

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.05.032.

徐云, 高明坤, 张增信. 基于 InVEST 模型的长江中下游地区生境质量变化研究[J]. 水土保持研究, 2024, 31(5): 355-364.

Xu Yun, Gao Mingkun, Zhang Zengxin. Land Use Change and Its Impact on Habitat Quality in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Based on InVEST Model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(5): 355-364.

基于 InVEST 模型的长江中下游地区生境质量变化研究

徐云, 高明坤, 张增信

(南京林业大学 林学院, 南方现代林业协同创新中心, 南京 210037)

摘 要: [目的] 生境质量是生态系统能够提供给物种生存繁衍所需条件的潜力, 是提升生态系统功能的关键。研究长江流域的生境质量对长江经济带绿色发展和长江大保护等国家重大战略具有重要意义。[方法] 以长江中下游地区 1980—2018 年土地利用数据为基础, 利用 InVEST 模型研究了 1980—2018 年长江中下游地区的土地利用变化与生境质量、生境退化度的时空变化。[结果] (1) 林地作为研究区主要的土地利用类型且在不断减少, 主要转向建设用地和水域。(2) 38 年来研究区整体生境质量处于较高等级, 生境质量指数平均值为 0.628, 但呈现下降趋势。空间上表现出东部、中部低, 南部高的态势, 这与研究区东部、中部大多以建设用地为主, 南部以林地、草地为主的土地利用格局相吻合。(3) 研究区生境退化度呈现中部区域高, 周围较低的分布, 生境退化度的变化在时间上呈现升高的趋势, 空间上生境退化度发生变化的区域较集中, 比如沿江城市群、城乡等人口聚集地的退化度变化剧烈, 其余区域变化不明显。[结论] 长江中下游地区的生境质量总体上正处于一个退化的过程, 城市化的进程使得土地利用中林地、草地和耕地大量转向建设用地, 导致生境质量的不断下降, 尤其以沿江城市群的问题尤为突出, 我们应当更加合理地开发建设用地, 划定生态保护红线, 逐渐恢复和提高长江中下游的生境质量, 扎实推进长江生态环境保护修复, 筑牢长江经济带生态安全底线。

关键词: 土地利用; InVEST 模型; 生境质量; 生境退化度; 长江中下游地区

中图分类号: S718.53

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)05-0355-10

Land Use Change and Its Impact on Habitat Quality in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Based on InVEST Model

Xu Yun, Gao Mingkun, Zhang Zengxin

(Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China,

College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: [Objective] Habitat quality is the potential of ecosystems to provide the necessary conditions for species' survival and reproduction, and is the key to improving ecosystem functions. Studying the habitat quality of the Yangtze River Basin is of great significance for national major strategies such as green development of the Yangtze River Economic Belt and the protection of the Yangtze River. [Methods] Based on land use data from 1980 to 2018 in the middle and lower reaches of the Yangtze River, the InVEST model was used to study the spatiotemporal changes in land use change, habitat quality, and habitat degradation in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1980 to 2018. [Results] (1) As the main type of land use in the study area, woodland was decreasing, mainly turning to construction land and water area, which greatly reflected the driving effect of population growth, economic development and environmental protection on the change of land use structure. (2) The overall habitat quality of the study area was at a high level,

收稿日期: 2023-09-19

修回日期: 2023-11-27

资助项目: 中国长江电力股份有限公司委托项目 (Z242302054); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目 (SJCX24_0355); 国家自然科学基金项目 (41971025)

第一作者: 徐云 (2000—), 男, 江苏常州人, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: xuyun@njfu.edu.cn

通信作者: 张增信 (1977—), 男, 山东青岛人, 教授, 博士生导师, 主要从事气候变化和生态水文研究。E-mail: nfuzhang@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

showing a trend of low in the east and middle, and high in the south, which was consistent with the land use pattern that most of the cities along the Yangtze River in the east and middle of the study area were dominated by construction land, and the south was dominated by woodland and grassland. (3) In the study area, the degree of habitat degradation was higher in the central area and lower in the surrounding area. The change of the degree of habitat degradation showed an upward trend in time, and the areas where the degree of habitat degradation changes were more concentrated in space, such as the urban agglomeration along the river, urban and rural areas and other population agglomerations. [Conclusion] The habitat evolution in the middle and lower reaches of the Yangtze River is in a process of degradation. The process of urbanization makes a large number of woodland, grassland and cultivated land in land use turn to construction land, which leads to the continuous decline of habitat quality, especially the problem of the urban agglomeration along the Yangtze River. We should develop construction land more reasonably and draw the ecological protection red line, gradually restore and improve the habitat quality of the middle and lower reaches of the Yangtze River, and make a positive contribution to the process of the Yangtze River protection.

Keywords: the middle and lower reaches of the Yangtze River; land use change; InVEST model; habitat quality; habitat degradation

长江作为中国第一大河,是我国战略支撑作用最大的区域^[1]。如今,在气候变化和人类活动等影响下,长江中下游地区干流水生态功能退化、水生态环境承载力下降成为了长江大保护、经济带绿色可持续发展等国家重大战略的制约因素^[2-3]。想要彻底实现长江经济学位类别带的绿色发展与长江大保护这一重大战略,明确长江流域的生境质量时空变化特征及其发展趋势尤为重要。生境质量是生态系统能够提供给物种生存繁衍所需条件的潜力,与生物多样性息息相关,是提升生态系统功能的关键^[4-5]。而土地利用变化会改变区域内生境的构成要素以及生产服务能力,是生境质量演变的主要驱动力因素^[4,6]。近年来,得益于长江大保护等举措的实施,长江流域水生态、水环境已经得到极大的改善^[3],但是生态环保的情况依然复杂,生境的保护以及修复任务依然繁重^[7]。

近年来,众多专家和学者通过建立模型对生境质量和生物多样性展开研究,如 Homyack 等运用生理度量法对野生脊椎动物的生境质量进行评价, Billionnet 等运用数学优化法对自然保护区景观破碎化、遗传多样性维持等方面进行研究^[8]。其中,生态系统服务和权衡的综合评估模型 InVEST 是美国斯坦福大学、大自然保护协会与世界自然基金会联合开发的,旨在通过模拟不同土地覆被情景下生态系统物质和价值量的变化,为权衡人类活动的效益和影响提供科学依据^[9-11], InVEST 模型具有较强的生态系统服务功能价值的空间化与可视化表达能力,能够更加直观地评估生态系统服务功能^[11-13],因此在生境质量评价方面得到了广泛的应用,并且所得结果能够更准确地反映实际生态环境状况。近年来,众多

