

近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域 景观格局的影响

——以新疆玛纳斯河流域为例

冯异星^{1,2,3}, 罗格平^{1,2}, 周德成^{1,3}, 韩其飞^{1,3}, 鲁 蕾^{1,3}, 许文强¹, 朱 磊^{1,3},
尹昌应^{1,3}, 戴 丽^{1,3}, 李艳忠^{1,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:土地利用变化与景观格局间的相互作用机制是全球环境变化的研究焦点。大规模土地开发导致的土地利用变化及其对景观格局影响的定量评估对区域土地资源可持续利用具有重要意义。评价长时间尺度土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响, 以期经济发展与生态环境保护政策的制定提供有益信息。选择的研究区新疆玛纳斯河流域是中国西北干旱区水土开发的典型代表区域。以 1962 年地形图、1976、1989、1999 和 2008 年遥感影像为基础数据源, 利用数学模型和景观格局指数重建土地利用和景观格局变化过程, 并探讨了土地利用变化对流域景观格局的影响。结果表明: (1) 近 50a 玛纳斯河流域土地利用变化剧烈, 耕地和建设用地的“涨势”显著, 未利用地和林地“落势”较明显, 草地和水域先“涨”后“落”, 土地利用变化整体处于不平衡态, 单向转换频繁。(2) 研究区景观破碎度和多样性增加, 优势度减小, 各景观类型间差异缩小, 异质性程度和景观结构复杂性加大。(3) 土地利用变化改变了流域景观格局, 导致景观结构趋于多样化、均匀化和破碎化。最后, 提出通过发展大规模集约化农业降低土地利用变化引起景观格局负面生态效应的观点。

关键词:土地利用; 景观格局; 玛纳斯河流域; 50a 变化; 干旱区

Effects of land use change on landscape pattern of a typical arid watershed in the recent 50 years: a case study on Manas River Watershed in Xinjiang

FENG Yixing^{1,2,3}, LUO Geping^{1,2}, ZHOU Decheng^{1,3}, HAN Qifei^{1,3}, LU Lei^{1,3}, XU Wenqiang¹, ZHU Lei^{1,3}, YIN Changying^{1,3}, DAI Li^{1,3}, LI Yanzhong^{1,3}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: The mechanism of interaction between land use change and landscape pattern have been regarded as the research pivot in the field of global environment change. The quantitative evaluation on land use change as well as the influence of which on landscape pattern caused by land exploitation and reorganization at a large scale is significant to the sustainable utilization of local land resources. The objective of this research is to evaluate the influence of land use change on the landscape pattern of a typical watershed in the arid area at a long time scale, which could provide useful information for making decisions on economical development and environmental protection. The study area in this research, the Manas

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB825105);中国科学院研究生科技创新与社会实践资助专项(2009);中国科学院“西部之光”人才培养计划资助项目(XBBS200903)

收稿日期:2010-01-21; 修订日期:2010-05-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yixingfeng@gmail.com

Manas River Watershed in Xinjiang, belongs to a typical area with dramatic exploitation and use of water and land resources in the arid area of the northwestern of China. Required data consist of topographic maps in 1962 and remote sensing images taken in 1976, 1989, 1999 and 2008. Based on these data, we use mathematical models and index of landscape pattern to rebuild the process of changes in land use and landscape pattern, and analyze the influence of land use change on the landscape pattern. The results show that: (1) the land use in Manas River Watershed changed dramatically in the recent 50 years. Cropland and built-up land obviously increased with the trend and status index of 0.83 and 0.81, respectively. The unused land and woodland presented decreasing trends with the trend and status index of -0.67 and -0.51. However, the grassland and water decreased following an increase, the trend and status index of which is 0.2 and 0.45, respectively. In the study period, the comprehensive trend index is 0.55, and the land use change was overall in unbalanced status dominated by one-way transition. (2) The fragment and diversity of the landscape increased in the study area, and the fragment index increased from 0.2×10^{-6} in 1962 to 0.116×10^{-4} in 2008, the diversity increased from 1.2568 in 1962 to 1.4358 in 2008. Both the heterogeneity and the complexity of the landscape experienced an increase during this period. In contrast, the dominance decreased from 0.5350 of 1962 to 0.3559 of 2008. (3) The land use change drives the landscape pattern of the watershed developing towards diversity and fragmental structure. As a conclusion, developing intensive agriculture reduced the negatively ecological effects on landscape pattern evoked by land use changes.

Key Words: land use; landscape pattern; Manas River Watershed; change in 50 years; arid area

土地利用/覆被变化(LUCC)被认为是全球变化的主要决定因素之一,对生态系统、全球生物地球化学循环和气候变化以及人类脆弱性有重要影响^[1]。随着对 LUCC 研究的深入,人类更加认识到此研究的实质是为进一步理性利用土地服务,对人类现时土地利用状况进行评估,预测未来土地变化方向,提出合理的土地利用模式,最终实现土地的可持续利用^[2-4]。LUCC 可以发生在任意空间尺度,作为自然区域小尺度的流域具有独特的水文循环和能量交换特点,流域土地利用变化将对更大尺度的自然生态系统产生影响,而景观变化是最直观的标志。人类活动对流域景观格局的直接影响表现为在大规模水土开发过程中,改变了水资源的时空分布,导致部分原始植被退化,部分变为人工植被和人工聚居区^[5];间接影响为地下水的过度开采和地表水的重灌轻排所引起的区域地下水位下降或上升,间接改变了区域土壤特征和其上的植被生长状态,使流域景观呈现荒漠化和盐渍化^[6]。认识土地利用变化与景观格局之间的相互作用机制已成为土地变化科学的核心问题,开展此项研究,对区域土地资源可持续利用和受损生态系统的恢复与重建具有重要理论和现实意义。

自 LUCC 研究实施以来,在“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球环境变化人文计划”(IHDP)的共同推动下,国内外众多学者对 LUCC 的过程与趋势^[7-8]、驱动力^[9-10]及产生的生态效应^[11-12]进行了大量研究,其中涉及玛纳斯河流域的案例也有报道^[13-17],但共同缺点是数据源时段较短且分布不均匀,研究相对零散,基于流域尺度的、全面、综合、长时间尺度的 LUCC 研究并不多见,另外涉及干旱区 LUCC 与景观格局相互影响的研究相对薄弱。因此,本文以新疆天山北坡玛纳斯河流域为例,运用遥感和 GIS 技术以及景观生态学方法,依据建立的 5 期土地利用数据,分析研究区 LUCC 过程与景观格局动态,并探讨土地利用变化对景观格局影响的一般规律,以期为该地区土地资源可持续利用、生态环境评价提供决策支持和科学依据。

