DOI:10.19789/j.1004-9398.2023.03.008
文献引用:李天悦,李家存,王艳慧,等.近25年来汾河流域土地利用及景观格局变化研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(3):48-55. LI T Y, LI J C, WANG Y H, et al. Land use and landscape pattern change of Fenhe River Basin in recent 25 years[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition),2023,44(3):48-55.

近25年来汾河流域土地利用及景观格局变化研究*

李天悦，李家存**，王艳慧，黎思云，张田田

（首都师范大学资源环境与旅游学院，北京　100048；首都师范大学城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地，北京　100048；首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室，北京　100048）

摘要:汾河流域土地利用及景观格局变化对山西省的生态维护与经济发展发挥着重要的作用。本文从土地利用变化和景观格局变化2个角度,利用GIS技术和Fragstats软件计算汾河流域1995—2020年的6期景观格局指数,并获取25年间土地利用及景观格局变化模式。研究结果表明:(1)汾河流域的草地、耕地、未利用地以及水域的面积减少了,建设用地与林地的面积增加了;其中耕地、草地及建设用地的变化幅度较大,表现出自然景观向人文景观转变的特征。(2)研究区景观总体上呈破碎化倾向,景观形状趋于复杂,景观分布异质性减小。(3)建设用地和耕地的景观破碎度不断增加,景观形状日趋复杂;林地景观破碎度先增加,景观形状趋于复杂,而后则相反;草地的景观破碎度增加;水域和未利用地的景观破碎度减小,景观形状趋于简单;耕地的最大斑块指数大幅减小但始终保持在第一的位置,耕地作为汾河流域的基质景观优势地位显著下降。总之,自然环境的演变、城镇化进程的加快和退耕还林政策的实施,使得汾河流域的土地利用及景观格局发生了巨大的改变,政府及相关部门可通过增加耕地保护力度,加强城镇建设用地利用强度,构建流域防护林体系,采取节水政策及建立汾河流域生态环境监督与评价体系,推进汾河流域生态环境向好向善发展。

关键词:土地利用变化;景观格局变化;景观格局指数;汾河流域
中图分类号:P237;F301.2　　**文献标识码**:A

Land use and landscape pattern change of Fenhe River Basin in recent 25 years*

LI Tianyue，LI Jiacun**，WANG Yanhui，LI Siyun，ZHANG Tiantian

（College of Resource Environment and Tourism，Capital Normal University，Beijing　100048；Base of the State Key Laboratory of Urban Environmental Process and Digital Modeling，Capital Normal University，Beijing　100048；Beijing Key Laboratory of Resource Environment and Geographic Information System，Capital Normal University，Beijing　100048）

Abstract:The change of land use and landscape pattern in Fenhe River Basin plays an important role in

收稿日期:2022-04-21
* 国家自然科学基金项目(42171224,41771157)
** 通信作者:lijiacun@163.com

ecological maintenance and economic development of Shanxi Province. From the perspectives of land use change and landscape pattern change, this paper calculated the landscape pattern index of six periods from 1995 to 2020 in Fenhe River Basin using GIS technology and Fragstats software, and obtained the change pattern of land use and landscape pattern in 25 years. The results showed that, (1) the area of grassland, cultivated land, unused land and water decreased, and the area of construction land and forestland increased. The change range of cultivated land, grassland and construction land was larger, showing the characteristics of transformation from natural landscape to human landscape. (2) The landscape in the study area tended to be fragmented, the landscape shape tended to be complex, and the heterogeneity of landscape distribution decreased. (3) The landscape fragmentation degree of construction land and cultivated land increased, while the landscape shape became more and more complex. Woodland landscape fragmentation firstly increased and landscape shape tended to be complex, but then it was opposite. The landscape fragmentation degree of grassland increased. The landscape fragmentation degree of water area and unused land decreased and the landscape shape tended to be simple. The maximum patch index of cultivated land decreased significantly but remained in the first place, the dominant position of cultivated land as the matrix landscape of Fenhe River Basin decreased significantly. In conclusion, the evolution of natural environment, the acceleration of urbanization process and the implementation of the policy of returning farmland to forest have changed the land use and landscape pattern of Fenhe River Basin greatly, the government and relevant departments can improve the development of ecological environment in Fenhe River Basin by increasing the protection of cultivated land, strengthening the intensity of urban construction land use, constructing the shelterbelt system, adopting water-saving policies and establishing the supervision and evaluation system of ecological environment in Fenhe River Basin.

