水土保持试验研究

干旱风沙区水库边缘植被—风力侵蚀的变化及成因

张晓虹[1]，何有华[1]，胡彦婷[2]

(1. 甘肃省水土保持科学研究所，甘肃 兰州 730020；2. 甘肃农业大学 林学院，甘肃 兰州 730070)

摘　要：[目的] 对干旱风沙区水库边缘植被覆盖度和土壤风力侵蚀的动态变化及其成因进行分析，为该库区风沙危害的防治提供依据。[方法] 基于 Landsat 影像使用像元二分模型计算植被覆盖度，运用定性与定量相结合的方法，研究甘肃省瓜州县桥子水库边缘植被变化和风力侵蚀状况。[结果] 2006，2011，2018 年植被覆盖度分别为 0.15，0.13 和 0.35，水库边缘的植被呈先减后增的趋势，其生长有远离水库的趋势。2006—2011 年桥子库群周边环境变化剧烈，2011—2018 年植被退化速度减缓。研究区强烈以上侵蚀面积比例仍较大(50%以上)。[结论] 研究区植被和侵蚀变化的原因除了气候等自然因素外，地下水补给量减少，水位降低，超生态负荷扩大绿洲，不合理的种植业结构、耕作方式及牧业发展等人为因素加速了天然植被退化和局部侵蚀，而采取的草场封育、固沙造林等治理和修复措施在一定程度上延缓这一进程。建议采取生态引水、补给地下水、发展节水农业、禁垦禁牧、调整产业结构、恢复植被等抢救性措施和预防保护治理措施，以维护绿洲的持久稳定。

关键词：植被；风力侵蚀；Landsat 影像；水库边缘；干旱风沙区

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2020)06-0001-07　　**中图分类号**：Q948，S157.1

文献参数：张晓虹，何有华，胡彦婷. 干旱风沙区水库边缘植被—风力侵蚀的变化及成因[J]. 水土保持通报，2020，40(6)：1-7. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.001；Zhang Xiaohong，He Youhua，Hu Yanting. Evolution and causes of vegetation and wind erosion at reservoir edge in arid sandstorm area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(6)：1-7.

Evolution and Causes of Vegetation and Wind Erosion at Reservoir Edge in Arid Sandstorm Area

Zhang Xiaohong[1]，He Youhua[1]，Hu Yanting[2]

(1. *Gansu Institute of Soil and Water Conservation Science*，*Lanzhou*，*Gansu* 730020，*China*；
2. *Faculty of Forestry*，*Gansu Agricultural University*，*Lanzhou*，*Gansu* 730070，*China*)

Abstract：[Objective] The dynamic changes and causes of vegetation coverage and wind erosion at the edge of the reservoir in arid sandstorm region were analyzed in order to provide a basis for the prevention and control of sandstorm hazards in the reservoir area. [Methods] Taking Qiaozi reservoir at Guazhou County，Gansu Province as a study area，landsat images of the edge of Qiaozi reservoir was collected，and the pixel dichotomy model was used to calculate the vegetation coverage in the arid sandstorm area. Both qualitative and quantitative methods were used to evaluate the changes of vegetation edge and wind erosion. [Results] The annual average values of vegetation coverage in 2006，2011，and 2018 were 0.15，0.13，and 0.35，respectively. The vegetation at the edge of the reservoir decreased first and then increased，and tended to grow away from the reservoir，and the change of vegetation coverage from 2006 to 2011 was higher than that from 2011—2018. The severe erosion area still accounted for a large proportion (>50%). [Conclusion] In addition to climate，the reduction of groundwater recharge，the decrease of water level，the expansion of oasis beyond ecological load，unreasonable planting，inadequate farming methods and animal husbandry development have accelerated natural vegetation degradation and local erosion. The adoption of grassland enclosure，sand fixation and

收稿日期：2020-07-31　　**修回日期**：2020-08-31

资助项目：甘肃省科技计划重点项目“干旱风沙区水库边缘生态修复技术研究”(17YF1FA112)；甘肃省水利科研技术推广项目“引洮工程受水区生态足迹与水资源承载力变化研究”(甘水科外发[2017]76 号-3)

第一作者：张晓虹(1970—)，女(汉族)，安徽省长丰县人，学士，正高级工程师，主要从事水土保持和林业生态研究。Email：503358986@qq.com。

通讯作者：何有华(1965—)，男(汉族)，甘肃省静宁县人，学士，正高级工程师，主要从事水土保持和荒漠化研究。Email：635943975@qq.com。

afforestation and other management and restoration measures have delayed this process to a certain extent. It is suggested that ecological water diversion, groundwater replenishment, development of water-saving agriculture, reclamation and grazing prohibition, adjustment of industrial structure, restoration of vegetation and other rescue measures as well as prevention, protection and control measures should be taken to maintain the lasting stability of the oasis.