1 研究区概况

玛纳斯河流域位于新疆天山北麓、准噶尔盆地南缘,行政区域包括石河子市、沙湾县和玛纳斯县,以及分布在两县境内新疆生产建设兵团农八师和农六师的农牧团场。地理位置 $43^{\circ}27'—45^{\circ}21'N$, $85^{\circ}01'—86^{\circ}32'E$, 流域总面积约 $2.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,地势由东南向西北倾斜,海拔最高 5242m,最低 256m,地形坡降 1/30—1/100,由南向北依次分为山地、山前平原和沙漠三大地貌类型区。流域属内陆干旱区,夏季炎热干燥,冬季寒冷多风,年均气温 6.8°C ,年降水量 110—200mm。流域内自东向西分别为塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河与巴音沟

河,均发源于天山北麓依连哈比尔尕山脉,由南向北流入准噶尔盆地,其中玛纳斯河全长 324km,山区集水面积 5156km²,多年平均径流量 $11.79 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大年径流量 $19.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2002 年数据),最小年径流量 $10.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[18],是准噶尔盆地水量最大、流程最长的内陆河。

玛纳斯河流域水资源开发始于清代,新中国成立初期,灌溉面积为 $1.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,干支渠总长 117km,年引水 $0.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,无永久引水渠首和水库。新中国成立后随着解放军进驻新疆建场屯垦以来,经过 40 多年的开发治理,玛纳斯河流域基本形成引、蓄、输水比较完善的灌溉供水体系,河水、库水、井水和泉水统一使用,是新疆水资源利用率较高的灌区,同时是中国第四大灌溉农业区。玛纳斯河流域现有有效灌溉面积 $24.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,已建成 9 座大中型平原水库,总库容 $5.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,干支渠 285 条,全长 956km,斗渠 2687 条,全长 3528.8km,年引水量 $16.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,各类水工建筑物 3282 座,配套完好机井 937 眼^[19]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据与处理

玛纳斯河流域土地利用数据库的时间间隔为 1962—2008 年,共分为 5 个时间段,1962 年、1976 年、1989 年、1999 年和 2008 年。研究选用数据源为 1962 年 1:100000 地形图,1976 年 Landsat MSS、1989 年 TM、1999 年和 2008 年 ETM 遥感影像(表 1),利用 ERDAS IMAGE 图像处理软件和 1:100000 地形图对上述影像进行几何校准和拼接,生成以上 5 个年份的影像图。在综合考虑遥感影像数据光谱信息和纹理特征的基础上,结合干旱区特点,对土地资源分类系统^[20]进行合并处理,将研究区土地利用/覆被划分为 6 个类型,包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地。对于一些线状地物,如部分公路、农村道路、沟渠和防护林带等,因技术处理原因无法单独分类,故分别划入到上述地类之中,不再单独列出。在 ARCGIS9.2 支持下,针对研究区 1976、1989、1999 和 2008 年遥感影像图,按照上述分类系统进行遥感影像机助解译并数字化,建立拓扑关系,生成 4 期土地利用图形数据与相应的属性数据。1962 年土地利用数据以 1962 年 1:100000 地形图作为数据源,采用直接判读法进行土地利用数据矢量化提取。1962 和 1976 年土地利用数据以 70 年代 1:47000 黑白航片评价,Kappa 系数分别为 66.44% 和 71.88%,1989 年土地利用数据以 80 年代 1:47000 彩色航片进行评价,Kappa 系数为 81.88%^[13],1999 和 2008 年分别采用 2002 和 2008 年野外考察结果进行精度评价,Kappa 系数分别为 85.45% 和 87.56%。

表 1 数据源信息

Table 1 Information on the data sources

年份 Year	数据类型 Data type	地形图绘制时间/遥感影像(轨道号,采集时间) Time topographic mapping/remote sensing images(path/row, collection time)
1962	地形图 Topographic data	1:100000, 1958 年航摄, 1959 年调绘, 1962 年出版, 共 35 张 Derived from aerial photography in 1958, mapped in 1959, published in 1962, including 35 maps in total
1976	MSS (79m × 79m)	155/29, 1976-07-15
1989	TM (30m × 30m)	144/29, 1989-09-10; 143/29, 1988-01-26; 144/28, 1989-08-09; 144/30, 1989-09-10
1999	ETM (30m × 30m)	144/29, 1999-07-04; 144/28, 1999-07-04; 144/30, 1999-10-17
2008	ETM + (30m × 30m)	143/29, 2008-08-06; 144/29, 2008-08-29; 144/30, 2008-08-29

2.2 土地利用变化表征方法

土地利用变化过程和趋势可通过定量化的要素或数值如总变化、净变化、状态、方向和趋势等来表征,指数的数学表达式如下:

$$N_c = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times 100\% = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{U_a} \times 100\% \quad (1)$$

$$T_c = \frac{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}}{U_a} \times 100\% \quad (2)$$

$$P_s = \frac{N_c}{T_c} = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}}, (\Delta U_{in} + \Delta U_{out} \neq 0 \text{ 且 } -1 \leq P_s \leq 1) \quad (3)$$

$$S_a = \frac{\sum_{i=1}^n |U_{bi} - U_{ai}|}{2 \sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta U_{in-i} - \Delta U_{out-i}|}{2 \sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% \quad (4)$$

$$S_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta U_{in-i} - \Delta U_{out-i})}{2 \sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_{out-i}}{\sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_{in-i}}{\sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% \quad (5)$$

$$P_t = \frac{S_a}{S_s} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta U_{in-i} - \Delta U_{out-i}|}{\sum_{i=1}^n (\Delta U_{in-i} - \Delta U_{out-i})}, (S_s \neq 0 \text{ 且 } 0 \leq P_t \leq 1) \quad (6)$$

式中, N_c 、 T_c 和 P_s 分别为单一土地类型 A 的面积净变化指数、总变化指数和趋势与状态指数。 S_a 、 S_s 和 P_t 分别为所有土地类型的综合净变化指数、综合总变化指数和综合趋势与状态指数。 U_a 、 U_b 分别为研究初期和末期某土地利用类型 A 的面积; ΔU_{out} 为研究时段内类型 A 转变为其它类型的面积之和; ΔU_{in} 为同期其它类型转变为 A 的面积之和。 U_{ai} 、 U_{bi} 分别为研究初期和末期第 i 种土地类型的面积; ΔU_{out-i} 为研究时段内第 i 种土地类型转变为其它类型的面积之和; ΔU_{in-i} 为其它类型转变为第 i 种类型的面积之和; n 为土地利用类型数。