Keywords: land use change; landscape pattern change; landscape pattern index; Fenhe River Basin

CLC: P237; F301.2 **DC**: A

0 引 言

土地利用变化是全球可持续发展研究中的重要内容,其研究备受国内外学者的关注[1]。近年来,随着景观生态学理论和方法在土地利用研究中的渗入,景观生态学与土地利用的综合研究得到了发展,呈现出广阔的发展趋势,并且由于在空间格局变化分析上景观生态学理论与方法具有独特的优势,其已逐渐成为进行土地利用变化分析的重要方法[2-3]。景观生态学研究大小和形态不同景观要素的空间陈列及组合特征,即景观格局[4]。土地利用类型的景观格局特征及变化研究在景观生态环境的评估和治理方面具有重要的指导意义。景观格局的研究最初是通过定性分析来进行的,到目前已基本发展为基于景观格局指数的定量分析法[5]。在景观空间布局变化研究中景观格局指数分析发挥着重要作用,通过利用景观格局指数来进行定量化研究,可以直观地分析出景观格局变化,进而获取区域的生态环境状况[6]。国内外许多学者对不同地区的土地利用变化及景观格局变化进行研究。如:石玉胜等[7]基于遥感和GIS技术对天津市蓟县土地利用及景观格局变化的空间分异特征进行了研究;佟光臣等[8]利用景观格局指数分析了南京市的景观格局的时空变化状况及其驱动因素;郭娜等[9]利用遥感数据对攀枝花市米易县土地利用与景观格局的动态变化进行了分析;Sarkar[10]利用遥感数据评估和解释了Raniganj煤田地区露天煤矿导致的土地利用及景观格局变化模式。土地利用及景观格局变化研究已广泛应用于国内外大小流域、湖泊湿地、山地森林和城市乡村等领域,其研究结果主要应用于生态环境演化、土地利用变化和城市空间形态演变等方面,并在各区域土地资源监测及可持续发展、生态环境保护和城市规划发展中发挥了重要的作用[11-14]。

汾河作为山西省的母亲河,黄河第二大支流,地处黄土丘陵沟壑区[15],生态环境比较脆弱,且随

着城乡发展、矿产开采与树木砍伐等人为活动的进行,汾河流域土地利用类型的空间格局也不断发生变动。土地利用以及景观格局的变化分析有助于增强人们对生态变化的认识,促进生态环境的维护与经济社会的发展,但目前汾河流域该方面的研究还比较少,尚彦玲[16]对汾河流域上游关帝山林区的景观格局变化进行了研究;侯志华和马义娟[17]对汾河流域2000—2008年的地表景观演变进行了研究。本文以汾河流域为研究区域,以土地利用类型数据对汾河流域的土地利用及景观格局变化进行定量化分析,以期为汾河流域的相关研究及发展规划提供参考。

1　研究区与数据源

1.1　研究区概况

汾河流域横跨山西省中部和西南部,地理坐标为110°30'~113°32'E,35°20'~39°00'N。汾河自北向南汇入黄河(图1),全长约716 km,流域覆盖面积约3.9万km²,约占山西省总面积的25.5%,水资源总量为33.6亿m³,约占山西省水资源总量的27.2%。汾河流域人口约1 500万人,占全省总人口的42.9%,地区生产总值7 820亿元,约占山西省全省总产值的44.6%。汾河流域位于大陆性半干旱季风气候区,由于受海洋水汽团和大陆气团的影响,汾河流域全年四季分明,年平均气温6~13°C。汾河流域地表径流的主要来源是降水,年降水量为400~700 mm,6—9月的降水量超过全年降水量的70.0%。

1.2　数据源与数据预处理

本研究的数据为在中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn/)下载的1995、2000、2005、2010、2015和2020年的6期山西省土地利用数据,山西省30 m分辨率数字高程模型(digital elevation model,DEM)和河流水系数据。