国内外学者借助 InVEST 模型,对生境质量进行了深入评估,并从空间格局角度出发,探讨了土地利用对生境质量的影响。如 Wang 等以贵阳市为例,研究了喀斯特山地城市景观格局的变化引起的生境质量的时空演变,发现生境质量分布具有显著的时空异质性和空间聚集效应^[14];张文静等利用 InVEST 模型分析了山东半岛沿海地区的生境质量和生境退化度的变化及原因,得出结论:社会发展对耕地和建设用地的开发利用会导致生境质量退化^[4];陈实等研究发现黄河流域在退耕还林还草区域的生境质量呈现上升趋势^[15];陈珊珊等以松嫩平原为研究区通过将 InVEST 模型与景观格局变化相结合,发现景观破碎化程度增加会导致不同土地利用类型相对应的生态系统更加破碎化和生境质量变差^[16]。

目前,生境质量研究主要集中在城市尺度,而对长江中下游这样大流域的研究较为缺乏。然而,自 1980 年以来,长江中下游地区的生境质量年际变化特征及其时空变化趋势仍未明确。哪些地区的生境质量出现严重退化,以及哪些地区在未来需要引起高度关注,这些问题尚未得到解决。并且近年来长江中下游地区由于人口快速增长、经济迅速发展对生态环境造成严重的威胁,不合理的土地利用方式不断地影响该区域的生境质量,威胁流域内的生物多样性,对长江大保护提出了严峻的考验。鉴于此,本文基于 1980—2018 年 8 期土地利用数据,借助 InVEST 模型评估长江中下游地区的生境质量以及退化度,探索土地利用变化对于研究区的生境演变产生的时空变化影响。为长江中下游地区生境的保护以及修复提供依据,给长江大保护提供建议和参考。

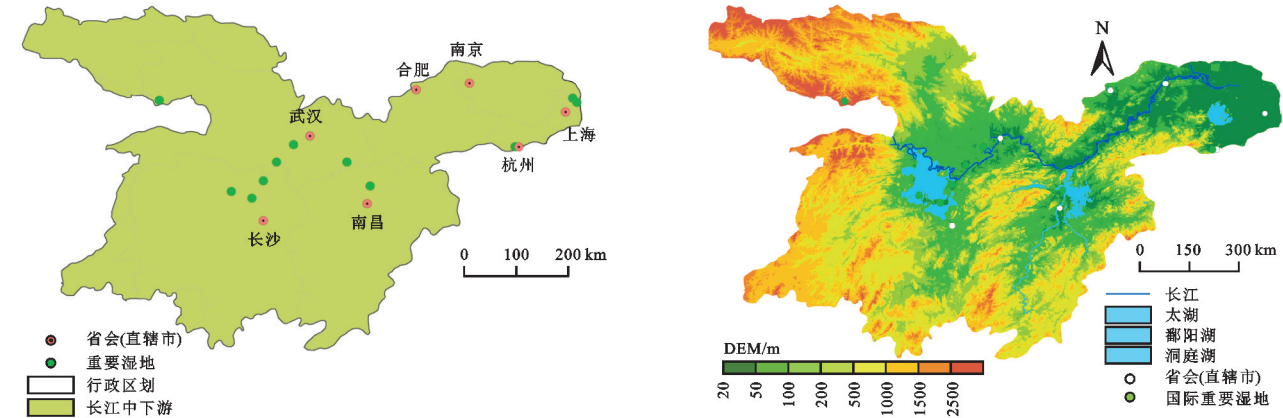
1 材料与方法

1.1 研究区概况

长江中下游地区是指长江流域自三峡库区以下至长江口的广大区域(图 1),东经 106°12′58″—122°25′,北纬 24°34′15″—34°11′37″,流域面积约 77.8 万 km²,地跨 7 省市,地形以丘陵和平原为主,长江中下游地区也

是我国人口密度最高、经济活动强度最大、环境压力最严重的流域之一。

工农业发展迅速,沿江地带工业发达,是中国最重要的工业集中区之一。随着经济快速的发展,工业污水的排放、农业化肥、农药的过量使用,都导致流域内的环境恶化,水生生态系统不断退化,水生态和水安全问题日益严峻^[17-18]。



注: 基于标准地图服务系统下载的审图号 GS20161667 号的标准地图制作, 底图未做修改, 下同。

图 1 研究区地理位置示意图和高程示意图

Fig. 1 Location map of the study area and schematic diagram of bird survey site and elevation

1.2 数据来源及模型

(1) 土地利用数据来自中国科学院的资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>), 时间为 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 以及 2018 年共 8 期, 空间分辨率为 1 km, 数据采用二级分类系统, 一级分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地 6 类, 二级在一级类型基础上进一步分为 25 个类型。(2) 生境质量数据主要利用 InVEST 模型获取, 通过生境质量的大小来反映生态系统为物种提供生存繁衍条件的潜在能力, 它的取值范围在 0~1 之间, 数值越大, 说明这种环境的生态系统越稳定, 生境质量值越高。生境退化度是人类活动的干扰对于生境所产生的改变程度, 即威胁因子对于生境造成的退化程度, 生境退化度的数值越高, 表示威胁因子对生境造成的威胁程度越大^[19-20]。计算公式如下:

境栅格 x 的威胁水平; β_x 是栅格 x 的可达性水平; S_{jr} 是土地覆被类型 j 对威胁因子 r 的敏感度; d_{xy} 是栅格 x 与栅格 y 之间的直线距离; d_{rmax} 是威胁因子 r 的最大影响距离, Q_{xj} 是土地覆盖类型 j 中栅格 x 的生境质量指数; H_j 是土地覆盖类型 j 中的生境适宜度; D_{xj}^z 是土地覆盖类型 j 中栅格 x 的生境退化度; z 是模型默认参数; k 是半饱和常数。

