



公元241~1912年中国河西走廊地区年际干湿变化与游牧战争的关系

唐飞^{1,5†}, 史志林^{2†}, 田沁花³, 杜小刚⁴, 张永^{1*}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;

2. 兰州大学敦煌学研究所, 兰州 730020;

3. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081;

4. 甘肃祁连山国家级自然保护区管护中心隆畅河自然保护区, 张掖 734400;

5. 中国科学院大学, 北京 100049

* 通讯作者, E-mail: zhangyong@igsrr.ac.cn

† 共同第一作者

收稿日期: 2023-07-26; 收修改稿日期: 2024-02-24; 接受日期: 2024-03-12; 网络版发表日期: 2024-05-06

青藏高原地球系统基础科学中心项目(41988101)、国家自然科学基金项目(41977392)、国家重点研发计划项目(2019YFA0606602)、甘肃省自然科学基金项目(22JR5RA449)、中央高校基本科研业务费项目(22lzujbkydx036)和甘肃省社科基金项目(2023YB004)资助

摘要 长期以来, 气候与战争之间的关系一直是一个备受关注的科学和社会问题. 在本研究中, 探讨了公元241年以来中国河西走廊地区气候与战争爆发的可能关联. 基于河西走廊地区树轮资料以及历史时期游牧战争数据, 利用时序叠加分析方法, 我们发现河西走廊地区年际干湿变化与游牧民族发动的战争之间存在明显的相关性, 但是这种关系是动态的, 并与该地区的政权格局有关. 在河西走廊存在多个地方政权统治的时期, 战争往往随着干旱的气候条件而发生, 这可能是由于这些时期的异常干旱加剧了对资源和土地的争夺. 相反, 在统一王朝管理时期, 气候湿润时更容易发生战争, 因为牧场的扩大和资源的积累有助于游牧民族的对外征服. 这些发现凸显了战争与气候变化之间关系的复杂性. 为了更加全面地分析二者之间的关系, 需要在更多地区建立覆盖范围更广、分布更均匀且连续的高分辨率历史温湿数据集. 此外, 对于具有独特特征的区域, 需要收集更多的历史战争数据, 进行分类讨论研究.

关键词 干旱, 年际干湿变化, 战争, 河西走廊, 树轮, 游牧民族

1 引言

战争作为一种以激烈冲突为特征的社会活动, 对个人、国家和整个社会的安全、保障和命运有着直接

而深刻的影响. 同时, 气候变化深刻地影响着社会的稳定(董广辉等, 2017)、人类历史的进程(方修琦, 2021)、人口扩张和文化交流(Xiang等, 2023), 故而气候变化可以直接或间接地引发战争. 因此, 研究气候与

中文引用格式: 唐飞, 史志林, 田沁花, 杜小刚, 张永. 2024. 公元241~1912年中国河西走廊地区年际干湿变化与游牧战争的关系. 中国科学: 地球科学, 54(6): 1950–1959, doi: 10.1360/N072023-0169

英文引用格式: Tang F, Shi Z, Tian Q, Du X, Zhang Y. 2024. The relationship between interannual dry/wet changes and nomadic wars in the Hexi Corridor region of China during the period 241–1912 A.D. Science China Earth Sciences, 67(6): 1922–1931, <https://doi.org/10.1007/s11430-023-1296-9>

战争之间的潜在关系对于了解极端事件对未来社会发展的潜在风险至关重要, 可为应对未来气候问题提供一定的参考依据。

许多学者从不同角度探讨了气候与战争之间的潜在联系。例如, 研究表明, 非洲现代冲突更有可能发生在干旱年或持续干旱的年代(Held等, 2005; Hendrix和Glaser, 2007)。Büntgen等(2011)使用树轮数据重建了过去2500年以来欧洲中部夏季降水和气温的变化, 他们的研究表明, 大约在公元250~600年, 气候变异性的增加与罗马帝国的衰落和移民时期的动荡相吻合。Hsiang等(2013)收集了从公元前10000年到现在的的历史数据, 发现异常的降水和温度会系统地增加冲突的风险。从古至今社会动荡或战争往往会与异常的气温和降水(或湿度)状况之间存在着或多或少的联系(Tol和Wagner, 2010; Kennett等, 2012; Medina-Elizalde和Rohling, 2012; Berland和Endfield, 2018; 王晓晴等, 2020; Jun和Sethi, 2021; Degroot等, 2022; Wang等, 2023)。

基于中国悠久而浩繁的历史文献记录, 众多学者探索了历史气候变化与重大历史事件之间的潜在联系(葛全胜等, 2013; 尹君等, 2014; Yin等, 2016a; He等, 2021)。但大多数研究主要关注温度变化与历史事件之间的关系(Zhang等, 2010; Zhang等, 2020; 张盛达等, 2022), 较少有学者研究大尺度干旱事件产生的重大社会影响(Zhang等, 2008; Zhang和Zhang, 2016; Zhang等, 2018)。现有关于气候与战争之间关系的研究仍缺乏对战争类型的详细划分, 尤其对短期年际尺度上气候变化与战争联系的对比分析, 这导致学术界对农耕社会和游牧社会之间的具体冲突理解不全面。此外, 受限于高分辨率古气候资料(即历史文献、石笋或湖泊沉积物)数量有限且空间分布不均匀, 年-十年分辨率的古气候序列在西北地区很少见, 而且超过1500年长的高分辨率树轮重建工作主要位于柴达木盆地东部, 因此, 现有气候与战争关系的研究大多集中在东部地区或全国范围, 西北地区较少被关注。

然而, 中国西北地区, 特别是河西走廊地区, 是丝绸之路的必经之地, 作为历史上东西方交流的重要通道, 区位战略意义十分重要。鉴于该地区丰富的多指标代用资料和游牧民族及农耕民族之间的频繁冲突, 河西走廊可作为研究气候变化对社会活动影响的一个关键区域。近年来, 气候变化与河西走廊地区社会事件相互关系的研究尚处于起步阶段(Su等, 2016; Jia等,

