

泾河流域景观稳定性与类型转换机制*

谢高地** 甄霖 杨丽 郭广猛

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

【摘要】以泾河流域为例研究景观格局的变化。结果表明, 泾河流域 1986~ 2000 年间, 景观结构变化不大, 以草地景观和耕地景观为主。草地景观和农耕地景观占流域总面积的 85% 以上, 其次为林地景观, 约占 10%, 其他景观类型仅占 5% 左右, 说明流域的宏观景观格局不会在 10~ 20 年的时间尺度上发生结构性改变。大流域内景观类型之间可以相互转换, 在 5 年和 10 年尺度上, 主导景观类型的自稳定强度均在 89% 以上, 转换为其他类型的强度在 11% 以内。不同景观类型组分中, 占比例越小的景观类型转换为其他类型或消失的速度越快。同一大类景观类型中的亚景观类型之间相互转换幅度较大。流域内景观特征表现出一定的时空变化规律。从上游到下游, 景观特征变化的趋势是优势度、聚集度增加, 分维数下降, 斑块密度由低到高, 再由高到低; 在时间尺度上, 优势度、聚集度下降, 分维数保持稳定, 斑块密度增加。自 2000 年实行草地围封和退耕还林政策以来, 泾河流域 NDVI 低值区由 7.4% 减至 0.8%, NDVI 高值区由 29.8% 减至 25.1%, 较高值区由 18.3% 增加到 25.7%, 最高值区由 2.3% 增至 5.5%, 表明该流域景观质量呈现增高趋势。

关键词 泾河流域 景观宏观稳定性 景观类型转换 景观特征时空变化 景观质量

文章编号 1001- 9332(2005) 09- 1693- 06 中图分类号 Q149 文献标识码 A

Landscape stability and its pattern transition in Jinghe watershed. XIE Gaodi, ZHEN Lin, YANG Li, GUO Guangmeng(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Reseach, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(9): 1693~ 1698.

Based on remote sensing and GIS, this paper analyzed the landscape change patterns in the Jinghe watershed of north west Loess Plateau, one of the areas most suffered from soil and water erosion. The results indicated that the landscape structure in the watershed did not change very much over the past 15 years, and was dominated by grassland and arable land, which occupied 85% of total watershed area. Forest and other land use accounted for 10% and 5% of total area, respectively. A transition of landscape patterns occurred at large scale watershed level. During 1986~ 2000, the inter transitions between different landscape types were very complicated, mainly occurred among woodland, grassland and arable land. The selfstableness of dominant landscape patterns was > 89%, and only 11% of them transferred into other types. Among landscape types, the one sharing small percentage of the total had a high speed of vanishing or transferring into other types. A significant transition was found between sub patterns of a large landscape pattern, e. g., the transition of medium into low-coverage grassland during 1986~ 1995 and the reverse during 1995~ 2000 was occurred, implying a situation of grassland degradation and improvement over the decades. The spatial-temporal changes of landscape features were observed in the watershed. In terms of spatial change, the dominance index and contagion index of the landscape showed an increasing trend, fractal dimension index showed a decreasing trend, while patch density showed an increasing trend, followed by a decreasing trend from upper to down streams. For temporal change, both landscape dominance and contagion decreased to a certain extent, fractal index remained stable, while patch density increased, showing a fragmentation direction of the landscape in the watershed. The NDVI value changed since the implementation of the policy of conversing farmland into grassland and forest in 2000, which was from 7.4% to 0.8% in low value class, from 29.8% to 25.1% in high value class, from 18.3% to 25.7% in higher value class, and from 2.3% to 5.5% in the highest class, showing an improving trend in landscape quality.

Key words Jinghe watershed, Landscape macroscopic stability, Landscape pattern transition, Landscape spatial temporal change, Landscape quality.

