

干旱区环境绿洲化驱动机制浅析

郭玉刚¹, 康淑媛²

(1. 甘肃创新环境科技有限责任公司, 甘肃兰州 730000; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃兰州 730000)

摘要 基于树轮代用指标记录, 重建了 1368—2005 年黑河流域气候干湿指数变化序列。结果表明, 黑河流域中下游地区多数时段处在气候湿润期, 气候干旱时期比较短暂。流域气候干湿指数存在 3~5 年和 22 年准周期, 主要受 ENSO 和太阳活动影响。对黑河流域绿洲演化机制分析得出, 历史时期绿洲面积变化与气候干湿变化趋势以及人口数量增减存在明显的对应关系, 气候变干和人口数量减少是绿洲面积缩小的必要条件; 气候变湿润时期和人口数量增加时期会限制绿洲面积减少。可见自然因素和人为因素共同作用影响了流域绿洲演变的历史过程。

关键词 绿洲化; 气候干湿变化; 人口数量; 黑河流域

中图分类号 X171 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)13-0082-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.13.026



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis on Driving Mechanism of Oasification in Arid Regions

GUO Yu-gang¹, KANG Shu-yuan² (1. Gansu Innovative Environmental Science Technology Limited Liability Company, Lanzhou, Gansu 730000; 2. Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract Based on the tree-ring proxy index records, the dry-wet index of climate change in Heihe River Basin from 1368 to 2005 was reconstructed. The results showed that most of the time in the middle and lower reaches of the Heihe River Basin were in the wet period, while the dry period is relatively short. There are 3-5 years and 22 years cycles of dry-wet index over basin regions, which were mainly affected by ENSO and solar activities. Based on the analysis of the evolution mechanism of Heihe River Basin, it was concluded that the change of oasis area in historical period has obvious corresponding relation with the change of climate and population. Climate drying and population reduction were the necessary conditions for oasis area reduction; humid climate and increasing population would restrict the decrease of oasis area. It can be seen that natural and human factors have influenced the historical process of oasification over the basin region.

Key words Oasification; Climate change of dry and wet; Number of population; Heihe River Basin

绿洲是干旱荒漠地带中的一种独具特色的生态景观。绿洲主要分布在中低纬度受副热带高压控制的区域, 在我国, 绿洲主要分布在贺兰山以西, 青藏高原以北的温带和暖温带的荒漠区^[1]。历史时期以来, 在人类活动和气候变化的影响下, 水文过程、生物过程、土地变化和大气过程及其相互作用决定了绿洲的演化^[2]。我国黑河流域中下游发育着大面积的绿洲, 又地处西北内陆干旱区, 降水少, 水资源供给紧张, 生态环境脆弱^[3], 因此, 研究这一区域绿洲化过程对人类活动和气候变化的响应, 对推动黑河流域的可持续发展、推进国家生态文明建设、促进全球生态环境保护具有重大意义。然而目前的研究多是基于近代观测数据的分析, 如对近 60 年来黑河流域的生态环境^[4]和气候变化^[5-7]进行研究, 相对较短的时间尺度制约了人们对更长时期该区域绿洲演化过程的完整认识。笔者利用树轮代用记录指标数据集, 检测该区域长尺度气候变化历史及其变化规律。结合历史时期的人类活动, 从自然和人为两方面揭示历史时期绿洲化的影响因素和驱动机制。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 黑河流域是我国西北地区第二大内陆河流域, 主要位于祁连山北麓中段和河西走廊中段(37°45'~42°40' N, 96°42'~102°04' E), 涉及青海省、甘肃省、内蒙古

自治区。黑河干流全长 821 km, 总面积 14.29 万 km², 共有大小河流 41 条。出山口莺落峡以上为上游, 是黑河流域的产流区; 莺落峡至正义峡为中游, 中游的张掖地区, 人工绿洲面积较大, 是黑河流域的主要引水区; 正义峡以下为下游, 除河流沿岸和居延三角洲外, 大部分为沙漠戈壁。黑河流域地处欧亚大陆中部, 远离海洋, 周围高山环绕, 气候主要受中高纬度的西风带环流控制和基地冷气团影响, 气候干燥, 降水稀少而集中, 多大风, 日照充足, 太阳辐射强烈, 昼夜温差大。流域行政区划主要包括张掖市、酒泉市、嘉峪关市和额济纳旗。流域人口主要集中在中游地区, 占流域总人口的 96.82%。黑河流域灌溉农业开发具有悠久的历史, 尤其是中下游地区经历了 2 000 多年的开发, 绿洲有了较大的变化。

