

玛纳斯河流域景观分异特征及其水文生态效应研究

杨卫红¹, 张军民¹, 李松霞², 徐丽萍¹, 唐湘玲¹, 王玲¹

(1. 石河子大学 理学院, 新疆 石河子 832000; 2. 石河子大学 经济管理学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 土地利用及景观变化是全球变化研究的核心议题。玛纳斯河流域是干旱区典型的山地—绿洲—荒漠生态系统, 在3S技术下, 采用定量分析方法, 研究玛纳斯河流域的景观分异特征, 并进一步分析所带来的水文生态效应, 结果表明: (1) 玛纳斯河流域土地利用的人工化和集约化趋势明显, 生态景观持续弱化; (2) 特殊的山地—绿洲—荒漠生态系统使得土地利用变化存在着区域差异, 表现在绿洲区土地利用趋向高度人工化和结构稳定性, 绿洲区外围则趋向高度敏感化与生态脆弱性; (3) 山地区、绿洲区和荒漠区呈现出不同的景观分异特征。在山地区, 洪积扇上部的开发导致了景观多样性的增加。在绿洲区, 斑块分布更加邻近且趋向简单化和归一化。荒漠区的景观变化较为复杂, 以水域的连通性和优势度降低, 未利用地的破碎化加大为主; (4) 玛纳斯河流域的景观变化扰乱了上游水文循环, 弱化了下游水资源分配。

关键词: 土地利用; 景观分异; MODS; 景观指数; 水文生态效应; 玛纳斯河流域

中图分类号: F301.24; X143

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)03-0073-06

Study on the Characteristics of Landscape Differentiation and Its Hydro-Ecological Effect in Manas River Basin

YANG Weihong¹, ZHANG Junmin¹, LI Songxia², XU Liping¹, TANG Xiangling¹, WANG Ling¹

(1. College of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 832000, China;

2. College of Economic Management, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 832000, China)

Abstract: Land use and landscape change are the core issues of global change research. Manas River Basin is a typical mountain-oasis-desert ecosystem in the arid areas. Based on the 3S technology and using the method of quantitative analysis the characteristics of landscape differentiation and its hydro-ecological effect in Manas River Basin were examined. The results showed that: (1) the artificialization and intensive trend of land use were obvious, ecological landscape continued to weaken; (2) land use changes presented the regional differences due to the special mountain-oasis-desert ecosystem, land use tended to highly altitude artificialization and structure stability in oasis area, then tended to highly sensitive and fragile ecology in periphery of oasis; (3) in mountain areas, oasis areas and desert areas, the characteristics of landscape differentiation was different, the development of foreland pluvial fan led to the increase of landscape diversity in mountain areas; the distribution of patch became more nearby and tended to simplification and normalized in oasis areas; landscape pattern change was more complicated in desert areas, giving that the priority of the dominance and dominance index of water area decreased, the fragmentation of unused land increased; (4) the landscape change disrupted the hydrologic cycle in the upper reaches of Manas River, weakened the water resources allocation in the lower reaches of Manas River.

Keywords: land use; landscape differentiation; MODS; landscape index; hydro-ecological effect; Manas River Basin

绿洲开发引起的生态安全问题一直是干旱区研究的热点^[1]。近几十年来, 水资源过度开发改变了内陆河流域生态景观格局, 削弱了水文循环生态功能, 是导致干旱区生态恶化的主要因素^[2-4]。玛纳斯河流

域(以下简称玛河流域)人工绿洲的空间扩张及相关的生态问题一直是科学家关注的焦点^[5]。热点问题集中在: (1) 景观调查及过程模拟。用资料分析及卫片判读等方法分析天然绿洲向人工绿洲的演变, 探索

