

塔里木河干流耕地动态变化及其景观格局*

白元^{1,2} 徐海量¹ 刘新华^{1,2} 凌红波^{1,2} 赵新风^{1,2}

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

(2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 基于 3S(RS、GIS、GPS)技术,并结合数理统计和景观格局数量分析方法,运用 2000 年 CBERS、2005 年 CBERS 和 2010 年 TM 遥感影像对塔里木河干流 10 年耕地面积的时空变化、景观格局及其生态影响进行了定量研究。结果表明:(1)在过去 10 年中,塔河干流耕地面积明显增加。具体地,2000 年耕地面积为 $1.61 \times 10^5 \text{ hm}^2$,所占研究区总面积比例为 3.89%,至 2010 年增加至 $3.27 \times 10^5 \text{ hm}^2$,比例为 7.88%,年增长率为 $1.66 \times 10^4 \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$;(2)塔里木河干流耕地空间变化的区域差异明显。A、B、C、D 断面耕地分布宽幅分别为 21~23 km、11~16 km、6~17 km、4~9 km,塔河北岸 C、D 断面和南岸 D、E 断面耕地的增速最快;(3)2000-2010 年耕地的斑块数不断增加,面积加权形状指数增大,形状趋于不规则。景观聚集度适中,景观内斑块大小分布均匀性降低,景观多样性下降,各个景观类型所占比例趋于不协调。

关键词 耕地;时空变化;景观格局;塔里木河干流

中图分类号 F301.21 **文献标识码** A

20 世纪 90 年代以来,“土地利用/覆被变化”(LUCC)受到越来越多的关注,并逐渐成为全球变化研究的核心领域之一^[1-2]。耕地是人类生存与发展的重要物质基础,耕地面积在一定时段内的变化趋势和变化数量,能够反映区域土地资源利用的变化轨迹和人类活动的强度^[3]。耕地是干旱区绿洲农业最基本、最主要的自然资源,保证一定数量的耕地面积是干旱区绿洲农业发展的基础。但由于社会经济发展、人口增长和非农业建设等原因,耕地变化有增有减。各地区间耕地变化的差异较大,影响耕地变化的社会驱动因子也各不相同,因此对不同经济区耕地动态变化的差异性进行研究,探究其变化的内在原因和规律,对实现不同地区社会经济和耕地保护之间的协调发展具有重要的现实意义^[4-5]。

塔里木河(以下简称塔河)干流不仅是新疆主要的粮食和棉花产地,也是我国生物多样性保护及全球变化研究的关键区域之一^[6]。随着历史的变迁以及近代人类活动影响的加剧,尤其是绿洲农业的开发,塔河流域已经发生了巨大的演变,各个水系逐步支解并脱离与干流的联系^[7],加之水土资源和生物资源不合理地开发利用,导致该流域环境问

题日趋严重^[8-10]。为此,中国政府自 2000 年开始向塔河下游断流 30 年的河道实施应急生态输水工程,从而引发众多学者从不同角度对塔河的生态与环境问题进行了研究。国内的一些学者及时跟踪 LUCC 研究的国际动向,并积极开展有关 LUCC 的相关工作,从而取得了丰硕的科研成果^[11-13]。以往的研究主要集中于对塔里木河流域某区段的 LUCC 的探讨^[14-16],而基于流域尺度的研究较少,特别由于对耕地总量一直缺乏权威的数据,因此对该区土地利用变化研究有待进一步深化。鉴于此,本文利用 3S(RS、GIS、GPS)技术,对比分析了塔河干流 2000-2010 年期间耕地的时空变化特征,并通过引入景观生态学因子,探讨了塔河干流耕地的景观空间格局变化及其生态影响,以期为该区域土地利用结构优化调整及生态环境保护提供决策支持和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

塔里木河流域地处我国西部干旱区,流域面积 $1.02 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。干流从阿克苏河、和田河、叶尔羌

* 国家重点基础研究发展规划(973 计划)(2009CB421308)、国家自然科学基金项目(30970549,41171427)和水利部公益性行业科研专项(201101049)共同资助

† 通讯作者:徐海量(1971—),男,江苏宝应人,研究员,主要从事干旱区生态环境方面研究。E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn

作者简介:白元(1986—),男,硕士研究生,主要从事恢复生态学研究。E-mail: baiyuan1215@sina.com

收稿日期:2012-04-15;收到修改稿日期:2012-09-26

河的汇合口肖夹克至台特玛湖,全长 1 321 km,属平原型河流。流域面积 $1.76 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[17],地理跨度为东经 $81^\circ 51' \sim 88^\circ 30'$ 和北纬 $39^\circ 30' \sim 41^\circ 35'$ 。塔里木河干流按地貌特点分为三段:从肖夹克至英巴扎为上游,河道长 495 km,河道纵坡平均为 1/5 400;英巴扎至恰拉为中游,河道长 398 km,河道纵坡平均为 1/7 000;恰拉以下至台特玛湖为下游,河道长 428 km,河道纵坡较中游段大,平均为 1/5 900。

