

基于土地利用与水资源变化的和田河流域绿洲适宜规模分析

徐永波¹, 李江², 侯一峰^{3*}, 朱成刚³

¹新疆塔里木河流域和田管理局, 新疆 和田

²新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒

³荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 干旱区生态安全与可持续发展重点实验室, 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年8月17日; 录用日期: 2023年9月15日; 发布日期: 2023年10月11日

摘要

随着经济的快速发展, 和田河流域耕地与绿洲发展规模不断扩大, 探究和田河流域土地发展与绿洲演变对其可持续发展具有重要意义。本文采用遥感数据、土地利用转移矩阵和水热平衡法等方法, 探究和田河流域土地利用格局与绿洲演变、绿洲适宜规模及耕地适宜面积。结果表明: 1) 1990~2020年, 流域内耕地和草地面积增加和未利用地面积减少十分显著, 并且明显转化为其他土地类型。期间耕地面积增长率高达36.12%, 未利用地共减少1435.99 km²。2) 期间流域内绿洲面积增加了454.11 km², 2000~2010年显著增加。3) 在“绿度”取值0.75和1时, 适宜绿洲规模分别为4381.40 km²和5841.87 km², 适宜耕地面积范围则分别在1314.40~1752.53 km²和1752.53~2336.73 km²。随着流域耕地和绿洲规模不断扩张, 需要科学推进绿洲发展, 建设高标准节水农田。

关键词

和田河流域, 绿洲演变, 适宜规模, 土地利用

Analysis of the Suitable Scale of Oasis in the Hotan River Basin Based on Changes in Land Use and Water Resources

Yongbo Xu¹, Jiang Li², Yifeng Hou^{3*}, Chenggang Zhu³

作者简介: 徐永波, 男, 高级工程师, 主要从事干旱区水资源管理研究。Email: 1541797872@qq.com

*通讯作者 Email: 867214352@qq.com

文章引用: 徐永波, 李江, 侯一峰, 朱成刚. 基于土地利用与水资源变化的和田河流域绿洲适宜规模分析[J]. 水资源研究, 2023, 12(5): 509-518. DOI: 10.12677/jwrr.2023.125056

¹Xinjiang Tarim River Basin Hotan Administration, Hotan Xinjiang

²Xinjiang Tarim River Basin Administration, Korla Xinjiang

³State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi Xinjiang

Received: Aug. 17th, 2023; accepted: Sep. 15th, 2023; published: Oct. 11th, 2023

Abstract

The development scale of arable land and oasis in Hotan River basin is expanding with the rapid economic development, and it is of great significance to explore the land development and oasis evolution for its sustainable development. In this paper, the remote sensing data, land use transfer matrix and water-heat balance method are used to explore the land use pattern and oasis evolution in the Hotan River basin, the suitable scale of oasis and the suitable area of arable land. The results show that: 1) From 1990 to 2020, the increase in the area of cultivated land and grassland and the decrease in the area of unutilized land are very significant, and they are obviously transformed into other land types. During this period, the growth rate of arable land area was as high as 36.12%, and the unutilized land area decreased by 1435.99 km². 2) The oasis area of the basin increased by 454.11 km² during the period, and the oasis area increased significantly from 2000 to 2010. 3) When the value of “greenness” is 0.75 and 1, the suitable size of oasis is 4381.40 km² and 5841.87 km² respectively, and the suitable area of cultivated land ranges from 1314.40~1752.53 km² and 1752.53~2336.73 km² respectively. As the size of arable land and oases continues to expand, it is necessary to scientifically promote the development of oases and build high-standard water-saving farmland.

Keywords

Hotan River Basin, Oasis Evolution, Suitable Size, Land Use

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土地利用/覆被变化(LUCC)是人类与陆地自然环境相互影响与交互作用中最基本的表现,同样也是改变全球环境的关键,对生态系统变化、生物循环和生物多样性具有巨大影响[1]。在土地利用类型转变的过程中,常常会引起区域生态系统的服务功能和结构的变化,这些变化同样会影响生态环境的发展[2] [3],如直接导致景观退化,影响地表,导致温室气体排放、生物多样性丧失、土壤资源退化和全球气候变化[4] [5]。伴随着耕地扩张和城市化进程,大量的自然土地,如森林和湿地,已经被开发成农业用地和人类居住区,其结果对人类和自然环境产生了深远的影响[6] [7]。

