

网络出版时间:2023-12-12 16:34 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2024.06.009
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20231211.1407.006

汾河流域土地利用景观格局演变及其 驱动因素探究

杨珺^{1,2a}, 李豪¹, 马青¹, 冯永忠^{2a}, 杨改河^{2a},
周琳慧¹, 田昱辉^{2b}

(1 太原师范学院 经济与管理学院, 山西 晋中 030619; 2 西北农林科技大学 a 农学院, b 人文社会发展学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】分析汾河流域临汾段土地利用面积变化及景观格局演变特征, 掌握影响土地利用变化的驱动因素, 旨在为汾河流域可持续发展以及生态环境保护提供参考。【方法】以汾河流域中游临汾市为研究区, 基于 1990—2020 年遥感、气象、社会经济等数据, 计算该地区的土地利用程度指数、土地利用动态度、土地利用转移矩阵、景观格局指数(类型级别和景观级别), 探讨近 30 年临汾市土地利用面积变化特征及景观格局的变化趋势, 利用主成分分析方法筛选影响临汾市土地利用变化的主要驱动因素。【结果】从土地利用结构来看, 临汾市土地利用类型以耕地为主, 草地和林地次之。从土地面积变化来看, 1990—2020 年, 各土地类型的面积变化量绝对值由大到小依次为建设用地>草地>耕地>林地>水域>未利用地, 其中建设用地、林地及水域面积均增长, 其余土地类型面积均减少; 土地利用类型转移以耕地转为建设用地和草地以及草地转为耕地和林地为主。景观类型级别方面, 耕地、林地和草地的最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块平均大小(AREA_MN)和斑块结合度(COHESION)均较高; 景观级别方面, 随着时间的延长, 斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)总体均增加, 边缘面积分维指数(PAFRAC)和蔓延度指数(CONTAG)均减少。主成分分析结果表明, 社会经济因素、产业结构因素和自然因素是临汾市土地利用面积变化最主要的驱动因素。【结论】1990—2020 年, 临汾市的土地利用面积与景观格局发生了明显变化, 探明了影响临汾市土地利用面积变化的主要驱动因素, 其中建设用地、草地、林地和耕地受各驱动因素的影响较明显。

[关键词] 土地利用; 转移矩阵; 景观格局; 驱动因素; 汾河流域

[中图分类号] F301.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2024)06-0083-12

Evolution and driving factors of land use landscape pattern in the Fenhe River Basin

YANG Jun^{1,2a}, LI Hao¹, MA Qing¹, FENG Yongzhong^{2a},
YANG Gaihe^{2a}, ZHOU Linhui¹, TIAN Yuhui^{2b}

(1 School of Economics and Management of Taiyuan Normal University, Jinzhong, Shanxi 030619, China; 2 a College of Agronomy;
b College of Humanities and Social Development, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study analyzed the characteristics of land use area changes and landscape pattern evolution in the Linfen section of the Fenhe River Basin and investigated the driving factors to provide reference for sustainable development and ecological environment protection. 【Method】 Based on remote sensing, meteorology, social economy and other data from 1990 to 2020, the land use degree index, dy-

[收稿日期] 2023-04-19

[基金项目] 山西省哲学社会科学规划课题(2022YJ097); 山西省高等学校科技创新项目(2021L442); 太原师范学院大学生创新创业训练项目(CXCY2219)

[作者简介] 杨珺(1993—), 女, 山西洪洞人, 讲师, 博士, 主要从事区域发展与生态安全研究。E-mail: pldymj@163.com

[通信作者] 冯永忠(1972—), 男, 甘肃渭源人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事区域发展与循环农业研究。

E-mail: fengyz@nwsuaf.edu.cn

dynamic degree, Stochastic matrix, and landscape pattern indexes (type level and landscape level) in Linfen at the middle reaches of the Fenhe River basin were calculated. The changing characteristics of land use area and the changing trend of landscape pattern in Linfen in the past 30 years were discussed and the main driving factors were screened by principal component analysis. 【Result】 From the perspective of land use structure, cultivated land was the main type of land use in Linfen, followed by grassland and forest land. From the perspective of land area change, the absolute area changes of land types were in the order of construction land > grassland > cultivated land > forest land > water area > unused land from 1990 to 2020. The areas of construction land, forest land and water area increased, while the areas of other land types decreased. The transfer of land use types mainly included the conversion of arable land to construction land and grassland and the conversion of grassland to arable land and forest land. In terms of landscape type level, the largest patch index (LPI), landscape shape index (LSI), average patch size (AREA-MN) and patch cohesion (COHESION) of cultivated land, forest land and grassland were relatively high. In terms of landscape level, the numbers of patches (NP), patch density (PD), Shannon Diversity index (SHDI) and Shannon Evenness Index (SHEI) gradually increased over time, while the perimeter-area index of edge area (PAFRAC) and contagion index (CONTAG) generally decreased. The principal component analysis showed that social economy, industrial structure and natural factors were the main driving factors of land use changes in Linfen. 【Conclusion】 From 1990 to 2020, the land use area and landscape pattern of Linfen changed significantly, and the main driving factors included social economy, industrial structure and natural factors. Construction land, grassland, forest land and cultivated land were significantly affected by the driving factors.

Key words: land use; transfer matrix; landscape pattern; drivers; Fenhe River Basin

土地是珍贵的自然资源,也是所有生命存在和繁衍的基础。土地利用/覆被变化是经济、生态和社会综合作用的结果,是自然环境与人类活动相互作用的最直接表现形式。在经济发展、城市化进程加快等多种因素综合作用下,土地利用及景观格局的构成与配置变化显著影响着社会经济发展和生态环境状况^[1]。土地利用及景观格局变化已成为当前生态环境系统和全球区域变化的研究热点。

对于土地利用面积变化及其驱动力的研究,主要有定性分析、定量分析、定性与定量相结合的方法。其中毛盛林等^[2]采用定性分析的方法对近 20 年黄土高原土地利用变化的主要驱动力进行了研究,结果表明,影响该地区土地利用变化的主要驱动力是社会因子;郝洁等^[3]采用定性分析的方法分析了山南市及西藏地区的土地利用变化驱动力。定量分析方法主要有地理探测器法^[4-6]、主成分分析^[7-9]、相关性分析^[10-11]、回归分析法^[12-14]、灰色关联法^[15]等。例如王朝阳等^[5]采用地理探测器方法,分析了不同时间尺度下重庆市土地利用面积变化驱动力。王志春等^[9]运用矩阵转移法、景观格局指数、相关性分析、主成分分析等方法,分析了老哈河流域湿地关键区不同土地覆被类型面积的时空变化特征及其驱