2017), 尤其关于极端气候与战争爆发的关系研究亟需加强。伴随着树轮气候学工作在中国西北地区的快速发展, 年分辨率的千年尺度的降水或湿度重建工作纷纷建立(Zhang等, 2003; Sheppard等, 2004; Shao等, 2005, 2010; Sun和Liu, 2012; Gou等, 2015; Yang等, 2019, 2021; Zhang等, 2011, 2021), 为探索该区域年际-年代际干湿变化及民族战争的潜在关系提供了必要的研究资料。

Zhang等(2021)在甘肃酒泉重建了公元241年以来的干旱历史, 揭示了中国西北地区的频繁战争爆发期与年代际干旱事件的高度一致性。这种对应关系在年际尺度是否依然存在, 关系是否显著, 亟待深入研究。本研究主要以公元241~1912年为研究时段, 将该干旱重建序列(Zhang等, 2021)与河西走廊农耕民族和游牧民族之间冲突的历史记录进行比较, 识别年际干湿变化与游牧战争之间的对应关系, 探讨过去气候的年际变化特征及其对社会活动的影响, 填补该区域历史气候变化对民族战争触发机制认识的空白。该研究既有助于更好地理解当下的重大气候问题, 也可对妥善应对未来气候变化的挑战提供重要启示。

2 数据与方法

2.1 干湿变化序列

研究区高分辨率长尺度干湿变化资料来自Zhang等(2021)的研究, 通过酒泉地区采集的树轮样本重建得到的自校正帕默尔干旱指数(self-calibrated-Palmer drought severity index, sc-PDSI)序列(YQ序列), 其重建模型解释了整个校准期间5~6月的sc-PDSI中50.5%的方差变化。通过与研究区器测记录以及相邻区域干旱重建序列的对比研究发现, 该重建序列具有很好的空间代表性, 能够较为客观地反映中国古代从西晋(公元266~317年)到清朝(公元1616~1912年)河西走廊地区的干湿变化情况。

2.2 战争数据

在河西走廊地区, 自汉代以来, 多种政权交替并存, 多民族融合成为常态(高荣, 2011)。根据战争发起者的不同, 历史文献中记载的战争事件可分为两大类: 农耕社会发起的战争(简称农耕战争)和游牧社会发起的战争(简称游牧战争); 农耕社会以汉族为主; 游牧社

会则由一些游牧民族组成(Su等, 2016), 如匈奴、吐蕃、吐谷浑、鲜卑和回鹘等。鉴于年际干湿变化的区域性差异, 本研究侧重于游牧战争与干湿变化之间的关系。

本研究选取的战争数据为游牧民族发起的战争数据, 包括战争发生的年代和位置, 数据的主要来源是《中国历代战争年表(上卷、下卷)》(中国军事史编写组, 2003), 该资料在以往的研究中被广泛引用和参考。除此之外, 我们还补充了《新唐书》《资治通鉴》《宋史》《西夏书事》《元史》《明史》和敦煌莫高窟藏经洞出土文书(S.6342、S.6161、S.3329、S.11564、S.6973、P.2762), 以及陕西杨陵出土的《沙洲刺史李无亏墓志》(王团战, 2004)中有关战争的记录。具体而言, 本研究考虑的战争事件有关于战争发起方的详细记载, 时间跨度为公元241~1912年, 主要涵盖的朝代从西晋到清朝。大部分游牧战争发生在河西走廊, 即甘肃省中西部地区(见图1)。

本研究共选取68次游牧战争作为研究对象。就战争分布情况来看, 战争爆发集中的朝代是东晋、唐朝和明朝, 涉及吐蕃、吐谷浑、回鹘和鞑靼等游牧政权。这些游牧民族主要活跃在中国的青海省、甘肃省、内

蒙古和蒙古国, 战争事件的分布随政权或时间的变化而有所不同。

从中国历史上动荡不安的东晋到南北朝时期, 河西走廊地区存在着西凉、北凉、后凉、南凉、吐谷浑等多个地方政权。北宋时期, 还出现了西夏和沙州回鹘等游牧民族建立的政权, 该时期的游牧战争大多与研究区的各种民族冲突或游牧民族的侵略有关。唐朝时, 河西走廊北部为突厥居住, 南部为吐蕃居住。南宋时期, 河西走廊地区属于西夏管辖, 与蒙古接壤, 该时期的游牧战争大多是由蒙古入侵河西走廊地区引发的。明朝时期, 河西走廊与鞑靼地区接壤, 该时期游牧战争主要由鞑靼人发起(详见网络版附录, <http://earthcn.sci-china.com>)。

2.3 时序叠加分析

本研究采用时序叠加方法(Superposed epoch analysis, SEA)研究战争爆发和干湿变化之间的关系(图2)。时序叠加法是一种通过计算离散事件发生年份前后的气候状态与前后平均态之间的差异, 从而分析离散事件与连续时间序列之间对应关系的统计方法, 被广泛应用于异常事件-气候变化研究之中, 例如火山喷发对

