

黄土丘陵区土地利用变化动态与景观格局分析 ——以彭阳县为例

杭佳¹, 石云², 贺达汉^{1,3}, 耿莎²

(1. 宁夏大学 农学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学 资源与环境学院, 银川 750021;
3. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建国家重点实验室培育基地, 银川 750021)

摘 要:在退耕还林背景下研究土地利用/覆盖变化及其对景观格局的影响对宁南山区土地资源可持续利用和生态环境重建具有重要意义。以多时相 Landsat TM/ETM 4 期遥感影像数据为基础, 借助 GIS 技术和景观生态学方法, 分析彭阳县 1991—2010 年的土地利用变化动态及景观格局变化。结果表明: 在研究时段内, 彭阳县林地面积持续增加的同时耕地和未利用土地持续减少; 景观格局变化主要表现为景观破碎化程度、斑块混合分布程度、多样性指数和均匀度指数均呈先增加后减小的趋势, 各斑块间连通性呈先减小后增加的趋势, 景观形状趋于复杂; 区域发展规划是该区 2000 年以后土地利用及景观变化的主要驱动力。

关键词:土地利用/覆盖变化; GIS; 景观格局变化; 黄土丘陵区; 彭阳县

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)06-0203-06

Dynamic of Land Use/Cover Changes and the Analysis of Landscape Pattern in Hilly and Gully Region of the Loess Plateau —A Case Study of Pengyang County in South of Ningxia Hui Autonomous Region

HANG Jia¹, SHI Yun², HE Da-han^{1,3}, GENG Sha²

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. State Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The quantitative evaluation on land use/cover change as well as its influence on landscape pattern under the background of returning grain plots to forestry is significant of the sustainable utilization of land resources and ecological environment reconstruction in the southern Ningxia. Based on multi-temporal remote sensing data from four periods of Landsat TM/ETM, and combination of ecological quantity analytical method with GIS, the change of land use/cover and landscape pattern in Pengyang County of Ningxia Hui Autonomous Region were analyzed. The conclusions showed that the amount of each land use type was changed with different degrees, the area of forest/grass land increased, while farmland and unused land decreased. The change of landscape pattern was characterized as that the degree of landscape fragmentation, patches mixed distribution, diversity index and evenness index increased gradually and then decreased, the connectivity between patches decreased gradually and then increased, and landscape shape presented irregular.

Key words: land use/cover change (LUCC); GIS; landscape pattern change; the hilly and gully region of the Loess Plateau; Pengyang County

土地利用/覆盖变化 (land use/cover change, LUCC) 是了解人类活动和环境之间相互关系最重要的指标之一^[1]。尽管土地利用/覆盖变化是自然和人为因素共同作用的结果, 但是人为改变土地利用/覆

盖变化已经愈演愈烈, 强烈影响着全球生态系统^[2]。在发展中国家尤为普遍, 城市扩张、人口迁移、农业机械化和区域发展等社会经济发展问题引起的大范围的土地利用/覆盖变化导致了环境变化, 尤其是景观

收稿日期: 2013-03-19

修回日期: 2013-04-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于景观格局变化的黄土高原县域退耕还林还草生态效益评价研究”(41161081)

作者简介: 杭佳(1985—)女, 宁夏银川人, 在读博士研究生, 主要从事昆虫生态学和景观生态学研究。E-mail: qinleijia@126.com

通信作者: 石云(1977—), 女, 宁夏银川人, 博士, 副教授, 主要研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail: shiysky@163.com

格局的变化^[3-5]。对土地利用/覆盖变化的监测是识别区域动态及与人类活动关系的重要工具,但是作为统计资料对景观属性的描述还不够详细,例如景观组成和景观配置^[6]。由此,在斑块水平、类型水平或景观水平上定量描述土地利用变化的景观特征指数^[7]应运而生。