该研究所选的研究区主要集中在中游地区, 下游的额济纳旗地区, 从明朝开始到民国时期都属于游牧之地, 没有进行过大规模的农业开发, 因此不在研究范围内。

1.2 研究数据 该研究选取的研究时段从明清时期开始到 2005 年结束(1368—2005 年), 为流域绿洲演化过程提供了一个长尺度的自然背景和气候变化趋势。自然因素方面的研究资料以 Cook 等^[8]利用 327 条树轮序列重建的过去 700 多年以来的亚洲季风区的干旱指数为主。其时间分辨率为 1 年, 空间分辨率为 2.5°×2.5°的格点数据, 正值表示气候湿润时期, 负值表示气候干旱时期。这个数据集采用树轮点对点的重建方法, 重建了亚洲区域夏季季风的变化历史, 可以用于分析研究区过去近千年干旱期和湿润期的变化趋势以及空间格局的变化。该研究从 Cook 等^[8]重建的格点数据中选

基金项目 国家自然科学基金项目(41405085)。

作者简介 郭玉刚(1984—), 男, 山西潞城人, 工程师, 硕士, 从事环境保护研究。

收稿日期 2019-02-06

取了覆盖中游地区的9个网格点(38.75°~43.75°N, 96.25°~101.25°E)进行分析,对这些格点数据的分析结果可以代表流域历史时期的气候变化。

人为因素方面的研究资料一般包括人口规模、战乱、土地开发政策、科技装备、水资源利用制度以及农业生产方式等。该研究选取人口数量变化为研究对象,因为这一指标不仅在一定程度上决定了绿洲开发的规模,而且较易于量化。石亮^[9]利用遥感影像、地方志、历史遗迹和实地考察等研究手段,对黑河流域中游地区明代至民国时期人口数量变化以及绿洲面积变化进行了定量的重建。其研究分6个时段进行:明朝前期(1368—1521年),明朝后期(1522—1644年);清朝早期(1644—1722年),清朝中期(1723—1861年),清朝晚期(1862—1912年);民国时期(1912—1949年)。研究范围大致介于38°~41°N, 98°~101°40'E,这些重建具有重要的科学价值,也为该研究的分析提供了基础数据。

1.3 研究方法 用距平法和累积距平法^[10]分析流域历史时期气候干湿变化趋势,累积距平曲线的上升与下降反映了气候要素随时间变化的增加和降低。为了分析年代际和世纪气候干湿变化随时间的变化特征,进行了31年滑动子序列的累计距平研究。

为了检验流域气候干湿变化与全球性异常气候事件的关系,对流域气候干旱指数时间序列进行了周期分析。常用的周期分析方法有功率谱分析法、多窗口谱分析法、小波分析法等,其中功率谱分析法是应用最广泛的方法^[11]。功率谱分析是以傅立叶变换为基础的频域分析方法,其意义是将时间序列的总能量分解到不同频率上的分量,根据不同频率的波的方差贡献诊断出序列的主要周期,从而确定出周期的主要频率,即序列隐含的显著周期。

2 结果与分析

2.1 气候干湿变化分析

2.1.1 流域气候干湿变化趋势。历史时期气候干湿变化的累积距平曲线31年滑动平均后显示(图1曲线部分,距平以1368—2005年算数平均值为标准值),在明朝前期气候经历了由干旱变湿润又变干旱的过程,波动的幅度最大,其中1449年干旱指数达到了近700年来的最高值,而1500年达到了历史最低值;1500年为气候干湿变化的根本性转折点,1500年之后气候由于向湿转化,到1640年时达到了历史时期的又一个高值,这种湿润的状态持续到1868年,虽然在清朝前期这种湿润的趋势有所减少,但是也没有变得比1500年更干旱;清朝前期的这段时间,气候又从湿润向干旱的趋势发展,气候变干的趋势比较明显,从历史时期的高值下降到了历史时期的低值;1570—2005年,气候干湿变化经历了4次波动,但振幅相对较小,逐渐从之前的不稳定变化过渡到了相对稳定的状态。