1 引言

景观格局与变化是人类与自然界长期相互作用的结果; 一切自然作用力及人类活动都将引起景观格局的变化^[6, 15]。目前, 人类面临的许多环境与发展问题都与景观变化有关, 如地表水文过程、土壤侵

蚀过程、生物地球化学过程、区域气候以及生物多样性变化过程等, 都与景观结构特征密切相关^[3, 10, 11, 18, 20], 这使得景观变化研究已经成为地理

* 国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB111506)。

** 通讯联系人。

2005- 04- 08 收稿, 2005- 05- 20 接受。

学和生态学综合研究的重要领域^[12, 16]. 景观生态的研究始于 20 世纪 60 年代. 最初的研究主要集中在景观生态的理论概念及其生态和地理的自然变化过程上, 我国科学家自 1989 年第一届景观生态学讨论会之后也对景观生态的理论及其变化的驱动力进行了系统的研究和探索^[20], 主要集中于景观格局及其驱动力分析. 布仁仓等^[1]对黄河三角洲景观研究证实, 在黄河南侧, 大面积的人类建设活动造成斑块密度变小; 在北侧, 小面积盲目开垦造成了景观破碎化加重. 肖笃宁等^[21]观察到一些政策对我国一些地区景观变化的影响, 如 20 世纪 50 年代末的“大炼钢铁”, 致使一些地区毁林现象十分严重; 90 年代初一度兴起的“开发区热”, 占用不少农田. 刘新春等^[13]的研究表明, 水土资源利用下的水盐动态变化是阜康荒漠绿洲景观格局变化的关键影响因子, 地形和土地利用是影响地下水位变化的关键因素, 而地下水位的连续变化又影响了土壤水盐在空间的分布; 许多学者对黄土高原景观特征进行了研究, 指出景观格局与水土流失密切相关^[2, 4, 7, 14].

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

泾河为黄河十大水系之一. 泾河流域行政区划包括陕甘宁三省 31 个县(市), 行政边界位于 105°49′~108°58′E, 34°14′~38°10′N 之间, 面积 70 039 km², 气候特点是冬春干旱少雨, 夏秋多暴雨, 其北、中部属干旱区, 南部为半干旱及小部分偏湿润区. 雨量 and 气温由东南向西北逐渐递减, 年平均降水量 550 mm, 年平均气温 10℃左右. 流域内水系较发达, 集水面积大于 1 000 km² 的主要支流有 13 条; 大于 500 km² 的支流有 26 条, 长约 1~2 km 的冲刷沟溪达万条以上. 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. 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.

2.2 研究方法

2.2.1 数据采集 本项研究的空間数据基础是中国资源与环境数据库, 采用了 1986 年、1995 年和 2000 年 3 个时期的 Landsat TM 数据. 在土地利用变化信息提取的过程中, 参考了地形图、区域专题研究资料与图件等其他资料. 对上述 3 期 TM 遥感影像数据进行地理坐标配准, 然后在经过几何精校正后的遥感影像上进行计算机屏幕人机交互判读. 景观类型划分采用中国科学院资源环境数据库中的 1:10 万土地利用分类系统, 共划分出耕地景观、林地景观、草地景观、水域景观、建成区景观和未利用土地景观 6 个 1 级类型、19 个 2 级类型、5 个 3 级类型(图 1). 具体含义为: 1) 耕地景观(水田、旱耕地与水浇地): 泛指耕作区, 划分出 5 个 3 级类型: 平

原水田、山地旱地、丘陵旱地、平原旱地和大于 25°的坡耕地; 2) 林地景观: 有林地、灌木林、疏林地和其他林地; 3) 草地景观: 用于放牧割草等为主的天然草原和人工种植或改良草场; 4) 建成区景观: 城乡居民点、工矿企业用地、交通用地和特殊用地; 5) 水域景观: 水库、湖泊、塘坝、湿地及堤坝水工建筑等; 6) 未利用土地景观: 盐碱地、裸地(新撂荒地)、沙地、裸岩、石砾地等.

2.2.2 景观指数 采用 6 个景观指数: 斑块数、斑块面积、斑块密度、优势度指数、聚集度指数和分维数. 各指数计算应用 FRAGSTATS 3.3 软件进行.