参考相关文献的参数设置、InVEST 模型手册并结合研究区域实际情况, 本研究将城镇用地、农村居民点、耕地、其他建设用地、未利用地定义为威胁因子。并参考模型手册中的数值以及考虑实地情况对这 5 类威胁源的最大影响距离和权重赋值(表 1)^[19,21]。

不同土地利用类型作为生境类型的适应性和对威胁源的敏感程度有所不同。当生境类型的适应度较高时, 其生境质量表现更为优秀。然而, 如果生境类型对威胁源的敏感度增强, 其抗干扰能力会降低, 从而导致生境质量下降。本研究通过参考模型手册中的推荐值, 结合相关文献确定生境适宜度和不同生境对威胁因子的敏感度(表 2)^[19,21]。

1.3 数据处理

利用地理信息系统软件对土地利用、生境质量以及生境退化度数据进行处理, 得到栅格图像, 计算其面积、占比, 进一步用栅格计算器功能, 得到相邻两个时期的土地转移矩阵, 分析各个时期各地类间的转换, 得到各等级生境质量和生境退化度的分布, 分析

$$D_{xy} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (1)$$
$$i_{rxy} = 1 - (d_{xy} / d_{rmax}) \quad (2)$$
$$i_{rxy} = \exp \left[- \left(\frac{2.99}{d_{rmax}} \right) d_{xy} \right] \quad (3)$$
$$Q_{xj} = H_j 1 - \left[\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right] \quad (4)$$

式中: D_{xy} 是生境退化度; R 是威胁生境的因子个数; Y_r 是威胁图层在地类图层上的栅格个数; w_r 是威胁因子 r 的权重; r_y 是栅格 y 的威胁程度; i_{rxy} 是 r_y 对生

它们的演变规律,总结三者的相互关系^[22]。

表 1 威胁源的权重和最大影响距离
Table 1 The weight and the maximum influence distance of the threat source

威胁因子	最大影响 距离/km	权重	衰退类型
城镇用地	10	1.0	指数
农村居民点	8	0.8	指数
其他建设用地	9	0.9	指数
耕地	6	0.6	线性
未利用地	4	0.4	线性

2 结果与分析

2.1 近 40 年来长江中下游地区土地利用变化规律
根据土地利用数据得到 1980—2018 年长江中下

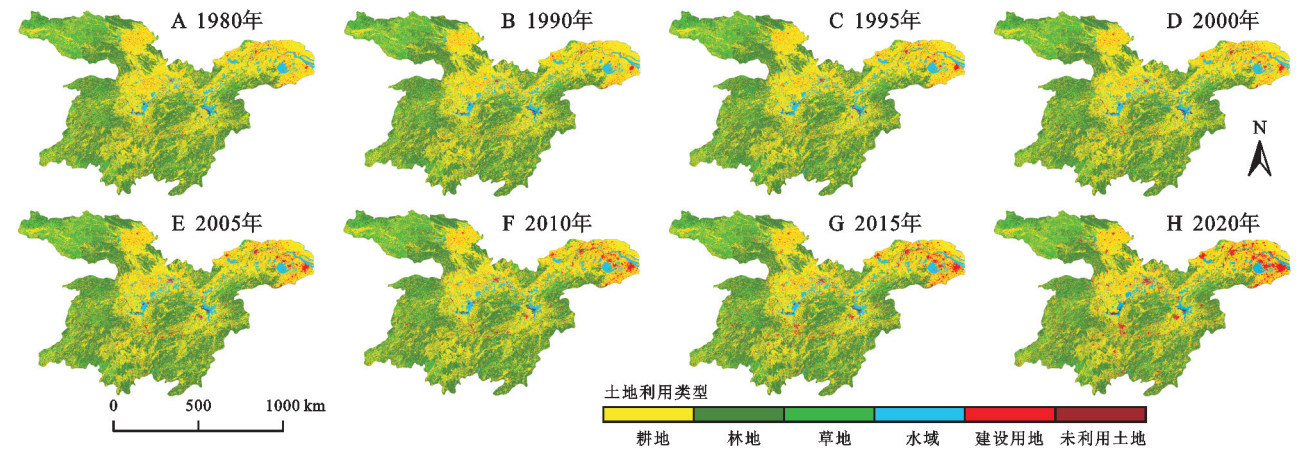


图 2 1980—2018 年土地利用类型空间分布

Fig. 2 Spatial distribution map of land use types from 1980 to 2018

1980—2018 年整体来看,林地面积在 1990—1995 年有较明显的增加,并达到峰值 285 150 km²,其余时间区间变化幅度不大,整体略微减少;耕地面积连年减少,2015—2018 年耕地面积减少的幅度最大,高达 6 884 km²;草地面积在 1980—1990 年略微增加,之后面积一直减少,整体上面积减少了 1 915 km²;水域面积的变化在 1990—1995 年产生波动,略微减少,整体的时间区间是呈现增加的趋势;建设用地面积增长迅速,1980—2020 年面积增加了 23 218 km²,到 2020 年建设用地面积是 1980 年的 2.2 倍;未利用土地面积在 1995—2000 年略微增加,2000 年后呈现减少趋势,2015—2018 年面积又有明显回升,整体保持稳定变化不明显。

自 1980—2018 年以来,耕地大都转变为建设用地,同比耕地面积减少的最多,建设用地面积增加的也最多;主要是由于多年来流域内经济发展、工业建设、人口增加,对于建设用地的需求很大,所以多年来

游地区各种土地利用类型空间分类图(图 2)。并为进一步分析 1980—2020 年各土地利用类型内部的转化方式,创建 1980—2015 年长江中下游地区土地利用转移矩阵(表 3)。

表 2 各土地利用/覆被对威胁因子的敏感度
Table 2 Sensitivity of land use type to habitat threat factors

土地利用	生境 适宜度	敏感度				
		城镇 用地	农村 居民点	其他 建设用地	耕地	未利 用地
耕地	0.3	0.8	0.6	0.7	0.0	0.4
林地	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	0.2
草地	1.0	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6
水域	0.9	0.7	0.6	0.7	0.4	0.4
建设用地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
未利用地	0.6	0.6	0.5	0.6	0.4	0.0