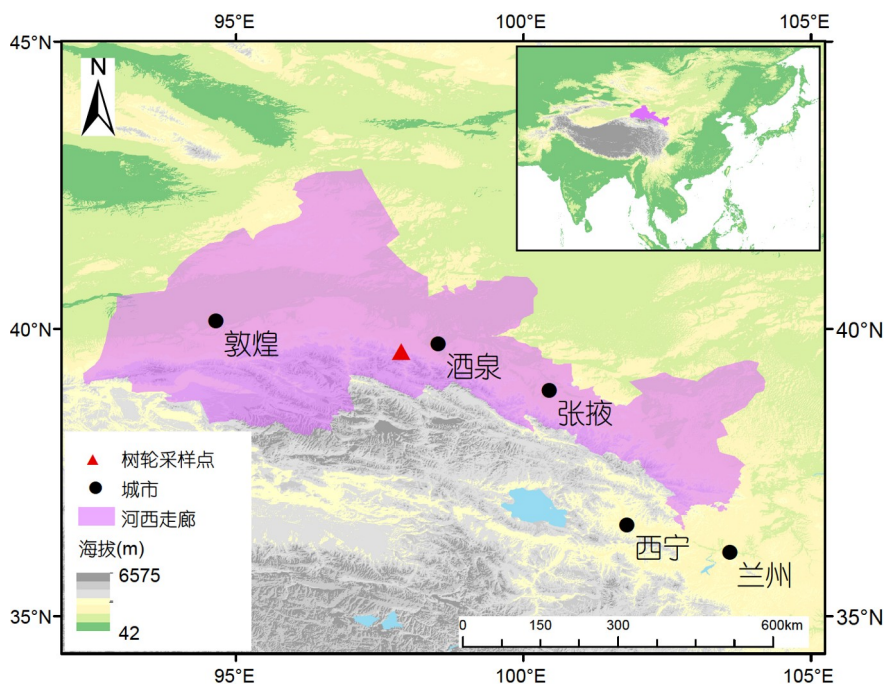


图1 树木年轮采样点和重点人口中心位置图
粉色阴影区域表示河西走廊范围

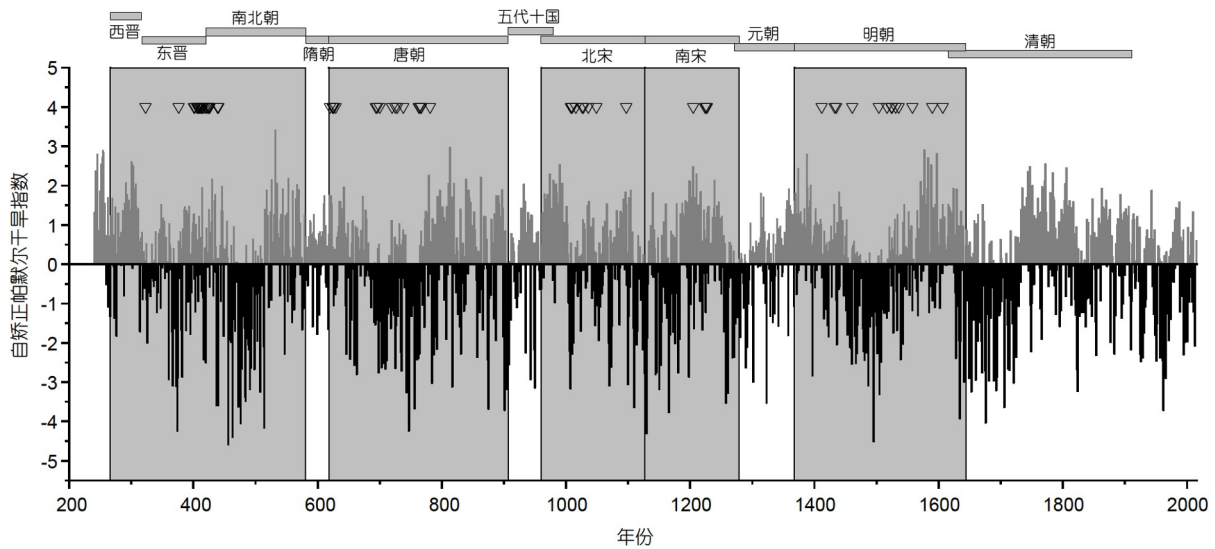


图2 干旱序列与战争事件的比较图

其中5个灰色区域是本研究主要的5个时间段, 黑色三角对应游牧战争

区域气候影响研究(Blarquez和Carcaillet, 2010; 张琨佳等, 2020; 陈友平等, 2021)以及冠层绿度降低事件对径向生长的影响(朱良军等, 2015; 汪舟和方欧娅, 2017).

本研究选取战争爆发的时间为叠加分析的关键年, 将战争爆发前后各10年共20年作为窗口期求滑动平均值, 计算重建序列的平均气候条件, 再分别与关键年以及关键年前10年的值进行比较, 以此来分析历史记录中的农耕和游牧民族之间发生的战争与干旱气候条件之间的关系. 如果关键年的值小于平均值则气候偏干旱, 如果关键年的值大于平均值则气候偏湿润. 已有研究显示, 与温度影响相比, 降水在短期内对社会变迁的影响更为明显(Yin等, 2016b), 因此出于年际干旱变化与战争事件关系分析的考虑, 本研究重点关注战争发生当年以及之前4年内的干湿状况与游牧战争的对应关系.

战争作为中国古代政权冲突的一种表现形式和王朝更迭的一种驱动力, 其发生与民族、王朝要素密切相关. 因此, 我们根据数据的时间分布和中国古代王朝顺序, 将战争数据集分为五个部分; 加上总体战争数据, 我们共分析了六个不同的历史时段. 总体战争数据有68次, 其中两晋南北朝时期战争24次、唐朝18次、北宋9次、南宋4次、明朝13次. 通过这种划分, 可以分析不同朝代背景下农耕民族和游牧民族间的冲突与朝代之间的关系. 这五个时期的战争数据样本量充足, 分布均匀, 仅南宋时期数量略低. 但时序叠加分

析侧重于单个离散事件与这些事件前后的平均状态之间的关系, 可以确保分析结果的可信度和稳定性.

3 结果

本研究的重点是气候与农耕-游牧战争之间的潜在关系, 特别是研究了战争爆发当年和之前4年的气候状态. 时序叠加分析的结果见图3. 在考虑所有战争事件时, 游牧民族发动战争的年份和战争前四年, 研究地区的气候普遍干旱, 战争前第四年的干旱状况尤为明显(图3a); 从两晋到南北朝时期, 游牧战争与干旱之间的关系也遵循了这一普遍规律, 即气候干旱, 战争前第四年的干旱程度最为严重(图3b); 北宋时期, 该地区在战争前的第二年和第四年出现了严重干旱(图3c); 相比之下, 唐朝(图3d)、南宋(图3e)和明朝(图3f)期间游牧民族发动的战争之前都是偏湿润的气候, 分别在战争爆发前第一年、战争当年和战争前第二年出现了明显的偏湿年. 值得注意的是, 南宋时期战争爆发前的第四年也非常干旱.