2.2.3 植被指数 归一化差值植被指数(NDVI):

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}) \quad (1)$$

式中, ρ_{nir} 和 ρ_{red} 分别为近红外和红波段反射率.

该指数使用近红外和红波段反射率的差值来增强植被信息^[9]. 本文使用 2000 年 8 月和 2004 年 8 月的 MODIS 1 000 m 数据来计算 NDVI. 首先使用公式 $\rho = (DN - offset) \cdot scale$ 将灰度值转换为反射率^[17], 然后用式(1)计算 NDVI, 并使用数据自带的控制点数据进行几何校正^[8], 投影采用 Albers 圆锥等面积投影. 最后将 30 d 的数据合并取最大值, 以部分消除大气、观测角度等的影响^[19]. MODIS 1B 数据来源于国家 EOS-MODIS 共享平台.

3 结果与分析

3.1 景观宏观结构的基本稳定性

由表 1 可以看出, 在 1986~2000 年的十几年间, 6 个一级景观类型的面积均发生了一定变化. 1986~1995 年, 面积净变化量以草地景观和耕地景观为最大; 其次为林地景观和建成区景观. 其中草地景观面积减少了 1.53%; 林地景观和水域景观分别减少了 4.99% 和 8.5%. 在增加的景观类型中, 耕地景观增加的面积最大, 增加了 6.24×10^4 hm², 而建成区景观增加的比例最大, 增加了 11.01%. 1995~2000 年, 各景观类型面积的变化与 1986~1995 年的变化基本上呈相反的趋势, 只有建成区一直呈增加趋势, 增加了 1.66%; 1980~1990 年呈现减少趋势的草地、林地和水域面积都有所增加, 林地增加的面积最大, 增加了 3.52%, 草地景观增加了 0.41%, 水域景观增加的比例为 3.8%; 耕地景观减少了 3.14×10^4 hm², 占耕地景观总面积的 1.05%; 未利用土地景观则减少了 5.85%.

从景观宏观格局来看, 泾河流域 3 个时期的景观类型均以草地和耕地景观为主, 约占流域总面积的 85% 以上; 其次为林地景观, 分别占总面积的 10.49%、9.97% 和 10.32%, 而水域、建设用地和未利用土地景观所占比例较小(表 1), 说明 3 个时期景观宏观格局变化不大. 由此可以推断, 一个大流域

的宏观景观格局可能是稳定的, 不会在 10~ 20 年的时间尺度上发生巨大的结构性改变, 2000 年的以草地和耕地为主导的宏观景观格局在今后将长期保持(图 1).

表 1 不同景观类型的面积动态变化
Table 1 Area and percentage changes of the landscape types during the three periods

景观类型 Landscape pattern	1986		1995		2000	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例
	Area (10 ⁴ hm ²)	Percentage (%)	Area (10 ⁴ hm ²)	Percentage (%)	Area (10 ⁴ hm ²)	Percentage (%)
耕地 Arable land	292.83	41.81	299.07	42.7	295.93	42.25
林地 Forest land	73.47	10.49	69.80	9.97	72.26	10.32
草地 Grassland	305.79	43.66	301.10	42.99	302.32	43.17
水域 Water body	3.83	0.55	3.51	0.5	3.65	0.52
城乡建设用地 Urban and built up	10.61	1.51	11.78	1.68	11.97	1.71
未利用土地 Barren land	13.86	1.98	15.13	2.16	14.25	2.03
总计 Total	700.39	100	700.39	100	700.39	100