耕地面积逐年减少和建设用地面积逐年增加,二者同时在 2010—2018 年,达到变化的最大值;从矩阵也表明二者具有很强的关联性,建设用地是耕地主要的转化方向,耕地也是新增建设用地的主要来源。林地面积占比的减少不足 0.37%,在 1990—1995 年有所增加,达到 35 年以来的最大值,2000—2010 年较为稳定,上下波动变化不大,2015—2018 年减少较为明显;从矩阵来看,林地在 1980—2000 年与耕地、草地之间发生较大规模的相互转化,但是整体面积没有太大变化,林地最终的主要转变方向是耕地、草地、水域,面积变化较明显的时间段是 1995—2000 年、2010—2015 年。草地总体来说面积减少,变化幅度接近 0.24%,1980—1990 年面积增加达到最大值,之后逐年减少,2010—2015 年又有小幅度的增加,2015—2018 年又发生较大幅度的减少;从矩阵来看,草地在 1980—2000 年与耕地、林地发生相互转化,面积有所增加,整体来源是耕地和林地,转换方向为耕地、林地、水域。

表 3 1980—2018 年长江中下游地区土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transfer matrix of the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin from 1980 to 2018

		km ²					
年份	土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1980—1990	耕地	160915	52255	10598	9001	11370	271
	林地	52515	253183	16242	2825	1423	52
	草地	10262	16086	24219	557	226	9
	水域	7930	2625	558	18296	812	526
	建设用地	11028	1346	244	738	3047	18
	未利用地	337	66	17	662	19	867
1990—1995	耕地	151902	58208	10763	9583	12248	276
	林地	55701	246375	18662	2945	1841	52
	草地	11270	18493	21194	584	309	16
	水域	9442	3298	596	17227	953	556
	建设用地	10535	1772	291	987	3286	20
	未利用地	289	55	11	589	27	772
1995—2000	耕地	164388	46237	9630	7130	11615	156
	林地	48418	262010	13798	2548	1359	42
	草地	9356	14489	27074	408	183	8
	水域	6496	2144	435	21751	662	454
	建设用地	10749	1182	204	560	5951	19
	未利用地	147	45	12	417	12	1060
2000—2005	耕地	235981	286	132	1081	2091	19
	林地	142	325613	59	85	269	3
	草地	142	412	50561	31	24	1
	水域	279	14	26	32372	122	22
	建设用地	7	2	1	25	19747	4
	未利用地	8	3	2	289	2	1435
2005—2010	耕地	234214	116	9	235	1984	2
	林地	57	325970	15	41	246	1
	草地	3	211	50488	52	24	3
	水域	41	7	2	33647	68	123
	建设用地	2	2	0	5	22251	0
	未利用地	1	1	2	19	0	1461
2010—2015	耕地	230318	259	59	395	3266	23
	林地	134	324626	387	84	1074	2
	草地	51	106	50203	17	137	2
	水域	176	22	92	33490	208	25
	建设用地	162	44	8	29	24329	2
	未利用地	1	1	0	99	0	1489
2015—2018	耕地	49140	63255	6878	7068	6686	460
	林地	58211	109319	14186	7858	6665	452
	草地	6231	14235	3294	645	593	30
	水域	7644	8403	597	1203	1111	77
	建设用地	5690	6128	522	928	1047	54
	未利用地	413	482	24	68	45	6

从矩阵整体来看,2000 年之前,耕地、林地和草地这 3 种土地利用类型相互转换剧烈,说明该时间段长江中下游地区的经济以农林业为主,耕地、林地和草地的需求远大于城市、乡镇的建设用地;2000 年之后,长江中下游地区的经济快速发展,建设用地迅速增加,耕地、林地和草地之间变化大大减少;减少的耕地、林地和草地主要都转向建设用地,另一部分通过退耕还湖、退林还湖

等方式转向水域。其中耕地面积的减少最多,建设用地面积增加的最多。这些土地利用类型相互转化的过程,极大地反映出人口增加、经济社会发展和环境保护程度对于土地利用结构变化的推动作用。

2.2 生境质量时空变化

运行 InVEST 模型的生境质量模块,分别得到 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、

2015年、2018年长江中下游地区的生境质量分布情况,研究区的生境质量取值为0~1,数值越大生境越好。为了更加直观地展示空间上的生境质量分布情况,将结果分为5个等级,分别为低(0~0.2)、较低(0.2~0.4)、一般(0.4~0.6)、较高(0.6~0.8)、高(0.8~1),

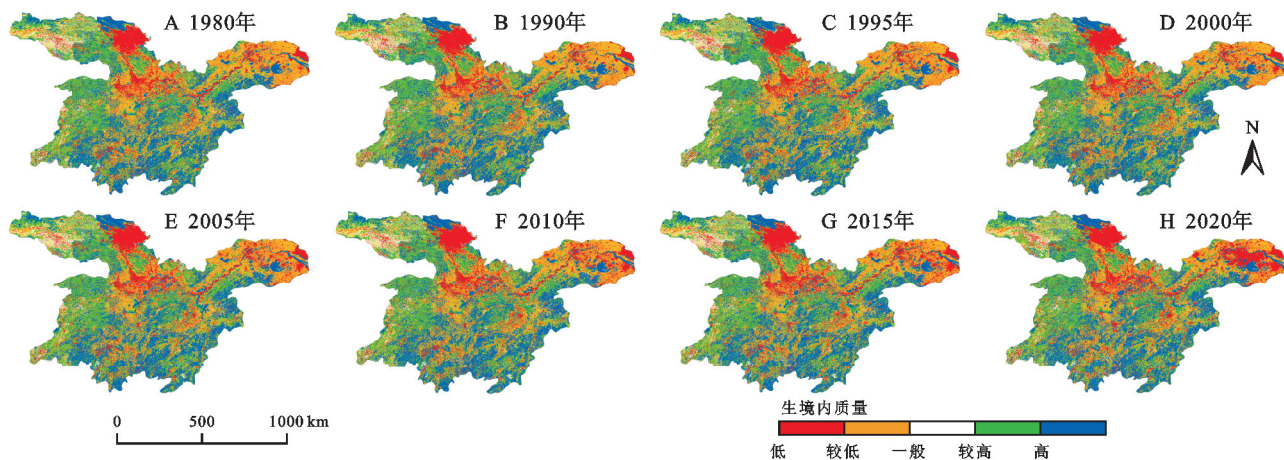


图3 1980—2018年生境质量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution map of habitat quality from 1980 to 2018

