区稳定性生态用地面积分别为42 522.31,20 473.52 hm²,其以果园为代表的弹性生态用地类型为主,面积占比分别达到了区域稳定性生态用地面积的44.35%,45.7%。

(3) 以果园为代表的生产性生态用地对全县与不同生态区域的生态稳定性指数有较大影响,影响幅度介于6%~23.5%。以全县论,在不包括生产性生态用地(果园)的情况下,生态用地的稳定性指数为42.81%,当包括弹性生态用地在内时,生态用地稳定性指数达到了60.56%。

(4) 生态用地占比的局部空间自相关分析显示,2009年和2019年生态用地聚集度均以高一高值聚集区占优势,占县域面积的比例分别为34.26%,24.08%,

其中,基础性生态用地在两个年度的聚集度格局基本上没有发生变化,但生产性生态用地的空间聚集格局变化较大,其高一高聚集区和低一低聚集区分别增加了 6 079.64, 10 792.11 hm^2 , 而统计不显著区域减少了 18 309.15 hm^2 , 也正是生产性生态用地聚集格局的变化直接导致了整个生态用地聚集度格局中高—高聚集区和低—低聚集区分别减少了 18 262.62, 8 373.14 hm^2 , 以及统计不显著区域增加了 27 725.61 hm^2 的结果。生态用地的冷、热点格局也具有与聚集度相似的空间格局与变化过程。

参考文献 (References):

- [1] 周朕, 蒙古军, 齐杨, 等. 中国生态用地重要性及其格局优化研究进展[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 218-225.
Zhou Z, Meng J J, Qi Y, et al. Importance of ecological lands and their pattern optimization in China: A review [J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(1): 218-225.
- [2] 荣冰凌, 李栋, 谢映霞. 中小尺度生态用地规划方法[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5351-5357.
Rong B L, Li D, Xie Y X. On planning method of mesoscale and microscale ecological land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5351-5357.
- [3] 喻锋, 李晓波, 张丽君, 等. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4931-4943.
Yu F, Li X B, Zhang L J, et al. Study of ecological land in China: Conception, classification, and spatial-temporal pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4931-4943.
- [4] 管青春, 郝晋珉, 石雪洁, 等. 中国生态用地及生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(2): 195-207.
Guan Q C, Hao J M, Shi X J, et al. Study on the changes of ecological land and ecosystem service value in China[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(2): 195-207.
- [5] 李锋, 陈春. “三生”用地功能动态变化及其生态系统服务价值响应: 以顺德区为例[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 250-257.
Li F, Chen C. Dynamic change of ecological-living-industrial land and the response to ecosystem service value: A case study of Shunde[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(1): 250-257.
- [6] 张红旗, 王立新, 贾宝全. 西北干旱区生态用地概念及其功能分类研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 5-8.
Zhang H Q, Wang L X, Jia B Q. A conception of ecological land use and its function classification in arid area in Northwest China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(2): 5-8.
- [7] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 等. 区域生态用地的概念及分类[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1519-1524.
Deng H B, Chen C D, Liu X, et al. Conception and function classification of regional ecological land [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [8] 卢琦, 崔桂鹏, 孙楷. 关于在国土分类管理中设立生态用地的构想[J]. 中国土地, 2021(5): 4-9.
Lu Q, Cui G P, Sun K. Conception of establishing ecological land in land classification management[J]. China Land, 2021(5): 4-9.
- [9] 邓小文, 孙贻超, 韩士杰. 城市生态用地分类及其规划的一般原则[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 2003-2006.
Deng X W, Sun Y C, Han S J. General principles of urban ecological land classification and planning[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 2003-2006.
- [10] Guo X D, Chang Q, Liu X, et al. Multi-dimensional eco-land classification and management for implementing the ecological redline policy in China[J]. Land Use Policy, 2018, 74: 15-31.
- [11] Xie H L, He Y F, Xie X. Exploring the factors influencing ecological land change for China's Beijing-Tianjin-Hebei Region using big data[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 677-687.
- [12] 朱战强, 杨帆, 宋志军. 北京生态用地的空间格局及复杂性[J]. 经济地理, 2015, 35(7): 168-175.
Zhu Z Q, Yang F, Song Z J. Exploring spatial patterns and complexities of ecological lands in Beijing [J]. Economic Geography, 2015, 35(7): 168-175.
- [13] 张继平, 乔青, 刘春兰, 等. 基于最小累积阻力模型的北京市生态用地规划研究[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6313-6321.
Zhang J P, Qiao Q, Liu C L, et al. Ecological land use planning for Beijing City based on the minimum cumulative resistance model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(19): 6313-6321.
- [14] Zhao T Y, Cheng Y N, Fan Y Y, et al. Functional tradeoffs and feature recognition of rural production-living-ecological spaces[J]. Land, 2022, 11(7): 1103.
- [15] 张璐, 柴燕妮. 重点功能区生态用地变化及驱动力分析[J]. 北京测绘, 2021, 35(3): 340-344.
Zhang L, Chai Y N. Analysis on the change and driving force of ecological land in key functional areas[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2021, 35(3): 340-344.
- [16] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 等. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变: 以常州市为例[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5623-5631.