塔里木河干流属大陆性暖温带极端干旱气候区,多年平均气温 10.7°C ,极端最高气温达 43.6°C ,极端最低气温 -30.9°C ,大于 10°C 积温 $4\ 000 \sim 4\ 500^\circ\text{C}$ 之间,日照小时数约 3 000 h,无霜期 187 ~ 214 d。多年平均降水量 $17.4 \sim 42.8 \text{ mm}$,蒸发能力为 $1\ 121 \sim 1\ 636 \text{ mm}$,干旱指数为 28 ~ 80。

1.2 数据处理

塔里木河干流耕地及景观数据源的时间跨度为 2000 - 2010 年,共分为 3 个时间段,各时间段的数据源分别为:2000 年 CBERS 影像,2005 年 CBERS 影像和 2010 年 TM 影像。在 GIS 软件 ArcMAP 环境中,对土地利用变化进行人机交互式判读和数字化工作,生成矢量化专题图,获得不同时段耕地动态数据。并以塔里木河干流作为耕地的影响中心,以塔里木河干流的阿拉尔、新渠满、英巴扎和恰拉 4 个水文测站为分割点,将塔里木河干流依次分为阿拉尔—新渠满(A)、新渠满—英巴扎(B)、英巴扎—乌斯满(C)、乌斯满—恰拉(D)、恰拉—台特玛湖(E)5 个断面。采用缓冲区分析,其中回转半径用塔里木河干流的缓冲半径来表示,分析得到塔里木河耕地空间结构。景观格局通过景观统计软件 Fragstats 计算景观格局指数,在分析景观结构和空间异质性变化的基础上,分析景观格局在时间上的变化规律。

1.3 分析方法

在土地利用变化分析中,运用 ArcGIS 对 3 期土地利用数据图进行统计和叠加分析,输出不同断面不同缓冲区耕地数量表,并采用统计软件进行分析,结合 Origin 软件进行绘图。耕地变化的速度和区域差异可以通过耕地变化动态度和耕地相对变化率描述^[18-19]。耕地变化动态度公式如下:

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

式中, U_a 、 U_b 分别为区域耕地研究期初及研究期末耕地的面积, T 为研究期时段长。当 T 设定为年时,

R 为研究时段内耕地的相对年变化率。某一特定区域耕地相对变化率:

$$K = \frac{|U_b - U_a| \times C_a}{U_a \times |C_b - C_a|} \quad (2)$$

式中, U_a 、 U_b 分别为特定区域耕地研究期初及研究期末的面积; C_a 、 C_b 分别代表整个研究区耕地研究期初及研究期末的面积。若 $K > 1$, 表示该局部耕地变化幅度大于整体的变化幅度;若 $K < 1$, 则表示该局部耕地变化幅度小于整体的变化幅度。

关于景观空间格局分析,已有许多数量方法^[20-21]。本文选择景观类型面积(Class area)、类型百分比(Percent of landscape)、斑块数量(Number of patches)、斑块密度(Patch density)、蔓延度指数(Contagion index)、散布与并列指标(Interspersion and Juxtaposition index)、最大斑块指数(Largest patch index)、面积加权的平均形状因子(Area-weighted mean shape index)、平均最近距离(Euclidean Nearest Neighbor Index)、整体性(Cohesion)、景观分裂指数(Landscape division index)、分离度(Splitting index)、仙农多样性指数(Shannon's diversity index)、仙农均匀度指数(Shannon's evenness index)、聚合度(Aggregation index)等 15 个主要的景观度量指标,对塔里木河干流区土地利用景观格局变化进行了分析,各指标表达公式及其生态意义参照文献[22-23]。

2 结 果

2.1 耕地面积动态变化

基于 2000 年、2005 年和 2010 年的耕地空间分布图(图 1),统计分析结果表明(表 1):2000 年、2005 年和 2010 年塔里木河干流耕地面积分别占研究区总面积的 3.89%、6.48%、7.88%。2000 - 2005 年 A、B、C、D、E 断面耕地面积分别增加 41.57%、120.2%、191.1%、294.2%、19.86%,耕地总面积增加 66.65%;2005 - 2010 年 A、B、C、D、E 断面耕地面积分别增加 22.83%、13.13%、77.96%、48.20%、8.52%,耕地总面积增加 21.70%;2000 - 2010 年 A、B、C、D、E 断面耕地面积分别增加 73.90%、149.2%、418.0%、484.2%、30.08%,耕地总面积增加 102.8%。从塔里木河干流耕地分布图来看,耕地主要分布于上游阿拉尔和新渠满断面地区,结合统计数据发现,耕地较少分布于中游英巴扎至恰拉断面之间。

