

# 1989—2019 年库布齐沙漠植被覆盖度的时空变化

吴小燕<sup>1</sup>, 高永<sup>1</sup>, 党晓宏<sup>1</sup>, 张超<sup>1</sup>, 杜斌<sup>2</sup>, 张海龙<sup>2</sup>, 包晓英<sup>1</sup>

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2.内蒙古自治区航空遥感测绘院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

**摘要:** [目的] 探究库布齐沙漠近 1989—2019 年植被覆盖度的时空动态变化规律, 为库布齐沙漠植被恢复及生态建设提供理论参考和基础数据。[方法] 以 1989—2019 年每 5 a 为 1 期(共 7 期)的 Landsat 影像为数据源, 结合归一化植被指数(NDVI)像元二分法模型, 利用 ENVI 5.3 和 ArcGIS 10.2 分析库布齐沙漠 1989—2019 年植被覆盖度(FVC)时空动态变化特征。[结果] ①在时间变化上, 近 30 a 间库布齐沙漠植被覆盖度整体呈增长趋势, 平均植被覆盖度由 0.104 增长到 0.243。在空间分布上, 库布齐沙漠植被覆盖度呈现由西向东、向北增加的特征。②库布齐沙漠植被覆盖在 1999—2004 年和 2009—2014 年均呈现退化趋势, 平均植被覆盖度分别减少 0.053 和 0.054, 退化面积分别为 3 870.22 和 6 093.59 km<sup>2</sup>, 退化程度均以植被覆盖度减少 10%~30% 为主。[结论] 1989—2019 年库布齐沙漠植被覆盖度总体有所改善, 未来该区生态修复重点关注低植被覆盖区域。

**关键词:** 植被覆盖度; NDVI; Landsat 数据; 时空变化; 库布齐沙漠

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)02-0300-07

中图分类号: Q948

**文献参数:** 吴小燕, 高永, 党晓宏, 等. 1989—2019 年库布齐沙漠植被覆盖度的时空变化[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 300-306. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.040; Wu Xiaoyan, Gao Yong, Dang Xiaohong, et al. Temporal and spatial variation of vegetation coverage in Kubuqi Desert from 1989 to 2019 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 300-306.

## Temporal and Spatial Variation of Vegetation Coverage in Kubuqi Desert from 1989 to 2019

Wu Xiaoyan<sup>1</sup>, Gao Yong<sup>1</sup>, Dang Xiaohong<sup>1</sup>, Zhang Chao<sup>1</sup>, Du Bin<sup>2</sup>, Zhang Hailong<sup>2</sup>, Bao Xiaoying<sup>1</sup>

(1.College of Desert Control, Inner Mongolia Agricultural University, Hohot, Inner Mongolia 010018, China;

2.Inner Mongolia Institute of Aeronautical Remote Sensing and Surveying, Hohot, Inner Mongolia 010018, China)

**Abstract:** [Objective] The temporal and spatial variation of vegetation coverage in the Kubuqi Desert during 1989—2019 was explored in order to provide the necessary theoretical basis and support for ecological restoration of the local area. [Methods] Landsat images acquired every five years from 1989 to 2019 was used, combined with the normalized difference vegetation index (NDVI) model, ENVI 5.3, and ArcGIS 10.2 to analyze the fractional vegetation coverage (FVC) variation of the Kubuqi Desert during 1989—2019. [Results] ① In terms of temporal variation, the average fractional vegetation coverage of the Kubuqi Desert increased from 0.104 to 0.243 during 1989—2019. In terms of spatial distribution, fractional vegetation coverage increased from west to east and north in the Kubuqi Desert. ② The fractional vegetation coverage of the Kubuqi Desert declined during 1999—2004 and 2009—2014. The average fractional vegetation coverage for those two periods decreased by 0.053 and 0.054, respectively, and the degraded areas were 3 870.22 km<sup>2</sup> and 6 093.59 km<sup>2</sup>, respectively. [Conclusion] On the whole, the vegetation coverage of the Kubuqi Desert increased during 1989—2019. In the future, local ecological restoration efforts should focus on the low vegetation coverage areas.

