

泾河流域分县景观格局特征及相关性

甄霖¹, 谢高地¹, 杨丽^{1,2}, 成升魁¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所资源科学研究中心, 北京, 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京, 100039)

摘要: 景观生态主要是研究生态系统的空间格局, 因而很有必要对空间格局进行数量化的分析, 在此基础上进行科学管理。应用斑块数、斑块面积、斑块密度、优势度、聚集度和分维数计算了泾河流域 31 个县景观格局的特征, 首次以景观特征值为基础, 将研究区域各县景观进行分类, 并对不同类型的景观特征及相关性进行分析。结果表明, 近年来流域破碎化程度有所增加, 各景观指数在研究区域之间变异很大。优势度和聚集度比较高的区域土地利用较单一, 常常是以农用地为主导如咸阳、泾阳和乾县, 或以农地和草地共同主导如环县。而优势度和聚集度较低的区域, 土地利用较多样化, 农地、林地和草地面积比例相近, 如泾源、平凉、陇县、宁县和旬邑, 这些县位于黄土丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区。高优势度、高聚集度和低分维数的区域为陕西省咸阳市, 为泾河流域冲积平原区, 土地利用以大面积的农用地为主导。景观指数的相关分析表明, 3 种主要的土地利用面积比例之间存在极显著负相关, 林地面积和优势度、聚集度有极显著负相关, 而草地面积和分维数存在极显著正相关, 分维数高的县位于泾河流域中游的黄土高原沟壑区, 分维数低的县位于下游河谷阶地和关中平原和黄土高原交界处。这种相关性表明了自然地貌及人类活动对景观的影响和干扰作用。

关键词: 景观指数; 泾河流域; 相关性

文章编号: 1000-0933(2005)12-3343-11 中图分类号: Q 149 文献标识码: A

Characters of landscape patterns and correlation in Jinghe watershed

ZHEN Lin¹, XIE Gao-Di¹, YANG Li^{1,2}, CHENG Sheng-Kui¹ (1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3343~ 3353

Abstract Landscape ecology describes spatial patterns of land uses and ecosystems. In order to manage landscapes sustainably, methods are needed to express spatial patterns in a suitable way. In the present paper six indices that describe spatial patterns are applied, namely patch number, patch area, patch density, dominance index, contagion index and the fractal dimension. These indices have been used for the analysis of the landscape patterns of all 31 counties located in the Jinghe watershed, Northwest China. Applying these indices, the different landscapes of the watershed have been classified into three types of spatial landscape patterns. The counties showed distinct variations in their indices. Agriculture, forest and grassland are the three dominant land use types in the watershed. High values of dominance and contagion indices were found in landscapes with relatively simple land use patterns, both for agricultural and grassland; these areas are mostly located in the lower reaches of the watershed, such as in Xianyang, Jingyang and Qianxian counties. Low values of dominance and contagion indices are typically associated with more diversified land use and with an almost equal share between agriculture, forest and grassland; These areas are mostly found in the loess uplands and in ravines, as well as on the loess plateau such as in Jingyuan, Pingliang, Longxian, Ningxian, and Xunyi counties. A combination of high dominance and contagion indices with a low fractal dimension was observed in Xianyang city, which is located in the relatively large plain loess scalariform areas in the lower reaches of the

基金项目: 国家 973 资助项目(2002CB111506); 国家自然科学基金资助项目(AEC44300)

收稿日期: 2005-01-29; 修订日期: 2005-09-10

作者简介: 甄霖(1964~), 女, 甘肃人, 博士, 主要从事生态社会学、区域与农村发展规划研究。E-mail: zhenl@igsnr.ac.cn, linlinzhen@yahoo.com

Foundation item: National 973 Program (No. 2002CB111506), National Natural Science Foundation of China (No. AEC44300)

Received date: 2005-01-29; Accepted date: 2005-09-10

Biography: ZHEN Lin, Ph. D., mainly engaged in socioecology, regional and rural development planning. E-mail: zhenl@igsnr.ac.cn, linlinzhen@yahoo.com

watershed. The significant positive correlation found between forestland area, dominance and contagion indices, and between grassland and fractal dimension indicate that forest and grassland are normally scattered in the watershed, signifying that the encroachment of agricultural land use into grassland leads to a high degree of fragmentation of land use. This clearly demonstrates the human manipulation of the landscape. The temporal changes of landscape indices observed in the watershed over the last decades have not been significant.

The paper concludes that continued research on developing and applying landscape indices are critical for large-scale environmental impact assessment and landscape management. In particular, correlations should be established between index values and the actual ecological processes occurring on the ground. Basic questions to be addressed in further research should be the depiction of changes of the indices over time and how well these changes correspond to the actual ecological changes taking place on the ground.

Key words: index; dominance; contagion; fractal dimension; Jinghe watershed

景观生态主要研究生态系统的空间格局, 景观格局与变化是人类与自然界长期相互作用的结果, 一切自然营力及人类活动都将引起景观格局的变化^[1]。目前, 人类面临的许多环境与发展问题都与景观变化有关, 这使得景观变化研究已经成为地理学、生态学和人文科学综合研究的重要领域^[1, 2]。在过去的几十年间, 对景观环境的研究和分析多集中在大的空间尺度, 自开始强调案例研究以来, 对人类活动影响下景观空间结构和格局的研究也成为景观生态学家关注的核心问题。因此, 景观研究者开始考察景观动态变化的性质和类型, 开发监测农村土地利用和景观变化的模型^[1]。对空间格局变化的研究则主要集中于格局的数量化和所包括的空间过程, 这就需要充分开发和应用一套景观指数^[2]来分析景观斑块的大小和形状, 各景观要素的空间布局以及景观变化的速度和方向^[3]。因而, 景观生态的研究主要集中于应用景观指数分析景观格局时空尺度上的变化及其驱动力。布仁仓等^[4]对黄河三角洲景观破碎化的分析, 吴波等^[5]对毛乌素沙地景观格局变化研究, 王根绪等^[6]在黄河源区对景观格局与生态功能的动态变化研究, 发现了人为干扰尤其是人口增加对景观类型及其分布格局产生了巨大的影响, 这主要反映在斑块多样性、破碎度、优势度、分维数和斑块密度的变化, 尤其是分维数的增加和优势度的下降, 是造成研究区景观破碎化的主要原因。赵成义等^[7]在新疆三工河流域研究表明, 人类活动影响强烈的景观要素, 其斑块多样性、破碎度、分离度和斑块密度等指数的值较高。张丽等^[8]利用景观空间格局指标分析了荒漠绿洲景观格局及其变化, 李华蕾等^[9]对干旱区典型农业绿洲的景观变化与原因分析, 毕晓雨等^[10]研究了泾河河岸带景观格局的梯度变化, 结果表明泾河自上游而下, 景观水平上的景观指数有 3 种不同的变化类型: 上升型、下降型和无明显趋势, 表现出斑块数量、丰富度、连接度的递增, 形状指数、分维数和斑块大小的递减; 李正国等^[11]发现草地和农地等与人为活动关系较为密切的景观类型是造成黄土高原景观破碎化的主要原因, 且高破碎化区域的土壤裸露值明显高于低破碎化区域。肖笃宁等^[12]观察到一些政策影响景观变化的负面例子, 如 20 世纪 50 年代末由于“大炼钢铁”的影响, 一些地区毁林现象十分严重; 1990 年代初我国一度兴起的“开发区热”到处圈地建开发区, 占用不少农田。因此, 景观格局的数量化对生态系统评估、监测起重要的作用。