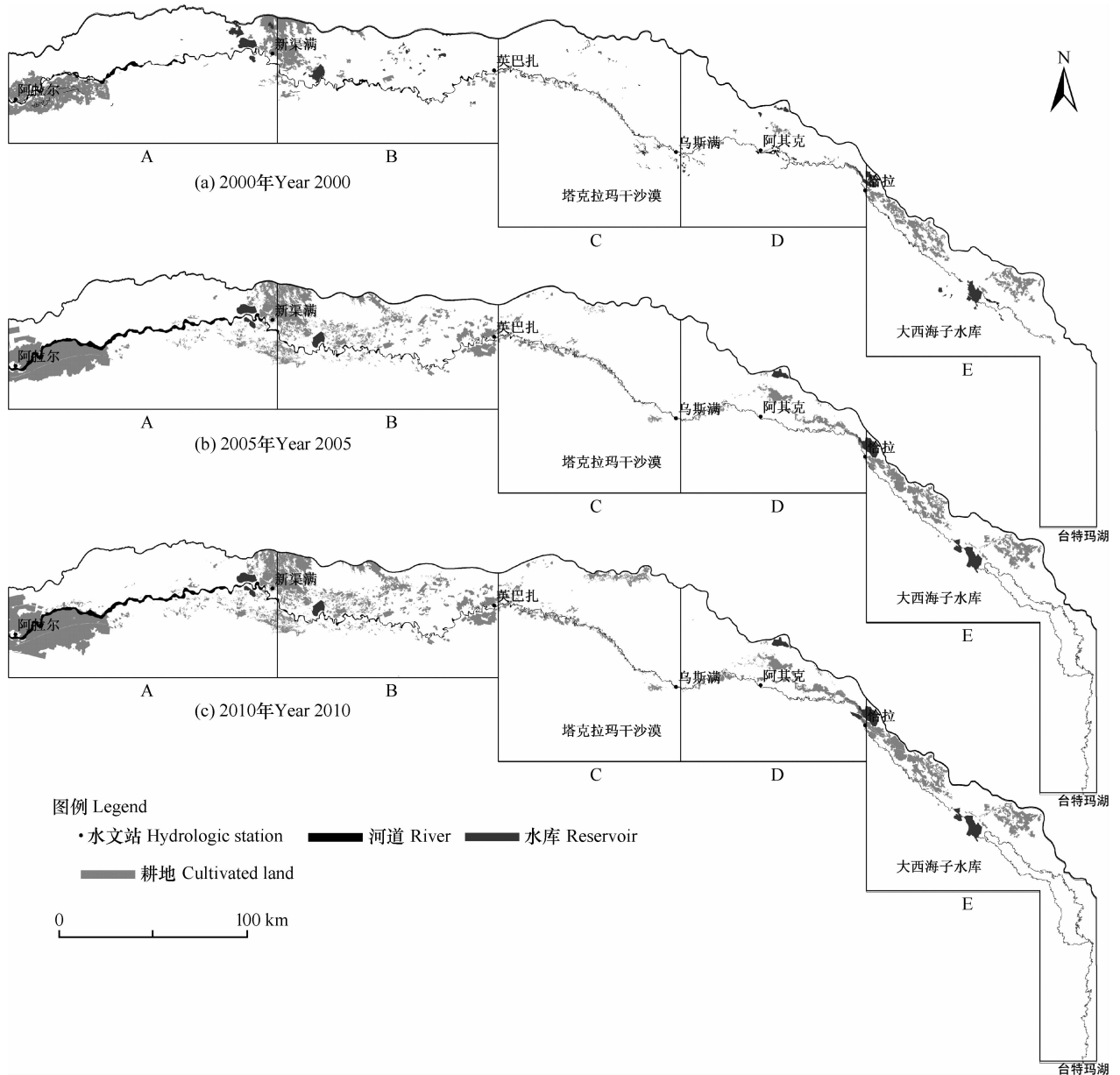


图 1 塔里木河干流区 2000 - 2010 年耕地空间分布图

Fig. 1 The 2000 - 2010 cultivated land distribution map of the mainstream of the Tarim River

表 1 研究区 2000 - 2010 年耕地面积变化

Table 1 Changes in cultivated land in the study area during 2000 - 2010

断面 Section	2000 年 Year 2000		2005 年 Year 2005		2010 年 Year 2010	
	面积 Area (hm ²)	百分比 Percent (%)	面积 Area (hm ²)	百分比 Percent (%)	面积 Area (hm ²)	百分比 Percent (%)
A	76 322	1.84	10 8051	2.60	132 725	3.20
B	38 973	0.94	85 835	2.07	97 107	2.34
C	4 511	0.11	13 132	0.32	23 369	0.56
D	4 412	0.11	17 394	0.42	25 777	0.62
E	37 171	0.90	44 553	1.07	48 350	1.16
总计 Total	161 389	3.89	268 964	6.48	327 328	7.88

2.2 耕地时空分布变化

2.2.1 耕地时间变化趋势 为详细分析干流耕地的变化,对干流不同区段的南北岸耕地面积进行了比较,发现耕地变化存在着显著的区域差异(图2)。从北岸来看,A、B、E断面所占面积较大,达63.83%,与2000年相比,2005年A、B、C、D、E断面分别增加28.78%、107.1%、511.8%、391.1%、19.61%,B、C、D断面的增加速度较快;与2005年相比,2010年A、B、C、D、E断面分别增加了28.59%、14.40%、166.0%、40.28%、8.49%,C、D断面的增速较快。从南岸来看,A断面所占面积最大,达28.28%,2005与2000年相比,A、B、C、D、E断面分别增加48.54%、203.4%、111.9%、

114.3%、9 155%,B、C、D、E的增速较快;各断面2010与2005年相比,A、B、C、D、E断面分别增加20.12%、7.66%、15.22%、81.88%、25.00%,D、E断面的增速较快。塔河干流耕地主要分布在A断面的南北岸和B、E断面的北岸,占到总耕地面积的84.46%。