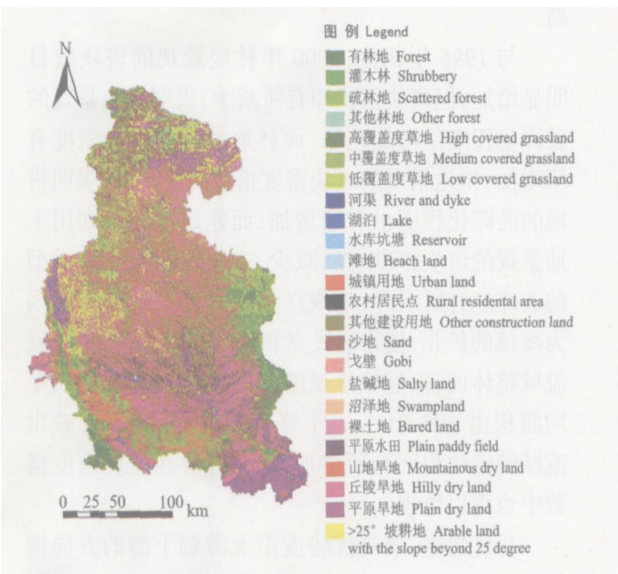


图 1 泾河流域 2000 年土地利用类型图
Fig. 1 Landscape map of the Jinghe watershed in 2000.

3. 2 不同景观类型的相互转化

在大流域宏观景观格局维持相对稳定的前提

下, 景观类型之间发生着一定规模的相互转换, 在局部地方甚至会引起景观格局的结构性变化. 景观格局的转移矩阵可详细地说明景观类型之间相互转变的过程和流向(表 2). 表 2 中背景加阴影的数据表示未发生变化的面积占该类型总面积的比例.

由表 2 可以看出, 1986~ 1995 年, 有 89. 03% 的林地景观保持不变, 其余林地景观主要转变为草地景观; 有 93. 43% 的草地景观保持不变, 最主要的流向是耕地景观; 有 81. 96% 的水域景观保持不变, 其余主要转变成耕地景观; 有 96. 26% 的耕地景观保持不变, 只有 2. 5% 的耕地转变成草地景观. 由于城镇建设用地与耕地作为人类活动最为密集两种土地利用类型, 两者之间的转变关系非常密切, 有 $1.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地景观转变为建成区景观. 1995~ 2000 年, 有 91. 59% 的林地景观保持不变, 其余主要转变为未利用地、草地和建成区景观; 有 95. 01% 的草地景观保持不变, 最主要的流向是林地和未利用地景观; 有 90. 03% 的水域景观保持不变, 其余主要转变成耕地; 有 95. 37% 的耕地景观保持不变, 其余 3. 64% 的耕地景观转变为草地景观, 0. 32% 的耕地景观转变为林地景观, 0. 31% 的耕地景观转变为建成区景观. 上述结果说明一个大流域内景观类型之间可以相互转换, 无论在 10 年尺度还是 5 年的时间尺度上, 主导景观类型(该流域中为草地、耕地和林地景观)的自稳定强度在 89% 以上, 转换为其他类型的强度在 11% 以内. 在不同景观类型组分中, 所占比例越小的景观类型转换为其他类型或消失的速度越快. 由于景观转移矩阵的统计是以大类为单元, 所以忽略了同一大类中亚类之间的转移. 需要进一步地分析同一大类中亚类之间的转移. 泾河流域亚类景观之间的转换主要发生在是草地景观内部的转化, 1986~ 1995 年, 中覆盖度草地向低覆盖度草

表 2 泾河流域 1986~ 2000 年景观类型转移矩阵
Table 2 Transition matrix of the landscape patterns in the Jinghe watershed between 1986 and 2000

景观类型 Landscape pattern		林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water body	建设用地 Urban and built up	未利用地 Barren land	耕地 Arable land
耕地 Arable land	A	0.51	2.50	0.07	0.57	0.09	96.26
	B	0.32	3.64	0.12	0.31	0.23	95.37
林地 Forest land	A	89.03	9.05	0.00	0.09	0.50	1.32
	B	91.59	0.75	0.23	0.47	0.91	0.39
草地 Grassland	A	0.89	93.43	0.03	0.06	0.74	4.85
	B	6.45	95.01	2.02	1.12	4.99	2.80
水域 Water body	A	0.41	5.14	81.96	0.55	1.33	10.61
	B	0.24	2.55	90.03	0.70	0.94	5.53
建设用地 Urban and built up	A	0.30	1.02	0.22	92.30	0.01	6.15
	B	0.52	1.38	0.21	91.91	0.35	5.62
未利用土地 Barren land	A	0.97	8.15	0.28	0.29	87.96	2.36
	B	2.50	11.17	0.12	0.01	83.50	2.69

A: 1986~ 1995; B: 1995~ 2000.