模型中各参数的意义及其详细说明可参阅文献^[21-22]。

2.3 景观格局变化表征模型

景观格局既是景观异质性的具体体现, 又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[23]。依据研究目标、分析尺度和指数所表达的生态学意义选取适当景观指数可详尽刻画景观格局及动态趋势^[24]。本文选择景观多样性、优势度和破碎度指数来分析景观结构和空间变化, 并探讨景观格局的时空变异规律, 各景观指数的数学表达式如下:

$$\text{多样性指数} \quad H = - \sum_{k=1}^m p_k \ln p_k \quad (7)$$

$$\text{优势度指数} \quad D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m p_k \ln p_k \quad (8)$$

$$\text{破碎化指数} \quad FN = (N_p - 1) / N_c \quad (9)$$

式中, P_k 为景观类型 k 所占面积的比例, m 为景观类型的数目, N_p 表示景观中各类斑块总数, N_c 为研究区总面积与最小斑块面积之比, 指数中各参数的意义及其详细说明可参阅文献^[25]。

3 结果与分析

3.1 玛纳斯河流域土地利用变化过程

1962—1976 年玛纳斯河流域土地利用变化极其显著(图 1、表 2), 整体处于不平衡态, 以建设用地、耕地转入与未利用地转出为主要变化形式。其中耕地面积由 1902.95 km² 增加到 4186.41 km², 净变化达 120.00%, 趋势指数为 0.69, 表明在此期间耕地处于“涨势”, 主要为其它土地类型转变为耕地; 建设用地面积较 1962 年增加了 209.47 km², 总变化和净变化分别达 470.01% 和 349.23%, 为时段最高, 趋势指数为 0.74, 说明建设用地变化处于不平衡态; 草地和水域也有较明显增加, 净变化分别为 39.24% 和 59.15%; 未利用地变化量最大, 14a 间共减少 4401.77 km², 趋势指数为 -0.69, 处于“落势”, 以转出为主; 期间处于“落势”的还有林地, 净减少 790.37 km²。从空间上看, 本时段土地利用变化以石河子市周边和“西岸大渠”北岸为主要区域, 大量未利用地和林地转变为耕地, 玛纳斯县南部中山带也有部分未利用地转变为草地。

1976—1989 年玛纳斯河流域土地利用变化处于极端不平衡态, 以单向转换为主。耕地面积净增 246.04 km², 趋势指数为 0.87, 呈不平衡态“涨势”; 建设用地和水域以转入为主, 其中建设用地变化趋势指数为 1, 即无转出情况; 草地和未利用地面积由 8068.04 km² 和 6297.96 km² 减少到 7848.94 km² 和 5787.67 km², 趋

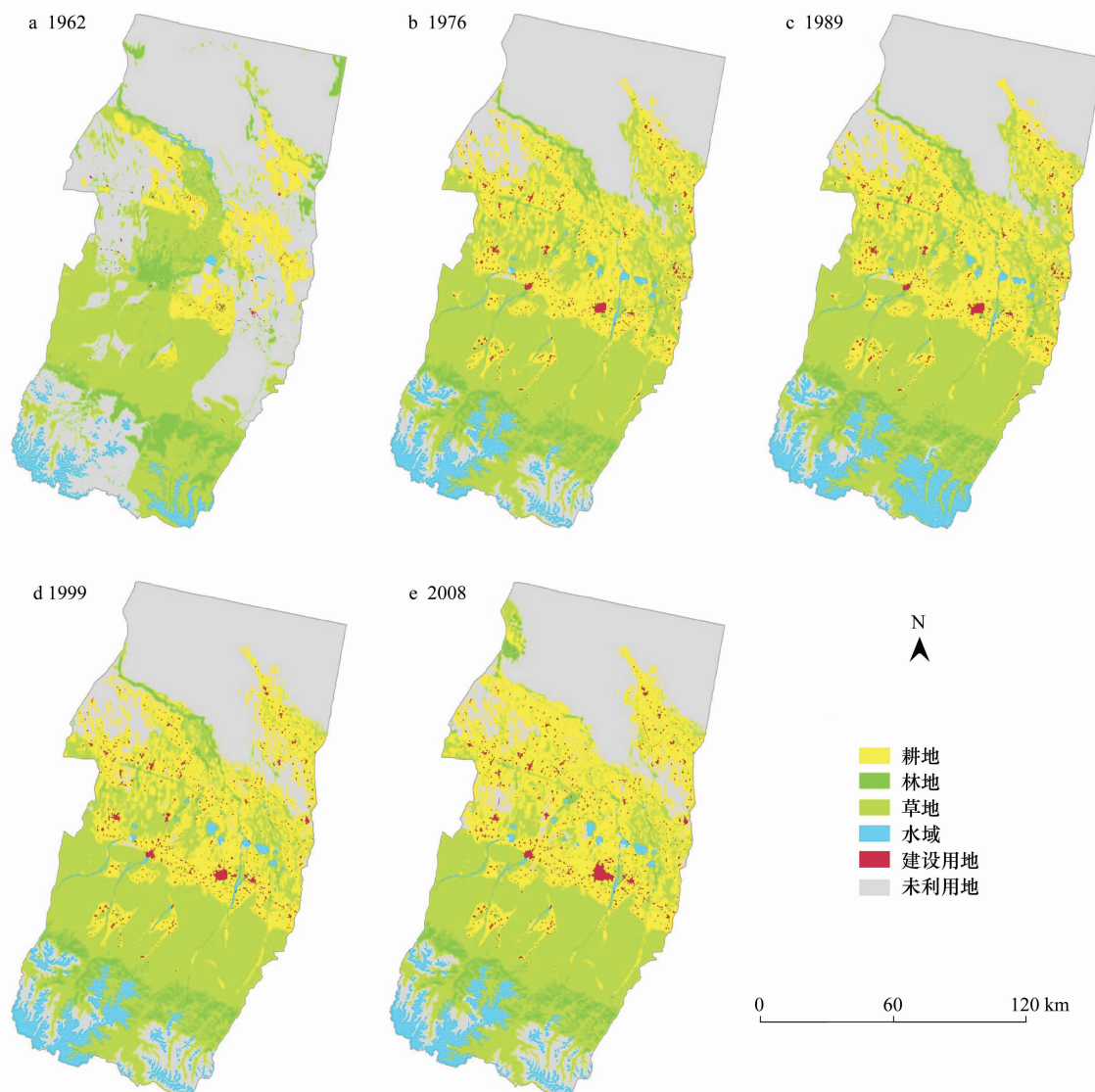


图 1 玛纳斯河流域 1962—2008 年土地利用空间格局

Fig. 1 The spatial pattern of the land use in Manas River Watershed from 1962 to 2008

