

# 玛纳斯河流域景观格局变化与地形控制分析

李慧婷, 徐丽萍, 郭鹏, 刘琳

(石河子大学 理学院, 新疆 石河子 832003)

**摘要:**以1990年、2000年、2005年、2010年四个时期的土地利用覆盖数据,玛河流域DEM为基础数据来源,在ArcGIS软件和Fragstats 3.4的支持下,采用景观单元类型转移矩阵、主要景观演化类型的地形梯度分析和空间数据叠加等方法分析了玛纳斯河流域的景观格局现状和演变特征,以及这种变化的影响因素。研究表明:玛纳斯河流域1990—2010年土地利用类型变化显著,荒漠、草地、水域以及林地面积都出现了不同程度的减少,耕地面积不断增加;玛纳斯河流域斑块形状总体趋向规则与简单的发展趋势;景观单元演变的地形梯度特征显著,表现为在各高程梯度、坡向梯度以及坡度梯度分布存在明显的地域分异规律,尤其与高程和坡度因子密切相关。说明玛纳斯河流域在经济快速发展的同时土地利用越来越丰富,规模和强度也在增大,但影响了景观稳定性和抗干扰性能。

**关键词:**玛纳斯河流域; 景观格局; 动态变化; 地形梯度特征

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0273-06

## Analysis of Landscape Pattern Evolution Characteristic and Terrain Gradient Feature from 1990 to 2010 in the Manas River Basin, Xinjiang

LI Huiting, XU Liping, GUO Peng, LIU Lin

(College of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** Landscape pattern analysis is the intuitive way to recognize the evolution of the regional ecological environment. We took the Manas River Basin as study area, and obtained the changes of data relating to landscape pattern indices using ArcGIS and the landscape pattern analysis software Fragstats 3.4 with remote sensing images of 1990, 2000, 2005, 2010 and digital elevation model data as information source. Some methods such as landscape transition matrix, spatial data overlay analysis were used to analyze the main landscape evolution and evolution of landscape pattern characteristics as well as the factors. The primary conclusions were as follows. Land use changed significantly, the landscape pattern concentrated mainly in the transformation of grassland and unused land to farmland and urban and rural, industrial and residential lands. Patch shape trended to simpleness and regularity in general. Topographic gradient feature of the landscape unit transformed significantly, showing that each elevation gradient, slope gradient and slope gradient distribution existed obvious geographical diversity, particularly were closely related to the elevation and slope factors. It was described that land use has become increasingly diverse with the rapid economic development, the scale and intensity also increased, but it impacted the landscape stability and robustness.

**Keywords:** Manas River Basin; landscape pattern; dynamic change; terrain gradient feature

土地利用/覆被变化(LUCC)研究是全球变化的重要研究课题<sup>[1-2]</sup>。土地利用/覆被格局具有典型的空

间异质性,在空间上表现为不同土地利用类型斑块的镶嵌,反映了土地生态过程的作用结果。景观格局指数可准确定量反映土地利用方式变化的时空状态<sup>[3-4]</sup>。因此,很多国际组织在土地利用/覆被变化研

究项目中都结合景观格局分析来研究土地利用/覆被变化的空间结构及变化趋势。关于流域土地利用/覆被变化及景观格局变化,国内外学者已经进行了大量研究,目前,国内学者已对滇池流域、白洋淀流域、小江流域、石羊河流域、太湖流域、澜沧江流域等开展了流域土地利用景观格局研究<sup>[5-13]</sup>。不过这些研究多

收稿日期:2014-12-12

修回日期:2014-12-31

资助项目:国家自然科学基金资助项目“天山北麓土地覆被变化与局地气候互动效应研究”(41001387)