数据预处理包括汾河流域范围提取、土地利用类型数据的裁剪和重分类。在ArcMap中导入山西省DEM并设置投影坐标系为CGCS2000 GK CM 111E,利用Spatial Analyst Tools中的水文分析工具提取汾河流域范围;然后利用汾河流域范围对6期山西省土地利用数据进行裁剪;最后对裁剪后的土地利用数据进行重分类。

1.3　景观类型的划分

原始数据参照中国科学院土地利用遥感监测分类系统进行分类,山西省土地利用数据共分为25个二级类,本文参照原始数据的分类系统,综合考虑汾河流域内土地利用类型的特点,将研究区域内的25类土地利用类型整合为6个一级类,分别是耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地[18]。重分类后得到的汾河流域土地利用类型分布如图2所示。

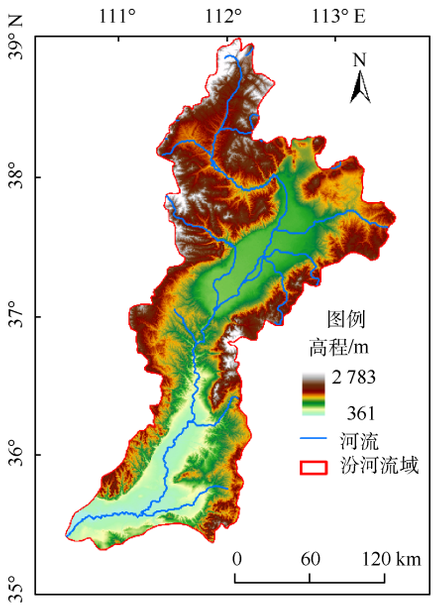


图1　汾河流域区位

2　研究方法

景观格局指数是反映景观要素空间布局与结构组成特征的定量指标,可以对景观格局信息进行高度反映[19]。景观格局指数共分为斑块水平指数、斑块类型水平指数和景观水平指数3个层次[20]。

参考以往研究,本文选取斑块数量、平均斑块面积、景观形状指数和最大斑块指数来分析斑块类型水平上的景观格局变化;选取斑块数量、平均斑块面积、景观形状指数、最大斑块指数、蔓延度指数、香农均匀度指数以及香农多样性指数来分析景观水平上的景观格局变化[21-22],并用Fragstats4.2软件进行计算。