势指数均为 -0.89 , 为显著“落势”。与前一时段相比, 本时段耕地增长进入相对稳定期, 林地锐减势头得到遏制, 由于城市建设、工矿开发及国防用地增加导致建设用地稳定增长^[26], 未利用地继续减少, 草地成为新的转出类型。

在 1989—1999 年的 10a 间, 玛纳斯河流域土地利用变化总体处于准平衡态, 双向转换频繁。耕地增加 138.69km^2 , 但增速放缓, 建设用地持续增长, 未利用地增加了 767.28km^2 , 趋势指数为 0.64 , 呈不平衡态“涨势”; 林地、草地和水域面积均减少, 整体处于“落势”。土地利用变化区域在玛纳斯、石河子和沙湾沿线继续扩大并向北部沙漠伸展, 在流域中部形成绿洲带。与 1962—1989 年相比, 此时段未利用地有所增加, 主要是由耕地盐渍化撂荒和林、草地退化所致, 同时地表水体减少加速了植被退化。

1999—2008 年间玛纳斯河流域耕地增幅仍较大, 面积比重由 21.84% 增加到 25.52% , 净增 770.07km^2 , “涨势”显著; 建设用地延续其稳定增长态势, 面积净增 46.88km^2 ; 其余用地类型全部减少, 尤以草地退缩最为显著, 9a 间共减少 573.59km^2 。土地利用变化范围继续扩展, 主要向北部古尔班通古特沙漠延伸, 中部冲洪积平原区绿洲逐渐连片形成绿洲群。林地、草地和未利用地减少主要转变为耕地, 2009 年野外考察证实了这一结论, 新疆生产建设兵团将道路和耕地附近的灌木林地、稀疏草地和未利用地大量开垦为耕地, 导致耕地面积

持续增长。

表 2 玛纳斯河流域 1962—2008 年不同土地利用类型变化

Table 2 Changes in different land use types of Manas River Watershed between 1962 and 2008

年份 Year	统计类型 Statistic type	耕地 Cropland	林地 Woodland	草地 Grassland	水域 Water	建设用地 Built-up land	未利用地 Unused land	综合变化 Comprehensive change
1962	面积/km ²	1902.95	1750.62	5794.53	719.81	59.98	10699.73	—
	比例/%	9.09	8.37	27.69	3.44	0.29	51.13	—
1976	面积/km ²	4186.41	960.25	8068.04	1145.55	269.45	6297.96	—
	比例/%	20.00	4.59	38.55	5.47	1.29	30.09	—
1989	面积/km ²	4432.45	959.32	7848.94	1615.67	283.60	5787.67	—
	比例/%	21.18	4.58	37.51	7.72	1.36	27.66	—
1999	面积/km ²	4571.15	904.35	7416.14	1160.54	320.52	6554.96	—
	比例/%	21.84	4.32	35.44	5.55	1.53	31.32	—
2008	面积/km ²	5341.22	853.81	6842.56	1135.35	367.41	6387.27	—
	比例/%	25.52	4.08	32.70	5.43	1.76	30.52	—
1962—1976	变化量/km ²	2283.46	-790.37	2273.51	425.74	209.47	-4401.77	—
	净变化/%	120.00	-45.15	39.24	59.15	349.23	-41.14	0.25
	总变化/%	173.79	102.86	98.98	129.19	470.01	59.98	0.44
	趋势指数	0.69	-0.44	0.40	0.46	0.74	-0.69	0.56
1976—1989	变化量/km ²	246.04	-0.93	-219.10	470.12	14.15	-510.29	—
	净变化/%	5.88	-0.10	-2.72	41.04	5.25	-8.10	0.03
	总变化/%	6.75	0.52	3.04	47.48	5.26	9.09	0.04
	趋势指数	0.87	-0.18	-0.89	0.86	1.00	-0.89	0.88
1989—1999	变化量/km ²	138.69	-54.97	-432.80	-455.13	36.92	767.28	—
	净变化/%	3.13	-5.73	-5.51	-28.17	13.02	13.26	0.05
	总变化/%	24.16	12.43	15.31	35.75	54.83	20.60	0.10
	趋势指数	0.13	-0.46	-0.36	-0.79	0.24	0.64	0.44
1999—2008	变化量/km ²	770.07	-50.54	-573.59	-25.19	46.88	-167.69	—
	净变化/%	16.85	-5.59	-7.73	-2.17	14.63	-2.56	0.04
	总变化/%	30.33	34.49	15.44	5.53	31.36	14.95	0.10
	趋势指数	0.56	-0.16	-0.50	-0.39	0.47	-0.17	0.41
1962—2008	变化量/km ²	3438.27	-896.80	1048.02	415.54	307.43	-4312.46	—
	净变化/%	180.68	-51.23	18.09	57.73	512.55	-40.30	0.25
	总变化/%	223.83	100.64	89.29	127.74	617.88	59.85	0.45
	趋势指数	0.81	-0.51	0.20	0.45	0.83	-0.67	0.55

通过对整个研究时段土地利用数据分析表明,玛纳斯河流域 1962 年以来耕地和建设用地呈持续增加趋势,其中又以建设用地“涨势”最为显著,全时段土地利用变化处于不平衡态,单向转换较频繁。究其原因因为自 20 世纪 50 年代以来,新疆生产建设兵团在玛纳斯河流域进行大规模水土开发,尤其是地下水埋藏浅、交通便利、人口较密集的冲洪积平原区大量未利用地被开垦为农田^[26],因此耕地和建设用地迅速增加,同时造成未利用地和林地大面积减少。

3.2 玛纳斯河流域景观格局变化分析

3.2.1 景观总体特征

玛纳斯河流域景观结构中,未利用地和草地比例较大,二者占研究区总面积 60% 以上,对区域景观格局起控制作用,耕地次之,林地、水域和建设用地所占比例较小(图 2)。