4 讨论

4.1 树木年轮重建和历史文献记载的可用性

本研究所使用的干旱重建序列, 虽然受采样地祁连圆柏生长以及重建模型可靠性等原因的限制, 重建

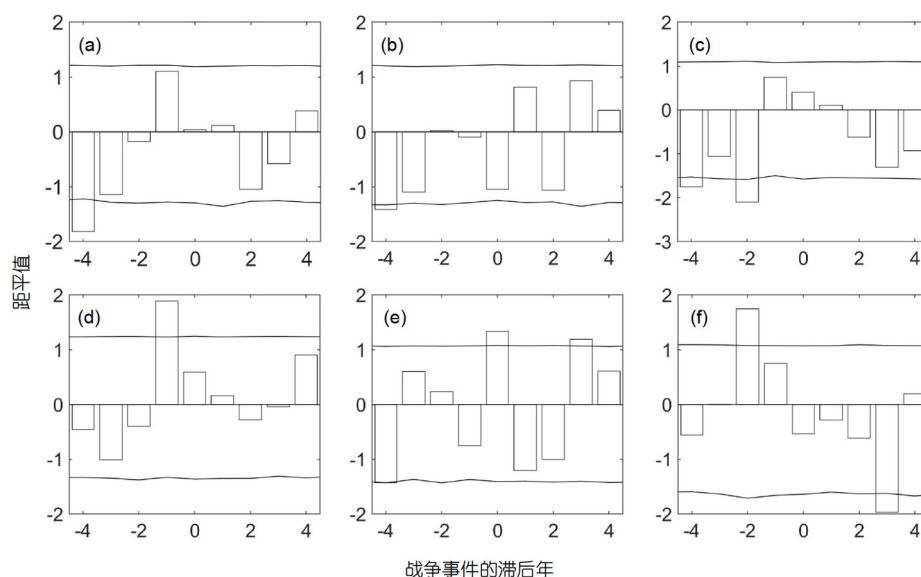


图3 不同战争序列的叠代分析结果

(a) 总战争序列; (b) 两晋至南北朝战争序列; (c) 北宋战争序列; (d) 唐朝战争序列; (e) 南宋战争序列; (f) 明朝战争序列

的季节仅限于5~6月,但需要注意的是祁连圆柏的生长受到上一年和当年整个生长季气候的影响,研究区及相邻地区已有众多研究利用祁连圆柏重建了年降水变化(Shao等, 2005; Liang等, 2009; Zhang等, 2009; Yang等, 2011; Sun和Liu, 2012). 因此, 本研究用干湿序列, 不仅反映了5~6月的干湿变化, 也可代表年际干湿变化的信号。

为了进一步验证本研究使用的干湿序列年际信号的可用性, 我们将YQ序列与柴达木盆地东部1~6月水分平衡指数重建(Yin Z Y等, 2016)和青藏高原东北部的年降水量(前年7月至当年6月)重建(Yang等, 2014)进行了比较. YQ序列与这两个重建的相关系数分别为0.39和0.40. 进一步基于统计分析, 检验YQ序列与这两个重建序列在所记录的68个战争年及其前4年(共310年)内干湿变化的一致性. 在对三个序列进行归一化处理后, 我们发现YQ序列与这两个序列的符号一致率(即一致正值(湿)和一致负值(干)的百分比)分别为68.5%(Yang等, 2014)和63.9%(Yin Z Y等, 2016). 这种一致性表明本研究使用的干湿序列可以很好地反映河西走廊年际干湿变化。

此外, 将YQ序列与附近4个网格点的5~8月的各月sc-PDSI数据(Zhang等, 2021)进行比较, 我们观察到序列之间的变化高度一致(图4), 表明YQ序列可以很好地

反映生长季后期的干湿变化, 同时也显示出该地区干湿变化具有季节延续性, 尤其是在干旱条件下, 这与Li等(2018)的研究结果一致, 即研究区近50年更易出现季节性连旱, 严重的干旱易于从春季持续到秋季. 总之, 本研究使用的YQ序列适合于反映研究区域的年际干湿变化, 也适合于研究区域年际干湿变化与游牧战争之间的关系调查。

研究中的68次游牧战争的数据选自公开出版且被广泛使用的书籍以及其他真实可靠的正史和出土文献资料, 这些都是具有高度可靠性的官方记录. 尽管战争、水灾、火灾和其他因素可能会限制历史文献的完整性和连续性, 尤其是早期的历史文献, 但战争等重大社会历史事件在官方史料中因占有重要地位, 历来被官方修史所重视, 保存相对全面。

在这68次游牧战争中, 一半以上是由研究区南北两侧的游牧民族政权发动的, 如唐朝时期吐蕃和突厥对河西走廊地区的入侵. 其余战争主要涉及东晋和南北朝时期河西走廊游牧民族政权之间的进攻和入侵. 这其中没有与贵族或商人有关的战争记录, 主要因为历史文献主要关注朝代和政权的信息, 另外发动战争需要大量的人力、物力和财力, 这是普通商人和贵族无力承担的. 历史文献记录表明, 战争主要是由地方政权和王朝发起的, 其驱动力往往是领土扩张、资源