绿洲是区域生态环境重要的组成部分,开展绿洲分布和演变的研究,对于维护绿洲生态稳定具有重要意义[8] [9]。随着社会经济快速发展和人类活动不断加强,绿洲的演变过程成为当前研究的热点问题之一,主要以绿洲结构、面积以及土地利用等研究内容为主[10]。对于绿洲适宜规模的研究是为了明确绿洲规模与水土资源之间的关系,进一步缓和人地关系的矛盾[11]。关于绿洲的定义,主要是指荒漠中有水源且有植物生长地方,是在干

旱或半干旱生态系统中由地下水或河流影响形成的绿色地方。高华君认为绿洲是位于荒漠中,地面平坦、水源充足、适于植物生长和人类居住或暂住,并可供人类从事经济活动的地区[12]。黄盛璋认为绿洲是人类在干旱地区通过灌溉改造和利用自然而使农牧业发展的地方,是荒漠地带特有的地理现象[13]。与此同时,王涛在分析我国北方土地沙漠化趋势时提到,绿洲主要是由城镇居民用地、林地、耕地及水域(含湿地)四大类组成的特殊生态单元[14]。绿洲作为干旱区特有的生态景观,众多学者对其有着有不同的定义。

和田河流域位于塔克拉玛干沙漠主风向的下风向,是新疆的极干旱区。干旱、风沙及盐碱是该区域的三大自然灾害,因此,水土资源的利用率低。特别是和田河下游流经环境条件极其恶劣的塔克拉玛干沙漠,生态系统对外界的敏感性较强,并且恢复能力差,进而造成流域生态脆弱性较大。本文对和田河流域的土地利用格局与绿洲演变特征开展分析,通过水热平衡阈探讨了流域绿洲适宜规模及耕地适宜面积,结合和田河流域后备土地资源,进一步提出国土空间可持续管理对策,对和田河流域的可持续发展具有重要意义。

2. 研究区域与方法

2.1. 研究区概况

和田河流域位于塔克拉玛干沙漠南缘、昆仑山的北麓,塔里木盆地的西部,地理位置介于 $77^{\circ}25' \sim 81^{\circ}43'E$ 、 $34^{\circ}28' \sim 40^{\circ}28'N$ 之间,流域土地总面积 $48,870 \text{ km}^2$ [15]。和田河流域全长 1127 m,并有玉龙喀什河和喀拉喀什河两条源流,两河在阔什拉什附近汇合(图 1);流域地势南高北低,由西向东倾斜,绿洲主要分布在冲积平原的中、下部,并延伸至塔里木盆地[16] [17] [18]。由于该地区恶劣的气候条件和水资源短缺,流域极易受到气候变化的影响[19]。

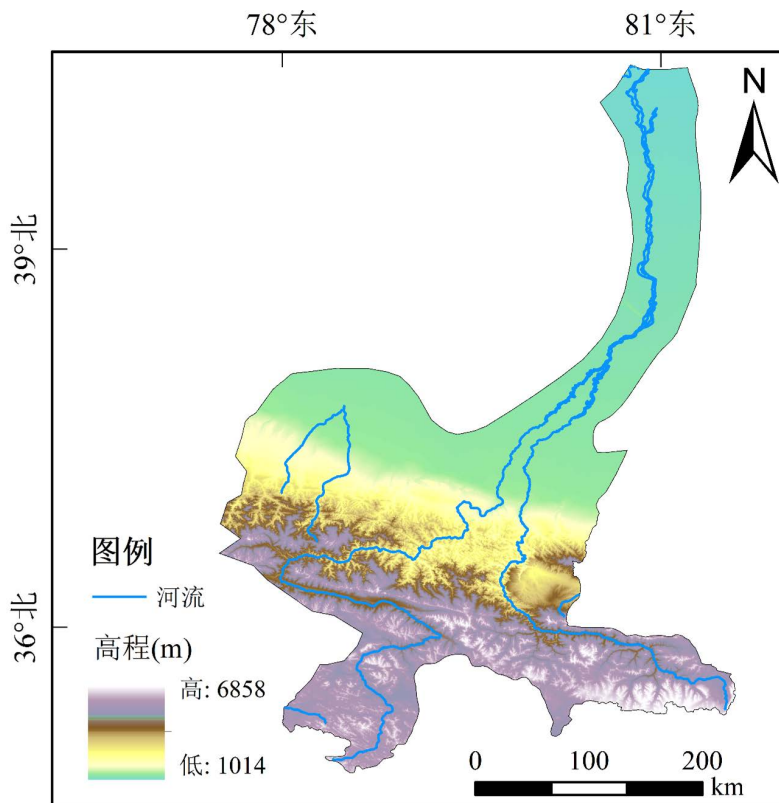


Figure 1. Overview of the study area

图 1. 研究区概况

2.2. 数据选取

遥感数据源自中国科学院资源环境科学与数据中心 1990~2020 年 30 m 空间分辨率的 TM 土地利用数据 (<http://www.resdc.cn/>)。本研究选取 1990~2020 年, 间隔为 10 年的 4 期影像, 依据《土地利用现状分类》国家标准, 采用一级标准分类体系, 将塔里木河流域划分为耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地六类; 并采用混淆矩阵和 Kappa 系数的方法来评估遥感解译精度和准确性[20]。