尽管对景观结构和动态变化数量化的研究很多, 但多数研究局限于单一景观的变化或多景观在某个具体单元的特点^[13], 但研究仍然缺少对景观指数变化内在驱动机制的研究。为此, 首先应比较景观结构和格局在不同地理环境和社会经济条件下随时间的变化, 在此基础上对景观要素时空变化的行为做出一般性的判断, 这将对决策者和规划者制定景观发展规划和生物多样性保护规划提供重要的科学依据。本文目的是应用景观指数, 对泾河流域 31 个县 20 世纪 80 年代到 2000 年景观格局及变化进行时空分类分析, 并通过各指数间的相关性解释分析景观变化的内在驱动力。

1 研究方法

1.1 研究区概况

泾河为黄河十大水系之一, 是西北黄土高原地区的一条重要河流, 以洪水猛烈、输沙量大著称^[13, 14]。该流域位于东经 106°14' ~ 108°42', 北纬 34°46' ~ 37°19' 之间, 流域面积 45421 km²。其中水土流失面积 33220 km², 占流域面积的 73.2%。流域范围涉及陕甘宁 3 省(自治区) 31 个行政县。流域行政边界位于东经 105°49' ~ 108°58', 北纬 34°14' ~ 38°10' 之间, 总面积为 70039 km², 流域总面积占行政总面积的 65% (图 1)。截至 2002 年底, 流域总人口 620.38 万人, 农业人口 549.96 万人, 占总人口的 88.6%, 流域行政区内总人口 945.75 万人, 其中农业人口 787.30 万人, 占总人口的 83.25%, 人均 GDP 为 3929 元。

流域深处内陆, 受大陆季风影响, 降水量由南向北逐渐减少, 局地暴雨多, 年际变化大, 其气候特点是冬春干旱少雨, 夏秋多暴雨, 春秋有霜, 冬季降雪。北、中部属干旱区, 南部为半干旱及小部分偏湿润区。流域内水系较发达, 集水面积大于 1000 km² 的主要支流有 11 条(表 1); 大于 500 km² 的支流有 26 条, 长约 1~2 km 的冲刷沟溪十分发育, 达万条以上。流域内地形支离破碎, 植被较少, 为黄土高原严重水土流失区之一, 也是黄河泥沙的主要来源地, 人类驱动下的景观变化直接影响着该区水土流

失的形成和演变,同时对区域生态环境和全球变化产生深远影响^[15, 16]。

全流域涉及黄土丘陵沟壑区、黄土高原沟壑区、土石丘陵区、黄土丘陵林区和黄土阶地区等 5 个地貌类型。其中以黄土丘陵沟壑区所占面积最大,其次是黄土高原沟壑区,是流域两种主要的地貌类型。土地利用类型主要有农地(坡耕地、梯田耕地、坝地和水田)、果园、林地(灌木、天然林、乔木和经济林)、水域、荒地、未利用土地、交通用地和居民用地(图 2)。在 1986 年至 2000 年的十几年间,6 个一级地类的面积均发生了变化。面积净变化量以草地和耕地为最大;其次为林地和建设用地。其中草地、林地、水域和未利用土地的面积都有所减少,而耕地面积和城乡建设用地呈增加的趋势。主要农作物有冬小麦、玉米、洋芋、高粱、大豆、油料、药材等。另外,林果、蔬菜近年来发展也比较迅速,已成为农村经济的重要组成部分。

近年来,以流域行政县为基本单元的人类社会经济活动直接影响了泾河流域景观变化^[17],流域行政边界内的景观格局及其变化代表了整个流域景观格局的特征和变化。系统研究泾河流域景观格局特征及变化,对于了解我国西部地区特别是黄河上游的景观变化,促进生态环境的定向恢复具有重要价值。本文基于流域所涉及的 31 个行政县,对景观格局特征及相关性进行研究。

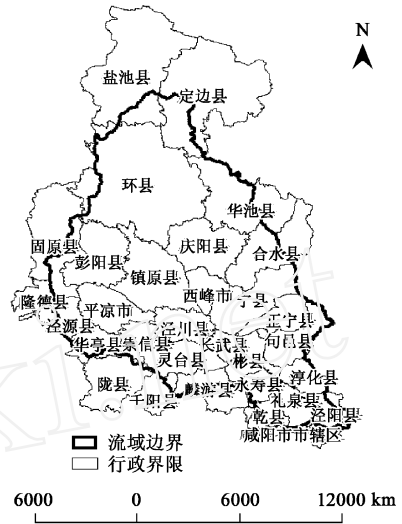


图 1 泾河流域边界

Fig 1 Boundary of the Jinghe watershed

表 1 泾河流域主要河流及其长度和面积^[13]

Table 1 Rivers and Lengths and Catchments' Areas in the Jinghe watershed^[13]

河名 Rivers	发源地 Place of Origin	河长(km) Length	集水面积(km ²) Catchments' area
沟河 Ruihe River	甘肃华亭县关山梁 Guanliang mountain, Huating county, Gansu	116.9	1671
洪河 Honghe River	宁夏彭阳县新荣乡 Xinrong township, Pengyang county, Ningxia	187.2	1336
蒲河 Puhe River	甘肃环县毛井乡 Maojing township, Huanxian county, Gansu	204	7478
茹河 Ruhe River	宁夏彭阳县大湾乡 Dawan township, Pengyang county, Ningxia	171.4	3375
马莲河 Malianhe River	陕西定边县高天池乡 Gaotianchi township, Dingbian county, Shaanxi	374.8	19086
山城川 Shancheng Chuan	宁夏盐池县牛头山 Niutoushan, Yanchi county, Ningxia	76.9	1943
东川 Dongchuan	陕西定边县白马崾崄乡 Maayaojian township, Dingbian county, Shaanxi	131.4	3065
固城川 Gucheng Chuan	甘肃合水县三里店乡 Sanliidian township, Heshui county, Gansu	103.6	2478
黑河 Heihe River	甘肃华亭县上关乡 Shangguan township, Huating county, Gansu	168.0	4255
达溪河 Daxihe River	陕西陇县李家河乡 Lijiahe township, Longxian county, Shaanxi	126.8	2537
三水河 Sanshuihe River	陕西旬邑县洪峙乡 Hongsi township, Xunyi county, Shaanxi	128.9	1321