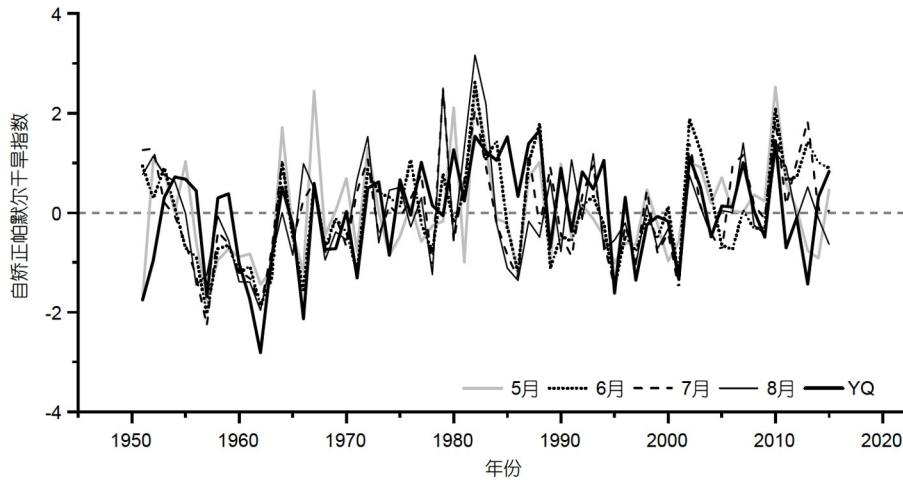


图 4 YQ序列和1951~2015年5~8月各月sc-PDSI数据比较

竞争以及潜在的气候变化。

4.2 干湿变化和游牧战争之间可能的联系

根据上述研究结果, 我们可以得出结论, 在整个研究时段, 研究地区在游牧战争前几年和战争期间整体偏干旱。这说明年际干旱与战争的发生之间存在值得注意的对应关系。然而, 如果将时间序列划分开来, 对每个时期分别进行分析, 气候条件与战争之间的关系就会发生变化。

两晋南北朝和北宋两个时段在战争发生之前气候条件是偏干旱。相反, 唐朝、南宋和明朝三个时段游牧民族发起的战争在战争发生之前气候条件则是偏湿润。显著的干旱或湿润的年份在不同朝代也存在不同, 但多为战争之前的几年。年际的干湿状况与战争事件发生之间存在着一定的滞后性, 干湿变化对社会的影响往往是持续的且累积效应更加显著, 这种现象在其他研究中也有显示, 例如Huang等(2019)的研究发现干旱是中国1855~1859年的蝗灾主要原因之一, 而蝗灾1~2年后战争频率明显增加, 表明干旱与战争之间可能存在更为复杂的间接影响关系。Yang等(2020)研究发现河西走廊的气候异常并没有直接导致人类的迁移, 但在大的空间和时间范围内, 气候引起的粮食短缺是中国历史上游牧民族南迁和游牧文明与农耕文明之间产生冲突的直接诱因。从我们的结果来看, 年际干湿变化与游牧战争发生的关系指示, 在历史时期中气候变化对战争爆发的作用效应也是比较快速的。

结合时序叠加结果以及不同时期的地区政权情

况, 本研究显示: 当河西走廊地区同时存在有多个地方政权时, 异常干旱可能加剧各个政权之间的资源和土地争夺。对于游牧民族而言, 战争掠夺是一种低成本、高收益的获取资源方式。长期干旱对草原农业和畜牧业的不利影响增加了对资源和空间的需求, 从而导致冲突。正如Webster对历史社会的研究指出, 战争是处于人口增长和资源限制条件下的一种生态适应性选择(Webster, 1975)。Tongwane等(2022)调查了19世纪和20世纪初欧洲早期定居者入侵南部非洲期间的气候条件, 发现干旱导致的食物和水资源匮乏引发了人口迁移, 这反过来又导致了定居者和非洲人之间为争夺土地而发生部落冲突和战争。另外, 其他研究也表明, 在大尺度区域气候恶化的情况下, 游牧社会和农耕社会的承载能力都会下降。游牧民族经常南迁, 并与农耕社会发生冲突, 以应对气候恶化引起的生存压力(Pei和Zhang, 2014; Pei等, 2016, 2019)。Li等(2019)发现在公元200~600年期间, 长期的干旱和低温导致了一定程度的环境退化。游牧民族因其较高的流动性而更有可能迁徙到土地肥沃的地区, 从而导致冲突的发生, 农耕民族应对游牧民族入侵的军事压力增加(Xiao等, 2015)。这一观点与本研究的发现, 特别与两晋南北朝时期的结果是高度一致的。

而当河西走廊隶属于某一王朝时, 游牧民族发起战争前河西走廊地区气候条件是偏湿润的, 同时战争多是由北方游牧民族南下攻打河西走廊地区。对游牧民族来说, 受战争影响地区及其周边适宜的气候条件更容易获取当地资源。van Geel等(2004)研究发现, 当

气候变得更湿润时, 图瓦地区由干旱地区向草原转变, 新出现的草原对游牧民族具有吸引力, 从而刺激斯基泰游牧民族的扩张。Che和Lan(2021)的研究也发现中亚湿润的草原有利于斯基泰游牧民族的南移扩张, 使斯基泰文化跨越了欧亚的干旱和半干旱地带。与之相似的, Putnam等(2016)研究发现在蒙古帝国的扩张时期正好是小冰期早期, 此时干旱的中亚地区处于相对湿润期, 小冰期的气候机制对亚洲内陆水量平衡的影响刺激了牧场向南扩展, 从而促进了蒙古对欧亚大陆的征服。这些发现均与本文研究结果相吻合。