Keywords: vegetation; soil erosion; landsat image; reservoir edge; arid sandstorm region

干旱风沙区因有水库的调蓄作用,才有了绿洲的繁荣与可持续发展,保护水库免遭风沙填埋危害是保护绿洲的重要任务之一[1]。对水库周边或库区生态过程及生态设计的研究方面,目前研究区域主要集中在以水力侵蚀为主的非干旱地区,研究内容主要围绕水库建设前后人类活动对库区生态过程的影响或库区景观设计方面进行[2-5],但在以风力侵蚀为主的干旱地区,水库多镶嵌于绿洲与荒漠边缘的生态环境中,尤其处于山前洪积扇下游以泉水为水源的水库,有其特殊的植物群落结构[6-7]、地下水文循环过程和严酷而脆弱的生态环境,与非干旱地区的库区生态过程有不同的驱动机制及其反应敏感性[8]。研究干旱风沙地区水库边缘植被演变及风力侵蚀强度变化,旨在评价水库边缘生态环境现状,判断其荒漠化正逆向演替趋势,分析生态过程中的主要驱动力,探索水库风沙危害防治有效途径。

利用遥感影像工具,研究干旱地区植被覆盖度及水土流失强度变化的技术日趋成熟,且有一系列研究成果问世[9-14]。风力侵蚀主要受植被指数、土壤可蚀性、风速等影响,主要的人为因素之一是放牧对侵蚀的驱动,致使风力侵蚀存在空间异质性[15]。周绪[16]以 RS,GIS 为平台,分析了干旱区地下水位降幅对天然植被退化过程的影响。吕利利等[17]运用网格法研究了瓜州县 1986—2015 年绿洲变化,总体上整个瓜州县的绿洲分布呈增长的趋势,但瓜州县桥子绿洲的面积呈下降趋势,从 1986 年 66.70 km^2 退缩为 2015 年 19.07 km^2,退缩最严重的阶段是 2005—2010 年。基于上述成果,本研究选取瓜州县的桥子库群,研究基于 Landsat 影像,采用像元二分模型,分析库群周边植被与风力侵蚀变化,从而进一步探析动态变化的归因。研究组曾对瓜州县桥子水库群的风沙危害和生态环境影响进行了初步研究[18],该区域草地严重退化、湿地锐减、风沙淤积危害十分严重,库群有效库容缩减,调蓄效率下降,风力侵蚀使生态环境进一步恶化[19]。因此,本文重点对水库边缘植被覆盖度和风力侵蚀的动态变化及其成因进行分析,以期为干旱风沙区库区风沙防治提供参考。

1 研究区概况

1.1 自然生态环境

研究区位于甘肃省河西走廊瓜州县桥子库区,距瓜州县城约 67 km,地处昌马冲洪积扇边缘,踏实盆地东部,为绿洲细土平原和南戈壁洪积砾石倾斜平原的接合部位,在榆林河灌区的下游。区域内桥子东坝、祁家坝、水磨坝及沙窝坝等水库都以泉水为水源,是桥子灌区内调蓄泉水灌溉绿洲的唯一水利调蓄设施。以桥子库群周边 70.90 km^2 的范围为研究对象,地理坐标为 96°12′18″—96°19′05″E,40°17′38″—40°23′56″N,区域内含有水面、耕地、沙丘、戈壁、草地、林地、沼泽等多种土地类型。

研究区地形平坦开阔,东北侧沙丘较多,高低不平,西侧相对平坦,总体地势由东南向西北倾斜,海拔为 1 331～1374 m。地处荒漠内陆,属典型的大陆性荒漠干旱气候,气候主要表现为风大沙多、降水少(年均降水量为 47.7 mm),降水季节变化明显,主要集中于 5—8 月,蒸发量大(年均蒸发量为 3 040.6 mm)、日照时数长(3 260 h)、昼夜温差大、夏季酷热(最高气温达 42.8 ℃)及冬季严寒(最低气温为－29.3 ℃)等特征。年均气温为 8.8 ℃,无霜期 134～157 d,属极干旱区,干燥度达 16.8。年均风速为 3.7 m/s,各月平均风速春季最大,为 4.2～4.5 m/s,平均 9～10 d,约占全年大风总日数的 40%,夏季次之,冬季和秋季最少,历年最多风向为东风,其次为西风。土壤主要为棕漠土、灰棕漠土、荒漠化草甸土、盐土及风沙土等。植被属西北温带荒漠区—温带半灌木、灌木荒漠带,以旱生、超旱生灌木、半灌木和盐生、旱生肉质半灌木为主,原生植被可分为风蚀荒漠戈壁植被:沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)等超旱生的植物;绿洲边缘沙丘植被:柽柳(*Tamarix chinensis*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)等沙生植被;绿洲内部盐生植被:盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等。灌区人工植被主要有沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、柽柳、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)等。库区周边荒漠化严重,

土壤侵蚀类型主要是风力侵蚀,并有轻微的水力侵蚀,其平均侵蚀模数约为 8 000 t/(km^2 · a)[20]。

1.2　风沙防治现状

桥子库群周边沙源广,面积大,现有的柽柳等植被,零星分布,拦沙能力弱,风力侵蚀强度大,库群受到风沙吹蚀、淤积的危害日益严重,其危害直接表现为压埋泉眼,侵占库容,水库调蓄功能下降,沙化耕地,恶化生存环境,影响农业生产等,治理难度大。当地干部群众围绕保护绿洲家园抗御风沙灾害,实施人工砾石埋压流沙、设置沙障、挡沙墙、建设农田防护林网等措施,使绿洲灌区农业生产条件有了较明显的改善。但因水土保持工作起步较晚,需治理范围广、难度较大,受经费、人力等限制,该区域治理尚未构成全面的防护体系。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

选取研究区中分辨率 Landsat 影像,分辨率为 30 m,基于地理空间数据云平台获取桥子库群 30 m 分辨率的数字高程模型(DEM)数据,2006 年 7 月、2011 年 8 月 Landsat 5TM 的 7 个波段,2018 年 7 月 Landsat 8OLI 的 11 个波段数据,对 3 期影像进行辐射定标、大气校正。辐射定标是进行数字量化值 DN 与辐射亮度转换,本研究采用 FLAASH 大气校正方法,主要是用于去除水蒸气、气溶胶效应,校正邻近效应[21-22]。2006—2018 年平均温度、年降水量、相对湿度数据来源于中国气象数据网 http://data.cma.cn/。