动力。夏成琪等^[10]采用相关性分析方法对盐城海岸带的土地利用变化驱动力进行了分析。高宇婷等^[12]采用主成分分析法和多元回归分析法,对塔里木盆地南缘绿洲的土地利用变化驱动力进行了探究。杨雅楠等^[15]采用灰色关联法和逐步回归分析法对黄河流域宁蒙段河岸带土地利用面积转变的主要驱动力进行了研究。此外,也有学者采用定性与定量相结合的方式探索了土地利用面积变化的驱动力。例如李青松等^[16]采用皮尔逊相关性分析与定性分析相结合的方法,对黔中“两湖一库”地区土地利用变化及驱动力进行了分析。海凯等^[17]采用相关性分析方法及定性分析方法对“一带一路”沿线国家土地覆盖变化及驱动力进行了研究。

黄河流域是我国重要的生态屏障和经济地带,具有十分重要的地位。汾河是黄河的第二大支流,汾河流域亦是黄河流域的重要组成部分,该地区土地利用类型复杂、水土流失严重、地表植被覆盖度低,是典型的生态脆弱区。近年来,随着城市化进程加快、经济快速发展以及人类干扰自然环境的活动逐渐增加,汾河流域的土地利用及景观格局发生了较大的变化,对其进行土地利用及景观格局演变特征及驱动力探究具有重要意义,但目前相关研究还

较少。鉴于此,本研究以位于汾河流域中游的临汾市为对象,利用土地利用程度指数、土地利用动态度、土地转移矩阵、景观格局指数、主成分分析及多元线性回归分析方法,分析比较临汾市近30年的土地利用变化及景观格局演变特征,剖析其变化的驱动因素,以为汾河流域地区可持续发展以及生态环境保护提供参考。

1 研究区概况及方法

1.1 研究区概况

临汾市位于山西省西南部,地理坐标处于北纬 $35^{\circ}23' - 36^{\circ}57'$,东经 $110^{\circ}22' - 112^{\circ}34'$ (图1),地处半干旱、半湿润季风气候区,属于温带大陆性气候,四季分明,雨热同期,具有冬寒夏热的气温特点。临汾市土地类型多样,主要包括丘陵、盆地和山地3类地形单元,拥有肥沃耕地、大面积的宜林宜草区域以及丰富的后备土地资源。近年来,随着地区城镇化建设的加快,其景观格局产生了较大变化。

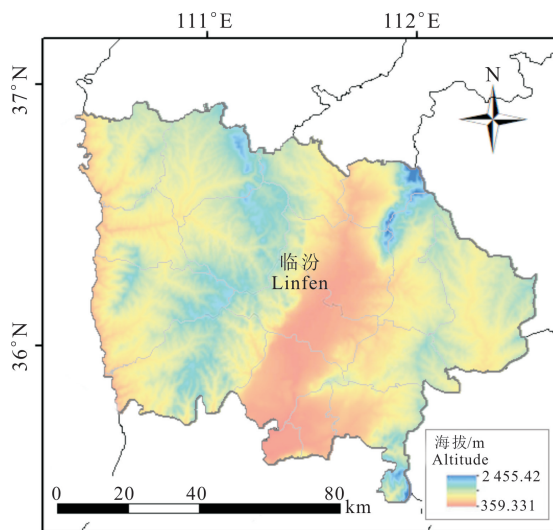


图1 研究区的地理位置

Fig. 1 Location of the study area

1.2 数据来源

本研究采用中国科学院资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn/>)提供的1990—2020年临汾市土地利用数据,其分辨率均为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,根据临汾市的土地利用实际情况,将该地区土地划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地6种类型。本研究中社会经济数据来源于《山西统计年鉴》(<http://tjj.shanxi.gov.cn/tjsj/tjnj/>)、《临汾统计年鉴》(<https://navi.cnki.net/knavi/yearbooks/YLFTJ/detail?uniplatform=NZKPT>)及临汾市国

民经济和社会发展统计公报(<http://tjj.linfen.gov.cn/index.html>)。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用类型面积变化指标的计算 采用土地利用程度指数、土地利用动态度和土地转移矩阵分析临汾市不同土地利用类型面积的变化。

(1)土地利用程度指数(L)。土地利用程度指数反映自然环境和人类活动等因素在各土地利用类型上发挥作用的综合效应^[18],其计算公式为:

$$L = 100 \times \sum_{m=1}^n A_m P_m / A. \quad (1)$$

式中: A_m 表示第 m 类土地类型的面积(hm^2); A 表示研究区总面积(hm^2); n 表示土地类型的数量; P_m 表示不同土地类型的利用程度参数,本研究参考胡和兵等^[19]的研究结果,分别将耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地的 P_m 值设置为0.545,0.114,0.215,0.120,0.936和0.063。 L 值越大,则表示土地利用越高效; L 值增加,则表示土地利用集约度有提高的趋势。

(2)土地利用动态度(K)。土地利用动态度定量描述区域某种土地类型一段时期内的数量变化情况,能反映区域土地利用类型的变化程度是否剧烈^[20],其计算公式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%. \quad (2)$$

式中: U_a 表示研究时段初期某一土地类型的面积(hm^2), U_b 表示研究末期某一土地类型的面积(hm^2), T 是研究末期减去研究初期的时间差值(a)。 K 值越大,则表示该土地类型的变化程度越大。

(3)土地转移矩阵。采用马尔可夫转移矩阵模型对临汾市各土地利用类型之间数量上的转化情况进行描述,其数学表达式^[21]如下所示:

$$\mathbf{M}_{ij} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1j} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ M_{i1} & M_{i2} & \cdots & M_{ij} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式中: i, j 均为土地利用类型; \mathbf{M}_{ij} 为土地利用类型 i 转化为土地利用类型 j 的转移概率, \mathbf{M}_{ij} 须同时满足2个条件: $0 \leq \mathbf{M}_{ij} \leq 1, \sum \mathbf{M}_{ij} = 1$ 。

1.3.2 景观格局动态变化指标的选择与计算 本研究采用景观格局指数分析临汾市土地利用景观格局动态变化。景观格局指数是建立景观结构与现象过程之间联系的定量化指标,反映了景观格局要素

构成以及空间配置的状况,被广泛应用于城乡建设发展过程中景观格局演变的研究^[22]。本研究在类型级别上选择最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块平均大小(AREA_MN)和斑块结合度(COHESION)4个指标^[23-24];在景观级别上选择斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、边缘面积分维指数(PAFRAC)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)6个指标^[25-26],采用 ArcGIS 10.6 和 Fragstats 4.2 软件计算以上景观格局指数。

1.3.3 土地利用变化驱动因素的分析 土地利用变化是在社会经济、产业结构和自然驱动力的共同驱动下对土地资源进行再分配的过程,它同时受社会经济、产业结构和自然因素的影响,其中社会经济因素包括了人口、经济增长、收入水平等方面,产业结构因素包括第一产业占比、第二产业占比、第三产业占比等,自然因素包括气候、水文等方面。本研究参考文献[3-5,7,13],选取人均 GDP(B_1 ,元)、第一产业 GDP 占比(B_2)、第二产业 GDP 占比(B_3)、第三产业 GDP 占比(B_4)、常住人口数(B_5 ,人)、城镇