根据动态度和相对变化率公式计算出塔河干流5个断面耕地利用变化率(表2),结果表明:2000-2005年塔河干流耕地R值为13.33%,2005-2010年耕地R值为4.34%,总体上2000-2010年塔河干流耕地R值为10.28%,这意味着在2000-2010年间每年100 hm²的土地中有10.28 hm²土地利用方式发生了变化,这一动态变化反映了人类对塔河

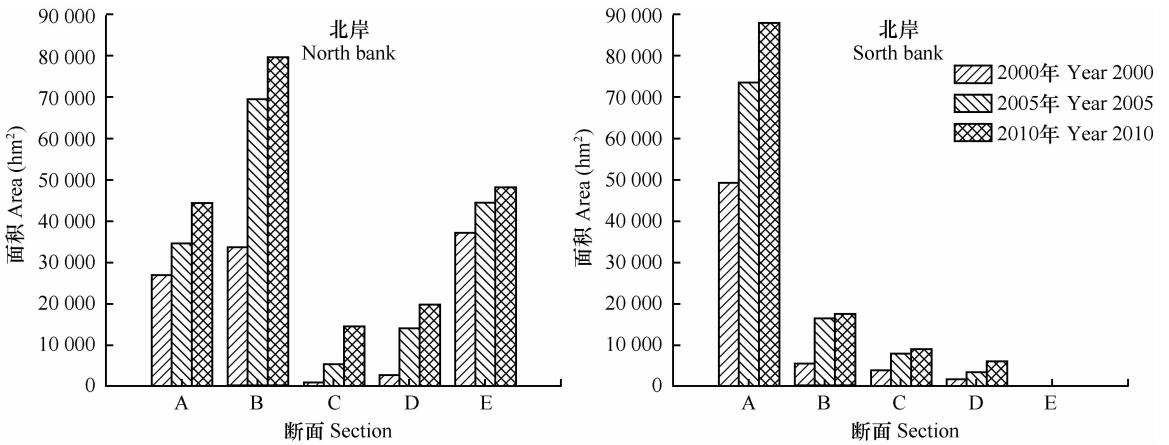


图2 研究区各断面南-北岸耕地面积变化

Fig. 2 Changes in area of cultivated land in the study areas

表2 塔河干流10年间耕地面积变化率

Table 1 Cultivated land area change rate in the mainstream of the Tarim River in 10 years

断面 Section		动态度 Dynamic degree (R) (%)			相对变化率 Relative change ratio (K) (%)		
		2000-2005年 Year	2005-2010年 Year	2000-2010年 Year	2000-2005年 Year	2005-2010年 Year	2000-2010年 Year
		2000-2005	2005-2010	2000-2010	2000-2005	2005-2010	2000-2010
A	N	5.76	5.72	5.83	0.43	1.32	0.64
	S	9.71	4.02	6.97	0.73	0.93	0.76
B	N	21.41	2.88	12.17	1.61	0.66	1.33
	S	40.68	1.53	20.15	3.05	0.35	2.2
C	N	102.4	33.21	135.8	7.68	7.65	14.86
	S	22.39	3.04	12.82	1.68	0.7	1.4
D	N	78.22	8.06	52.35	5.87	1.86	5.73
	S	22.86	16.38	25.76	1.71	3.77	2.82
E	N	3.92	1.7	2.65	0.29	0.39	0.29
	S	1831	5	1019	137.4	1.15	111.5