第一作者:李慧婷(1989—),女,河南周口人,硕士研究生,研究方向:全球变化与环境响应。E-mail:1364962664@qq.com

通信作者:徐丽萍(1978—),女,新疆库尔勒人,副教授,主要从事土地覆被变化与景观生态方面的研究。E-mail:xlpalw@sina.com

数采用景观格局指数直接分析或者模型分析的方法,虽然能反映景观格局的几何特征,但往往难以揭示景观格局演化的深层规律,而且模型方法也存在不确定性。而地形作为影响景观分布最重要的原因之一,有研究表明,地形是影响景观格局最重要的自然因子,是土地利用规划和景观规划研究中必须考虑的自然因子,同时,地形也是景观演变方向和速度的重要制约因素<sup>[14-18]</sup>。但在玛河流域这样的典型干旱地区鲜有基于地形对景观格局演化规律的分析,本研究以1990年、2000年、2005年、2010年四个时期的土地利用数据以及60 m分辨率的DEM数据为信息源,借助GIS和Fragstats软件,通过利用空间数据叠加、景观转移矩阵揭示各景观类型的时空转化动态,并基于DEM数据的高程数据、坡度数据和坡向数据进行空间叠加和数理统计,探索玛河流域景观格局变化的三维特征及影响因素,为实现流域土地资源合理开发利用、景观格局的优化及可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区简介

玛纳斯河流域地处新疆天山北麓准噶尔盆地南缘,位于天山北坡经济带的中心。由南向北依次为山地、山前平原、沙漠三大地貌单元(比例约为2.83:1:1.07)<sup>[19]</sup>。从东到西依次为塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河、八音沟河及其相连的5片冲积洪积扇。各河流均发源于北天山中段,顺天山北坡向北流入干旱的准噶尔盆地,其中玛纳斯河全长400 km,是准噶尔盆地水量最大、流程最长的内陆河流,注入准噶尔盆地西北部的玛纳斯湖(已干枯)。流域行政上属于玛纳斯县、沙湾县、石河子垦区和克拉玛依部分地区。年平均降水量100~200 mm,时空分布不均。年平均蒸发量1500~2100 mm,年平均气温4.7~5.7℃,属于典型的温带大陆性干旱气候。

玛纳斯河流域在古代属于纯牧区,自清代以来成为新疆的重点开发区域之一,新中国成立以后,玛纳斯河流域成为新疆开垦的最大的人工绿洲和我国第四大灌溉农业区<sup>[19]</sup>,社会经济取得巨大发展。但是近年来,由于自然环境的变化,人口的不断增长,经济的发展,部分地区对水土资源的不合理利用等原因,使得流域土地利用发生剧烈的变化,出现了诸如尾间湖干涸、草场退化、土地沙化、盐渍化和生物多样性降低等问题<sup>[19-20]</sup>。

### 1.2 数据获取与处理

采用1990年、2000年、2005年与2010年的

Landsat TM(分辨率30 m×30 m)遥感影像数据,辅助资料为玛纳斯河流域行政区划图、土地利用图、Gooleearth等。数据处理平台为Envi 4.8, ArcGIS 10.0和Fragstats 3.4。首先利用Envi 4.8对得到的遥感影像进行预处理,之后利用监督分类法结合DEM, Gooleearth等辅助对图像进行分类。基于刘纪远等土地利用分类标准并结合研究区自身特点,将原标准进行修订最终将二级地类合并为耕地、林地、草地、水域、盐碱地、荒漠、冰川/永久积雪和城乡建设用地八个一级地类,并将栅格数据分辨率重采样为60 m,最后在Fragstats 3.4中计算景观格局指数。

### 1.3 景观格局指标选择

本研究根据数据的易取性和计算精度两方面选取斑块形状指数,包括斑块边界长度(TE)、边界密度(ED)、面积加权平均形状指数(AWMSI)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD);景观面积(TA)、景观类型面积比(PLAND)等进行景观格局分析。以上这些指数的计算方法以及生态学意义详见参考文献<sup>[4,21]</sup>,本文不再一一详述。

## 2 结果与分析

### 2.1 玛河流域景观格局现状及时间变化

玛纳斯河流域2010年景观类型总面积为3404998 hm<sup>2</sup>,把荒漠、盐碱地等未利用地作为主导景观类型,草地和耕地其次,草地和荒漠两者占景观总面积的百分比分别为35.8%和31.8%,控制着该地区的景观;其次为耕地,面积百分比为21.85%,盐碱地、水域、林地、冰川/永久积雪以及城乡建设用地五种景观类型所占面积较少,五类之和为11.6%。从面积比重看,草地应是研究区景观的基质类型(见表1)。

