

塔里木河中游人工与天然绿洲相互转化 过程与适宜比例探讨

陈超群¹, 吴煜¹, 王健¹, 赵新风², 赵乐²

(1. 新疆兵团勘测设计院(集团)有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 中科院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 利用1990、2000、2010年3期Landsat TM/ETM遥感影像, 基于RS/GIS技术, 分别提取土地利用/覆被类型信息, 分析1990–2010年, 塔里木河中游人工绿洲和天然绿洲的变化规律及其比例, 探讨该区人工绿洲和天然绿洲的适宜配比。结果表明: 1990–2010年, 塔里木河中游人工绿洲不断扩张, 天然绿洲面积不断缩小, 1990–2010年人工绿洲面积增加了2 296.69 km², 天然绿洲面积减少了2 221.5 km², 扩张速度为114.83 km²/a, 减小速度为111.08 km²/a; 1990–2010年间, 塔里木河中游表现为人工绿洲替代天然绿洲的趋势: 草地、林地等向耕地转化, 草地、林地等向人工建筑用地转化; 植被长势衰退: 高覆盖草地向中、低覆盖草地转化, 中覆盖草地向低覆盖草地转化, 灌木林地逐渐退化为草地, 低覆盖草地向沙漠转化; 塔里木河中游人工与天然绿洲面积比例在近20年呈增加的趋势, 在1990、2000、2010年, 人工与天然绿洲面积比值分别是1: 39.7, 1: 17.4, 1: 9.8, 平均每增加1份人工绿洲面积就要失去1.7份天然绿洲面积。

关键词: 人工绿洲; 天然绿洲; 转化过程; 适宜比例; 塔里木河中游

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0042-06

Artificial and natural oasis mutual converting process and the proper ration in the middle reaches of Tarim River basin

CHEN Chaoqun¹, WU Yu¹, WANG Jian¹, ZHAO Xinfeng², ZHAO Le²

(1. Xinjiang Production and Construction Corps Survey and Design Institute (Group) Co., Ltd., Urumqi 830002, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: Based on the Landsat TM/ETM remote sensing images of the middle reaches of Tarim – river basin, using RS/GIS technologies, the land use/cover type information in 1990, 2000 and 2010 was extracted in this paper, the changing rule and the area ratio of the artificial and the natural oases was analyzed, and the suitable area ratio of the artificial and natural oasis was discussed. The results showed that: From 1990 to 2010, artificial oasis expanded continuously, natural oasis area in the middle reaches of Tarim River basin shrank, artificial oasis area increased 2296.69 km², and natural oasis area decreased 2221.5 km², the expansion speed was 114.83 km²/a and the decreasing speed was 111.08 km²/a. From 1990 to 2010, there was a trend of natural oasis replaced by artificial oasis, grassland and forest land transformed to arable land, The vegetation growing declined: high covered grass transferred to middle and low covered grassland, middle covered grass changed to low covered grassland, shrub land gradually degraded to grassland, and low covered grassland changed to desert. The artificial and natural oasis area ratio increased in recent 20 years, in 1990, 2000, 2010, artificial and natural oasis area ratio were 1: 39.7, 1: 17.4 and 1: 9.8 respectively. When there was increase of 1 artificial oasis area 1.7 natural oasis area would lose.

Key words: artificial oasis; natural oasis; transformation process; suitable proportion; middle reaches of Tarim River basin

收稿日期: 2016-10-24; 修回日期: 2016-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(31400466); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201501060)

