中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 12 期: 1395 ~ 1405
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文 气候环境变化与文明演化专题

中国近五百年旱涝灾害与内乱关系的定量分析

李峯[1*], 章典[1,2], 裴卿[3], 贾鑫[4], 余柏康[1]

1. 香港大学地理系, 香港大学中国发展国际研究中心, 香港;
2. 广州大学地理科学学院, 广州 510006;
3. 香港教育大学社会科学系, 香港;
4. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023

* E-mail: harrylee@hku.hk

收稿日期: 2017-03-16; 接受日期: 2017-07-04; 网络版发表日期: 2017-08-22
许爱周信托基金项目(编号: 201502172003、201602172006)、中国香港特别行政区政府研究资助局项目(编号: HKU745113H、17610715)和CAS-SAFEA国际合作创新研究团队项目资助

摘要 众多的大数据定量研究证明了在历史时期, 极端气候变化能造成中国社会不稳定. 但是, 已有的研究将温度和降水量作为主要解析变量, 欠缺了旱涝灾害对社会动荡影响的大数据定量分析. 同时, 相关研究也没有分不同地理区域和不同时间尺度进行对比和深入探讨. 为解决该问题, 本研究对中国三个农业生态区(水稻种植区、小麦种植区和牧业区)开展定量分析, 探究公元1470~1911年间中国旱涝灾害与内乱的对应关系. 鉴于旱涝与内乱的对应可能是"非线性"和"非固定性"的, 我们采用Poisson回归分析和小波一致性分析检测两者关系. 结果表明, 旱涝灾害诱发了中国历史时期的内乱, 但区域差异显著. 在水稻种植区, 洪涝在年际和数十年际的时间尺度引发内乱; 在小麦种植区, 洪涝和干旱均在年际和数十年际的时间尺度引发内乱; 牧业区的内乱只在数十年际尺度与洪涝相关. 此外, 在数十年际时间尺度, 三个农业生态区的旱涝事件只在人口密度不断增加或处于相对区域承载力较高的水平时段内和内乱显著相关. 本研究指出气候-战争的对应关系明显受地区因素如自然环境及人口压力影响, 有鉴于此, 在研究历史时期的人地关系时, 应先把不同地区的数据分割, 再以每个地区为单位进行独立分析, 这要点有望被广泛应用于后续研究.

关键词 旱涝灾害, 极端气候变化, 内乱, 战争, 社会稳定, 明清时期

1 引言

近年来, 中国历史时期气候变化对人类社会影响的定量分析持续受到关注, 相关研究包括农业生产(Yin等, 2015)、经济波动(Wei等, 2014, 2015a, 2015b; Yin等, 2015; Pei等, 2016b)、武装冲突(Zhang等, 2007; Zhang和Lee, 2010; Zhang等, 2010; Jia, 2014)、流行病(Pei等, 2015b; Lee等, 2017)、人口迁徙(Pei和Zhang, 2014; Pei等, 2016a)、地缘政治(Bai和Kung, 2011; Zhang等, 2015)、人口增长动态(Lee等, 2008, 2009; Lee和Zhang, 2010a, 2013; Lee, 2014; Lee等, 2016b)和朝代更迭(Zhang等, 2005, 2006; Yin等, 2016a, 2016b; Li J等,

中文引用格式: 李峯, 章典, 裴卿, 贾鑫, 余柏康. 2017. 中国近五百年旱涝灾害与内乱关系的定量分析. 中国科学: 地球科学, 47: 1395–1405, doi: 10.1360/N072017-00084
英文引用格式: Lee H F, Zhang D D, Pei Q, Jia X, Yue R P H. 2017. Quantitative analysis of the impact of droughts and floods on internal wars in China over the last 500 years. Science China Earth Sciences, 60: 2078–2088, doi: 10.1007/s11430-017-9084-0

© 2017 《中国科学》杂志社

2017)等方面. 学者通过不同的统计方法和材料, 均认为中国历史时期的气候恶化(寒冷和干旱)诱发了严重的社会经济、政治和人口危机. 温度和降水量的减低与气象灾害的增加引发了粮食减产, 在农业减产和人口急速增长共同影响下, 粮食供应出现短缺, 引发了经济、政治及社会动荡, 并最终致使人口数量骤减(Lee和Zhang, 2010a, 2013; Lee, 2014).

以上研究从宏观视角揭示了气候变化对中国历史的影响, 为使用统计方法研究气候恶化带来的消极社会影响奠定了科学基础. 可是, 这些研究多以温度和降水量作为主控因素, 欠缺了旱涝灾害事件对社会动荡的大数据定量分析(Zhang等, 2010; Jia, 2014). 同时, 相关研究也没有分不同地理区域和不同时间尺度进行对比及深入探讨. 洪涝和干旱是中国两大主要的极端气候事件, 它们甚至比极端高温及极端低温更影响粮食产量的长期均衡(刘杰等, 2012). 在古代中国, 旱涝对农业生产造成的冲击则可能诱发战争(Zhang等, 2009, 2010), 而内乱频次是古代中国社会稳定与否的重要指标(Jia, 2014). 为完善现有的中国历史气候变化对人类社会影响的定量研究, 我们对中国不同的农业生态区开展定量分析, 探究各区历史旱涝灾害与内乱在不同时间尺度上的对应. 如旱涝灾害与内乱显著相关, 我们将会进一步探究干旱或是洪涝才是诱发内乱的主要因素.

2 数据与方法

2.1 研究时段和研究地区

我们选择公元1470~1911年(帝国时代晚期, 横跨明朝(公元1368~1644年)和清朝(公元1644~1911年))作为研究时段, 该时段涵盖了现有的全部数据集(见2.2节). 尽管中国历史时期的疆域不断变化, 但历史时期人地关系的规律大致相同(Lee和Zhang, 2010a, 2013; Lee, 2014), 我们选择现在中国的疆域作为研究区域, 探究区域内历史时代晚期的人地关系. 由于历史时期的人地关系主要取决于农业生产的状况, 所以本研究依据中国传统农业的分布, 将中国进一步划分成三个农业生态区(Pei和Zhang, 2014; Pei等, 2016a), 即水稻种植区、小麦种植区和牧业区(Zhao, 1986)(图1). 这样的划分有助于研究旱涝灾害对战争影响的区域差异. 长江是中国主要的地理分界线: 以南主要为水稻种植区, 以北则主要为小麦种植区(Talhelm等, 2014). 新疆、内蒙古和西藏是中国的传统牧业区. 此外, 中