2.2　研究方法

2.2.1　*归一化植被指数*　归一化植被指数(NDVI)是检测植被长势、植被覆盖度和营养成分等的主要参数之一,用于测定植被生长状况、修正辐射误差等,反映了区域内植被的分布状况。其计算方法为[22-23]:

$$NDVI=\frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

式中:NDVI 为归一化植被指数; NIR 为近红外波段; RED 为红光波段。

2.2.2　*植被覆盖度*　基于像元二分模型原理提取桥子库群边缘的植被覆盖度,运用植被指数转化法对植被覆盖度进行估算,其计算方法为[24-25]:

$$F=\frac{NDVI-NDVI_{min}}{NDVI_{max}+NDVI_{min}}$$

式中:F 为植被覆盖度; NDVI 为像元的植被指数; $NDVI_{max}$,$NDVI_{min}$分别为区域内 NDVI 的最大值与最小值($NDVI_{max}\neq NDVI_{min}$),通常选取累计概率为 95%与 5%时的 NDVI 值。

2.2.3　*风力侵蚀强度分级*　基于 ENVI,ArcGIS 等技术平台,将上述提取的植被覆盖度依据《土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)》风力侵蚀的强度分级标准进行空间分析,其结果详见表 1。

表 1　研究区风力侵蚀的强度分级

级别	床面形态(地表形态)	植被覆盖度/%(非流沙面积)
微度	固定沙丘、沙地和滩地	＞70
轻度	固定沙丘、半固定沙丘、沙地	70～50
中度	半固定沙丘、沙地	50～30
强烈	半固定沙丘、流动沙丘、沙地	30～10
极强烈	流动沙丘、沙地	＜10

3　结果与分析

3.1　动态变化分析

3.1.1　*NDVI 变化分析*　归一化植被指数的变化范围为[－1,1],在沙漠、水体等区域 NDVI 值较低甚至为负值。由图 1 可知,2006 和 2011 年 NDVI 均为 0.81 达最大,2018 年 NDVI 为 0.80 达最大。2006,2011,2018 年 NDVI 的年变化均值依次为 0.14,0.11 和 0.30,从 2006—2018 年研究区归一化植被指数呈先减后增的趋势,但 2018 年的 NDVI 值高于 2006 年,NDVI 的累积比例可划分为 3 个阶段:基本不变阶段,NDVI 的年均变化分别为－0.05,－0.06,－0.06;快速增加阶段,NDVI 的年均变化分别为 0.22,0.19,0.20;增长缓慢阶段,NDVI 的年均变化分别为0.62,0.63,0.60。

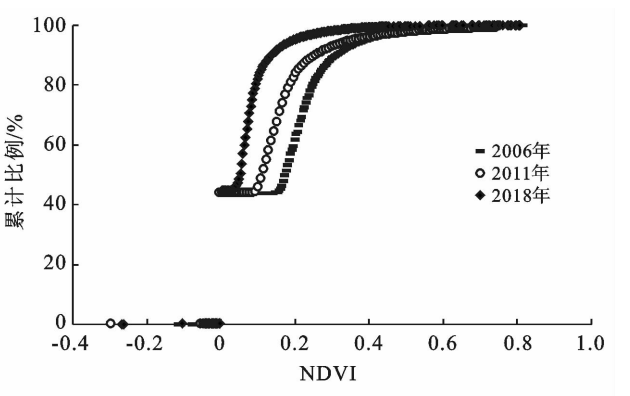


图 1　研究区 NDVI 的累计比例

3.1.2　*植被覆盖度时空变化*　植被是影响侵蚀的重要因素之一[26],增加干旱风沙区的植被覆盖度可有效的防风固沙。使用像元二分模型提取研究区 2006,2011,2018 年植被覆盖度。由图 2 可知,不同年份植被覆盖度呈先减后增的趋势,2006,2011,2018 年植被覆盖度分别为 0.15,0.13 和 0.35,位于中覆盖度、中低覆盖度范围,桥子水库边缘植被呈现先退

化后恢复的趋势，虽然 2018 年植被出现恢复的趋势，但覆盖度处在中覆盖度范围，植被覆盖度仍较低。从 2006，2011，2018 年植被覆盖度的变化情况来看（图 2），2006 年植被覆盖度为 0 的比例为 44.69%，在(0.0，0.3]范围内比例最大，且高低起伏变化较大，在较高覆盖度范围（覆盖度在 0.3 以上）比例较小；2011 年覆盖度为 0 的比例为 46.28%，高于 2006 年，变化规律具有低覆盖度高百分比，高覆盖度低百分比的特征，在覆盖度低于 0.25 时，百分比均值为 0.56%；2018 年覆盖度为 0 的比例仅为 3.20%，与 2006 和 2011 年相比明显下降，2018 年覆盖度比例可划分为 3 个阶段，[0.00，0.15]比例增加，(0.15，0.35]比例变化较平稳，>0.35 的比例呈下降趋势，但覆盖度高于 0.15 的比例均高于 2006 和 2011 年。