近年来,国内外研究开始利用结合景观特征指数的土地利用/覆盖数据来评估景观结构和格局^[8-11],但以退耕还林工程为背景对黄土丘陵生态脆弱区进行的研究相对较少。宁南山区地处中国水土流失剧烈的黄土高原丘陵沟壑区,水土流失严重,生态环境极其脆弱^[12]。本文选择该区域具有退耕还林代表性的彭阳县作为研究区域,探讨退耕还林背景下土地利用/覆盖动态与景观格局变化的相互关系,旨在为实现该区生态环境重建、生态环境与社会经济的可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

彭阳县位于宁夏回族自治区南部,地处东经 106°32′—106°58′、北纬 35°41′—36°17′,海拔 1 248~2 483 m。该区属半干旱大陆性季风气候,年平均气温 7.5℃,年降雨量 442 mm,≥10℃积温 2 746℃,平均无霜期 148 d,年蒸发量 1 330 mm。土壤以黄绵土为主,主要分布在梁峁状丘陵坡地上,土壤肥力中下,

生产水平低。地貌由梁峁、残垣、川地和沟壑组成,以梁峁状丘陵为主,是宁夏水土流失最严重的县域之一,也是全国重点水土保持区。有研究表明,退耕还林还草工程是治理宁南山区水土流失、重建生态环境的重要途径^[13]。

1.2 基础资料

本研究所用土地利用/覆盖数据主要来源于彭阳县 1991 年、2000 年、2005 年和 2010 年 TM/ETM 数据,空间分辨率为 30 m×30 m,影像时相为 8—10 月。在 ArcMap GIS 环境下,将遥感影像近红外波段、近红外短波段和蓝波段进行假彩色合成,通过人机交互目视解译先得出 2000 年土地利用类型图,再进行其他 3 期的土地利用动态解译,并结合 2010 年对土地利用类型数据准确性的实地考察验证,在 ArcMap 环境下进行编辑和修改,确定最后解译结果。参照全国土地利用分类系统,将研究区土地利用/覆盖类型分为耕地、林草地、未利用土地、水体和建设用地 5 类(表 1)。

引用土地利用动态度(K)^[14]来描述研究区土地利用/覆盖变化情况,其表达式如式(1)。

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\% \quad (1)$$

式中: K ——土地利用动态度; U_a 、 U_b ——研究初期及末期某一土地利用类型的面积(hm^2); T ——研究时段,当 T 的时段设定为年时, K 为研究时段内某一土地利用类型的年变化率。

表 1 彭阳县土地利用/覆盖类型分类系统

土地利用类型	含义
耕地	种植农作物的土地,包括新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地;以种植农作物为主间有零星果树、桑树或其它树木的土地;耕种 3 a 以上的滩地。耕地中包括宽<2.0 m 的沟、渠、路、田埂
建设用地	指城乡居民点、独立居民点以及居民点以外的工矿、国防、名胜古迹等企事业单位用地,包括其内部交通、绿化用地
水体	指河流、水库、沟渠、坑塘等
林草地	生长乔木、灌木以及用于畜牧业的土地,以及铁路、公路、河流、沟渠的护路、护岸林生长草本植物为主
未利用地	指其它未得到经济利用土地,包括荒漠、盐碱地、沙地、荒草地等

1.3 景观格局分析

景观特征指数用来定量描述和监测景观结构特征随时间的变化,能将复杂景观分为简单且易识别的景观格局^[15]。Fragstat 3.3 可以计算超过 40 种景观特征指数,但许多指数是高度相关的。根据本研究的目的,在斑块类型水平上分析景观格局时仅选择景观类型百分比(PLAND)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(MPS)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)、散布与并列指数(IJI)8 个指数。

在景观水平上分析景观格局时,仅选择斑块数量(NP)、平均斑块面积(MPS)、最大斑块指数(LPI)、

散布与并列指数(IJI)、面积加权平均形状指数(SHAPE-AM)、景观聚集度指数(CONT)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)8 个指数,分别从数量特征、形状特征和结构特征 3 个方面来表征彭阳县景观格局特征和变化^[7]。