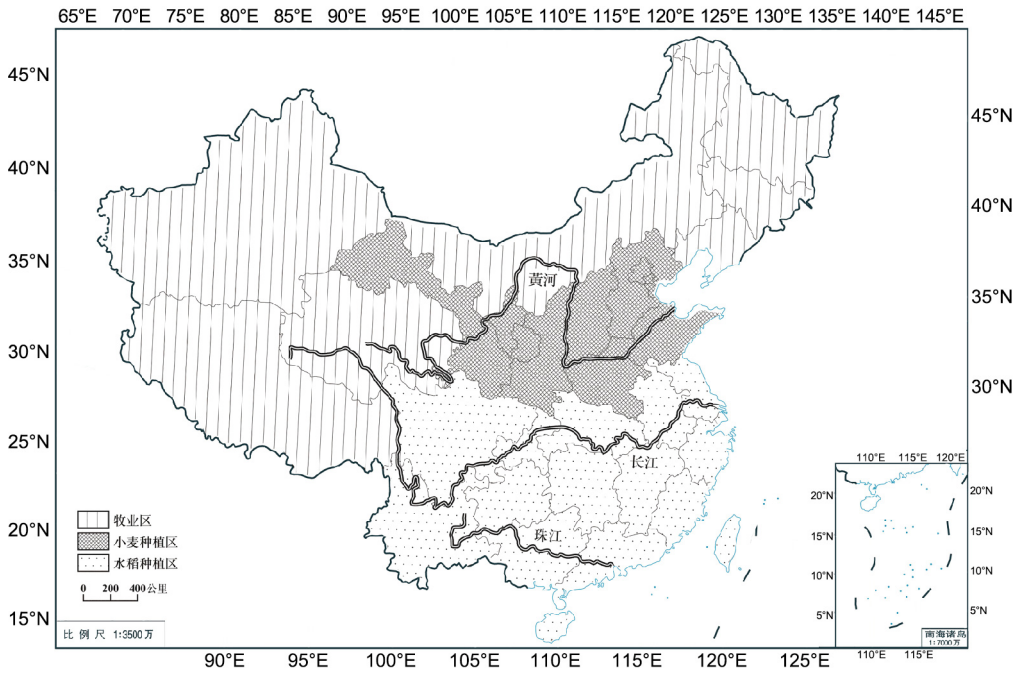

图 1　中国的水稻种植区、小麦种植区和牧业区

国东北的部分地区虽然适合农耕, 但在历史时期尚未成为主要的农业区(Cosmo, 1994), 该区域在历史时期被游牧民族占据. 因此, 我们一并把中国东北、新疆、内蒙古和西藏归纳为农业生态区中的牧业区(Zhao, 1986).

2.2　数据

为保证数据的可靠, 我们选取了部分在前期研究中已经证实的数据, 具体如下.

旱涝灾害数据主要来源于《中国近五百年旱涝分布图集》(中央气象局气象科学研究院, 1981), 包括了公元1470~1979年间中国120个站点的旱涝等级序列. 白虎志等(2010)更新了12个站点的旱涝等级序列, 并增加了中国西北部7个站点的数据, 相关数据已收录在《中国西北地区近五百年旱涝分布图集: 1470~2008》. 本研究将这两部年表合并, 用作洪涝和干旱的量化. 在上述的年表, 旱涝等级采用了5分制, 从极度湿润到极度干旱(1~5). 公元1470~1950年间, 由于没有有效的降水量观测记录, 各地旱涝等级根据地方志和其他历史文献中关于旱涝状况的历史描述进行评级; 公元1951~2008年间的等级则用气象站的夏季(5~9月)降雨量观测记录评级. 至于该研究的洪涝和干旱定量指标, 则通过计算给定年份水稻种植区(图2a和d)、小麦种植区(图2b和e)和牧业区(图2c和f)中各自旱涝等级为1(如, 极度湿润=洪涝)和5(极度干燥=干旱)的站点数量表示.

本研究的内乱数据来源于《中国军事史》(中国军事史编写组, 1985), 它详细收录了中国在公元前800~公元1911年间发生的所有战争事件. 基于交战双方的类型, 尤其是战争双方的领导者, 战争进一步划分为游牧民族入侵和内部战争. 本研究只考虑各区域的内部战争(见1节), 我们计算水稻种植区(图2g)、小麦种植区(图2h)和牧业区(图2i)中各自的内部战争频次, 作为内乱的定量指标.