从斑块数目看,除第一时段林地、水域和未利用地先减少,草地在 1976—2008 年间出现波动外,其余景观

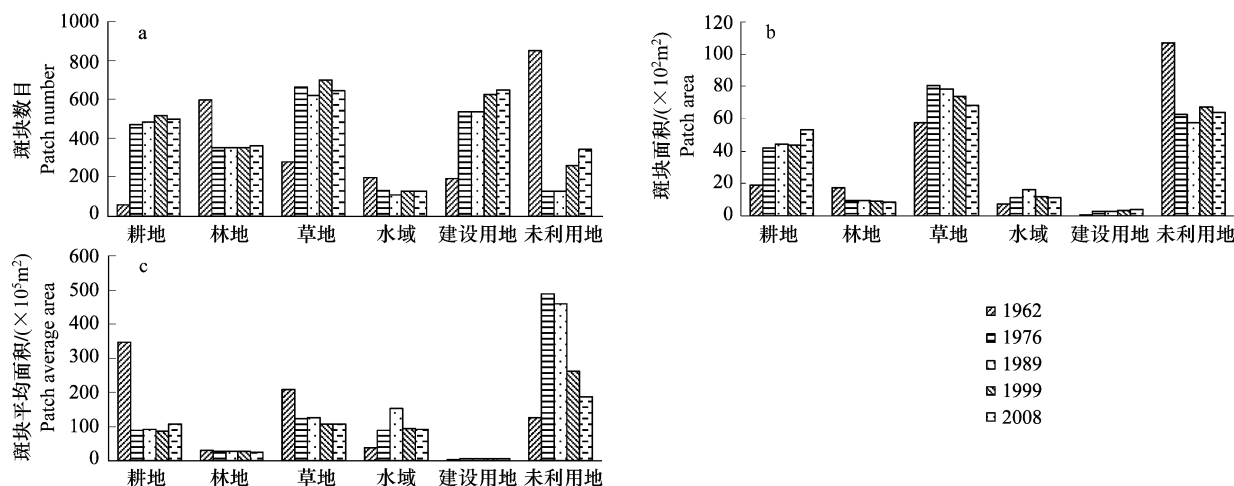


图2 玛纳斯河流域 1962—2008 年景观总体特征

Fig. 2 Characteristics of the landscape in Manas River Watershed between 1962 and 2008

类型斑块数目均增加;统计显示耕地、林地和草地的斑块平均面积总体减少,未利用地也从第二时段开始减少。可见近 50a 来在人类活动和自然因素的综合作用下,玛纳斯河流域景观格局发生了较大变化,斑块数量增加、斑块平均面积减少均说明流域景观破碎化程度在加重。

3.2.2 景观空间结构变化

根据公式(7)计算玛纳斯河流域景观多样性指数显示(图 3a),流域景观多样性指数由 1962 年的 1.2568 上升到 2008 年的 1.4358,在给定丰富度条件下,景观最大可能多样性指数为 1.7918,这说明在确定的土地利用分类体系下,流域景观多样性较高,且各景观类型所占比例差异减小,景观异质性程度和复杂性加大。由公式(8)计算玛纳斯河流域景观优势度指数得到 1962 年为 0.5350,2008 年下降为 0.3559,说明流域处主导地位的景观类型与其它景观类型所占比例的差异在缩小,景观结构趋于均匀。

3.2.3 景观构型特征

利用公式(9)测算玛纳斯河流域景观破碎度指数(图 3b),结果显示破碎度指数较小,表明景观破碎化程度较低,流域景观整体较完整。但在全部研究时段流域景观破碎度指数呈增加趋势,说明随着社会、经济发展和人口增加,原来斑块较大的土地利用类型被分割为许多较小斑块,特别是接近绿洲区的古尔班通古特沙漠南缘被大量开垦为耕地,造成景观破碎化程度加大。

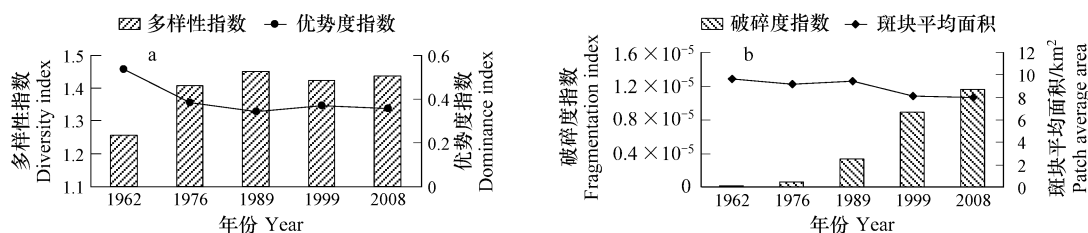


图3 玛纳斯河流域 1962—2008 年景观空间结构与构型特征

Fig. 3 Formational characteristic and spatial structure of the landscape in Manas River Watershed from 1961 to 2008

a 景观多样性指数与优势度指数; b 景观破碎度指数与斑块平均面积

3.3 玛纳斯河流域土地利用变化对景观格局的影响

通过对玛纳斯河流域土地利用变化过程与景观格局动态分析可知,各土地利用类型面积变化直接导致景观格局变化。分析土地利用类型变化较大的未利用地和耕地与景观格局间的关系(图 4),玛纳斯河流域未利

用地和耕地面积百分比分别从1962年的9.09%和51.13%变化为2008年的25.52%和30.52%,景观多样性和优势度指数分别从1962年的1.2568和0.5350变化为2008年的1.4358和0.3559,景观破碎度指数从1962年的 0.2×10^{-6} 上升为 0.116×10^{-4} ,结果表明流域景观多样性基本随未利用地面积减少和耕地面积增加呈上升态势,景观优势度呈下降态势,反映出流域景观类型趋于多样化的趋势,而景观破碎度上升同样证实了上述土地利用变化的结果。究其原因主要是未利用地在土地利用变化过程中逐渐丧失绝对优势地位,而耕地自1962年以来持续增加,成为流域主要用地类型之一,其它景观类型也有不同程度变化,从而导致流域景观多样性升高。景观优势度降低是未利用地所占比例下降的直接结果,导致其对流域景观控制作用逐渐减弱,而景观破碎度增强主要是由耕地比例上升造成的。从时间尺度看,1976年以前为玛纳斯河流域大规模农业开发阶段,注重广度开发,特别是50年代末的“大跃进”造成当地大面积垦荒^[26],使这一时段成为耕地增长最为迅猛的时期,大规模开荒造田同时导致未利用地大面积减少,这些活动的直接结果是1962—1976年间流域景观多样性迅速提高,优势度指数显著下降。1976—1999年间大规模开荒结束转入零星开荒期^[27],开荒大于弃耕,流域土地开发转入以精耕细作提高粮食单产为主的深度开发,耕地变化进入稳定增长期,景观多样性与优势度同时进入缓慢变化状态。1999年后流域既注重广度开发,同时加强深度开发,耕地有明显增长,景观格局表现出相应的变化趋势。1976年以后景观破碎度显著提高,这与流域北部边缘沙地、道路附近林、草地被开垦为耕地有关,城镇、道路和农田灌排渠系的建设同样造成景观破碎化程度增强。可见,1962年以来玛纳斯河流域土地利用变化以未利用地大面积减少和耕地显著增加为主要特点,此种土地利用变化对景观格局的直接影响为景观多样性降低而优势度增加,流域景观整体向破碎化趋势发展。