作者简介: 陈超群(1979-), 男, 湖北公安人, 本科, 高级工程师, 主要从事环境影响评价、水土保持方面的工作。

通讯作者: 赵新风(1981-), 女, 河北保定人, 硕士, 主要从事恢复生态学方面的研究。

1 研究背景

绿洲是干旱区特有的景观,是干旱区最为精华的部分,没有绿洲就没有干旱区的生存与发展。绿洲是自然和人工相结合的综合体,根据其发生机制,可以划分为人工绿洲和天然绿洲^[1-3]。但是近年来,由于经济的发展和巨大的经济利益驱动,人工绿洲所占比例大幅增加,导致一系列生态问题,主要表现为人工绿洲扩张,天然草地、草场、野生动物栖息地、自然水域减少。关于绿洲转化方面,谢霞等^[4]利用绿洲、荒漠重心迁移模型,分析了艾比湖流域绿洲和荒漠化的时空变化;魏伟等^[5]采用干扰度指数、景观脆弱度指数、优势度指数和破碎度指数等分析了石羊河武威、民勤绿洲景观空间变化特征并评估了绿洲生态风险。分析与探讨维持合适的绿洲比例,对实现人工绿洲和天然绿洲协调、可持续发展,具有重要的科学和现实意义^[6-7]。

塔里木河中游植被退化较严重、土壤沙化、盐渍化,天然草场载畜量低,水资源严重浪费^[8]。国内有研究得出民勤绿洲耕地与天然绿洲规模的适宜比例约为1:2^[9]、新疆渭干河平原绿洲内耕地面积与(林地+草地)面积比例为3:2^[10];李建林等^[11]利用分形理论PAO(人工绿洲占整个绿洲面积的百分比)分析了新疆人工、天然绿洲分布的适宜比例,并认为新疆耕地面积还有一定的开发潜力。现提出科学问题:典型干旱区塔里木河中游人工与天然绿洲转化过程如何?其面积配比是否适宜?由于塔里木河中游对维系整个塔里木河流域的完整性意义重大,本研究以塔里木河中游流域为研究靶区,分析1990-2010年,其人工绿洲和天然绿洲的变化规律及其比例,探讨该区人工绿洲和天然绿洲的适宜配比。塔里木河中游不同土地利用类型的面积发生了较大变化,但其中不同土地利用类型之间转化的程度与方向并不明确,本文利用转移矩阵来进一步分析具体的土地转化过程。

2 研究区概况

塔里木河干流区属干旱区典型的大陆性气候。塔里木河中游位于巴州地区轮台县、库尔勒市、尉犁县境内。干燥少雨、蒸发强烈、多风、气温年差较大,日照充足,热量丰富。年平均气温10.5~11.4℃,大于10℃年积温4 039~4274℃。年蒸发量2 000~2 900 mm(20 cm小型蒸发皿观测值),而降水量仅30~50 mm。平均日照2 920~2 990 h,平均风

速1.6~2.9 m/s,8级以上大风14 d^[12]。

按地貌特点可将塔里木河干流流域划分为上、中、下游3段^[11-12]。塔里木河中游是从英巴扎至恰拉河段,河道长398 km,冲积平原宽80~130 km,地形平坦,河道弯曲,河势相对稳定,支流众多,水网紊乱。由于河床浅,坡降平缓,水流变缓,泥沙沉积作用强烈,河段过水能力小,常造成洪水期河流的频繁改道,遗弃的河道和牛轭湖甚多,使英巴扎站洪水90%以上耗散于此段。目前还有很多汉流在洪水时有水流过,如恰尖河、拉依河、阿拉河等。乌斯满河分为乌斯满河和渭干塔里木河,近年来原为引水而开的乌斯满河已成为塔里木河的主流,河水流至米尔沙里入罗乎罗克湖,又东流入阿克苏甫洼地,大量水分消耗于蒸发和入渗。被遗弃的干河道,经风吹蚀成沙丘、丘间洼地,洪水期积水成临时湖泊和沼泽。该河段河道淤积,洪水漫溢最为严重,由于毁林开荒和洪水漫溢的双重作用,灌溉面积和自然植被均有所增加^[5]。塔里木河中游多年平均(1957-1998年)来水 $29.49 \times 10^8 \text{ m}^3$,20世纪90年代(1990-1998年)来水 $21.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。有喀尔曲尕水库和塔里木水库,设计总库容 $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,年引水能力 $0.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。塔里木河中游灌区由这两座水库形成的两个水库灌区和沿河引水灌区组成^[12]。