化率(B_6)、居民可支配收入(B_7 ,元)、社会消费品零售总额(B_8 ,元)、年降水量(B_9 ,mm)、年平均气温(B_{10} , $^{\circ}\text{C}$)10个指标,采用主成分分析方法对临汾市土地利用变化驱动因素进行研究。具体方法为:用 SPSS 23.0 软件对临汾市近 30 年不同利用类型土地面积与影响土地面积变化的主要因子的标准化数值建立起原始数据矩阵,计算该矩阵的特征值、主成分的累积贡献率、特征向量(主成分得分系数)和主成分载荷矩阵,根据成分荷载矩阵系数对驱动力因素进行划分,进而得到影响土地利用面积变化的主要驱动因素^[27]。在主成分分析的基础上,本研究将不同土地利用类型面积设为因变量,将部分主成分得分系数作为自变量,采用线性回归方程拟合各驱动因素与土地利用类型面积变化的关系^[28]。

2 结果与分析

2.1 临汾市不同土地利用类型面积的变化

2.1.1 土地利用类型面积变化量 1990—2020 年临汾市土地利用现状分布见图 2,不同土地类型面积结构、利用程度指数及利用动态度见表 1 和表 2。

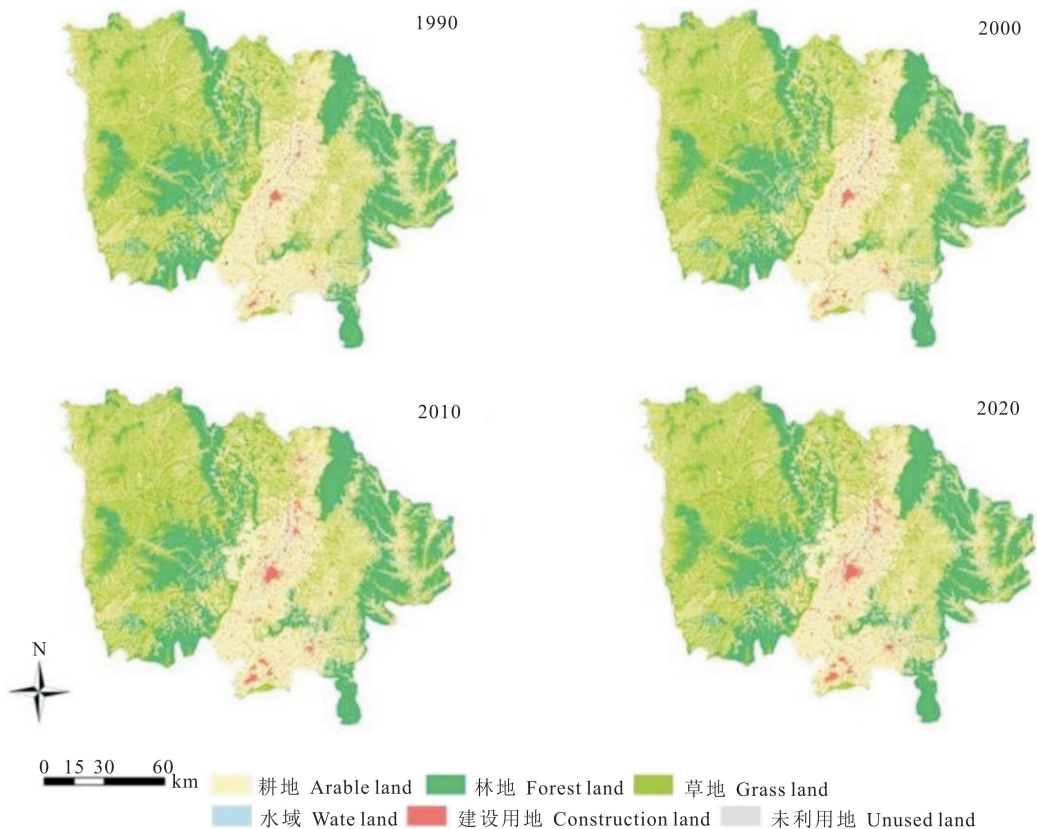


图 2 1990—2020 年临汾市土地利用现状

Fig. 2 Land use in Linfen City from 1990 to 2020

表 1 1990—2020 年临汾市不同土地类型利用结构及利用程度指数

Table 1 Utilization structure and utilization degree index of different land types in Linfen City from 1990 to 2020

土地类型 Land type	1990		2000		2010		2020	
	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	面积/hm ² Area	比例/% Ratio
耕地 Arable land	781 790.65	38.53	781 392.55	38.51	771 682.81	38.03	766 398.81	37.77
林地 Forest land	546 294.18	26.92	540 544.66	26.64	552 998.54	27.25	556 504.02	27.42
草地 Grass land	642 832.28	31.68	646 366.99	31.85	626 224.59	30.86	621 643.64	30.63
水域 Water land	11 688.54	0.57	11 956.16	0.59	12 477.02	0.62	12 512.33	0.62
建设用地 Construction land	46 346.01	2.28	48 550.17	2.39	65 825.28	3.24	72 146.18	3.56
未利用地 Unused land	316.10	0.02	457.23	0.02	59.49	0.00	62.76	0.00
土地利用程度指数 Index of land use degree	33.10		33.20		33.58		33.70	

表 2 1990—2020 年临汾市土地面积变化量及土地利用动态度

Table 2 Areas of land use change and land use dynamic change in Linfen City from 1990 to 2020

土地类型 Land type	1990—2000		2000—2010		2010—2020		1990—2020	
	土地面积 变化量/hm ² Area of land use change	土地利用 动态度/% Land use dynamic change	土地面积 变化量/hm ² Area of land use change	土地利用 动态度/% Land use dynamic change	土地面积 变化量/hm ² Area of land use change	土地利用 动态度/% Land use dynamic change	土地面积 变化量/hm ² Area of land use change	土地利用 动态度/% Land use dynamic change
耕地 Arable land	-398.10	0.00	-9 709.74	-0.12	-5 284.00	-0.07	-15 391.84	-0.07
林地 Forest land	-5 749.52	-0.11	12 453.88	0.23	3 505.48	0.06	10 209.84	0.06
草地 Grass land	3 534.71	0.06	-20 142.40	-0.31	-4 580.95	-0.07	-21 188.64	-0.11
水域 Water land	267.63	0.23	520.86	0.44	35.31	0.03	823.79	0.24
建设用地 Construction land	2 204.16	0.48	17 275.11	3.56	6 320.90	0.96	25 800.17	1.86
未利用地 Unused land	141.13	4.47	-397.74	-8.70	3.27	0.55	-253.34	-2.67