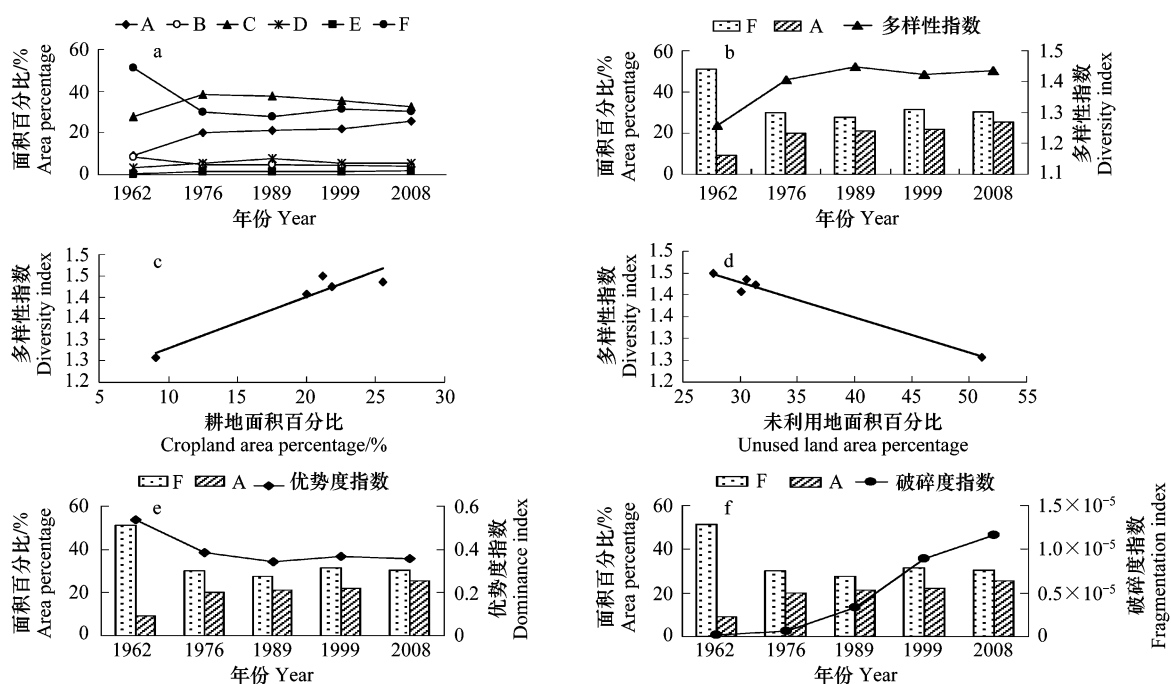


图4 玛纳斯河流域1962—2008年土地利用变化对景观格局的影响

Fig. 4 Effects of land use change on landscape pattern in Manas River Watershed between 1962 and 2008

a. 景观类型面积变化; b. 未利用地、耕地与景观多样性指数; c. 耕地面积与景观多样性; d. 未利用地面积与景观多样性; e. 未利用地、耕地与景观优势度指数; f. 未利用地、耕地与景观破碎度指数; A: 耕地, B: 林地, C: 草地, D: 水域, E: 建设用地, F: 未利用地

4 讨论

玛纳斯河流域土地利用变化的主要驱动因素为人口增长,20世纪50年代,中国人民解放军驻疆部队改编为新疆生产建设兵团,进行了大规模水土开发,尤其是地下水埋藏浅、交通便利的玛纳斯河流域冲洪积平原区大量未利用地被开垦为农田^[16],导致耕地和建设用地迅速增加,土地利用程度不断提高,自然绿洲被大规

模人工绿洲所取代,同时造成未利用地和林地大面积减少。此种土地利用变化对研究区景观格局产生显著影响,如今,景观多样性和异质性增加对维持玛纳斯河流域绿洲稳定性具有负面影响^[28],而景观破碎化、斑块平均面积减小会通过降低总生境面积导致斑块内部生境损失,同时使得生境斑块之间隔离程度增加而阻碍物种扩散,致使生境质量下降^[29]。这些现象已经引起学者们的广泛关注^[30-31]。以上研究表明,受人为因素影响强烈的玛纳斯河流域土地利用变化对景观格局具有显著影响,其带来的生态环境效应可能具有一定负面性。新疆自 20 世纪 50 年代以来存在两种典型的土地利用模式,即新疆生产建设兵团农场土地大规模集约利用模式和地方农用地家庭承包、租赁、入股等经营模式,这使地方和兵团在土地开垦、施肥、灌溉、土壤盐渍化改良、沙漠化和荒漠化防治、自然灾害预防、市场经济发展水平等土地利用和经营方面表现出明显的时空差异,兵团统一耕作管理模式不同于地方农户单独经营模式,从而导致兵团农田斑块连片、景观多样性和异质性降低,地方农田斑块面积减小,景观破碎化程度增强^[32]。因此,改变目前农户单独经营土地模式,发展大规模集约化农业,维持耕地面积稳定并提高质量,降低土地利用变化引起景观格局动态的负面影响是实现流域土地资源可持续利用的关键。