径流资料来自和田河流域出山水文站, 包括同古孜洛克站和乌鲁瓦提站。气象数据来自《新疆统计年鉴》《水资源公报》和中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

2.3. 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵反映研究区内研究初期和研究末期各个土地利用类型面积相互转变的动态过程。通过探究塔里木河流域不同土地利用类型间面积变化情况及其相互转化过程, 进一步研究土地利用的演变过程[21]。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: S 表示面积; $i, j (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 转移前与转移后的土地利用类型; S_{ij} 表示土地利用从类型 i 变化为 j 的面积; n 表示转移前后土地利用类型数。

2.4. 水热平衡法

绿洲是干旱区赖以生存的重要组成部分, 绿洲规模的大小、适宜与否直接关乎其承载力及干旱区的生态与环境。我们通过水热平衡法计算绿洲适宜面积以及耕地适宜面积大小。水热平衡法与诸多因素相关, 其中参考作物蒸发量 ET_0 相对最为重要[22] [23]。其中, 和田河绿洲参考作物蒸发量 ET_0 为 1292.84 mm。同时依据耕地率取综合作物指数 K_p 为 0.75, 绿洲设计的“绿度” H_0 取 0.75~1, 耕地率 K_t 取值 30%~40%。

$$A = \frac{W - W'}{(ET_0 - a) \cdot K_p \cdot H_0} \quad (2)$$

$$A_c = A \cdot K_t \quad (3)$$

式中: W 为绿洲区水资源量, W' 为工业用水、城乡生活用水、水电用水和生态用水的总和。 A 为绿洲适宜面积, ET_0 为按彭曼公式计算的参考作物腾发量, a 为区域年降水量, K_p 为绿洲内主要植物的综合植物系数, H_0 为水热平衡指标。 A_c 为适宜耕地面积, K_t 为适宜耕地率, 指适宜耕地占绿洲总面积的百分比。

3. 结果与分析

3.1. 和田河流域土地利用/覆被时空变化格局分析

1990~2020 年, 和田河流域土地利用发生显著变化(图 2)。主要表现为耕地面积的持续增加以及未利用地面积的不断减少。期间耕地面积由 1990 年的 1191.96 km² 增加至 2020 年的 1622.50 km², 增长率高达 36.12%, 且在 2000 年~2010 年增加显著, 新增面积主要集中在和田河流域中下游。未利用地面积共计减少 1435.99 km², 在和田河流域中游减少十分明显。期间草地新增面积为 568.67 km², 主要集中在和田河流域中游。随着全球变暖变化导致冰川加速融化, 径流和降水的迅速增长, 高山积雪消融加速使流域水体面积处于上升趋势, 在和田河流域上中游位置增加明显。林地和建设用地面积同样增加且变化较小。自 1990 年以来, 研究区不同土地利用/覆被类型的等级保持不变, 表现出未利用地 > 草地 > 水体 > 耕地 > 建设用地 > 林地(表 1)。