历史人口规模数量界定于中国现代疆域内的人口. 《中国人口史》中的中国历代分省人口数据(赵

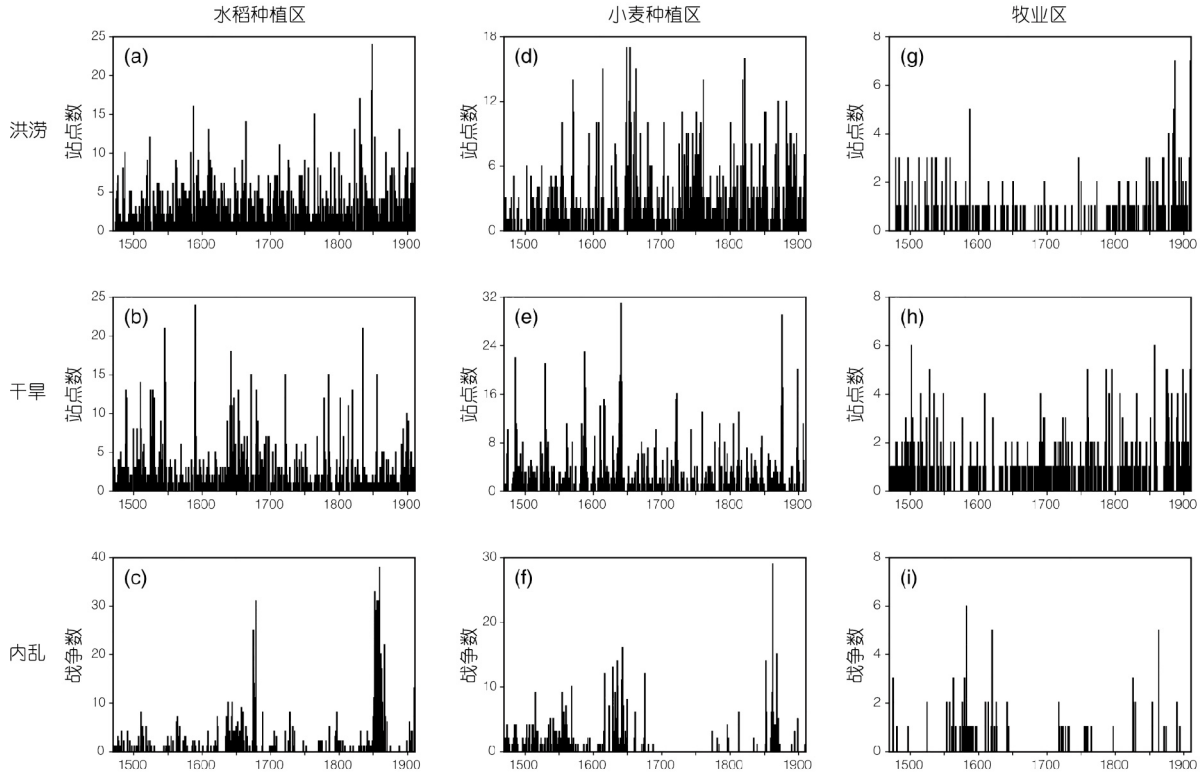

图 2　公元1470~1911年间中国三个农业生态区的旱涝灾害和内乱时间序列

洪涝时间序列: (a)水稻种植区、(b)小麦种植区和(c)牧业区; 干旱时间序列: (d)水稻种植区、(e)小麦种植区和(f)牧业区; 内乱时间序列: (g)水稻种植区、(h)小麦种植区和(i)牧业区

文林和谢淑君, 1988)包括了中国从公元2~1983年的各省人口规模. 由于数据集以不同时间间隔估算人口规模, 我们把中国各省的人口数据分值取对数、线性插值、再反对数以创建人口规模的年际时间序列. 该方法避免了人口增长率对数据插值的干扰, 也曾被应用于之前的研究中(Lee等, 2008, 2009). 我们根据人口数据和相关地理单元区的面积来计算水稻种植区、小麦种植区和牧业区各自的人口密度(Pei等, 2016a).

2.3 统计方法

气候与社会经济危机的关系可以概括为: 气候恶化造成粮食产量下降, 继而经济困难, 最终导致战争、贫穷和流行病(Zhang等, 2011). 然而, 农业生产和粮食价格同时受控于气候变化(Pei等, 2013, 2014, 2015a, 2016b), 战争是相关矛盾无法调和所出现的结果. 若在定量分析气候与战争的对应关系时, 同时把农业生产和粮食价格作为控制变量, 计算结果便有误差(Hsiang等, 2013). 因此, 本研究主要选取旱涝灾害和内乱两个变量作统计分析.

传统统计手段假设时间序列的统计特征是线性的, 且不随时间变化. 但人地关系高度复杂, 气候变化是通过一系列的连锁反应来影响人类社会, 先影响农业生态, 再影响经济及人类生态(Lee等, 2015b, 2016a, 2016b, 2017; Pei等, 2016a). 气候变化对人类社会的影响既存在短期波动影响, 也存在长期波动影响, 而且两者的机制并不完全一样(Zhang等, 2011). 一方面, 即使气候变化最终能造成生活资料短缺, 但生活资料压力要达到某个程度, 人类社会才会受到明显冲击, 其影响是强烈的、突发式的(Lee, 2014). 另一方面, 随着社会发展和转变, 我们也不能假定气候与社会变量两者间的关系恒常不变(Lee等, 2015b). 所以, 在时间维度上, 气候与社会变量的关系一般都是“非线性”和“非固定性”的, 以传统的统计方法(如: 线性回归)来检测两者关系存在缺陷. 因此, 本文拟运用Poisson回归分析和小波一致性分析来检测旱涝与内乱的对应.

Poisson回归分析一般使用对数模型运算(Brouhns等, 2002), 是处理计数数据最适合的方法之一(Cameron和Trivedi, 1998), 它已被应用于探究中国历史时期气候变化与流行病的对应(Pei等, 2015b). 我们采用该方法探究中国三个农业生态区旱涝灾害和内乱在年际时间尺度的关系. 在Poisson回归模型中, 内乱的频率作为因变量, 洪涝(洪涝和洪涝$_{t-1}$)和干旱(干旱和干旱$_{t-1}$)的年际变化作为解释变量(Lee等, 2013, 2016a). 同时, 过去两年的内乱频次(内乱$_{t-1}$和内乱$_{t-2}$)也作为解释变量来控制内乱时间序列的自相关误差(Lee等, 2013, 2016a). 鉴于同一时间序列在不同时段可能会有不同的增长规律特征, 我们以自然年与及它的平方和立方作为解释变量来控制内乱数据的时间趋势(Pei等, 2015b).

小波一致性分析的机理是以持续小波变换方式, 将时间序列分解为时间和频率的贡献, 再按序列的时域和频域进行联合局部分析, 以获取序列在不同时间尺度上的演变特征及调整规律(Grinsted等, 2004; Cazelles等, 2008), 最后找出序列之间在不同时段的对应频率(周期)(Torrence和Compo, 1998; Cazelles等, 2007, 2008), 该方法已被应用于探究帝国晚期中国西北地区气候变化和人口危机的关系(Lee等, 2016b). 本文采用小波一致性分析中的多元小波一致性(MWC)和局部小波一致性(PWC)分析(Ng和Chan, 2012), 对中国三个农业生态区洪涝和干旱对内乱的组合和独立影响进行多尺度细化分析. MWC用于获取两个独立体对依赖体的小波一致性, 而PWC则用于消除两个独立体的共同依赖后, 寻求其中一个独立体对依赖体的小波一致性(Ng和Chan, 2012). 由于Morlet小波具有良好的时域与频域局部化特性, 对分辨地球物理信号的周期性变化特别有效(Rigozo等, 2008), 我们以Morlet小波来分解时间序列的时域与频域.

