

黄土丘陵沟壑区土地利用景观格局变化分析 ——以延河流域为例

花东文^{1,2}, 温仲明^{1,3}, 杨士梭³, 苗连朋⁴

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:为了给黄土丘陵沟壑区土地资源的合理利用和生态环境的改善提供依据,以延河流域为研究对象,应用 GIS 技术和景观格局指数分析方法,对研究区 1978—2010 年的土地利用景观结构特征、斑块特征和空间格局的变化规律进行了系统分析。结果表明:(1) 延河流域各景观类型的变化幅度表现为:耕地>林地>草地>建设用地>水域,研究区 1978—1990 年变化速率最快的景观类型是草地,1990—2000 年是林地,2000—2010 年是建设用地,由以耕地为主导的景观结构转变为林地—草地复合的景观结构;(2) 研究区破碎度较高的景观类型是耕地和草地,斑块形状也较复杂,主要是受地形地貌因素的影响。林地、建设用地和水域受人类活动的干扰强烈,斑块分布趋于集中化,破碎度较小,形状较为简单;(3) 32 年来,延河流域土地利用景观格局经历了“耕地主导—相对平衡—林草主导”的变化过程,向着集中化和简单化的方向发展,抗干扰能力降低,不利于景观的稳定性,但有利于生态环境的改善。

关键词:景观格局; 土地利用; 景观指数; 延河流域; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0086-06

Analysis on the Change of Land-Use Landscape Pattern of the Hill and Gully Region of the Loess Plateau —A Case Study of the Yanhe River Basin

HUA Dongwen^{1,2}, WEN Zhongming^{1,3}, YANG Shisuo³, MIAO Lianpeng⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

4. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to provide the basis for the rational utilization of land resources and the improvement of ecological environment of the hill and gully region of the Loess Plateau, Yanhe River Basin was investigated in this paper. Using GIS technology and landscape index analysis method, the dynamic change of land-use landscape structure characteristics, patch characteristics and spatial pattern of study area from 1978 to 2010 were systematically analyzed. Results showed that: (1) the change rate of landscape types of Yanhe River basin followed the sequence of cultivated land>forest land>grass land>construction land>water body. Grass land changed with the fastest rate from 1978 to 1990, and forest land changed with the fastest rate from 1990 to 2000, and construction land changed with the fastest rate from 2000 to 2010. The landscape structure dominated by cultivated land changed into the structure dominated by forest land and grass land; (2) affected by the topographical and geomorphic factor, the fragmentation of grass land and cultivated land was higher than other landscape types and their patch shapes were more complex. The patch distribution of forestland, construction land and water body tended to be concentrated and their patch shapes and fragmentation were relatively simple and low because of the heavy interference of human activities; (3) for the past 32 years, the land-use landscape pattern of Yanhe River basin had experienced a dynamic process, and it turned from the pattern dominated by cultivated land to the relative balance pattern and then to the pattern domina-

收稿日期:2014-11-10

修回日期:2014-11-24

资助项目:国家科技支撑计划子课题“黄河中游主要来沙区林草减沙作用分析”[2012BAB02B05-(3)];中国科学院重点部署项目子课题“不同区域典型支流水沙变化对退耕还林等坡面工程的响应”(KZZD-EW-04-03-03)

第一作者:花东文(1989—),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为 GIS 在水土保持中的应用。E-mail:huadongwen@126.com

通信作者:温仲明(1969—),男,陕西定边人,副研究员,博士,主要从事植被恢复生态重建研究。E-mail:zmwen@ms.iswc.ac.cn

ted by forestland and grass land. Landscape pattern developed towards the centralized and simplistic direction and their anti-interference ability became lower. It was harmful for the landscape stability, but was conducive to the improvement of ecological environment.