1990—2010年20 a间,耕地以及城乡建设用地的增加幅度最大,耕地总面积共增加了283761 hm<sup>2</sup>,增长率为61.66%;城乡建设用地虽然增加的面积不大,但增长率却非常高,达到39.1%。草地以及冰川/永久积雪减少的幅度最大,草地由1990—2010年总面积减少了184045 hm<sup>2</sup>,冰川/永久积雪的减少率更是高达29.85%。另外,荒漠、盐碱地也有不同程度的减少,林地与水域的变化幅度不大,总之,耕地和城乡建设用地面积骤增的同时伴随着草地、荒漠等其他地类面积的减少(见图1)。

### 2.2 玛河流域景观斑块形状的时间变化

描述景观斑块形状的指数有很多,包括斑块边界总长度TE、边界密度ED、面积加权平均形状指数AWMSI以及面积加权平均斑块分维数AWMPFD。

表 1 玛纳斯河流域景观单元类型面积及百分比

	1990 年		2000 年		2005 年		2010 年	
	CA/hm <sup>2</sup>	PLAND	CA/hm <sup>2</sup>	PLAND	CA/hm <sup>2</sup>	PLAND	CA/hm <sup>2</sup>	PLAND
荒漠	1134514	33.23	1143228	33.58	1122612	32.97	1082396	31.79
草地	1401862	41.06	1367801	40.17	1305850	38.35	1217817	35.77
盐碱地	113579	3.33	72312	2.12	91901	2.70	90948	2.67
水域	22964	0.67	46770	1.37	22617	0.66	25403	0.75
城乡建设用地	39252	1.15	45046	1.32	51607	1.52	54612	1.60
耕地	460211	13.48	536561	15.76	618722	18.17	743972	21.85
林地	68967	2.02	71777	2.11	70235	2.06	68396	2.01
冰川/永久积雪	173140	5.07	121503	3.57	121455	3.57	121455	3.57
合计	3414488	100	3404998	100	3404998	100	3404998	100

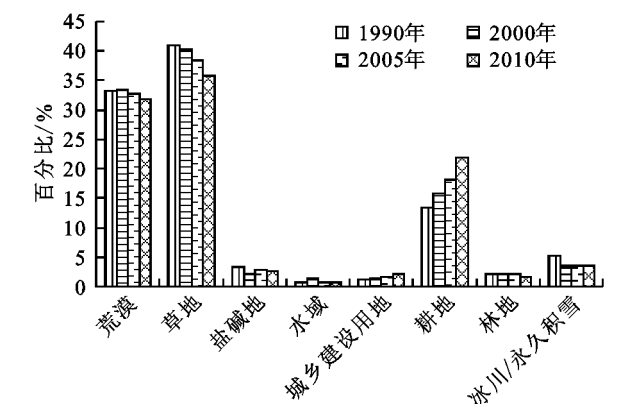


图 1 玛纳斯河流域景观单元类型面积百分比

表 2 玛纳斯河流域景观斑块形状指数

年代	TE	ED	AWMSI	AWMPFD
1990	45445800	13.3097	23.7079	1.2641
2000	44763120	13.1463	22.6414	1.2596
2005	44449440	13.0542	22.1947	1.255
2010	40379880	11.859	22.4298	1.2537

就整个玛纳斯河流域而言,1990—2010 年,研究区的斑块边界总长度 TE、边界密度 ED、面积加权平均形状指数 AWMSI 以及面积加权平均斑块分维数 AWMPFD 总体都呈下降趋势,尤其是斑块边界总长度下降趋势最为明显(见表 2),这说明玛纳斯河流域斑块形状总体趋向规则与简单的发展趋势。这可能是由近年来流域的不断开发所引起的,随着人类社会与科学技术的快速发展,大量的天然用地被开发为人工用地,使得原来小面积的人工用地发展成大面积的、连片集中的景观类型。

就玛纳斯河流域各景观类型来看,耕地的边界密度 ED、面积加权平均形状指数 AWMSI 以及面积加权平均斑块分维数 AWMPFD 在各个时期都是最大的,其次为草地、荒漠,林地、水域和城乡建设用地的各项指数均较小(见表 3)。这说明在研究期内,耕地、草地与荒漠的斑块形状指数较为不规则和复杂,这可能是由于草地与荒漠在研究区所占面积较大,与其他景观类型镶嵌分布,因此其形状不规则,而耕地