3 数据来源及研究方法

3.1 数据来源

对1990、2000、2010年的塔里木河中游30 m分辨率的TM影像进行解译,其中土地利用/覆被类型的划分是按照国家环境保护总局发布的HJ/T192-2006《生态环境状况评价技术规范(试行)》中土地利用类型的标准进行土地利用要素的提取,并绘制出塔里木河下游土地利用图。在ERDAS9.0和ArcGIS9.0的支持下,按照上述的分类系统对3期遥感影像进行目视解译并数字化、建立拓扑关系,并用野外考察数据对解译结果进行校正,获得3期土地利用图形数据和属性数据。

3.2 绿洲分类方法

在绿洲平原区,将各土地利用类型进行分类划分,分为人工绿洲和天然绿洲^[14-15](表1)。

3.3 转移矩阵计算

利用ArcGIS的interset模块及Excel数据分析模块,将解译好的塔里木河中游1990、2000和2010年3期的遥感影像,在ArcGIS中进行叠加运算,得到1990-2000年、2000-2010年土地利用转

移矩阵。

表 1 人工绿洲与天然绿洲要素划分

绿洲类型		土地利用类型
天然绿洲	林地	有林地
		疏林地
		灌木林地
		高覆盖度草地
	草地	中覆盖度草地
		低覆盖度草地
		湖泊
	水域湿地	河流
		滩涂湿地
	耕地	水田
人工绿洲	林地	旱地
		其他林地(果园)
	建筑用地	城镇用地
		农村居民点
		其他建筑用地
	水域湿地	水库

4 结果分析

4.1 塔里木河中游人工、天然绿洲面积变化特征

塔里木河中游 1990 - 2010 年间人工绿洲面积、天然绿洲面积以及绿洲总面积的变化结果如图 1。从 1990 年到 2010 年塔里木河流域人工绿洲面积表现为逐渐增加的过程,由 1990 年的 167.84 km² 增加到 2000 年的 364.86 km²,再增加到 2010 年的 624.15 km²,平均增长速率为 22.82 km²/a;天然绿洲面积从 1990 年到 2010 年呈逐渐下降的趋势,由 1990 年的 6 668.09 km² 减少到 2000 年的 6 367.19 km²,再减少到 2010 年的 6 104.61 km²,平均减少率为 28.17 km²/a,说明人工绿洲的平均增长速率与天然绿洲的平均减少速率大体相当。塔里木河中游流域绿洲总面积在近 20 年没有太大变化,说明绿洲面积的变化主要表现在人工绿洲与天然绿洲面积的相互转化中。

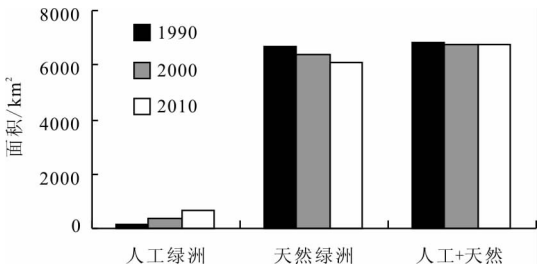


图 1 塔里木河中游 1990 - 2010 年人工与天然绿洲面积

塔河中游林地面积占流域总面积 8.23%。在 1990 - 2010 年中游有林地减少,其年均变化率为 4.76%。疏林地中,游疏林地面积占流域总面积的 0.37% 左右;在 1990 - 2000 年间中游疏林地的年均变化率为 -0.65%。在 2000 - 2010 年中游年均变化率为 -0.10% (表 2)。

表 2 塔河中游林地面积占总面积的比重 %

年份	林地类型	占比
1990 年	有林地	1.33
	疏林地	0.40
	灌木林地	6.15
	其它林地	0
2000 年	有林地	1.30
	疏林地	0.37
	灌木林地	5.85
	其它林地	0
2010 年	有林地	1.26
	疏林地	0.37
	灌木林地	5.78
	其它林地地域	0