整体上来看,流域经历的干旱期明显短于湿润期,1368—1432年和1460—1570年为较明显的干旱时期,干旱持续时间最长。1869—1958年也是一个干旱时期,但是干旱程度没有上一个干旱时期严重。期间还存在1713—1723年

和1749—1755年的短暂的干旱时期。其他时段均为湿润期,在整个时间序列上存在多个湿润期的波动,明朝前期的波动幅度最大,明朝后期到清朝前期次之,清朝中期到民国时期的波动幅度较小。

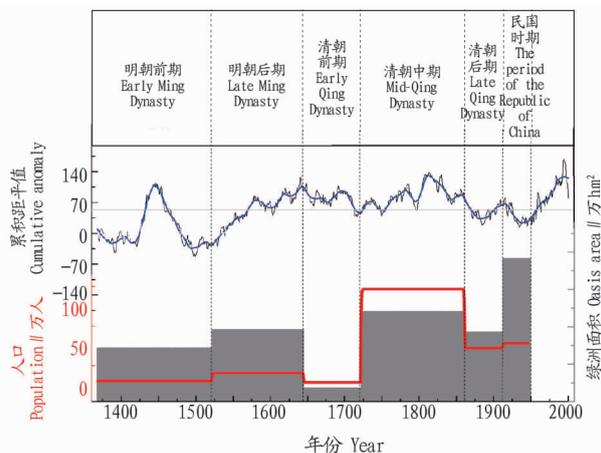


图1 1368—2005年流域气候干湿变化趋势曲线(黑色曲线)和5年FFT滑动曲线(蓝色曲线),绿洲面积变化(灰色柱状图)以及流域人口数量变化(红色曲线)

Fig. 1 The climate dry-wet change (black curve), five-year FFT sliding curve (blue curve), oasis area change (grey bar chart) and population change (red curve) of the basin from 1368 to 2005

2.1.2 流域气候干湿变化周期。为了进一步分析流域干湿变化的时间演变特征,对流域干湿变化时间序列进行了功率谱分析,其结果见图2。由图2可知,通过99%检验的只有3.4年周期和4.9年周期;通过95%检验的还有2年、2.3年、2.9年、5.4年、6.7年和7.7年的周期;通过90%检验的还有9年和22年周期。可以看到,准5年和准3年周期是最为明显的。这可能主要与El Niño-Southern Oscillation(ENSO)的2~7年周期^[12-15]存在着一定联系。这也说明流域气候干湿变化不但存在显著的3~5年的年际波动,而且也存在22年的年代际波动。

之前有研究指出黑河莺落峡出口径流量存在3年、6~7年和22~23年的主周期^[16],也有研究指出处于黑河流域中游地区的张掖市冬季气温变化存在22年左右和6年左右较强的震荡周期^[17]。这些研究结果和该研究揭示的流域气候干湿变化周期有着很好的一致性。虽然早期的这些研究所依据的气候资料时间长度只有50年左右,但是黑河流域气候变化周期无论在长时间尺度下还是在短时间尺度下都受到ENSO变化的影响,以及太阳活动22年海耳周期^[18]的影响。

2.2 绿洲面积变化驱动因素分析

2.2.1 绿洲面积变化与气候干湿变化的关系。绿洲面积变化与流域气候干湿变化存在着一个明显的对应关系,见图1,即绿洲面积相对较小的时期,其气候干湿变化处于下降的趋势,也就是偏干的气候时期绿洲面积相对较小;而在气候干湿指数上升的趋势下,绿洲面积偏大。如最明显的清朝前期气候干湿变化呈下降趋势,对应此时的绿洲面积最小。明朝

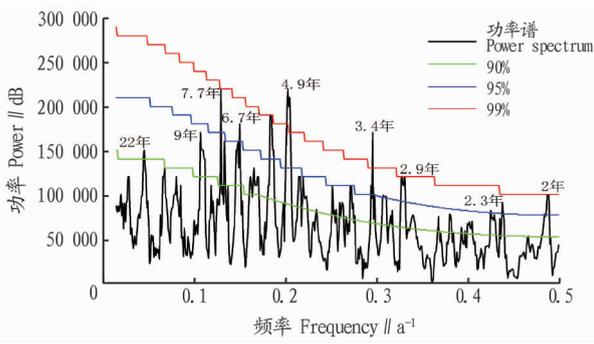


图2 1368—2005年流域气候干湿指数功率谱分析

Fig. 2 Power spectrum analysis result for the dry-wet index from 1368 to 2005

后期和清朝中期是2个气候干湿指数呈现上升趋势的时期,其绿洲面积较明朝前期和清朝前期都有所增加。然而,在气候干湿指数呈下降趋势的民国时期,绿洲面积却没有减少。这说明,干旱的气候条件未必会导致绿洲面积的大规模减少,但干旱的气候是发生绿洲面积减少的一个重要因素。因此,人类活动对绿洲面积变化的干预,应引起足够的重视。