水土资源时空分异机理^[6];用 3S 技术模拟流域绿洲景观及其动态演化,研究驱动因素及机制^[7];用遥感方法分析水系结构变化特征,研究人口增加、耕地扩大对绿洲面积及水系结构的影响^[8]; (2) 土地利用及景观格局变化。用 CASA 模型和遥感影像测算 LUCC 变化对绿洲植被碳储量的影响^[9];用数学模型和景观格局指数分析土地利用变化对流域景观格局的影响,研究集约农业的生态效应^[10]。上述研究大多基于较长时间周期和全流域尺度,在此时空背景下,很难区分自然因素与人类干预,也容易混淆山地、绿洲与荒漠景观的本质差异,忽略了景观过程及格局变化的尺度效应及异质性问题。因此,我们关注近十年玛河流域的景观变化,重在分析人类主导的景观空间分异特征及其水文生态效益,为有效管理及科学规划人类行为提供科学依据。

1 研究区概况及数据处理

1.1 研究区概况

玛河流域位于温带荒漠生物资源最丰富的准噶尔盆地南缘,地理位置为 84°43′—86°35′E, 43°21′—45°20′N。东西长 198.7 km,南北宽 260.8 km。流域面积 2.665 万 km²,由塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河及八音沟河沿 SSE-NNW 方向冲积而成。自然状态下,河流出口后(1 km)进入平原绿洲,经地表—地下多次循环转化形成冲积—洪积平原及三角洲平原。绿洲平原区以河流为中心向两岸及下游依次发育绿洲、过渡带、荒漠;植被从有林地、灌木林、疏林地过渡到高、中、低盖度草地直至沙漠、戈壁。植被由宽渐窄、盖度由密到稀,呈三角形逐渐尖灭于荒漠之中^[11]。因此,土地利用及景观格局变化,必然深刻影响流域水文生态过程及生态安全。

1.2 数据来源及处理

在 3S 技术平台上,采用 3 期同时相 Landsat/TM 数据,结合 1:50 000 数字栅格地形图、流域水文站点资料。用 ENVI 4.8 对图像进行几何校正、增强融合等处理,建立遥感解译及景观分类的数字影像及属性数据。在 ArcGIS 10.0 中导入图彤及属性数据,通过空间统计和叠加分析,得到流域土地利用/地表覆盖专题信息及景观分类图件,将土地利用类型划分为耕地、草地、林地、水域、建设用地、冰雪和未利用地 7 大类^[12]。

2 分析方法

2.1 土地利用总体变化表征模型

(1) 用动态度指数和趋势指数分析流域各土地

利用类型的整体变化:

$$S = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: S ——研究时段某类用地动态度(100%); U_a , U_b ——研究初期和末期该类用地的面积; T ——研究时段^[13-14]。

$$Q = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}} \quad (2)$$

式中: Q ——趋势指数; ΔU_{in} ——研究时段内其他类型转变为某一类型的面积之和; ΔU_{out} ——该类型转变为其他类型的面积之和。当 $Q > 0$ 时,则该土地利用类型处于“扩张”状态, Q 越接近 0,表明增长速度越缓慢,呈现平衡态势; Q 越接近 1,表明增长速度越快,呈现极端不平衡的态势;当 $Q < 0$ 时则具有相反的解释^[15]。

(2) 运用 GIS 技术对两期景观类型图进行空间叠置运算,获取土地类型转移矩阵,分析各地类间的双向变化情况和转移关系,为进一步探研其演变规律奠定基础^[16]。

2.2 土地利用相对变化表征模型

用相对变化率模型来表达山地—绿洲—荒漠生态系统(Mountain-Oasis-Desert System,以下简称 MODS)中各地类变化的空间差异^[17]:

$$S_{相} = \frac{S_{局}}{S_{整}} \quad (3)$$

式中: $S_{相}$ ——研究区局部某土地利用类型的相对变化率; $S_{局}$, $S_{整}$ ——研究区局部(如山地、绿洲或荒漠区域)和整体(整个流域)某土地利用类型的动态度。当 $0 < S_{相} < 1$,说明该局部土地利用类型的变化幅度小于整体的变化幅度,且该局部土地利用类型变化的趋势与整体是相同的,若 $S_{相} > 1$,说明其变化幅度大于整体的变化幅度;反之,当 $S_{相} < 0$,则说明该局部土地利用类型变化的趋势与整体是相反的。