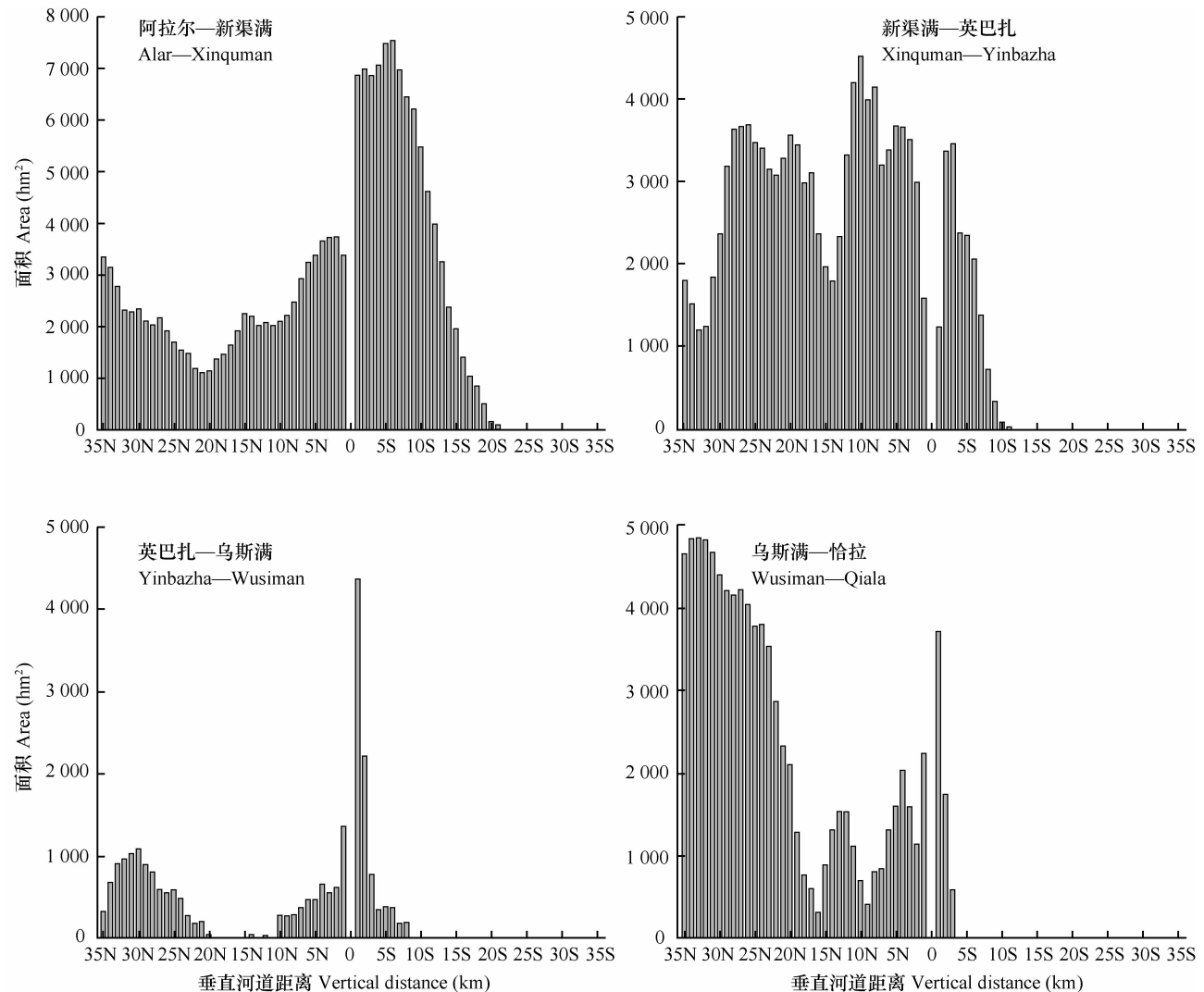
注:N表示北岸,S表示南岸 Note:N expressed north bank,S expressed south bank

干流土地利用方式的干扰程度。从表 2 可看出,塔河干流各断面耕地动态存在着明显的区域差异,在 2000 - 2005 年间,以 B、C、D 断面的南北岸和 E 断面南岸 R 值较大,高于干流整体变化水平;2005 - 2010 年间,A、C 断面北岸、D 断面、E 断面南岸 R 值较大;从 2000 - 2010 年整体看,只有 C 断面北岸、E 断面南岸耕地面积相对年变化率较大。

从相对变化率来看,2000 - 2005 年 A 断面和 E 断面北岸耕地相对变化率 $K < 1$;2005 - 2010 年 A 断面北岸、C 断面北岸、D 断面、E 断面南岸 $K > 1$,表明区域耕地变化幅度大于干流整体的变化幅度;2000 - 2010 年 A 断面和 E 断面北岸 $K < 1$,表明塔河干流只有 A 断面和 E 断面北岸耕地变化幅度远小于干流整体。

2.2.2 耕地空间分布变化趋势 塔河干流气候干燥,蒸降比较大,因而耕地分布受人为规划影响较大,表现为沿河道两岸集中分布。因此,根据塔河干流河道的分布特征,本研究采用空间区域逐级放大,分析多空间尺度的耕地变化。以 2010 年解译的耕地变化矢量图为例,利用 ArcGIS 空间分析模块,分别建立以河道为中心不同距离的缓冲区,以 1 km 为步长进行缓冲区计算,最大半径为 35 km,计算各缓冲区范围内的耕地面积,并分析耕地向心(塔里木河干流河流)聚集程度及空间尺度效应。

从不同断面南北岸耕地的空间分布(图 3)可以看出,耕地面积总体表现出随河道距离的增加呈波动下降趋势,波峰处反映出该区域水分条件较好,



注: N表示北岸, S表示南岸 Note: N expressed north bank, S expressed south bank

图 3 耕地面积空间分布变化柱状图

Fig. 3 Changes in spatial distribution of cultivated land

这是由于除主河道附近水分条件较好,耕地面积较大外,渠道和支流的影响也会导致耕地面积显著增加。同时,可以看出上游段阿拉尔—新渠满河道南岸耕地面积波动比北岸大,上游段新渠满—英巴扎河道北岸耕地面积较南岸大,而且波动规律较差,这是因为北岸包括渭干河平原绿洲,农业开发强度较大。而中游段英巴扎—乌斯满南北岸耕地面积最小,表现为随河道距离的增加而减小的趋势。乌斯满—恰拉北岸耕地变化幅度较大,主要是受库塔干渠引开都河-孔雀河入塔里木河的影响,而南岸面积呈明显下降趋势。塔河下游恰拉以下耕地主要分布于河道较窄的区域,因而不适宜进行缓冲区分析。

