

庆阳市土地利用变化的景观生态效应研究

付梦娣¹, 妙旭华², 全占军¹, 叶瑶^{1,3}, 王琦¹, 李俊生¹, 肖能文¹

(1. 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012;

2. 甘肃省环境科学设计研究院, 兰州 730000; 3. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 南京 210095);

摘 要:本文以甘肃省庆阳市为研究对象,选取 2005 年和 2010 年 Landsat TM 影像作为基本信息源,借助 GIS 技术和 Fragstas 4.0 软件,研究庆阳市的土地利用/覆被变化及其景观生态效应。结果表明:(1) 研究时段内土地利用/覆盖变化较大,各土地类型间转换频繁。落叶阔叶林面积大幅度减少,减少的落叶阔叶林转变为灌木林,且落叶阔叶林减少量大于灌木林增加量。耕地面积逐渐减少,草地、居住地和交通用地明显增加。(2) 庆阳市斑块数目较多,平均斑块面积在增加,但景观丰富度、边缘密度和斑块密度呈减小趋势。斑块破碎化程度在减小,景观空间异质性减小和均质化发展使得景观稳定性降低。林草地边缘效应的降低,使其景观生态功能减弱。

关键词:庆阳市; 土地利用变化; 景观格局; 景观空间异质性; 生态效应

中图分类号:F301.2;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0240-05

Land Use Change and Its Ecological Effect in Qingyang City of Gansu Province

FU Meng-di¹, MIAO Xu-hua², QUAN Zhan-jun¹,

YE Yao^{1,3}, WANG Qi¹, LI Jun-sheng¹, XIAO Neng-wen¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Institute of Environmental Science Research and Design of Gansu Province, Lanzhou

730000, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract:In this paper, with the aid of the GIS technology and the software of Fragstas 4.0, Landsat/TM images of Qingyang city in 2005 and 2010 were selected to study the land use/cover change and its landscape ecological effects. The results showed that land use/cover of Qingyang had changed greatly within these periods. Land covers between various types were frequently transformed. The area of deciduous broad-leaved forest decreased greatly and was converted into shrubbery. The decrement area of deciduous broad-leaved forest is greater than increment area of shrubbery. The area of cropland decreased, while the area of grassland, residence and traffic land increased evidently. The number and mean size of patches were added in Qingyang. However, landscape richness, edge density and patch density reduced. The patch fragmentation and landscape spatial heterogeneity decreased and the tendency of homogenize of landscape Led to the decline of landscape stability. The decrease of edge effect of woodland and grassland Led to the function declined of landscape.

Key words:Qingyang; land use changes; landscape pattern; landscape spatial heterogeneity; ecological effects

土地利用/覆被变化可引起许多自然现象和生态过程的变化,研究土地利用/覆被变化及其对生态环境的影响,对于了解区域生态环境乃至全球环境变化具有重要的意义^[1-3]。目前,这方面的研究目前注重于土地利用/覆被的时空变化过程、驱动机制、预测模

型的研究^[4-6];土地利用/覆被对气候,水文水资源,土壤以及生物多样性和生物地球化学循环等单个环境要素的影响研究^[7];以及土地利用/覆被变化产生的生态环境效应研究^[8-9]。

庆阳市地处甘肃省东部,素有“陇东粮仓”之称,

收稿日期:2014-01-10

修回日期:2014-01-25

资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2013-YSKY-16);国家科技支撑项目(2008BAC43B01)