地以及这两类间的反向转化面积要远大于大类间的转移面积, 有 $53.94 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的中覆盖度草地转变为低覆盖度草地, 占中覆盖度草地总面积的 23.41%; 而仅有 $9.19 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的低覆盖度草地转变为中覆盖度草地. 这虽没使草地总体面积发生变化, 却暗示了草地质量在不断退化. 1995~2000 年, 亚类景观间的转换主要发生在中、低覆盖度草地之间. 与前一时期的转变方向相反, 这一时期有 $53.82 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的低覆盖度草地转变为中覆盖度草地, 占低覆盖度草地总面积的 54.93%; 仅有 $9.14 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的中覆盖度草地转变为低覆盖度草地, 说明草地景观质量正向着提高的方向发展 (图 2).

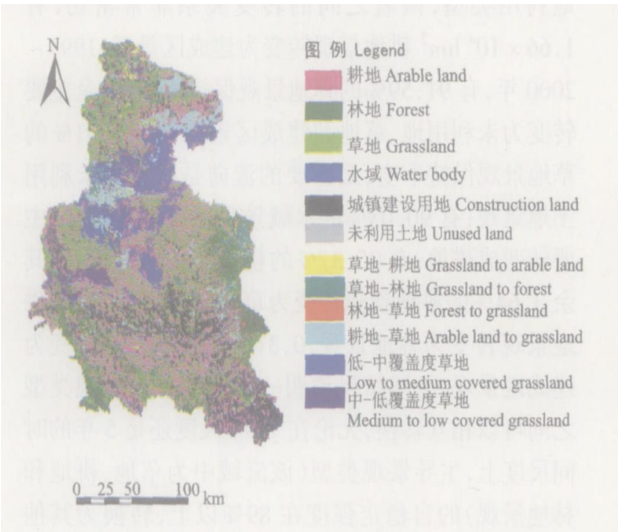


图 2 1995~2000 年泾河流域景观时空变化图
Fig.2 Spatial-temporal changes of the landscape patterns in the Jinghe watershed during 1995~2000.

3.3 泾河流域景观特征的变化规律

对泾河流域 31 个县的景观特征值进行计算、分类和分析, 结果见表 3. 由表 3 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

表 3 泾河流域不同时期的景观特征
Table 3 Landscape characters of the Jinghe watershed in 1986 and 2000

景观类型 Landscape pattern	1986			2000		
	斑块数 Patch (N)	平均斑块面积 Average patch area (hm^2)	斑块密度 Patch density	斑块数 Patch (N)	平均斑块面积 Average patch area (hm^2)	斑块密度 Patch density
耕地 Arable land	26881	108.93	0.0092	27442	107.84	0.0093
林地 Forest land	14747	49.82	0.0201	15173	47.63	0.0210
草地 Grassland	13696	223.27	0.0045	13676	221.06	0.0045
水域 Water body	672	57.06	0.0175	637	57.29	0.0175
建成区 Urban and built-up	8359	12.69	0.0788	8616	13.90	0.0720
未利用土地 Barren land	971	142.74	0.0070	990	143.92	0.0069
总计 Total	65326	107.21	0.0093	66534	105.27	0.0095

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. 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; 耕地景观的斑块密度指数有所上升, 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. 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以体现.