由图 2 及表 1~2 可知,临汾市的主要土地利用类型是耕地,广泛分布在临汾市整个区域内,1990—2020 年耕地面积占临汾市总面积的 37.77%~38.53%,随着时间的推进,耕地面积呈现逐渐降低的趋势,其中 2000—2010 年土地利用动态度绝对值最大,为 0.12%,耕地面积近 30 年共减少 15 391.84 hm²,占临汾市总面积的 0.76%;草地面积次之,除中部城区外,草地广泛分布在其他区域,占临汾市总面积的 30.63%~31.85%,随着时间的推进,草地面积呈先缓慢增加后快速减少的趋势,其中 2000—2010 年土地利用动态度绝对值最大,达到 0.31%,草地面积近 30 年间共减少 21 188.64 hm²,占临汾市总面积的 1.04%;林地分布不均匀,主要分布在东部和西部的部分山区,占临汾市总面积的 26.64%~27.42%,随着时间的推进,林地面积呈现先减少后增加的趋势,其中 2000—2010 年土地利用动态度绝对值最大,达到 0.23%,林地面积近 30 年间共增加 10 209.84 hm²,占临汾市总面积的

0.50%;水域以汾河及其支流为主,占临汾市总面积的 0.57%~0.62%,随着时间的推进呈现逐渐增长的趋势,可见水域面积占比较小且相对稳定;建设用地面积呈现逐渐增加的趋势,其中 2000—2010 年土地利用动态度绝对值最大,达到 3.56%,建设用地面积从 46 346.01 hm² 增加到 72 146.18 hm²,在各土地类型中其面积变化量最大;未利用地面积总体呈先增加再减少的趋势,由于未利用地面积基数较小,故其 1990—2020 年土地面积动态度绝对值相对于其他用地类型较大,为 2.67%。

由表 1~2 可知,1990,2000,2010 和 2020 年临汾市的土地利用程度指数分别为 33.10,33.20,33.58 和 33.70,表明土地利用程度及土地利用集约度呈现逐渐增长的趋势。1990—2020 年,临汾市不同土地利用类型面积发生了较大的变化,土地利用面积变化量绝对值由大到小依次为建设用地>草地>耕地>林地>水域>未利用地;土地利用动态度绝对值由大到小依次为未利用地>建设用地>水

域>草地>耕地>林地。

1990—2020 年临汾市土地利用变化转移矩阵见表

2.1.2 土地利用类型面积转移变化 土地利用转移矩阵

可以直观地分析各土地类型间的转换情况。

表 3 1990—2000 年临汾市土地利用变化转移矩阵

Table 3 Land use change transfer matrix in Linfen City from 1990 to 2000

hm²

年份 Year	土地类型 Land type	2000						共计 Total
		耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Water land	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	
1990	耕地 Arable land	778 280.93	181.04	273.92	851.31	2 078.61	124.83	781 790.64
	林地 Forest land	270.72	539 776.23	6 247.22	0.01	0.00	0.00	546 294.17
	草地 Grass land	2 419.75	441.00	639 845.84	0.04	125.65	0.00	642 832.27
	水域 Water land	421.04	146.38	0.01	11 104.81	0.00	16.29	11 688.54
	建设用地 Construction land	0.09	0.00	0.00	0.00	46 345.91	0.00	46 346.01
	未利用地 Unused land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	316.10	316.10
	共计 Total	781 392.54	540 544.65	646 366.98	11 956.16	48 550.17	457.23	2 029 267.73

由表 3 可知,1990—2000 年,临汾市土地总转出面积为 13 597.91 hm²,转出面积从高到低依次为林地>耕地>草地>水域>建设用地>未利用地,其中林地转出面积最大,主要转出土地类型为草地和耕地;耕地主要转出为建设用地和水域;草地主要转出为耕地和林地;水域主要转出为耕地和林地;建设用地的转出面积最少,全部转出为耕地;此期间未利用地无转出。

由表 4 可知,2000—2010 年土地总转出面积为 123 417.41 hm²,这一时期土地面积变化较为剧烈,转出面积从高到低依次为耕地>草地>建设用地>林地>水域>未利用地。其中耕地转出面积最大,为 56 146.07 hm²,主要转出为建设用地和草地;草地主要转出为耕地和林地;建设用地主要转出类型为耕地;林地主要转出为耕地和草地;水域和未利用地主要转出为耕地与建设用地。

表 4 2000—2010 年临汾市土地利用变化转移矩阵

Table 4 Land use change transfer matrix in Linfen City from 2000 to 2021

hm²

年份 Year	土地类型 Land type	2010						共计 Total
		耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Water land	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	
2000	耕地 Arable land	725 246.55	7 018.43	22 704.79	1 392.86	25 003.81	26.17	781 392.62
	林地 Forest land	3 441.42	534 376.86	2 354.47	76.17	285.18	10.63	540 544.74
	草地 Grass land	31 036.42	13 456.58	599 797.65	194.55	1 881.81	0.04	646 367.04
	水域 Water land	2 280.23	59.46	138.60	8 725.27	741.01	11.35	11 955.92
	建设用地 Construction land	10 543.83	46.81	170.41	80.00	37 700.87	8.27	48 550.18
	未利用地 Unused land	125.58	7.84	0.02	13.90	306.76	3.12	457.23
	共计 Total	772 674.03	554 965.98	625 165.94	10 482.76	65 919.44	59.58	2 029 267.73

由表 5 可知,2010—2020 年,临汾市土地利用面积变化较小,总转出面积为 10 509.32 hm²,转出面积从高到低依次为耕地>草地>建设用地>林地>水域>未利用地。其中耕地总转出面积最高,主要转出为建设用地;草地主要转变为林地和建设用地;建设用地主要转出为耕地;林地主要转出为建设用地和耕地;水域主要转出为建设用地和草地;此

期间未利用地无转出。

经计算可知,1990—2020 年,土地总转出/转入面积为 147 524.64 hm²,占临汾市总面积的 7.27%。转出面积由大到小依次为耕地>草地>林地>建设用地>水域>未利用地,其中耕地的转出面积最大,为 65 252.58 hm²,耕地主要转出为建设用地和草地,占比分别为 49.97%和 35.22%;草地

转出面积为 54 168.37 hm²,主要转出为耕地与林地,占比分别为 61.98%和 32.25%;林地转出面积为 12 776.81 hm²,主要转变为草地与耕地,占比分别为 67.52%和 29.30%;建设用地总转出面积为 11 033.86 hm²,主要转出为耕地,占比 97.03%;水域和未利用土地转出面积分别为 3 838.91 和 454.11 hm²。

经计算可知,1990—2020年,土地总转入面积排名由大到小依次为耕地>建设用地>草地>林地>水域>未利用地,其中耕地的转入面积为 50 851.89 hm²,主要由草地和建设用地转入,占比