**Keywords:** fractional vegetation coverage; NDVI; Landsat data; temporal and spatial variation; Kubuqi Desert

植被覆盖度(fractional vegetation cover, FVC)在一定程度上表征植被生长状况、检测环境变化、衡量生态质量<sup>[1-2]</sup>, 是衡量区域植被变化情况甚至是区域生态环境变化的一个重要指标<sup>[3]</sup>。目前对于植被

覆盖度提取方法主要分为实地测量和遥感影像提取,但实地测量耗时费力,只适用于小区域的植被覆盖度提取,并且结果受人为因素的影响较大,具有一定的局限性<sup>[4-6]</sup>,因此并不适宜在较大的空间尺度上进行植被覆盖度动态变化的研究。遥感方法相较于实地测量在时效性、数据获取、测量范围等方面都存在着明显优势,适合大范围及长时间序列植被覆盖度监测<sup>[7-8]</sup>。其中,基于归一化植被指数(normalized difference vegetation Index, NDVI)像元二分法模型进行区域植被覆盖度研究应用较为广泛<sup>[9-11]</sup>,在提取长时间序列和大范围植被覆盖度时,其利用植被指数区分无植被覆盖区域和植被覆盖区域,从而估算区域植被覆盖度,通过设定阈值对区域植被覆盖面积进行提取,结果具有较高的精度及科学性<sup>[12-13]</sup>。

库布齐沙漠位于干旱半干旱区,生态环境相对脆弱,植被的动态变化在一定程度上影响着下一阶段区域的植物保护、生态规划和建设。目前学者们已经明晰了库布齐沙漠植被特征、土壤特征等<sup>[14-18]</sup>,对长时序植被覆盖度变化动态监测的结果止于 2013 年<sup>[19]</sup>,之后的植被动态鲜有报道。鉴于此,本文以 Landsat 遥感数据为数据源,利用 NDVI 像元二分法模型分析库布齐沙漠 1989—2019 年植被覆盖度的变化规律,从时间和空间尺度探究库布齐沙漠植被覆盖度动态变化,以期为库布齐沙漠植被恢复及生态建设提供一定的参考和基础理论数据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

库布齐沙漠位于 107° 3′ 07″—111° 23′ 06″ E, 40° 34′ 22″—41° 48′ 29″ N, 地处鄂尔多斯高原脊线的北部,内蒙古自治区鄂尔多斯市的杭锦旗、达拉特旗和准格尔旗的部分地区,面积约  $1.86 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 属典型温带大陆性干旱—半干旱季风气候,年平均气温 6.0~7.5 °C, 沙漠东部年均降水量约 400 mm, 向西逐渐递减至 150 mm, 年蒸发 2 100~2 700 mm, 呈由东向西递增趋势。西北风为冬半年盛行风向, 年均风速 3.5 m/s, 其中春季平均风速为 4.9 m/s, 最大风速为 22 m/s, 年大风日数 25~35 d, 主要集中在春季。库布齐沙漠植被主要包括:沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)、四合木(*Tetraena mongolica*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙柳(*Salix cheilophila*)等。

### 1.2 数据来源

本研究以 1989—2019 年每 5 年 1 期共 7 期的 Landsat 影像为数据源,其中 1989, 1994, 1999, 2004 和 2009 年选用的是 Landsat 4—5 TM 影像 15 景, 2014 和 2019 年 Landsat 8OLI 影像 6 景,共 7 期 21 景遥感影像,分辨率均为 30 m,轨道号为 127/32, 128/32, 129/32。为保证影像和地物之间均具有可比性,7 期影像获取时间均属于库布齐沙漠植被生长季(6—9 月)。

### 1.3 研究方法

利用 ENVI 5.3 软件对数据进行辐射定标、大气校正、影像镶嵌等预处理。植被覆盖度计算采用基于归一化植被指数(NDVI)像元二分法模型<sup>[20-22]</sup>,计算公式为:

$$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})}$$

式中:FVC 表示植被覆盖度;NDVI<sub>min</sub> 为 NDVI 最小值,表示裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值;NDVI<sub>max</sub> 为 NDVI 最大值,表示完全由植被所覆盖的纯植被像元值。因外界条件变化会对 NDVI<sub>min</sub> 值、NDVI<sub>max</sub> 值产生影响,所以对 NDVI<sub>max</sub> 和 NDVI<sub>min</sub> 赋值时需要结合影像的时相与当地实际情况,本研究分别取 NDVI 的 5% 和 95% 代表 NDVI<sub>min</sub> 和 NDVI<sub>max</sub>。

参考相关文献<sup>[23-24]</sup>对于植被覆盖度的划分,并结合库布齐沙漠实际情况,将研究区植被覆盖度结果划分为以下 4 个等级:①低植被覆盖度(0<FVC≤0.1);②中低植被覆盖区(0.1<FVC≤0.3);③中植被覆盖区(0.3<FVC≤0.5);④高植被覆盖区(0.5<FVC≤1)。通过空间统计 1989—2019 年影像低植被覆盖区、中低植被覆盖区、中植被覆盖区和高植被覆盖区比例。