1) 优势度: 景观优势度沿上游到下游的方向增加, 1986 年~2000 年, 上中游景观优势度有所降低, 而下游的景观优势度保持不变或略有提高 (表 4). 在流域的上游地区, 景观由多种类型组成, 且各类景观比例相似, 但随着时间的推移, 这种特征在逐渐减弱; 而流域的下游地区景观由一种或少数几种类型主导, 如集约化的作物生产对土地的利用, 但随着时间的推移, 这种特征基本保持稳定, 或景观类型组成

表 4 泾河流域 1986 年和 2000 年景观指数值
Table 4 Landscape index by counties in the Jinghe watershed in 1986 and 2000

县名 County		1986				2000			
		优势度 Dominance index	聚集度 Contagion	分维数 Fractal	斑块密度 Patch density	优势度 Dominance index	聚集度 Contagion	分维数 Fractal	斑块密度 Patch density
泾源 Jingyuan	上游 Upper stream	0.6198	58.6097	1.3970	0.8903	0.6149	58.6188	1.4006	0.9248
泾川 Jingchuan	中游 Middle stream	1.0486	64.7969	1.4507	1.5299	1.0311	64.7315	1.4558	1.5709
彬县 Binxian	中游 Middle stream	0.9191	64.7247	1.4299	1.0480	0.8975	64.3566	1.4289	1.0581
泾阳 Jingyang	下游 Down stream	1.1045	76.9470	1.3098	0.8469	1.0558	75.6784	1.3106	0.8638
咸阳 Xianyang	下游 Down stream	1.6099	81.0578	1.3467	0.9188	1.6133	79.4091	1.3448	0.9207

在缓慢地增加.

2) 聚集度: 景观聚集度沿上游到下游的方向增加, 1986 年~ 2000 年, 全流域景观聚集度有下降趋势(表 4). 在泾河流域, 上游主要是林地和草地分布的区域, 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, 这是造成上游景观聚集度较低的主要原因; 下游地区为聚集度高的区域, 指数值在 76.94 以上, 表明景观由少数主导性的大斑块(农耕地)组成. 大面积的农耕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.

3) 分维数: 景观分维数沿上游到下游的方向降低, 1986 年~ 2000 年, 全流域景观分维数保持稳定(表 4). 在流域的上中游地区, 由于其属黄土高塬沟壑区, 地形和斑块形状复杂, 将整个景观分割成小而多的复杂斑块, 景观分维数高; 与之相对应, 下游地势平坦, 景观由结构简单、面积大的农耕地组成, 景观分维数较低.

4) 斑块密度: 泾河流域景观斑块密度呈现出中游高、上游和下游低的特点, 1986 年~ 2000 年, 全流域景观斑块密度都呈现增加趋势(表 4). 上游区域主要由自然因素为主导形成较为大片而完整的景观类型; 下游地区以人类活动为主导形成较为大片而完整的景观类型, 而中游区域往往在自然因素和人类活动双重干预下, 景观破碎化速度比上游和下游都要高. 但随着时间的推移, 整个流域的景观破碎化程度越来越高.

3.4 植被覆盖度提高

为了分析 2000 年实行退耕还林还草工程以来景观质量的变化, 采用 MODIS 遥感数据计算 NDVI, 各部分 NDVI 所占的面积比例见表 5. 表 5 结果表明, 自 2000 年实行退耕还林、还草政策以来, NDVI 低值区(0~ 0.2)由 7.4% 减少到 0.8%, 基本上消失; 最高值区(0.8~ 1.0)增加了 3.2%, 是 2000 年的 2.4 倍. 而其它的 NDVI 面积变化较小, 其中 NDVI 中值区(0.2~ 0.4)基本不变, 高值区(0.4~ 0.6)减少了 4.7%, 较高值区(0.6~ 0.8)增加了 7.4%. NDVI 值在 0~ 0.2 之间一般意味着裸地或者地表很少植被覆盖的地区. 8 月是该地区温度、湿度最好的季节, 2000 年 8 月流域内尚有 7.4% 的面积 NDVI 在 0~ 0.2 之间, 2004 年 8 月则基本消失. 宁夏当地不仅实行了退耕还林、还草工程, 在某些地区还实行了围栏封育. 根据陈敏等^[5]的研究, 围栏封育是草原恢复的一种较好措施, 封闭 3 年可使退

化草地上的地表生物量加倍. 从气象数据获知, 2003 年这一地区降水高于多年平均降水量, 而 2004 年与往年年降水量基本持平, 因此可以认为, 近 5 年来 NDVI 值的大幅度增加退耕还林还草政策以及自然条件综合影响下, 本区植被得到较好的恢复.