则是由于分布较分散,且单个斑块面积较小,造成斑块体形状复杂。林地、水域和城乡建设用地的斑块形状最为简单,这主要是由于这几种景观类型斑块形状都比较稳定与规则。

表 3 玛纳斯河流域景观类型斑块形状指数

年代	地域	TE	ED	AWMSI	AWMPFD
1990	荒漠	18195240	5.33	17.50	1.25
	草地	33816720	9.90	32.00	1.29
	盐碱地	1099800	0.32	6.33	1.18
	水域	2553720	0.75	2.34	1.11
	城乡建设用地	4009440	1.17	2.04	1.09
	耕地	18184200	5.33	28.21	1.29
	林地	6045840	1.77	6.98	1.20
	冰川/永久积雪	6986640	2.05	11.04	1.23
2000	荒漠	17429040	5.12	16.42	1.24
	草地	32996880	9.69	28.62	1.28
	盐碱地	1093920	0.32	7.26	1.19
	水域	2589120	0.76	2.28	1.09
	城乡建设用地	4580640	1.35	2.28	1.10
	耕地	20649000	6.06	31.35	1.30
	林地	6002640	1.76	6.91	1.20
	冰川/永久积雪	4185000	1.23	9.19	1.21
2005	荒漠	17559720	5.16	12.89	1.23
	草地	30787440	9.04	23.19	1.27
	盐碱地	989520	0.29	6.60	1.18
	水域	2477520	0.73	2.70	1.12
	城乡建设用地	5094720	1.50	2.43	1.11
	耕地	22000080	6.46	45.93	1.33
	林地	5798400	1.70	7.02	1.20
	冰川/永久积雪	4191480	1.23	9.22	1.21
2010	荒漠	16561800	4.86	11.53	1.22
	草地	25670520	7.54	23.14	1.26
	盐碱地	1082880	0.32	7.00	1.19
	水域	2541240	0.75	2.50	1.12
	城乡建设用地	5164200	1.52	2.73	1.11
	耕地	19889280	5.84	44.70	1.33
	林地	5659560	1.66	7.14	1.20
	冰川/永久积雪	4190280	1.23	9.22	1.21

1990—2010 年,不同景观类型的面积加权平均

形状指数 AWMSI 以及面积加权平均斑块分维数 AWMPFD 变化趋势是不同的,荒漠、草地、林地与冰川\永久积雪整体呈下降趋势(见表 3)。城乡建设用地与耕地有明显的增加趋势,这两种景观类型受人类活动影响最显著,尤其是近十年来,面积不断增加,在扩张的过程中导致其斑块形状趋于复杂。盐碱地、水域变化趋势不明显。

2.3 景观单元类型转换的地形梯度特征

通过对研究区 1990 年与 2000 年的土地利用数据进行叠加分析,得到景观演变面积最大的十种转化类型,分别为:草地转为耕地、荒漠转为耕地、冰川/永久积雪转为荒漠、冰川/永久积雪转为草地、荒漠转为草地、盐碱地转为荒漠、耕地转为城乡建设用地、耕地转为草地、草地转为城乡建设用地、水域转为草地。

基于研究区数字高程模型,利用 ArcMap 软件获取高程图、坡度图与坡向图,并将其分级,然后与主要

景观类型演变数据进行叠加分析,统计得出各景观演变类型在不同高程、坡向、坡度的分布情况。

根据主要景观单元演变类型分级统计结果,研究区景观类型演变存在明显的地域分异规律,在低海拔地区以草地向耕地的演变为主要演变方式,尤其是在海拔为 350~450 m 的地区,草地转为耕地的比例高达 86%;在 0~350 m 的地区,主要的景观演变类型包括荒漠转为耕地、草地转为耕地以及盐碱地转为荒漠;3 000~5 000 m 的区域,以冰川/永久积雪转为荒漠以及冰川/永久积雪转为草地为主(见表 4)。这说明近 20 a 来,随着人类活动的加剧,在人类的活动范围内,即低海拔地区,大量的天然用地演变为人工用地,包括耕地以及城乡建设用地。在高海拔地区主要表现为冰川/永久积雪转为荒漠以及冰川/永久积雪转为草地两种景观单元演变类型,这与高海拔地区冰川/永久积雪的大面积分布有关。