(1)斑块数量。反映景观被分割破碎的程度。斑块数量越多,景观越破碎。

(2)平均斑块面积(A_{MN})。反映景观斑块面积的大小,同时反映景观的破碎化程度,计算公式为

$$A_{MN}=\frac{\sum_{j=1}^{n}a_j}{10\,000n},\tag{1}$$

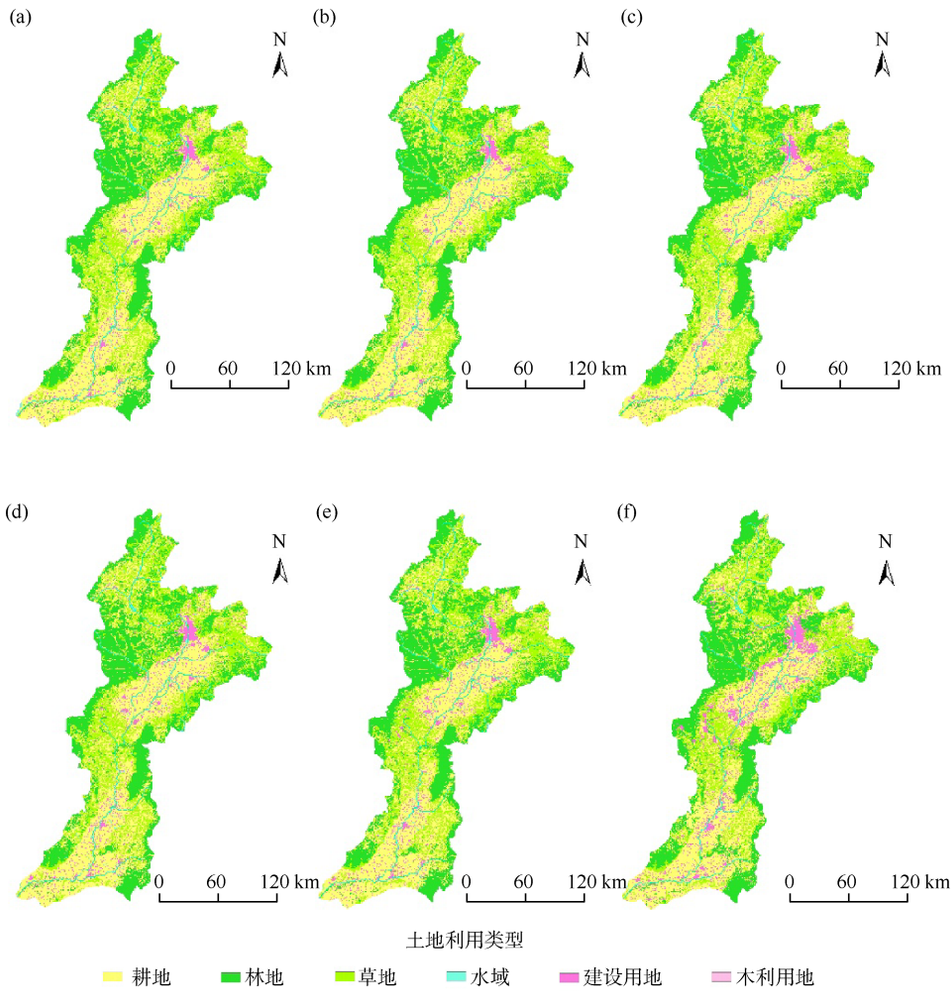


图2　1995—2020年汾河流域土地利用类型分布

(a)1995年;(b)2000年;(c)2005年;(d)2010年;(e)2015年;(f)2020年

式中:a_j为景观某类型景观中第j个斑块的面积;n为景观或某类型景观的斑块总数。A_{MN}值越小,景观越破碎。

(3)最大斑块指数(I_{LP})。该指数是测量景观优势度的一种简单方法,计算公式为

$$I_{LP}=\frac{a_{max}}{A}\times 100\%, \tag{2}$$

式中:a_{max}为景观某类型景观中最大斑块的面积;A为景观或某类型景观总面积。I_{LP}值越大,景观的优势地位越高。

(4)景观形状指数(I_{LS})反映了景观形状的复杂程度,计算公式为

$$I_{LS}=\frac{P}{4\sqrt{A}}, \tag{3}$$

式中:P为景观或某类型景观的边界总长度。I_{LS}值越大,景观的形状越复杂。

(5)蔓延度指数(I_{CONTAG})。该指数反映了景观中不同斑块类型的聚集程度或延伸趋势,表征了景观异质性,计算公式为

$$I_{CONTAG}=\left\{1+\left(\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\left(\frac{p_i\times g_{ik}}{\sum_{k=1}^{m}g_{ik}}\times\frac{\ln p_i\times g_{ik}}{\sum_{k=1}^{m}g_{ik}}\right)}{2\ln m}\right)\right\}\times 100\%, \tag{4}$$

式中:p_i为i类型景观所占面积的百分比;g_{ik}为i类型景观和k类型景观毗连斑块的数目;m为景观类型的数量。I_{CONTAG}值越小,景观分布的越均衡,景观异质性越小。