以上数据分析采用 ArcView 3.2、ArcGIS 10.0、Excel 2003 和 Fragstat 3.3 来计算。

2 结果与分析

2.1 彭阳县土地利用/覆盖类型变化

附图 3—4 显示了研究区 1991 年、2000 年、2005

年及 2010 年土地利用/覆盖变化的空间格局。从附图 3—4 中看出,1991—2000 年彭阳县土地利用类型变化不大,以耕地和未利用土地为主。2000 年退耕还林(草)工程实施以来,林草地大量增加的同时耕地和未利用土地显著减少,土地利用类型主体为林草地。

表 2 显示了 1991—2010 年间彭阳县主要土地利用类型的面积变化。1991 年,彭阳县土地利用类型为耕地(54.79%),未利用土地(29.79%)和林草地(14.87)次之,水体(0.44%)和建设用地(0.12%)最小。2010 年,彭阳县土地利用类型转变为以林草地

(62.97%)为主,耕地(30.46%)和未利用土地(5.85%)次之,水体(0.47%)和建设用地(0.20%)最小。其中,1991—2000 年,林草地面积增加了 16 198.78 hm²,增幅为 30%,平均每年增加 1 799.86 hm²。而 2000—2010 年,林草地、水体和建设用地呈加速增长趋势,其中林草地增幅最大(66%),平均每年增加 10 533.23 hm²,建设用地次之(40%),平均每年增加 27.46 hm²,水体呈先减少后增加趋势。未利用土地和耕地呈加速减少趋势,减幅分别为 78%和 41%,平均每年分别减少 5 295.13 hm² 和 5 280.56 hm²。

表 2 彭阳县 1991—2010 年各土地利用/覆盖类型面积及比例

土地利用/ 覆盖类型	1991 年		2000 年		2005 年		2010 年		土地利用 动态度/%
	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%	面积/万 hm ²	比例/%	
耕地	13.85	54.79	12.98	51.34	7.90	31.25	7.70	30.46	−2.34
水体	0.11	0.44	0.11	0.44	0.12	0.47	0.12	0.47	1.43
林草地	3.76	14.87	5.38	21.28	14.27	56.45	15.92	62.97	16.99
未利用土地	7.53	29.79	6.78	26.82	2.96	11.71	1.48	5.85	−4.23
建设用地	0.03	0.12	0.03	0.12	0.04	0.16	0.05	0.20	3.51
总计	25.28	100	25.28	100	25.28	100	25.28	100	0

根据表 2 计算得到彭阳县该期间的土地利用转移矩阵(表 3)。分析表明,1991—2000 年,彭阳县耕地和未利用土地面积的减少同时伴随着林草地面积的增加,土地利用转移矩阵显示 12 261.30 hm² 的耕地和 4 945.72 hm² 的未利用土地都转化成为林草地,水体和建设用地的面积没有发生显著变化。2000—2005 年,研究区土地利用/覆盖格局发生了重

大变化。林草地面积显著增加,达到 142 728.31 hm² (56.45%),占研究区土地利用类型的主体,而耕地和未利用土地面积分别减少了 50 839.11 hm² 和 38 241.98 hm²,分别占土地面积的 31.25%和 11.71%。水体面积减少了 38.97 hm²,建设用地面积增加了 91.63 hm²。2005—2010 年的土地利用/覆盖格局变化同 2000—2005 年相似。

表 3 1991—2010 年彭阳县土地利用/覆盖类型转移矩阵

类型	1991 年						2000 年						2005 年						2010 年
	面积/hm ²	1	2	3	4	5	面积/hm ²	1	2	3	4	5	面积/hm ²	1	2	3	4	5	
1	138494	126233	—	12261	—	0.01	129807	78814	143.44	50485	279	84.98	78968	73973	—	4700	112	183	77001
2	1101	—	1101	—	—	—	1101	45.28	752	301	2.08	—	1062	—	1062	—	—	—	1081
3	37671	1210	—	36461	—	—	53870	30.09	139	53392	302.36	6.02	142728	383	18.89	142326	—	—	159202
4	75303	2561	—	4946	67797	—	67798	78.39	27	38719.6	28971	0.86	29555	2645	—	12252	14685	—	14846
5	266.03	3.52	—	1.50	—	261	261	0.01	—	0.21	—	260.79	353	—	—	—	—	353	536