3 结果

Poisson回归结果揭示了中国三个农业生态区的旱涝灾害和内乱的年际变化关系. 当战争时间序列中的自相关误差受到回归模型中的变量内乱$_{t-1}$和内乱$_{t-2}$控制(表1), 水稻种植区的洪涝与内乱呈正相关(p<0.01). 在小麦种植区, 内乱与干旱(p<0.1)和干旱$_{t-1}$(p<0.01)呈正相关. 在牧业区, 干旱和内乱呈弱相关(p<0.1), 但影响为负相关. 除了自相关误差的控制, 我们也在Poisson回归模型加入变量自然年、自然年的平方和自然年的立方来控制内乱数据的时间趋势(表2). 水稻种植区洪涝事件仍与内乱正相关(p<0.01). 但是在小麦种植区和牧业区, 结果则不同, 这两个区域内旱涝灾害和内乱

表 1 中国三个农业生态区旱涝灾害与内乱的Poisson回归分析(一)[a)]

	水稻种植区			小麦种植区			牧业区		
	系数 (标准误差)	z	置信度	系数 (标准误差)	z	置信度	系数 (标准误差)	z	置信度
常数	−0.091 (0.085)	−1.07	0.283	−0.548 (0.098)	−5.62	0.000	−1.453 (0.183)	−7.95	0.000
洪涝	0.040 (0.012)	3.39	0.001	0.021 (0.016)	1.35	0.176	0.079 (0.103)	0.76	0.445
洪涝$_{t-1}$	0.004 (0.012)	0.32	0.752	0.023 (0.016)	1.44	0.150	0.017 (0.112)	0.15	0.878
干旱	−0.001 (0.009)	–0.12	0.902	0.020 (0.011)	1.80	0.072	−0.192 (0.109)	−1.75	0.079
干旱$_{t-1}$	0.013 (0.009)	1.47	0.141	0.046 (0.010)	4.71	0.000	−0.168 (0.109)	−1.54	0.123
内乱$_{t-1}$	0.067 (0.004)	15.57	0.000	0.103 (0.007)	13.78	0.000	0.273 (0.096)	2.86	0.004
内乱$_{t-2}$	0.050 (0.004)	11.80	0.000	0.060 (0.010)	5.84	0.000	0.030 (0.142)	0.21	0.833
观察数	440			440			440		
对数似然值	−1083.124			−849.873			−257.463		
概率>卡方^2	0.000			0.000			0.017		
伪决定系数R^2	0.307			0.128			0.029		

a) 已控制内乱时间序列的自相关误差

的年际尺度关系可能受到内乱数据时间趋势的调谐. 在小麦种植区, 内乱和洪涝(p<0.1)、洪涝$_{t-1}$(p<0.05)、干旱$_{t-1}$(p<0.01)正相关. 而且, 干旱变量十分接近统计上的显著相关(p=0.103). 这表明小麦种植区中内乱的年际变化受到洪涝和干旱的综合影响. 在牧业区, 洪涝和干旱在年际时间尺度上都与内乱不相关(p>0.1).

我们使用小波一致性分析(MWC和PWC), 进一步探究中国三个农业生态区旱涝灾害和内乱的周期性对应. 我们使用MWC探究中国三个农业生态区中旱涝灾害对于内乱的综合作用(图3a~c). 结果表明, 水稻种植区(图3a)、小麦种植区(图3b)和牧业区(图3c)2~16年的旱涝-内乱周期并不连续一致, 但一些稍长的周期相对连续一致. 在水稻种植区, 公元1725~1911年间旱涝与内乱有64年一致性周期(图3a). 在小麦种植区, 公元1610~1720年和1810~1911年间(图3b)有32~64年一致性周期, 此外, 几乎在整个频谱中都有一个128年一致性周期(图3b). 在牧业区, 公元1510~1640和1710~1911年间旱涝与内乱的一致性主要反映在32~64年周期(图3c). 以上结果表明三个农业生态区中旱涝灾害事件和战争的周期性对应主要在数十年际的时间尺度上显著相关.

中国三个农业生态区中, 旱、涝事件各自对内乱的单一作用通过PWC检测研究. 在水稻种植区, 消除干旱影响后, 可以观察到在公元1725~1911年间, 洪涝和内乱在64年周期的一致性波段(图3d), 这和MWC的检测结果几乎一样(图3a). 当消除洪涝影响后, 干旱和内乱不存在连续一致性波段(图3g). 以上结果表明在公元1725~1911年间, 在数十年际时间尺度下, 水稻种植区的内乱主要是由洪涝诱发的. 在小麦种植区, PWC结果表明图3b所示的公元1610~1720和1810~1911年间的32~64年周期一致性波段并不单纯地源于洪涝(图3e)或者干旱(图3h), 可能受到洪涝和干旱的综合驱动. 在数十年际时间尺度下, 洪涝和干旱的共同作用诱发了小麦种植区的内乱. 另一方面, 图3b显示了小麦种植区128年的一致性波段主要是源于洪涝(图3e)而非干旱(图3h). 然而, 这个一致性波段颇受周期边缘效应

表 2　中国三个农业生态区旱涝灾害与内乱的Poisson回归分析(二)[a)]

	水稻种植区			小麦种植区			牧业区		
	系数 (标准误差)	z	置信度	系数 (标准误差)	z	置信度	系数 (标准误差)	z	置信度
常数	−479.947 (130.852)	−3.67	0.000	−785.983 (148.721)	−5.28	0.000	−858.908 (354.052)	−2.43	0.015
洪涝	0.033 (0.012)	2.76	0.006	0.027 (0.016)	1.74	0.082	0.054 (0.109)	0.49	0.621
洪涝$_{t-1}$	−0.001 (0.012)	−0.09	0.926	0.034 (0.016)	2.14	0.032	0.004 (0.118)	0.03	0.974
干旱	−0.002 (0.009)	−0.17	0.869	0.018 (0.011)	1.63	0.103	−0.160 (0.110)	−1.46	0.145
干旱$_{t-1}$	0.012 (0.009)	1.34	0.179	0.042 (0.010)	4.27	0.000	−0.134 (0.109)	−1.23	0.219
内乱$_{t-1}$	0.065 (0.004)	14.77	0.000	0.108 (0.008)	13.30	0.000	0.231 (0.098)	2.35	0.019
内乱$_{t-2}$	0.048 (0.004)	11.04	0.000	0.057 (0.011)	5.11	0.000	−0.032 (0.149)	−0.21	0.830
自然年	84.968 (23.254)	3.65	0.000	143.012 (26.652)	5.37	0.000	153.448 (63.273)	2.43	0.015
自然年^2	−5.003 (1.374)	−3.64	0.000	−8.634 (1.587)	−5.44	0.000	−9.114 (3.759)	−2.42	0.015
自然年^3	0.098 (0.027)	3.63	0.000	0.173 (0.031)	5.50	0.000	0.180 (0.074)	2.42	0.016
观察数	440			440			440		
对数似然值	−1072.794			−810.952			−252.605		
概率>卡方^2	0.000			0.000			0.003		
伪决定系数R^2	0.314			0.168			0.047		

a) 已控制内乱时间序列的自相关误差及时间趋势

影响, 由于它的不确定性, 本文不会对此波段作深入探讨. 在牧业区, PWC结果表明, 在公元1510~1640和1710~1911年间洪涝与内乱存在32~64年一致性周期(图3f), 但干旱与内乱只在公元1710~1911年间有类似的一致性周期(图3i), 说明了在数十年际时间尺度下, 牧业区的内乱主要是由洪涝诱发的.