水资源是影响干旱区土地利用类型和空间分布格局的决定因素,也是干旱区土地可持续利用的关键制约因素,干旱区有限的水资源数量和分布状况是控制景观荒漠化和绿洲化进程的主导因子,是干旱区最为活跃的自然因素,对土地开发利用起着决定性作用^[33]。随着石河子垦区的建立与发展,玛纳斯河流域自 1952 年起确立了以灌溉为中心的农田水利建设目标,实行引蓄结合、渠库相连、调剂余缺、竖井排灌、梯级电站等一整套措施进行开发,经过 50 多年的建设和续建配套,水资源引用率达到 96.5%,流域水资源已实现东水西调、西水东调和南水北调。目前玛纳斯河流域自然河道仅见于山区,河道在出山口即被人工渠网所代替,形成较完整的灌溉网络,天然河道已经不复存在。清水河、金沟河、宁家河、八音沟河也已被西岸大渠串通,经总干渠输送到灌区,在灌区内又被干、支、斗、农渠分散,形成状若蛛网的人工水系,流域在平原地区河道几乎全部解体。目前,玛纳斯河流域已经成为新疆最大的绿洲农耕区和我国第四大灌溉农业区,农业经济取得巨大发展,尤其是当地特色作物棉花,产量占新疆总产量的 20%,占全国的 6%。2008 年国内生产总值达到 236.78 亿元,为新疆经济发展作出了巨大贡献,成为万古荒垠变绿洲的典范,是新疆近代经济发展最为迅速的地区之一,也是整个干旱区水土资源开发的缩影。因此,合理规划干旱区内陆河流域土地利用模式和水资源配置方案,将原有单纯“以水定地”的流域管理思想转移到流域水土关系协调的优化开发模式上^[34],对于内陆河流域水资源可持续利用管理与保护、协调水土关系,促进流域整体的可持续协调发展具有重要意义。

本文以干旱区内陆河流域为例,不仅是验证 LUCC 模型和景观格局指数的有效性,而且可以为研究区环境变化评价提供数据支持,并揭示人类活动对干旱区生态环境变化的影响机制。未来的研究重点是深入分析干旱区土地变化的驱动力作用机制和评价其生态环境效应,此外,土地利用与土地功能间是非线性关系^[35],探讨土地功能的变化将成为土地变化科学的核心主题。

5 结论

(1) 利用遥感与 GIS 技术并结合数理统计模型对玛纳斯河流域 1962—2008 年土地利用变化过程进行分析,结果表明流域土地利用变化显著,以未利用地大面积减少和耕地显著增加为主要特点,全时段土地利用变化处于不平衡状态,单向转换较频繁。

(2) 整个研究时段内,玛纳斯河流域景观多样性指数总体上升而优势度指数下降,景观结构趋于均匀,表明处主导地位的景观类型与其它景观类型间的差异在减小,景观破碎度增强,同时斑块数目增加与斑块平均面积减少均说明流域景观破碎化程度在加剧。

(3) 玛纳斯河流域土地利用变化深刻影响流域景观格局,特别是未利用地面积减少和耕地面积增加直接改变了流域景观多样性和优势度,而社会经济快速发展与人类对土地利用程度不断提高导致的景观破碎度增强同样证实了人类活动对景观格局的强烈干扰。玛纳斯河流域景观格局稳定依赖于流域土地与水资源可持续利用的协调发展以及人类活动的有序化,因此,改变当前农户单独经营模式为大规模集约化生产是维持研

究区景观结构和功能稳定的关键内容之一。

致谢:感谢法国气候与环境国家实验室李龙辉博士对本文写作的帮助。

References:

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309: 570-574.
- [2] Bian Z F, Zhang Y P. Land use changes in Xuzhou coal mining area. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(4): 349-358.
- [3] Lambin E F. Linking causes, drivers and pathways with rates and patterns of land change. *LUCC Newsletter*, No. 8. Spain: Institut Cartogràfic de Catalunya, 2002.
- [4] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, Fischer G, Fresco L O, Leemans R. Land use/land cover and land cover change science/research plan, IGBP Report No.35, HDP Report 7, IGBP of the ICSU and HDP of the ISSC. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1995.
- [5] Fan Z L. A study on the formation and evolution of oases in Tarim Basin. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(5): 421-427.
- [6] Wang G X, Cheng G D, Xu Z M. The utilization of water resources and its influence on eco-environmental problems in the northwest arid area of China. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(2): 109-116.
- [7] Dale V H. The relationship between land use change and climate change. *Ecological Application*, 1997, 7(3): 753-769.
- [8] Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, Zhuang D F, Zhang Z X, Zhang W, Tang X M, Deng X Z. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990—2000: An analysis based on Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98: 442-456.
- [9] Song K S, Liu D W, Wang Z M, Zhang B, Jin C, Li F, Liu H J. Land use change in Sanjiang Plain and its driving forces analysis since 1954. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(1): 93-104.
- [10] Yang S, Feng X M, Chen L D. Spatial-temporal differentiation and mechanism of land-use/cover change: a case study of Haidian and Yanqing Districts, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4501-4511.
- [11] Meng J J, Wu X Q, Li Z G. Land use/cover changes and its landscape ecological effects in the middle western Hexi Corridor: a case study of Suzhou Oases. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2535-2542.
- [12] Zhao R F, Chen Y N, Li W H, Zhang L H, Wu S X, Huang Q. Land cover change and landscape pattern in the mainstream of the Tarim River. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(1): 95-106.
- [13] Chen W M, Zhou C H, Li J X. Economic development and oasis growth at the northern foot of the Tianshan Mountains. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 561-568.
- [14] Yang F X, Ma H, Mu G J, Qiao M, Chong J. Methods and progress of the ecosystem health evaluation. *Arid Zone Research*, 2003, 20(4): 276-280.
- [15] Li Y L, Qao M, Yang X L, Zhou S B. Fractal characteristics of land use and land cover change in a watershed of arid zone in last 30 years — A case of the Manas River Watershed. *Arid Land Geography*, 2008, 31(1): 75-81.
- [16] Li Y L, Qao M, Yang X L, Zhou S B, Zeng Y J. Analysis on land use/cover change and landscape fragmentation in typical watershed of arid zone in last 30 years: A case of Manasi River Watershed, Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(6): 1050-1058.
- [17] Yin X J. Influence of land use changes on the landscape eco-environment system in Manas County-region of Xinjiang. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(3): 77-80.
- [18] Nan F, Li Y L, Shi X M. Relationship of the fluctuations of stream discharge of the Manas River and climatic changes. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(3): 59-61.
- [19] Liu Z J, Liu L G. Analysis on existing problem of water resource of the Manas River valley and protective measure. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(4): 137-138.
- [20] Liu J Y. The Macro Investigation and Dynamic Research of the Resource and Environment. Beijing: China Science and Technology Press, 1996.
- [21] Pontius Jr R G, Shusas E, Mceachern M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 101: 251-268.
- [22] Luo G P, Zhou C H, Chen X, Li Y. A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases: A case study of Sangong River Watershed, Xinjiang, China. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 775-783.
- [23] Wu J G. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy. 2nd edn. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [24] Li X Z, Bu R C, Chang Y, Hu Y M, Wen Q C, Wang X G, Xu C G, Li Y H, He H S. The response of landscape metrics pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123-134.
- [25] Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative methods in landscape pattern analysis. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 346-352.
- [26] Qian Y B, Fan Z L, Lei J Q, Wu Z N. Exploitation of water and Land resources and its ecoenvironment issues in Xinjiang of China in resent 50 a. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(3): 58-63.
- [27] Feng L, Tian X M. The Change of water resource distribution and its ecological effects caused by the agriculture development in Manasi River Valley in modern time. *Agricultural History of China*, 2006, 1: 119-127.