Keywords: landscape pattern; land use; landscape index; Yanhe River basin; hill and gully region of the Loess Plateau

景观格局是指在自然或人为因子作用下,一系列大小、形状各异、排列不同的景观镶嵌体在景观空间的排列。它既是景观异质性在空间上的具体表现,同时也包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[1]。土地利用作为自然界最普遍最重要的景观类型,任何形势下的土地利用方式的改变都必然导致景观格局的改变^[2],其中人类活动对景观演变的主导性最为明显,其变化过程就是自然景观向人文景观转变的过程。景观格局变化的定量分析是景观生态学研究领域中的一个热点问题,通过研究大小、属性和形状不一的斑块在空间上的分布规律,能够在无序的分布中发现潜在有意义的规律,对于揭示景观演替的机制与规律、探寻人类活动与生态环境演变间的关系具有重要意义^[3-7]。

脆弱的生态环境,加上强烈的人为活动干扰,使黄土高原丘陵沟壑区成为我国乃至世界上水土流失最为严重的地区之一,受到了各级政府的高度重视,并在20世纪90年代末开展了大规模的小流域综合治理和退耕还林(草)等工程,极大地改变了黄土高原地区的土地利用景观格局^[8]。而水土流失作为一种生态过程,与土地利用景观格局的变化密切相关^[9],因此,研究该区土地利用景观格局特征及其变化趋势有利于水土流失的控制和生态环境的改善。目前,关于黄土高原丘陵沟壑区土地利用变化过程的研究已经取得了不少成果,并在景观格局演变的量化研究方面取得了重要进展,这对本研究的开展具有一定的借鉴作用^[9-13],然而,基于流域尺度、长时间尺度的、全面的土地利用景观格局变化的研究尚不多见。而且,土地利用数据多为2000年以前,不足以显现1999年以来退耕还林(草)政策对土地利用景观格局的改变。延河流域作为黄土丘陵沟壑区严重水土流失区之一,自20世纪50年代末就开展了修建梯田、淤地坝和植树种草等水土保持治理措施,20世纪90年代末又实施了以退耕还林(草)为主导的大规模生态恢复工程,流域内土地利用景观格局和生态环境发生了巨大变化。因此,本文以黄土丘陵沟壑区具有典型代表性的延河流域为例,选取退耕还林(草)政策实施前后共4期影像数据,基于遥感和GIS技术,通过土地利用景观动态度和景观指数变化分析,揭示延河流域近32年来的土地利用景观

格局的变化特征,以期为黄土丘陵沟壑区土地资源的合理利用和生态环境的改善提供决策依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

延河位于陕北黄土高原中部,全长286.9 km,流域面积7 687 km²,地理位置为108°41′01″—110°27′48″E,36°27′00″—37°58′39″N。气候为大陆性半干旱季风气候,地跨暖温性森林、暖温性森林草原和暖温性典型草原3个地带,年平均降雨量约472 mm,主要集中在6—9月份,年平均气温8.8~10.2℃。土壤类型以黄土母质上发育的黄绵土为主,土壤质地均一,土质疏松,抗侵蚀能力差,大部分地区坡度在15°以上,土地利用以农业用地为主,约占流域面积的90%,水土流失严重,多年平均径流量为2.89亿m³,径流模数为36 425 m³/km²,输沙模数为7.8万t/(km²·a)。自20世纪70年代起,该流域就开展了水土保持治理工作,先后开展了经济林、人工林、果园、人工草地等建设,到20世纪90年代,随着退耕还林(草)等重大生态工程的实施,生态环境得到极大改善。截止2010年底流域总人口为950 750人,农业人口为579 091人,占总人口的61%。

1.2 数据来源及处理

本文所用数据来源于中国科学院计算机网络信息中心(国际科学数据服务平台)和中国科学院遥感所(对地观测数据共享平台),包括延河流域1978年(MSS)、1990年(TM)、2000年(TM)、2010年(TM)6—9月植物生长高峰期的4期Landsat系列遥感影像数据,以及延河流域1:50 000的DEM数据等。在ENVI软件平台下对4期遥感影像进行辐射定标、大气校正和几何校正、地理配准等预处理后,获得波段组合为4,3,2(RGB)假彩色合成图像,确立解译标志和解译的精度。根据实际情况和研究目的,采用监督分类方法,将延河流域土地利用景观类型分为5种,即耕地类型(梯田和坡耕地)、林地类型、草地类型、建设用地类型(居民地和交通用地)和水域类型(河流和水库),得到各个时期的土地利用景观类型图(附图1),同时结合2010年、2011年的两次野外采样调查数据对2010年的分类结果进行验证,准确率达92.17%,通过随机选取样本区,计算各时期分类混淆

