

黑河流域典型区土地利用格局变化及影响比较

王根绪^{1,3}, 刘进其², 陈玲³

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 在黑河流域选择两个典型区域进行土地利用变化的空间差异与影响的对比研究, 利用 20 世纪 60 年代以来的三期遥感数据, 通过定量表征指标体系, 对比分析了两个区域不同空间土地利用格局变化和土地利用类型变化的分异特征, 定量评价了土地利用变化对不同区域绿洲系统的稳定性和水资源空间分配的影响。结果表明: 过去 35 年来两个对比区域不同的土地利用格局变化, 形成了显著的绿洲沿河流的溯源迁移和以基于下游老绿洲的渐进性绿洲外围拓展两种不同模式, 前者导致流域水资源过度集中消耗于流域上游和源区, 中下游水资源可利用量急剧减少, 在 35 年间下游荒漠化土地增加了 85.1%, 灌溉绿洲萎缩了 25.5%; 后者则不同, 水资源利用量的空间配置在区域下游具有小幅度集中, 区域绿洲系统整体的稳定性较高。从流域整体的水土相互关系出发, 合理规划干旱内陆流域土地利用模式和空间土地资源分配, 对于促进流域整体的可持续发展具有重要意义。

关键词: 土地利用空间格局; 土地利用变化特征; 绿洲稳定性; 水资源空间分配; 影响评价; 对比分析; 黑河流域

土地覆盖与土地利用格局在流域到全球的多种尺度上都发生了显著变化, 并由此不断改变着地球表面的生物、能量和水分等多种过程^[1, 2], 使之成为本世纪最为关注的科学问题之一^[3], 关注的焦点在于土地利用变化对区域资源、环境和可持续发展的可能影响^[3-5]。在流域尺度上, 土地利用变化对水文过程影响的结果, 就是直接导致水资源供需关系发生变化, 从而对流域生态、环境以及经济发展等多方面具有显著影响^[6, 7]。中国干旱内陆流域水土资源所承受的人口与社会发展压力是世界范围内比较大的区域之一^[7-9], 近 50 年来土地利用格局发生了巨大变化, 而流域径流过程无一例外地出现了下游河流量不断减少的变化趋势, 并引发了一系列严重的生态环境问题^[7, 10]。中国干旱区以典型的农业经济为核心, 而 83% 以上的农业经济集中在绿洲区域^[10, 11], 这种典型的绿洲经济格局形成了更加紧密的水资源与土地利用间的关系。为制定流域可持续的水土资源合理利用规划与政策, 迫切需要研究流域水资源与土地利用格局的关系^[11, 12]。本文选择山丹河流域和黑河干流张掖肃州区, 进行典型区域的土地利用变化及其影响的对比研究, 分析两个区域土地利用变化的空间差异特征及其产生的水资源与环境效应, 客观认识干旱地区土地利用的空间配置对水资源空间变化以及绿洲生态状况的影响, 揭示干旱区特殊的水土耦合关系, 为流域水土资源合理利用提供科学依据。

1 研究方法 with 对比区域选择

1.1 对比研究区域概况

在干旱区第二大内陆流域—黑河流域中游地区, 位于干流区域的张掖肃州区和位于

收稿日期: 2005-11-25; 修订日期: 2005-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40171002); 中国科学院“百人计划(2004)”项目 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40171002; CAS Hundred Talents Program]

作者简介: 王根绪 (1965-), 男, 研究员, 博士。主要从事寒旱区土地覆被与环境变化以及水文学与水资源方面的研究。

E-mail: gxwang@lzb.ac.cn

黑河中游地区的支流山丹河流域，根据区域地貌、土地资源与水资源条件的差异，对两个对比流域进行了空间分区(图 1)，比较研究区域各分区单元的基本概况，从南到北，分别是走廊南部山前冲洪积扇上部、冲洪积扇中部、冲洪积扇下部与细土平原区和走廊北部山前冲洪积扇中下部等 4 个单元。两个对比研究区域各分区的基本自然状况如表 1，在肃州区和山丹河流域，对应各分区具有明显不同的降水量，山丹河流域第一分区，降水量超过 280mm，是山丹河的径流形成区之一，第四分区的降水量也在 100mm 以上^[13]，对于发展旱耕农业有相对较好的水分条件，肃州区各分区降水量均小于对应山丹流域分区(表 1)。

两个区域具有相似的开发历史过程，但由于两者经济与社会发展中心所分布的地貌单元不同，形成了两种不同的土地利用与发展格局：黑河干流张掖肃州区以细土平原为核心，绿洲发展以渐进方式向外围扩张，而山丹县则在整个水系根据水源分布状况呈空间跨越式的发展，由此不仅产生了显著不同的区域土地利用与覆被变化格局，而且导致了显著不同的水土关系效应，成为现阶段干旱区具有代表性的两种流域土地利用与水资源演变模式。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用变化空间分异分析指标及其量化模型 现阶段有关区域土地利用与覆被变化的分析多采用土地利用与覆被变化幅度、动态度、重心位移以及变化速率等指标来

表 1 张掖市肃州区和山丹县各分区的基本自然概况

Tab. 1 General natural conditions of each division in Suzhou and Shandan of Zhangye city