4.2 塔里木河中游人工与天然绿洲变化分析

塔里木河中游 1990、2000 和 2010 年土地类型面积变化情况如表 3、4、5 所示。

由表 3 可知,在 1990 - 2000 年间,塔里木河中游人工绿洲中的耕地增加了 493.69%,耕地主要由高覆盖草地、疏林地、灌木林地、有林地转化而来;农村居民点、其它建设用地面积均有增加,分别增加了 11.81%、327.62%,农村居民点面积主要由耕地、高覆盖草地转化而来,其他建设用地主要由疏林地、灌木林地、有林地转化而来。河渠面积增加了 0.17%,主要由沼泽转化而来。

各种天然林地的面积均有减少:2000 年有林地、灌木林地、疏林地面积分别较 1990 年减少了 1.81%、6.44%、4.98%,有林地主要转化成了耕地,灌木林地主要转化成了耕地,疏林地主要转化成了沙地和耕地。

各种草地中高覆盖草地减少了 13.26%,主要转化成了耕地和中、低覆盖草地;中覆盖草地主要转化成了耕地和沙地,低覆盖草地主要转化成了中覆盖草地、耕地和沙地。沼泽地减少了 99.84%,主要转化为高覆盖草地、疏林地、中覆盖草地。沙地面积增加了 0.99%,主要由疏林地转化而来。

表 3塔里木河中游 1990 – 2000 年土地利用类型转移矩阵

km²

1990 – 2000 年	耕地	有林地	灌木林地	疏林地	高覆盖草地	中覆盖草地	低覆盖草地	河渠	水库	滩涂湿地	农村居民点	其它建设用地	沙地	沼泽
耕地	40.54						0.00					0.16		
有林地	11.15	585.62		0.15				0.00					0.07	
灌木林地	11.53	0.11	166.63	0.00									0.08	0.00
疏林地	32.65	0.15	0.00	2623.43	1.23	9.51	5.09	0.00					0.34	96.20
高覆盖草地	133.01		0.24	0.61	908.77	95.74	28.40	0.00	4.23		0.08			3.03
中覆盖草地	7.44			0.38	0.93	418.74	0.17	0.00						3.61
低覆盖草地	4.76			0.36	0.00	11.00	1391.58	0.00						1.63
河渠	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	66.15						0.00
水库					6.30	2.12			51.11					
滩涂湿地										0.28				
农村居民点	0.08										1.25			
其它建设用地												0.15		
沙地			0.00	0.52			0.00	0.00					10530.72	
沼泽	0.43	0.32		5.15	101.21	4.87		0.11					0.20	0.18
变化幅度/%	493.69	– 1.81	– 6.44	– 4.98	– 13.26	25.67	1.13	0.17	– 7.04	0.00	11.81	327.62	0.99	– 99.84

由表 4 可知,在 2000 – 2010 年,塔里木河中游人工绿洲中的耕地增加了 96.80%,主要由高、低覆盖草地、疏林地、中覆盖草地、有林地转化而来;农村居民点面积增长了 79.25%,主要由高覆盖、低覆盖草地转化而来。而各种天然林地面积均有减少,有林地、灌木林地、疏林地面积分别减少了 3%、1.02%、1.19%,有林地、灌木林地主要转化成为耕

地;疏林地主要转化成耕地与沙地以及中覆盖草地;草地中,高覆盖草地面积减少了 49.67%,主要转化成了中覆盖草地、耕地、水库、疏林地、低覆盖草地;低覆盖草地面积减少了 3.9%,主要转化成了耕地、中覆盖草地、疏林地、水库。中覆盖草地面积增长了 64%,主要由高覆盖草地、低覆盖草地、疏林地转化而来。