为研究河道影响下耕地的分布特征,采用回归分析,拟合耕地分布曲线,以距离河道最近的斜率为零点作为塔河干流河道的最大影响范围。结果表明,A断面南北岸耕地分布宽幅分别为 21 km、23 km;B断面南北岸耕地分布宽幅分别为 16 km、11 km;C断面南北岸耕地分布宽幅分别为 17 km、6 km;D断面南北岸耕地分布宽幅分别为 9 km、4 km。由上游至下游,耕地的分布宽幅逐渐下降。

2.3 耕地景观指数的空间变化

农田景观格局是各种复杂的自然和社会条件综合作用下农田景观要素的时空组织形态,是一切生态过程作用于农田景观的结果。通过景观指数

描述农田景观格局及变化,能够了解农田景观格局与景观过程之间的关系,揭示农田景观格局特征和演变规律。

2.3.1 斑块尺度上耕地变化 塔里木河干流是我国西部干旱区典型的内陆河流域,具有以河道为中心的河流廊道-绿洲-荒漠的景观模式。从表 3 中可以看出,2000—2010 年塔里木河干流耕地的景观格局发生了很大的变化:2000—2005 年耕地斑块数目(NP)增加了 127.1%;2005—2010 年增加了 17.88%;2000、2005、2010 年相应的斑块所占景观面积分别为 3.9%、6.5%、7.9%。斑块密度(PD)呈明显的增加趋势,2000—2010 年增加了 3 倍。从最大斑块指数(LPI)来看,从 2000 年的 1.16% 增加至 2010 年 1.79%,表明了这段时期内耕地在该区域呈面积增大、空间连片的变化特点。2000—2005 年 IJI 降低了 9.12%,表明耕地邻接少,人类活动的影响大,散布与并列指数(IJI)由 2005—2010 年上升了 3.34%,表明斑块间逐渐邻近。斑块结合度指数(COHESION)是对各斑块类型的物理连通性的描述,从 2000 年至 2010 年,耕地的 COHESION 均较高,表明耕地景观类型的连通性较好。而从分离度(SPLIT)来看,从 2000—2010 年耕地的分离度逐渐减小,表明空间结构聚集度增加,空间结构多样减少,景观异质性降低。

表 3 2000—2010 年农田斑块的景观格局指数

Table 3 Landscape indices of cultivated land from 2000 to 2010

年份 Year	景观类型面积 CA (hm ²)	类型百分比 PLAND (%)	斑块数目 NP	斑块密度 PD (n/100 hm ²)	最大斑块指数 LPI (%)	散布与并列指数 IJI (%)	整体性 COHESION	分离度 SPLIT
2000	163 457	3.93	133	0.003	1.16	75.04	88.58	4 287
2005	270 448	6.50	302	0.007	1.48	68.20	84.52	2 759
2010	328 277	7.89	356	0.009	1.79	70.48	84.97	1 969

2.3.2 景观尺度上耕地变化 根据研究区植被分布特点,并参照有关学者在干旱区绿洲研究中土地利用分类系统^[20-21],同时考虑到研究影像分辨率的问题和研究需要,利用 RS 和 GIS 技术将地物分为 12 种景观类型:裸地、河道、道路、居民区、水库、农田、滩涂、疏林地、林地、高覆盖草地、低覆盖草地、水渠。

根据塔河干流景观水平上景观格局的指数变化可以看出(表 4),2000—2010 年整个景观的密度呈先减少后增大的趋势,在 2000 年最大。LPI 先增大后减小,变化幅度为先增加 252.2%,后减小 0.7%,这表明优势斑块类型在景观中的面积比例从

2000 年至 2005 年间上升幅度较大,至 2010 年之间基本保持不变,这表明优势斑块类型对景观的控制作用增强。面积加权形状指数 2000—2010 年增加 1.04,表明斑块形状变得更复杂,更不规则。2000—2010 年斑块间的最邻近距离减少 81.80m。蔓延度指数数据表明 2000—2010 年塔河干流景观聚集度适中,且 IJI 有所增加,COHESION 均较高。景观分割度是度量景观分离性的指数,3 年的 DIVISION 分别为 0.97、0.77、0.77,2000—2010 年减少了 0.20,表明景观内斑块大小分布均匀性降低,某种斑块类型优势度提高。多样性指数是土地利用类型的多样性和复杂性的度量,多样性指数的高低反映了土

地利用类型的多少以及各类型所占比例的变化。均匀度指数描述不同的土地利用类型分配的均匀程度。近 10 年内景观的多样性指数和均匀度指数呈减小趋势,表明该区域的景观异质性在减小,景观类型有向单一化方向发展的趋势,区域景观格局愈来愈受少数斑块所控制。2005 年和 2010 年景观多样性指数差异不大,景观多样性构成特征相似,表现为 12 类景观在 2005 年和 2010 年均分布,各种景观类型齐全,但 2000 年较 2005 和 2010 年高,

表明近些年来景观多样性降低。景观均匀度指数在 2000—2010 年间呈减小趋势,表明景观各组成成分分配均匀程度在降低,景观各个类型所占比例趋向于不协调。

在塔河干流,斑块形状的复杂性随着农业化水平的提高而降低,使得斑块间的连通行增强,但同时绿洲不断向边缘扩张,耕地面积不断增大,使得绿洲景观的形状的复杂性和不规则性增强,斑块数且破碎度增加。