代 码	张掖肃州区	山丹县区
I	走廊南部冲洪积扇上部 南部山前冲洪积—洪积戈壁平原；海拔在 1500-2800m，降水量 150-220mm，总土地面积 534.94km ²	流域上游冲洪积扇上部 以中山带平缓台地为主，海拔 2500-3000m，降水量 280-400mm，总土地面积 1782.58km ²
II	走廊南部冲洪积扇中下部 山前冲洪积—洪积戈壁平原与冲洪积细土平原交汇地带，海拔 1400-1800m，年均降水量 100-170mm，总土地面积 607.15km ²	流域中游冲洪积扇中部 走廊南部山地与走廊平原过渡地带，海拔 1800-2500m，降水量 180-260mm，总土地面积 1695.4 km ²
III	盆地中部冲洪积细土平原与河谷平原区 盆地中部冲洪积细土平原与临泽、高台县沿河分布的河谷冲积平原，海拔 1200-1600m，年均降水量 60-150mm，总土地面积 1047.42km ²	冲洪积扇下部与细土平原 走廊平原区，海拔 1600-1800m，年平均降水量 150-210mm，总土地面积 1239.21km ²
IV	走廊北部山前冲洪积扇中下部 黑河干流北部龙首山南坡冲洪积扇状戈壁平原，年均降水量小于 80mm，无常年性地表径流，总土地面积 1461.03km ²	走廊北部山前冲洪积扇中下部 位于山丹河北岸龙首山南坡冲洪积扇状平原，年均降水量 100-150mm。无常年性地表径流，总土地面积 388.66km ²

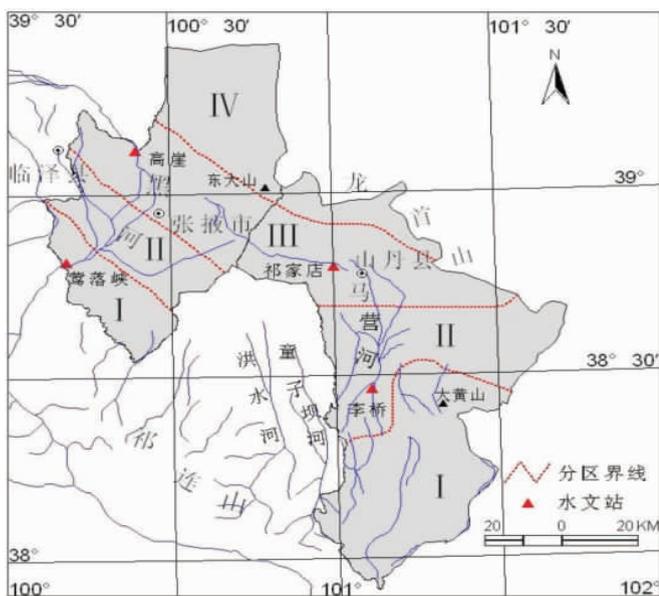


图 1 典型研究区域位置及其空间分区

Fig. 1 Location and spatial division of the two typical study areas

反映区域土地利用与覆被变化的空间特征和变化趋势^[14], 基于干旱区的特点以及从空间变化的差异分析角度, 本次研究选择流域整体和流域内分区两种空间尺度, 所对应选择的指标及其定量化测算模型如下:

(1) 流域尺度上土地利用的变化分析: 采用土地利用类型的变化幅度 P_i 、变化速率 R_i 和动态度 CS_i 三种指标, 其计算公式分别如下^[14, 15]:

$$P_i = (LU_{it_1} - LU_{it_0})/LU_{it_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$R_i = \frac{(LU_{it_1} - LU_{it_0})}{LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% = P_i \times \frac{1}{T} \quad (2)$$

$$CS_i = \frac{[(LU_{it_1} - ULU_i) + (LU_{it_0} - ULU_i)]}{LU_{it_0}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中: LU_{it_0} , LU_{it_1} 分别代表研究区域第 i 种土地利用与覆被类型在研究初期的面积、研究时间 t 末的面积; ULU_i 是研究区域 i 类土地利用与覆被类型在研究时段未变化面积; 其中, T 是研究时段, $T = t_1 - t_0$ 。

(2) 空间分区尺度上土地利用与覆盖变化分析: 采用分区土地利用变化相对幅度 P_{ki} 以及相对位移度 H_{ki} 两种度量指标, 数学表达式分别为:

$$P_{ki} = (LU_{kit_1} - LU_{kit_0}) \left/ \sum_{k=1}^m |LU_{kit_1} - LU_{kit_0}| \right. \times 100\% \quad (4)$$

$$H_{ki} = (HL_1 - HL_0)/HL_0 \quad (5)$$

$$\text{其中, } HL_1 = LU_{kit_1} \left/ \sum_{k=1}^m LU_{kit_1} \right., \quad HL_0 = LU_{kit_0} \left/ \sum_{k=1}^m LU_{kit_0} \right.$$

式中: LU_{kt_0} 表示分区 k 的土地总面积, LU_{kit_0} , LU_{kit_1} 分别是第 k 分区研究期始末第 i 种土地利用类型的面积; m 是研究区域分区数, 其他符号意义同前。相对位移度 H_{ki} 是对一定时期内某一土地利用类型在空间上的相对转移或聚集程度的描述, 反映不同土地利用类型在不同时期的空间相对变化程度。

1.2.2 土地利用变化过程的影响分析指标及其量化模型 干旱内陆流域土地利用变化是驱动流域水资源变化以及相关的主要生态与环境问题的重要因素, 本文研究选择其中关键的绿洲稳定性和水资源空间分布变化两种指标来揭示不同土地利用变化所产生的区域性主要影响。