分别为 66.03%和 21.05%;建设用地的转入面积为 36 928.20 hm²,主要由耕地和草地转入,占比分别为 88.30%和 7.93%;草地的转入面积为 31 921.03 hm²,主要由耕地和林地转入,占比分别为 71.99%和 27.03%;林地的转入面积为 24 953.99 hm²,主要由草地与耕地转入,占比分别为 70.00%和 28.96%;水域的转入面积为 2 668.66 hm²,主要由耕地与草地转入,占比分别为 85.73%和 7.29%;未利用地总转入面积为 200.86 hm²,主要由耕地和水域转入,占比分别为 75.18%和 13.76%。

表 5 2010—2020年临汾市土地利用变化转移矩阵

Table 5 Land use change transfer matrix in Linfen City from 2010 to 2020

hm²

年份 Year	土地类型 Land type	2020						
		耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Water land	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	共计 Total
2010	耕地 Arable land	767 068.95	27.29	0.16	43.66	5 533.91	0.00	772 673.97
	林地 Forest land	13.04	554 919.92	0.02	0.00	32.91	0.00	554 965.89
	草地 Grass land	119.19	3 574.42	620 546.54	0.00	922.42	3.27	625 165.83
	水域 Water land	19.90	17.81	24.52	10 395.12	25.68	0.00	10 483.03
	建设用地 Construction land	162.62	0.00	6.00	16.11	65 734.70	0.00	65 919.43
	未利用地 Unused land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.58	59.58
	共计 Total	767 383.70	558 539.44	620 577.24	10 454.89	72 249.62	62.85	2 029 267.73

2.2 临汾市不同土地利用类型景观格局的动态变化

基于 1990—2020年临汾市土地利用数据,利用 ArcGIS 10.6 和 Fragstats 4.2 软件分别计算类型级别和景观级别上选择的指标,对得到的景观指数进行分析,得出景观格局动态变化的特征。

2.2.1 类型级别指数变化 本研究在景观类型级别上选取的有最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块平均大小(AREA_MN)和斑块结合度(COHESION)共 4 项指标^[23-24]。其中 LPI 能确定区域优势景观类型或者反映人类活动的频率和强度;LSI 可以反映斑块的形状复杂状况;AREA_MN 可表征景观破碎化程度,其值越大,破碎程度越小;COHESION 可衡量不同斑块类型的物理连通性和凝聚程度。

由表 6 景观级别指数的平均值可以看出,从 1990—2020年,临汾市不同土地类型的 LPI 值由大到小依次为耕地>草地>林地>建设用地>水域>未利用地,可知耕地和草地为研究区优势度较高的两种土地类型;除建设用地外,其他土地类型的 LPI 值变化幅度较小。LSI 值由大到小依次为耕地>草地>林地>建设用地>水域>未利用地,其中耕地

与草地的 LSI 值均较高,相对其他土地类型形状较不规则;整体而言各土地类型的 LSI 值变化幅度较小。AREA_MN 值由大到小排名依次为林地>草地>耕地>建设用地>水域>未利用地,表明林地、草地和耕地的破碎化程度低;建设用地和未利用地的 AREA_MN 值变化幅度较大,而其他的土地利用类型的 AREA_MN 值变化较小。COHESION 值由大到小排名依次为草地>耕地>林地>建设用地>水域>未利用地,草地、耕地和林地的 COHESION 值在 97.11%~98.55%,表明草地、耕地和林地具有较好的物理连通性,大部分土地类型的 COHESION 值较为稳定,而建设用地的变化较大,1990—2020年由 42.71%增加至 59.46%。

2.2.2 景观级别指数变化 本研究景观级别指数选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、边缘面积分维指数(PAFRAC)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)^[25-26]。NP 反映景观的总体空间格局,并表征景观破碎程度,其值越大则景观破碎度越高;PD 显示景观的破碎化程度,其值越大则破碎度越高;PAFRAC 反映不同空间尺度在整体上形状的复杂性以及受人类活动干扰的强弱程度,其值越接近 2,斑块形状越复

杂,受人类活动干扰越大;CONTAG 描述景观不同组分的聚集程度,其值越大则连接性越强;SHDI 反映景观异质性,其值越大则表明斑块类型增加,土地

利用类型越丰富,破碎化程度越高,多样性越丰富,其值越接近于 1,则各斑块类型分布越均衡。

表 6 1990—2020 年临汾市不同土地利用类型的类型级别指数

Table 6 Rating index of land use types in Linfen City from 1990 to 2020

土地类型 Land type	年份 Year	最大斑块指数/% LPI	景观形状指数/hm ² LSI	斑块平均大小/hm ² AREA_MN	斑块结合度/% COHESION
耕地 Arable land	1990	23.83	54.67	834.24	98.36
	2000	23.72	54.82	833.17	98.36
	2010	24.57	53.52	825.22	98.48
	2020	24.38	53.77	806.89	98.49
	平均值 Average	24.13	54.20	824.88	98.42
林地 Forest land	1990	8.12	28.83	1 320.50	97.14
	2000	8.12	28.90	1 301.44	97.11
	2010	7.88	28.50	1 378.83	97.24
	2020	8.06	28.60	1 384.71	97.27
	平均值 Average	8.05	28.71	1 346.37	97.19
草地 Grass land	1990	18.51	54.63	945.23	98.52
	2000	18.78	54.41	960.24	98.55
	2010	19.04	51.83	878.93	98.55
	2020	18.85	51.85	866.52	98.53
	平均值 Average	18.80	53.18	912.73	98.54
水域 Water land	1990	0.05	13.29	82.43	41.72
	2000	0.08	13.16	85.63	47.90
	2010	0.04	13.65	84.68	39.06
	2020	0.04	13.68	84.99	39.11
	平均值 Average	0.05	13.45	84.43	41.95
建设用地 Construction land	1990	0.17	25.61	83.13	42.71
	2000	0.18	25.37	87.52	45.50
	2010	0.29	27.50	104.03	57.93
	2020	0.33	28.23	106.74	59.46
	平均值 Average	0.24	26.68	95.36	51.40
未利用地 Unused land	1990	0.01	1.60	140.75	48.38
	2000	0.01	2.34	105.56	39.55
	2010	0.00	1.00	45.83	0.00
	2020	0.00	1.00	45.83	0.00
	平均值 Average	0.01	1.49	84.49	21.98

1990—2020 年,临汾市土地利用景观级别指数的变化如图 3 所示。由图 3 可知,随着时间的推进, NP 值总体呈现逐渐增加的趋势,斑块数量由 2 806 个增长至 2 895 个,说明土地利用破碎化程度逐渐增高;PD 值变化幅度较小,总体稳定在 0.14 个/hm²,表明单位面积上的斑块数量较为稳定;PAFRAC 值总体稳定在 1.65~1.66,说明斑块形态受人为干扰程度较大;CONTAG 值总体减少,其值为 38.64%~40.06%,表明研究区景观聚集程度逐渐减小;SHDI 值呈增加的趋势,其值为 1.20~1.24,增长幅度较小,表明临汾市土地利用类型逐渐丰富;SHEI 数值逐渐增长,表明临汾市的各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布。