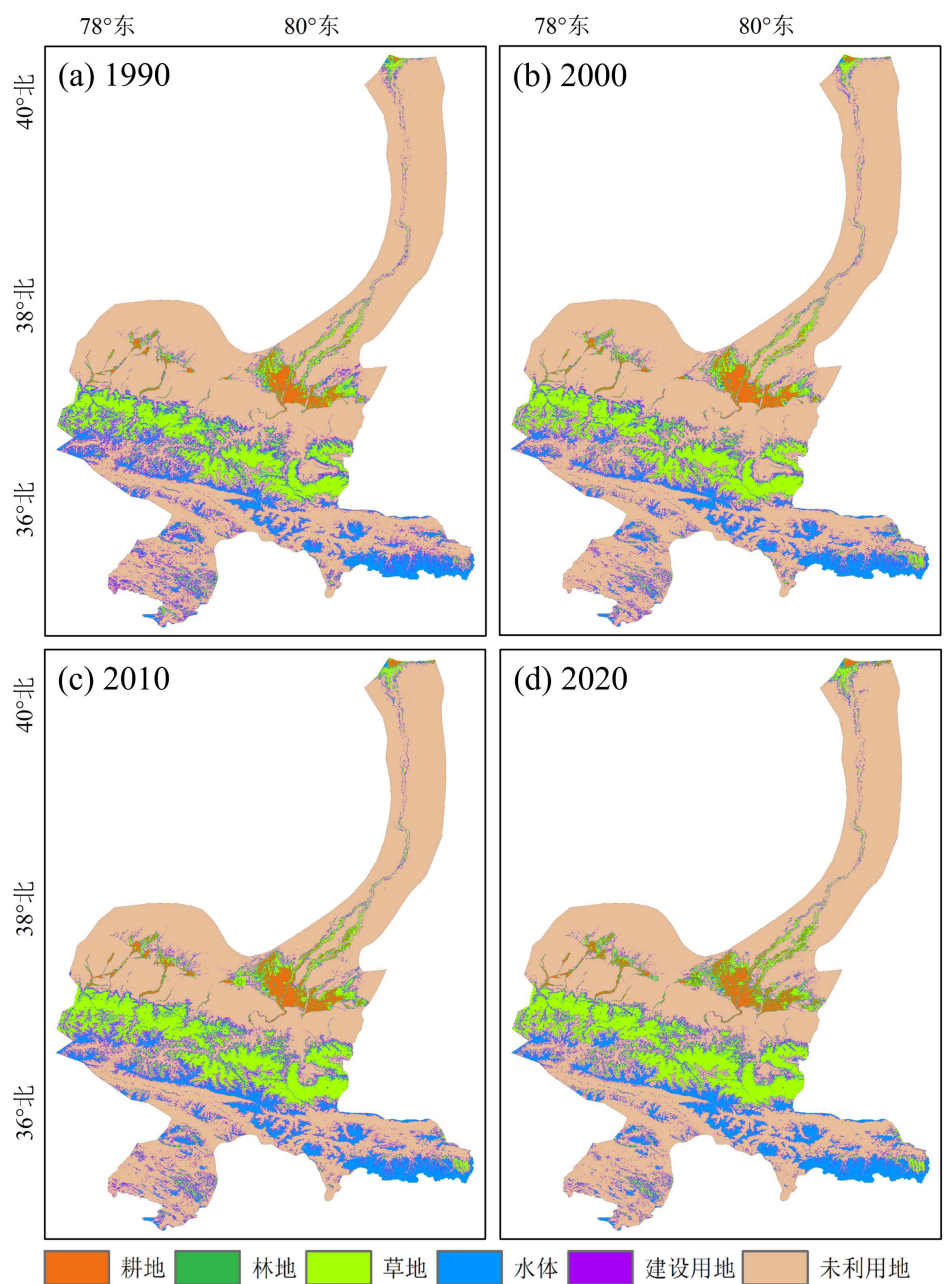


Figure 2. Land use patterns in the Hotan river basin
图 2. 和田河流域土地利用格局

Table 1. Changes in land use area in the Hotan River basin, 1990~2020 (km²)
表 1. 1990~2020 年和田河流域土地利用面积变化(km²)

土地类型	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
1990	1191.96	2.27	8870.37	3778.89	3.52	35053.00
2000	1283.01	2.48	8347.64	3777.35	4.94	35484.57
2010	1524.91	4.70	9409.41	4304.70	13.43	33642.86
2020	1622.50	9.93	9439.04	4193.44	18.08	33617.01

3.2. 和田河土地利用结构变化分析

由 1990~2020 年和田河流域土地类型转移矩阵可以看出(表 2)，期间内各土地类型间的面积转化频繁。将整个时期分为三个阶段，分别为 1990~2000 年、2000~2010 年和 2010~2020 年。土地类型间的相互转化情况分析可见：

1) 1990~2000 年耕地和草地、草地和未利用地之间的转化十分突出，耕地面积增加的主要是由草地转化而来的，期间内草地向耕地转化比例占 12.75%。草地向耕地和未利用地转化是草地面积减少的主要原因，分别占 1.82%和 16.20%。林地、水体和建设用地在此期间的转化比例较小。

2) 耕地扩张主要发生在 2000~2010 年，耕地面积的增加主要是由未利用地和草地向耕地转化，占比分别为 20.91%和 2.57%。另外则是草地与其他土地类型间的转化十分显著，其中由草地向林地转入的面积所占比例为 80.57%，还有 52.13%建设用地由草地转入。期间未利用地面积减少的原因除了转化为耕地外，还向草地和水体转入，其中占比分别为 21.46%和 15.43%。