(1) 绿洲稳定度: 干旱区绿洲的稳定程度是区域环境安全的重要因素, 其主要标志就是灌溉耕地的稳定性和土地荒漠化的遏制程度, 综合灌溉耕地利用和荒漠化土地变化两方面, 定义绿洲稳定度如下:

$$OS_k = (a \frac{CU_{kt_1} - CU_{kt_0}}{CU_{kt_0}} - b \frac{DL_{kt_1} - DL_{kt_0}}{DL_{kt_0}}) \times 100\% \quad (6)$$

式中: CU_{kt_0} , CU_{kt_1} 分别表示第 k 分区研究时段初的耕地面积, 阶段末未变化的耕地面积以及研究时段末的耕地面积; DL_{kt_1} , DL_{kt_0} 分别为第 k 分区研究时段末荒漠化土地面积、未变化荒漠化土地面积以及时段初荒漠化土地面积; a 和 b 为绿洲和荒漠的权值, $a = \frac{CU_{kt_1}}{DL_{kt_1}}$, $b = \frac{DL_{kt_1}}{LU_k}$ 。(6) 式中, 荒漠化土地包括戈壁、沙漠、裸土与裸岩石砾地、重度盐碱地、稀疏荒漠草原以及弃耕地等类型, OS_k 越大, 区间绿洲生态越稳定, 绿洲呈增长趋势; $OS_k < 0$, 绿洲生态不稳定, 并呈萎缩状态。

(2) 水资源空间变化: 引入水资源利用量的空间相对占用率来反映总水资源的分布变化。水资源占用量的变化主要来自于灌溉耕地面积变化、城镇利用土地面积变化(城

镇生活、生产和环境用水) 两方面, 考虑到干旱内陆区域城镇占用土地面积中用于工业生产的份额很少, 可忽略土地利用变化中形成的生产用水的变化, 据此, 定义水资源空间占用量的变化率 W_k 如下:

$$W_k = \frac{(q_k \times H_k + q_c \times C_k)}{Q} \times 100\% \quad (7)$$

式中: q_k , q_c 分别表示单位耕地面积水资源消耗量(灌溉定额)和单位城镇面积上平均的生活与环境用水定额, 后者根据研究区域不同分区城乡居民平均生活用水量和其他绿化与环境用水的平均值折算为单位城乡占地面积上的分摊量来计算。 H_k , C_k 分别是土地利用类型(主要指耕地)的空间相对转移量和城镇建设用地变化量; Q 是研究区总水资源量。

1.2.3 分析数据来源 采用 1967 航片、1986 年和 2000 年卫星遥感 TM 数据, 在 ERDAS IMAGE 和 ARC/INFO 软件支持下, 以 1:100 000 地形图为依据, 对上述 3 期遥感数据进行图像处理。利用全国土地利用现状分类系统^[16], 并根据研究区域的土地利用特点, 将流域土地利用类型划分为耕地、天然林地、灌木林地、疏林地、人工林地、草甸与山地草原草地、城镇(乡)居民用地、交通工矿用地、水库坑塘、河流及河滩、荒漠化草地、盐碱地、戈壁沙漠、裸岩与石砾地 14 个类型。

2 土地利用变化的特征对比

2.1 流域尺度上土地利用变化比较

依据遥感数据获得的山丹河流域 1967 年、1986 年和 2000 年土地利用与覆盖状况(图 2)。1967~1986 年, 林地、灌木林地和高覆盖草地分别减少了 66.0%、22.1%和 29.8%, 城镇居民用地、耕地和裸地分别增加了 262.7%、102.8%和 30.8% (表 2); 无论是年变化速率还是空间转移动态幅度, 耕地和城镇居民用地均显著高于其他土地利用类型, 反映出这期间土地利用变化显著地以耕地和城镇建设用地快速扩张、天然林草地减少为主。

在 1986~2000 年的 15 年间, 灌木林和高覆盖草地仍然减少了 15.9%和 35.3%, 草地减少幅度和年变化速度高于前面 20 年; 耕地持续增加, 但幅度降低, 同时城镇居民用地小幅度减少; 荒漠化土地类型如裸土(岩)地和戈壁沙地分别较大幅度增加了 54.2%和 23.3%, 其增加速率和空间转换幅度要高于前 20 年。总体上, 近 35 年间, 灌木林地和高覆盖草地持续减少, 耕地和荒漠化土地(裸土(岩)地和戈壁沙地)持续增加。

黑河干流肃州区 1967 年以来不同时期土地利用与覆盖变化状况(图 3), 在 1967~1986 年的将近 20 年间, 较高覆盖度草地减少了 82.3%, 城镇居民用地、耕地和裸土地分别增加 184.6%、20.8%和 36.4%, 年平均变化幅度和空间动态幅度均以草地和居民用地的变化最为显著(表 3), 这期间土地利用类型的变化以耕地和城镇建设用地快速扩张、天然草地急剧减少为特征。在 1986~2000 年的 15 年间, 草地仍较大幅度减少, 城乡居民建设用地的耕地增加仍然十分显著, 但幅度明显低于前 20 年。在土地利用类型的空间转移幅度