1.2 数据来源及分析方法

本研究的空间数据基础来自中国资源与环境数据库,使用了 1986 年和 2000 年 2 个时期的 Landsat TM 数据。在土地利用/覆盖变化信息提取的过程中,参考了地形图和区域专题研究资料。

对上述两期 TM 遥感影像数据进行地理坐标配准,然后在经过了几何精度校正后的遥感影像上进行计算机屏幕人机交互判读(即人工解译)。土地利用分类采用中国科学院资源环境数据库中的全国 1:10 万土地利用分类系统共划分出 6 个一级类型(耕地、林地、草地、水域、城乡建设用地和未利用土地),21 个二级类型,5 个三级类型。以各个分县为单位存储数据,存储格式为 coverage,数据处理采用 Arcinfo 8.3 和 Arcview 3.2,用 Excel 软件对属性数据进行统计分析。分析所定义栅格为 30m × 30m,因此,多边形最小面积为 900 m²。计算了泾河流域 31 个县各景观类型的斑块密度指数,以期对该流域的景观破碎程度进行简单度量,同时计算了 4 个重要的景观指数,即:斑块密度、优势度、聚集度和分维数,一起对该流域景观的其它特征值进行度量。景观指数计算应用 FRAGSTATS 3.3 软件完成。

1.3 景观格局指数及生态学意义

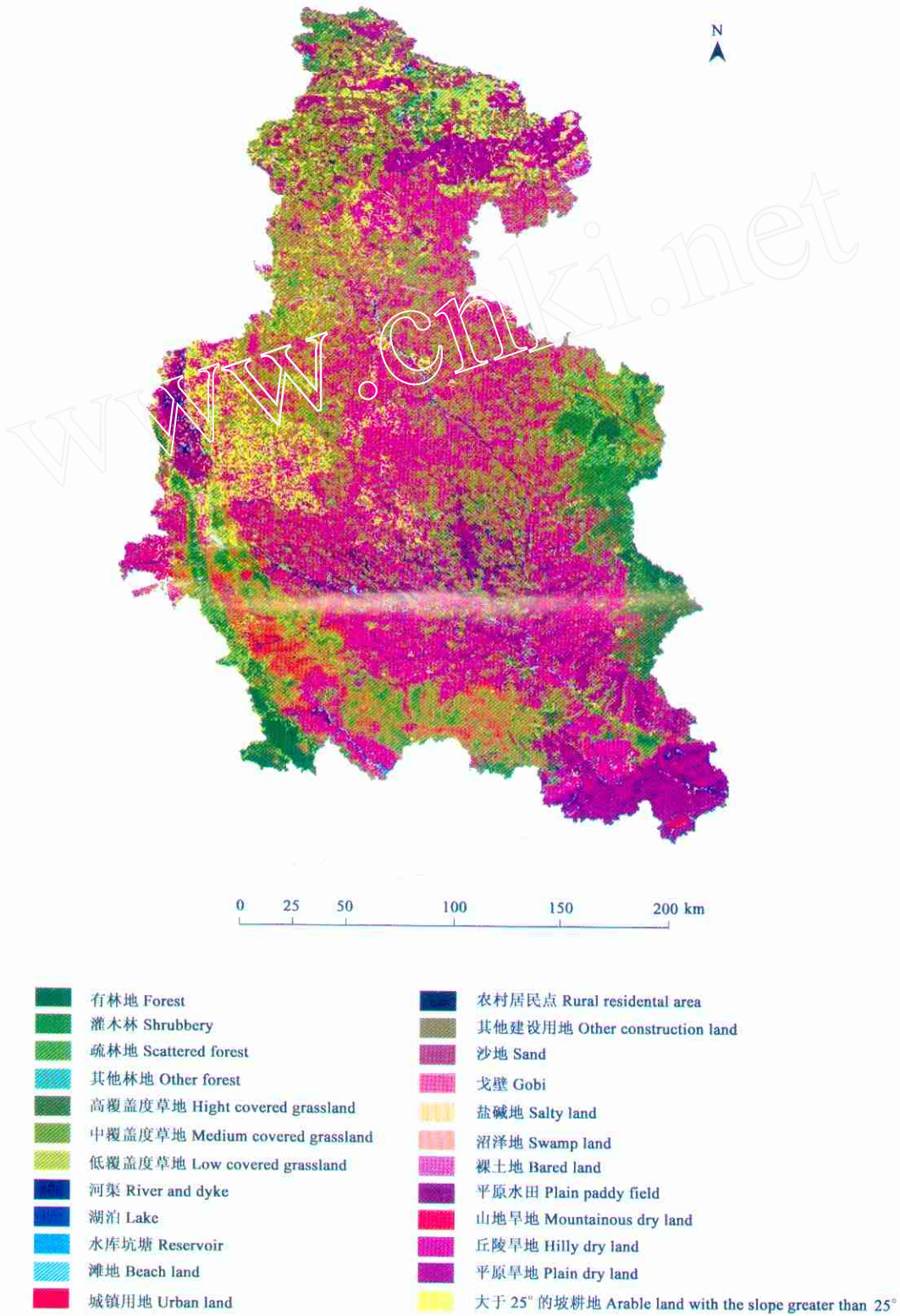


图2 泾河流域 2000 年土地利用类型图

Fig. 2 Land use map of Jinghe Watershed in 2000

景观指数共有两类: 格局指数和变化指数^[18]。格局指数描述了一个地区或一个时期景观的镶嵌状况, 也就是状态参数, 其中有些可提供镶嵌的形状特征, 如斑块大小和形状。变化指数则描述景观镶嵌性的时间变化, 也就是变化参数。这些参数的计算依赖于不同时间格局指数值(即变化速率)。

(1) 斑块数(N) 整个景观的斑块数量, 单一类型的斑块数量:

$$N P = n_i \quad (1)$$

式中, n_i 为景观中 i 类斑块的数目, $N P$ 则是相应景观类型的总数, $N P \geq 1$, 无上限。 $N P = 1$ 则表明景观由一种斑块类型组成。

(2) 斑块面积(A) 整个景观的斑块平均面积= 斑块总面积/斑块总数:

$$A = a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right) \quad (2)$$

式中, a_{ij} 为斑块 ij 的面积(m^2); A 由斑块面积(m^2)除以 10 000 而得(换算为公顷 hectares)。 $A > 0$, 无上限。

(3) 斑块密度(PD) 单位面积上的斑块数, 它能表明景观的破碎化:

$$PD = \frac{n_i}{A} (10, 000) (100) \quad (3)$$

式中, n_i 为景观中 i 类斑块的数目; A 为景观斑块的总面积(m^2); $PD > 0$, 其大小由单元大小限制, 单位为每 100 hm^2 的斑块数。

(4) 优势度指数(D) 优势度指数计算公式为:

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m (P_k) \log_2(P_k) \quad (4)$$