当涉及到大国之间的战争, 影响因素会更加复杂多样。不过从气候变化的角度讲, 适宜的气候条件, 更利于游牧民族的对外扩张。我们进一步研究了游牧战争时期游牧政权主控地区的干湿状况。蒙古国的干湿记录表明在唐朝、南宋和明朝时期, 河西走廊北方现今蒙古地区气候条件同样是偏湿润的, 这表明蒙古人在统一后的快速扩张与有利的气候条件有关。湿润的气候有利于农耕丰收、畜牧业快速繁荣发展以及政治的集中和稳定。丰富的资源储备和统一的社会使得军事动员以及随后的对外征服和土地扩张成为可能(Pederson等, 2014)。Li等(2021)在河西走廊南部的研究表明, 吐蕃从部落或游牧社会过渡到初步统一繁荣的政权, 发生在大约公元600~640年, 这一时期与当地潮湿气候阶段相吻合, 而湿润的气候阶段可能有助于提高同期的牧业生产力, 由此带来的粮食盈余促进了社会发展和对外扩张。Hou等(2023)等的研究同样发现公元600~800年整体气候条件是湿润的, 农业和畜牧业的发展加上剩余资源累积使得吐蕃政权向青藏高原和周边地区扩张。这一时期吐蕃曾多次进攻河西走廊。

综上所述, 我们的研究结果显示河西走廊地区年际的干湿状况与游牧战争的发生之间存在着显著的对应关系, 这种关系通过影响生产、人口迁徙或者自然灾害等形式间接发挥作用, 最终影响社会稳定。除此之外, 必须认识到历史时期战争类型和诱因的多样性, 包括因果性和偶发性, 气候变化并不一定直接导致人类冲突。本研究通过时序叠加的方法研究了不同政治背景和时期的年际干湿变化与游牧战争发生之间的潜在对应关系, 为气候变化对人类活动的影响提供了新的见解。

当然, 本研究也存在一定的局限性, 譬如南宋时期, 在战争发生年之前时期, 同时存在异常干旱和

异常偏湿的时期, 此种战争和气候变化关系的不确定性尚需要未来进一步探讨。此外, 我们使用的时序叠加分析方法侧重于战争事件与气候条件之间的关系, 未来可能需要开展定量化研究, 更全面地了解气候与游牧战争之间的关系, 还需要使用更多的历史战争数据以及更多地区的历史气温和降水数据来开展更深入的研究。这种更广泛的研究将有助于验证我们的结果, 并为气候与游牧战争之间的关系研究提供更深入的理解。

5 结论

本研究采用时序叠加分析法探讨了西晋以来河西走廊地区游牧民族发动战争与年际干湿变化之间的关系。主要发现包括:

(1) 两晋南北朝和北宋两个时段游牧民族发起的战争在战争发生之前气候条件偏干旱。

(2) 唐朝、南宋和明朝三个时段游牧民族发起的战争在战争发生之前气候条件偏湿润。

(3) 气候对于战争的影响是复杂且存在有一定持续性, 受到各种因素的影响, 包括发起战争国家的规模。

(4) 河西走廊地区存在多个地方小政权的时期, 干旱的气候条件可能加剧不同地方政权之间对资源和土地的竞争, 使战争更有可能发生。而当河西走廊被统一中原王朝管辖时, 偏湿润较适宜的气候有利于牧场的扩张和资源的积累, 有助于游牧民族向外征服, 进而导致战争爆发。

需要强调的是, 本研究侧重于从干湿变化的角度探讨气候与战争之间的潜在联系。战争的影响因素是多方面的, 包括人文、经济和政治因素。因此, 有必要开展进一步研究, 以充分了解战争的根本原因。

致谢 感谢审稿人提出的建设性意见, 感谢甘肃祁连山国家公园管理局工作人员的协助。

参考文献

- 陈友平, 陈峰, 张合理, 胡茂, 王世杰, Ariel H M, Alejandro R J F. 2021. 树轮记录的自公元1200年以来强火山喷发事件与高亚洲南部河流源区气候水文变化的关联. 第四纪研究, 41: 323-333
- 董广辉, 刘峰文, 陈发虎. 2017. 不同空间尺度影响古代社会演化的