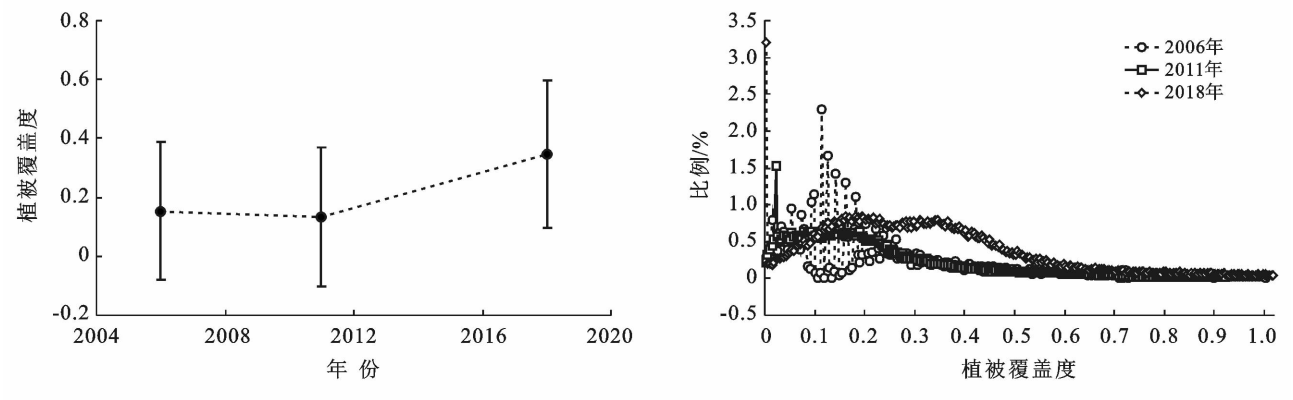


图 2 研究区不同年份植被覆盖度变化

由表 2 可知，2006—2018 年总体上植被低覆盖度面积呈下降趋势，中低覆盖度呈先增后减趋势，中、较高、高覆盖度呈先减后增趋势。中低覆盖度以下呈先增后减的趋势，而中覆盖度以上呈先减后增的趋势，其中时段 2006—2011 年植被中覆盖度以上的减少趋势高于 2011—2018 年。中低覆盖度以下面积由 2006 年的 68.17% 增为 2011 年的 71.32%，降为 2018 年的 50.47%，2006—2011 年覆盖度变化为 3.14%，2011—2018 年覆盖度变化为 −20.84%，说明中低覆盖度在 2006—2011 年比例增加，在 2011—2018 年比例减少更明显；中覆盖度以上由 2006 年 31.82%降为 28.69%，增为 2018 年的 49.53%，2006—2011 年覆盖度变化为 −3.15%，2011—2018 年覆盖度变化为 20.85%，说明中覆盖度以上在 2006—2011 年比例减少，在 2011—2018 年的比例增加显著。其中，中低覆盖度（<30%）以下的类型占整个桥子库群的比例最大，3 期比例均超过了 50%。

由图 3 可以看出，研究区植被空间分布整体上绕桥子库群边缘聚集生长，其他区域零星分布，在研究时间尺度内，水库边缘的植被呈先减后增的趋势，有生长远离水库的趋势，中低覆盖区植被有先退化后恢复的趋势。2006—2011 年植被覆盖度降低，中覆盖度以上植被明显减少，天然植被退化较明显，此时段与瓜州桥子绿洲面积退缩的时段相对应[17]，2011—2018 年植被缓慢恢复，说明 2006—2011 年桥子库群周边环境变化剧烈，2011—2018 年植被呈现恢复趋势，分析植被覆盖度有所增高的原因可能是以下几个因素的叠加：①与近几年保护区的围栏封育发挥功效有关；②周边开展了人工治沙，人工植被增加；③近几年以来降雨量有所增加；④影像的影响，2006 和 2011 年影像为 Landsat TM 数据，2018 年为 Landsat OLI 数据，不同的影像提取的植被覆盖度会有一定的差异。

表 2 研究区植被覆盖度变化统计结果

植被覆盖度分级/%	等 级	植被覆盖度面积比/%			变化差值/%	
		F_{2006}	F_{2011}	F_{2018}	$F_{2011}-F_{2006}$	$F_{2018}-F_{2011}$
<10	低覆盖度	27.37	25.12	12.27	−2.25	−12.85
10～30	中低覆盖度	40.80	46.20	38.20	5.39	−7.99
30～50	中覆盖度	15.70	14.17	30.12	−1.54	15.96
50～70	较高覆盖度	6.96	6.21	8.96	−0.75	2.75
>70	高覆盖度	9.16	8.31	10.45	−0.86	2.14