表 2 近 35 年以来山丹河流域土地利用类型的动态变化特征

Tab. 2 Land use changes in Shandan river basin in recent 35 years

土地利用类型	林地	灌木林	高覆盖草地	荒漠草地	城镇居民用地	耕地	裸土(岩)地	戈壁沙地
2000 年占总面积%	0.06	6.83	6.33	17.77	1.12	16.39	6.43	24.2
1967~1986	P_i	-66.0	-22.1	-29.8	4.8	262.7	102.8	30.8
	R_i	-3.47	-1.16	-1.57	0.25	13.83	5.41	1.62
	CS_i	4.94	2.09	3.57	5.20	19.10	12.50	3.53
1986~2000	P_i	12.8	-15.9	-35.3	-13.0	-3.7	6.5	54.2
	R_i	0.91	-1.13	-2.52	-0.96	-0.26	0.47	3.87
	CS_i	5.88	2.19	4.06	5.48	5.57	3.41	5.46

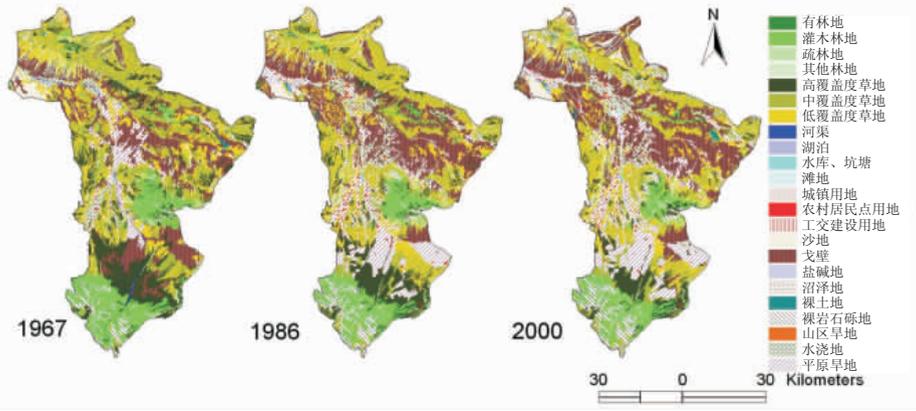


图 2 山丹河流域 1967 年, 1986 年以及 2000 年土地利用与土地覆盖状况

Fig. 2 Graphics of land use and land cover of Shandan river basin in 1967, 1986 and 2000

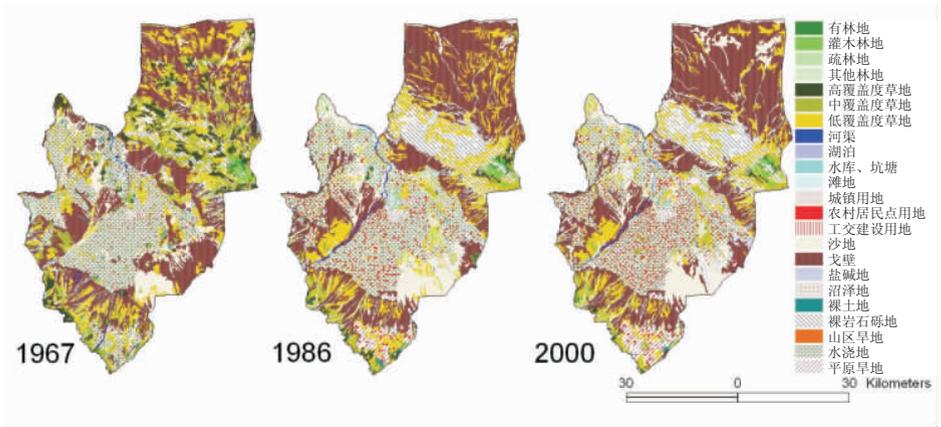


图 3 黑河干流张掖肃州区 1967 年, 1986 年以及 2000 年土地利用与土地覆盖状况

Fig. 3 Graphics of land use and land cover of Suzhou region in 1967, 1986 and 2000

表 3 近 35 年来黑河干流肃州区土地利用类型的动态变化特征

Tab. 3 Land use changes in Suzhou of Heihe river basin in recent 35 years

土地利用类型	林地	灌木林	高覆盖草地	荒漠草地	城镇居民用地	耕地	裸土(岩)地	戈壁沙地
2000 年占总面积%	0.20	0.32	0.30	13.65	3.60	25.77	7.04	41.51
1967~1986	P_i	-9.66	-12.69	-82.31	0.70	184.63	20.77	36.38
	R_i	-0.57	-0.75	-4.84	0.04	10.86	1.22	2.14
	CS_i	5.50	9.99	10.49	11.81	17.62	3.86	9.32
1986~2000	P_i	-8.53	-5.41	-68.47	-21.59	20.66	4.03	1.06
	R_i	-0.61	-0.39	-4.89	-1.54	1.48	0.29	0.08
	CS_i	1.93	4.57	10.28	7.37	6.93	2.24	0.81

来看, 草地和城乡居民用地的变化仍然最为剧烈, 沙漠化土地变化比前 20 年显著活跃, 其他类型土地变化基本均匀。

2.2 对比流域土地利用的空间差异性比较

土地利用变化的空间差异可以反映不同土地利用类型在不同区域的分布变化(图 4), 在 1967~1986 年间, 山丹河流域灌木林地与较高覆盖度草地的减少以及耕地的扩张主要集中在 I 区, 即山前冲洪积扇上部, 灌溉耕地和乡镇居民用地的增长相对集中在 II 和 III 区。相同时期, 黑河干流张掖肃州区灌木林地和较高覆盖度草地的减少则主要集中在第 IV 分区, 灌溉耕地的发展主要发生在 III 区, 乡镇居民用地的扩张主要集中在 II 和 III 区,