作者简介:付梦娣(1987—),女,黑龙江饶河县人,学士,助理研究员,主要从事遥感与 GIS 应用研究。E-mail:mengdi_fu@163.com

通信作者:肖能文(1973—),男,湖南桃江人,博士,副研究员,主要从事生态风险评价、土壤动物生态学和生态毒理学研究。E-mail:xiaonw@163.com

在全国生态功能区划中属于黄土高原丘陵沟壑区土壤保持重要区,地处半湿润一半干旱季风气候带,土地利用具有农牧交错的特点,是生态环境敏感和脆弱的地区。作为我国黄土高原典型的雨养农业区,特殊的黄土结构,加之年内和年际间降水变异大,导致了该地区水土流失严重^[10]。加之庆阳市是长庆油田的主产区,石油资源储量 28.47 亿 t,2005 年原油产量 228 万 t,2010 年原油产量为 390.09 万 t^[11];庆阳市煤炭藏覆盖全市,预测储量 1 428 亿 t,占全省储量的 94%,开采前景广阔;2008 年庆阳列入省内重要的能源化工基地^[12]。随着庆阳市人口对自然资源的利用压力逐年增加,目前已超出了自然生态系统的生态承载力范围,庆阳市生态环境处于不安全状态,与此同时庆阳地区土地集约利用与经济协调发展度处于中度失调衰退类,当前的发展模式是不可持续的^[13-14]。景观生态学非常注重空间结构与生态过程的相互作用,重视大尺度上人类活动对生态系统的影响,强调时空的异质性,特别是人类活动加剧导致景观破碎化,对生物多样性的影响日趋严重,成为景观格局研究的重要内容^[15]。景观生态学的理论和方法越来越广泛的应用于土地利用、自然资源管理等方面,对于了解区域生态环境乃至全球环境变化具有重要的意义。

为了探讨庆阳市近 5 a 来土地利用变化情况以及对景观格局的影响情况,本文利用 Landsat TM 遥感数据,借助 GIS 和 RS 的空间分析和地统计分析功能,从景观生态学角度研究近 5 a 庆阳市土地利用/覆被变化以及对景观生态效应的影响,其结果将对该区域生态环境保护和生态安全建设有重要意义。

1 区域概况与研究方法

1.1 研究区域

庆阳市辖一区七县,土地总面积 27 119 km²,总人口 230.31 万。地势大致从东、北、西三面呈“箕状”向南部缓慢倾斜。庆阳市属温带半干旱半湿润大陆性季风气候,年均气温 8.9~10.4℃,年均降水量 505 mm,从东南向西北递减。多年平均总流量为 26.7 m³/s,总径流量 8.43 亿 m³,侵蚀模数达 8 000 t/(km²·a)以上。境内森林植被主要分布在子午岭,林地面积 5 470.97 km²,占总面积的 20.16%;草地是庆阳市最主要的土地利用类型,草地面积约 13 314.91 km²,占总面积的 49.1%;庆阳盛产小麦、玉米、荞麦、小米、燕麦、黄豆等特色小杂粮,境内旱地面积约 6 895.97 km²,占总面积的 25.43%。土壤类型以黄绵土和黑垆土为主。在地质构造上,庆阳市位

于鄂尔多斯盆地西南缘冲积扇发育的三角洲前缘主体上,境内含有丰富的石油、煤炭、天然气、煤层气等矿产资源。

1.2 数据来源与处理

本研究采用庆阳市 2 期 12 景 Landsat TM 影像作为基本信息源,其数据获取时间为 2005 年和 2010 年 7—9 月,主要考虑该时间段具有植被发育好、地表信息丰富等特点,有利于对各生态环境因子的判读。其中 TM 第 6 波段分辨率为 120 m 其余波段为 30 m,扫描宽度 185 km。此外还有庆阳市 1:25 万土地利用现状图、30 m 分辨率的数字高程模型(DEM),1:100 万的全国土壤数据、野外实测的地物光谱数据和社会经济统计数据资料等。

采用先预处理后信息提取的方法,使用 ERDAS 9.1 对两期影像进行 432 波段的假彩色合成,在此基础上进行直方图增强、亮度匹配等空间域增强处理。用计算机解译和人工解译相结合的方法对庆阳市的两期遥感影像进行分类,提取出来的土地利用数据以 COVERAGE 格式存储。

参照《生态十年环境感监测土地覆盖分类系统》(2013 年版),分别将庆阳市 2005 年和 2010 年土地利用情况划分为 6 个一级类型和 19 个二级类型,具体的一级土地利用类型为:林地、草地、湿地、耕地、人工表面和其它用地。

1.3 土地利用转移矩阵计算

根据两期遥感影像的土地利用分类结果,采用 ArcGIS 的 Tabulate Area 工具进行统计分析,并使用 Excel 最终得到庆阳市 2005—2010 年土地利用/履盖变化转移矩阵。