利用 ArcGIS 10.2, 根据质心计算方法,分别计算不同等级植被覆盖度 1989—2019 年各期遥感影像的重心坐标,并绘制植被覆盖度重心迁移图<sup>[25-26]</sup>,从而体现库布齐沙漠各级植被覆盖度在空间分布上的变化趋势。为能够更直观地体现出库布齐沙漠 1989—2019 年的植被覆盖度变化情况,利用 GIS 空间统计分析方法,分别将不同年份同一区域的植被覆盖度数据进行相减,获取植被覆盖度变化数据,数值为正表示植被覆盖度增加,植被覆盖情况改善;数值为负表示植被覆盖度减少,植被覆盖情况退化;若数值变化不明显,则说明植被覆盖基本未变。根据研究区植被覆盖度变化程度,将其划分为 7 个等级<sup>[27-28]</sup>,分别为减少 50% 以上,减少 30%~50%,减少 10%

~30%，基本未变，增加10%~30%，增加30%~50%，增加50%以上。

## 2 结果与分析

### 2.1 库布齐沙漠植被覆盖度时序变化特征

由图1可知，1989—2019年库布齐沙漠植被覆盖度整体呈现增长趋势，平均植被覆盖度由0.104增长到0.243。其中，平均植被覆盖度1994—1999年变化较小，仅减少0.002，而1999—2004年、2009—2014年这两个时间段出现较大波动，均呈下降趋势，分别减少0.053，0.054。低植被覆盖区占比总体呈降低趋势，其中1999—2004年、2009—2014年呈增加趋势，占比分别增加6.81%和24.44%，低植被覆盖区占比在1989—2014年只减少4.78%，而2014—2019年减少30.86%；中低植被覆盖度占比变化不明显，总体保持平稳；中植被覆盖区占比呈增加趋势，1989—2014年增加5.14%，而2014—2019年增加11.9%；高植被覆盖区占比呈增加趋势，1989—2014年增加6.13%，而2014—2019年增加2.38%。

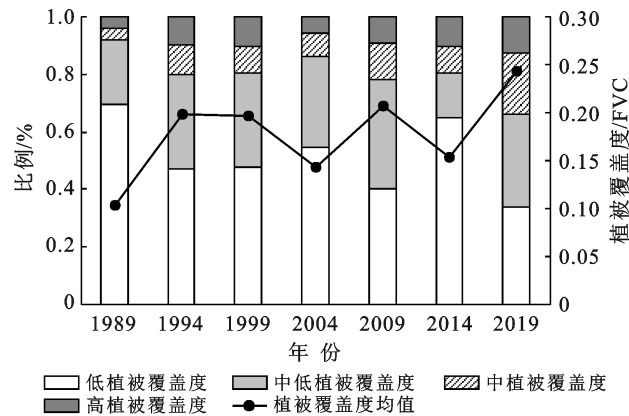


图1 库布齐沙漠1989—2019年植被覆盖度变化情况

### 2.2 库布齐沙漠植被覆盖度空间变化特征

1989—2019年库布齐沙漠植被覆盖度在空间分布上呈现由西向东、向北增加的趋势。由重心迁移图发现，库布齐沙漠低植被覆盖度和中低植被覆盖度的重心向西迁移，中植被覆盖度和高植被覆盖度的重心均向东迁移(图2—3)。从各时间段植被覆盖度分布图来看，低植被覆盖度区域在沙漠的西部、中部及南部部分地区减少，尤其是在2014—2019年减少明显，减少总面积达5 747.24 km<sup>2</sup>，但1999—2004年、2009—2014年低植被覆盖度区域在沙漠的中部、西部和南部有所增加，2009—2014年增加尤为明显，增加总面积达4 552.52 km<sup>2</sup>。中植被覆盖度区域整体增加，变化主要发生在沙漠的东部、东南部及南部部分地区，但在1994—1999年、1999—2004年和

2009—2014年中植被覆盖度区域均有小面积的减少，减少总面积分别为225.42 km<sup>2</sup>，277.33 km<sup>2</sup>，679.97 km<sup>2</sup>。高植被覆盖度区域整体呈增加趋势，变化主要发生在东北部、北部和西北部边缘以及中部小面积区域，特别是在2019年，高植被覆盖度面积达2 367.12 km<sup>2</sup>，仅在1999—2004年高植被覆盖度区域发生小范围减少，减少总面积为845.63 km<sup>2</sup>，主要在北部和西北部边缘减少。中低植被覆盖度区域在1989—2004年变化不明显，在2004—2019年有小幅度的变化，主要发生在沙漠西部、南部和中部的部分地区(图2—3，表1)。

表1 不同等级植被覆盖度面积统计

年份	低植被覆盖度	中低植被覆盖度	中植被覆盖度	高植被覆盖度
1989	12 931.33	4 182.43	726.17	782.87
1994	8 805.64	6 038.95	1 982.91	1 795.31
1999	8 892.76	6 072.87	1 757.49	1 899.69
2004	10 161.1	5 927.49	1 480.16	1 054.06
2009	7 489.58	7 051.59	2 363.61	1 718.03
2014	12 042.1	2 973.91	1 683.64	1 923.11
2019	6 294.86	6 061.28	3 899.55	2 367.12