矩和 Kappa 指数,经统计 Kappa 系数均在 80%以上,能够满足流域尺度景观格局分析的要求。

1.3 研究方法

1.3.1 景观类型动态度分析 土地利用类型动态度(K)是指研究区一定时间范围内某种土地利用类型数量的变化情况^[14],可以来计算各景观类型的相对变化速率,进而说明研究期间内各景观类型的变化(增加或减少)幅度或快慢,其公式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{1}$$

式中:K——研究时段内某类土地利用景观类型的年变化率;U_a,U_b——研究期初和研究期末某类土地利用景观类型的面积;T——研究时长。

1.3.2 景观指数分析 在 ArcGIS 10.0 系统软件支持下,应用 Conversion tools 模块将延河流域 1978 年、1990 年、2000 年和 2010 年 4 期土地利用景观类型矢量数据转换成栅格数据,然后采用 Fragstats 软件计算景观格局指数,在分析景观结构特征和斑块特征变化的基础上,分析景观格局的动态变化规律。Fragstats 是由美国俄勒冈州立大学森林科学系开发的一个景观指标计算软件^[15],有矢量版本和栅格版本两种版本,本文采用 Fragstats 3.4 栅格版本来进行数据处理。考虑到运算结果的精度和软件的运算能力,将栅格单元大小设定为 30 m×30 m。

景观格局指数是指能够高度浓缩景观格局信息的简单定量化指标,是对景观格局定量描述最常用的工具,合适的景观指数对景观格局分析的合理性十分重要^[15]。因为 Fragstats 软件可以计算 50 多种景观指标,且许多指标之间具有高度的相关性,本文在借鉴前

人的研究结果的基础上^[16-20],结合各指标生态学涵义和研究区特点,在景观类型级别(Class-level)上选取了斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、周长—面积分维数(PAFRAC)、形状指数(LSI)4 个景观指标;在景观级别(Landscape-level)上选用了斑块密度(PD)、斑块个数(NP)、平均斑块面积(AREA-MN)、聚集度指数(AI)、分离度指数(SPLIT)、蔓延度指数(CONTAG)、Shannon 多样性指数(SHDI)、Shannon 均匀度指数(SHEI)、景观优势度指数(LDI)9 个景观指标。

2 结果与分析

2.1 景观的结构特征变化分析

通过对比延河流域 4 期遥感影像解译的数据结果(表 1),可以看出,1978—2010 年耕地是变化幅度最大的景观类型,由 1978 年的 512 827.7 hm² 减少到 2010 年的 123 211.5 hm²,所占延河流域景观面积的比例减少了 50.766%,而林地和草地则分别增加了 31.769%,18.501%,建设用地和水域变化不大,但其中建设用地的面积增加了 3 倍,是增长速度最快的景观类型。从过程上看,各景观类型的面积变化呈现出 4 种不同发展趋势,即林地和建设用地面积持续增加,耕地面积持续减少,水域面积上下轻微波动,草地面积先增加后减少再增加。而且在不同阶段所表现出的变化速率也大不一样,如图 1 所示,1978—1990 年,草地的变化速率最大,年变化率为 6.47%;1990—2000 年,林地是变化速率最大的景观类型,年变化率为 4.08%;2000—2010 年,变化最快的景观类型是建设用地,年变化率达 19.66%。耕地在 3 个阶段均保持一个较高的减少速率,而水域的最大变化速率也只有一个 0.77%。