1.4 景观格局指数计算

用景观指数描述景观格局及变化,建立格局与景观过程之间的联系,是景观生态学最常用的定量研究方法。景观斑块分类的人为性很强,目前大多采用土地利用现状类型^[16-17],在分析景观结构和空间异质性变化的基础上,分析土地利用变化的景观生态效应。本文选取斑块数、斑块平均大小、斑块密度、边缘密度、Shannon 多样性指数、均匀度、优势度和破碎度来研究庆阳市景观格局变化特征,上述指数的计算方法与生态意义详见相关文献^[18-20],采用 ArcGIS 10 景观分析模块和 Fragstats 4.0 软件进行景观指数的运算。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

2005—2010 年,土地利用/覆盖变化较大,各土

地类型间转换频繁(表 1,表 2),变化较大的土地利用类型为林地、耕地、草地和人工表面。林地变化为负增长,面积减少 0.01%,其面积分别为5 474.71 km²和 5 470.97 km²,其中落叶阔叶林面积减少 13.13 km²,减少的部分主要转出落叶阔叶灌木林和草丛;针阔混交林面积减少 1.4 km²;落叶阔叶灌木林面积增加 10.79 km²,增加部分主要由旱地和落叶阔叶林转入;耕地面积减少 1.68%,其面积分别为 7 352.47 km²和 6 895.97 km²,减少的部分主要转入草地、居住地和落叶阔叶灌木林,增加的部分主要由草地与落叶阔叶灌木林转入,耕地减少面积远大于增加面积;草地面积增加 1.13%,其面积分别为 13 007.72 km²和 13 314.91 km²,其中草甸增加0.02 km²,增加的部分主要由旱地转入,草原面积增加 268.19 km²,增加的部分主要由旱地和落叶阔叶灌木林转入,草丛面积增加 38.98 km²,增加部分主要由旱地、落叶阔叶林和转入;人工表面面积增加150.58 km²,其中居住地面积增加 120.85 km²,交通用地面积增加 29.03 km²,工业用地面积增加 0.69 km²,居住地变化主要体现在各区县驻地面积的扩张上。

表 1 庆阳市 2005—2010 年土地利用统计表					
I 级分类	II 级分类	2005 年		2010 年	
		面积/ km ²	比例/ %	面积/ km ²	比例/ %
林地	落叶阔叶林	1489.42	5.49	1476.29	5.44
	常绿针叶林	0.48	0.0018	0.48	0.0018
	针阔混交林	62.36	0.23	60.96	0.22
	落叶阔叶灌木林	3922.42	14.46	3933.21	14.50
	灌木园地	0.03	0.0001	0.03	0.0001
草地	草甸	0.01	0.00	0.03	0.0001
	草原	11520.67	42.48	11788.86	43.47
	草丛	1487.04	5.48	1526.02	5.63
湿地	水库/坑塘	17.85	0.07	18.68	0.07
	河流	94.84	0.35	99.32	0.37
耕地	旱地	7352.47	27.48	6895.97	25.43
人工表面	居住地	761.36	0.04	882.21	3.25
	工业用地	28.71	2.5	29.40	0.11
	交通用地	139.64	0.51	168.67	0.62
	采矿场	0.38	0.0014	0.39	0.0014
其它	稀疏灌木林	0.09	0.0003	0.07	0.0003
	稀疏草地	201.18	0.74	199.63	0.74
	裸土	40.04	0.15	38.76	0.14
	沙漠/沙地	0.02	0.00	0.02	0.0001
合计		27119	100	27119	100