注:1 为耕地,2 为水体,3 为林草地,4 为未利用土地,5 为建设用地。

2.2 景观格局变化

2.2.1 基于斑块类型水平的景观格局分析 表 4 显示了研究区各土地利用类型在斑块类型水平上的景观格局变化。

(1) 数量特征。1991—2000 年,耕地和未利用土地为该区土地利用类型的主体,其景观类型百分比(PLAND)呈小幅降低趋势,分别降低至 51.34%和 26.82%,林草地小幅增加,水体和建设用地所占比例不足 1%;斑块数量(NP)和斑块密度(PD)最大的景观类型是林草地,未利用土地和耕地次之,水体和建设用地最小;最大斑块指数(LPI)和平均斑块面积(MPS)最大的是耕地,其次为未利用土地和林草地,

建设用地和水体最小。2000—2010 年,林草地面积迅速增加,其景观类型百分比从 21.28%增至 62.97%,耕地和未利用土地比例分别降低至 30.46%和 5.85%,水体和建设用地比例仍然很小;斑块数量和斑块密度最大的景观类型是耕地;林草地的 LPI 和 MPS 最大,其次为耕地和未利用土地,建设用地和水体仍然最小。

(2) 形状特征。1991—2000 年,耕地和林草地的景观形状指数(LSI)降低,而水体、未利用土地和建设用地的 LSI 增大;耕地和未利用土地的面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)减小,而林草地和水体的 AWMPFD 增大,说明耕地和未利用土地是以复杂斑

块为主的景观,林草地和未利用土地则是以简单斑块为主的景观。2000—2010 年,耕地和建设用地的 LSI 呈先增大后减小趋势,林草地、未利用土地和水体的 LSI 呈减小趋势,景观类型总体趋于简单;耕地、未利

用土地和水体的 AWMPFD 呈减小趋势,林草地和建设用地呈增大趋势,耕地、未利用土地和水体是以简单斑块为主的景观,而林草地和建设用地是以复杂斑块为主的景观。

表 4 彭阳县斑块类型水平上景观特征指数的变化

年份	土地利用 类型	景观类型 比例/%	斑块数目/ 个	斑块密度 (个·hm ⁻²)	最大斑块 指数/%	平均斑块 面积/hm ²	景观形状 指数	面积加权平均 斑块分维数	散布与并列 指数/%
1991	耕地	54.79	469	19	42.50	294.92	53.02	1.31	56.68
	水体	0.44	39	2	0.08	28.12	19.68	1.22	57.38
	林草地	14.87	1161	46	0.67	31.49	56.72	1.18	48.52
	未利用土地	29.79	478	19	4.87	157.53	54.37	1.20	40.11
	建设用地	0.12	29	1	0.06	9.16	4.95	1.08	56.35
2000	耕地	51.34	554	22	32.41	234.29	58.31	1.29	57.70
	水体	0.44	38	2	0.09	28.97	19.64	1.23	59.29
	林草地	21.28	1412	56	2.25	37.24	62.29	1.20	46.00
	未利用土地	26.82	488	19	2.88	138.92	53.95	1.18	44.31
	建设用地	0.12	12	0	0.06	21.74	4.72	1.08	49.09
2005	耕地	31.25	1326	53	2.21	59.55	62.41	1.19	42.14
	水体	0.47	27	1	0.13	39.31	15.86	1.22	52.48
	林草地	56.45	209	8	35.63	677.58	52.58	1.31	45.52
	未利用土地	11.76	792	31	0.44	37.30	48.06	1.15	48.61
	建设用地	0.16	13	0	0.07	27.10	5.35	1.10	45.31
2010	耕地	30.46	1218	48	2.15	63.22	59.87	1.19	30.56
	水体	0.47	29	1	0.13	37.15	15.79	1.22	50.85
	林草地	62.97	120	5	54.41	1317.97	45.96	1.33	36.47
	未利用土地	5.85	439	17	0.22	33.64	34.74	1.14	47.66
	建设用地	0.20	18	0	0.07	29.76	5.80	1.20	57.91