表 4塔里木河中游 2000 – 2010 年土地利用类型转移矩阵

km²

2000 – 2010 年	耕地	有林地	灌木林地	疏林地	高覆盖草地	中覆盖草地	低覆盖草地	河渠	水库	滩涂湿地	农村居民点	其它建设用地	沙地	盐碱地	沼泽
耕地	240.70	1.24		0.67	0.00	0.27	0.40	0.02			0.08				
有林地	20.89	564.57		0.19	0.00	0.19		0.24					0.12		
灌木林地	2.26		164.60	0.00									0.00		
疏林地	43.48	0.24	0.08	2572.44	0.00	2.44	0.36	0.06	0.17				11.45		
高覆盖草地	88.16			23.13	494.50	356.29	17.42	0.00	34.64		0.62		0.00	1.64	
中覆盖草地	35.35			0.38	0.00	484.97	11.37	0.00	10.21				0.00		
低覆盖草地	46.63		0.41	1.36	0.47	40.42	1334.23	0.00	0.78		0.56		0.37		
河渠	0.13	2.55	0.08	0.70	0.00	0.95	0.00	61.28	0.58				0.00		
水库	0.40				16.58	3.83			34.53						
滩涂湿地										0.28					
农村居民点	0.08										1.41				
其它建设用地												0.64			
沙地	0.89		0.00	0.52		0.00	5.93	0.00					10628		
盐碱地														1.19	
沼泽															0.18
变化幅度/%	96.80	– 3.00	– 1.02	– 1.19	– 49.67	64.00	– 3.90	– 7.02	46.23	0.00	79.25	0.00	0.04	137.13	0.00

从表 5 可看出,从 1990 – 2010 年间,塔里木河中游人工绿洲,耕地增加了 1076.52%,主要由高覆盖草地、疏林地、低覆盖草地、中覆盖草地、有林地、灌木林地转化而来。农村居民点面积增加了 100.41%,主要由高覆盖与低覆盖草地转化而来;其它建设用地面积增加了 327.62%,主要由疏林地、灌木林地、有林地转化而来。各种天然林地面积均有所减少:有林地、灌

木林地、疏林地面积分别减少了 4.76%、7.39%、6.13%,有林地主要转化成耕地,灌木林地同样主要转化成了耕地,疏林地主要转化成沙地与耕地;高覆盖草地面积减少了 56.35%,主要转化成了耕地、中覆盖与低覆盖草地、水库;低覆盖草地减少了 2.89%,主要转化成耕地与中覆盖草地、沙地;中覆盖草地增长了 106.06%,主要由高覆盖草地转化而来。

表 5 塔里木河中游 1990 – 2010 年土地利用类型转移矩阵 km²

1990 – 2010 年	耕地	有林地	灌木林地	疏林地	高覆盖草地	中覆盖草地	低覆盖草地	河渠	水库	滩涂湿地	农村居民点	其它建设用地	沙地	盐碱地	沼泽
耕地	40.17	0.19		0.12			0.03	0.02			0.16				
有林地	32.04	564.14		0.19	0.00	0.19		0.24				0.07	0.12		
灌木林地	13.80	0.11	164.36	0.00								0.08	0.00		
疏林地	91.18	0.24	0.08	2567.24	0.00	2.44	0.36	0.06	0.17			0.34	107.12		
高覆盖草地	219.81		0.24	23.74	431.45	406.41	45.64	0.00	39.20		0.70		3.03	1.64	
中覆盖草地	33.18			0.38	0.93	393.07	0.38	0.00					3.55		
低覆盖草地	46.05	1.05	0.41	1.36	0.47	40.42	1317.4	0.00	0.78		0.56		2.00		
河渠	0.13	2.55	0.08	0.70	0.00	0.95	0.00	61.17	0.58				0.00		
水库					17.22	2.12			40.18						
滩涂湿地										0.28					
农村居民点	0.08										1.25				
其它建设用地												0.15			
沙地	0.83		0.00	0.52		0.00	5.93	0.00					10524		
盐碱地														1.19	
沼泽	1.48	0.32		5.15	61.47	43.55		0.11					0.20		0.18
变化幅度/%	1076.52	-4.76	-7.39	-6.13	-56.35	106.06	-2.89	-6.86	35.94	0.00	100.41	327.62	1.03	137.13	-99.84