### 2.3 库布齐沙漠植被覆盖度的变化程度

通过对库布齐沙漠植被覆盖度变化程度分析(图4，表2)，总体来看，1989—2019年库布齐沙漠植被覆盖改善面积有所增加，退化面积有所减少。从各个时段来看，1989—1994年植被覆盖以改善为主，改善面积为5 830.77 km<sup>2</sup>，改善区域主要分布在沙漠东部、西部和北部边缘，改善程度以植被覆盖度增加10%~30%为主，占改善总面积的74.51%；1994—1999年植被覆盖度基本保持不变，改善面积与退化面积相差仅有247.45 km<sup>2</sup>；1999—2004年植被覆盖以退化为主，退化面积为3 870.22 km<sup>2</sup>，退化区域主要分布在沙漠北部和南部边缘，退化程度以植被覆盖度减少10%~30%为主，占退化总面积的71.45%；2004—2009年植被覆盖以改善为主，改善面积为4 664.78 km<sup>2</sup>，改善区域主要分布在沙漠东部、北部及中部小部分地区，改善程度以植被覆盖度增加10%~30%为主，占改善总面积的78.70%；2009—2014年植被覆盖以退化为主，退化面积为6 093.59 km<sup>2</sup>，退化区域主要分布在沙漠西部和中部，退化程度以植被覆盖度减少10%~30%为主，占退化总面积的86.11%；2014—2019年植被覆盖以改善为主，改善面积达8 880.53 km<sup>2</sup>，改善区域主要分布在沙漠东部、南部和北部地区，改善程度以植被覆盖度增加10%~30%为主，占改善总面积的82.24%。