2.3 景观格局梯度分析模型

将玛河流域的山地区、绿洲区和荒漠区作为独立单元,采用景观格局梯度分析方法^[18],利用 Fragstats 3.4 软件,在类型水平上选取百分比(PLAND)、斑块密度(PD)、斑块平均面积(AREA_MN)、最大斑块指数(LPI)、斑块结合度指数(COHESION)和分离度(SPLIT)6个指数,在景观水平上选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、平均形状指数(SHAPE_MN)、斑块结合度指数(COHESION)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀性指数(SHEI)7个指数。引用景观指数变化率公式,揭示 MODS 的景观格局分异规律:

$$N = \frac{M_b - M_a}{M_a} \times 100\% \quad (4)$$

式中: N ——研究时段内景观指数(包括类型水平和景观水平)的变化率(%); M_a, M_b ——研究初期和末期的景观指数。当 $N > 0$ 时,为增长率;当 $N < 0$,则为减少率。

3 结果与分析

3.1 玛河流域土地利用总体变化分析

玛河流域土地利用表现出“二增五减”态势,即耕地和建设用地两类用地增加,其他地类以减少为主(表1,2)。首先从变化量来看,耕地和建设用地的面积增加,为2 072.08,92.71 km²;减少变化量排在前三位的是草地、未利用地和水域,减少面积为1 015.59,901.57,213.36 km²。其次,从动态度上来说,变化比较大的是水域、耕地和建设用地,三者的动态度为-4.56%,3.86%,2.05%,表明耕地和建设用地在扩张,且速度较快,而水域面积迅速缩减。最后

从趋势指数上来说,耕地和建设用地呈现扩张的趋势,尤其是耕地,趋势指数高达0.84;草地、未利用地和水域则呈现出规模缩减、分布日益分散的不平衡态势,三者的趋势指数均在-0.6以下。从转换关系上来看,耕地获得了最大的转入量,为2 273.01 km²,且主要由草地和未利用土地转化而来,建设用地也获得了126.16 km²的转入量,主要由草地和耕地转换而来,其转入面积所占比例高达28%;草地和未利用土地的转出面积最大,为1 279.87,1 189.44 km²,但转出率最大的是水域,转出面积占原有面积的58%。另外林地也有61.52 km²的转出量。显而易见,人工景观(耕地和建设用地)不断扩张,集约化趋势明显,处于“涨势”状态,而生态景观出于“落势”状态。耕地以渗透扩张方式在核心区渐趋连片,建设用地扩张集中在洪积扇中上部,流域经济重心及新兴城市经济向洪积扇中上部沿伸的趋势明显,土地利用仍以城乡经济双向规模扩张为主,生态类景观(草地、水域及未利用地)持续弱化。

表1 2000—2010年玛河流域不同土地利用类型变化

统计类型	年份	水域	建设用地	林地	冰雪	耕地	草地	未利用地
面积/km ²	2000	467	452	717	1216	5365	10261	15572
	2010	254	544	683	1215	7438	9245	14671
比例/%	2000	1.37	1.33	2.10	3.57	15.76	30.13	45.73
	2010	0.75	1.60	2.01	3.57	21.84	27.15	43.09
变化量/km ²	2000—2010	-213.36	92.71	-33.79	-0.48	2072.08	-1015.59	-901.57
动态度/%		-4.56	2.05	-0.47	0.00	3.86	-0.99	-0.58
趋势指数		-0.64	0.58	-0.38	-0.80	0.84	-0.66	-0.61

表2 玛河流域2000—2010年土地利用类型转移矩阵

类型	冰雪	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地
冰雪	1215.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
草地	0.01	8981.11	1182.64	43.55	2.15	20.33	31.19
耕地	0.00	92.32	5164.51	71.12	14.35	3.97	19.16
建设用地	0.00	1.45	31.88	418.33	0.06	0.03	0.03
林地	0.00	0.37	58.50	1.27	655.12	0.25	1.13
水域	0.00	28.58	8.36	0.50	1.21	192.97	235.83
未利用地	0.05	141.55	991.63	9.72	9.96	36.54	14382.95
转入	0.06	264.28	2273.01	126.16	27.73	61.12	287.87
转出	0.54	1279.87	200.93	33.45	61.52	274.48	1189.44