式中, $H_{\max} = \log_2(m)$, P_k 是 k 种景观类型所占总面积的比, m 是研究区中景观类型的总数。 H_{\max} 为研究区各类型景观所占比例相等时, 景观拥有的最大的多样性指数。

(5) 聚集度指数(C) 聚集度描述的是景观里不同生态系统的团聚程度。 计算公式为:

$$C = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{m} \right) \right] \cdot \left[\ln(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{m} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] \quad (100) \quad (5)$$

式中, P_i 为景观中 i 类斑块所占比例; g_{ik} 为斑块 i 与斑块 k 相邻的多边形数目(由双计数方法计算而来); m 为景观中斑块类型总数, 包括景观边界。

聚集度指数(C) 取值范围为: $0 < C < 100$ 。 C 的取值越大, 则代表景观由少数团聚的大斑块组成; $C = 100$, 表明景观类型高度聚集, 景观由单一类型组成。 C 取值小, 则代表景观由许多小斑块组成, $C = 0$, 表明景观类型高度分散。

(6) 分维数(FD) 景观斑块的形状不规则, 带自相似性, 一般认为具有分形的性质。 分维分析就是对不规则的图形进行定量描述。 景观斑块的分维数采用周长与面积关系进行计算, 它反应了景观形状在空间尺度上的复杂程度, 计算公式为:

$$FD = \frac{\sum_{i=1}^m \left[n_i (\ln p_{ij} \cdot \ln a_{ij}) \right] - \left[\left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right]}{\left(\sum_{j=1}^n n_i \ln p_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2} \quad (6)$$

式中, a_{ij} 为斑块 ij 的面积(m^2); p_{ij} 为斑块 ij 的周长(m); n_i 为景观中 i 类斑块的数目。

FD 一般均处于 1~ 2 之间($1 < FD < 2$)。 有其 2 个物理意义: 其一, FD 愈趋近于 1, 则斑块的几何形状愈趋向于简单, 斑块形状愈有规则, 表明受干扰的程度愈大^[15]。 其二, FD 愈趋近于 2, 则斑块的几何形状愈趋向于复杂, 斑块由高度旋绕的形状组成。 从分维值还可以看出斑块的发展消退趋势, 以及与生态过程的关系。

2 结果分析

2.1 景观指数及景观格局

对泾河流域 31 个县的景观特征值进行计算、分类和分析, 揭示了流域内景观特征表现出时空变化规律。

2.1.1 斑块数、平均斑块面积、斑块密度指数 泾河流域不同时期的景观特征见表 2, 可以看出, 不同景观类型的平均斑块面积差异较大, 其中, 两时期均以草地景观的平均斑块面积最大, 分别为 223.27 hm^2 和 221.06 hm^2 , 而建成区景观的斑块面积则最小, 分别为 12.69 hm^2 和 13.90 hm^2 。 表明草地是该流域景观的基质, 而城乡居民点和建设用地则主要是散布其中, 景观破碎度较高, 斑块密度指数更好地说明了这一点, 在 6 种景观类型中, 两时期均以建成区斑块密度最大, 说明建成区景观破碎化程度

最高。

与 1986 年相比, 2000 年林地景观的斑块数目明显增加, 但斑块面积却有所减少, 表明林地景观的破碎化程度呈增加趋势, 而林地景观的斑块密度有所增加也反映出了这一趋势; 耕地景观的斑块密度指数也有所上升, 表明耕地的破碎化程度也有所增加; 而建成区和未利用土地景观的斑块密度有所减少, 表明这两种景观类型的破碎度有所下降。建成区景观破碎度的降低是因为城镇的扩张, 使得居民点和建设用地连片分布; 而未利用土地景观破碎度下降是由于一些未利用土地被连片利用。就流域整体而言, 流域景观斑块总数目在增加, 斑块平均面积由 107.21 hm^2 下降到 105.27 hm^2 , 反映出流域破碎化程度有所增加。这一趋势在斑块密度指数中也得到了体现。

表 2 泾河流域不同时期的景观特征

Table 2 Landscape characters of the Jinghe watershed in 1986 and 2000

类型 Types	1986 年			2000 年		
	斑块数 (块) Patch No.	平均斑块面积 (hm^2) Average patch area	斑块密度 (斑块/ hm^2) Patch density (Patches/ hm^2)	斑块数 (块) Patch No.	平均斑块面积 (hm^2) Average patch area	斑块密度 (斑块/ hm^2) Patch density (Patches/ hm^2)
林地景观 Forest land	14747	49.82	296.1	15173	47.63	318.6
草地景观 Grassland	13696	223.27	61.3	13676	221.06	61.9
水域景观 Water body	672	57.06	11.8	637	57.29	11.1
建成区景观 Urban and built-up	8359	12.69	658.2	8616	13.90	619.9
未利用土地 Barren land	971	142.74	6.8	990	143.92	6.9
耕地景观 Arable land	26881	108.93	246.8	27442	107.84	254.5
总计 Total	65326	107.21	609.4	66534	105.27	632.0

2.1.2 优势度指数 表 3 为优势度指数值及分布。甘肃省的宁县优势度值最低, 1986 年和 2000 年分别为 0.61 和 0.60, 而陕西省的咸阳优势度值在 2 个年代均最高, 为 1.61。低优势度表明土地利用由多种类型组成, 如农地、林地、草地、建筑用地等, 且各类土地比例相似。高优势度表明景观由一种或少数几种土地利用主导, 如集约化的作物生产对土地的利用。与宁县相比, 咸阳位于关中平原, 是我国主要的粮食基地之一, 主要种植冬小麦和夏玉米等粮食作物, 粮食作物种植面积占土地面积 82% 以上, 而在宁县, 粮食面积仅占 44%, 林地和草地分别占 20% 和 33%, 表明其土地利用的多元化。

为进一步分析各研究区域景观指数与土地利用之间的关系, 将景观指数依数值大小分为高、中、低 3 组^[19]。泾河流域景观优势度指数分组为:

第 1 组 高优势度 $D > 1.30$, 土地利用多样性单一;

第 2 组 中优势度 $D 0.71 \sim 1.30$, 土地利用多样性中等;