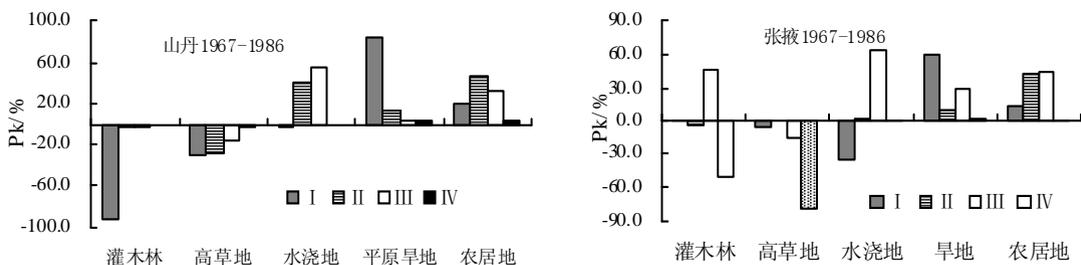


图 4 1967-1986 年间典型区域土地利用变化的空间相对幅度及其差异

Fig. 4 Spatial variation amplitudes of land use change in the study areas from 1967 to 1986

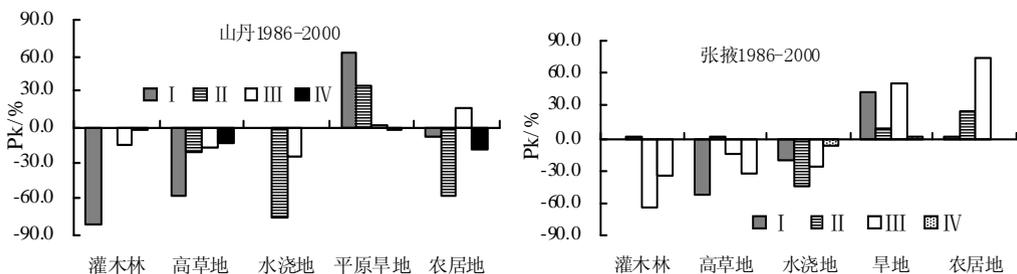


图 5 1986-2000 年间典型区域土地利用变化的空间相对幅度及其差异

Fig. 5 Spatial variation amplitudes of land use change in the study areas from 1986 to 2000

旱作耕地主要在 I 区发展。另外，山丹河 I 区耕地的发展伴随该区域草地和灌木林地大幅度减少，但在黑河干流肃州区，草地和灌木林地减少主要发生在几乎没有耕地利用的走廊北部的 IV 区。

对山丹河流域，1986~2000 年间，草地和灌木林地持续减少，耕地仍然较大幅度扩张(图 5)。但是，位于冲洪积扇中下部和细土平原区的 II 和 III 区，土地利用格局发生了较大变化，表现在原来的灌溉耕地在这期间出现较大幅度减少，向其他利用类型或旱作耕地转移，其中 II 区的乡镇居民建设用地也显著萎缩。在黑河干流张掖肃州区，土地利用格局变化的一个显著标志是天然草地和灌木林地在全区域减少以及乡镇居民用地在平原区持续扩张，相比前 20 年，在 1986 年以来，全区域灌溉耕地增长幅度趋于减少，I 区和 III 区的旱作耕地有所增加，表明人工绿洲区域在这些地区处于扩展状态，但各分区大部分土地利用类型的相对变化幅度小于 30%。比较两个区域，在 1986~2000 年间，山丹河流域的人工绿洲更加集中于 I 区发展，II 和 III 区的绿洲出现萎缩；张掖肃州区的人工绿洲在 I 区和 III 区有所扩展，但相对幅度不大。

从土地利用类型在空间上的相对位移度来分析(图 6)，1967~1986 年，山丹河流域灌溉耕地的空间分布重心显著地向位于山前冲洪积扇上部的第 I 区转移，林地类型则主要在走廊北部第 IV 区集中，沙漠化土地分布以位于走廊中部细土平原区的 III 区为主。相同时期，黑河干流张掖肃州区灌溉耕地相对在细土平原区的 III 区分布比重较大，旱作耕地在冲洪积扇上部的 I 区相对集中，天然较高覆盖度草地的分布重心则显著地向 I 区转移。

对比区域 1986~2000 年不同土地利用类型的空间位移度分布情况(图 7)可以看出，在山丹河流域，乡镇居民用地在该期间的分布比重向山前 I 区转移，沙漠化土地在 III 区和 IV 区相对集中，林地面积在 I 区的分布比重较大，灌溉耕地在 I 区和 III 区的分布比重相对较大，但空间位移幅度较小。在黑河干流张掖肃州区，林地、草地和沙漠化土地的重心均转移在走廊北部的 IV 区，耕地分布的空间位移很小，维持前 20 年的分布格局。

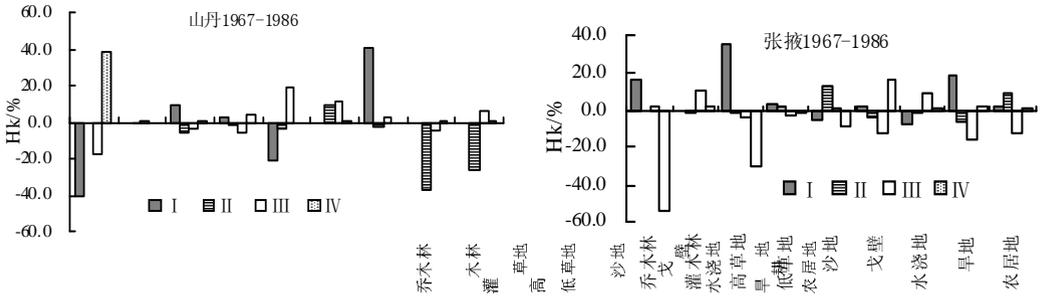


图 6 1967-1986 年间典型区域土地利用变化相对位移及其空间差异性

Fig. 6 Spatial displacement of land use change in the study areas from 1967 to 1986