1980—2018年长江中下游地区的整体生境质量等级还是较高的,平均值约为0.628。2000年前保持在0.63左右,自2000年后逐年下降,2018年生境质量已经跌至0.62附近。研究区内高等级的生境质量占主导地位,占研究区面积34%左右,一般等级的生境质量占比最小,只有不到4%。从各等级的面积占比来看,高等级>较高等级>较低等级>低等级>一般等级。不同等级生境质量的变化,低等级生境质量区域增加约3.02%,24 264 km²;较低等级减少约2.98%,23 936 km²;一般等级减少约0.03%,213 km²;较高等级减少约0.18%,1 483 km²;高等级增加约0.17%,1 368 km²。

从时间尺度看,在2010—2015年,随着建设用地规模的扩张,高等级与较高等级的生境质量区域普遍沦为一般生境质量区域。由此,一般生境质量区域的面积显著增长,而较高与高质量区域的面积则显著减少。而在2015—2018年,由于大量的林地和草地被转化为建设用地,生境质量的恶化愈发严重。大范围的一般生境质量区域甚至进一步退化为低等级生境质量区域。因此,一般生境质量区域的面积大幅减少,而低等级生境质量区域的面积则大幅增加。

从空间尺度来看,生境质量较高的区域主要集中于长江以南,土地利用类型以林地、草地为主,少部分为耕地,这些地区受人类活动影响较小,生物多样性比较丰富,生态环境保护得较好;生境质量较低的区域主要集中于沿江区域,研究区中北部、东部地区,以沿江城市带为主的城市群是主体,土地利用类型以建设用地和耕

得到长江中下游地区的生境质量分布图(图3)。通过统计各个等级生境质量的栅格占比,计算各等级生境质量的面积和比例,得到1980—2018年低等级、较低等级、一般等级、较高等级和高等级生境质量的面积和所占比例的变化情况(图4)。

地为主,还涉及部分水域以及未利用地。生境质量的变化趋势完全呈现破碎化的趋势,人为扰动极易造成生境质量变化,因此,有大量人类活动的长江中下游地区,生境质量的威胁因子更强。所以,即使整体生境质量处于较高的水平,但是低等级生境质量的区域增加的幅度越来越大,高等级生境质量区域远没有低等级增加得快,这一现象需要引起足够的重视,应当继续加大对长江中下游地区生态环境的保护力度。

2.3 生境退化度时空变化

利用InVEST模型得到1980年、1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年、2018年长江中下游地区生境质量的退化情况,研究区的生境退化度取值范围0~0.2,值越大代表退化程度越高,以自然分级法将结果分3个等级,分别为低(0~0.026)、中(0.026~0.065)、高(0.065~0.2),即长江中下游地区生境退化度的空间分布图(图5)。通过统计各个等级的栅格占比,计算各等级生境退化度的面积和比例,得到1980—2018年低等级、中等级和高等级生境退化度面积和所占比例的变化情况(图6)。

1980—2018年以来,在长江中下游地区的生境退化度整体较低的,多年平均值约为0.027,研究区内低等级的生境退化度区域占主导地位,占研究区面积60%左右,高等级的生境质量占比最少,仅为9%。从各等级生境退化度的面积占比来看,低等级>中等级>高等级。不同等级生境质量的变化,低等级生境退化度区域减少约24 018 km²;中等级增加约22 974 km²;高等级增加约1 044 km²。

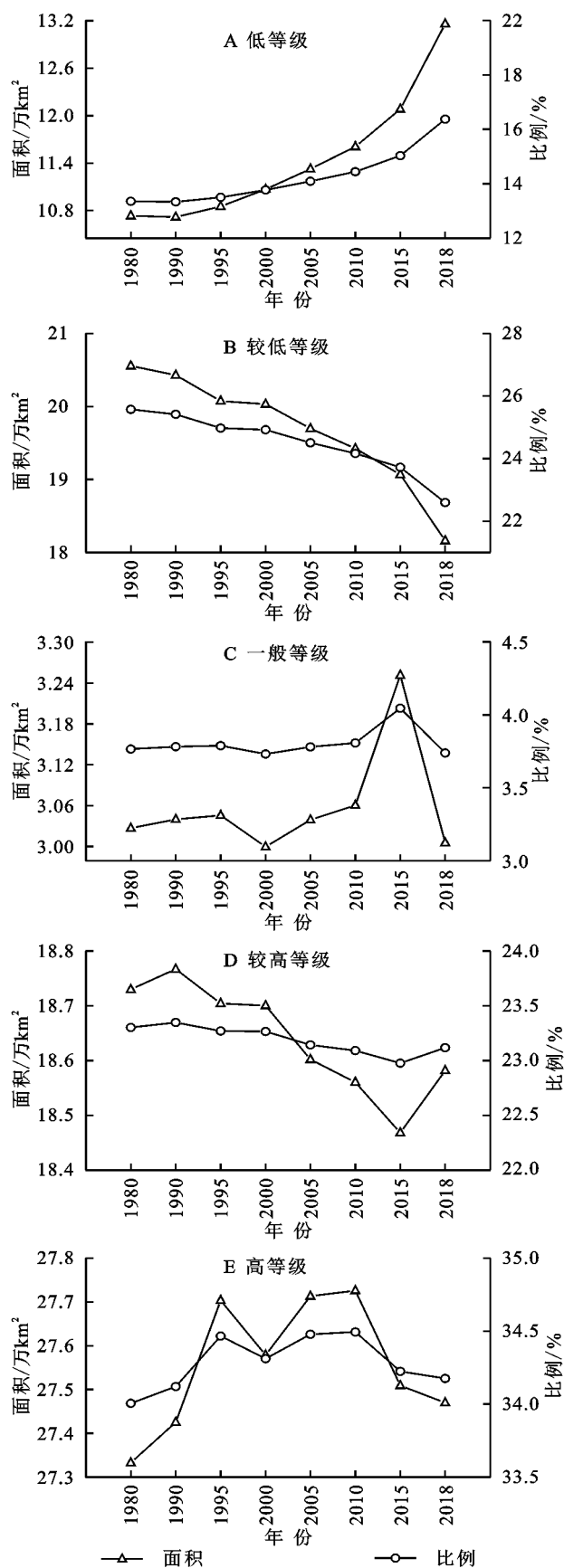


图4 1980—2018年各等级生境质量的面积和所占比例的变化情况

Fig. 4 Changes of area and proportion of habitat quality in different grades from 1980 to 2018