4.3 塔里木河中游人工天然绿洲面积比例分析

通过前面分析可知,塔里木河中游人工绿洲面积不断扩大、天然绿洲不断缩小,但绿洲总面积(人工 + 天然)在近 20 年没有太大变化(表 6),说明绿洲面积的变化主要表现在人工绿洲与天然绿洲面积的相互转化中。通过计算人工与天然绿洲面积比例,两者比值在近 20 年呈增加的趋势,在 1990、2000、2010 年,人工与天然绿洲面积比值分别是 1: 39.7、1: 17.4、1: 9.8(表 6)。

表 6 塔里木河中游人工与天然绿洲面积比例

年份	绿洲面积/ km ²	人工和天然绿洲面积比	
		包含低覆盖草地	不包含低覆盖草地
1990 年	人工	167.84	1: 39.7
	天然	6668.09	1: 31.3
2000 年	人工	364.86	1: 17.4
	天然	6367.19	1: 13.5
2010 年	人工	624.15	1: 9.8
	天然	6104.61	1: 7.6

5 讨 论

1990 – 2010 年,塔里木河中游的人工绿洲不断扩张,天然绿洲面积不断缩小,表现为人工绿洲替代天然绿洲的趋势。新增耕地主要来源于林地和草地,建筑用地面积增速较为稳定,且有提高的趋势,这是由于当地的经济水平持续上升、城市化进程加快导致。人工水库面积的增长速度在时间尺度上表现为:持续增长。

人工与天然绿洲面积比例在近 20 年呈增加的趋势,在 1990、2000、2010 年,人工与天然绿洲面积比值分别是 1: 39.7、1: 17.4、1: 9.8(表 6)。众所周知在新疆南疆地区荒漠草地占很大范围,因此在遥感解译过程中,对低覆盖草地的定义是:只要 1 m²中有 4 颗草,即为低覆盖草地。因此,笔者认为有一些数据处理产生的误差可能引起结果有所不同。首先,天然绿洲面积主要是由 3 大类组成,按其面积及比例由大到小排列为:草地面积、林地、水域面积。草地面积占很大比例,如图 2 所示。

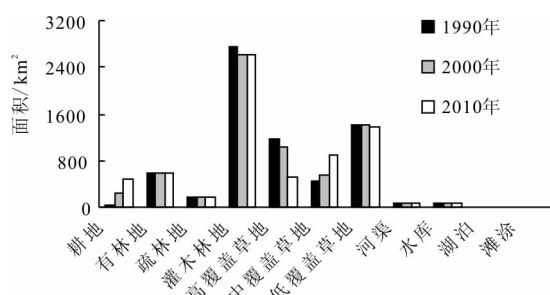


图2 低覆盖草地面积与其他类型面积比较

其次,在计算人工绿洲面积中的草地面积时,是将高、中、低覆盖面积的草地面积相加获得。因此,在计算天然绿洲面积的过程中人为地扩大了天然草地面积,最终导致面积比例结果(人工/天然)偏小。现将低覆盖草地面积不算入天然绿洲范围,再次计算人工与天然绿洲规模之比(表6),此时,1990年、2000年、2010年的面积比例分别是1:31.3、1:13.5、1:7.6。

绿洲适宜规模中,人工与天然绿洲比例应为流域的中游主要是以灌溉农业为主导的人工绿洲,剩余的水流向荒漠区,形成以天然绿洲,人工绿洲面积不宜过大,根据已有研究,国内有研究提出天然绿洲面积比例应至少为15%左右,即人工绿洲占整个绿洲面积的百分比不宜超过85%^[16];胡顺军等^[10]认为渭干-库车河流域人工与天然绿洲规模的适宜比例为2:3。流河中游主要是以灌溉农业为主导的人工绿洲,剩余的水流向荒漠区,形成以天然绿洲,中游用水过量会导致下游的天然绿洲衰败甚至趋于灭亡,河流深入沙漠,沙地范围内所占比例较大,绿洲四周受风沙侵袭较大;钱正英等^[17]认为干旱区人工绿洲面积不宜过大,人工绿洲与天然绿洲面积比例不应超过4:6。若将人工/天然绿洲面积不超过4:6来判断绿洲结构是否合理,那么,研究时段内塔里木河中游人工与天然绿洲面积比例还处于较适宜阶段。