第 3 组 低优势度 $D < 0.70$, 土地利用多样性高。

图 3 表明, 高优势度主要分布在陕西省的乾县和咸阳, 以及甘肃省的环县。主要原因是前两个县以农地为主导 (82%), 而后者以农地 (38%) 和草地 (58%) 为主导, 二者比例高达 96%。土地利用的相对单一化使得这 3 个县优势度较高。优势度低的县主要分布在陕西省的陇县 (优势度为 0.6365), 旬邑 (0.6571), 甘肃省的宁县 (0.6085), 平凉 (0.6663), 正宁 (0.6765), 以及宁夏回族自治区的泾源县 (0.6198)。这些县的共同特点是农地、林地和草地分布比例大致相同, 分别为陇县 31%, 31% 和 36%; 旬邑 33%, 31% 和 36%; 宁县 44%, 20% 和 33%; 平凉 46%, 11% 和 38%; 正宁 46%, 32% 和 21%; 泾源县 29%, 29% 和 40%。优势度从 1986 年到 2000 年变化不大, 从分类看, 仅镇原和永寿县两县的景观由 1986 年的中优势度变为 2000 年的低优势度, 其原因在于镇原县 3 种土地利用比例 2000 年趋于类似, 分别由 1986 年的 49%, 3% 和 46% 变为 2000 年的 45%, 32% 和 21%, 土地利用多元化程度的增加引起了优势度的下降; 与 1986 年相比, 永寿县 2000 年农地略有增加的趋势 (47.27% 升为 47.87%), 而林地和草地略有减少的趋势 (分别由 12.70% 和 35.95% 降为 12.56% 和 35.91%) (表 2), 优势度指数略有下降。正宁县的景观优势度有增加的趋势, 其分类由 1986 年的低 (优势度值 0.67) 变为 2000 年的中 (优势度值 1.01), 土地利用也变为主要由农地 (52%) 和草地 (39%) 主导; 其余各县景观优势度在 1986 年至 2000 年期间基本保持稳定。

2.1.3 聚集度指数 (C) 泾河流域 31 个县 C 值范围为 56.85~81.06。咸阳市聚集度值在 1986 年和 2000 年两个时段都最高, 分别为 81.06 和 79.41, 陇县最低, 分别为 56.88 和 56.85。与优势度分析类似, 对聚集度也进行分类分析, 分类的范围为:

第 1 组 高优势度 $D > 75$, 景观由团聚大块组成;

第 2 组 中优势度 $D 60.001 \sim 75$, 景观中等破碎;

第 3 组 低优势度 $D < 60$, 景观由破碎小块组成

分析结果表明 (图 4), 陕西省的咸阳和泾阳为聚集度高的区域, 指数值分别为 81.05 和 76.95, 表明这两县景观由少数主导

性的大斑块组成,即农地组成,其面积分别占总面积的 82% 和 77%。由此发现,咸阳的优势度和聚集度值均较高,这充分表明,大面积的农地分布使得该地区土地利用单一化,斑块面积大,团聚程度高,结构简单。

表 3 泾河流域 1986 年和 2000 年各县景观指数值

Table 3 Landscape index by counties in Jinghe watershed in 1986 and 2000

省 Province	县 County	1986 年				2000 年			
		优势度 Dom inance index	聚集度 Contagion index	分维数 Fractal dimension	斑块密度 Patch density	优势度 Dom inance index	聚集度 Contagion index	分维数 Fractal dimension	斑块密度 Patch density
宁夏 Ningxia	固原 Guyuan	1.0894	63.0821	1.3937	1.0351	1.0668	62.5423	1.3986	1.1236
	泾源 Jingyuan	0.6198	58.6097	1.3970	0.8903	0.6149	58.6188	1.4006	0.9248
	隆德 Longde	1.1344	61.1047	1.4146	1.0931	1.1373	60.9978	1.4092	1.1807
	彭阳 Pengyang	1.0682	66.1788	1.4535	1.0750	1.0392	65.4956	1.4576	1.1828
甘肃 Gansu	盐池 Yanchi	0.9264	66.7446	1.3373	0.5651	0.8758	66.1010	1.3361	0.5676
	崇信 Congxin	0.7934	60.4232	1.4587	1.2659	0.9147	61.2922	1.4553	1.3385
	合水 Heshui	0.7548	60.0598	1.3984	1.3121	0.7511	59.9599	1.4031	1.3114
	华池 Huachi	1.1467	66.6743	1.5222	0.8911	1.1553	66.7768	1.5216	0.9086
	环县 Huanxian	1.3959	71.8193	1.4870	0.9430	1.3965	71.8272	1.4819	0.9447
	华亭 Huating	1.0492	62.1014	1.4660	1.3654	0.8003	61.2323	1.4689	1.3783
	泾川 Jingchuan	1.0486	64.7969	1.4507	1.5299	1.0311	64.7315	1.4558	1.5709
	灵台 Lingtai	0.9882	67.0809	1.4925	0.9978	0.9991	67.4106	1.4895	0.9881
	宁县 Ningxian	0.6085	60.8815	1.3923	1.5950	0.6003	60.7670	1.3963	1.6015
	平凉 Pingliang	0.6663	60.8760	1.4607	1.1321	0.6870	59.8106	1.4583	1.1995
	庆阳 Qingyang	1.0663	71.9835	1.5023	0.8611	1.0602	71.9085	1.5050	0.8656
	西峰 Xifeng	0.7608	67.4536	1.3737	1.6891	0.7403	67.0864	1.3801	1.7052
	镇原 Zhenyuan	1.0256	67.2555	1.4837	1.0710	0.6708	67.1530	1.4866	1.0762
	正宁 Zhengning	0.6765	59.2625	1.3923	1.5092	1.0175	59.1915	1.3933	1.5159
陕西 Shanxi	彬县 Binxian	0.9191	64.7247	1.4299	1.0480	0.8975	64.3566	1.4289	1.0581
	长武 Changwu	0.8273	63.2397	1.4526	1.4620	0.8162	63.0609	1.4482	1.4726
	淳化 Chunhua	0.7536	62.6811	1.3619	0.7003	0.7197	62.0236	1.3656	0.6973
	定边 Dingbian	1.0156	64.9874	1.4273	0.6073	1.0026	64.5843	1.4239	0.6109
	泾阳 Jingyang	1.1045	76.9470	1.3098	0.8469	1.0558	75.6784	1.3106	0.8638
	礼泉 Liquean	1.0570	69.0663	1.3450	0.6028	1.0090	68.2802	1.4334	1.1226
	麟游 Linyou	0.8486	68.2887	1.4349	1.1220	0.8480	68.3740	1.3373	0.6048
	陇县 Longxian	0.6365	56.8831	1.4918	1.1536	0.6333	56.8500	1.4868	1.1581
	乾县 Qianxian	1.3250	72.7823	1.3752	0.8075	1.2811	72.0507	1.3673	0.8226
	千阳 Qianyang	0.7323	64.2106	1.4640	1.1542	0.7267	64.1692	1.4601	1.1572
	咸阳市 Xianyang	1.6099	81.0578	1.3467	0.9188	1.6134	79.4091	1.3448	0.9207
旬邑 Xunyi	0.6571	57.8214	1.3920	1.2663	0.6449	57.6205	1.3887	1.2724	
永寿 Yongshou	0.7105	64.2970	1.3511	1.0097	0.6913	63.9342	1.3506	1.0165	