表 1 1978—2010 年延河流域不同景观类型的面积和所占比例变化

年份	统计类型	耕地	林地	草地	建设用地	水域
1978	面积/hm ²	512827.7	91889.8	148318.5	1682.2	12760.8
	比例/%	66.82	11.97	19.33	0.22	1.66
1990	面积/hm ²	340954.7	149483.6	263462.5	2016.4	11585.4
	比例/%	44.42	19.48	34.33	0.26	1.51
2000	面积/hm ²	290389.4	210524.1	253135.6	2423.2	11002.0
	比例/%	37.84	27.43	32.98	0.32	1.43
2010	面积/hm ²	123211.5	335711.8	290298.8	7186.9	11065.1
	比例/%	16.05	43.74	37.83	0.94	1.44
1978—1990	面积/hm ²	-171873	57593.8	115144	334.2	-1175.4
	比例/%	-22.396	7.504	15.002	0.044	-0.154
1990—2000	面积/hm ²	-50565.3	61040.5	-10326.9	406.8	-583.4
	比例/%	-6.587	4.08	-1.344	0.053	-0.075
2000—2010	面积/hm ²	-167177.9	125187.7	37163.2	4763.7	63.1
	比例/%	-21.783	16.311	4.843	0.647	0.007
1978—2010	面积/hm ²	-389616.2	243822	141980.3	5504.7	-1695.7
	比例/%	-50.766	31.769	18.501	0.717	-0.222

以上分析表明,在过去的 32 年间,由各景观类型组成的延河流域景观结构发生了巨大变化。究其原因

因为从 20 世纪 90 年代末开始,延河流域部分地区已经开展退耕还林(草)试点工作,到 2000 年已经取得

了初步成果,黄土高原水土保持世行贷款项目也于 1994 年 10 月正式启动,其他如天然林保护工程、三北防护林工程、德援造林项目等都取得了一定成效^[21],这些政策的实施使得大量耕地转变为林地和草地,耕地的优势地位逐渐丧失。同时,由于人口的增加、城市化水平的提高以及油田的开发,使得建设用地面积增加较快。

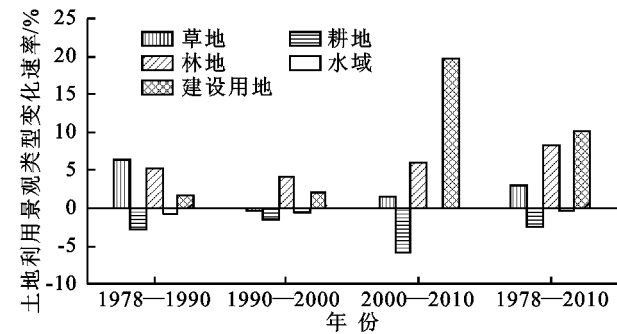


图 1 延河流域不同时段景观类型变化速率

2.2 景观的斑块特征变化分析

2.2.1 景观斑块的破碎化特征 从斑块数目和斑块密度来看(图 2A,2B),1990 年之前,耕地的斑块数目和斑块密度最高,分别达到 1 993 个和 0.055 个/km²,表明耕地是该时期最破碎的景观类型。1990 年之后,耕地的斑块数目和斑块密度锐减,草地的斑块数目和斑块密度呈现增长的趋势,并在 2000 年超过了耕地成为斑块数目最多的景观类型,体现了草地趋于破碎化的特点。同时,林地的斑块数目呈缓慢增加的趋势,而斑块密度在减小,说明林地大片增加,破碎化程度减弱。这是由于在实施退耕还林(草)工程后,之前