从时间尺度上看,长江中下游地区生境退化度,自1980—1995年逐年下降,正对应这段时间流域内耕地、林地与草地面积的转换,1995—2010年生境退化度逐年升高,在2010—2015年有所下降,2015—2018年生境退化度均值又呈现升高趋势,对应着各等级生境质量、土地利用类型的面积变化。尤其是长江中下游地区内的城市分布密集的区域生境退化度程度越来越高。

从空间尺度上可以看出,1980—2018年,生境退化度较高的地方分布在研究区的中部以武汉为中心的长江中游城市群,沿江的城市带、以南京为中心的长三角城市群以及洞庭湖、鄱阳湖和太湖流域的部分区域;而耕地、草地和林地分布的地区,即研究区南部以及西部,生境退化度并不高。

生境退化度的变化,在时间跨度上生境退化度呈现升高的趋势;在空间跨度上生境退化度发生变化的区域比较集中。研究区内生境退化度较高的地区往往就是生境质量较低的地区,就是建设用地、耕地、未利用土地以及部分水域,生境退化度较低的区域往往是生境质量较高的地区,是林地、草地和部分耕地以及水域。整体来说,研究区内生境退化度的变化不明显,只有人类活动频繁的地方,比如沿江城市群、城乡等人口聚集地的退化度变化剧烈。

3 讨论

研究区的土地利用变化在2000年之前,耕地、林地和草地这3种土地利用类型相互转换剧烈,说明该时间段长江中下游地区的经济以农林业为主,耕地、林地和草地的需求远大于城市、乡镇的建设用地;2000年之后,长江中下游地区的经济快速发展,建设用地迅速增加,耕地、林地和草地之间变化大大减少;减少的耕地、林地和草地主要都转向建设用地,另一部分通过退耕还湖、退林还湖等方式转向水域。其中耕地面积的减少最多,建设用地面积增加的最多。

整体上,研究区的生境质量等级较高,在2000年前小幅度上升,自2000年后整体呈现轻微的下陷趋势,这与周俊鑫等^[23]研究江西省的总体生境质量良好,整体呈现微幅下降且加速的趋势的结果相近。长江中下游地区生境质量较高的区域主要集中于长江以南;生境质量较低的区域主要集中于沿江区域,研究区中北部、东部地区,以沿江城市带为主的城市群是主体,与Zheng等^[24]研究长江流域的生境质量在沿海地区和城市群中较低,而在内陆地区和山地森林地区较高的结果相一致。究其原因是低生境质量区域由于人口稠密,社会性活动多,区域内土地利用类型持续转化为城镇用地,导致生境质量退化。研究发现较低生境质量大多转变成