3.2 玛河流域土地利用的相对变化率分析

通过式(3)得出各区域地类的相对变化率(图1),揭示山地—绿洲—荒漠土地利用变化的空间差异,以期对流域因地制宜地进行规划和治理。在绿洲区,各地类的相对变化率基本稳定在1.0左右,说明绿洲区土地利用的变化趋势与整个流域保持一致,也从侧面反映出绿洲区受人类活动影响最大,也是土地利用结

构最稳定的区域,并且主导着整个流域的变化趋势;在山地区,林地的相对变化率为1.16,说明山地区林地面积减少的幅度大于整体的,这与人类在冲积扇上部开垦耕地和发展城镇或工矿业密切相关,其更为严重的潜在后果是影响整个流域的水文循环。其他地类的变化趋势与流域基本同步,因此加大对上游林地等自然景观的保护至关重要;在荒漠区,耕地和建设

用地的相对变化率最小,为0.75,0.68,说明二者规模扩张的强度小于整个流域的扩张强度,这与荒漠区本身的景观基质有关,沙漠化和水资源短缺在一定程度上限制了农业发展和城市扩张。荒漠边缘的疏林和灌木林地相对变化率为1.16,面积减少幅度稍高于其他区域,这是由于人类向沙漠边缘的平沙地、草灌丛、沙堆、沙丘间洼地不断索求土地。荒漠区水域和未利用地的面积减少趋势与流域保持一致,其减少幅度略高于整个流域,人类在山地区的开发活动扰乱整个流域的水文循环的同时也弱化了荒漠区水资源的分配。总之荒漠区的土地利用变化相对复杂,反映了过渡带对土地利用变化的敏感性,荒漠区是整个流域的生态敏感区和受损区,水资源的公平分配和有序管理对玛河流域的生态安全至关重要。

3.3 玛河流域景格局梯度变化分析

由表3,图2可以看出在山地区域,水域的最大斑块指数和百分比的减少率分别是29.84%,5.33%,同时分离度的增长率高达26.09%,说明水域的面积减少且连通性显著降低,玛河上游肯斯瓦特水电站的建设改变了河流的自然状态,打乱了原本的

水文循环系统。耕地的斑块数量、密度和分离度的减少率为26.79%,27.21%,20.84%,而百分比和斑块平均面积分别增加9.68%,49.8%,说明耕地面积增加的同时连通性和结合度增强。从景观水平上来说,山地区的斑块数量和密度的减少率接近2%,均匀度和多样性指数的增加率在0.5%左右,说明山地区的景观类型更加多样。人类对山地区的干扰作用相对较小,引起景观格局发生变化的主要力量是山前过渡带的草地和部分未利用地被开发成耕地和建设用地,人工化逐渐向山前洪积扇转移。