3) 2010~2020 年土地类型间的转化较为平稳，整体上仍然是耕地、草地和未利用地之间发生转化。其中耕地面积上升主要是由草地和未利用地转入，转化比例分别为 26.89%和 10.49%，同样耕地也向建设用地发生转化，占比为 14.89%。除了部分未利用地转化为耕地外，还有 11.72%向草地转出，草地向林地和建设用地转化的比例为 50.37%和 22.34%，以及有 9.41%的水体向未利用地转化。

1990~2020 年期间，流域内耕地和草地面积增加和未利用地面积减少十分显著，并且明显转化为其他土地类型。从转移的角度来看，主要的特征是和田河流域的草地转变为耕地、林地和建设用地，未利用地不断开发利用转化为耕地和草地。除了部分未利用地转化为耕地外，还有一部分向草地和水体转出，占比分别为 22.64%和 15.05%。

3.3. 和田河流域绿洲演变及适宜规模

根据前人对绿洲的定义，本文将和田河流域平原区除未利用地及草地以外的土地利用类型作为绿洲，以此计算和田河流域 1990 年至 2020 年不同时期的绿洲面积。1990~2020 年期间，和田河流域绿洲面积由 1211.19 km² (1990 年)增加至 1665.30 km² (2020 年)，共计增加 454.11 km²，增长率为 37.49%。并且在 2000~2010 年绿洲面积显著增加，增加速度为 25.39 km²/年。整个时期内，绿洲新增面积主要集中在和田河中游(图 3)。

Table 2. 1990~2020 land type transfer matrix (km²)
表 2. 1990~2020 年土地类型转移矩阵(km²)

		(a) 1990~2000 1990						
		耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	总计
2000	耕地	1123	0	68	1	0	0	1192
	林地	0	2	0	0	0	0	2
	草地	152	0	7345	20	1	1352	8870
	水体	1	0	17	3482	0	278	3779
	建设用地	0	0	0	0	3	0	4
	未利用地	8	0	917	273	0	33,854	35,053
		总计	1283	2	8348	3777	5	35,485
		(b) 2000~2010 2000						
		耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	总计
2010	耕地	1222	0	59	1	1	0	1283

Continued

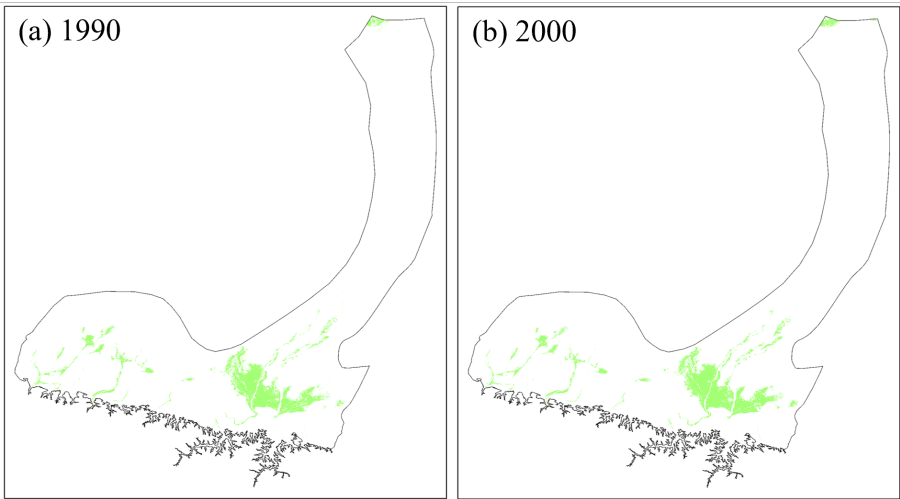
2010	林地	0	2	0	0	0	0	2
	草地	269	2	7553	13	7	503	8348
	水体	0	0	7	3708	0	62	3777
	建设用地	0	0	0	0	5	0	5
	未利用地	33	0	1791	583	1	33,077	35,485
	总计	1525	5	9409	4305	13	33,643	

(c) 2010~2020
2010

2020		耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	总计
	耕地	1395	0	129	0	0	1	1525
	林地	0	5	0	0	0	0	5
	草地	202	5	8199	12	3	988	9409
	水体	1	0	9	3889	0	405	4305
	建设用地	0	0	0	0	13	0	13
	未利用地	25	0	1103	292	1	32,222	33,643
	总计	1622	10	9439	4193	18	33,617	

(d) 1990~2020
1990

2020		耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	总计
	耕地	1051	0	136	1	2	2	1192
	林地	0	2	0	0	0	0	2
	草地	410	8	7149	55	11	1237	8870
	水体	1	0	24	3489	0	264	3779
	建设用地	0	0	0	0	3	0	4
	未利用地	160	0	2130	648	2	32,113	35,053
	总计	1622	10	9439	4193	18	33,617	