- 环境和技术因素探讨. 中国科学: 地球科学, 47: 1383–1394
- 方修琦. 2021. 社会-生态弹性视角下的历史气候变化影响社会发展机制. 第四纪研究, 41: 577–588
- 高荣. 2011. 河西通史. 天津: 天津古籍出版社
- 葛全胜, 刘浩龙, 郑景云, 萧凌波. 2013. 中国过2000年气候变化与社会发展. 自然杂志, 35: 9–21
- 汪舟, 方欧娅. 2017. 山东蒙山森林冠层绿度与树干径向生长的关系. 生态学报, 37: 7514–7527
- 王团战. 2004. 大周沙州刺史李无亏墓及征集到的三方唐代墓志. 考古与文物, (1): 20–26
- 王晓晴, 章典, 裴卿, 张盛达, 李腾. 2020. 唐代治乱分期与气候变化的关系. 古地理学报, 22: 385–396
- 尹君, 罗玉洪, 方修琦, 苏筠. 2014. 西汉至五代中国盛世及朝代更替的气候变化和农业丰歉背景. 地球环境学报, 37: 7514–7527
- 张琨佳, 陈思颖, 苏筠. 2020. 公元1500–2000年印度尼西亚-菲律宾强火山喷发对中国中东部旱涝格局的影响. 古地理学报, 22: 193–206
- 张盛达, 裴卿, 章典. 2022. 小冰期丝绸之路地区气候变化与战争关系的定量分析. 第四纪研究, 42: 250–260
- 中国军事史编写组. 2003. 中国历代战争年表(上卷、下卷). 北京: 解放军出版社
- 朱良军, 金光泽, 王晓春. 2015. 典型阔叶红松林干扰历史重建及干扰形成机制. 植物生态学报, 39: 125–139
- Berland A J, Endfield G. 2018. Drought and disaster in a revolutionary age: Colonial Antigua during the American Independence War. *Environ History*, 24: 209–235
- Blarquez O, Carcaillet C. 2010. Fire, fuel composition and resilience threshold in subalpine ecosystem. *PLoS ONE*, 5: e12480
- Büntgen U, Tegel W, Nicolussi K, McCormick M, Frank D, Trouet V, Kaplan J O, Herzig F, Heussner K U, Wanner H, Luterbacher J, Esper J. 2011. 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science*, 331: 578–582
- Che P, Lan J. 2021. Climate change along the Silk Road and its influence on scythian cultural expansion and rise of the Mongol empire. *Sustainability*, 13: 2530
- Degroot D, Anchukaitis K J, Tierney J E, Riede F, Manica A, Moesswilde E, Gauthier N. 2022. The history of climate and society: A review of the influence of climate change on the human past. *Environ Res Lett*, 17: 103001
- Gou X, Gao L, Deng Y, Chen F, Yang M, Still C. 2015. An 850-year tree-ring-based reconstruction of drought history in the western Qilian Mountains of northwestern China. *Intl J Climatol*, 35: 3308–3319
- He H, Delang C O, Zhou J, Li Y, He W M. 2021. Simulation of social resilience affected by extreme events in ancient China. *Clim Change*, 166: 42
- Held I M, Delworth T L, Lu J, Findell K L, Knutson T R. 2005. Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st centuries. *Proc Natl Acad Sci USA*, 102: 17891–17896
- Hendrix C S, Glaser S M. 2007. Trends and triggers: Climate, climate change and civil conflict in Sub-Saharan Africa. *Political Geography*, 26: 695–715
- Hou J, Ji K, Zhu E, Dong G, Tong T, Chu G, Liu W, Wu W, Zhang S, Guedes J D A, Chen F. 2023. Climate change fostered rise and fall of the Tibetan Empire during 600–800 AD. *Sci Bull*, 68: 1187–1194
- Hsiang S M, Burke M, Miguel E. 2013. Quantifying the influence of climate on human conflict. *Science*, 341: 1235367
- Huang B B, Li G, Li F Q, Kong D Y, Wang Y X. 2019. The 1855 to 1859 locust plague in China. *Nat Hazards*, 95: 529–545
- Jia D, Fang X Q, Zhang C P. 2017. Coincidence of abandoned settlements and climate change in the Xinjiang oases zone during the last 2000 years. *J Geogr Sci*, 27: 1100–1110
- Jun T, Sethi R. 2021. Extreme weather events and military conflict over seven centuries in ancient Korea. *Proc Natl Acad Sci USA*, 118: e2021976118
- Kennett D J, Breitenbach S F. M, Aquino V V, Asmerom Y, Awe J, Baldini J U L, Bartlein P, Culleton B J, Ebert C, Jazwa C, Macri M J, Marwan N, Polyak V, Prufer K M, Ridley H E, Sodemann H, Winterhalder B, Haug G H. 2012. Development and disintegration of Maya political systems in response to climate change. *Science*, 338: 788–791
- Li H, Xu D K, Shen C M, Cui A N, Zuo X X, Dong Y J, Wang C, Jin Y Y, Yu Y H, Wu N Q, Lu H Y. 2021. Multi-centennial climate cycles and their impact on the Tubo Dynasty in the southern Tibetan Plateau. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 578: 110584
- Li X, Li D L, Li X, Chen L. 2018. Prolonged seasonal drought events over northern China and their possible causes. *Intl J Climatol*, 38: 4802–4817
- Li Y P, Ge Q S, Wang H J, Liu H L, Tao Z X. 2019. Relationships between climate change, agricultural development and social stability in the Hexi Corridor over the last 2000 years. *Sci China Earth Sci*, 62: 1453–1460
- Liang E, Shao X, Liu X. 2009. Annual precipitation variation inferred from tree rings since A.D. 1770 for the western Qilian Mts., Northern Tibetan Plateau. *Tree-Ring Res*, 65: 95–103
- Medina-Elizalde M, Rohling E J. 2012. Collapse of classic Maya civilization related to modest reduction in precipitation. *Science*, 335: 956–959
- Pederson N, Hessel A E, Baatarbileg N, Anchukaitis K J, Di Cosmo N. 2014. Pluvials, droughts, the Mongol Empire, and modern Mongolia. *Proc Natl Acad Sci USA*, 111: 4375–4379