4　讨论

不同战争牵涉不同背景和成因, 每场战争都有独特之处(Buhaug和Rød, 2006). 但从宏观历史角度来看, 我们需要将不同战争视为整体而非独立个体, 才能得到有意义的统计规律(Pei和Zhang, 2014). 本研究对中国公元1470~1911年间旱涝灾害事件与内乱之关系进行了长时间尺度和亚国家尺度的定量分析, 此外, 也探究了中国不同农业生态区中洪涝、干旱事件对内乱的影响, 当中有三个要点值得进一步探讨.

4.1　区域差异

在公元1470~1911年间, 中国的旱涝灾害是内乱的重要诱发因素. 然而, 诱发内乱因素的区域差异明显. 在水稻种植区, 洪涝在年际和数十年际时间尺度上引发内乱; 在小麦种植区, 洪涝和干旱均在年际和数十年际时间尺度上引发了内乱; 牧业区的内乱只在数十年际时间尺度上与洪涝相关. 中国三个农业生态区的自然环境和区域气候差异显著, 由此可能导致旱涝灾害和内乱关系呈现明显的区域差异. 水稻种植区地处

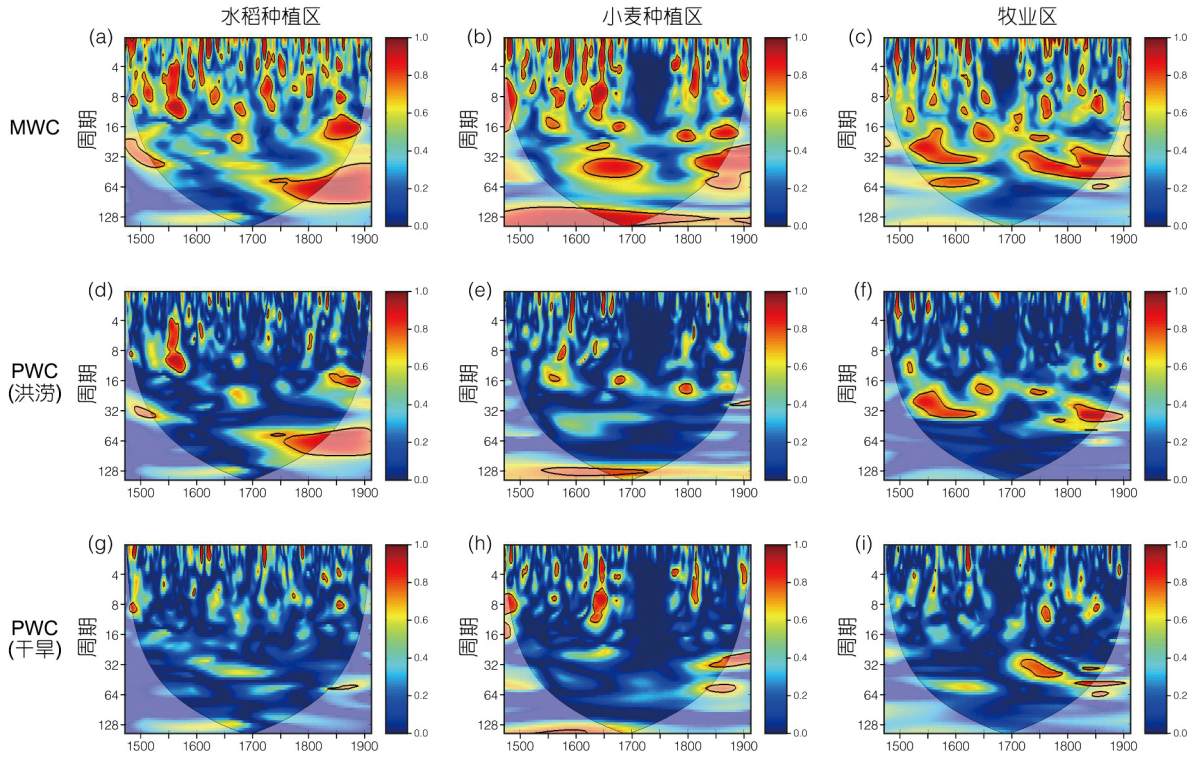

图 3　中国三个农业生态区旱涝灾害与内乱的小波一致性分析

旱涝灾害与内乱的多元小波一致性(MWC)分析: (a)水稻种植区、(b)小麦种植区和(c)牧业区. 在消除干旱影响下, 洪涝与内乱的局部小波一致性(PWC)分析: (d)水稻种植区、(e)小麦种植区和(f)牧业区. 在消除洪涝影响下, 干旱与内乱的局部小波一致性(PWC)分析: (g)水稻种植区、(h)小麦种植区和(i)牧业区. 黑线表示红噪音下的显着周期(p<0.05), 图例颜色代表小波一致性的数值, 深蓝色代表低数值, 深红色代表高数值, 受周期边缘效应影响区域以阴影表示

热带和亚热带气候带, 降水丰富, 在水资源比较充足的条件下, 该区域影响农业生产的主要灾害是洪涝而非干旱. 小麦种植区地处半干旱半湿润气候区(Zhao, 1986), 部分区域同时受到西风和东亚夏季风的影响(Lee等, 2015a, 2015c), 致使该区域同时容易受到洪涝和干旱的影响. 牧业区的农业生态系统直接与自然环境互相作用(Pratt等, 1997), 极易受到旱涝灾害事件的影响(Fang和Liu, 1992; Pei和Zhang, 2014). 与农业社会相比, 牧业区生态环境脆弱, 难以获得人类自身的技术改造, 游牧社会在过去更易受旱涝灾害事件的袭扰(Pei和Zhang, 2014; Pei等, 2016a). 但是, 牧业区洪涝和干旱在年际时间尺度上对内乱的影响均不显著, 这可能源于该地区游牧民族的统治以及他们的迁徙行为. 当发生了旱涝灾害, 游牧活动依存的脆弱的生态系统极易被摧毁, 牧民极易向南迁徙, 寻找有足够的草水栖息地生存, 这是历史时期游牧民族适应旱涝灾害的唯一方法(Pei和Zhang, 2014; Pei等, 2016a). 然而, 牧业民族的迁徙直接对农业区(小麦种植区和水稻种植区)造成入侵(Fang和Liu, 1992). 随着牧业区的大量人口转移到农业区, 短暂舒缓了牧业区区内由旱涝灾害所造成的生活资料压力.