表 4 主要景观单元演变类型高程分级统计

转化类型	0~350 m	350~450 m	450~600 m	600~3000 m	3000~5000 m
草地转为耕地	0.37	0.86	0.74	0.68	0.00
荒漠转为耕地	0.41	0.03	0.00	0.00	0.00
冰川/永久积雪转为荒漠	0.00	0.00	0.00	0.02	0.50
冰川/永久积雪转为草地	0.00	0.00	0.00	0.11	0.38
荒漠转为草地	0.08	0.00	0.00	0.03	0.11
盐碱地转为荒漠	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
耕地转为城乡建设用地	0.01	0.03	0.14	0.03	0.00
耕地转为草地	0.01	0.04	0.03	0.05	0.00
草地转为城乡建设用地	0.01	0.02	0.07	0.04	0.00
水域转为草地	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01

景观演变类型与坡向的关系不太密切,每一种景观演变类型在各坡向的分布差异不大,只有草地转为耕地类型在北坡的分布面积明显高于南坡,冰川/永久积雪转为荒漠以及冰川/永久积雪转为草地两种景观单元演变类型主要分布在南坡,前者主要是由玛纳斯河流域的南高北低的地形特征决定的,后者主要是因为南坡温度高于北坡,造成南坡冰雪消融。整体看来,草地转为耕地在各个坡向的分布均较广,其次是荒漠转为耕地,水域转为草地的区域在各个坡向均最少,此分布规律与景观演变类型的面积排序一致,说明坡向对景观演变类型的分布影响不大(见图 2)。

坡度对景观类型演变的影响比较明显,草地向耕地的演变主要位于坡度介于 0°~10°的区域,荒漠向耕地的演变主要集中在 0°~3°的区域,这都与耕地的限制因素相关;冰川/永久积雪向其他景观类型的演变主要位于大于 10°的坡度较高的地区,在 0°~3°的区域没有分布;其他几种主要的景观演变类型多分布在坡度小于 10°的区域,尤其是盐碱地向荒漠的演变以及耕地向城乡建设用地的演变(见表 5)。此外,值

得关注的是:在 10°~20°的较陡坡区域,仍有大面积的草地转化为耕地,甚至在 40°~90°的陡坡也有部分草地转为耕地,这对生态环境的保护是极其不利的。

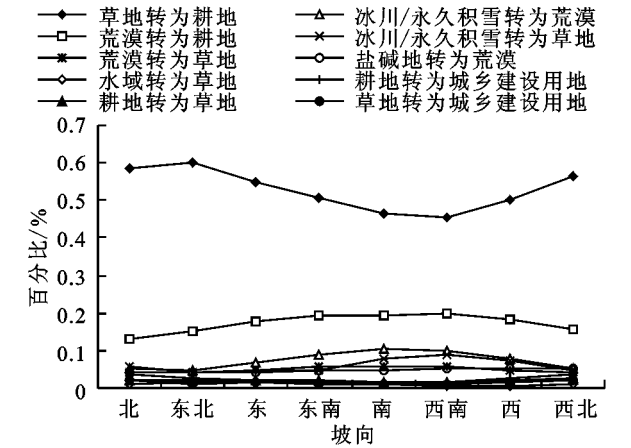


图 2 主要景观单元演变类型坡向分级统计

总体分析主要景观单元演变类型在各高程梯度、坡向梯度以及坡度梯度分布的数据发现:景观类型演变存在明显的地域分异规律,尤其与高程和坡度因子密切相关。

表 5 主要景观单元演变类型坡度分级统计

转化类型	0°~1°	1°~3°	3°~10°	10°~20°	20°~40°	40°~90°
草地转为耕地	0.64	0.56	0.43	0.11	0.01	0.02
荒漠转为耕地	0.20	0.21	0.02	0.00	0.00	0.00
冰川/永久积雪转为荒漠	0.00	0.00	0.22	0.42	0.47	0.41
冰川/永久积雪转为草地	0.00	0.00	0.14	0.32	0.40	0.44
荒漠转为草地	0.04	0.04	0.06	0.11	0.10	0.10
盐碱地转为荒漠	0.05	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00
耕地转为城乡建设用地	0.03	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
耕地转为草地	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00
草地转为城乡建设用地	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00
水域转为草地	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