(6)香农多样性指数(I_{SHD})。该指数反映景观要素的多少及各类型要素所占比例的变动情况,表征景观异质性,计算公式为

$$I_{SHD}=-\sum_{i=1}^{m}\left(p_i\times\ln p_i\right), \tag{5}$$

I_{SHD}值越大,景观分布越均衡,景观异质性越小。

(7)香农均匀度指数(I_{SHE})。该指数反映各类型景观占总面积的比例,表征景观的异质性,计算公式为

$$I_{SHE}=\frac{-\sum_{i=1}^{m}(p_i\times \ln p_i)}{\ln m}, \tag{6}$$

I_{SHE}值越大,景观分布越均衡,景观异质性越小。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

1995—2020年汾河流域不同土地利用类型面积变化如表1所示。土地利用优势类型主要为耕地、林地和草地,耕地的面积约占40%,林地和草地的面积约占20%~30%,但随着时间的推移,耕地面积减少了8.30万hm^2,草地面积减少了7.18万hm^2,林地面积增加了1.19万hm^2,建设用地面积增加了15.15万hm^2,这说明耕地和草地的优势地位在大幅下降,林地的优势地位有略微的增加,而建设用地在景观中的地位得到了提升。近25年来汾河流域的建设用地面积呈持续增加趋势,耕地面积呈持续下降趋势,草地面积呈先缓慢增加后大幅减少的趋势,这表明汾河流域表现出自然景观向人文景观转变的特征,这与汾河流域城镇化进程逐步加快有关,耕地、草地和建设用地的面积均在2015—2020年的变化幅度最大,这与"十三五"时期经济快速发展阶段建设用地扩张速率加快有关;林地、水域和未利用地的变化幅度较小,基本保持相对稳定。

3.2 景观格局变化分析

3.2.1 景观水平景观格局变化分析

1995—2020年汾河流域景观水平景观格局指数见表2。此间汾河流域的景观格局整体上呈现出景观破碎化程度增大,景观形状日趋复杂,景观异质性减小的特征。

(1)景观破碎化程度增大。在1995—2020年,汾河流域整体景观的斑块数量呈逐渐增加的趋势,由1995年的3 105个增加到了2020年的3 269个,而平均斑块面积呈逐渐减小趋势,由1995年的1 268.5 hm^2减少到2020年的1 204.9 hm^2,这说明汾河流域的景观在外界环境的影响下分布趋于破碎,交错程度不断加深。

(2)景观形状日趋复杂。在1995—2020年,汾河流域整体景观的景观形状指数不断增大,由1995年的41.3增加到2020年的42.2,这说明汾河流域中各类型斑块的分布日趋分散,形状日趋不规则化和复杂化。

(3)景观异质性减小。在研究期间内最大斑块指数和蔓延度指数不断减小,香农多样性指数和香农均匀度指数均不断增加。最大斑块指数由1995年的28.1%减小到2020年的16.8%;蔓延度指数由1995年的37.6%减小到2020年的34.9%;香农多样性指数由1995年的1.24增加到2020年的1.30;香农均匀度指数由1995年的0.69增加到2020年的0.72。这说明汾河流域中的优势景观类型受到了削弱,各景观类型之间的比例差距在逐步减小,景观趋于多样性与均衡性,景观分布的异质性减小。

3.2.2 斑块类型水平景观格局变化分析

1995—2020年汾河流域斑块类型水平景观格局指数变化见图3,此间汾河流域的6种景观的格局发生了很大的变化。建设用地和耕地的景观破碎度不断增加,景观形状日趋复杂;林地在前期景观破碎度增加,景观形状趋于复杂,而在后期则相反;草地的景观破碎度增加;水域和未利用地的景观破碎度减小,景观形状趋于简单;其中耕地的最大斑块指数大幅减小但始终保持在第一的位置,耕地作为汾河流域的基质景观优势地位显著下降。

(1)耕地。1995—2020年,耕地的斑块数量呈增加的趋势,平均斑块面积呈持续减少的趋势,这说明耕地破碎化程度增加;耕地的最大斑块指数持续减小且在2015—2020年的减小幅度最大,耕地在景观中的优势地位显著下降;景观形状指数持续增

表1 1995—2020年汾河流域不同土地利用类型面积 单位:万hm^2

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1995	164.97	111.69	97.92	3.44	15.75	0.10
2000	164.90	110.83	98.72	3.24	16.08	0.10
2005	163.94	110.79	98.76	3.30	16.98	0.10
2010	163.02	110.78	98.81	3.32	17.85	0.09
2015	162.17	110.74	98.46	3.32	19.09	0.09
2020	156.67	112.88	90.74	2.62	30.94	0.02