2.3 临汾市土地利用变化驱动因素分析

临汾市土地利用变化驱动因素研究结果见表

7。由表 7 可以看出,第 1~3 主成分的累积贡献率达到 92.22%,说明前 3 个主成分已经能充分代表原始驱动因素来反映研究区土地利用的具体情况。分析人均 GDP(B₁)、第一产业 GDP 占比(B₂)、第二产业 GDP 占比(B₃)、第三产业 GDP 占比(B₄)、常住人口(B₅)、城镇化率(B₆)、居民可支配收入(B₇)、社会消费品零售总额(B₈)、年降水量(B₉)、年平均气温(B₁₀)10 个驱动因素在前 3 个主成分上的载荷,结果表明,第 1 主成分中人均 GDP、城镇化率、居民可支配收入、社会消费品零售总额贡献较大,第 2 主成分中第二产业 GDP 占比和第三产业 GDP 占比贡献较大,第 3 主成分中年降水量贡献较大,由此可将研究区不同土地类型面积变化的主要驱动因素分为社会经济因素、产业结构因素和自然因素。

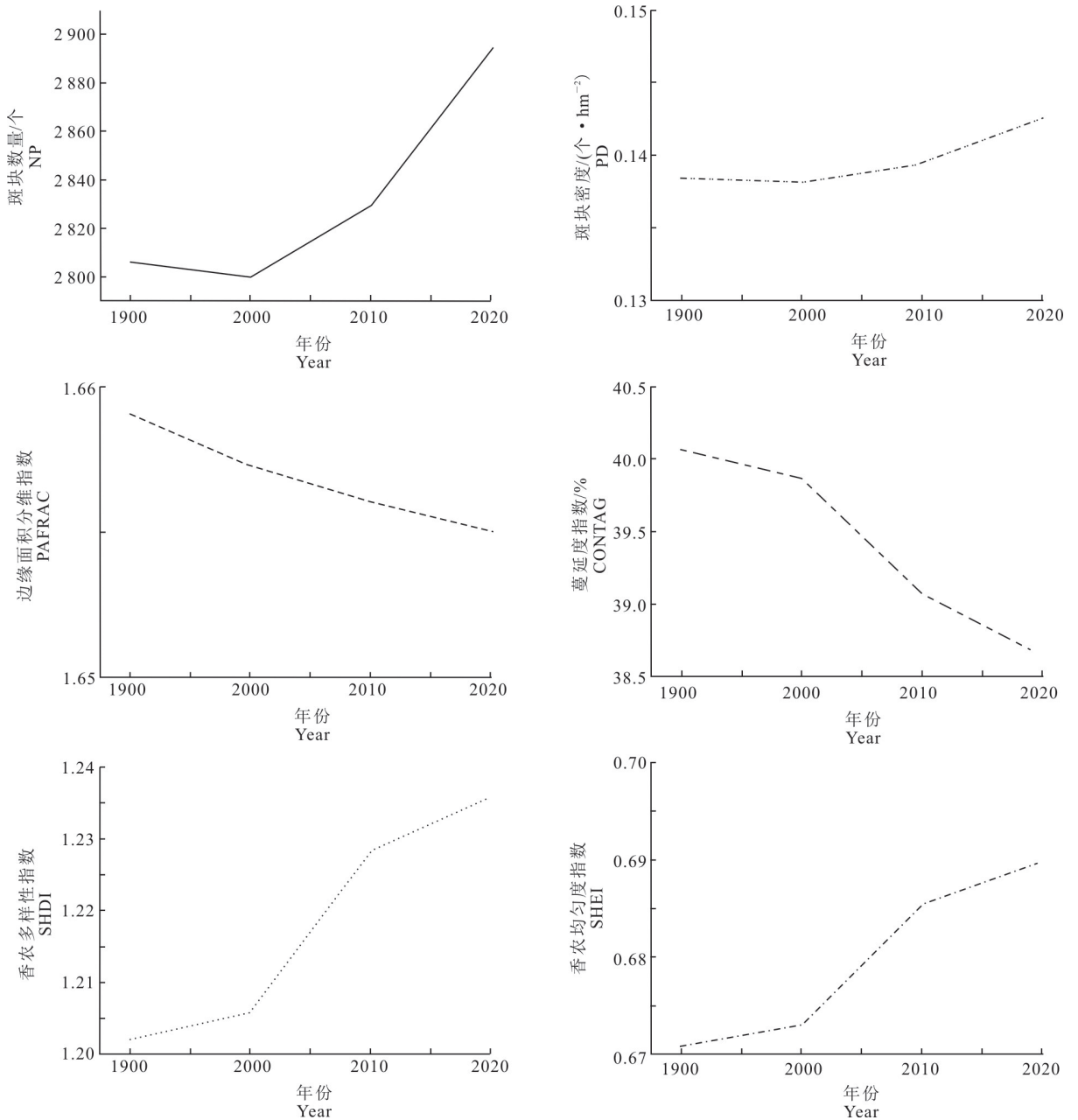


图 3 1990—2020 年临汾市土地利用景观级别指数的变化

Fig. 3 Change of landscape grade index of land use in Linfen City from 1990 to 2020

表 7 临汾市不同土地利用类型面积变化驱动因素的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of driving factors for area change of different land use types in Linfen City

项目 Project	第 1 主成分 The first principal component	第 2 主成分 The second principal component	第 3 主成分 The third principal component	第 4 主成分 The fourth principal component	第 5 主成分 The fifth principal component
B_1 载荷 B_1 factor loading	0.97	0.15	0.02	0.00	0.14
B_2 载荷 B_2 factor loading	-0.67	-0.40	0.17	0.12	0.04
B_3 载荷 B_3 factor loading	-0.42	0.89	-0.04	-0.02	0.12
B_4 载荷 B_4 factor loading	0.66	-0.69	0.01	-0.02	-0.30
B_5 载荷 B_5 factor loading	0.06	0.64	-0.18	0.45	-0.19
B_6 载荷 B_6 factor loading	0.98	0.06	-0.02	0.15	0.09
B_7 载荷 B_7 factor loading	0.98	-0.18	0.02	0.06	0.10

表 7(续) Table 7 (continued)

项目 Project	第 1 主成分 The first principal component	第 2 主成分 The second principal component	第 3 主成分 The third principal component	第 4 主成分 The fourth principal component	第 5 主成分 The fifth principal component
B_8 载荷 B_8 factor loading	0.98	-0.09	0.01	0.15	0.08
B_9 载荷 B_9 factor loading	0.25	0.45	0.86	-0.03	-0.07
B_{10} 载荷 B_{10} factor loading	-0.56	-0.58	0.18	0.46	0.10
特征值 Eigenvalues	5.71	2.69	0.83	0.48	0.20
贡献率/% Contribution	57.05	26.87	8.30	4.79	1.96
累积贡献率/% Cumulative contribution	57.05	83.92	92.22	97.01	98.97

注: B_1 . 人均 GDP; B_2 . 第一产业 GDP 占比; B_3 . 第二产业 GDP 占比; B_4 . 第三产业 GDP 占比; B_5 . 常住人口; B_6 . 城镇化率; B_7 . 居民可支配收入; B_8 . 社会消费品零售总额; B_9 . 年降水量; B_{10} . 年平均气温。

Note: B_1 . GDP per capita; B_2 . Proportion of GDP in primary industry; B_3 . Proportion of GDP in secondary industry; B_4 . Proportion of tertiary industry GDP; B_5 . Permanent population; B_6 . Urbanization rate; B_7 . Residential disposable income; B_8 . Total retail sales of social consumer goods; B_9 . Annual precipitation; B_{10} . Average annual temperature.