塔里木河中游人工和天然绿洲面积增减过程如图3所示。

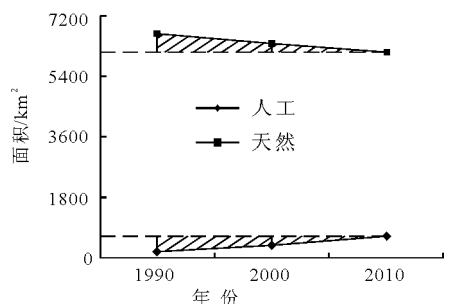


图3 塔里木河中游人工、天然绿洲面积增减过程

通过计算,从1990年到2010年,塔里木河中游人工绿洲增加的面积(1个梯形+1个三角形)与天然绿洲减少的面积(1个梯形+1个三角形)的比例为1:1.7,也就是说增加1份的人工绿洲面积就要失去1.7份的天然绿洲面积。

6 结 论

(1)1990-2010年,塔里木河中游人工与天然绿洲总面积变化不大,绿洲的面积变化主要表现在人工绿洲与天然绿洲面积的相互转化中。塔里木河中游人工绿洲不断扩张,天然绿洲面积不断缩小。人工绿洲平均以每年25.93 km²的速率增加,而天然绿洲平均以每年26.26 km²的速率减少。

(2)1990-2010年间,在塔里木河中游主要表现为人工绿洲替代天然绿洲的趋势:天然草地、林地等向耕地、人工建筑用地转化;植被长势衰退:高覆盖草地向中、低覆盖草地转化,中覆盖草地向低覆盖草地转化,灌木林地逐渐退化为草地,低覆盖草地向沙漠转化。

(3)对塔里木河中游人工与天然绿洲面积比例而言,1990、2000、2010年人工与天然绿洲面积比例大体为1:39.7、1:17.4、1:9.8。通过人工绿洲增加面积与天然绿洲减少面积的比值看,每增加1份人工绿洲面积就要失去1.7份天然绿洲面积。

参考文献:

[1] Mamat Z ,Yimit H ,Eziz A ,et al. Oasis land - use change and its effects on the eco-environment in Yanqi Basin, Xinjiang, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2014,186(1):335-348.

[2] Lei Yu , Li Xiangquan, Ling Hongbo. Model for calculating suitable scales of oases in a continental river basin located in an extremely arid region, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2015,73(2):571-580.

[3] Qiao Xuning, Yang Degang, Zhang Xinhuan. Evolution stages of oasis economy and its dependence on natural resources in Tarim River Basin [J]. Chinese Geographical Science,2009,19(2):135-143.

[4] 谢 霞,塔西甫拉提·特依拜. 艾比湖流域绿洲化与荒漠化过程时空演变研究[J]. 中国沙漠,2013,33(1):38-45.

[5] 魏 伟,石培基,雷 莉,等. 基于景观结构和空间统计方法的绿洲区生态风险分析——石羊河武威、民勤绿洲为例[J]. 自然资源学报,2014,29(12):2023-2035.

[6] 雷志栋,胡和平,杨诗秀,等. 塔里木盆地绿洲耗水分析[J]. 水利学报,2006,37(12):1470-1475.