2.2.2 绿洲面积变化与人口数量的关系。人口数量在一定程度上决定了流域绿洲开发的面积,见图1,可以看出研究区内人口变化趋势与绿洲面积变化有很好的一致性,最明显的是在给出的6个时段中清朝初期人口数量最少,对应绿洲面积最小;唯一对应不好的一个时段是,清朝中期是人口数量最多的时期,但是绿洲面积却不是最大的时期。这说明,人口数量的增减是绿洲面积增减的一个必要条件,但是绿洲面积的变化不仅仅由人口数量决定,是包含其他因素综合影响而形成的。

3 结论

通过对上述气候干湿指数长期变化趋势以及绿洲人口数量的变化分析,对绿洲面积演变的影响因素和驱动机制有了以下的认识:

(1) 1368—2005年,黑河流域多处于气候湿润期,存在多个湿润期的波动,气候干旱时期较短。2个较明显的气候干湿指数下降时期分别为明朝前期的后半段时期和清朝前期。周期分析表明流域气候干湿变化存在显著的3~5年的年际波动,以及22年的年代际波动。这些周期的波动受

ENSO和太阳活动的影响。

(2) 研究区的绿洲演变受自然和人文因素的共同作用。不同时期绿洲面积变化与气候变化和人口数量变化有着很好的对应关系。尤其是在典型的清朝前期,绿洲面积是整个研究时段中最小的时期,对应研究区域气候干湿指数下降时期,以及人口数量最少时期。这三者的对应关系还存在于明朝后期、清朝中期以及清朝后期。所以绿洲的演变受控于自然因素和人为因素共同作用,但是具体驱动力机制还需今后做大量的定量研究。

参考文献

- [1] 张宏,樊自立. 全球变化下的绿洲生态学研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(1): 43-48.
- [2] 王涛. 干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J]. 中国沙漠, 2009, 29(1): 1-9.
- [3] 赵玉. 额济纳植被覆盖变化及对地下水埋深的响应[J]. 人民黄河, 2018, 40(12): 81-84, 91.
- [4] 方创琳. 黑河流域生态经济带异协调规律与耦合发展模式[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 699-708.
- [5] 蓝永超, 丁永建, 康尔泗. 近50年来黑河山区汇流区温度及降水变化趋势[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 723-727.
- [6] 李林, 王振宇, 汪青春. 黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究[J]. 地理科学, 2006, 26(1): 40-46.
- [7] 张凯, 王润元, 韩海涛, 等. 黑河流域气候变化的水文水资源效应[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 77-83.
- [8] COOK E R, ANCHUKAITIS K J, BUCKLEY B M, et al. Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium [J]. Science, 2010, 328(5977): 486-489.
- [9] 石亮. 明清及民国时期黑河流域中游地区绿洲化荒漠化时空过程研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010: 75-76.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 62-76.
- [11] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 222-245.
- [12] 刘宣飞, 袁慧珍, 管兆勇. ENSO对IOD与中国夏季降水关系的影响[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 502-506.
- [13] 梁晓妮, 俞永强, 刘海龙. ENSO循环年代际变化及其数值模拟[J]. 大气科学, 2008, 32(6): 1471-1482.
- [14] 龚道溢, 王绍武. 近百年ENSO对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报, 1999, 44(3): 315-320.
- [15] 于淑秋, 林学椿. 黄河中游地区近522年旱涝突变[J]. 应用气象学报, 1996, 7(1): 89-95.
- [16] 蓝永超, 康尔泗, 金会军, 等. 黑河出山径流量年际变化特征和趋势研究[J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 49-53.
- [17] 张勃, 康淑媛, 刘艳艳, 等. 甘肃张掖市冬季气温变化的时空特征[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 137-144.
- [18] 陈兴芳. 1994年西太平洋副高异常变化及其成因分析[J]. 气象, 1995, 21(2): 3-7.