(3) 结构特征。1991—2000 年,耕地、水体和未利用土地的散布与并列指数(IJI)呈增大趋势,而林草地和建设用地的 IJI 指数呈减小趋势,IJI 指数排序为水体>耕地>建设用地>林草地>未利用土地,说明水体和耕地的分布聚集度高,未利用土地的分布较为分散。2000—2010 年间,耕地、水体和林草地的 IJI 指数呈减小趋势,而未利用土地和建设用地呈先增大后减小的趋势,IJI 指数排序为建设用地>水体>未利用土地>林草地>耕地,说明耕地易受人类活动的影响,分布较为分散,建设用地和 水体分布聚集度较高。

2.2.2 基于景观水平上的格局分析 为了在景观水平上进一步了解景观格局,选择了 NP、MPS、LPI、IJI、SHAPE-AM、CONT、SHDI 和 SHEI 8 种景观指数对其进行描述,结果见图 1。1991—2010 年的 19 a 间,彭阳县景观斑块数量(NP)、散布与并列指数(IJI)、景观多样性指数(SHDI)和景观均匀度指数(SHEI)均呈先增大后减小趋势,平均斑块面积(MPS)、最大斑块指数(LPI)、面积加权平均形状指数(SHAPE-AM)和景观聚集度指数(CONT)呈先减小后增大趋势,说明 1991—2000 年,彭阳县景观破碎

化程度增强,各类斑块混合分布的程度增强,斑块形状趋于简单,斑块间连通度减弱,景观中有多个斑块类型占据主导地位,景观面积在各类型间的分配趋于均匀。2000—2010 年,该区景观破碎度减弱,各类斑块混合分布程度减弱,斑块连通性增强,景观中仅有一个或少数几个斑块类型占主导地位,景观面积在各类型间的分配不均匀(图 1)。这些结果证实了随着人类活动的增加,自然景观明显改变,多样性指数呈下降趋势,而优势度指数呈增加趋势。

2.3 土地利用/覆盖及景观格局变化驱动力分析

彭阳县土地利用/覆盖及景观格局变化受多方面因素的影响,主要受社会经济因素的影响。

(1) 1991—2000 年间,国家及自治区地方政府推出一系列优惠政策,不仅允许而且鼓励个人和集体开荒^[16],表现为阶段性不合理垦殖和过度放牧,引起地表裸露和水土流失^[17-18],直接导致耕地和未利用土地面积增加林草地面积减少。自实施退耕还林(草)工程以来,表现为耕地和未利用土地面积小幅下降,而林草地面积有所增加。水体面积在这一期间保持稳定不变,主要是因为流经彭阳县的红河、茹河和安家川河此时间段内处于相对稳定期。