低聚集度表明景观破碎化程度高,主要分布在受人类活动影响较大的区域,如陕西省旬邑(聚集度为 57.82),或地形地貌复杂,将景观分割为许多小斑块,如陕西省陇县(56.88)、甘肃省正宁(59.26)和宁夏泾源(58.61)。在泾河流域,但凡林地和草地分布的区域,一般来说地形较为复杂,兼具塬地、山地和坡地,海拔也较高,而且林地和草地分散在不同的位置,这是造成景观较为破碎的主要原因。

2.1.4 分维数指数 (FD) 分维数指数分类范围为:

- 第 1 组 高分维数 $FD > 1.50$, 景观由形状复杂的斑块组成;
- 第 2 组 中分维数 $FD 1.351 \sim 1.50$, 景观斑块形状复杂程度中等;
- 第 3 组 低分维数 $FD < 1.35$, 景观由简单几何形状的斑块组成。

图 5 表明分维数的地理分布,分维数高的区域主要甘肃省的华池和庆阳,此两县位于泾河流域中游,属黄土高原沟壑区,其特点是地形和斑块形状复杂,草地比例高达 51%,是 31 个县中最高的,且分散分布于不同位置,将整个景观分割成小而多的复杂斑块,农地和草地比例占总土地面积的 95% 以上。与之相对应,分维数低的区域主要是陕西省的泾阳(分维数为 1.3098)、咸阳(1.3467)和礼泉(1.345),以及宁夏的盐池(1.3373)。如前所述,泾阳和咸阳土地由结构简单、面积大的农地组成,礼泉县农地面积也高达 73%,盐池县草地面积占 56% 且连片分布,荒地面积比例达 13%,是流域所有县中最高的。从地形特点来讲,泾阳、咸阳、礼泉和麟游位于泾河流域下游,属河谷阶地,是关中平原和黄土高原交界处,而盐池位于丘陵地带和向平原区的过渡地带,地势相对于中游而言较平坦。