表2　1995—2020年汾河流域景观水平景观格局指数

年份	斑块数量/个	平均斑块面积/hm²	最大斑块指数/%	景观形状指数	蔓延度指数/%	香农多样性指数	香农均匀度指数
1995	3 105	1 268.5	28.1	41.3	37.6	1.24	0.69
2000	3 111	1 266.0	28.1	41.4	37.6	1.24	0.69
2005	3 135	1 256.4	27.9	41.6	37.2	1.25	0.70
2010	3 138	1 255.2	27.7	41.7	37.0	1.25	0.70
2015	3 189	1 235.1	27.6	42.0	36.6	1.26	0.70
2020	3 269	1 204.9	16.8	42.2	34.9	1.30	0.72

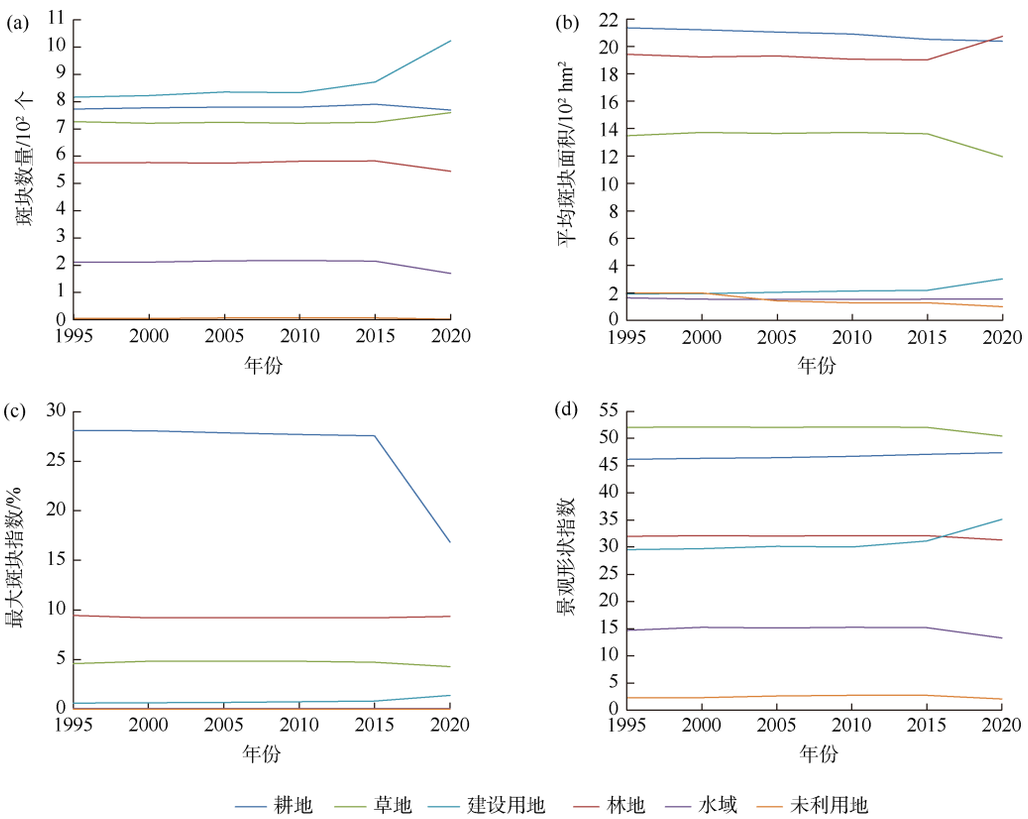


图3　1995—2020年汾河流域斑块类型水平景观格局指数变化
(a)斑块数量;(b)平均斑块面积;(c)最大斑块指数;(d)景观形状指数

加,耕地的斑块形状变得愈发复杂。近年来,随着汾河流域社会经济的快速发展,城镇化进程逐步加快,为了建造工厂,大量的耕地被破坏,加之“生态退耕”政策的实施,使得耕地优势地位下降,斑块被分割破碎,斑块形状日趋复杂。

(2)林地。1995—2015年,林地的平均斑块面积持续减小,斑块数量持续增加,景观形状指数波动变化,但总体上由1995年的32.0增加到2015年的32.1,此期间由于人们大量的开垦砍伐树木,大面积的林地被分割成较小的斑块,林地的破碎化程度增加,景观形状趋于复杂;2015—2020年林地的斑块数量减少了,平均斑块面积增加了,景观形状指数减小了,林地的破碎化程度减小,这是2017年提出的《山西省汾河流域生态修复与保护条例》中造林绿化工程和封山育林政策的实施,使得许多面积较小的林地斑块连接成片,景观破碎度减小,景观形状趋于简单。