本研究以 1990—2020 年不同土地利用类型面积的函数关系; 同时选用 F 检验和拟合度检验确定分析结果的准确性, 结果见表 8。

表 8 临汾市不同土地利用类型面积回归方程的拟合结果

Table 8 Regression equations for different land use types in Linfen City

土地类型 Land type	回归方程 Regression equation	R^2	F 值 F value
耕地 Arable land	$Y = -0.41Z_1 - 0.07Z_2 + 0.05Z_3$	0.74	12.36
林地 Forest land	$Y = 553\ 230.39 + 1\ 690.94Z_1 + 568.52Z_2 - 28.79Z_3$	0.75	13.06
草地 Grass land	$Y = 626\ 318 - 3\ 203.06Z_1 - 1\ 160.64Z_2 + 357.44Z_3$	0.88	30.52
水域 Water land	$Y = 60\ 497.90 + 8\ 389.19Z_1 + 3\ 906.36Z_2 - 1\ 918.38Z_3$	0.34	1.01
建设用地 Construction land	$Y = 17\ 912.81 + 4\ 847.83Z_1 + 2\ 940.15Z_2 - 1\ 363.88Z_3$	0.93	53.39
未利用地 Unused Land	$Y = 109.85 - 43.79Z_1 - 25.97Z_2 + 8.74Z_3$	0.37	1.38

注: Y 为不同土地利用类型面积, Z_1 、 Z_2 、 Z_3 分别为第 1~3 主成分得分系数。

Note: Y is area of each land use type, and Z_1 , Z_2 and Z_3 are score coefficients of the first, second and third principal components, respectively.

由表 8 可知, 建设用地面积与第 1, 2, 3 主成分得分系数间的拟合度最佳 ($R^2 = 0.93$), 其次为草地、林地和耕地, 水域及未利用地利用类型面积与第 1, 2, 3 主成分得分系数拟合方程的拟合度较差。代表社会经济因素的第 1 主成分和代表产业结构因素的第 2 主成分与耕地、草地、未利用地面积呈负相关, 与其余 3 种类型土地面积呈正相关; 代表自然因素的第 3 主成分与耕地、草地和未利用地面积呈正相关, 与林地、水域及建设用地面积呈负相关。

3 结论

本研究基于 1990—2020 年临汾市的土地利用数据, 采用土地利用程度指数、土地利用动态度、土地转移矩阵、景观格局指数以及主成分分析和多元线性回归分析等方法, 对临汾市土地利用变化、景观格局变化及驱动因素进行了分析, 得到以下结论:

(1) 从土地利用结构来看, 研究区土地利用类型以耕地为主, 草地和林地次之; 从 1990—2020 年面

积变化量来看, 各土地利用类型面积的变化量绝对值由大到小依次为建设用地 > 草地 > 耕地 > 林地 > 水域 > 未利用地; 建设用地、林地及水域面积均逐渐增加, 其余的土地类型面积均逐渐减少; 土地利用变化以耕地转换为建设用地和草地以及草地转换为耕地和林地为主。

(2) 从景观格局动态变化来看, 在类型级别方面, 耕地和草地是临汾市优势度较高且形状较不规则的景观类型; 林地的破碎程度最低, 建设用地的破碎程度明显增加; 除未利用地外, 各景观类型均呈较好的物理连通性。在景观级别方面, 随着时间延长, 斑块数量逐渐增加, 斑块密度较为稳定, 斑块形态受人为干扰较大, 景观破碎化程度升高, 景观类型具有多样性的特征, 且各景观类型分布逐渐向着均匀化方向发展。

(3) 临汾市土地利用面积变化是社会经济发展、产业结构调整 and 自然条件等多种因素相互作用的结果, 其中建设用地、草地、林地和耕地受以上因素的

影响较明显。

[参考文献]