3 结论与建议

玛纳斯河流域 1990—2010 年土地利用类型变化显著,荒漠、草地、水域以及林地面积都出现了不同程度的减少,耕地以及城乡建设用地面积不断增加,各景观类型面积差异不断减少。1990—2010 年,玛纳斯河流域斑块形状总体趋向规则与简单的发展趋势,城乡建设用地与耕地斑块形状趋于复杂,尤其是近十年来,面积不断增加,在扩张的过程中导致其斑块形状趋于复杂。盐碱地、水域变化趋势不明显。景观类型演变存在明显的地域分异规律,尤其与高程和坡度因子密切相关。

针对以上研究结论对土地利用规划及景观规划提出以下几个方面的建议:(1) 控制耕地与城乡建设用地的面积,尤其是耕地的面积,响应国家退耕还林与退耕还草的政策。为保证粮食产量,应该在保护生态环境的基础上,提高耕地质量。与此同时,应采用一定的措施防治土壤盐渍化与土地沙漠化。(2) 针对城乡建设用地与耕地斑块形状趋于复杂的问题,应对城乡建设用地进行合理规划,优化城乡景观格局,提高城市生产效率。(3) 根据不同地形梯度上景观格局演变类型分布结果,在低海拔、坡度小的区域,是人类主要聚集地,目前也是环境污染最严重的区域,因此在发展经济的同时,要严格控制并管理重污染型工厂、防治城市点源污染与耕地面源污染;在中低海拔、坡度较缓的区域,开发耕地会加大水土流失发生的概率,但种植果树有助于防风固沙,并且能增加经济效益;在海拔较高、坡度较大的地区,更要减少耕地的分布,把已有的耕地转为林地、草地,保持生态环境的平衡;在坡度陡的高海拔区域,植被分布主要是高山草原、草甸,景观类型主要是冰川/永久积雪以及裸地,因此该区域生态环境及其脆弱,根据生态系统的稳定性原理,此种生态环境一旦遭到破坏便很难恢

复,所以更应该加强生态环境的保护,具体做到规范并控制旅游开发,严禁破坏。

4 讨论

玛纳斯河流域作为新疆开垦的最大的 人工绿洲和我国第四大灌溉农业区<sup>[19]</sup>,社会经济取得巨大发展。近年来,由于自然环境的变化,人口的不断增长,经济的发展,部分地区对水土资源的不合理利用等原因,玛纳斯河流域的景观格局发生了变化。其中,人口增加是玛纳斯河流域景观格局变化的主要驱动因素,进入 21 世纪以来,人口的增加导致研究区耕地与城乡建设用地的面积迅速扩大,与此同时,草地与荒漠的面积逐渐减少,进而造成各景观类型面积所占比例差异减少,这一点,与以往研究得出的玛纳斯河流域景观演变类型主要以草地与未利用土地转化为耕地与建设用地的结论一致<sup>[22]</sup>。研究中发现,随着人口的增加,对耕地的需求量不断上升,在坡度较陡的区域,仍有大面积的草地转化为耕地,这对生态环境的保护是极其不利的,会大大加大水土流失的发生频率。要实现区域景观格局的优化和生态功能的良性循环,必须重视土地利用格局优化,维护景观生态过程与格局的连续性。

本文采用景观单元类型转移矩阵、主要景观演化类型的地形梯度分析和空间数据叠加等方法,分别从高程、坡向、坡度三个方面对景观格局演变的分布规律进行分析,结果表明:景观类型演变存在明显的地域分异规律,尤其与高程和坡度因子密切相关。但不同高程、坡向以及坡度带上景观演变类型对生态环境的影响及效应还未明确,在今后的研究中会对此问题进行进一步探讨。

参考文献:

[1] Turner Ii B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change. Science/Research plan [R]. IHDP Report,1995.