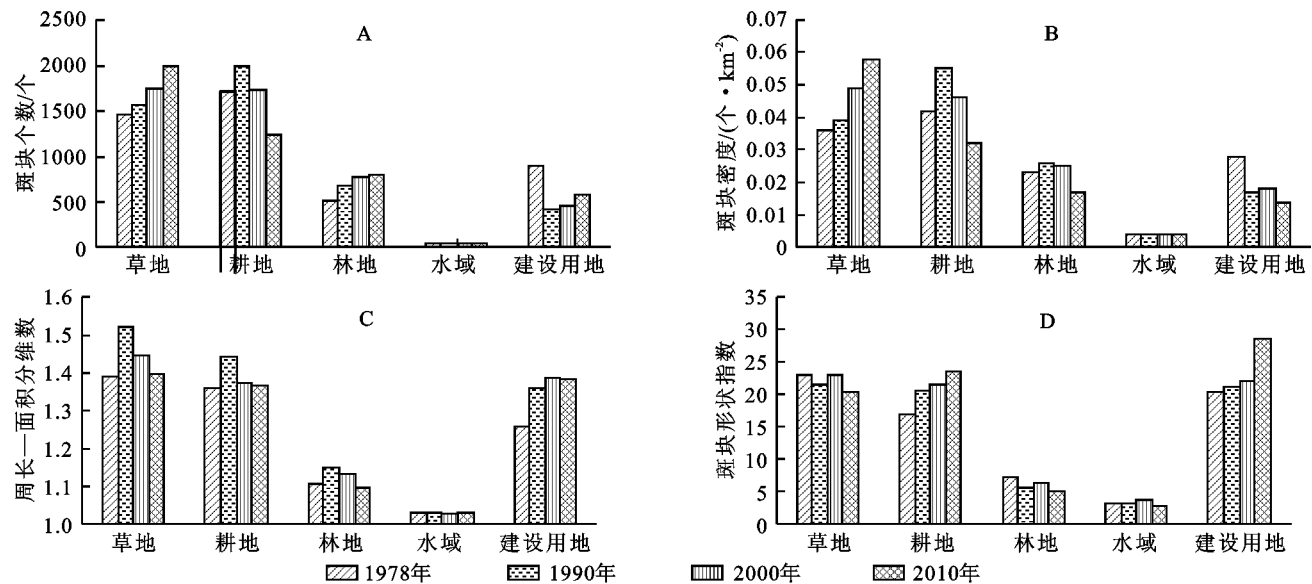


图 2 延河流域景观类型级别指数变化

2.3 景观空间格局动态分析

2.3.1 景观破碎化分析 景观破碎度指数是指 1 km² 内的斑块数量,描述景观被分割的破碎程度,是

较为破碎的耕地斑块大量撂荒后转变为草地斑块,干扰了其自然生长状态,导致草地空间分布不断分散和破碎化,而林地主要以大面积人工林的形式增加,使一些破碎的斑块连接在一起形成更大的斑块,导致破碎度降低。建设用地斑块数目和斑块密度表现出先大幅度减少后缓慢增加的特点,表明了建设用地趋于集中化的变化趋势,这也符合延河流域沿河两岸发展和居住的特点。水域的斑块数目和斑块密度在整个时段内变化不大。

2.2.2 景观斑块的形状特征 周长-面积分维数和形状指数可以描述景观中斑块形状的复杂和自我相似程度,其值越大,斑块形状越复杂,自我相似性越差,受人类活动干扰越弱。从图 2C,2D 可以看出,1978—2010 年,PAFRAC 和 LSI 较高的景观类型是草地和耕地,说明延河流域草地和耕地的斑块边界较复杂,受人类活动影响较小,这主要是由于延河流域的耕地多以坡耕地为主,其形状主要受地形、地貌因素的影响,同时,由表 1 可以看出,1990—2000 年存在开荒与退耕并存的现象,导致了草地斑块与耕地有着相似的形状特征。值得注意的是建设用地的 PAFRAC 和 LSI 在 32 年里增长了 0.055,8.002,其原因是人口增长导致居民点数量的增加以及采矿业发展所需的厂房数量增加,使得建设用地的形状变得更加多样化。林地和水域相对以上 3 种景观类型,它们的 PAFRAC 和 LSI 都较低,表明这两种景观要素的斑块形状较为简单和规则,这是因为人工造林和梯田、淤地坝的修建,使得这些景观类型受人类活动干扰程度较重,形状比较固定和单一,自我相似程度较高。