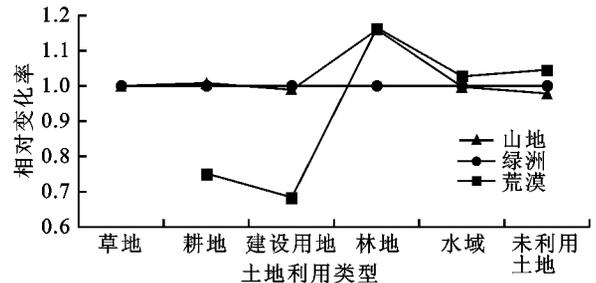


图1 2000—2010年山地—绿洲—荒漠区域土地利用的相对变化率

表3 MODS在类型水平上的景观指数变化率

区域	类型	PLAND	NP	PD	LPI	AREA_MN	COHESION	SPLIT	%
山地区	冰雪	-0.04	0.00	0.00	-0.08	-0.04	0.00	0.15	
	水域	-5.33	-1.99	-1.97	-29.84	-3.41	-0.22	26.09	
	林地	0.19	0.00	0.00	0.00	0.19	-0.01	0.00	
	草地	-0.08	-5.03	-4.95	-0.02	5.21	0.00	0.04	
	耕地	9.68	-26.79	-27.21	8.14	49.80	0.20	-20.84	
	建设用地	8.88	5.21	5.13	-9.77	3.48	0.27	-10.85	
绿洲区	未利用地	-1.16	2.10	2.08	-0.11	-3.19	-0.05	0.35	
	水域	-7.74	-8.16	-8.00	14.51	0.46	-0.76	58.73	
	林地	-26.39	-15.89	-15.95	-2.74	-12.48	-1.03	22.64	
	草地	-44.26	-27.19	-27.19	-10.21	-23.45	-1.99	141.48	
	耕地	39.12	-43.31	-43.34	110.93	145.41	0.15	-76.39	
	建设用地	20.26	8.76	8.76	65.88	10.57	1.20	-56.16	
荒漠区	未利用地	-21.26	51.29	51.33	-56.79	-47.95	-0.20	312.21	
	水域	-85.26	0.00	0.00	-85.40	-85.26	-1.67	5462.97	
	林地	245.56	125.00	129.41	250.89	53.67	7.01	-90.73	
	耕地	6591.46	1800.00	1950.00	6313.46	252.18	12.90	-99.97	
	建设用地	8.27	6.16	6.29	0.00	2.06	-0.19	-4.70	
	未利用地	0.76	633.33	700.00	0.75	-86.26	0.00	-1.48	

在绿洲区域,耕地的斑块数量、密度和分离度降低,减少率为43.31%,43.34%,76.39%,而百分比、最大斑块指数和平均斑块面积的增长率分别高达39.12%,110.93%,145.41%,可见耕地的集聚程度加大,日渐趋连成片,土地的集约利用和规模化生

产方式极大地影响绿洲区以及整个流域的景观格局变化。林地和草地的PLAND, NP, PD, LPI, AREA_MN, COHESION均为下降趋势,且SPLIT呈增加状态,作为整个流域的核心绿洲区,土地利用方式以经济效益为准则,林、草地被其他用地大规模

占用,尤其是耕地和建设用地,林、草地被分割成更小的斑块,分布日渐分散。建设用地的百分比和最大斑块指数的增长率为20.26%,65.88%,而分离度降低56.16%,表明建设用地呈现持续的集聚扩张趋势,优势度不断提高,成为影响绿洲区景观格局的重要类型。未利用地的景观格局变化非常明显,斑块数量、密度和分离度的增长率为51.29%,51.33%,312.21%,同时百分比、最大斑块指数和平均斑块面积分别降低了21.26%,56.79%,47.95%,说明未利用地的优势度降低,被其他用地占用和分割,斑块更加破碎,连通性显著降低。水域的百分比、斑块数量、密度均降低,最大斑块指数和分离度增加了14.51%,22.64%,灌溉面积的增加加剧了水资源的消耗,加之人工水库水渠代替了天然河道,使得河流被阻断,空间连接性降低。从景观水平上来看,绿洲区的斑块数量、密度、分离度、均匀度指数和多样性指数分别降低了14.86%,14.86%,47.69%,10.3%,10.29%,最大斑块指数增长率为76.09%,说明各景观类型邻近程度增加,土地利用更加集约高效,在绿洲内部,斑块形状的复杂性随着农业化水平和城市化水平的提高而降低,趋于简单化归一化。总的来说,绿洲区是流域内的生态受益区,同时也是人类活动最频繁的、景观人工化程度最大的区域,景观格局受到各种土地利用方式的综合影响,从而达到一种制约性的平衡。