低等级生境质量,较高等级生境质量多转变为高等级生境质量,说明越是好的生境保护起来效果越好,较

差的生境恢复起来越困难,甚至得不到改善^[17]。因此,这些生境质量下降的地区需要重点关注。

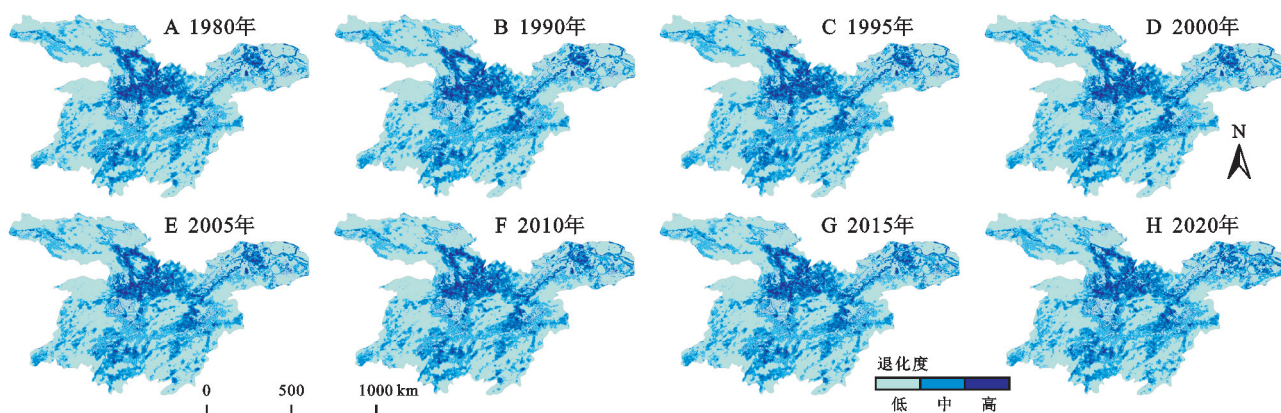


图5 1980—2018年生境退化度空间分布

Fig. 5 Spatial distribution map of habitat degradation from 1980 to 2018

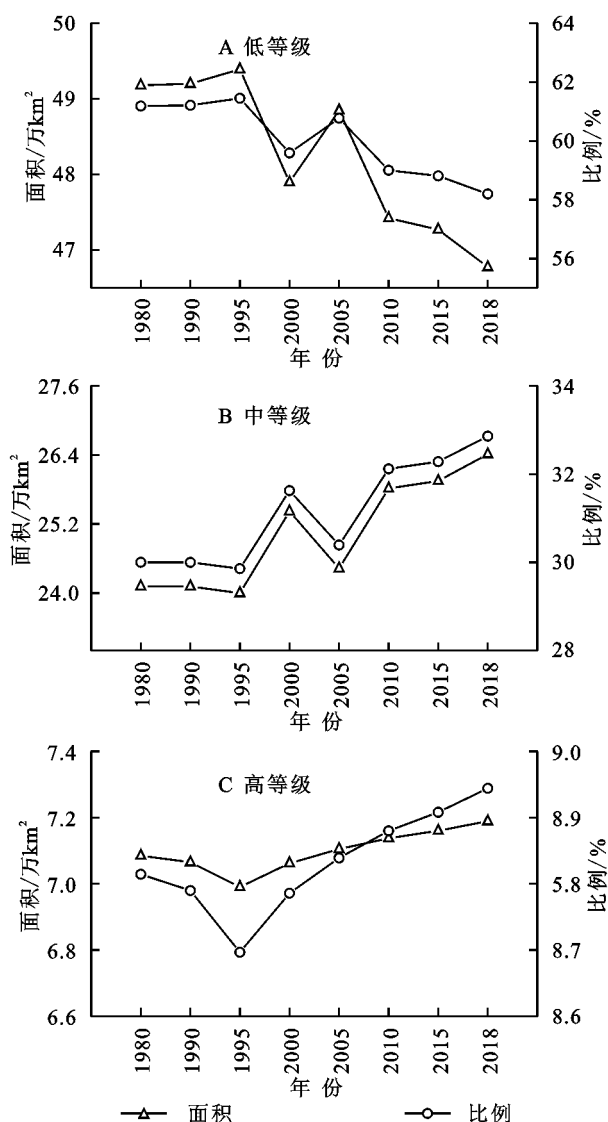


图6 1980—2018年各等级生境退化度的面积和所占比例变化情况

Fig. 6 Changes of area and proportion of habitat degradation degree in different grades from 1980 to 2018

研究区生境退化度整体还是较低的,研究区以低

等级的生境退化度区域为主。生境退化度的变化,在时间跨度上生境退化度呈现升高的趋势;在空间跨度上生境退化度发生变化的区域比较集中。研究区内生境退化度较高的地区往往就是生境质量较低的地区,就是建设用地、耕地、未利用土地以及部分水域,生境退化度较低的区域往往是生境质量较高的地区,是林地、草地和部分耕地以及水域,这与周俊鑫等^[23]研究发现的退化区域与生境质量低值区域的空间格局存在共性的结论相一致。整体来说,研究区内生境退化度的变化不明显,只有人类活动频繁的地方,比如沿江城市群、城乡等人口聚集地的退化度变化剧烈^[4]。综合土地利用类型、生境质量和生境退化度的演变规律,可以发现长江中下游地区的生境总体上依然处于一个退化的过程

4 结论

(1) 1988—2018年,长江中下游地区的土地利用类型变化剧烈,耕地面积持续减少,城镇建设用地逐年递增,大量的耕地转变为了建设用地,建设用地面积占研究区土地面积的比例增加了一倍。

(2) 1988—2018年,长江中下游地区的生境质量总体下降且呈下降趋势,区域间具有明显差异,其中生境质量较低的区域集中于沿江区域以及研究区中北部、东部地区,生境质量较高的区域主要集中于长江以南受人为干扰较少的区域。此外,研究区内生境退化度整体升高,退化度的变化集中在城市分布密集的区域,这些地区生境质量退化严重,并且与低生境质量区域的空间分布特征具有共性。

(3) 总结土地利用类型、生境质量和生境退化度的规律发现,长江中下游地区的生境目前依然处于一个退化的过程,必须科学合理地管理和开发利用土

地,加强对研究区低等级生境质量区域的保护并努力减少威胁源,人为保护也应当更贴合自然条件,减少不必要的人类活动和人为干扰,提高保护区的生境质量,使得保护区不断向着有利于生物多样性更丰富的方向发展。对于沿江城市的建设和开发应该再合理和科学一些,重视植树造林以及原有林地、草地甚至耕地的保育,控制生境下降的趋势,调整流域内的土地利用规划,逐渐恢复较低和低等级生境质量区域的生境。在保持耕地红线的前提下,调整耕地、林地和草地的结构;在林地、草地和水域分布集中的区域可以划定生态保护红线,建立自然保护区、生态缓冲区,能够有效地降低建设用地扩张对生境的破坏,逐渐恢复和提高该区域的生境质量。

参考文献(References):

- [1] 汪艳.水网格局影响下的大运河-长江三角洲地区历史城镇发展与变迁[D].南京:东南大学,2019.
Wang Y. The Interaction of Water and City: Transformation, Urbanism, Resilience[D]. Nanjing: Southeast University, 2019.
- [2] 李琴,陈家宽.长江流域的历史地位及大保护建议[J].长江技术经济,2018,2(4):10-13.
Li Q, Chen J K. Historical status of the Yangtze river basin with suggestions for its comprehensive conservation[J]. Technology and Economy of Changjiang, 2018, 2(4):10-13.
- [3] 贺洪彪,许愿.涪陵:全力建设成渝城市群区域性综合交通枢纽[J].重庆与世界,2017(12):46-47.
He H B, Xu Y. Fuling district: Spare no effort to build urban agglomeration in Chongqing and regional comprehensive transportation hub[J]. The World and Chongqing, 2017(12):46-47.
- [4] 张文静,孙小银,单瑞峰.基于 InVEST 模型研究山东半岛沿海地区土地利用变化及其对生境质量的影响[J].环境生态学,2019,1(5):15-23.
Zhang W J, Sun X Y, Shan R F. Effects of land use change on habitat quality based on InVEST model in Shandong Peninsula[J]. Environmental Ecology, 2019, 1(5):15-23.
- [5] 杨园园,戴尔阜,付华.基于 InVEST 模型的生态系统服务功能价值评估研究框架[J].首都师范大学学报:自然科学版,2012,33(3):41-47.
Yang Y Y, Dai E F, Fu H. The assessment framework of ecosystem service value based on InVEST model[J]. Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition, 2012, 33(3):41-47.
- [6] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3):534-546.
- [7] 廖志丹,付琳,吴齐.贯彻习近平生态文明思想与法治思想的立法实践:《长江保护法》解读[J].人民长江,2021,52(4):41-46.
Liao Z D, Fu L, Wu Q. Major legislation practice to implement Xi Jinping thought on ecological civilization and Xi Jinping thought on rule of law: Interpreting Yangtze river protection law[J]. Yangtze River, 2021, 52(4):41-46.
- [8] 包玉斌,刘康,李婷,等.基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响:以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J].干旱区研究,2015,32(3):622-629.
Bao Y B, Liu K, Li T, et al. Effects of land use change on habitat based on InVEST model: Taking Yellow River wetland nature reserve in Shaanxi province as an example[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(3):622-629.
- [9] 荣月静,张慧,王岩松.基于 Logistic-CA-Markov 与 InVEST 模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价[J].水土保持研究,2016,23(3):82-89.
Rong Y J, Zhang H, Wang Y S. Assessment on land use and biodiversity in Nanjing city based on logistic-CA-Markov and InVEST model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(3):82-89.
- [10] 吴季秋.基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的海南八门湾海湾生态综合评价[D].海口:海南大学,2012.
Wu J Q. Integrated assessment of ecosystem in Hainan Bamen bay based on CA-Markov and InVEST models [D]. Haikou: Hainan University, 2012.
- [11] Sun X Y, Jiang Z, Liu F, et al. Monitoring spatio-temporal dynamics of habitat quality in Nansihu Lake Basin, Eastern China, from 1980 to 2015[J]. Ecological Indicators, 2019, 102:716-723.
- [12] 李明阳,张称意,吴军,等.扎龙湿地丹顶鹤繁殖生境变化驱动因素分析[J].南京林业大学学报:自然科学版,2012,36(6):76-80.
Li M Y, Zhang C Y, Wu J, et al. Driver analysis of breeding habitat change of red-crowned crane (*Grus japonensis*) in Zhalong wetland[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2012, 36(6):76-80.
- [13] 尹楠,王俊.西安市泾渭湿地自然保护区生境质量变化评估[J].水土保持通报,2018,38(6):322-328.
Yin N, Wang J. Assessment on change of habitat quality of Jingwei wetland nature reserve in Xi'an city[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6):322-328.
- [14] Wang Z J, Liu S J, Su Y. Spatiotemporal evolution of habitat quality and its response to landscape patterns in Karst mountainous cities: A case study of Guiyang City in China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(53):114391-114405.
- [15] 陈实,黄银兰,金云翔.退耕还林(草)工程实施前后黄