表 4 2000—2010 年塔河干流景观水平上的景观格局指数

Table 4 Landscape indices at landscape level of the mainstream of the Tarim River from 2000 to 2010

年份 Year	斑块密度 PD(n/100 hm ²)	最大斑块指数 LPI (%)	面积加权的平均形状因子 SHAPE_AM	平均最近距离 ENN_MN(m)	蔓延度指数 CONTAG (%)	散布与并列指数 IJI (%)
2000	0.09	13.52	3.26	2654	48.01	67.72
2005	0.06	47.62	4.35	2665	53.24	70.20
2010	0.07	47.31	4.30	2572	52.74	70.68

年份 Year	整体性 COHESION	景观分裂指数 DIVISION	分离度 SPLIT	多样性指数 SHDI	均匀度指数 SHEI	聚合度 AI
2000	90.72	0.97	33.01	1.89	0.64	68.65
2005	94.99	0.77	4.38	1.48	0.60	76.68
2010	94.83	0.77	4.43	1.50	0.60	76.26

3 结 论

近 10 年,塔河干流耕地面积发生了显著变化。耕地面积由 2000 年的 $1.61 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 增长至 2010 年的 $3.27 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 平均年增长率为 $1.66 \times 10^4 \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$ 。塔里木河干流耕地空间变化的区域差异明显。塔河耕地面积主要集中在流域两侧,C、D 断面和南岸 D、E 断面耕地的增速最快,扩展最为强烈。2000—2010 年耕地的斑块数目不断增加,景观内斑块大小分布均匀性降低,景观多样性下降,景观更为破碎化。

参 考 文 献

[1] Janssen L L F, Molenaar M. Terrain objects, Their dynamics and their monitoring by the integration of GIS and remote sensing. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 1995, 33(3): 749—758

[2] 史培军, 官鹏, 李晓兵. 土地利用/土地覆盖变化研究的方法和实践. 北京: 科学出版社, 2000: 2—3. Shi P J, Gong P, Li X B. Land use/land cover change research method and practice (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000: 2—3

[3] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 三江平原过去 50 年耕地动态变

化及其驱动力分析. *水土保持学报*, 2008, 22(4): 75—81. Song K S, Liu D W, Wang Z M, et al. Analysis of cultivated land dynamics in the past 50 years in Sanjiang Plain and its driving forces (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4): 75—81

- [4] 杨朝现, 谢德体, 陈荣蓉, 等. 重庆市不同经济区耕地动态变化及其驱动力差异性分析. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 171—174. Yang Z X, Xie D T, Chen R R, et al. Different analysis on dynamic change of cultivated land and its driving forces in different economic regions of Chongqing (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 171—174
- [5] 赵其国, 周生路, 吴绍华, 等. 中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策. *土壤学报*, 2006, 43(4): 662—672. Zhao Q G, Zhou S L, Wu S H, et al. Cultivated land resources and strategies for its sustainable utilization and protection in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4): 662—672
- [6] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河干流径流损耗及其人类活动影响强度变化. *地理学报*, 2011, 66(1): 89—98. Chen Z S, Chen Y N, Li W H, et al. Changes of runoff consumption and its human influence intensity in the mainstream of Tarim River (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 89—98
- [7] 傅丽昕, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河源区近 50 a 径流量与气候变化关系研究. *中国沙漠*, 2010, 30(1): 204—209. Fu L X, Chen Y N, Li W H, et al. Relation between climate change and runoff volume in the headwaters of the Tarim River