- Pei Q, Zhang D D. 2014. Long-term relationship between climate change and nomadic migration in historical China. *Ecol Soc*, 19: 68
- Pei Q, Zhang D D, Lee H F. 2016. Contextualizing human migration in different agro-ecological zones in ancient China. *Quat Int*, 426: 65–74
- Pei Q, Lee H F, Zhang D D, Fei J. 2019. Climate change, state capacity and nomad–agriculturalist conflicts in Chinese history. *Quat Int*, 508: 36–42
- Putnam A E, Putnam D E, Andreu-Hayles L, Cook E R, Palmer J G, Clark E H, Wang C, Chen F, Denton G H, Boyle D P, Bassett S D, Birkel S D, Martin-Fernandez J, Hajdas I, Southon J, Garner C B, Cheng H, Broecker W S. 2016. Little Ice Age wetting of interior Asian deserts and the rise of the Mongol Empire. *Quat Sci Rev*, 131: 33–50
- Shao X M, Huang L, Liu H B, Liang E Y, Fang X Q. 2005. Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 48: 939–949
- Shao X, Xu Y, Yin Z Y, Liang E Y, Zhu H, Wang S. 2010. Climatic implications of a 3585-year tree-ring width chronology from the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Quat Sci Rev*, 29: 2111–2122
- Sheppard P R, Tarasov P E, Graumlich L J, Heussner K U, Wagner M, Österle H, Thompson L G. 2004. Annual precipitation since 515 BC reconstructed from living and fossil juniper growth of northeastern Qinghai Province, China. *Clim Dyn*, 23: 869–881
- Su Y, Liu L, Fang X Q, Ma Y N. 2016. The relationship between climate change and wars waged between nomadic and farming groups from the Western Han Dynasty to the Tang Dynasty period. *Clim Past*, 12: 137–150
- Sun J, Liu Y. 2012. Tree ring based precipitation reconstruction in the south slope of the middle Qilian Mountains, northeastern Tibetan Plateau, over the last millennium. *J Geophys Res*, 117: D08108
- Tol R S J, Wagner S. 2010. Climate change and violent conflict in Europe over the last millennium. *Clim Change*, 99: 65–79
- Tongwane M I, Ramotubei T S, Moeletsi M E. 2022. Influence of climate on conflicts and migrations in Southern Africa in the 19th and early 20th centuries. *Climate*, 10: 119
- van Geel B, Bokovenko N A, Burova N D, Chugunov K V, Dergachev V A, Dirksen V G, Kulkova M, Nagler A, Parzinger H, van der Plicht J, Vasiliev S S, Zaitseva G I. 2004. Climate change and the expansion of the Scythian culture after 850 BC: A hypothesis. *J Archaeol Sci*, 31: 1735–1742
- Wang Q, Hao M M, Helman D, Ding F Y, Jiang D, Xie X L, Chen S, Ma T. 2023. Quantifying the influence of climate variability on armed conflict in Africa, 2000–2015. *Environ Dev Sustain*, 25: 9289–9306
- Webster D. 1975. Warfare and the evolution of the state: A reconsideration. *Am Antiq*, 40: 464–470
- Xiang L X, Huang X Z, Sun M J, Panizzo V N, Huang C, Zheng M, Chen X M, Chen F H. 2023. Prehistoric population expansion in Central Asia promoted by the Altai Holocene climatic optimum. *Nat Commun*, 14: 3102
- Xiao L B, Fang X Q, Zheng J Y, Zhao W Y. 2015. Famine, migration and war: Comparison of climate change impacts and social responses in north China between the late Ming and late Qing dynasties. *Holocene*, 25: 900–910
- Yang B, Qin C, Bräuning A, Burchardt I, Liu J J. 2011. Rainfall history for the Hexi Corridor in the arid northwest China during the past 620 years derived from tree rings. *Intl J Climatol*, 31: 1166–1176
- Yang B, Qin C, Wang J, He M, Melvin T M, Osborn T J, Briffa K R. 2014. A 3,500-year tree-ring record of annual precipitation on the northeastern Tibetan Plateau. *Proc Natl Acad Sci USA*, 111: 2903–2908
- Yang B, Wang J, Liu J. 2019. A 1556 year-long early summer moisture reconstruction for the Hexi Corridor, Northwestern China. *Sci China Earth Sci*, 62: 953–963
- Yang B, Qin C, Bräuning A, Osborn T J, Trouet V, Ljungqvist F C, Esper J, Schneider L, Griesinger J, Buntgen U, Rossi S, Dong G, Yan M, Ning L, Wang J, Wang X, Wang S, Luterbacher J, Cook E R, Stenseth N C. 2021. Long-term decrease in Asian monsoon rainfall and abrupt climate change events over the past 6,700 years. *Proc Natl Acad Sci USA*, 118: e2102007118
- Yang L S, Feng Q, Adamowski J F, Deo R C, Yin Z L, Wen X H, Tang X, Wu M. 2020. Causality of climate, food production and conflict over the last two millennia in the Hexi Corridor, China. *Sci Total Environ*, 713: 136587
- Yin J, Fang X, Su Y. 2016a. Correlation between climate and grain harvest fluctuations and the dynastic transitions and prosperity in China over the past two millennia. *Holocene*, 26: 1914–1923
- Yin J, Su Y, Fang X. 2016b. Climate change and social vicissitudes in China over the past two millennia. *Quat Res*, 86: 133–143
- Yin Z Y, Zhu H F, Huang L, Shao X M. 2016. Reconstruction of biological drought conditions during the past 2847 years in an alpine environment of the northeastern Tibetan Plateau, China, and possible linkages to solar forcing. *Glob Planet Change*, 143: 214–227
- Zhang C, Zhang Q B. 2016. Is there a link between the rise and fall of the Tuyuhun tribe (northwestern China) and climatic variations in the 4th–7th centuries AD? *J Arid Environ*, 125: 145–150
- Zhang J, Huang X Z, Wang Z L, Yan T L, Zhang E. 2018. A late-Holocene pollen record from the western Qilian Mountains and its implications for climate change and human activity along the Silk

- Road, Northwestern China. *Holocene*, 28: 1141–1150
- Zhang P Z, Cheng H, Edwards R L, Chen F H, Wang Y J, Yang X L, Liu J, Tan M, Wang X F, Liu J H, An C I, Dai Z B, Zhou J, Zhang D Z, Jia J H, Jin L Y, Johnson K R. 2008. A test of climate, sun, and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record. *Science*, 322: 940–942
- Zhang Q B, Cheng G, Yao T, Kang X, Huang J. 2003. A 2,326-year tree-ring record of climate variability on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Geophys Res Lett*, 30: 2003GL017425
- Zhang S, Zhang D D, Li J. 2020. Climate change and the pattern of the hot spots of war in ancient China. *Atmosphere*, 11: 378
- Zhang Y, Gou X H, Chen F H, Tian Q H, Yang M L, Peng J F, Fang K Y. 2009. A 1232-year tree-ring record of climate variability in the Qilian Mountains, Northwestern China. *IAWA J*, 30: 407–420
- Zhang Y, Tian Q H, Gou X H, Chen F H, Leavitt S W, Wang Y S. 2011. Annual precipitation reconstruction since AD 775 based on tree rings from the Qilian Mountains, northwestern China. *Intl J Climatol*, 31: 371–381
- Zhang Y, Han L B, Shao X M, Yang Q, Yin Z Y. 2021. Moisture variations during the first millennium CE and their linkage with social developments along the Silk Road in northwestern China. *Clim Change*, 168: 13
- Zhang Z, Tian H, Cazelles B, Kausrud K L, Bräuning A, Guo F, Stenseth N C. 2010. Periodic climate cooling enhanced natural disasters and wars in China during AD 10–1900. *Proc R Soc B*, 277: 3745–3753

(责任编辑: 许晨曦)