- Li F, Ye Y P, Song B W, et al. Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: A case study in Changzhou City, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011,31(19):5623-5631.
- [17] 费建波,夏建国,欧定华,等.乡村生态用地综合识别与分类[J].*生态学杂志*,2020,39(3):1045-1055.
- Fei J B, Xia J G, Ou D H, et al. Integrated identification and classification of rural ecological land[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020,39(3):1045-1055.
- [18] 贾坤,刘端阳,姚云军,等.基于高分二号数据的自然保护区生态用地遥感分类研究:以衡水湖国家级自然保护区为例[J].*自然保护区*,2021,1(2):68-74.
- Jia K, Liu D Y, Yao Y J, et al. Remote sensing classification of ecological land in the nature reserve based on Gaofen-2 satellite data: A case study on Hengshui Lake national nature reserve [J]. *Natural Protected Areas*, 2021,1(2):68-74.
- [19] Griffiths G H. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions[J]. *Applied Geography*, 1998,18(1):98-99.
- [20] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].2版.北京:科学出版社,2011.
- Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. Principle and Application of Landscape Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2011.
- [21] 贾宝全,仇宽彪,马杰,等.北京城市森林结构特征及林木树冠覆盖动态变化研究[M].北京:中国环境出版集团,2019.
- Jia B Q, Qiu K B, Ma J, et al. Urban Forest Structure Characteristics and Urban Tree Canopy Dynamic in Beijing [M]. Beijing: Chinese Environmental Press, 2019.
- [22] 高建,李彤,贾宝全,等.生态用地空间稳定性及其格局分析:以咸阳市为例[J].*生态学报*,2022,42(23):9843-9856.
- Gao J, Li T, Jia B Q, et al. Ecological land and its spatial stability analysis: Taking Xianyang City as an example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(23): 9843-9856.
- [23] 李彤,贾宝全,刘文瑞,等.京津冀地区生态用地稳定性格局及其影响因素[J].*生态学报*,2022,42(24):9927-9944.
- Li T, Jia B Q, Liu W R, et al. Spatial pattern of ecological land stability analysis and influencing factor in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022,42(24):9927-9944.
- [24] 夏四友,赵媛,许昕,等.1997—2016年中国农业碳排放率的时空动态与驱动因素[J].*生态学报*,2019,39(21):7854-7865.
- Xia S Y, Zhao Y, Xu X, et al. Spatiotemporal dynamics and driving factor analysis of agricultural carbon emissions rate in China from 1997 to 2016[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019,39(21):7854-7865.
- [25] 郝明德,党廷辉,刘冬梅.黄土高原沟壑区生态系统适度生产力与生态环境协调发展研究[J].*干旱地区农业研究*,2003,21(1):94-97.
- Hao M D, Dang T H, Liu D M. Research on appropriate productivity and harmonious development of eco-environment[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003,21(1):94-97.
- [26] 刘普灵,郑世清,琚彤军,等.黄土高原燕沟流域生态环境建设模式及效益研究[J].*水土保持研究*,2005,12(5):88-91.
- Liu P L, Zheng S Q, Ju T J, et al. Ecological and environmental construction in the Yan'gou watershed of the Loess Plateau: Models and benefits[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005,12(5):88-91.
- [27] 吕一河,高光耀,罗毅,等.黄土高原区域生态综合研究:机理深化与方法拓展[J].*生态学报*,2016,36(22):7069-7073.
- Lü Y H, Gao G Y, Luo Y, et al. Integrated regional ecological research on the Loess Plateau: Advancing the scientific understanding and methodological tools [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016,36(22):7069-7073.
- [28] 邱海军,曹明明.黄土高原沟壑区土地利用变化分析:以陕西省洛川县为例[J].*水土保持通报*,2011,31(2):207-210,251.
- Qiu H J, Cao M M. Land-use change in Gully Region of Loess Plateau: A case study of Luochuan County, Shaanxi Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011,31(2):207-210,251.
- [29] 安国强,黄海浩,刘沼,等.中国土地利用与生态系统服务价值评估研究进展[J].*济南大学学报:自然科学版*,2022,36(1):28-37.
- An G Q, Huang H H, Liu Z, et al. Research progress on land use and ecosystem service value assessment in China[J]. *Journal of University of Jinan: Science and Technology*, 2022,36(1):28-37.
- [30] 王兵,鲁绍伟.中国经济林生态系统服务价值评估[J].*应用生态学报*,2009,20(2):417-425.
- Wang B, Lu S W. Evaluation of economic forest ecosystem services in China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009,20(2):417-425.