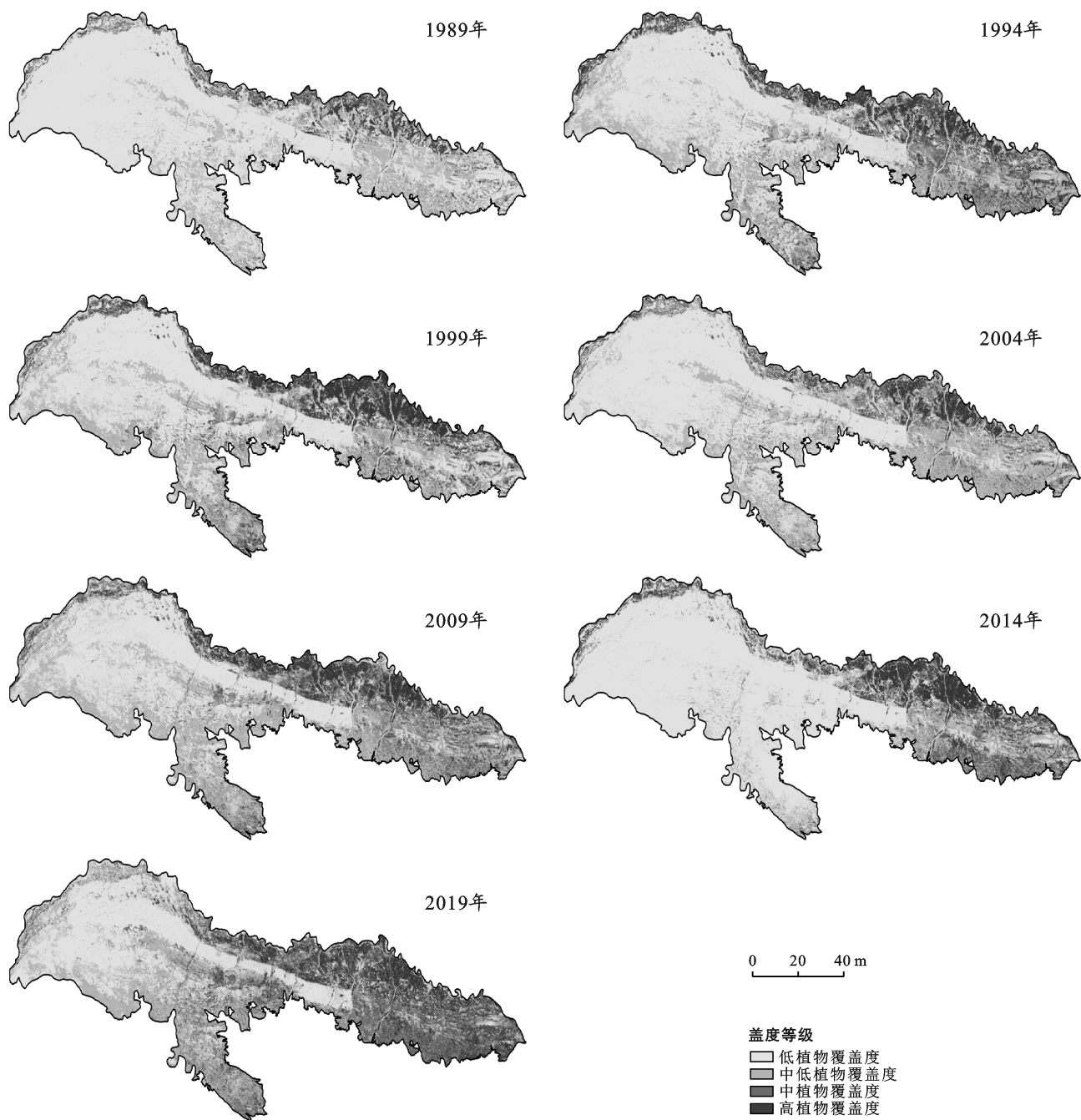


图 2 库布齐沙漠 1989—2019 年植被覆盖度空间分布

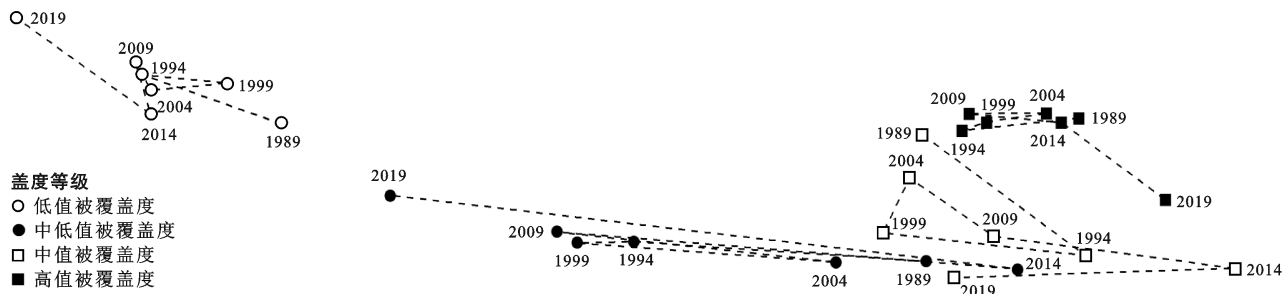


图 3 库布齐沙漠 1989—2019 年植被覆盖度重心迁移路径

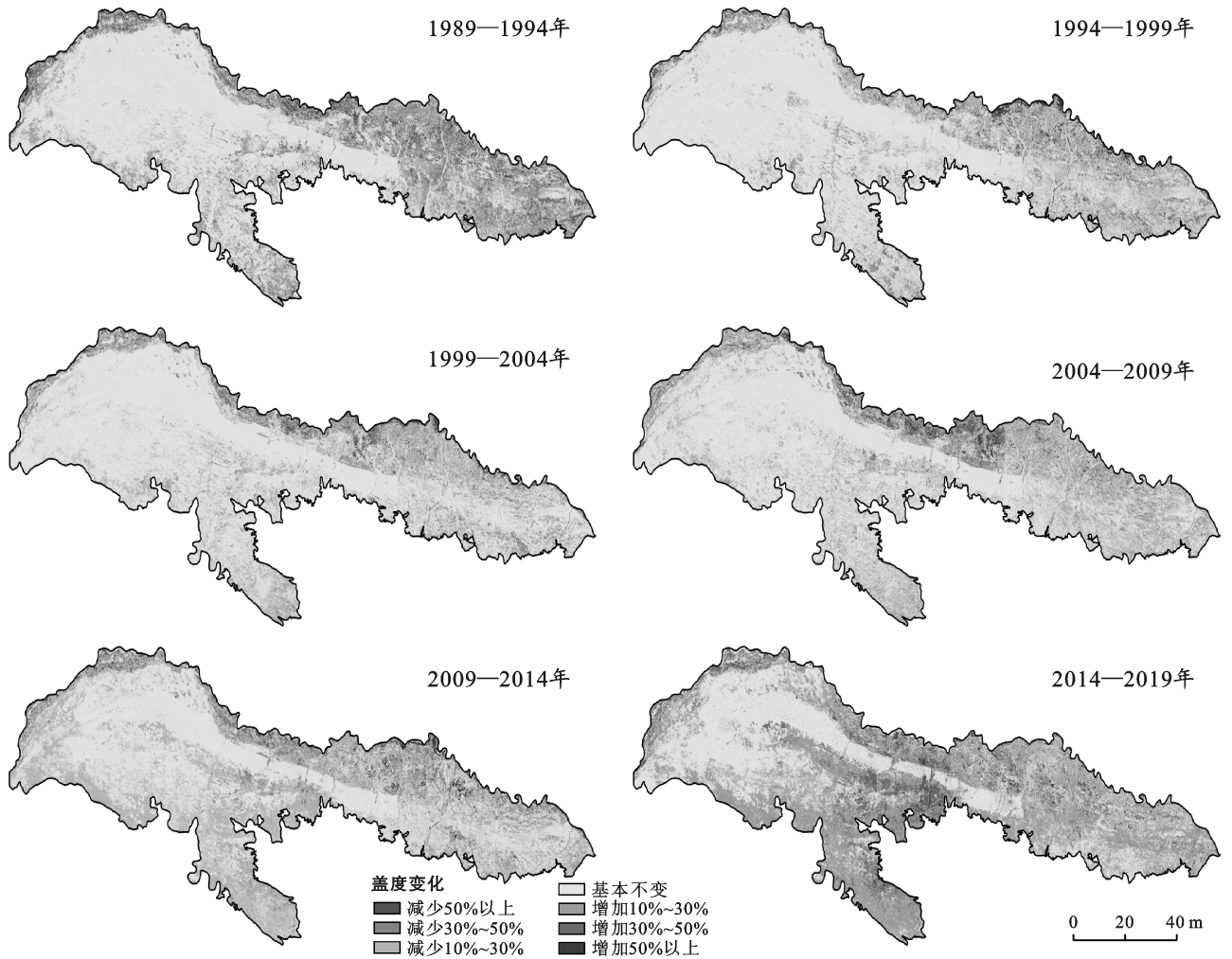


图 4 库布齐沙漠 1989—2019 年植被覆盖度变化程度

表 2 库布齐沙漠 1989—2019 年植被覆盖度变化程度面积统计

时期	面积统计 (km <sup>2</sup> )								
	减少 50%以上	减少 30%~50%	减少 10%~30%	基本不变	增加 10%~30%	增加 30%~50%	增加 50%以上	增加 总面积	减少 总面积
1989—1994	38.20	102.92	407.23	12 242.94	4 344.35	957.99	528.43	5 830.77	548.35
1994—1999	189.32	436.38	2 040.88	13 537.11	1 638.01	449.42	331.70	2 419.13	2 666.58
1999—2004	361.28	743.80	2 765.14	13 512.85	1 043.07	162.68	33.98	1 239.73	3 870.22
2004—2009	50.09	166.95	759.82	12 981.17	3 670.96	688.55	305.27	4 664.78	976.86