表 2 庆阳市 2005—2010 年土地利用转移矩阵																			km ²	
类型	落叶 阔叶林	常绿 针叶林	针阔 混交林	落叶阔叶 灌木林	灌木 园地	草甸	草原	草丛	水库/ 坑塘	河流	旱地	居住 地	工业 用地	交通 用地	采矿场	稀疏 灌木林	稀疏 草地	裸土	沙漠/ 沙地	总面积 (2005)
落叶阔叶林	1419.17	0.01	1.20	49.38			4.95	11.20	0.05	0.01	3.29						0.16			1489.42
常绿针叶林	0.01	0.46	0.01	0.01																0.48
针阔混交林	1.91	0.01	58.31	1.11			0.07	0.91			0.03									62.36
落叶阔叶灌木林	38.84	0.01	0.78	3740.61			60.88	39.47	0.16	0.06	24.66	15.77	0.49	0.46			0.21	0.02		3922.42
灌木园地					0.03															0.03
草甸						0.01														0.01
草原	2.75		0.05	42.36			11281.98	0.01	1.84	0.57	166.67	18.19	0.57	0.18		0.01	4.82	0.69		11520.67
草丛	9.52		0.58	29.74			0.02	1430.19	0.57	0.18	14.79	0.45	0.01	0.14			0.84			1487.04
水库/坑塘	0.01			0.11			0.39	0.06	14.98			2.13						0.15		17.85
河流	0.01			0.04			0.19	0.05		92.91	0.98	0.61	0.02	0.04						94.84
旱地	3.84		0.03	68.15		0.02	431.22	42.73	0.51	5.30	6672.84	87.84	5.83	28.37	0.02		4.45	1.31		7352.47
居住地	0.04			0.50			1.36	0.33	0.02	0.18	8.14	750.45	0.01	0.25			0.04	0.03		761.36
工业用地				0.02			0.11				0.28	5.85	22.44				0.01			28.71
交通用地				0.02							0.23	0.15		139.22						139.64
采矿场							0.01								0.37					0.38
稀疏灌木林							0.02									0.06				0.09
稀疏草地	0.18			1.07			6.53	1.07			3.09	0.45	0.01				188.43	0.33		201.18
裸土				0.10			1.13		0.54	0.11	0.96	0.30	0.01				0.66	36.22		40.04
沙漠/沙地																			0.02	0.02
总面积(2010)	1476.29	0.48	60.96	3933.21	0.03	0.03	11788.86	1526.02	18.68	99.32	6895.97	882.21	29.40	168.67	0.39	0.07	199.63	38.76	0.02	27119

2.2 景观结构特征指数变化分析

2005—2010 年,庆阳市景观丰富度在减小,斑块总数由 73 944 个减少到 72 182 个(表 3),主要表现为草原斑块减少 530 个,旱地斑块减少 427 个。平均斑块面积从 36.68 hm² 增加到 37.58 hm²(表 3),其中草地、落叶阔叶灌木林、旱地、居住地、工业用地增加较

多,常绿针叶林、针阔混交林、采矿场、沙漠/沙地却在减少,说明庆阳市城市化进程的加快。斑块密度减少 0.036 1 个/100 hm²(表 3),其中工业用地、交通用地、水库/坑塘斑块密度有所增加,草地、旱地、落叶阔叶灌木林则在减少,说明庆阳市的景观异质性在降低,工业

用地、交通用地和水体出现的频率有所增加,草地和林木林减少显著,工业用地和交通用地的边缘密度在增加,说明旱地、草地、落叶阔叶灌木林斑块边缘在简单化,而工业用地和交通用地斑块边缘在复杂化。

表 3 2005—2010 年庆阳市区景观结构特征指数变化

景观类型	斑块数/个		斑块平均大小/hm ²		斑块密度/(个/100 hm ²)		边缘密度/(m·hm ⁻²)	
	2005 年	2010 年	2005 年	2010 年	2005 年	2010 年	2005 年	2010 年
落叶阔叶林	8839	8728	15.85	15.89	0.3258	0.3218	8.25	7.7
常绿针叶林	3	3	15.48	15	0.0001	0.0001	0	0
针阔混交林	773	777	7.64	7.37	0.0285	0.0286	0.45	0.42
落叶阔叶灌木林	18388	18196	20.01	20.31	0.6778	0.6708	19.27	17.86
灌木园地	1	1	2.88	2.88	0.0000	0.0000	0	0
草甸	1	1	1.44	3.24	0.0000	0.0000	0	0
草原	12677	12147	77.99	82.53	0.4673	0.4478	37.73	33.86
草丛	6352	6092	20.1	21.31	0.2342	0.2246	7.14	6.48
水库/坑塘	176	180	3.11	3.1	0.0065	0.0066	0.06	0.06
河流	424	415	6.31	6.37	0.0156	0.0153	0.36	0.35
旱地	18795	18368	55.37	55.8	0.6928	0.6772	40.26	35.99
居住地	2600	2430	6.51	6.93	0.0958	0.0896	1.28	1.15
工业用地	76	88	5.57	5.86	0.0028	0.0032	0.03	0.04
交通用地	117	122	3.38	3.41	0.0043	0.0045	0.05	0.06
采矿场	1	1	7.92	7.2	0.0000	0.0000	0	0
稀疏灌木林	8	7	0.99	0.98	0.0003	0.0003	0	0
稀疏草地	2040	1978	8.49	8.58	0.0752	0.0729	1.3	1.18
裸土	667	637	5.13	5.18	0.0246	0.0235	0.35	0.32
沙漠/沙地	1	1	0.72	0.36	0.0000	0.0000	0	0