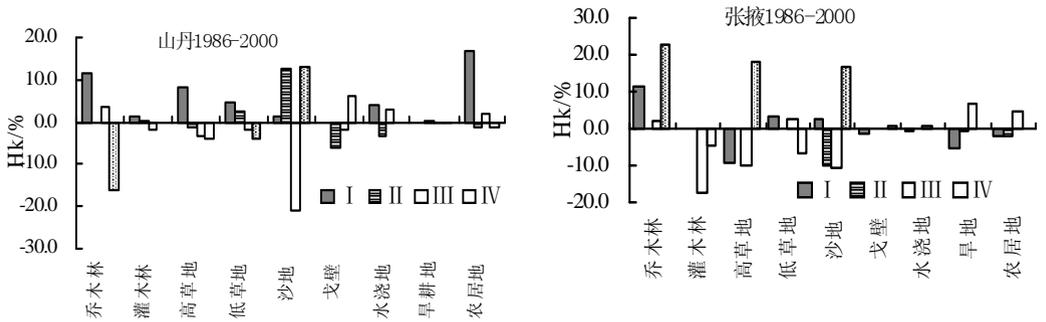


图 7 1986-2000 年间典型区域土地利用变化相对位移及其空间差异性

Fig. 7 Spatial displacement of land use change in the study areas from 1986 to 2000

3 土地利用变化对流域绿洲稳定性和水资源空间分配的影响比较

3.1 绿洲稳定性空间变化比较

干旱内陆地区绿洲生态的稳定性是最重要的区域环境问题之一，绿洲生态系统稳定与否最直接的表征是土地利用格局的变化：荒漠化土地扩张和绿洲（耕地以及人工林草地）萎缩，意味着区域绿洲生态不稳定，绿洲系统安全遭受威胁；相反，绿洲扩展而荒漠化土地缩减，则绿洲系统稳定。根据公式 (6)，不同区域土地利用格局变化对绿洲稳定性的影响结果如表 4。在 1967~1986 年的 20 年间，山丹河流域山前冲洪积扇上部的 I 区是两个对比研究区域中绿洲净扩张幅度最大的区域，显示出绿洲强烈发展的态势，绿洲的稳定性最高；其次是黑

表 4 典型区域的绿洲稳定性评价结果

Tab. 4 Assessment of oases stability in the typical study areas

		山丹河流域				黑河干流张掖肃州区			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
a	1967-1986	0.80	0.35	0.17	0.04	0.27	0.94	1.68	0.00
	1986-2000	0.84	0.36	0.15	0.02	0.33	0.93	1.71	0.00
b	1967-1986	0.23	0.54	0.60	0.53	0.62	0.47	0.31	0.92
	1986-2000	0.26	0.56	0.65	0.70	0.61	0.47	0.32	0.92
OS _k	1967-1986	675.05	-0.68	-2.91	-1.77	-4.31	7.88	63.49	-25.60
	1986-2000	11.70	-0.02	-4.93	-21.99	8.55	-0.71	6.46	-0.08

河干流张掖肃州区位于走廊北部的 IV

区, 其次是肃州区位于南部山前冲洪积扇中上部的 I 区和山丹河流域位于细土平原区的 III 区。在 1986~2000 年的 15 年间, 山丹河流域 III 区和 IV 区的绿洲不稳定性进一步加剧, 呈显著萎缩状态; 在黑河干流张掖肃州区, 原来不稳定的 I 区和 IV 区绿洲得以大幅度发展, 稳定性显著提高, III 区和 II 区绿洲扩展幅度明显下降, 但仍然处于稳定状态, 反映出肃州区绿洲在全区域得以稳定发展。

3.2 对水资源空间分布的影响

干旱区土地利用格局的变化将直接导致水资源的空间再分配。表 5 是依据本文提出的水资源在不同区域的占有量的评价结果, 1967~1986 年, 山丹河流域水资源在山前冲洪积扇上部 I 区的集中程度十分显著, 由于耕地和农村乡镇居民用地的急剧发展, 流域大量水资源消耗于 I 区, 这里是流域地表水资源的主要形成区, 该区域所占据的水资源全部为地表水; 其次是位于走廊中部细土平原区的 III 区, 该区域除了一部分地表水以外, 所消耗的水资源以地下水为主。在这期间, 黑河干流张掖肃州区不同区域水资源的空间配置除了在 II 区和 IV 区的用水略有增加以外, 没有显著的空间集中现象。1986~2000 年, 山丹河流域水资源空间配置状况仍然维持前 20 年的格局, 仅仅是通过李桥水库使得 II 区水资源利用量有所增加, III 区的水资源消耗量有所减少。该时段黑河干流张掖肃州区水资源空间配置发生了较明显的变化, 位于细土平原区的 III 区水资源的集中程度明显提高, 成为肃州区水资源的主要消耗区, I 区的水资源占有量有所增加, IV 区相对有所减少。