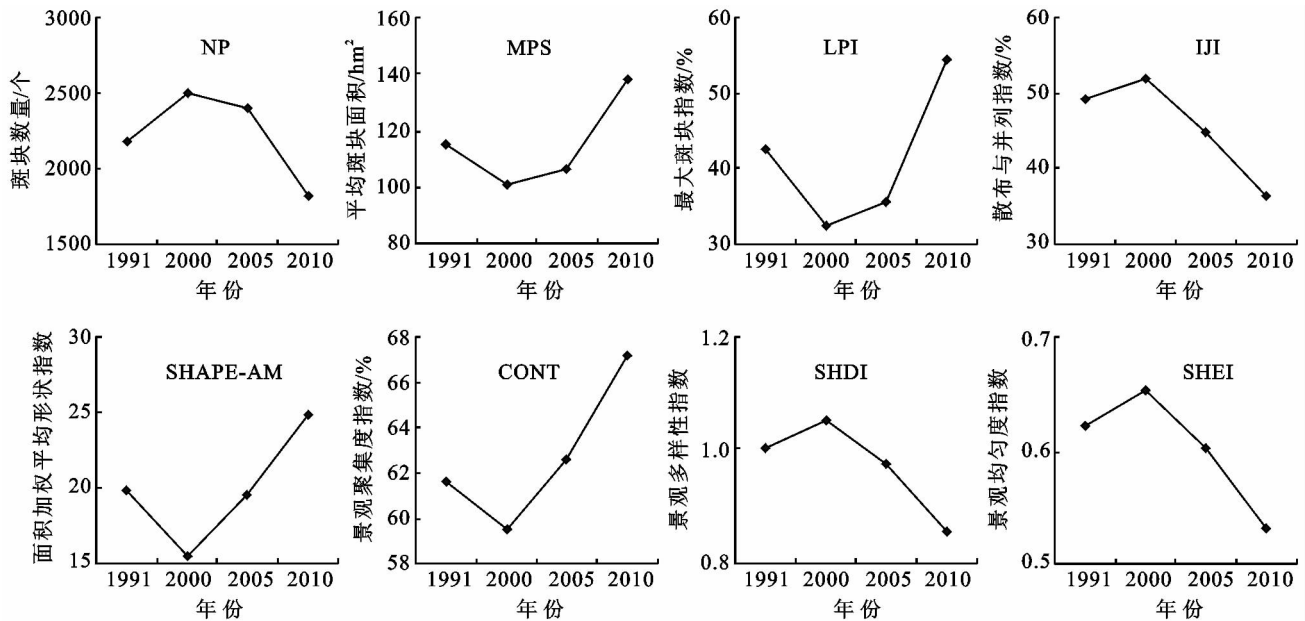


图 1 彭阳县景观水平上景观特征指数的变化

(2) 2000—2005 年是彭阳县土地利用/覆盖及景观格局变化的关键时期,退耕还林(草)、封山禁牧和荒山造林工程的实施,使坡耕地和未利用土地面积明显减少,林草面积骤增。为了进一步在全县开展生态恢复与重建工作,彭阳县经过多年实践与探索,利用拦截坝、“88542”整地技术和“鱼鳞坑”等水土保持措施^[17]合理利用仅有的天然降水,使这一期间的水体面积增加。此外,彭阳县对南山流域、草庙流域等的综合治理也是土地利用/覆盖变化的另一因素,以南山流域为例,通过建立山顶耕地保障区、山腰林草培育区和山底居民开发区来改变土地利用模式,建设用地的变化主要体现在地方政府将山上零散农户统一移至山下,导致建设用地斑块数量减少,后续又增加。2005—2010 年,土地利用/覆盖变及景观格局的变化相对稳定。

3 结论

(1) 1991—2010 年,彭阳县土地利用/覆盖变化的总体趋势是林草地面积持续增加的同时耕地和未利用土地面积骤减。水土保持、小流域综合治理和拦截坝的修建是水体面积增加的主要原因。建筑用地面积的增加主要是由县域发展和农村产业发展所引起。从研究时段来看,2000—2005 年这一中间研究阶段的变化速率较前后期更快,是彭阳县土地利用/覆盖变化的主导时期。

(2) 景观格局在各个研究时段也发生了较大的变化。数量特征变化表明,该区景观破碎化程度在 1991—2000 年增强,在 2000—2010 年减弱;形状特征变化表明,景观形状呈现规则到不规则的变化;结

构特征变化表明,1991—2000 年间景观中各类斑块混合分布的程度增大,斑块连通性减弱,景观中有多个斑块类型占主导地位,景观面积在各类型间趋于均匀;2000—2010 年,各类斑块混合分布程度减弱,斑块连通性增强,景观中仅有一个或少数几个斑块类型占主导地位,景观面积在各类型间的分配不均匀。

(3) 驱动力分析表明,1991—2000 年间,人类不合理开发和过度垦殖导致的地表裸露和水土流失是该时段内土地利用/覆盖变化的主要原因,2000 年以后,区域发展规划(退耕还林、荒山造林、封山禁牧)是研究区土地利用及景观格局变化的主要因素,并结合区域基本农田建设、农村能源建设、生态移民及后续产业发展等措施,使彭阳县土地利用/覆盖及景观格局始终保持良性发展趋势。