注：F 为植被覆盖度面积比。

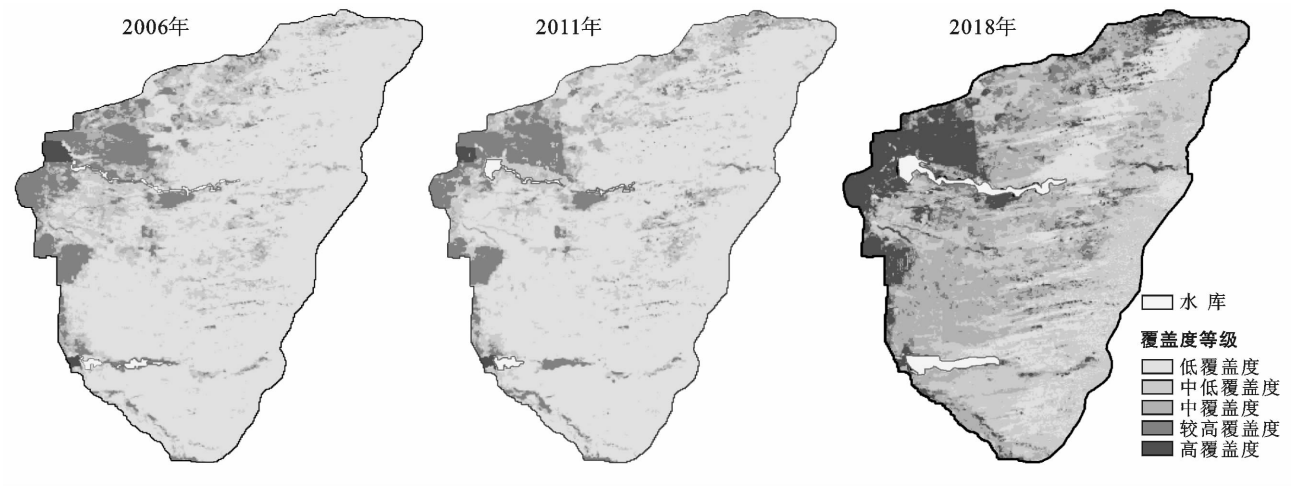


图 3　研究区 2006－2018 年植被覆盖度变化

3.1.3　*风力侵蚀变化*　在干旱风沙区,植被覆盖度与风力侵蚀紧密相关,植被覆盖度越高风力侵蚀越小,植被覆盖度越低侵蚀愈严重。由表 3 可知,在研究时间尺度内,侵蚀强度为中度以下的侵蚀面积呈先减后增的趋势,由 2006 年的 22.36 km^2 减为 2011 年的 20.19 km^2,增为 2018 年 34.30 km^2。2006—2011 年侵蚀面积变化为－2.17 km^2,2011—2018 年侵蚀面积变化为 14.11 km^2;强烈侵蚀面积先增后减,由 2006 年的 28.67 km^2 增为 2011 年的 32.52 km^2,减为 2018 年的 26.46 km^2,2006—2011 年侵蚀变化为 3.85 km^2,2011—2018 年侵蚀变化为－6.06 km^2;极强烈侵蚀面积持续减少,由 2006 年的 19.23 km^2 减为 2018 年的 8.50 km^2,2006—2011 年、2011—2018 年侵蚀变化分别为－1.55 和－9.18 km^2。强烈以上侵蚀面积由 2006 年的47.90 km^2 到 2011 年的 50.20 km^2 降为 2018 年的34.96 km^2,强烈以上侵蚀面积比例仍较大,若不注意防治很容易引起植被的退化,因此,明确植被覆盖度和风力侵蚀变化的成因分析显得尤为重要。

表 3　研究区 2006－2018 年风力侵蚀面积变化统计

植被覆盖度分级/%	风蚀等级	风蚀面积/km^2			风蚀面积变化/km^2	
		A_{2006}	A_{2011}	A_{2018}	$A_{2011}-A_{2006}$	$A_{2018}-A_{2011}$
＞70	微度	6.44	5.85	7.24	－0.59	1.39
70～50	轻度	4.89	4.37	6.20	－0.52	1.83
50～30	中度	11.03	9.97	20.86	－1.06	10.89
30～10	强烈	28.67	32.52	26.46	3.85	－6.06
＜10	极强烈	19.23	17.69	8.50	－1.55	－9.18

注:A 为风力侵蚀面积。

由图 4 可知,研究区风力侵蚀的空间分布整体上西北方向侵蚀较弱,东南、东北方向侵蚀较强,在研究时间尺度内,水库边缘的侵蚀出现先加重后减弱的趋势,2018 年植被虽有恢复,但恢复进度相对较慢;极强烈侵蚀区在东南、东北方向的面积明显减小,2018 年的减幅大于 2011 年,由流动沙丘、沙地转为半固定沙丘、沙地,说明时段 2006—2011 年侵蚀较 2011—2018 年严重,与上述研究植被覆盖度退缩时段相对应。