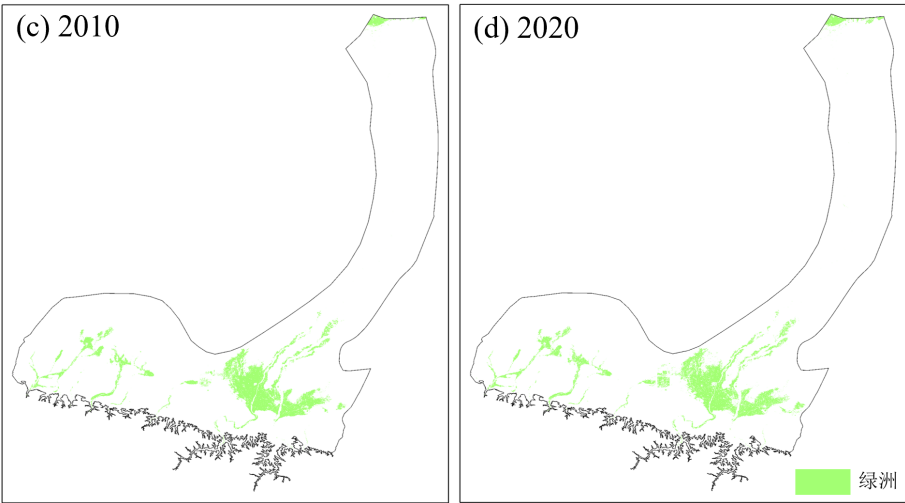


Figure 3. Spatial distribution of oases in the Hotan River basin, 1990~2020
图 3. 1990~2020 年和田河流域绿洲空间分布

和田河自 2010 年以来，由于气温和降水量显著升高，加快了山地冰川的消融速度，从而导致流域水体面积的增加，山区来水量呈明显增加趋势[24]，由 2010 年以前的 43.83 亿方增加到 2010 年以后的 53.54 亿方，增幅为 22.15%。其中，喀拉喀什河(乌鲁瓦提站)由 22.29 亿方增加到 27.51 亿方，增幅为 23.42%；玉龙喀什河(同古孜洛克)由 21.55 亿方增加到 26.03 亿方，增幅为 20.79% (图 4)。

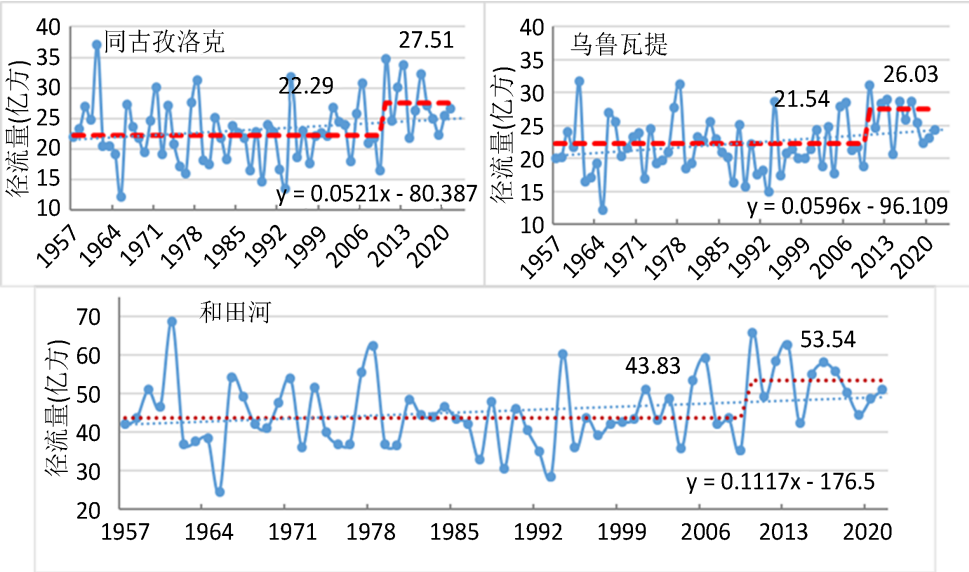


Figure 4. Trend analysis of runoff volume changes in the Hotan River basin
图 4. 和田河流域径流量变化趋势分析

Table 3. Area of suitable oasis and cultivated land in the Hotan River basin
表 3. 和田河流域适宜绿洲面积与耕地面积