- [2] 冯仕超,高小红,亢健,等. 西宁市 30 多年来土地利用/土地覆被变化及城市扩展研究[J]. 干旱区研究,2012,29(1):129-136.
- [3] 傅伯杰,邱扬,陈利顶. 景观生态学的原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [5] 程刚,张祖陆,吕建树. 基于 CA-Markov 模型的三川流域景观格局分析及动态预测[J]. 生态学杂志,2013,32(4):999-1005.
- [6] 刘铁冬. 杂谷脑河流域近 30 年景观格局时空演变研究[J]. 水土保持研究,2014,21(3):98-102.
- [7] 宫继萍,石培基,杨雪梅,等. 干旱区内陆河流域景观格局及其与环境因子的关系研究①[J]. 土壤,2013,45(1):143-151.
- [8] 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.
- [9] 魏伟,石培基,周俊菊,等. 近 20 多年来石羊河流域景观格局演变特征[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(2):156-161.
- [10] 张国坤,邓伟,吕宪国,等. 新开河流域湿地景观格局动态变化过程研究[J]. 自然资源学报,2007,22(2):204-210.
- [11] 么欣欣,韩春兰,刘洪彬,等. 基于 RS 与 GIS 的沈阳市土地利用及景观格局变化[J]. 水土保持研究,2014,21(2):158-161.
- [12] 张明阳,王克林,何萍,等. 白洋淀流域景观空间格局变化研究[J]. 资源科学,2005,27(2):134-140.
- [13] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently [J]. Landscape Ecology, 2001, 16(3):235-254.
- [14] 李丹,刘丹丹,赵金祥. 基于 DEM 的山区土地利用变化分析[J]. 水土保持研究,2014,21(1):66-70.
- [15] 陈丹,周启刚,何昌华,等. 重庆山地都市区 1985—2010 年土地利用变化地形特征分异研究[J]. 水土保持研究,2013,20(5):210-220.
- [16] 高彦净,巩杰,贾珍珍,等. 甘肃白龙江流域土地利用在地形梯度上的空间分布[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2014,50(5):680-686.
- [17] 卫国,文倩,刘艳艳,等. 基于 DEM 的醴陵市土地利用空间格局分析[J]. 资源科学,2008,30(2):228-234.
- [18] 卜心国,王仰麟,沈春竹,等. 深圳市地形对土地利用动态的影响[J]. 地理研究,2009,28(4):1011-1021.
- [19] 赖先齐. 绿洲盐渍化弃耕地生态重建研究[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [20] 张宏锋,欧阳志云,郑华,等. 新疆玛纳斯河流域景观格局变化及其生态效应[J]. 应用生态学报. 2009, 20(6): 1408-1414.
- [21] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, et al. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps [EB/OL]. www. umass. edu/landeco/research/fragstats/fragstats. html, 2002.
- [22] 姜亮亮,刘海隆,包安明. 玛纳斯河流域景观格局演变特征与驱动机制分析[J]. 水土保持研究,2014,21(4):256-262.

~~~~~

(上接第 272 页)

- [13] 王雨晴,宋戈. 城市土地利用综合效益评价与案例研究[J]. 地理科学,2006,26(6):743-748.
- [14] 范辉,周晋. 河南省城市土地集约利用水平的时空演变[J]. 水土保持研究,2010,17(4):198-201.
- [15] 朱天明,杨桂山,万荣荣. 城市土地集约利用国内外研究进展[J]. 经济地理,2009,29(6):977-983.
- [16] 赵小风,黄贤金,陈逸,等. 城市土地集约利用研究进展[J]. 自然资源学报,2010,25(11):1979-1996.
- [17] 臧锐,张鹏,杨青山,等. 吉林省城市化水平综合测度及时空演变[J]. 地理科学,2013,33(10):1231-1237.
- [18] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报,2009,64(4):387-398.
- [19] 左乃先,白永平,左京平. 甘肃省城镇化质量测度[J]. 资源开发与市场,2014,30(10):1158-1161.
- [20] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报,2005,20(1):105-112.
- [21] 郑德凤,臧正,赵良仕,等. 基于协调发展度模型的经济增长与资源环境时空关联分析:兼论典型寒旱区主体功能规划的协调决策[J]. 冰川冻土,2014,36(3):740-750.
- [22] 李玉双,葛京凤,梁彦庆,等. 河北省城市土地集约利用与城市化的耦合协调度分析[J]. 水土保持研究,2013,20(2):238-249.
- [23] 乔标,方创琳,黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. 生态学报,2006,26(7):2183-2190.
- [24] 黄金川,方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究,2003,22(2):211-220.
- [25] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张[J]. 城市规划学刊,2004(4):47-52.
- [26] 姚士谋,管驰明,王书国,等. 我国城市化发展的新特点及其区域空间建设策略[J]. 地球科学进展,2007,22(3):271-280.
- [27] 马德君,王科涵,胡继亮. 西北民族地区城镇化与土地集约利用耦合度分析[J]. 财经科学,2014(3):131-140.