2009—2014	225.74	620.74	5 247.11	10 583.61	1 205.24	421.37	315.53	1 942.14	6 093.59
2014—2019	344.58	383.79	905.61	8 104.84	7 303.62	1 291.00	285.91	8 880.53	1 633.98

## 2.4 库布齐沙漠 1989—2019 年气温和降水的变化

由图 5 可以看出,近 30 a 来研究区年均降水量总体呈增加趋势,年均气温虽呈上升趋势但总体较为平稳。多年平均降水量为 293.45 mm,多年平均气温为 7.83 °C,其中 1999—2004 年年均降水量为 270.01 mm,较多年平均值低 23.44 mm,相应时期研究区年均气温为 8.00 °C,高于多年平均值 0.17 °C;2009—2011 年年均降水量仅为 237.61 mm,较多年平均值低 55.84 mm,相应时期年均气温为 7.86 mm,高于多年平均值 0.03 °C,虽然在 2012 年降水量大幅度增

加,达到年均降水量最大值(411.70 mm),但植被对降水的响应存在滞后<sup>[29]</sup>,所以 1999—2004 年、2009—2014 年研究区处于相对干旱的时期。

## 3 讨论

降水和气温是影响沙漠地区植被覆盖度变化的主要气候因子<sup>[30-31]</sup>。李朝生等<sup>[32]</sup>同样研究发现库布齐沙漠影响植被的主要限制因子是水分,降水的变化对植被产生较大的影响;而气温的变化会对蒸腾作用产生影响,从而在一定程度上会影响降水对植被的作