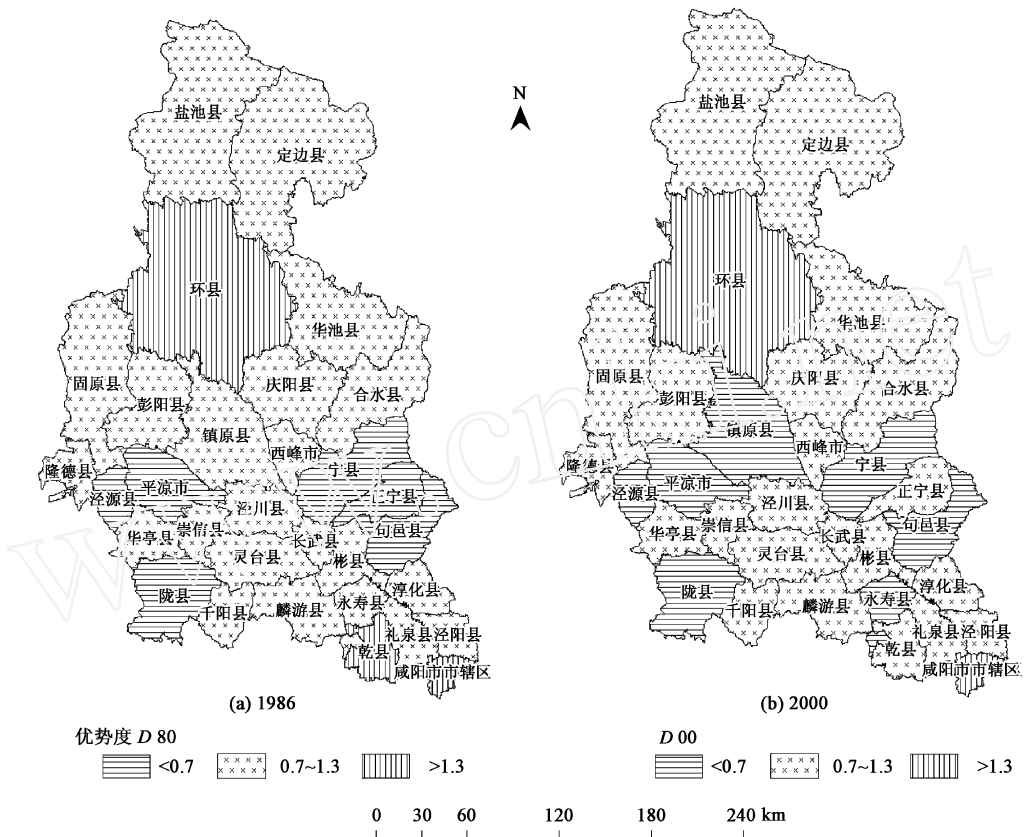


图3 优势度空间分布图

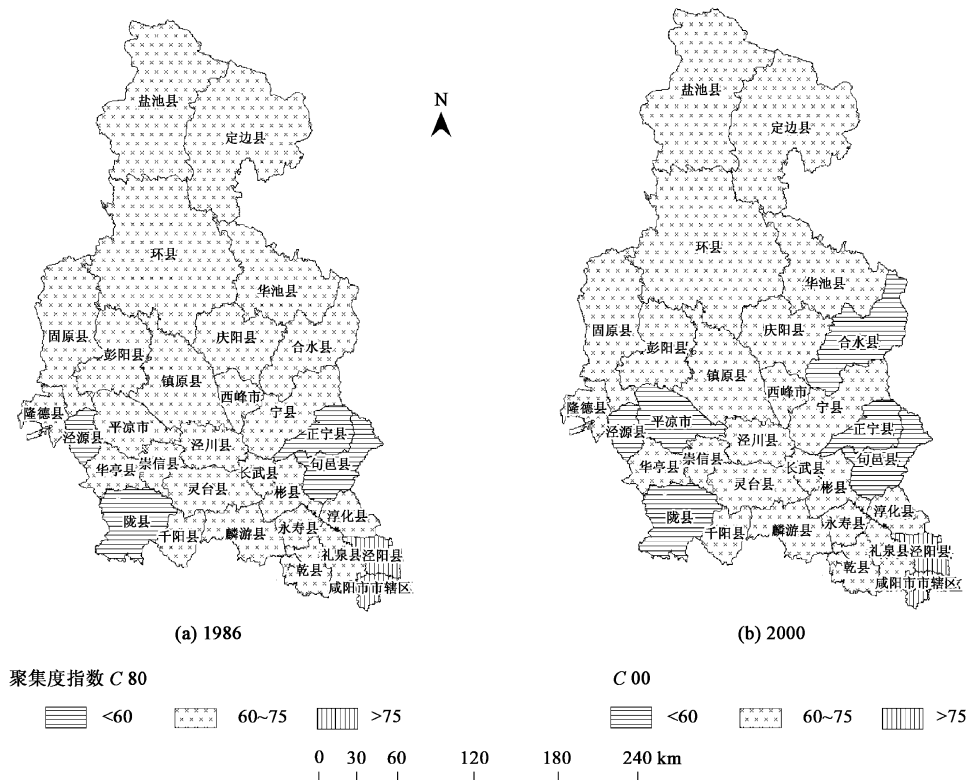


图4 聚集度空间分布

Fig 4 Geographic distribution of the contagion index

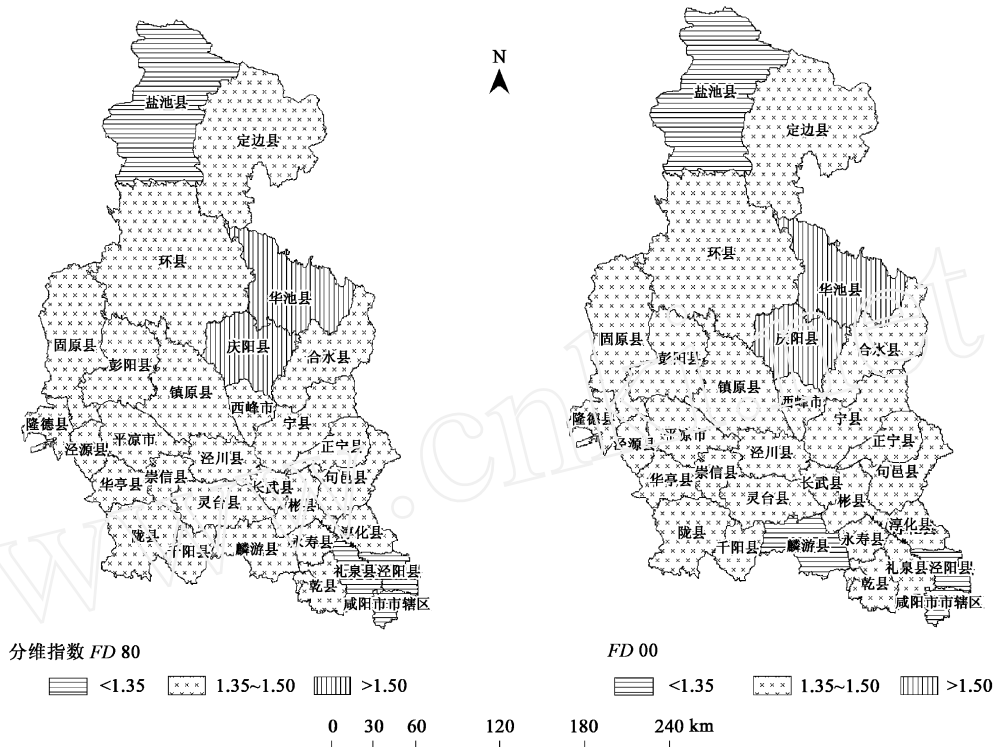


图 5 分维数空间分布

Fig. 5 Geographic distribution of the fractal index

2.2 景观指数特征值的统计学意义

为探讨景观指数间的相互关系, 研究应用 SPSS 统计软件计算了皮尔逊相关系数(表 4)。表中 P_A 、 P_F 、 P_G 分别代表农地面积、林地面积和草地面积的比例。结果表明, 农地面积和林地面积、草地面积之间存在极显著负相关, 相关系数分别为 -0.544^{**} 和 -0.801^{**} ($p < 0.01$)。这种相关性也反映了西部地区土地利用的特点, 即土地利用主要是农、林、草 3 种方式, 农地面积主导的区域, 林地和草地面积相对较小。

表 4 景观指数相关性分析

Table 4 Pearson correlation coefficients expressing the relationships between landscape indices

	林地面积 Proportion of forest, P_F	草地面积 Proportion of grassland, P_G	斑块密度 Patch density, P_D	优势度 Dom inance index, D	分维数 Fractal dimension, FD	聚集度 Contagion index, C
农地面积 Proportion of arable land, P_A	- 0.544**	- 0.801**	- 0.034	0.495**	- 0.225	0.600**
林地面积 Proportion of forest, P_F		- 0.028	0.268	- 0.535**	- 0.060	- 0.688**
草地面积 Proportion of grassland, P_G			- 0.093	- 0.223	0.438**	- 0.266
斑块密度 Patch density, P_D				- 0.273	0.232	- 0.418**
优势度 Dom inance index, D					- 0.016	0.719**
分维数 Fractal dimension, FD						- 0.187

** $p < 0.01$ (两尾测验)

农地面积(P_A)和 优势度指数和聚集度指数呈现极显著正相关, 相关系数分别为 0.495^{**} 和 0.600^{**} ($p < 0.01$), 其主要原因是在泾河流域, 农地一般连片分布, 因此, 农地面积大意味着景观由相对比较大的斑块组成, 因此优势度和聚集度也较大, 相应地斑块密度和分维数比较小, 农地面积(P_A)和斑块密度(P_D)、分维数(FD)之间的弱相关性反映了这种趋势。从泾河流域土地利用比例来看 6 种土地利用类型中, 农地面积最大, 占总土地面积的 47.64%, 其次为草地(36.27%)、林地(12.20%)、工业和建筑用地(2.46%)、水域(0.77%)和荒地(0.66%)。这也证实了相关系数的客观性。

林地面积比例 P_F 和优势度指数及聚集度指数存在极显著负相关性, 相关系数分别为 -0.535^{**} 和 -0.688^{**} ($p < 0.01$), 表明林地分布区域优势度和聚集度均较低。泾河流域林地面积占总土地面积的 12%, 在很多区域, 林地的分布比较分散, 在山地、塬地、坡地均可发现林地分布, 同时, 是否有林地及其面积大小代表了土地利用多元化程度。即: 林地的分布表明土地利用多元化, 并有草地及其他类型的土地利用方式。因此, 优势度和聚集度比较低。

草地面积比例 P_G 和分维数 FD 呈极显著正相关 ($r = 0.438^{**}$), 表明草地分布区域景观形状复杂。主要原因是草地一般分布在不适于种植粮食作物的地方, 其分散而不规则分布将比较大的景观分割成不规则的形状复杂的小斑块, 造成较高的分维数值。有代表性的县域有陇县、华池和庆阳, 草地面积高达 36%, 51% 和 51%, 分维数值却很高。此外, 草地分布一般也伴随着林地, 是造成景观形状复杂的原因之一。

分析还发现, 斑块密度 PD 和聚集度 RC 存在极显著负相关 ($r = -0.418^{**}$, $p < 0.01$), 表明斑块密度高时, 斑块类型多, 形状复杂, 聚集程度低。而优势度 D 和聚集度 RC 之间的极显著正相关 ($r = -0.719^{**}$, $p < 0.01$) 则表明优势度高时, 景观由大块团聚的斑块组成。

综合考虑优势度、聚集度和分维数这 3 个景观指数的分类组合发现, 陕西咸阳市具有这些指数的极端值, 即: 高优势度、高聚集度、低分维数, 充分体现该区域景观由少数团聚程度高形状简单的土地利用类型组成, 也就是大面积的农地成片分布在平川地, 这也是关中平原景观的典型特点。这充分说明, 地形地貌是影响景观特征的决定性因素, 在相同地形地貌单元, 景观特征的变化主要由人类土地利用活动来决定。