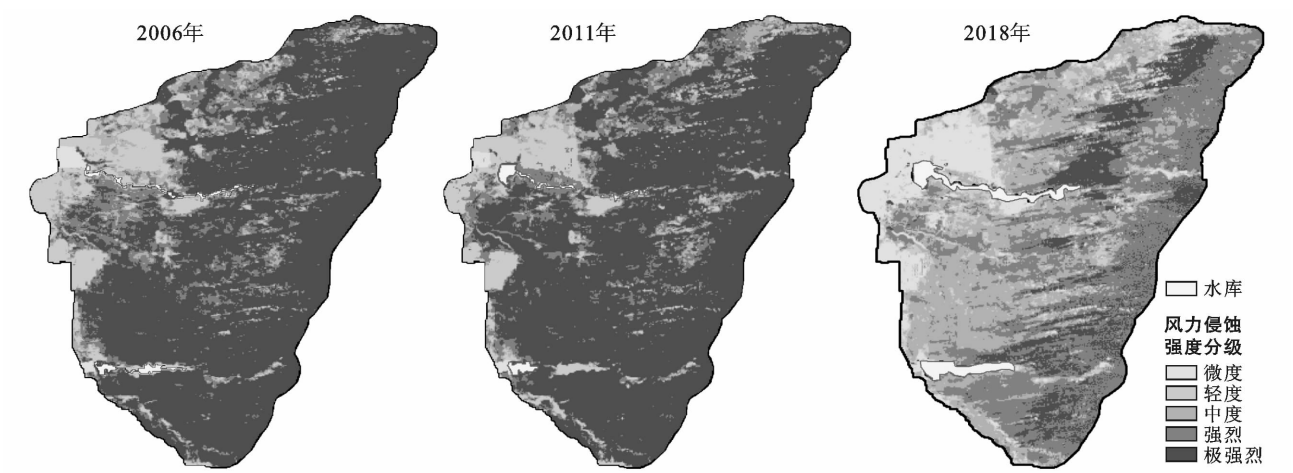


图 4　研究区 2006－2018 年风力侵蚀空间分布

3.2 植被覆盖及风力侵蚀变化成因分析

植被覆盖及土壤侵蚀变化的影响因素有自然因素和人为因素。

3.2.1 自然因素 在自然因素中最主要的是气候因素。当地干旱多风和冷热剧变的气候特点不利于自然植被的生长,使沙质地表疏松裸露,遇有起沙风速时,极易产生沙尘,形成各类风蚀、风积地貌。由2006—2018 年气象数据可知,研究区所在酒泉地区年均气温呈升高趋势[27],相对湿度呈下降趋势,降水量波动减少,尤其近几年气温升高,降水量增加明显(图 5),这在一定程度上促进了植被的增加。但鉴于当地极干旱的气候类型,降雨条件的变化只是植被变化的主要驱动因素之一,同时地下水位的变化也是地表天然植被变化的重要动因。

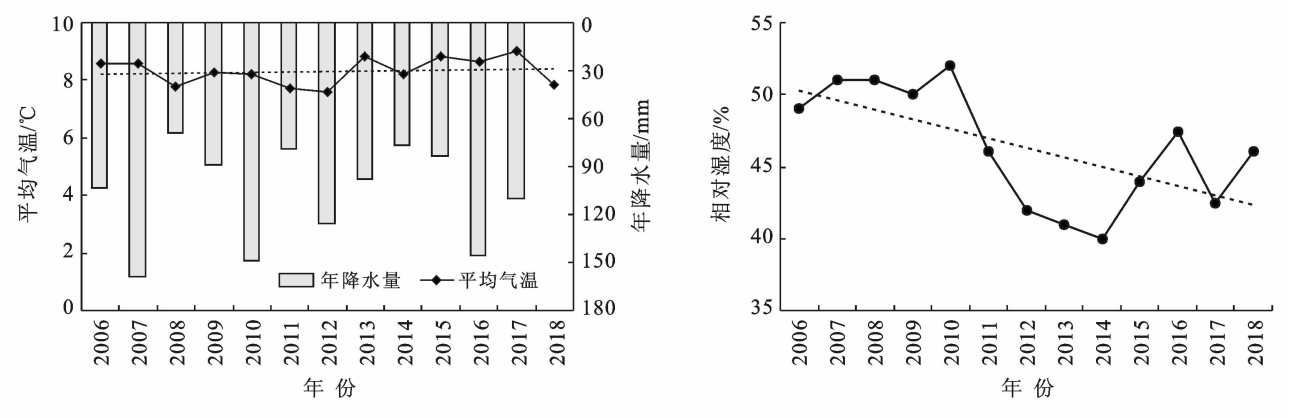


图 5 研究区年均温、年降水量及相对湿度变化

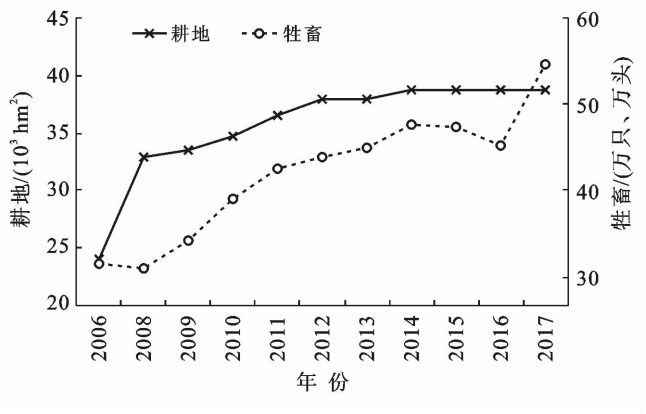
研究区处于山前砾石冲洪积和细土冲积平原交界的潜水溢出带,地表水主要依赖于洪积扇边缘的出漏泉水,泉水的来源一部分为上游集雨面积上的降雨入渗地下补给,另一部分以疏勒河古河床潜流及祁连山融雪潜流补给。由于上游补给量的持续减少等原因,已出现地下水水位下降、泉水线后移、泉水溢出量减小、沼泽萎缩等生态环境恶化趋势[28-29]。1980—2004 年,因地下水下降,桥子片区泉水溢出量平均每年减少 5.57×10^5 m^3,其中生态耗水量平均每年减少 3.34×10^5 m^3。由机井普查资料调查到的水位埋深中可知,桥子灌溉区水位下降速率为 0.064 m/s,地下水位逐年下降。在桥子水库周边地下水位较浅的低平区域广泛分布着芨芨草群落,芨芨草是主要的建群种,植株生长高大茂密,平均盖度曾达 60%~70%。而近几年从现场调查看,水库边缘原来丰茂的芨芨草滩已明显衰退,草丛生长不良,高度降低,分蘖少,地表呈现一个个枯死老杆组成的凸起草墩,盖度降低,小于 30%左右,芨芨草作为地下水指示植物[30],也明示了当地地下水位的下降情况。研究区内南部有小片胡杨林残林,也由于地下水位的降低,植株稀疏、低矮衰弱,退化呈丛状。地下水位的下降,泉水溢出量的减少,造成了库区周边湿生植物和对地下水依赖性较强的植物枯死;而近几年降雨量接近常年同期略偏多,为丰水年,同时,气温也接近常年同期略偏高,热量较为充足,水热条件利于荒漠区植被夏季生长,使荒漠旱生植被的覆盖度有所增加,植被群落结构发生了变化。