衡量景观异质性的一个重要指标^[22]。通过景观破碎化分析可以从一定角度反映出景观的稳定性和人类的干扰程度。从表 2 可以看出,1978—2010 年,延河流域

土地利用景观斑块数目和斑块密度呈先增加后减少的变化趋势,平均斑块面积呈先减少后增加的变化趋势。斑块总数从 1978 年的 4 631 个逐渐增加到 2000 年的 4 753 个又减少到 2010 年的 4 671 个;在 1978—2000 年斑块密度增加了 0.016 个/ km^2 ,平均斑块面积减小了 0.038 km^2 ;而在 2000—2010 年斑块密度又减少了 0.01 个/ km^2 ,平均斑块面积也增加了 0.033 km^2 。以上 3 个景观指数的变化规律表明,研究区景观破碎度在 1978—2000 年呈增加趋势,说明该时段内延河流域的经济发展和人口增加使得原来面积较大的土地利用

类型被改造成许多较小的斑块,尤其是在当地沿袭多年的以粮为主、广种薄收的传统耕作方式使得许多林地和草地被开垦为耕地,景观格局破碎化程度加剧,异质性增加,此外,道路和居民点的修建、水土保持工程措施的实施也会造成景观破碎度的增加;在 2000—2010 年,延河流域景观破碎度呈现减少的趋势,原因是在 20 世纪 90 年代末实施退耕还林(草)政策后,相对零散的耕地数量减少,大片的林地和草地数量增加,随着劳动力的向外输出和种植业、养殖业的发展,人类活动对延河流域土地利用景观的干扰程度降低。

表 2 1978—2010 年延河流域景观水平上的景观格局指数

年份	斑块数目/个	斑块密度/ (个· km^{-2})	平均斑块 面积/ km^2	聚集度 指数	分离度 指数	蔓延度 指数	多样性 指数	优势度 指数	均匀度 指数
1978	4631	0.599	1.658	77.892	23.307	45.195	1.182	1.639	0.610
1990	4719	0.611	1.631	70.217	25.564	40.748	1.339	1.202	0.832
2000	4753	0.615	1.620	73.655	24.822	42.442	1.170	1.267	0.789
2010	4671	0.605	1.653	76.835	24.058	43.081	1.128	1.427	0.701

2.3.2 景观多样性、优势度和均匀度分析 景观多样性指数是指景观要素或生态系统在结构、功能上随时间变化的多样性,反映景观类型的丰富度和复杂度^[23]。从表 2 可以看出,4 个时期的景观多样性指数先增加后减少,在 1990 年时,延河流域的香依多样性指数最大,表明 1990 年的土地利用景观丰富度和复杂度要高于其他 3 个时段,主要是由于该时期存在开荒与退耕并存的现象,不同景观要素之间转换较为频繁。景观优势度指数表示景观多样性对最大多样性的偏离程度,或描述景观由少数几个主要的景观类型控制的程度。其值越大,表明偏离程度越大,即某一种或少数景观类型占优势;其值为 0 时,表明景观完全均

质,即由一种景观类型组成^[23]。从图 3A 可以看出,在 1978—2010 年,优势度指数发生了明显的变化,表现为先减少后增加,而均匀度指数表现出与之完全相反的趋势。这主要是因为 1978 年耕地类型面积占景观类型总面积的 66.82%,是该时期的优势景观类型,优势度指数为 1.639,而在 1990 年以后耕地类型的优势地位逐渐被打破,对景观格局的控制作用在减弱,均匀度指数增加到 0.832,景观格局逐渐趋向均匀分布,这也导致景观稳定性下降,抗干扰能力降低,但在 90 年代末期延河流域实施退耕还林(草)政策后,草地和林地新的景观格局中逐渐占据优势,优势度指数又逐渐增大至 1.427。