3 结论和讨论

采用景观指数及其相关性描述泾河流域景观特征。主要结论总结为以下几点:

(1) 各景观指数值可以反映泾河流域景观, 尤其是土地利用的变化情况。具体而言, 土地利用由单一类型, 如农地, 或两种土地利用, 如农地和草地主导时, 优势度和聚集度均较高; 而当 3 类土地利用比例相近时, 优势度和聚集度均较低。

(2) 林地和草地分布一般较分散, 但凡有这两类土地分布的区域, 土地利用多元化程度高, 斑块数及斑块密度相对较高, 斑块被分割成多种类型, 且形状复杂, 分维数高。说明了人类强烈活动或纯粹的人工景观要素对景观复杂性的影响。

(3) 景观指数之间存在相关性, 分析表明, 3 类主要土地利用类型间有相互牵制的作用, 农地的增加必然降低了林地和草地面积, 即景观变化主要是各主要土地类型间的相互转化, 荒地开垦和城市化对泾河流域景观影响较小。

Krummel 等研究表明^[20], 农业生产的多元化常常使得景观分维数降低, 本研究结果也支持这一结论。同时, 分维数及其变化可以表明人类活动对景观的影响程度。但是, 仅仅景观指数的计算还不足以解决其应用问题, 今后的研究应加强景观指数在景观生态和大的区域尺度中的应用, 尤其要强调景观指数值和生态过程的相关性。因此, 进一步研究应回答的问题是: 在了解景观指数值及其时空变化的基础上, 如何确定相应的生态过程的变化, 以及景观尺度转化的问题^[21]。

References

- [1] Turner M G, Ruscher C L. Changes in landscape patterns in Georgia, U S A. *Landscape Ecology*, 1988, 1: 241~ 252.
- [2] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1: 153~ 162.
- [4] Bu R C, Wang X L, Xiao D N. A nalysis on landscape elements and fragmentation of the Yellow River delta. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(3): 321~ 324.
- [5] Wu B, Ci L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu u s Sandland, Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 191~ 196.
- [6] Wang G X, Guo X Y, Cheng G D. Dynam ic Variations of Landscape Pattern and the Landscape Ecological Functions in the Source Area of the Yellow River. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1587~ 1598.
- [7] Zhao C Y, Wang Y C, Li Z L, et al. Study on the relationship between vegetation dynamics and landscape pattern of desert oasis —— A case study in Sangong river basin, Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2003, 26(4): 297~ 304.
- [8] Zhang L, Wang X R, Liu L H, et al. Analysis of Ejina oasis landscape pattern of Heihe River basin. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 12: 124~ 161.
- [9] Li H L, Xiao D N, Wang Q B, et al. Landscape changes of typical agricultural oasis in arid regions and its driving factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 26(4): 297~ 304.
- [10] Bi X L, Zhou R, Liu L J, et al. A Gradient variations in landscape pattern along the Jinghe River and their driving forces. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1041~ 1047.
- [11] Li Z G, Wang Y L, Hsiao F C. Landscape fragmentation and soil bareness in north Shaanbei loess plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 421~ 427.

- [12] Foster D R. Land-use history and forest transformations in Central New England. In: McDonnell M J, Pickett S T A, eds. *humans as components of ecosystems*. New York: Springer-Verlag, 1993: 91~ 110.
- [13] Wei Z X, Lin S R. Hydrological characters of Jinghe watershed. *Hydrology*, 1996, **2**: 52~ 59.
- [14] Ran D C, Luo B, Luo H Q, et al. Water and soil conservation through reduction of water and sand in Jinghe watershed. *People's Yellow River*, 2001, **23**(2): 6~ 8.
- [15] Fu B J, Chen L D, Ma K M. Impact of land use changes on eco-environment in the loess upland. *Journal of Geography*, 1999, **54**(3): 241~ 246.
- [16] Fu B J, Ma K M, Zhou H F, et al. Impacts of land use structure on soil nutrition in the loess upland. *Science Report*, 1998, **43**(22): 244~ 247.
- [17] Zhen L, Xie G D, Yang L, et al. Land-use change dynamics, driving forces and policy implications in Jinghe watershed of western China. *Resources Science*, 2005, **27**(4): 33~ 37.
- [18] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(2): 101~ 111.
- [19] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**: 153~ 162.
- [20] Krummel J R, Gilmore C C, O'Neill R V. Locating vegetation at-risk to air pollution: an exploration of a regional approach. *Journal of Environmental Management*, 1984, **18**: 279~ 290.
- [21] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 2004, **19**(2): 125~ 138.

参考文献:

- [4] 布仁仓, 王宪礼, 肖笃宁. 黄河三角洲景观组分判定与景观破碎化分析. *应用生态学报*, 1999, **10**(3): 321~ 324.
- [5] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. *生态学报*, 2001, **21**(2): 191~ 196.
- [6] 王根绪, 郭晓寅, 程国栋. 黄河源区景观格局与生态功能的动态变化. *生态学报*, 2002, **22**(10): 1587~ 1598.
- [7] 赵成义, 王玉潮, 李子良, 等. 荒漠绿洲植被变化与景观格局耦合关系的研究——以新疆三工河流域为例. *干旱区地理*, 2003, **26**(4): 297~ 304.
- [8] 张丽, 王秀茹, 刘兰华, 等. 黑河流域额济纳绿洲景观格局分析. *水土保持研究*, 2003, **10**(4): 124~ 161.
- [9] 李华蕾, 肖笃宁, 王秋兵, 等. 干旱区典型农业绿洲的景观变化与原因分析. *生态学报*, 2004, **24**(9): 1878~ 1883.
- [10] 毕晓丽, 周睿, 刘丽娟, 等. 泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析. *生态学报*, 2005, **25**(5): 1041~ 1047.
- [11] 李正国, 王仰麟, 张小飞. 陕北黄土高原景观破碎化及其土壤裸露效应. *生态学报*, 2005, **25**(3):
- [12] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. *景观生态*. 北京: 科学出版社, 2003.
- [13] 韦中兴, 蔺生睿. 泾河流域水文特性分析. *水文*, 1996, **2**: 52~ 59.
- [14] 冉大川, 刘斌, 罗全华, 等. 泾河流域水土保持措施减水减沙作用分析. *人民黄河*, 2001, **23**(2): 6~ 8.
- [15] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响. *地理学报*, 1999, **54**(3): 241~ 246.
- [16] 傅伯杰, 马克明, 周华峰, 等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响. *科学通报*, 1998, **43**(22): 244~ 247.
- [17] 甄霖, 谢高地, 杨丽, 等. 泾河流域土地利用变化驱动力及其政策的影响. *资源科学*, 2005, **27**(4): 33~ 37.