3.2.2 人为因素 除自然因素外,人类活动对植被覆盖有正向和负向两方面作用,人类的发展及其生产生活对环境的干扰和破坏,如地下水超采、过度放牧、超生态负荷扩大绿洲面积、不合理的种植业结构和耕作方式等不当的人为活动造成了天然植被的破坏,局部侵蚀和土地沙化加速。与此相对,封育造林治沙等治理保护行为对植被覆盖的增加有积极的影响。

(1) 超生态负荷扩大绿洲面积。近 30 a 间,瓜州县域范围内总体绿洲扩张显著[16],耕地增加(图 6),人口增长快、开垦面积大,农业资源开发规模扩大,地下水过度开采,但植被保护滞后、生态用水减少,超过了原本脆弱生态系统的承载力,还存在土地撂荒或弃耕问题等,造成天然荒漠植被退化,草原面积减少,土地沙化,新的沙源地不断增加。而以地下水为水源支撑的桥子绿洲却持续萎缩,间接说明了周边土地荒漠化的发展给研究区造成影响,库群边缘植被退化、沙源地增加、风沙淤积危害严重,库群有效库容缩减,调蓄效率下降。

(2) 不合理的种植业结构和耕作方式。受短期经济利益的驱动,粗放经营,如对耕地投入的有机肥越来越少,耕作层肥力下降,以及不合理的灌溉制度等,破坏了土壤结构,加速土地的盐碱化、劣质化和荒漠化,在干旱多风的气候条件下使土壤风蚀急剧增加。

(3) 人口快速增长和社会经济的需求,加大了土地资源利用的压力。早些年的超载过牧、无序采樵、乱挖锁阳甘草等人类活动破坏原有自然植被和原地表盐生结皮,加剧风蚀强度。近几年,在草原保护等政策影响下,当地对荒漠草场采取了大范围的围栏封育措施,同时水务部门在库边的沙区也开展了人工固沙造林,治理初见成效,对植被覆盖度的增加有贡献。



注:耕地和牲畜数据来源于《甘肃农村年鉴》。

图 6　研究区耕地及牲畜变化

4　结 论

(1) 本研究基于 Landsat 影像对干旱风沙区的植被使用像元二分模型进行计算,并运用定性与定量相结合的方法研究桥子库群边缘植被和风力侵蚀状况。在研究时间尺度内,研究区植被低覆盖度面积下降,中低覆盖度先增后减,中、较高、高覆盖度先减后增。由流动沙丘、沙地转为半固定沙丘、沙地,时段 2006—2011 年侵蚀较 2011—2018 年严重。

(2) 研究区植被覆盖和风力侵蚀变化的主要原因有自然和人为因素,地下水补给量减少、水位降低、超生态负荷扩大绿洲、不合理的种植业结构和耕作方式及畜牧业发展等加速了天然植被退化和土地沙化进程,而采取的草场封育、固沙造林等治理和修复措施能在一定程度上延缓这一进程。

(3) 为维护绿洲持久稳定,建议严格控制或限制规模化耗水农耕生产,采取短期抢救性措施和预防保护治理措施,进行生态引水,抢救性补充水源,促进天然植被恢复,辅助人工植被,禁垦禁牧、调整产业结构,优化灌溉制度、发展节水农业,保证生态用水等,水利、农业、生态环境、自然资源等多部门协同,改善干旱风沙区生态环境,保证灌区农业生产及社会经济的可持续发展。

[参 考 文 献]

[1] 王博. 桥子水库群沙害治理的必要性及可行性探讨[J]. 甘肃水利水电技术,2009,45(8):62-63.

[2] 黄秋燕. 红水河梯级开发 18 年间库区景观格局变化及其生态环境效应:以广西大化县为例[J]. 安徽农业科学,2008,36(28):12458-12462.

[3] 邵怀勇,仙巍,杨武年,等. 三峡水库建设前后 10 年库区景观空间格局动态变化研究:以重庆开县为例[J]. 测绘科学,2008,33(6):176-178.

[4] 刘金轲,王世岩,王亮,等. 三门峡库区湿地景观格局变化及其驱动力分析[J]. 人民黄河,2014,36(4):82-85.

[5] 景凌云,何有华,张新民,等. 刘家峡库区景观空间格局分析[J]. 中国水土保持科学,2013,11(4):111-115.

[6] 何芳兰,刘世增,李昌龙,等. 甘肃河西戈壁植物群落组成特征及其多样性研究[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(4):74-78.

[7] 田玉清,石道良,张淑倩,等. 河西走廊水生植物多样性格局、群落特征及影响因素[J]. 生态学报,2020,40(1):202-212.

[8] Thierry F, Etienne M, Odile D,等. 对用于水库边缘植被恢复的自生物种的评价[J]. AMBIO-人类环境杂志,1997,26(6):367-373.

[9] 方天纵,秦朋遥,王黎明,等. 高时空分辨率植被覆盖获取方法及其在土壤侵蚀监测中的应用[J]. 生态学报,2019,39(15):1-11.