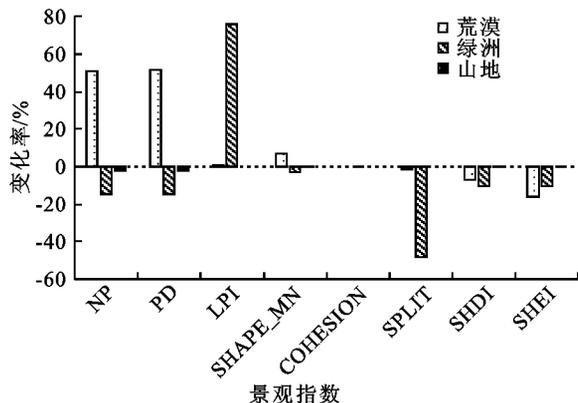


图2 MODS在景观水平上的景观指数变化率

在荒漠区域,水域的百分比、最大斑块指数和斑块平均面积的减少率为85.26%,85.4%,85.26%,分离度降低了5462.97%,优势度和连通性显著降低,这是由于荒漠位于玛河下游,水资源被中上游绿洲平原区大量消耗,加之古尔班通古特沙漠的干旱环境,水量日益减少,以致出现断流和尾间湖干涸。耕地的百分比、斑块数量、密度、最大斑块指数、斑块平均面积和结合度均剧增,这是由于人类在绿洲—荒漠过渡带开垦农田,绿洲化不断向荒漠推进。未利用地在荒漠区占据绝对优势的地位,其斑块数量、密度的增长率分别高达

633.33%,700%,且斑块平均面积降低了86.26%,反映了未利用地的破碎化程度加大,这与人类向沙漠进军的活动不无关系。从景观水平上来看,荒漠区的景观变化动态相当剧烈,可与绿洲区相媲美。荒漠区的斑块数量、密度和平均形状指数的增长率为51.18%,51.35%,7.28%,均匀性和多样性指数的减少率为16.01%,6.55%,说明荒漠区景观的形状日趋复杂,不规则性和破碎度增加的同时由于人类活动的参与和高强度开发,斑块的分布日渐均匀。人类为了满足生活生产需要,开始向绿洲—荒漠过渡带索求土地,尤其是荒漠边缘日益受到人类活动的影响,加之水资源的短缺,生态更加脆弱。

3.4 水文生态效应分析

近十年玛河流域土地利用和景观格局发生变化,且山地、绿洲和荒漠表现出不同的分异特征,所带来的水文生态效应显著,流域水文循环及水资源配置发生了明显变化。自1962年主干渠引水工程建成后,玛河出山口径流被全部拦蓄并引入灌溉,流域天然水系完全被人工渠库所替代。采用典型年法对红山嘴渠首站水文监测资料及各平原水库放水口统计资料分析得出:目前人工输水通量占到流域降水通量的80%以上,灌区生产生活用水蒸发构成的人工用水蒸发已占绿洲蒸发总量的70%以上,由水库、渠系、田间构成的人工转化补给量已占到绿洲区地下水补给量的62%,下游已占总补给量的73.5%,人工开采已占总排泄量的41.78%,人工补排成为地下水的主要收支项^[10-11]。这一方面导致上游天然来水减少,如1962年以前,上游溢出带泉水流量为4.29~5.00亿m³/a,2010年减少到1.1亿m³,目前仅有1.40亿m³,天然绿洲因失去补给而趋于萎缩;另一方面造成绿洲周边及下游水量逐渐减少,如石河子市区自1964—2010年地下水位下降了12~18m,玛纳斯县城西侧地下水位年均下降0.17m,安集海1号水源地地下水位年均下降0.49~1.28m,玛纳斯县新户坪水库北侧及玛纳斯平原林场分别形成了两个中心下降值为14.35,11.65m的下降漏斗区,绿洲外围生态稳定性遭到破坏。

4 结论与讨论

(1) 玛河流域土地利用的人工化和集约化趋势明显,人工景观处于“涨势”状态,生态景观持续弱化。这与玛河流域半个多世纪的开发背景不无关系,20世纪50年代湖泊、草地、胡杨林、河谷林等类型的天然绿洲广布,而后耕地、园地、居民点、水库等人工绿洲面积扩大,天然绿洲面积则减少了84008hm²,其中沼泽、湖泊、草地、灌木林分别减少32846,4674,