2.3 景观空间异质性指数变化分析

庆阳市 2005—2010 年景观空间异质性指数变化如表 4,2005—2010 年,景观的香农多样性和均匀度指数均有所提高,表明景观类型向均衡性方向发展的趋势,这也是庆阳市建设用地增加,耕地和林地面积减少的直接反映。优势度指数反映了一种或几种景观斑块支配景观格局的程度,表示景观多样性对最大多样性之间的偏差。庆阳市优势度指数由 2005 年的 1.423 2 减小为 2010 年的 1.403 0,表明景观类型比例差别在缩小。破碎度在一定程度上反映了人类对景观的干扰程度。破碎度指数由 2005 年的 2.651 9 减小为 2010 年的 2.596 9,表明景观类型总体上呈现更为简单并集中连片的分布趋势。

表 4 2005—2010 年庆阳市区景观空间异质性指数变化

年份	多样性指数	均匀度指数	优势度	破碎度
2005	1.5212	0.5167	1.4232	2.6519
2010	1.5214	0.5171	1.4030	2.5969

3 讨论与结论

基于以上分析可以看出,庆阳地区土地利用类型的景观结构和景观空间异质性指数均发生了明显变化。各景观组分表现出同化的趋势,这些变化必将对地区的生态稳定性产生显著影响。

2005—2010 年,庆阳市土地利用/覆盖变化较

大,研究时段内落叶阔叶林面积大幅度减少,减少的落叶阔叶林大部分转变为灌木林,且落叶阔叶林减少量大于灌木林增加量,耕地面积逐渐减少,草地、居住地和交通用地明显增加。耕地主要分布在庆阳南部黄土高原的塬面及沟谷地带,其面积减少主要是由于实施多年的“退耕还林(草)、封山绿化、个体承包、以粮代赈”生态退耕政策^[21]。生态退耕不仅影响着土地利用与植被空间格局,还影响植被演替、群落多样性、土壤质量和水土流失等生态功能^[22]。耕地面积减少的同时导致草地面积的大幅度增加。同时庆阳市现有森林植被的空间分布具有明显的地带性差异特征,总的特征是:西北部贫乏,中南部较少,东部相对丰富。森林植被主要分布在东部的子午岭,全部为自然更新的次生林。研究时段内,落叶阔叶林面积减少 13.13 km²,减少的落叶阔叶林大部分转变为灌木林,且减少量大于增加量。人工表面面积有明显增加,主要表现为城镇用地和农村居民点面积的扩张,工业用地的增加,境内交通基础设施建设进度的加快,反映出区域城市化进程加快的特点。

受自然地理要素的影响,庆阳市景观总体构成表现为景观破碎度较高,斑块数目较多,斑块平均大小和斑块密度都很小。研究时段内土地利用类型转移矩阵的分析表明,耕地与草地和灌木林地之间的相互转化较多,稳定不变的耕地所占比例不大,总体上耕

地面积的大量减少向其他各种景观组分都有不同程度的转移。

景观斑块破碎化程度在减小,景观稳定性降低。庆阳市 2005—2010 年,斑块数量减少 1 762 块,斑块平均面积增加 0.9 hm^2 ,表明了斑块破碎化程度降低的趋势,这主要是由于退耕还林还草政策的实施使得草地连接度升高,以及河流和交用地连接度升高所致。与此同时,景观多样性指数、均匀度指数、优势度、破碎度均呈现减小趋势,表明景观异质性在减小,景观中斑块优势度在减小,斑块类型在景观中趋于均匀分布,景观类型比例差别在缩小。景观空间异质性的减小和均质化发展必然导致景观稳定性的降低。板块边缘效应降低。斑块同化将引起相邻生态系统被边缘隔离、暴露在其他生态系统中的边缘比例减小。2005—2010 年间,边缘密度减少 $3.367 2 \text{ m/hm}^2$,林地和草地边缘效应的降低,使其对周围斑块类型的影响相应减小,景观生态功能减弱。在 1978—2005 年期间,庆阳市一直处在经济发展、环境水平下降的趋势之中,环境—经济协调度下降^[23]。近 5 a 来景观生态效应受经济开发影响依然明显。