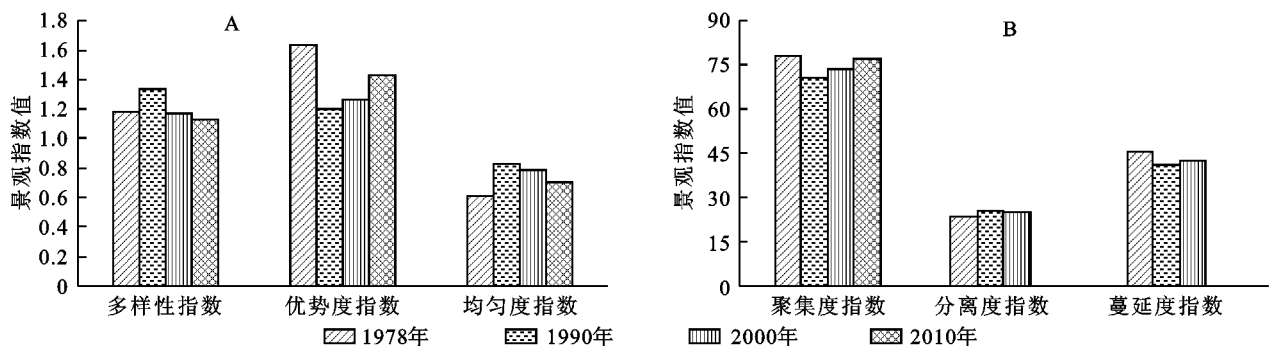


图 3 延河流域景观级别指数变化

2.3.3 景观聚散性分析 景观聚集度指数反映景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度以及景观组分的空间配置特征。如果一个景观由许多分散的小斑块组成,其聚集度的值则较小,若景观中以少数大斑块为主或同一类型斑块高度连接时,其聚集度的值则较大^[1]。

从图 3B 可知,聚集度指数先减少后增加,说明了景观的空间连接性先减弱后有所增强,先是趋向于

由许多不同类型的小斑块相互交错配置组成,而后趋向于相对较少的大斑块组成,斑块间的聚集程度先减弱后加强,这是由于在退耕还林(草)政策实施后,面积较小的耕地斑块转变为较大的林地斑块,草地的自然恢复也使得一些本身较小的斑块连接起来形成更大的斑块;同时,蔓延度指数先减小后增大,说明景观类型相对分散后又稍微相对集中,这主要体现在建设用地斑块上,与经济发展和现代化城镇建设密不可

分;分离度指数先增加后减少,说明景观类型在该区域的分布由分散到集中,由复杂到简单。

3 结论与讨论

(1) 在整个研究时段内,延河流域各景观类型的变化幅度表现为:耕地>林地>草地>建设用地>水域。在3个研究时段内,研究区变化速率最快的景观类型分别是草地、林地和建设用地,年变化率分别为6.47%,4.08%,19.66%。大量耕地转化为草地和林地使得过去以耕地为主导的景观结构转变为林地—草地复合的景观结构,土地利用向多元化和均衡化方向发展。

(2) 通过对景观类型斑块个数、斑块密度、周长—面积分维数和形状指数的分析,研究区破碎度较高的景观类型是耕地和草地,斑块形状也较复杂,主要是受地形地貌因素的影响。由于人类活动的强烈干扰,林地、建设用地和水域斑块分布趋于集中化,破碎度较小,形状较为简单。

(3) 经过多年的生态建设和流域综合治理,尤其是退耕还林(草)政策的实施,延河流域的景观本底发生了明显变化,某一景观要素对景观格局的控制作用减弱。32年间,研究区的破碎度先增强后减弱,多样性指数和均匀度指数先增加后减小,聚集度指数和蔓延度指数先减小后增大,说明研究区过去以耕地为主导要素的土地利用景观格局已不复存在,而以林地和草地为主导的新的土地利用景观格局正在形成,景观格局大致经历了“耕地主导—相对平衡—林草主导”的变化过程,向集中化和简单化的方向发展,抗干扰能力降低,不利于景观的稳定性,但有利于生态环境的改善。