用。通过研究发现,在时间变化上,库布齐沙漠植被覆盖度在 1989—2019 年整体呈增长趋势,平均植被覆盖度由 0.104 增长到 0.243,这可能与近 30 a 研究区年均降水量总体增加,年均气温虽上升但总体较为平稳有关。研究区 1999—2004 年和 2009—2014 年植被覆盖度降低,平均植被覆盖度分别减少了 0.053 和 0.054,退化面积分别为 3 870.22 和 6 093.59 km<sup>2</sup>,分析其原因可能是由于 1999—2004 年和 2009—2014 年研究区处于相对干旱的时期,并且 1999—2014 年植被覆盖度总体呈现降低的趋势,累积平均植被覆盖度减少 0.043,且变化程度以减少为主,减少面积与增加面积相差 3 094.02 km<sup>2</sup>,该结论与王黎<sup>[19]</sup>所得出的 2002—2013 年研究区植被覆盖度提高不同,这可能是由于所采用的遥感数据时序不同以及对植被覆盖度分级划分标准不同所导致,其在时序上是以 1981—2002 年、2002—2013 年两个时期分析植被覆盖度变化,而本文选取每 5 a 一个时期分析植被覆盖度变化。在空间分布上,库布齐沙漠植被覆盖度呈现由西向东、向北增加的特征,这与何亮等<sup>[33]</sup>、田海静等<sup>[34]</sup>的研究结果一致,并且郑玉峰等<sup>[35]</sup>研究得出 1969—2018 年库布齐沙漠降水量在空间分布上呈由西向东递增的趋势,气温在空间分布上呈由西向东降低的趋势,这与本文研究得出的库布齐沙漠植被覆盖度的空间分布特征存在一定关联。

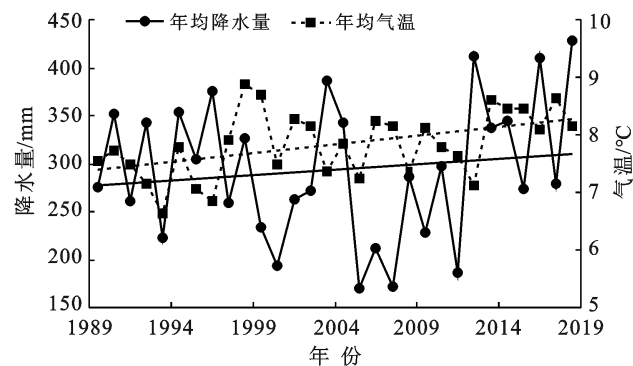


图 5 库布齐沙漠 1989—2019 年年均降水量、气温变化趋势

植被覆盖变化是气候、人为等多种因素共同作用的结果。研究期间“三北防护林体系”、封沙育林育草及“库布齐沙漠生态建设项目”等生态项目的建设对研究区植被覆盖度增加起到一定促进作用,但是随着经济发展及人口的增多,居民地的增加及城镇化水平的提高在一定程度上造成植被的减少<sup>[36]</sup>,并且人类活动多种多样,对植被覆盖的影响也较为复杂,所以人为因素对研究区植被覆盖的影响还需进一步研究。

## 4 结论

(1) 在时间变化上,1989—2019 年库布齐沙漠植被覆盖度整体呈增长趋势,平均植被覆盖度由 0.104 增长到 0.243。在空间分布上,库布齐沙漠植被覆盖度呈现由西向东、向北增加的特征。

(2) 库布齐沙漠植被覆盖在 1999—2004 年和 2009—2014 年均呈现退化趋势,平均植被覆盖度分别减少了 0.053 和 0.054,退化面积分别为 3 870.22 和 6 093.59 km<sup>2</sup>,退化程度均以植被覆盖度减少 10%~30% 为主。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 郭辉,黄粤,李向义,等.基于多尺度遥感数据的塔里木河干流地区植被覆盖动态[J].中国沙漠,2016,36(5):1472-1480.
- [2] Feng Huihui, Zou Bin, Luo Juhua. Coverage-dependent amplifiers of vegetation change on global water cycle dynamics [J]. Journal of Hydrology, 2017, 550 (4): 220-229.
- [3] 王翠萍,田小雄,王凤帅.库布齐沙漠中段沙化土地植被状况及治理程度研究[J].内蒙古林业调查设计,2020,43(3):1-4,16.
- [4] Wilson A D, Abraham N A, Barratt R, et al. Evaluation of methods of assessing vegetation change in the semi-arid rangelands of Southern Australia [J]. the Rangeland Journal, 1987,9(1):5-13.
- [5] 张霞霞,李晓兵,陈云浩.草地植被覆盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J].地球科学进展,2003,18(1):85-93.
- [6] 路广,韩美,王敏,等.近代黄河三角洲植被覆盖度时空变化分析[J].生态环境学报,2017,26(3):422-428.
- [7] 甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J].地理科学,2011,31(8):1019-1024.
- [8] 王薪宇.江西省植被覆盖度时空变化及驱动因素分析[J].科学技术创新,2021(25):42-43.
- [9] 刘广峰,吴波,范文义,等.基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取:以毛乌素沙地为例[J].水土保持研究,2007,14(2):268-271.
- [10] 李姣,张春来,李庆,等.近 15 年来呼伦贝尔沙地土地沙漠化发展及其驱动力[J].北京师范大学学报(自然科学版),2017,53(3):323-328.
- [11] 王华,杨乾鹏,郭山川,等. Landsat 时序数据支持下的藏东南植被时空变化监测[J].测绘通报,2020,524(11):7-12,38.
- [12] 周丹,沈彦俊,陈亚宁,等.西北干旱区荒漠植被生态需水量估算[J].生态学杂志,2015,34(3):670-680.
- [13] 吕丹红,姜琦刚,王德军,等. Landsat 数据的植被覆盖估算和景观格局分析[J].测绘科学,2018,43(11):157-164.