在数十年际时间尺度上, 三个生态农业区结果一致, 内乱和洪涝事件显著相关, 这可能与洪涝灾害的突发性有关. 和干旱事件相比, 洪涝事件的突发性比较强, 令人类社会难以防范, 所引发的负面社会影响亦更为直接(Burton等, 1993). 一方面, 在较长的时间尺度, 人们普遍有更多应对旱灾的措施, 譬如在牧业区, 牧民可以迁移到适合的位置. 基于洪涝事件的突发性, 即使在较长的时间尺度, 可供人类社会应对的选项相对较少. 另一方面, 洪泛平原的土地比较肥沃, 这也是人们不愿迁离洪泛平原的诱因, 令他们长年置身于洪涝风险(Burton等, 1993). 即使通过环境改造, 长远来说只会造成恶性循环, 增加人类社会的洪涝风险, 黄河泛滥就是一个很典型的例子(Chen等, 2012). 纵使历

代皇朝耗费大量的人力物力治洪, 在整个中国历史上黄河泛滥一直困扰着华北平原的农业生产, 并影响当地的社会稳定. 综上所述, 在数十年际时间尺度, 洪涝比干旱更易于影响中国三个农业生态区的内乱频次.

有关旱涝与内乱数十年际(32~64年)的一致性周期, 它的出现可能是源于厄尔尼诺南方涛动(ENSO)的数十年际强弱变化. 一些古气候的实证研究证明, 中国各地(包括西北的农牧交错带)过去一千年的旱涝灾害显著地受着ENSO驱动(Chen等, 2015; Lee等, 2015a, 2015c). ENSO的周期一般为2~7年, 但在ENSO过去700年的重建序列中, 发现ENSO也同时具有数十年际的强弱交替特征(Li等, 2013). 当ENSO在数十年际的尺度下增强或减弱时, 中国各地旱涝灾害的频次及空间分布亦会出现明显变化, 这也影响内乱的时空分布, 使旱涝与内乱出现了数十年际(32~64年)的一致性周期.

4.2 时段差异

三个农业生态区中的旱涝灾害事件和内乱的数十年际一致性只在某时段较为显著, 意味着他们的关系是非线性和非固定的. 中国“极端降水事件→农业减产→人口压力→内乱”(Lee和Zhang, 2010a)的因果关系, 可被用于探讨中国三个农业生态区中旱涝灾害事件和内乱的数十年际一致性的断续. 人口压力是由农业产量和人口规模共同决定的(Lee和Zhang, 2013; Lee, 2014), 只有当人口达到一定规模后, 旱涝灾害事件对人类社会的影响才更加明显(Lee和Zhang, 2010b). 因此, 对比中国三个农业生态区由MWC确定的数十年际显著一致性阶段(图3a~c)和人口密度(图4a~c)发现, 在不同农业生态区中, 当人口密度不断增加或处于相对区域承载力较高的水平时, 旱涝灾害事件和内乱的相关性显著. 而18世纪后中国人口剧烈增加的相关影响更加明显. 在牧业区, 32~64年一致性的周期在公元1640~1710年间中断, 在时间上刚好与人口密度的低谷区一致(图4c). 这可能进一步证实, 地区人口压力的强弱能够影响旱涝灾害对战争在数十年际时间尺度的作用.

此外, 小麦种植区旱涝灾害事件和内乱的32~64年一致性周期在公元1720~1810年间中断(图4b). 该时期人口密度快速增加, 一致性周期不应在这时中断. 该周期中断可能源于18世纪中国西北部的土地开垦政策和外来食物品种的引进所带来的食物产量的剧烈增长, 暂时缓解了小麦种植区旱涝灾害事件带来的影响(Lee等, 2016b). 因此, 旱涝灾害事件和内乱的关系在该时段不明显. 但是, 当外来食物资源优势被人口增长和无法支撑的农业行为抵消, 一致性在19世纪早期再次恢复(Lee等, 2016b). 在公元1720~1810间, 小麦种植区的旱涝-内乱一致性周期中断现象可能是一个特例.