总的来看,人类活动是庆阳市土地利用变化的主要驱动力,退耕还林还草、植树造林、天然林保护,导致耕地的减少和草地、灌木林地的增加。沟谷纵横、地形破碎,决定了庆阳市小面积斑块的主导地位与较高的景观破碎度。景观总体上表现出破碎化降低,异质性在减小,斑块类型趋于均质化发展,景观稳定性在降低。建设与恢复庆阳市景观生态系统需要对景观尺度上的土地利用方式做出必要的调整。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,陈利顶.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J].地理学报,1999,54(3):241-246.
- [2] Cotter M, Berkhoff K, Gibreel T, et al. Designing a sustainable land use scenario based on a combination of ecological assessments and economic optimization[J]. Ecological Indicators, 2014,36:779-787.
- [3] Lambin E F, Geist H J, Lepers E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions[J]. Annual Review of Environment and Resources,2003,28(1):205-241.
- [4] Wehner S, Herrmann S, Berkhoff K. CLUENaban: A land use change model combining social factors with physical landscape factors for a mountainous area in Southwest China[J]. Ecological Indicators, 2014, 36: 757-765.
- [5] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.
- [6] 刘纪远,邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报,2009,54(21):3251-3258.
- [7] Pinho P, Bergamini A, Carvalho P, et al. Lichen functional groups as ecological indicators of the effects of land-use in Mediterranean ecosystems[J]. Ecological Indicators,2012,15(1):36-42.
- [8] Kanianska R, Kizeková M, Nováček J, et al. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: A case study of Slovakia from 1782 to 2006[J]. Land Use Policy,2014,36:554-566.
- [9] 王耀宗,常庆瑞,屈佳,等. 陕北黄土高原土地利用/覆盖变化及生态效应评价[J]. 水土保持通报,2010,30(4): 134-137.
- [10] 周少平,谭广洋,沈禹颖,等. 保护性耕作下陇东春玉米—冬小麦—夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J]. 草业科学,2008,25(7):69-76.
- [11] 庆阳市统计局. 庆阳年鉴 2011[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
- [12] 沈鸿飞,张军,邱慧珍,等. 区域生态环境状况综合评价:以甘肃省庆阳市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011,25(6):13-17.
- [13] 张智全,于爱忠,罗珠珠,等. 甘肃省庆阳市生态足迹和生态承载力动态研究[J]. 草业学报,2010,19(4):187-193.
- [14] 吴好,姜珊珊. 甘肃省土地集约利用与经济耦合协调发展评价研究[J]. 水土保持研究,2012,19(6):217-222.
- [15] Turner M G, Garder K H. Quantitative methods in landscape ecology[M]. New York: Springer Verlag, 1991.
- [16] 彭保发,陈端吕. 景观尺度土地利用/覆盖变化的研究[J]. 中国农学通报,2011,27(31):1-5.
- [17] Wiens J A, Chr N, Van Horne B, et al. Ecological mechanisms and landscape ecology[J]. Oikos,1993: 369-380.
- [18] Turner M G, Gardnor R H, O'Neill R V. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process [M]. New York: Springer, 2001.
- [19] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类,应用及构建研究[J]. 应用生态学报,2002,13(1):121-125.
- [20] 蒙古军,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.
- [21] 周立华,程国栋. 庆阳地区农村生态经济发展模式与政策建议[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(3):117-120.
- [22] 岳敏,李含琳. 陇东黄土高原 PREE 系统可持续发展动态分析:以甘肃省庆阳市为例[J]. 经济地理,2009,29 (1):124-129.
- [23] 谷长磊,刘琳,邱扬,等. 黄土丘陵区生态退耕对草本层植物多样性的影响[J]. 水土保持研究,2013,20(5):99-103.