- [28] Luo G P, Chen X, Zhou K F, Ye M Q. Stability of patches of oasis landscape in arid areas: A case study of Sangong River Watershed, Xinjiang, China. *Science in China(Series D)*, 2002, 32(6): 521-528.
- [29] Yu X X, Yang G S, Li H P. Land use/cover change of catchment and its landscape ecological effects: A case of Xitiaozi Catchment in Zhejiang Province. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 13-19.
- [30] Li H L, Xiao D N, Wang Q B, Guo M, Ma M G. Landscape changes of typical agricultural oasis in arid regions and its driving factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1878-1883.
- [31] Chen Y N, Hao X M, Li W H, Chen Y P, Ye Z X, Zhao R F. An analysis of the ecological security and ecological water requirements in the inland river of arid region. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(7): 732-738.
- [32] Gao X H. Study on land use/land cover change and spatio-temporal variability of soil nutrients and salinity in arid zones. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [33] Li X Y, Xiao D N. Dynamics of water resources and land use in oases in middle and lower reaches of Shiyang River watershed, Northwest China. *Advances in Water Science*, 2005, 16(5): 436-438.
- [34] Wang G X, Liu J Q, Chen L. Comparison of spatial diversity of land use changes and the impacts on two typical areas of Heihe River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(4): 339-348.
- [35] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PANS*, 2007, 104(52): 20666-20671.

参考文献:

- [2] 卞正富, 张燕平. 徐州煤矿区土地利用格局演变分析. *地理学报*, 2006, 61(4): 349-358.
- [5] 樊自立. 塔里木盆地绿洲形成与演变. *地理学报*, 1993, 48(5): 421-427.
- [6] 王根绪, 程国栋, 徐中民. 中国西北干旱区水资源利用及其生态环境问题. *自然资源学报*, 1999, 14(2): 109-116.
- [9] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 张柏, 金翠, 李方, 刘焕军. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力. *地理学报*, 2008, 63(1): 93-104.
- [10] 杨爽, 冯晓明, 陈利顶. 土地利用变化的时空分异特征及驱动机制——以北京市海淀区、延庆县为例. *生态学报*, 2009, 29(8): 4501-4511.
- [11] 蒙古军, 吴秀芳, 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. *生态学报*, 2004, 24(11): 2535-2542.
- [12] 赵锐锋, 陈亚宁, 李卫红, 张丽华, 吴世新, 黄青. 塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析. *地理学报*, 2009, 64(1): 95-106.
- [13] 程维明, 周成虎, 李建新. 天山北麓经济发展与绿洲扩张. *地理学报*, 2002, 57(5): 561-568.
- [14] 杨发相, 马虹, 穆桂金, 乔木. 新疆玛纳斯河流域绿洲的形成与演变研究. *干旱区研究*, 2003, 20(4): 276-280.
- [15] 李义玲, 乔木, 杨小林, 周生斌. 干旱区典型流域近 30 年土地利用/土地覆被变化的分形特征分析——以玛纳斯河流域为例. *干旱区地理*, 2008, 31(1): 75-81.
- [16] 李义玲, 乔木, 杨小林, 周生斌, 曾雅娟. 干旱区典型流域近 30 a 土地利用/覆被变化和景观破碎化分析——以玛纳斯河流域为例. *中国沙漠*, 2008, 28(6): 1050-1058.
- [17] 尹小君. 新疆玛纳斯县土地利用变化对景观生态系统的影响. *水土保持研究*, 2008, 15(3): 77-80.
- [18] 南峰, 李有利, 史兴民. 新疆玛纳斯河水量波动与气候变化之间的关系. *水土保持研究*, 2003, 10(3): 59-61.
- [19] 刘占静, 刘离岗. 浅析玛纳斯河流域水资源现存的问题与保护措施. *水土保持研究*, 2005, 12(4): 137-138.
- [20] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [23] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级(第 2 版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [24] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 胡元满, 闫青春, 王绪高, 徐崇刚, 李月辉, 贺红仕. 景观格局指标对不同景观格局的反应. *生态学报*, 2004, 24(1): 123-134.
- [25] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. *山地学报*, 2000, 18(4): 346-352.
- [26] 钱亦兵, 樊自立, 雷加强, 吴兆宇. 近 50 年新疆水土开发及引发的生态环境问题. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(3): 58-63.
- [27] 封玲, 田晓明. 玛纳斯河流域农业开发与水资源分配格局的改变及其生态效应. *中国农史*, 2006, 1: 119-127.
- [28] 罗格平, 陈曦, 周可法, 叶民权. 三工河流域绿洲时空变异及其稳定性研究. *中国科学 D 辑*, 2002, 32(6): 521-528.
- [29] 于兴修, 杨桂山, 李恒鹏. 典型流域土地利用/覆被变化及其景观生态效应——以浙江省西苕溪流域为例. *自然资源学报*, 2003, 18(1): 13-19.
- [30] 李华蕾, 肖笃宁, 王秋兵, 郭明, 马明国. 干旱区典型农业绿洲的景观变化与原因分析. *生态学报*, 2004, 24(9): 1878-1883.
- [31] 陈亚宁, 郝兴明, 李卫红, 陈亚鹏, 叶朝霞, 赵锐锋. 干旱内陆河流域的生态安全与生态需水量研究. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 732-738.
- [32] 高小红. 干旱区土地利用/土地覆被变化及土壤养分、盐分时空变异性研究. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [33] 李小玉, 肖笃宁. 石羊河流域中下游绿洲土地利用变化与水资源动态研究. *水科学进展*, 2005, 16(5): 436-438.
- [34] 王根绪, 刘进其, 陈玲. 黑河流域典型区土地利用格局变化及影响比较. *地理学报*, 2006, 61(4): 339-348.