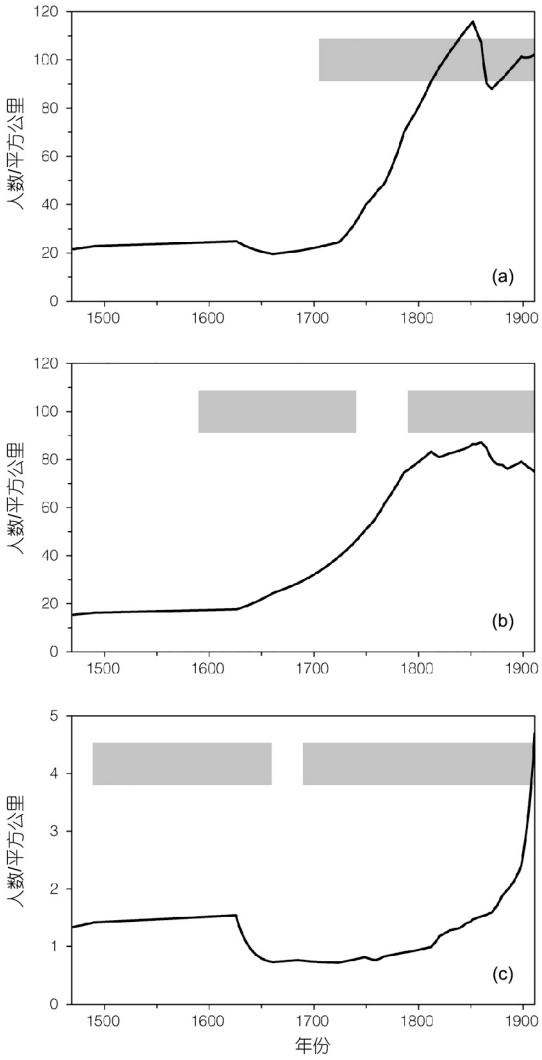

图 4　中国三个农业生态区旱涝灾害与内乱的多元小波一致性周期显著时段与人口密度对比

(a) 水稻种植区; (b) 小麦种植区; (c) 牧业区. 灰棒: 一致性周期(数十年际)显著时段; 黑线: 人口密度

4.3 理论贡献及区域细化研究的重要性

在以前的大数据定量研究中, 战争常与温度和降

水量相比较(见1节), 对旱涝灾害事件如何诱发战争和影响社会稳定的学术讨论一般都是以区域研究、断代史研究和案例研究为主(叶瑜等, 2004; 金勇强, 2012; 方修琦等, 2013; 程凯悦, 2015; Li Y P等, 2017), 所采用的论证方法比较偏向定性, 而大数据定量研究明显不足(Zhang等, 2010; Jia, 2014). 本研究通过大数据及定量方法进一步验证了旱涝灾害是中国内乱的重要驱动因素, 确定了旱涝灾害事件研究在中国历史人地关系研究中的重要性.

一些大数据定量研究表明, 在历史时期, 在农业区(包括水稻种植区和小麦种植区)(Jia, 2014)乃至整个中国区域范围(Zhang等, 2010), 干旱比洪涝更易于诱发内乱. 但是, 在本研究中, 当我们把中国分割为三个农业生态区并作独立分析时, 由于各区的自然环境和区域气候差异显著, 干旱只在小麦种植区的年际时间尺度诱发内乱. 在数十年际时间尺度, 洪涝比干旱更易于造成各个农业生态区的生活资料短缺, 诱发内乱. 本文修正了以往研究中发现的大地理区域的气候与内乱关系. 另外, 本研究中关于旱涝灾害对内乱影响的区域差异, 也体现了自然环境和人口压力等因素直接影响气候与战争的关联, 这些因素在检测气候与战争关系的时候也应一并考虑(见4.1和4.2节). 研究区的选择对于分析人地关系时的影响十分明显(Lee等, 2015b, 2016a, 2017), 由于区域选择的差异导致研究结果的不同可见于前期的研究成果(Zhang等, 2010; Jia, 2014). 然而, 大量的研究是在国家或者宏观区域尺度进行分析, 区域的差异往往被忽略. 本研究可为将来的区域细化研究提供更多的理论基础.

5 结论

我们采用Poisson回归分析和小波一致性分析, 证明了在公元1470~1911年间, 旱涝灾害是诱发中国内乱的重要因素, 然而区域差异明显. 在水稻种植区, 洪涝在年际和数十年际时间尺度上引发内乱; 在小麦种植区, 洪涝和干旱均在年际和数十年际时间尺度上引发了内乱; 牧业区的内乱只在数十年际时间尺度上与洪涝相关. 三个农业生态区中的旱涝灾害和内乱的数十年际一致性只在人口密度不断增加或处于相对区域承载力较高水平的时段较为显著. 本研究表明, 气候与战争关系明显受地区差异因素(如自然环境及人口压力)影响. 在时间维度上, 气候与战争的关系是非线性和非固定的. 针对人地关系的多元性和复杂性, 我们建议在研究历史时期的人地关系时, 应先把不同地区的数据分割, 再以每个地区为单位进行独立分析, 并对“地区差异”的考虑加强及深化.

参考文献

白虎志, 董安祥, 郑广芬. 2010. 中国西北地区近五百年旱涝分布图集: 1470~2008. 北京: 气象出版社. 223

程凯悦. 2015. 明代陕北干旱研究. 黑龙江史志, 342: 68–69

方修琦, 萧凌波, 魏柱灯. 2013. 18~19世纪之交华北平原气候转冷的社会影响及其发生机制. 中国科学: 地球科学, 43: 825–838

金勇强. 2012. 气候变化与青海历史时期的战争. 干旱区资源与环境, 26: 28–34

刘杰, 许小峰, 罗慧. 2012. 极端天气气候事件影响我国农业经济产出的实证研究. 中国科学: 地球科学, 42: 1076–1082

叶瑜, 方修琦, 葛全胜, 郑景云. 2004. 从动乱与水旱灾害的关系看清代山东气候变化的区域社会响应与适应. 地理科学, 24: 680–686

赵文林, 谢淑君. 1988. 中国人口史. 北京: 人民出版社. 645

《中国军事史》编写组. 1985. 中国军事史. 附卷, 历代战争年表. 北京: 解放军出版社. 1412

中央气象局气象科学研究院. 1981. 中国近五百年旱涝分布图集. 北京: 地图出版社. 332

Bai Y, Kung J K. 2011. Climate shocks and Sino-nomadic conflict. Rev Econ Stat, 93: 970–981

Brouhns N, Denuit M, Vermunt J K. 2002. A Poisson log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables. Insur Math Econ, 31: 373–393

Buhaug H, Rød J K. 2006. Local determinants of African civil wars, 1970–2001. Polit Geogr, 25: 315–335

Burton I, Kates R W, White G F. 1993. The Environment as Hazard. 2nd ed. New York: Guilford Press. 290

Cameron A C, Trivedi P K. 1998. Regression Analysis of Count Data. Cambridge: Cambridge University Press. 411

Cazelles B, Chavez M, Berteaux D, Ménard F, Vik J O, Jenouvrier S, Stenseth N C. 2008. Wavelet analysis of ecological time series. Oecologia, 156: 287–304

Cazelles B, Chavez M, Constantin de Magny G, Guégan J F, Hales S. 2007. Time-dependent spectral analysis of epidemiological time-series with wavelets. J R Soc Interface, 4: 625–636

Chen J, Chen F, Feng S, Huang W, Liu J, Zhou A. 2015. Hydroclimatic changes in China and surroundings during the Medieval Climate Anomaly and Little Ice Age: Spatial patterns and possible mechanisms. Quat Sci Rev, 107: 98–111