- data[J]. *Ecography*, 2006, 29(2): 129–151.
- [3] Medeiros – Do – Nascimento R, Alves – Pereira J L, Rocha – Barbosa O, et al. Origin and antimeric distribution of the femoral nerves in New Zealand Rabbits[J]. *International Journal of Morphology*, 2015, 33(2): 632–637.
- [4] Haegeman B, Etienne R S. Entropy maximization and the spatial distribution of species[J]. *The American Naturalist*, 2010, 175(4): 74–90.
- [5] 刘芳, 李晟, 李迪强. 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述[J]. *生态学报*, 2013, 33(22): 7047–7057.
- [6] Hong Bigong, Li Shaozhu. The preliminary study of the correlations between the distribution of main evergreen broad-leaf tree species in Jiangsu and climates[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1981, 1(2): 105–111.
- [7] Xu Zhonglin, Zhao Chuanyan, Feng Zhaodong. A study of the impact of climate change on the potential distribution of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) in Qilian Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 278–285.
- [8] 张浩. 辽河流域鱼类物种与群落现状和潜在状况预测研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [9] 乔淑芬, 乔淑莉, 何晓燕, 等. 长白山区主要冷水鱼资源现状调查研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(34): 16886–16887.
- [10] 于宏兵, 周启星. 松花江流域生态演变与鱼类生态[M]. 天津: 南开大学出版社, 2013.
- [11] 国家环境保护总局. HJ/T 91–2002 地表水和污水监测技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [13] 李思忠. 中国淡水鱼类的分布区划[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [14] 解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007.
- [15] 辽宁省科学技术委员会. 辽宁动物志: 鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1987.
- [16] 王岐山, 施白南, 郭冶之, 等. 松花江流域鱼类初步调查[J]. *吉林师大学报*, 1959(1): 1–99.
- [17] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, et al. A framework for biological criteria for florida streams using benthic macroinvertebrates[J]. *Freshwater Science*, 1996, 15(2): 185–211.
- [18] 姜霞, 王书航. 沉积物质量调查评估手册[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [19] 王珂. 三峡库区鱼类时空分布特征及与相关因子关系分析[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013.
- [20] 刘艺梁, 殷坤龙, 刘斌. 逻辑回归和人工神经网络模型在滑坡灾害空间预测中的应用[J]. *水文地质工程地质*, 2010, 37(5): 92–96.
- [21] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. *生态学报*, 2001, 21(1): 1–6.
- [22] 韩英, 张澜澜, 牟振波, 等. 黑龙江茴鱼的人工繁殖[J]. *科学养鱼*, 2008(1): 6–7.
- [23] 徐俐力. 黑龙江省几种珍稀冷水鱼类生存现状[J]. *黑龙江科技信息*, 2007(S): 137–137.
- [24] 袁婧, 茅泽育. 松花江流域水生生态特征研究分析[C]//. 全国结构工程学术会议, 2013.

(上接第 47 页)

- [7] 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态水文问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [8] 海米提·依米提, 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 张峰, 等. 基于 3S 的塔里木河中游景观格局变化特征分析[J]. *新疆大学学报(自然科学版)*, 2007, 24(2): 127–133.
- [9] 刘金鹏, 费良军, 南忠仁, 等. 基于生态安全的干旱区绿洲生态需水研究[J]. *水利学报*, 2010, 41(2): 226–223.
- [10] 胡顺军, 宋郁东, 田长彦, 等. 渭干河平原绿洲适宜规模[J]. *中国科学(地球科学)*, 2006, 36(S2): 51–57.
- [11] 李建林, 王燕, 郭巧玲, 等. 绿洲分布比例的分形研究[J]. *草业学报*, 2010, 19(3): 63–69.
- [12] 刘晏良. 塔里木河中下游实地踏勘报告[M]. 北京: 中国环境出版社, 2000.
- [13] 梁匡一, 刘培君. 塔里木河两岸资源与环境遥感研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1990.
- [14] 樊自立, 穆桂金, 马英杰, 等. 天山北麓灌溉绿洲的形成和发展[J]. *地理科学*, 2002, 22(2): 184–189.
- [15] 樊自立. 塔里木盆地绿洲形成与演变[J]. *地理学报*, 1993, 48(5): 421–427.
- [16] 黄领梅. 水文要素对人类活动响应的研究——以和田河流域为例[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
- [17] 钱正英, 陈志恺. 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[M]. 北京: 科学出版社, 2004.