(3)水域。1995—2015年,水域的总面积、斑块数量和景观形状指数呈波动变化;2015—2020年,水域的总面积、斑块数量和景观形状指数大幅减小,总体上均呈减小趋势。近年来汾河流域气候呈暖干化趋势,气温上升,降水量减少,加之工农业大量用水使得部分水域干涸,这导致汾河流域水域面积减小,破碎化程度减小,景观形状趋于简单。

(4)草地。1995—2015年,草地的总面积呈增

加趋势、斑块数量和平均斑块面积呈波动变化;2015—2020年,草地的斑块数量大幅增加、总面积和平均斑块面积大幅减少,总体上总面积和平均斑块面积呈减少趋势,斑块数量呈增加趋势,草地的破碎化程度增加。退耕还林还草政策的实施使得草地的面积在前期有所增加,但在2015—2020年草地面积大幅减少,草地空间分布趋于破碎化,这可能是由草地开垦速率加快造成的。

(5)建设用地。1995—2020年,建设用地的斑块数量、平均斑块面积、最大斑块指数和景观形状指数均呈现出逐渐增加的趋势,说明随着汾河流域经济的快速发展与城镇化进程的逐步加快,人们占用大量其他类型的土地进行工厂建设和城镇扩张,从而导致建设用地的破碎化程度不断增加,优势地位不断提高,景观形状日趋复杂。

(6)未利用地。1995—2020年,未利用地的斑块数量和景观形状指数呈先增加后减少的趋势,总体上均减少了;平均斑块面积持续减少,未利用地的景观破碎度减小,景观形状趋于简单。随着经济的快速发展与城镇化进程的逐步推进,一些未利用地斑块逐渐被开发占用,因而导致未利用地破碎度的减小与形状的简单化。

4 结 论

汾河流域贯穿山西省南北,支流众多,流域覆盖范围广,在维护山西省的可持续发展方面发挥着重要作用。自然环境的演化、城镇化进程的加快、以及各种政策条例的实施,导致汾河流域的土地利用及景观格局发生了巨大的变化。

(1)在1995—2020年,汾河流域的草地、耕地、未利用地以及水域的面积减少,建设用地与林地的面积增加。其中耕地、草地及建设用地的面积变化较大,耕地面积减少了8.30万hm^2,草地面积减少了7.18万hm^2,建设用地面积增加了15.15万hm^2,这表明汾河流域表现出自然景观向人文景观转变的特征,这是城镇化进程逐步加快引起的。

(2)从景观的整体变化来看,汾河流域的景观呈破碎化倾向,景观形状日趋复杂,景观分布异质性减小。随着社会经济的快速发展与城镇化进程的逐步加快,大量其他类型土地被用来建设工厂及发展城市,从而使得景观的破碎化程度与复杂化程度加深,同时使得各景观类型之间占比差距减小,景观趋于均衡性,景观异质性减小。

(3)从各类型景观变化来看,在1995—2020年,建设用地和耕地的景观破碎度不断增加,景观形状日趋复杂;林地在前期景观破碎度增加,景观形状趋于复杂,而在后期景观破碎度减小,景观形状趋于简单;草地的景观破碎度增加;水域和未利用地的景观破碎度减小,景观形状趋于简单;其中耕地的最大斑块指数减小幅度最大,但始终保持在第一的位置,这说明耕地作为汾河流域的基质景观优势地位显著下降。随着社会经济的发展和城镇化进程的逐步推进,大量的耕地、草地和林地被用来进行城市建设及其他生产活动,这就导致了建设用地、耕地、草地和林地景观破碎度的增加与景观形状的复杂化;后期,林地的景观破碎度减小,景观形状趋于简单和规则化;水域和未利用地的破碎度与景观形状变化和景观的整体变化是相悖的,这是由于水域和未利用地面积占比较少,对景观的整体变化影响较小。