适宜绿洲面积(km ²)	适宜耕地面积(km ²)		
	耕地率 30%	耕地率 35%	耕地率 40%
4381.40~5841.87	1314.40~1752.53	1533.47~2044.67	1752.53~2336.73

我们通过水热平衡法计算绿洲适宜面积以及耕地适宜面积大小(表 3), 并根据王忠静等人对“绿度”的划分, “绿度”在 0.75~1 之间时绿洲生态趋势基本能维持平衡[25]。水热平衡法计算结果显示, 若绿洲规划“绿度”取值 0.75, 即仅维持绿洲生态系统较低水平的平衡时, 和田河适宜绿洲规模约为 4381.40 km², 适宜耕地面积在耕地率取值为 30%、35%和 40%时分别为 1314.40 km²、1533.47 km²和 1752.53 km²。若要实现绿洲较高的稳定水平, 即绿洲内“绿度”设计为 1 时, 和田河适宜绿洲面积为 5841.87 km², 适宜耕地面积在耕地率取值为 30%、35%和 40%时分别为 1752.53 km²、2044.67 km²和 2336.73 km²。

4. 结论

1990~2020 年, 和田河流域内耕地和草地面积增加和未利用地面积减少十分显著, 并且明显转化为其他土地类型。期间耕地面积增长率高达 36.12%, 未利用地共减少 1435.99 km²。从转移的角度来看, 主要特征为草地转变为耕地、林地和建设用地, 未利用地不断开发利用转化为耕地和草地。

期间内流域绿洲面积增加了 454.11 km², 并且在 2000~2010 年绿洲面积显著增加。根据水热平衡法计算结果显示, 在“绿度”取值 0.75 和 1 时, 适宜绿洲规模分别为 4381.40 km²和 5841.87 km², 适宜耕地面积的范围则分别为 1314.40~1752.53 km²和 1752.53~2336.73 km²。因此, 需要科学优化水资源利用上线, 提升水资源利用效率, 科学推进绿洲发展与碎片化农业用地流转, 积极发展和扩大绿洲面积, 充分利用盐碱地资源, 加快规模化现代农业建设, 全面增强农业水土开发综合效能和绿洲生产力, 促进和田地区可持续发展, 实现水-能-粮协同发展。

基金项目

昆仑山北坡水资源开发潜力及利用途径科学考察(2021xjkk0100); 干旱区典型绿洲水资源变化与水土资源匹配和优化配置研究(TGJJG-2023KYXM0011)。

参考文献

- [1] HALMY, M. W. A., GESSLER, P. E., HICKE, J. A. and SALEM, B. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 2015, 63: 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.015>
- [2] FEI, S., FANG, L. S., CHEN, X. M. and DI, S. Analysis of driving forces on wetland ecosystem services value change: A case in northeast China. *Science of the Total Environment*, 2021, 751: 141778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141778>
- [3] CHANG, Y. W., BO, W. C., XIAN, J. H. and WEI, Y. H. D. Effect of land-use change and optimization on the ecosystem service values of Jiangsu province, China. *Ecological Indicators*, 2020, 117(15): 106507. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106507>
- [4] HAMAD, R., BALZTER, H. and KOLO, K. Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, 2018, 10: 3421. <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- [5] LIU, L., LIANG, Y. and HASHIMOTO, S. Integrated assessment of land-use/coverage changes and their impacts on ecosystem services in Gansu province, northwest China: Implications for sustainable development goals. *Sustainability Science*, 2019, 15: 297-314. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00758-w>
- [6] YUAN, X. F., HAN, J. C., SHAO, Y. J., et al. Geodetection analysis of the driving forces and mechanisms of erosion in the hilly-gully region of northern Shaanxi province. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(5): 779-790. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1627-9>
- [7] LIU, X. F., ZHU, X. F., PAN, Y. Z., et al. Vegetation dynamics in Qinling-Daba Mountains in relation to climate factors between 2000 and 2014. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(1): 45-58. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1253-8>
- [8] 赵松乔. 人类活动对西北干旱区地理环境的作用: 绿洲化或荒漠化? [J]. *干旱区研究*, 1987, 4(3): 9-18. ZHAO Songqiao. The role of human activities on the geography of the northwest arid zone: Oasis or desertification? *Arid Zone Research*, 1987, 4(3): 9-18. (in Chinese)
- [9] 胡隐樵, 左洪超. 绿洲环境形成机制和干旱区生态环境建设对策[J]. *高原气象*, 2003(22): 537-544. HU Yinqiao, ZUO Hongchao. Forming mechanism of oasis environment and building countermeasure of ecological environ-