45 276,12 112 hm²,人工绿洲的增加是以天然绿洲的减小为代价的^[11]。

(2) 玛河流域土地利用变化存在着区域差异,其中绿洲区各地类的相对变化率最小,土地利用趋向高度人工化和结构稳定性,成为整个流域土地利用变化的核心驱动;山地区各地类的相对变化率较小,主要体现在对冲积扇上部林地、草地和未利用地的开发;荒漠区各地类的相对变化率较大,动态变化较为复杂,表现出绿洲外围区域对土地利用变化的高度敏感化与生态脆弱性。

(3) 玛河流域山地—绿洲—荒漠呈现不同的景观分异特征。山地区的景观格局变化以水域的连通性降低和耕地的优势度增加为主,山地区景观多样性的增加与洪积扇上部的开发活动息息相关;绿洲区景观格局变化显著,主要表现在林地、草地、水域和未利用地等自然景观被分割占用而更加破碎化,耕地和建设用地集聚扩张,优势度和连通性显著增加,人工化主导的绿洲区各景观分布更加邻近集中,斑块日趋简单化归一化;荒漠区景观分异比较复杂,水域的连通性显著降低,耕地等人工景观的优势度增加,未利用地的破碎化程度明显加大。对沙漠边缘的平沙地、草灌丛、沙堆、沙丘间洼地的开发是荒漠区景观分异的主要驱动力。

(4) 玛河流域土地利用和景观格局的变化带来了一系列的水文生态效应。玛河上游水电站的建设、冲积扇上部土地的不合理开发、绿洲灌溉区水资源的高消耗及人工渠库代替天然水系是导致上游水文循环紊乱和下游水资源配置弱化的主要原因,既导致了灌溉用水和总蒸发的快速增加,也使下游来水减少、河源萎缩、尾间湖干涸、地表径流对地下水的补给减弱,绿洲区周边环境的生态效益也不断退化。

参考文献:

- [1] 陈亚宁,郝兴明,李卫红,等. 干旱区内陆河流域的生态安全与生态需水量研究[J]. 地理科学进展, 2008, 23(7): 732-738.
- [2] 王涛. 干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J]. 中

国沙漠, 2009, 29(1): 1-9.

- [3] 陈曦. 中国干旱区土地利用与土地覆被变化[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 陈曦, 罗格平. 干旱区绿洲生态研究及其进展[J]. 干旱区地理, 2008, 31(4): 487-495.
- [5] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 63-72.
- [6] 程维明, 周成虎, 刘海江, 等. 玛纳斯河流域 50 a 绿洲扩张及生态环境演变研究[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2005, 35(11): 1074-1086.
- [7] 凌红波, 徐海量, 乔木, 等. 1958—2006 年玛纳斯河流域水系结构时空演变及驱动机制分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1129-1136.
- [8] 杨发相, 马虹, 穆桂金, 等. 新疆玛纳斯河地区绿洲的形成与演变研究[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4): 276-280.
- [9] 柳梅英, 包安明, 陈曦, 等. 近 30 a 玛纳斯河流域土地利用/覆被变化对植被碳储量的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 926-937.
- [10] 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 近 50 a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [11] 张军民. 新疆玛纳斯河流域水资源及水文循环二元分化研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 857-863.
- [12] 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.
- [13] 马松增, 史明昌, 杨贵森, 等. 基于 GIS 的土地利用时空动态变化分析: 以塔里木盆地农垦区为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 177-181.
- [14] 满苏尔·沙比提, 祖丽胡玛尔·达吾提. 南疆典型绿洲土地利用空间格局变化特征分析: 以疏勒县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(8): 84-88.
- [15] 朱磊, 罗格平, 陈曦, 等. 伊犁河中下游近 40 a 土地利用与覆被变化[J]. 地理科学进展, 2010, 29(3): 292-300.
- [16] 侯志华, 马义娟. 黄土高原汾河流域地表景观演变特征研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 92-97.
- [17] 孙倩, 塔西甫拉提, 丁建丽, 等. 干旱区典型绿洲土地利用/覆被变化及其对土壤盐渍化的效应研究[J]. 地理科学进展, 2012, 31(9): 1212-1223.
- [18] 范庆亚, 吴国平, 马庆申, 等. 基于 GIS 的临沂市土地利用景观格局梯度分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 230-239.