4 讨论

黄土丘陵沟壑区是中国土壤侵蚀最为严重的区域之一。区域可持续发展中面临的最大障碍就是水土流失问题,有效治理水土流失,恢复流域生态环境一直是黄土丘陵沟壑区土地资源可持续发展的重要问题。在进行传统土地利用与景观格局变化研究时,学者们多数强调整个景观水平上的土地利用格局变化,忽略了个别土地利用类型或该类型下某些类型格局特征对生态进程的影响,本研究中土地利用类型变化引起的景观格局特征变化对黄土丘陵沟壑区水土流失过程的影响,已由 2000 年前的耕地和未利用土地转换为 2000 年后林草地的景观格局特征。因此,在进行区域土地利用变化及景观格局变化的相关研究时,应着重考虑个别土地利用类型对土地利用格局

优化及整个区域生态进程的影响。

土地利用/覆盖类型的变化与景观格局的变化密切相关,退耕还林工程作为土地利用/覆盖变化的一个政策驱动因子,加强由退耕还林工程引起的土地利用变化对景观格局的影响研究,对评估区域土地资源可持续利用和生态环境重建具有重要指导意义。本文结合 GIS 和景观生态学方法处理和分析相关数据,初步分析了关于生态脆弱的黄土丘陵沟壑区彭阳县近 20 a 景观格局变化特征及驱动力,未来将在继续深入研究黄土丘陵区景观分析方法基础上,开展土地利用/覆盖和景观格局变化对彭阳县生态系统服务价值、生物多样性保护、小流域综合治理、水土保持及对土壤侵蚀等一系列影响的研究。

参考文献:

- [1] Ashraf M D, Yasushi Y, Md Z R. Dynamics of land use/cover changes and the analysis of landscape fragmentation in Dhaka Metropolitan, Bangladesh [J]. *Geology Journal*, 2012, 77(3): 315-330.
- [2] Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. The causes of land-use and land cover change moving beyond the myths [J]. *Global Environmental Change*, 2001, 11(4): 261-269.
- [3] Jongman R H G. Homogenisation and fragmentation of the European landscape: Ecological consequences and solutions [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 58(2/4): 211-221.
- [4] Eetvelde Van V, Antrop M. Analyzing structural and functional changes of traditional landscapes: two examples from southern France [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67(1/4): 79-95.
- [5] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. Global change and the ecology of cities [J]. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [6] Narumalani S, Mishra D R M, Rothwell R G. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(3/4): 478-489.
- [7] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, et al. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps, 2002 [DB/OL]. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- [8] Kamusoko C, Aniya M. Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura District, Zimbabwe [J]. *Land Degradation and Development*, 2007, 18(2): 221-233.
- [9] Tzanopoulos J, Vogiatzakis I N. Processes and patterns of landscape change on a small Aegean island: The case of Sifnos, Greece [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2010, 99(1): 58-64.
- [10] 伍星, 沈珍遥. 长江上游地区土地利用/覆被和景观格局变化分析 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(10): 86-93.
- [11] 阿如早, 杨持. 内蒙古多伦县土地沙漠化景观格局变化特征 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2520-2525.
- [12] 石云, 米文宝. 宁南山区退耕还林还草管理系统的建设 [J]. *水土保持研究*, 2007, 14(2): 155-157.
- [13] 石云, 焦超卫, 米文宝, 等. 基于 GIS 的彭阳县退耕还林(草)决策分析 [J]. *中国水土保持*, 2009(9): 26-28.
- [14] 赖元长, 李贤伟, 冯帅, 等. 退耕还林工程对四川盆周低山丘陵区生态系统服务价值的影响: 以洪雅县为例 [J]. *自然资源学报*, 2011, 26(5): 755-768.
- [15] Yeh C T, Huang S L. Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 93(3/4): 151-162.
- [16] 张飞, 塔西弗拉提·特依拜, 丁建丽, 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.
- [17] 刘库, 谢应忠, 李应科, 等. 宁夏南部黄土丘陵区生态退化与恢复: 以彭阳县为例 [J]. *水土保持通报*, 2006, 26(2): 54-56.
- [18] 谢应忠. 宁夏南部黄土丘陵沟壑区生态农业建设实践与研究 [J]. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 12-18.