- ment in arid area. Plateau Meteorology, 2003(22): 537-544. (in Chinese)
- [10] 王昱丁, 郑航, 赵建世. 人类活动干扰下西北干旱区绿洲迁移演化研究[J]. 水力发电学报, 2019, 38(3): 40-52.
WANG Yuding, ZHENG Hang and ZHAO Jianshi. Evolution of oases under human interference in arid northwest China. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 38(3): 40-52. (in Chinese)
- [11] 陈亚宁, 陈忠升. 干旱区绿洲演变与适宜发展规模研究——以塔里木河流域为例[J]. 中国生态农业学报, 2013(21): 134-140.
CHEN Yaning, CHEN Zhongsheng. Study on the evolution and suitable development scale of oasis in arid areas—Taking the Tarim River Basin as an example. Chinese Journal of Ecological Agriculture, 2013(21): 134-140. (in Chinese)
- [12] 高华君. 我国绿洲的分布和类型[J]. 干旱区地理, 1987(4): 23-29.
GAO Huajun. Distribution and types of oases in China. Geography of Arid Zones, 1987(4): 23-29. (in Chinese)
- [13] 黄盛璋. 论绿洲研究与绿洲学[J]. 中国历史地理论丛, 1990(2): 1-24.
HUANG Shengzhang. On oasis research and oasis studies. Chinese Historical Geography, 1990(2): 1-24. (in Chinese)
- [14] 王涛. 我国绿洲化及其研究的若干问题初探[J]. 中国沙漠, 2010, 30(5): 995-998.
WANG Tao. A preliminary study on oasisization and its research in China. Desert China, 2010, 30(5): 995-998. (in Chinese)
- [15] CHEN, Y., XU, C., HAO, X., LI, W., CHEN, Y., ZHU, C. and YE, Z. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China. Quaternary International, 2009, 208: 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.11.011>
- [16] JIE, W., JUN, W. and XIN, S. Analysis of water change along Hotan River basin. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2013, 32: 142-148.
- [17] CHEN, Y., TAKEUCHI, K., XU, C., CHEN, Y. and XU, Z. Regional climate change and its effects on river runoff in the Tarim Basin, China. Hydrological Processes, 2006, 20: 2207-2216. <https://doi.org/10.1002/hyp.6200>
- [18] 张丽丽, 邓晓雅, 龙爱华, 等. 基于农业水足迹的水资源安全时空变化分析——以新疆和田地区为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 436-447.
ZHANG Lili, DANG Xiaoya, LONG Aihua, et al. Analysis of spatial and temporal variations in water security based on agricultural water footprints—A case study of Hotan area, Xinjiang. Arid Zone Research, 2022, 39(2): 436-447. (in Chinese)
- [19] XUE, X., MI, Y., LI, Z. and CHEN, Y. Long-term trends and sustainability analysis of air temperature and precipitation in the Hotan River Basin. Resources Science, 2008, 30: 1833-1838.
- [20] SINGH, S. K., LAARI, P. B., MUSTAK, S., SRIVASTAVA, P. K. and SZABÓ, S. Modelling of land use land cover change using earth observation datasets of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India. Geocarto International, 2018, 33: 1202-1222. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1343390>
- [21] LONG, H., LIU, Y., HOU, X., et al. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: Implications for urban planning in the new developing area of China. Habitat International, 2014, 44: 536-544. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.011>
- [22] 史晓楠, 王全九, 王新, 等. 参考作物腾发量计算方法在新疆地区的适用性研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 19-23.
SHI Xiaonan, WANG Quanjiu, WANG Xin, et al. Applicability of the reference crop yield calculation method in Xinjiang. Journal of Agricultural Engineering, 2006, 22(6): 19-23. (in Chinese)
- [23] 申双和, 张方敏, 盛琼. 1975-2004 年中国湿润指数时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 11-15.
SHEN Shuanghe, ZHANG Fangmin and SHENG Qiong. Characteristics of spatial and temporal variations of wetness index in China from 1975 to 2004. Journal of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 11-15. (in Chinese)
- [24] 秦大河, 周波涛, 效存德. 冰冻圈变化及其对中国气候的影响[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 869-879.
QIN Dahe, ZHOU Botao and XIAO Cunde. Progress in studies of cryospheric changes and their impacts on climate of China, Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72(5): 869-879. (in Chinese)
- [25] 王忠静, 王海峰, 雷志栋. 干旱内陆河区绿洲稳定性分析[J]. 水利学报, 2002(5): 26-30.
WANG Zhongjing, WANG Haifeng and LEI Zhidong. Stability analysis of oases in arid inland river areas. Journal of Hydraulic Engineering, 2002(5): 26-30. (in Chinese)