从上述分析可知, 伴随区域土地利用空间格局的变化, 水资源空间配置将发生显著改变。山丹河特殊的土地利用格局, 导致流域水资源在源区一带集中, 从而导致流域下游水资源可利用量减少, 如图 8 中祁家店水文站代表了山丹河下游径流过程变化, 从 20 世纪 60 年代以来, 河流径流量持续减少, 进入 90 年代后期, 濒临干涸。黑河干流张掖肃州区水资源利用在冲洪积扇下部的细土平原区相对集中, 对区域内其他区域的水资源配置影响不大, 因此, 肃州区土地利用格局变化产生的不同地带水资源的空间再分配没有产生显著的负面影响, 如图 8 中高崖水文站代表了黑河干流流出肃州区后的径流过程变化, 过去 45 年来, 径流过程没有发生明显变化趋势。

表 5 典型区域水资源利用量的空间相对集中度及其变化
Tab. 5 The concentration of water resources utilization and its variation in the typical study areas

		山丹河流域				黑河干流张掖区			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
H_k	1967-1986	40.68	-2.25	2.56	0.00	-1.44	-3.91	5.06	0.27
	1986-2000	3.97	-3.34	3.27	0.00	0.86	0.97	0.03	-0.11
C_k	1967-1986	0.00	-26.02	6.10	1.21	1.88	9.85	-12.05	0.29
	1986-2000	16.76	-1.29	1.91	-1.01	-2.05	-2.17	4.40	-0.22
W_k	1967-1986	3.60	-1.42	0.62	0.05	-0.34	0.12	-0.19	0.30
	1986-2000	1.05	-0.42	0.49	-0.04	-0.06	0.06	1.60	-0.15

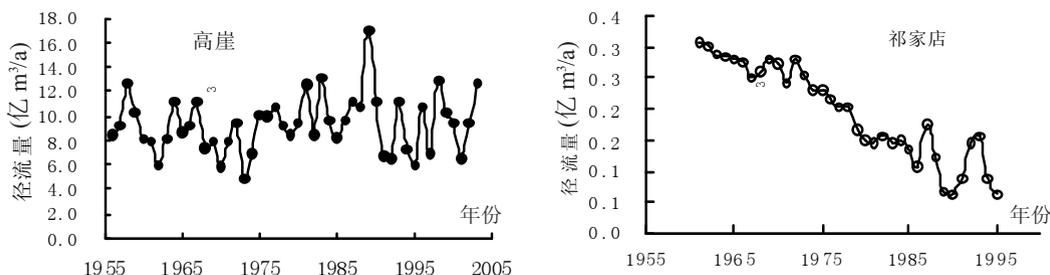


图 8 山丹河下游和张掖肃州区出境河流径流变化过程

Fig. 8 The outflow river runoff processes in the lower reach of Shandan river and Suzhou region

4 结论与讨论

黑河流域山丹河与张掖肃州区具有大致相似的地貌、土壤和流域水文等空间分布特征,但水资源的空间分布不同,由此在过去35年中形成了截然不同的土地利用空间格局及其变化特征。山丹河流域由于山前冲洪积扇上部耕地持续扩展,大量天然林草地转化为灌溉耕地,在1967~1986年的20年间全流域新增耕地的83%以及1986~2000年间全流域新增耕地的62%全部集中在该区域,形成了十分显著的人工绿洲向上游的迁移,直接导致流域水资源利用在山前冲洪积扇上部的相对集中,使得流域下游水资源利用分配迅速减少,原有绿洲稳定性急剧降低,荒漠化土地增加了85.1%。黑河干流张掖肃州区的土地利用格局及其变化与山丹河流域不同,过去35年耕地的发展主要集中在位于区域下游细土平原区和南部冲洪积扇中上部,其中1967~1986年全区域新增灌溉耕地的62.5%和1986~2000年新增耕地的49.3%集中在细土平原区,因此,土地利用格局的变化始终以区域下游老绿洲为核心,没有发生明显的绿洲迁移现象,对水资源空间利用配置的影响也以区域下游细土平原区的相对集中为主,且相对幅度较小,区域整体的绿洲稳定性较高。

过去35年来山丹河流域和黑河干流张掖肃州区土地利用格局的变化,代表了干旱内陆流域具有普遍意义的两种土地利用的空间变化类型。对比两个区域土地利用的空间格局及其变化,山丹河流域的土地利用模式实际上导致了绿洲沿河流的溯源迁移,使得流域水资源在上游地区集中,并形成中下游绿洲逐渐废弃而演变为荒漠化土地,相反,张掖肃州区土地利用变化形成以区域下游老绿洲为核心的绿洲渐进性向外拓展模式,没有产生较大的局部集中式水资源空间再分配,具有较好的绿洲可持续发展能力。在流域上游,尤其是水资源形成区土地利用格局的较大规模改变,不仅减少流域中下游大范围内可利用水资源量,而且土地利用的变化还直接改变降水—径流关系和产流过程,导致径流显著减少^[17]。因此,从流域不同地带的水土相互关系出发,合理规划干旱内陆流域土地利用模式和空间土地资源配臵,将原有的单纯“以水定地”的流域管理思想转移到流域水土关系协调的不同景观带水土资源耦合的优化开发模式上,对于内陆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。

参考文献 (References)