退耕还林(草)政策在黄土丘陵区推行和实施,使得大面积的耕地转化为林地和草地,不仅改变了流域内的景观格局,而且改善了流域的生态环境。因此,在黄土丘陵沟壑区,应用景观格局定量分析方法,结合政策的引导,将人类活动对景观演变的影响导向正向的良性循环,是实现流域土地资源和生态环境可持续发展的可行之径。

参考文献:

- [1] 郭建国. 景观生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [2] 王波,唐志刚. 区域土地利用动态变化及人文驱动力初步研究:以无锡马山区为例[J]. 土壤,2001,33(2):86-91.
- [3] Zhou D, Gong H, Hu J, et al. Probe into the landscape pattern of freshwater wetland communities: A case study in the Honghe National Nature Reserve in Sanjiang Plain, China[J]. Journal of Natural Resources, 2007,22(1):86-96.
- [4] Aviron S, Burel F, Baudry J, et al. Carabid assemblages in agricultural landscapes: Impacts of habitat fea-

tures, landscape context at different spatial scales and farming intensity[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005,108(3):205-217.

- [5] Abdullah S A, Nakagoshi N. Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia[J]. Landscape and Urban Planning, 2006,77(3):263-275.
- [6] 邱扬,傅伯杰. 黄土丘陵小流域土壤物理性质的空间变异[J]. 地理学报,2002,57(5):587-594.
- [7] Schröder B, Seppelt R. Analysis of pattern-process interactions based on landscape models: Overview, general concepts, and methodological issues[J]. Ecological Modelling, 2006,199(4):505-516.
- [8] 王计平,陈利顶,汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述[J]. 地理科学进展,2010,29(5):535-542.
- [9] 傅伯杰,徐延达,吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法[J]. 地球科学进展,2010,25(7):673-681.
- [10] 郝仕龙,陈南洋,柯俊. 黄土丘陵小流域土地利用景观空间格局动态分析[J]. 农业工程学报,2005,21(6):50-53.
- [11] 徐中春,谢永生,王恒俊. 陕北黄土丘陵沟壑区土地利用景观格局动态变化特征分析[J]. 中国水土保持科学,2008,6(3):43-47.
- [12] 焦峰,温仲明,王飞,等. 黄土丘陵县域尺度整体景观格局分析[J]. 水土保持学报,2005,19(2):167-170.
- [13] 陈利顶,傅伯杰,王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究[J]. 地理科学,2001,21(1):46-51.
- [14] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报,2003,58(5):643-650.
- [15] 蒙吉军,吴秀芹,李正国. 河西走廊土地利用/覆盖变化的景观生态效应:以肃州绿洲为例[J]. 生态学报,2005,24(11):2535-2541.
- [16] 李鑫,丁建丽,王刚,等. 土库曼斯坦典型绿洲土地利用格局变化的地表热环境响应研究[J]. 水土保持研究,2013,20(4):199-202.
- [17] 张飞,丁建丽,王伯超,等. 干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征:以新疆精河县为例[J]. 生态学报,2009,29(3):1251-1263.
- [18] 郭丽英,王道龙,邱建军. 环渤海区域土地利用景观格局变化分析[J]. 资源科学,2009,31(12):2144-2149.
- [19] 温仲明,焦峰,张晓萍,等. 纸坊沟流域近60年来土地利用景观变化的环境效应[J]. 生态学报,2004,24(9):1903-1909.
- [20] 刘德林,李壁成. 黄土高原上黄小流域土地利用景观格局分析[J]. 测绘科学,2014,39(1):78-82.
- [21] 朱恒峰,赵文武,康慕谊,等. 延河流域土地利用格局时空变化与驱动因子分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(8):17-22.
- [22] 李哈滨,伍业刚,刘建国. 景观生态学的数量研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [23] 郑新奇,付梅臣. 景观格局空间分析技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2010.