- [1] 陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等.中国景观生态学发展历程与未来研究重点[J].生态学报,2014,34(12):3129-3141.
Chen L D, Li X Z, Fu B J, et al. Development history and future research priorities of landscape ecology in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3129-3141.
- [2] 毛盛林,上官周平.近20年黄土高原土地利用/植被覆盖变化特征及其成因[J].水土保持研究,2022,29(5):213-219.
Mao S L, Shangguan Z P. Characteristics and causes of land use/vegetation coverage of the Loess Plateau in the past 20 years [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(5): 213-219.
- [3] 郝洁,刘翠善,王尧,等.基于高程的山南市土地利用变化时空格局及驱动力分析[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2022,43(4):91-97.
Hao J, Liu C S, Wang Y, et al. Analysis of spatial-temporal pattern and driving factors of land use change in Shannan City based on elevation [J]. *Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition)*, 2022, 43(4): 91-97.
- [4] 郭健斌,张英,张志伟,等.基于地理探测器的藏东南高山峡谷区土地利用变化及其驱动机制:以西藏林芝市为例[J].中国农业大学学报,2023,28(4):210-226.
Guo J B, Zhang Y, Zhang Z W, et al. Land use change and its driving mechanism in alpine canyon area of southeast Tibet based on geographic probe: a case study of Linzhi City, Tibet [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(4): 210-226.
- [5] 王朝阳,张军以,李海懿.多方法支持的重庆市土地利用格局时空演化及驱动力[J].水土保持通报,2023,43(1):104-116.
Wang Z Y, Zhang J Y, Li H Y. Spatio-temporal evolution and driving force analysis of land use patterns in Chongqing City supported by multiple methods [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(1): 104-116.
- [6] 黄钰清,李骁尧,于强,等.1995—2018年黄河流域土地利用变化及驱动力分析[J].西北林学院学报,2022,37(6):113-121.
Huang Y Q, Li X Y, Yu Q, et al. An analysis of land use change and driving forces in the Yellow River Basin from 1995 to 2018 [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, 37(6): 113-121.
- [7] 张云彬,王雲,陈静媛,等.土地利用转型影响下大别山区景观格局演变及驱动力研究:以安徽省六安市金寨县为例[J].华中农业大学学报,2022,41(3):56-68.
Zhang Y B, Wang Y, Chen J Y, et al. Evolution and driving forces of landscape pattern in Dabie Mountain Areas affected by land use transformation: a case study of Jinzhai County, Lu'an City, Anhui Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2022, 41(3): 56-68.
- [8] 刘卫林,何昊,朱圣男,等.1980—2015年江西省土地利用迁移变化分析及驱动机制研究[J].水土保持研究,2023,30(2):361-368.
Liu W L, He H, Zhu S N, et al. Spatial and temporal variability characteristics and driving mechanisms of land use in Jiangxi Province from 1980 to 2015 [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(2): 361-368.
- [9] 王志春,张治楠,辛岩,等.近35年来老哈河流域湿地关键区景观格局演变及其驱动力[J].干旱区资源与环境,2021,35(11):143-148.
Wang Z C, Zhang Z N, Xin Y, et al. Landscape pattern evolution of wetland critical areas in Laoha River Basin and driving forces in recent 35 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(11): 143-148.
- [10] 夏成琪,母语菲.盐城海岸带土地利用与景观空间格局动态变化分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(1):140-149.
Xia C Q, Wu Y F. Land use types and landscape dynamics and analysis in coastal zone of Yancheng [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Science)*, 2021, 41(1): 140-149.
- [11] 胡昕利,易扬,康宏樟,等.近25年长江中游地区土地利用时空变化格局与驱动因素[J].生态学报,2019,39(6):1877-1886.
Hu X L, Yi Y, Kang H Z, et al. Temporal and spatial variations of land use and the driving factors in the middle reaches of the Yangtze River in the past 25 years [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(6): 1877-1886.
- [12] 高宇婷,于洋,孙凌霄,等.塔里木盆地南缘绿洲土地覆盖变化及驱动力[J].干旱区研究,2021,38(4):1172-1183.
Gao Y T, Yu Y, Sun L X, et al. Land coverage change and driving forces of an oasis in the southern margin of Tarim Basin [J]. *Arid Zone Research*, 2021, 38(4): 1172-1183.
- [13] 崔秀萍,杨丰玮,韩新盛,等.呼包鄂榆城市群土地利用时空演变及驱动力研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2022,53(5):545-554.
Cui X P, Yang F W, Han X S, et al. Spatio-temporal evolution and driving force of land use in Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration [J]. *Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition)*, 2022, 53(5): 545-554.
- [14] 李承航,张文春,林楠,等.基于土地利用变化的沈阳市景观生态风险评价及驱动力分析[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2022,53(4):383-393.
Li C H, Zhang W C, Lin N, et al. Landscape ecological risk assessment and driving force analysis based on Shenyang land use changes [J]. *Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition)*, 2022, 53(4): 383-393.
- [15] 杨雅楠,郭建英,杨振奇,等.黄河宁蒙段河岸带土地利用变化及驱动力分析[J].人民黄河,2023,45(4):81-86,125.
Yang Y N, Guo J Y, Yang Z Q, et al. Analysis of land use changes and driving forces in the riparian zone of Ningxia-inner Mongolia section of the Yellow River [J]. *Yellow River*, 2023, 45(4): 81-86, 125.
- [16] 李青松,苏维词,吕思思.基于“源-汇”理念的黔中“两湖一库”地区土地利用变化及驱动力分析[J].中国岩溶,2022,41

- (6):928-939.
- Li Q S, Su W C, Lü S S. Analysis of land use changes and their driving force in 'Two Lakes and One Reservoir' area of central Guizhou Province based on the concepts of 'Source and Sink' [J]. *Carsologica Sinica*, 2022, 41(6):928-939.
- [17] 海凯, 王思远, 涂平, 等. "一带一路"沿线国家 1992 年—2015 年土地覆盖变化的时空格局及其驱动力分析 [J]. *遥感学报*, 2022, 26(6):1220-1235.
- Hai K, Wang S Y, Tu P, et al. Spatio-temporal patterns and driving forces of recent (1992—2015) land cover change in countries along the Belt and Road Initiative [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2022, 26(6):1220-1235.
- [18] 徐媛银, 郭冻, 薛达元, 等. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变 [J]. *生态学报*, 2019, 39(6):1969-1978.
- Xu N Y, Guo L, Xue D Y, et al. Land use structure and the dynamic evolution of ecosystem service value in Gannan Region, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(6):1969-1978.
- [19] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应 [J]. *生态学报*, 2013, 33(8):2565-2576.
- Hu H B, Liu H Y, Hao J F, et al. Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8):2565-2576.
- [20] Huang B Q, Huang J L, Pontius R G, et al. Comparison of intensity analysis and the land use dynamic degrees to measure land changes outside versus inside the coastal zone of Longhai, China [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 89:336-347.
- [21] 廖慧, 舒章康, 金君良, 等. 1980—2015 年黄河流域土地利用变化特征与驱动力 [J]. *南水北调与水利科技*, 2021, 19(1):129-139.
- Liao H, Shu Z K, Jin J L, et al. Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River Basin from 1980 to 2015 [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2021, 19(1):129-139.
- [22] 侯大伟, 刘艳, 孙华. 退耕还林背景下寒地山区土地生态安全格局动态变化 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(18):267-276.
- Hou D W, Liu Y, Sun H. Analysis on dynamic change of ecological security pattern of land in cold mountainous region under background of Grain for Green Project [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(18):267-276.
- [23] 杨苗, 龚家国, 赵勇, 等. 白洋淀区域景观格局动态变化及趋势分析 [J]. *生态学报*, 2020, 40(20):7165-7174.
- Yang M, Gong J G, Zhao Y, et al. Analysis of dynamic changes and trends in the landscape pattern of the Baiyangdian Region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(20):7165-7174.
- [24] 胡玉福, 邓良基, 张世熔, 等. 基于 RS 和 GIS 的西昌市土地利用及景观格局变化 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(10):322-327.
- Hu Y F, Deng L J, Zhang S R, et al. Changes of land use and landscape pattern in Xichang City based on RS and GIS [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(10):322-327.
- [25] 孙晨, 贡璐, 马勇刚, 等. 塔里木河上游典型绿洲土地利用时空格局分析 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(7):113-122.
- Sun C, Gong L, Ma Y G, et al. Temporal and spatial pattern analysis of land use in typical oasis in the upper reaches of the Tarim River [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2020, 48(7):113-122.
- [26] 康璇, 王雪梅. 基于景观格局的新疆渭干河-库车河三角洲绿洲的生态风险评价 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(8):139-146, 156.
- Kang X, Wang X M. Assessment of ecological risk of Weigan-Kuqa River Delta Oasis in Xinjiang based on landscape pattern [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2017, 45(8):139-146, 156.
- [27] 张文霖. 主成分分析在 SPSS 中的操作应用 [J]. *市场研究*, 2005(12):31-34.
- Zhang W L. Application of principal component analysis in SPSS [J]. *Marketing Research*, 2005(12):31-34.
- [28] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法 [J]. *生物学通报*, 2010, 45(2):4-6.
- Du J J, Chen Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression [J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(2):4-6.