- [1] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N E et al. Land-use and land-cover change implementation strategy. Stockholm: IGBP Report No.48 and IHDP Report No.10, 2002. 21-66.
- [2] Suzanne Serneels. Priority questions for land use/cover change research in the next couple of years. Lucc Newsletter, 2001.
- [3] Vorosmarty C J, Green P, Salisbury J et al. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. Science, 2000, 289: 284-288.
- [4] Potter K W. Hydrological impacts of changing land management practices in a moderate-sized agricultural catchment. Water Resources Research, 1991, 27: 845-855.
- [5] Zhang Guoping, Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang. Spatial-temporal changes of cropland in China for the recent 10 years based on remote sensing. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(3): 323-332. [张国平, 刘纪远, 张增祥. 近10年来中国耕地资源的时空变化分析. 地理学报, 2003, 58(3): 323-332.]
- [6] DeFries R, Eshleman K N. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. Hydrological Processes, 2004, 18: 2183-2186.
- [7] Wang Genxu, Cheng Guodong, Xu Zhongmin et al. Water resource use and eco-environment problems in arid northwest China. Journal of Natural Resources, 1999, 14(2): 109-116. [王根绪, 程国栋, 徐中民等. 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.]
- [8] Jia Baoquan, Zhang Zhiqiang, Zhang Hongqi et al. On the current research status, problems and future framework of ecological and environmental water use. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(10): 1734-1740. [贾保全, 张志强, 张红旗等. 生态环境用水研究现状、问题分析与基本框架探索. 生态学报, 2002, 22(10): 1734-1740.]
- [9] Gao Qianzhao, Li Fuxing. Reasonable Development and Utilization of Water Resources in Heihe River Basin. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1990. 11-69. [高前兆, 李福兴. 黑河流域水资源合理开发利用. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990. 11-69.]
- [10] Chen Longhen, Qu Yaoguang et al. Water and Land Resources and Their Development and Utilization in Hexi Region. Beijing: Science Press, 1992. [陈隆亨, 曲耀光等. 河西地区水土资源及其开发利用. 北京: 科学出版社, 1992.]

- [11] Chen Zhikai, Wang Hao, Wang Dangxian. Water Resources Configuration, Ecological Environment Construction and Strategy of Sustainable Development Research in Northwest China (Water Volume). Beijing: Science Press, 2004. 1-231. [陈志恺, 王浩, 汪党献. 西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究(水资源卷). 北京: 科学出版社, 2004. 1-231.]
- [12] Fu Bojie, Qiu Yang, Wang Jun et al. Effect simulations of land use change on the runoff and erosion for a gully catchment of the Loess Plateau, China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(6): 717-722. [傅伯杰, 邱扬, 王军等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响. *地理学报*, 2002, 57(6): 717-722.]
- [13] Pan Qimin, Tian Shuili. The Water Resources of Heihe River Basin. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2001. 39-128. [潘启民, 田水利. 黑河流域水资源. 郑州: 黄河水利出版社, 2001. 39-128.]
- [14] Liu Jiyuan, Buheoser. Study of the space-time characteristics of landuse variations-based on remote sensing data. *Quaternary Research*, 2000, 20(3): 229-239. [刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究: 基于卫星遥感数据. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.]
- [15] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang et al. Analysis of time-space patterns of recent landuse variations in China. *Sciences in China (D Series)*, 2002, 32(12): 1031-1040. [刘纪远, 刘明亮, 庄大方等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学(D 辑)*, 2002, 32(12): 1031-1040.]
- [16] State Bureau of Land Administration. The rules in overall plan of land use at county level. 1997. 26-30. [国家土地管理局. 县级土地利用总体规划编制规程(试行). 1997. 26-30.]
- [17] Wang Genxu, Zhang Yu, Liu Guimin. Impact of land-use change on hydrological processes in the Maying River basin, China. *Science in China (Series D)*. 2005, 35(7): 671-681. [王根绪, 张钰, 刘桂民等. 马营河流域 1967-2000 年土地利用变化对河流径流的影响. *中国科学(D 辑)*, 2005, 35(7): 671-681.]

Comparison of Spatial Diversity of Land Use Changes and the Impacts on Two Typical Areas of Heihe River Basin

WANG Genxu^{1, 3}, LIU Jinqi², CHEN Ling³

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;

3. School of Resource and Environment Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Land use changes have a great impact on water resources and environment of arid inland regions. In the Heihe river basin, two typical areas were chosen to compare their spatial diversities of land use change and their impacts. Based on three periods of remote sensing data since the 1960s and the quantitative index system, the characteristics of land use pattern changes and land use type changes were compared and analyzed between the two areas, and the impact of land use changes on the stability of oasis system and spatial distribution of water resources in different areas were quantitatively assessed. The results indicate that different land use pattern changes have led to the formation of two different modes in the last 35 years. One is obvious shifting of oasis to headwater and upstream regions; the other is progressive prolongation around downstream old oasis periphery. The former leads to excessive centralized consumption of water resources in the upstream and headwater regions, and rapid decrease of the available water resources in the mid- and down-streams. Within the 35 years, the desertified land at downstream increased by 85.1% and irrigated oases shrank by 25.5%; however, the latter is different. The spatial distribution of water resource utilization centralized in the downstream regions with a small range, and the stability of the whole oasis system was quite high. In view of the relationship between water and land of the whole river basin, reasonable planning of land use mode and land resource distribution in an arid inland river basin is very meaningful to the improvement of the sustainable development of the whole river basin.

Key words: land use spatial pattern; land use change characteristics; oasis stability; spatial distribution of water resources; impact assessment; comparative analysis; Heihe river basin