- 河中游生境质量时空变化分析[J].干旱区研究,2023,40(3):456-468.
- Chen S, Huang Y L, Jin Y X. Spatiotemporal changes of habitat quality before and after the implementation of Grain for Green Project in the middle reaches of the Yellow River [J]. Arid Zone Research, 2023,40(3):456-468.
- [16] 陈珊珊,臧淑英,孙丽.基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境质量的影响研究:以松嫩平原为例[J].中国农学通报,2020,36(3):74-80.
- Chen S S, Zang S Y, Sun L. Effects of land use on habitat quality based on InVEST model: A case of the Songnen plain[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020,36(3):74-80.
- [17] 高庆彦,潘玉君,刘化.基于 InVEST 模型的大理州生境质量时空演化研究[J].生态与农村环境学报,2021,37(3):402-408.
- Gao Q Y, Pan Y J, Liu H. Spatial-temporal evolution of habitat quality in the Dali Bai autonomous prefecture based on the InVEST model[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021,37(3):402-408.
- [18] Wu H P, Zeng G M, Liang J, et al. Changes of soil microbial biomass and bacterial community structure in Dongting Lake: Impacts of 50 000 dams of Yangtze River[J]. Ecological Engineering, 2013,57:72-78.
- [19] Zhang X R, Zhou J, Li G N, et al. Spatial pattern reconstruction of regional habitat quality based on the simulation of land use changes from 1975 to 2010[J]. Journal of Geographical Sciences, 2020,30(4):601-620.
- [20] Caro C, Marques J C, Cunha P P, et al. Ecosystem services as a resilience descriptor in habitat risk assessment using the InVEST model[J]. Ecological Indicators, 2020,115:106426.
- [21] Berta Aneseyee A, Noszczyk T, Soromessa T, et al. The InVEST habitat quality model associated with land use/cover changes: A qualitative case study of the Winike watershed in the Omo-Gibe basin, Southwest Ethiopia[J]. Remote Sensing, 2020,12(7):1103.
- [22] Tian J X, Zhang Z X, Ahmed Z, et al. Projections of precipitation over China based on CMIP6 models[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2021,35(4):831-848.
- [23] 周俊鑫,蔡梅芳,黄志强,等.江西省生境质量时空演化特征及预测[J].生态学报,2023,43(18):7623-7636.
- Zhou J X, Cai M F, Huang Z Q, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and prediction of habitat quality in Jiangxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023,43(18):7623-7636.
- [24] Zheng L, Wang Y, Li J F. Quantifying the spatial impact of landscape fragmentation on habitat quality: A multi-temporal dimensional comparison between the Yangtze River Economic Belt and Yellow River Basin of China [J]. Land Use Policy, 2023,125:106463.
- ~~~~~
- (上接第 354 页)
- [34] 王川,刘春芳,乌亚汗,等.黄土丘陵区生态系统服务空间格局及权衡与协同关系:以榆中县为例[J].生态学杂志,2019,38(2):521-531.
- Wang C, Liu C F, Wu Y H, et al. Spatial pattern, tradeoffs and synergies of ecosystem services in Loess Hilly Region: A case study in Yuzhong County[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019,38(2):521-531.
- [35] 薛曾辉,高驭洋,卢桦达,等.基于土地利用和地形的生态系统服务空间分布及权衡-协同-独立关系:以安塞区为例[J].水土保持研究,2024,31(2):240-251,263.
- Xue Z H, Gao Y Y, Lu P D, et al. Spatial distribution and tradeoff-synergy-independence relationships of ecosystem services based on land use and topography[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(2):240-251,263.
- [36] 张强,林少颖.分级事权下县级国土空间规划的编制[J].厦门理工学院学报,2021,29(3):70-76.
- Zhang Q, Lin S Y. County-level territory spatial planning considering delegation of authority[J]. Journal of Xiamen University of Technology, 2021,29(3):70-76.
- [37] 王琳,卫伟.黄土高原典型县域生态系统服务变化特征及驱动因素[J].生态环境学报,2023,32(6):1140-1148.
- Wang L, Wei W. Characteristics and driving factors of ecosystem services changes in A typical county of the Loess Plateau[J]. Ecology and Environment, 2023,32(6):1140-1148.
- [38] 杨孟豪.黄土高原水-粮食-生态系统功能纽带关系及空间管理研究[D].陕西杨凌:中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2023.
- Yang M H. Water-food-ecosystem function nexus and spatial management on the loess plateau[D]. Shaanxi yangling: University of Chinese Academy of Sciences (Research Center for Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences),2023.9:100-108.