表 5 2000 年与 2004 年 NDVI 所占的流域总面积的比例
Table 5 Percentage of NDVI to the total areas of the watershed in 2000 and 2004(%)

日期 Date	低值区 Low value class (0~ 0.2)	中值区 Middle value class (0.2~ 0.4)	高值区 High value class (0.4~ 0.6)	较高值区 Higher value class (0.6~ 0.8)	最高值区 Highest value class (0.8~ 1)
2000. 8	7.4	42.2	29.8	18.3	2.3
2004. 8	0.8	42.9	25.1	25.7	5.5

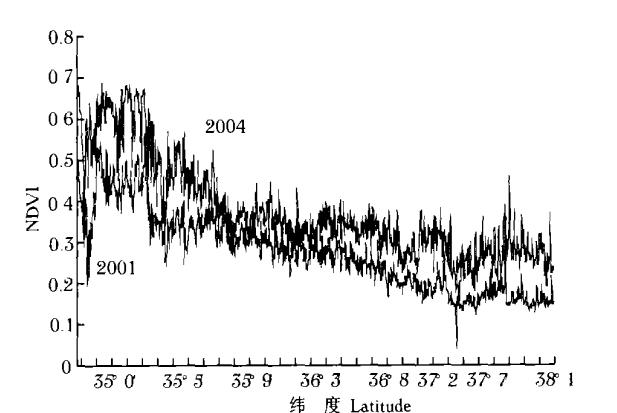


图 3 泾河流域 NDVI 沿东经 107° 经线的变化曲线
Fig. 3 Change curves of NDVI along the east longitude 107° in the Jinghe watershed.

4 结 论

- 4.1 一个流域的宏观景观格局可能是稳定的, 不会在 10~ 20 年的时间尺度上发生巨大的结构性改变.
- 4.2 一个大流域内景观类型之间可以相互转换, 无论在 10 年尺度还是 5 年的时间尺度上, 主导景观类型的自稳定强度在 89% 以上. 这揭示了宏观景观格局稳定性的机制. 在不同景观类型组分中, 所占比例越小的景观类型转换为其他类型或消失的速度越快.
- 4.3 流域内景观特征表现出普遍性时空变化规律. 从上游到下游, 景观特征变化的规律是优势度、聚集度增加, 分维数下降, 斑块密度由低到高, 再由高到低; 在时间尺度上, 优势度、聚集度下降, 分维数保持稳定, 斑块密度增加, 反映出景观越来越破碎的趋势.
- 4.4 泾河流域亚类景观之间的转换主要发生在是草地内部的转化, 并且暗示了草地质量先退化后恢复的发展方向.
- 4.5 自 2000 年实行草地围封和退耕还林政策以