[10] Aiello A, Adamo M, Canora F. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE 3D and USPED at river basin scale in southern Italy [J]. Catena, 2015,131:174-185.

[11] 刘世梁,安南南,尹艺洁,等. 基于 SWAT 模型的澜沧江中游小流域水土流失与 NDVI 时空动态相关性[J]. 水土保持学报,2016,30(1):62-67.

[12] Seutloali K E, Dube T, Mutanga O. Assessing and mapping the severity of soil erosion using the 30 m Landsat multispectral satellite data in the former South African homelands of Transkei [J]. Physics and Chemistry of the Earth (Parts A/B/C), 2017, 100: 296-304.

[13] 乔锋,张生英,张克斌,等. 宁夏盐池植被覆盖动态变化遥感监测[J]. 水土保持研究,2006,13(3):181-183,186.

[14] 陆荫,张强,李晓红,等. 黄河流域甘肃段植被覆盖度时空变化及对气候因子的响应[J]. 水土保持通报,2020,40(2):232-238.

[15] 何京丽,李锦荣,邢恩德,等. 半干旱草原潜在土壤风力侵蚀空间格局研究[J]. 水土保持研究,2012,19(5):12-15,22,2.

[16] 周绪. 干旱区地下水位降幅对天然植被退化的影响分析:以新疆鄯善南部平原区为例[D]. 新疆 乌鲁木齐:新疆大学,2006.

[17] 吕利利,颉耀文,张秀霞,等. 1986—2015 年瓜州绿洲变化[J]. 生态学报,2017,37(16):5482-5491.

(下转第 22 页)

[22] Nash J E, Sutcliffe J V. River flow forecasting through conceptual models (part I): A discussion of principles. [J]. Journal of Hydrology, 1970. 10(3):82-290.
[23] 韩金凤,刘硕,戴君,等.基于组合绿色生态措施的北方城市雨雪径流削减模拟[J].应用生态学报,2018,29(2):643-650.
[24] 宋孝玉,王光社,李怀有,等.黄土高原沟壑区绿水的水文过程及驱动机制[M].北京:科学出版社,2017:78,183-184.
[25] 徐彩霞.黄土高原主要造林树种苗木根系对土壤干旱胁迫的响应机制[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009:10-13.
[26] 王鑫,余新晓,贾国栋,等.不同土壤水分条件下侧柏幼苗的生理活动及氮素分配策略[J].水土保持学报,2020,34(3):311-317.
[27] 王丁,姚健,杨雪,等.干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化[J].生态学报,2011,31(8):2216-2226.
[28] 温琦,赵文博,张幽静,等.植物干旱胁迫响应的研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(12):11-15.
[29] Xu C Y, Singh V P. Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions [J]. Journal of Hydrology, 2005,308(1):105-121.
[30] 王健,朱仲元,宋小圆,等.浑善达克沙地土壤水热对黄柳蒸腾速率的影响研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(1):77-82.
[31] 鲍彪,毕华兴,云雷,等.晋西黄土区刺槐林地土壤水分对降雨的响应[J].北京林业大学学报,2012,34(2):84-89.
[32] 葛波,杜妍,常猛,等.不同降雨等级下杉木林土壤含水率和侧向流变化特征[J].水土保持研究,2019,26(2):161-166.
[33] 赵忠,李鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96-99,107.
[34] 李蓝君,宋孝玉,夏露,等.黄土高原沟壑区典型造林树种蒸散发对气候变化的响应[J].农业工程学报,2018,34(20):148-159.

(上接第 7 页)

[18] 何有华,张晓虹,孙浩峰,等.干旱风沙区水库边缘防风林带减沙效益研究[J].中国水利,2018(2):36-37.
[19] 林晨,周生路,吴绍华.30 年来东南红壤丘陵区土壤侵蚀度时空演变研究:以长汀县为例[J].地理科学,2011,31(10):1235-1241.
[20] 吴生军.桥子水库群沙害治理生态工程效益浅析[J].农业科技与信息,2009(14):12-13.
[21] 周杰,王昆仑,宋强,等.基于 Landsat 数据的河流流域植被覆盖率变化分析:以杭埠—丰乐河流域为例[J].安徽农学通报,2019,25(14):124-126.
[22] 曹倩倩,黄袁升.基于 Landsat 影像植被覆盖度提取的研究[J].阴山学刊(自然科学版),2017,31(4):74-76.
[23] 袁士聪,谷甫刚.基于归一化指数(NDVI)的植被覆盖度分级研究:以贵州省为例[J].环保科技,2018,24(3):38-42.
[24] 岳玮,刘慧明,孙国钧.基于遥感和 GIS 技术的祖厉河流域植被覆盖动态变化监测[J].兰州大学学报:自然科学版,2009,45(S1):6-11,18.
[25] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2013:360-400.
[26] 龙雨涛,李雪娇,李铭,等.浅析不同植被在防风固沙方面发挥的生态效应[J].农业与技术,2015,35(17):76-77.
[27] 曹华,王晓,陈清善.甘肃酒泉近 50 a 气候生产潜力变化分析[J].安徽农学通报,2016,22(1):89-91.
[28] 韩娣爱.瓜州县水资源调查评价研究[J].地下水,2015,37(6):140-142.
[29] 陈维,段生燕,彭爱加.瓜州绿洲植被退化原因及保护对策[J].甘肃林业科技,2008,33(2):46-50.
[30] 张翼飞.内蒙古典型草原区芨芨草适生生境研究[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古大学,2011.