随着人类活动对汾河流域影响的不断加强,汾河流域土地利用及景观格局变化剧烈,耕地和林地的面积不断减少,景观分布趋于破碎化,景观形状趋于复杂。近年来,随着造林绿化工程、退耕还林政策和封山育林政策的实施,林地趋于连片分布并且面积有所增加。因此,政府及相关部门要继续给予汾河流域生态环境保护足够的重视,增加耕地保护力度严防乱占耕地,加强城镇建设用地利用强度,构建流域防护林体系,采取一系列节水政策,同时增加科研投入,建立汾河流域生态环境监督与评价体系,推进汾河流域生态环境向好向善发展。

参 考 文 献

[1] 王传辉,郭振亚,高超,等.基于遥感的巢湖流域景观格局变化研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(12):1586-1592.

[2] 谭洁,赵赛男,谭雪兰,等.1996—2016年洞庭湖区土地利用及景观格局演变特征[J].生态科学,2017,36(6):89-97.

[3] 白涛,王宏燕,王江丽.土地利用及景观格局变化研究[J].东北农业大学学报,2008,39(10):51-56.

[4] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶.关于景观格局演变研究的几个问题[J].地理科学,2003,23(3):264-270.

[5] 宫兆宁,张翼然,宫辉力,等.北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析[J].地理学报,2011,66(1):77-88.

[6] O'NEILL R V,RIITTERS K H,WICKHAM J D,et al.

Landscape pattern metrics and regional assessment[J]. Ecosystem Health,1999,5(4):225-233.
[7] 石玉胜,肖捷颖,沈彦俊,等.土地利用与景观格局变化的空间分异特征研究:以天津市蓟县地区为例[J].中国生态农业学报,2010,18(2):416-421.
[8] 佟光臣,林杰,陈杭,等.1986—2013年南京市土地利用/覆被景观格局时空变化及驱动力因素分析[J].水土保持研究,2017,24(2):240-245.
[9] 郭娜,彭培好,许辉熙.米易县土地利用景观格局动态变化分析[J].地理空间信息,2010,8(1):90-92.
[10] SARKAR A. Land use dynamics and landscape patterns assessment using geoinformatics techniques in Raniganj Coalfield, India[J]. Research Journal of Science and Technology,2019,11(1):27-31.
[11] 郝景莹.小兴安岭湿地景观格局动态变化模拟研究[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2019.
[12] 黄玲.乌鲁木齐县景观格局变化及其驱动力研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
[13] ABDOLALIZADEH Z, EBRAHIMI A, MOSTAFAZADEH R. Landscape pattern change in Marakan protected area, Iran[J]. Regional Environmental Change,2019,19(6):1683-1699.
[14] IKHUMHEN H O, LI T, MATOMELA N. Characterizing the intensity and dynamics change relationship between the land-use and landscape pattern in the Ordos Bojiang Basin[J]. Nature Environment and Pollution Technology,2020,19(2):493-510.
[15] 付扬军,师学义,和娟.汾河流域景观格局脆弱性时空分异特征[J].水土保持研究,2020,27(3):197-202.
[16] 尚彦玲.汾河流域关帝山区森林景观格局变化与分析[D].太原:太原理工大学,2010.
[17] 侯志华,马义娟.黄土高原汾河流域地表景观演变特征研究[J].水土保持研究,2013,20(2):92-97.
[18] 刘纪远.国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J].遥感学报,1997(3):225-230.
[19] 任嘉衍,刘慧敏,丁圣彦,等.伊河流域景观格局变化及其驱动机制[J].应用生态学报,2017,28(8):2611-2620.
[20] 陈颐,林毅伟,朱志鹏,等.基于RS和GIS的莆田市土地利用景观格局变化分析[J].西北林学院学报,2017,32(1):279-286.
[21] 范强,杜婷,杨俊,等.1982—2012年南四湖湿地景观格局演变分析[J].资源科学,2014,36(4):865-873.
[22] 杨利,谢炳庚,秦建新,等.三峡建坝前后洞庭湖区湿地景观格局变化[J].自然资源学报,2013,28(12):2068-2080.

(责任编辑:李拓宇)