- during the last 50 years (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2010, 30(1): 204—209
- [8] 谭新平,李春梅,曹晓莉,等.塔里木河干流近 50 年地表水资源利用问题评估.干旱区研究,2004,21(3):193—198 Tan X P, Li C M, Cao X C, et al. Assessment on the utilization of surface water resources in the mainstream watershed of the Tarim River since recent 5 decades (In Chinese). *Arid Zone Research*, 2004, 21(3): 193—198
- [9] 贡璐,潘晓玲,师庆东,等.塔里木河上游土地利用格局变化及其影响因子分析.资源科学,2005,27(4):71—75. Gong L, Pan X L, Shi Q D, et al. Land use pattern and influential factors in the upper reaches of Tarim River (In Chinese). *Resources Science*, 2005, 27(4): 71—75
- [10] 满苏尔·沙比提,努尔卡木里·玉素甫.塔里木河流域绿洲耕地变化及其河流水文效应.地理研究,2010,29(12):2251—2260. Mansur S, Nurkamil Y. Oasis land use change and its hydrological response to Tarim River basin (In Chinese). *Geographical Research*, 2010, 29(12): 2251—2260
- [11] 李秀彬.中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示.自然资源学报,1999,14(4):329—333. Li X B. Change of arable land area in China during the past 20 years and its policy implications (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4): 329—333
- [12] 张飞,特依拜塔西甫拉提,丁建丽,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.生态学报,2009,29(3):1251—1263. Zhang F, Tashpolat T, Ding J L, et al. The change of land use/cover and characteristics of landscape pattern in arid areas oasis: A case study of Jinghe County, Xinjiang Uygur Autonomous Region (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1251—1263
- [13] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,等.基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析.生态学报,2007,27(4):1257—1264. Qiu P H, Xu S J, Xie G Z, et al. Analysis on the ecological vulnerability of the western Hainan island based on its landscape pattern and ecosystem sensitivity (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1257—1264
- [14] 郝兴明,李卫红,陈亚宁,等.塔里木河干流土地利用/覆盖变化的社会经济驱动力分析.中国沙漠,2007,27(3):405—411. Hao X M, Li W H, Chen Y N, et al. Analysis of socio-economic driving forces on land use and land cover change in Tarim River basin (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2007, 27(3): 405—411
- [15] 侯钰荣,安沙舟.塔里木河干流景观格局的时空变化分析.干旱区资源与环境,2010,24(3):44—50. Hou Y R, An S Z. Spatio-temporal changes of landscape patterns in mainstream of Tarim River (In Chinese). *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(3): 44—50
- [16] 赵锐锋,陈亚宁,李卫红,等.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. Zhao R F, Chen Y N, Li W H, et al. Land cover change and landscape pattern in the mainstream of the Tarim River (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(1): 95—106
- [17] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态问题研究.乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:38—40. Song Y D, Fan Z L, Lei Z D, et al. Research on water resources ecology of Tarim River, China (In Chinese). Urumqi: Xingjiang People's Publishing House, 2000:38—40.
- [18] 李忠锋,王一谋,冯毓荪,等.基于 RS 与 GIS 的榆林地区土地利用变化分析.水土保持学报,2003,17(2):97—99. Li Z F, Wang Y M, Feng Y S, et al. Analysis of land-use change in Yulin prefecture based on RS and GIS (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(2): 97—99
- [19] 满苏尔·沙比提,胡江玲.1957—2007 年阿克苏河流域绿洲耕地变化及其河流水文效应.冰川冻土,2011,33(1):182—189. Mansuer S, Hu J L. Land use change in the Aksu River basin in 1957—2007 and its hydrological effect analysis (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 33(1): 182—189
- [20] 卢玲,程国栋,李新.黑河流域中游地区景观变化研究.应用生态学报,2001,12(1):68—74. Lu L, Cheng G D, Li X. Landscape change in middle Heihe River basin (In Chinese). *Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 68—74
- [21] 马明国,王雪梅,角媛梅.基于 RS 与 GIS 的干旱区绿洲景观格局变化研究——以金塔绿洲为例.中国沙漠,2003,23(1):53—58. Ma M G, Wang X M, Jiao Y M. Study on the change of landscape pattern of oasis in arid region based on RS and GIS methods: Application of Jinta oasis (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2003, 23(1): 53—58
- [22] 赵军.平原河网地区景观格局变化与多尺度环境响应研究——以上海地区为例.上海:华东师范大学资源与环境科学学院,2008. Zhao J. Landscape pattern change and its environmental response across multiple spatial scales in tidal plain (In Chinese). Shanghai: College of Resources and Environmental Science, East China Normal University, 2008
- [23] 黄河.干旱地区植被景观格局与水生态过程研究——以黑河下游绿洲为例.杭州:浙江大学公共管理学院,2011. Huang H. Study on the relationship between vegetation and seape pattern and hydro-ecological process in arid regions: Take the oasis in the lower Heihe River as an example (In Chinese). Hangzhou: College of Public Administration, Zhejiang University, 2011

DYNAMIC CHANGE IN CULTIVATED LAND AND LANDSCAPE PATTERN ALONG THE MAINSTREAM OF THE TARIM RIVER

Bai Yuan^{1,2} Xu Hailiang¹ Liu Xinhua^{1,2} Ling Hongbo^{1,2} Zhao Xinfeng^{1,2}

(1 *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Urumqi 830011, China*)

(2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract Based on the CBERS images in 2000, CBERS images in 2005 and TM images in 2010, dynamic change in cultivated land and landscape pattern along the mainstream of the Tarim River from 2000 to 2010 were studied using the 3S technology and the analytical method of combining the mathematical statistics and landscape pattern quantity analysis. Results show that the area of the cultivated land along the mainstream of the Tarim River varied significantly, increasing from $1.61 \times 10^5 \text{ hm}^2$ or 3.89% of the total land area in 2000 to $3.27 \times 10^5 \text{ hm}^2$ or 7.88% in 2010, that is, by $1.66 \times 10^4 \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$; spatial variation of the cultivated land was also significant between sections of the river. At Sections A, B, C and D cultivated land spread as wide as 21 ~ 23 kilometer, 11 ~ 16 kilometer, 6 ~ 17 kilometer, and 4 ~ 9 kilometer, respectively and the spread was the fastest at Sections C and D on north bank of the river and Sections D and E on the south bank. During the period from 2000 to 2010, the cultivated land increased steadily in number of patches with its area weight shape index rising; and its patches becoming more irregular in shape. On the whole, the landscape aggregation degree was moderate; the distribution uniformity of patches various in size within a landscape and landscape diversity declined; and the proportions the various types of landscapes account for became less harmonious.

Key words Cultivated land; Spatial-temporal variation; Landscape pattern; Mainstream of the Tarim River

(责任编辑:檀满枝)