- [14] 李梓豪,李卓凡,王晓江,等.库布齐沙漠种子植物区系研究[J].内蒙古林业科技,2019,45(3):46-50.
- [15] 张立欣,段玉玺,王伟峰,等.库布齐沙漠不同植被类型群落特征与土壤有机质、全氮、含水量关系研究[J].江西农业大学学报,2015,37(6):1044-1051.
- [16] 刘源,段玉玺,王博,等.库布齐东段典型人工固沙林土壤水分时空变化特征[J].西北林学院学报,2021,36(1):1-8.
- [17] 刘江,袁勤,张立欣,等.库布齐沙漠北缘不同人工灌木林地土壤肥力质量状况[J].西北林学院学报,2021,36(2):46-53.
- [18] 聂素梅,高丽,闫志坚.库布齐沙漠植被特征与土壤营养状况的研究[J].草业科学,2010,27(8):23-28.
- [19] 王黎,郭燕宇,清华,等.1981—2013年库布齐沙漠植被覆盖度变化分析[J].环境与发展,2015,27(2):46-48.
- [20] 张成才,娄洋,李颖,等.基于像元二分模型的伏牛山区植被覆盖度变化[J].水土保持研究,2020,27(3):301-307.
- [21] 井梅秀,蔡福,王学江,等.三江源区植被覆盖度空间特征[J].干旱区资源与环境,2020,34(2):141-147.
- [22] 王瑾,闫庆武,谭学玲,等.内蒙古地区植被覆盖动态及驱动因素分析[J].林业资源管理,2019(4):159-167.
- [23] 郭紫晨,刘树林,康文平,等.2000—2015年毛乌素沙区植被覆盖度变化趋势[J].中国沙漠,2018,38(5):1099-1107.
- [24] 高鹏文,阿里木江·卡斯木,赵永玉,等.1988—2018年哈密绿洲植被覆盖度时空变化及其驱动力[J].水土保持通报,2020,40(6):273-280,287.
- [25] 戴学军,杨楚铃,刘雪婷.基于RS的惠州市植被覆盖度的变化特征分析[J].惠州学院学报,2020,40(4):24-29.
- [26] 吴佳梅,彭秋志,黄义忠,等.中国植被覆盖变化研究遥感数据源及研究区域时空热度分析[J].地球科学进展,2020,35(9):978-989.
- [27] 何兰,董光,陈佳丽,等.若尔盖高寒高原植被覆盖及变化研究[J].科技通报,2021,37(3):1-8.
- [28] 郭继凯,吴秀芹,董贵华,等.基于MODIS/NDVI的塔里木河流域植被覆盖变化驱动因素相对作用分析[J].干旱区研究,2017,34(3):621-629.
- [29] 王海军,靳晓华,李海龙,等.基于GIS和RS的中国西北NDVI变化特征及其与气候变化的耦合性[J].农业工程学报,2010,26(11):194-203.
- [30] 杨怡,吴世新,庄庆威,等.2000—2018年古尔班通古特沙漠EVI时空变化特征[J].干旱区研究,2019,36(6):1512-1520.
- [31] 刘婵,赵文智,刘冰,等.基于无人机和MODIS数据的巴丹吉林沙漠植被分布特征与动态变化研究[J].中国沙漠,2019,39(4):92-102.
- [32] 李朝生,丁一汇,李泽椿,等.气候变化对库布齐沙漠生态环境的影响及其适应性对策初探[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(5):1-5.
- [33] 何亮,梁海荣,李钢铁,等.近20年杭锦旗植被覆盖变化特征及驱动力分析[J].生态与农村环境学报,2021,37(5):587-596.
- [34] 田海静,曹春香,戴晟懋,等.准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列遥感监测[J].地球信息科学学报,2014,16(1):126-133.
- [35] 郑玉峰,奇奕轩,全宇,等.库布齐沙漠及周边地区五十年气候变化特征[J].内蒙古林业科技,2019,45(4):47-49.
- [36] 刘璐丹,李晶,柳彩霞,等.2000—2015年长江经济带植被覆盖时空变化特征及影响因素分析[J].水土保持研究,2021,28(6):330-336,347,3.