来, 泾河流域 NDVI 低值区大部分消失, NDVI 值的增加表明近年来该流域景观质量呈现增高趋势。

参考文献

- 1 Bu R-C (布仁仓), Wang X-L (王宪礼), Xiao D-N (肖笃宁). 1999. Determination of landscape components and landscape fragmentation in the Huanghe Delta. In: Xiao D-N (肖笃宁), ed. Development of Landscape Ecology. Changsha: Hunan Scientific and Technical Press. (in Chinese)
- 2 Chang Q-R (常庆瑞), Liu J (刘京), Yang Q-K (杨勤科), et al. 2003. Dynamics of land covers in the loess highland and ravine based on GIS and RS. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14** (12): 2187~ 2190 (in Chinese)
- 3 Chang X-L (常学礼), Yu Y-J (于云江), Cao Y-Y (曹艳英), et al. 2005. Ecological effects of landscape structure on desertification process of Keerqin sandy land. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16** (1): 59~ 64 (in Chinese)
- 4 Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰), Wang J (王军). 2001. Land use changes in a typical small watershed of the loess highland. *Geogr Sci* (地理科学), **21** (1): 46~ 51 (in Chinese)
- 5 Chen M (陈敏), Baoyin T-G-T (宝音陶格涛). 1997. Experiment of the improvement of degraded grassland in semiarid pasture region. *Grass Sci* (草业科学), **14** (6): 27~ 29 (in Chinese)
- 6 Chen W-B (陈文波), Xiao D-N (肖笃宁), Li X-Z (李秀珍). 2002. Classification, application, and creation of landscape indices. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13** (1): 121~ 125 (in Chinese)
- 7 Fu B-J (傅伯杰). 1995. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **15** (2): 113~ 120 (in Chinese)
- 8 Guo G-M (郭广猛). 2003. Geometrical proofreading of MODIS satellite. *Remote Sensing Inform* (遥感信息), (3): 26~ 28 (in Chinese)
- 9 Jiang D (江东), Wang N-B (王乃斌), Yang X-H (杨小唤), et al. 2002. Principles of the interaction between NDVI profile and the growing situation of crops. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22** (2): 247~ 253 (in Chinese)
- 10 Jiang Y (江源), Gao Q-Z (高清竹), He L-H (何立环), et al. 2002. Landscape structure of the farming pastoral zone based on Landsat TM Data—A case study of Xinghe County, Inner Mongolia. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13** (4): 403~ 408 (in Chinese)
- 11 Liu H-Y (刘红玉), Lü X-G (吕宪国), Zhang S-K (张世奎), et al. 2005. Fragmentation process of wetland landscape in watersheds of Sanjiang Plain, China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16** (2): 289~ 295 (in Chinese)
- 12 Liu J-Y (刘纪远), Liu M-L (刘明亮), Zhuang D-F (庄大方), et al. 2002. Spatial patterns of land use changes in China in recent years. *Chin Sci D*, **32** (2): 1031~ 1040
- 13 Liu X-C (刘新春), Zhang Y-D (张远东), Ren G-Y (任光耀), et al. 2004. Dynamics of ecological landscape pattern and its affecting factors in desert oasis in Fukang, Xinjiang. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15** (7): 1197~ 1202 (in Chinese)
- 14 Ma A-Q (马安青), Chen D-J (陈东景), Wang J-H (王建华). 2002. Changes of land use patterns in the Loess Plateau of eastern Gansu Province based on RS and GIS. *Soil Water Cons* (水土保持学报), **16** (3): 56~ 59 (in Chinese)
- 15 Ni S-X (倪绍祥), Tan S-H (谭少华). 2002. Progress of recent land use/cover changes in China. In: Land Cover Change and Its Environmental Effects. Beijing: Xingqiu Map Press. 7~ 15 (in Chinese)
- 16 Vanacker V, Govers G, Barros S, et al. 2003. The effect of short-term socioeconomic and demographic change on landscape dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador. *Landscape Ecol*, **18** (1): 1~ 15
- 17 Wang R (王荣), Tang L-L (唐伶俐), Dai G-D (戴昌达). 2002. Application of MODIS data to determine the reflectivity and emissivity of ground object. *Remote Sensing Inform* (遥感信息), (3): 21~ 25 (in Chinese)
- 18 Wang X-Y (王晓燕), Xu Z-G (徐志高), Yang M-Y (杨明义), et al. 2004. Analysis of the landscape diversity dynamics of small watershed in the Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15** (2): 273~ 277 (in Chinese)
- 19 Wang Z-X (王正兴), Liu C (刘闯), Huete A. 2003. Advances in vegetation index research: From AVHRR-NDVI to MODIS EVI. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23** (5): 979~ 987 (in Chinese)
- 20 Xiao D-N (肖笃宁). 1999. Development of Landscape Ecology. Changsha: Hunan Scientific and Technical Press. (in Chinese)
- 21 Xiao D-N (肖笃宁), Li X-Z (李秀珍), Gao J (高峻), et al. 2003. Landscape Ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)

作者简介 谢高地, 男, 1962 年生, 研究员. 主要从事自然资源与环境安全研究, 发表论文 40 多篇. Tel: 010-64889441; E-mail: xiegdl@igsnrr.ac.cn.