Chen Y, Syvitski J P M, Gao S, Overeem I, Kettner A J. 2012. Socio-economic impacts on flooding: A 4000-year history of the Yellow

River, China. Ambio, 41: 682–698

Cosmo N D. 1994. Ancient inner Asian nomads: Their economic basis and its significance in Chinese history. J Asian Stud, 53: 1092–1126

Fang J Q, Liu G. 1992. Relationship between climatic change and the nomadic southward migrations in eastern Asia during historical times. Clim Change, 22: 151–168

Grinsted A, Moore J C, Jevrejeva S. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. Nonlin Proc Geophys, 11: 561–566

Hsiang S M, Burke M, Miguel E. 2013. Quantifying the influence of climate on human conflict. Science, 341: 1235367–1235367

Jia R. 2014. Weather shocks, sweet potatoes and peasant revolts in historical China. Econ J, 124: 92–118

Lee H. 2014. Climate-induced agricultural shrinkage and overpopulation in late imperial China. Clim Res, 59: 229–242

Lee H F, Fei J, Chan C Y S, Pei Q, Jia X, Yue R P H. 2017. Climate change and epidemics in Chinese history: A multi-scalar analysis. Social Sci Med, 174: 53–63

Lee H F, Fok L, Zhang D D. 2008. Climatic change and Chinese population growth dynamics over the last millennium. Clim Change, 88: 131–156

Lee H F, Pei Q, Zhang D D, Choi K P K. 2015a. Quantifying the intra-regional precipitation variability in northwestern China over the past 1400 years. Plos One, 10: e0131693

Lee H, Zhang D. 2010a. Changes in climate and secular population cycles in China, 1000 CE to 1911. Clim Res, 42: 235–246

Lee H, Zhang D. 2010b. Natural disasters in northwestern China, AD 1270–1949. Clim Res, 41: 245–257

Lee H F, Zhang D D. 2013. A tale of two population crises in recent Chinese history. Clim Change, 116: 285–308

Lee H F, Zhang D D, Brecke P, Fei J. 2013. Positive correlation between the North Atlantic Oscillation and violent conflicts in Europe. Clim Res, 56: 1–10

Lee H F, Zhang D D, Brecke P, Pei Q. 2015b. Regional geographic factors mediate the climate-war relationship in Europe. British J Interdisciplinary Stud, 2: 1–28

Lee H F, Zhang D D, Fok L. 2009. Temperature, aridity thresholds, and population growth dynamics in China over the last millennium. Clim Res, 39: 131–147

Lee H F, Zhang D D, Pei Q. 2015c. Reconstruction of the geographic extent of drought anomalies in northwestern China over the last 539 years and its teleconnection with the Pacific Ocean. Holocene, 25: 1271–1284

Lee H F, Zhang D D, Pei Q, Fei J. 2016a. Downscaling and disaggregating NAO-conflict nexus in pre-industrial Europe. Chin Geogr Sci, 26: 609–622

Lee H F, Zhang D D, Pei Q, Jia X, Yue R P H. 2016b. Demographic impact of climate change on northwestern China in the late imperial era. Quat Int, 425: 237–247

Li J, Dodson J, Yan H, Zhang D D, Zhang X, Xu Q, Lee H F, Pei Q, Cheng B, Li C, Ni J, Sun A, Lu F, Zong Y. 2017. Quantifying climatic variability in monsoonal northern China over the last 2200 years and its role in driving Chinese dynastic changes. Quat Sci Rev, 159: 35–46

Li J, Xie S P, Cook E R, Morales M S, Christie D A, Johnson N C, Chen F, D'Arrigo R, Fowler A M, Gou X, Fang K. 2013. El Niño modulations over the past seven centuries. Nat Clim Change, 3: 822–826

Li Y P, Ge Q S, Wang H J, Tao Z X. 2017. Climate change, migration, and regional administrative reform: A case study of Xinjiang in the middle Qing Dynasty (1760–1884). Sci China Earth Sci, 60: 1328–1337

Ng E K W, Chan J C L. 2012. Geophysical applications of partial wavelet coherence and multiple wavelet coherence. J Atmos Ocean Tech, 29: 1845–1853

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. 2016a. Contextualizing human migration in different agro-ecological zones in ancient China. Quat Int, 426: 65–74

Pei Q, Zhang D D, Lee H F, Li G D. 2014. Climate change and macroeconomic cycles in pre-industrial Europe. Plos One, 9: e88155

Pei Q, Zhang D D, Li G, Forêt P, Lee H F. 2016b. Temperature and precipitation effects on agrarian economy in late imperial China. Environ Res Lett, 11: 064008

Pei Q, Zhang D D, Li G, Lee H F. 2015a. Climate change and the macroeconomic structure in pre-industrial Europe: New evidence from wavelet analysis. Plos One, 10: e0126480

Pei Q, Zhang D D, Li G, Winterhalder B, Lee H F. 2015b. Epidemics in Ming and Qing China: Impacts of changes of climate and economic well-being. Social Sci Med, 136-137: 73–80

Pei Q, Zhang D D, Li G, Lee H F. 2013. Short- and long-term impacts of climate variations on the agrarian economy in pre-industrial Europe. Clim Res, 56: 169–180

Pratt D J, Le Gall F, de Haan C. 1997. Investing in Pastoralism: Sustainable Natural Resource Use in Arid Africa and the Middle East. Washington D C: World Bank.159

Rigozo N R, da Silva H E, Nordemann D J R, Echer E, de Souza Echer M P, Prestes A. 2008. The Medieval and Modern Maximum solar activity imprints in tree ring data from Chile and stable isotope records from Antarctica and Peru. J Atmos Sol-Terr Phys, 70: 1012–1024

Talhelm T, Zhang X, Oishi S, Shimin C, Duan D, Lan X, Kitayama S. 2014. Large-scale psychological differences within China explained by rice versus wheat agriculture. Science, 344: 603–608

Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis.

Bull Amer Meteorol Soc, 79: 61–78

Wei Z, Fang X, Su Y. 2014. Climate change and fiscal balance in China over the past two millennia. Holocene, 24: 1771–1784

Wei Z, Fang X, Su Y. 2015a. A preliminary analysis of economic fluctuations and climate changes in China from BC 220 to AD 1910. Reg Environ Change, 15: 1773–1785

Wei Z, Rosen A M, Fang X, Su Y, Zhang X. 2015b. Macro-economic cycles related to climate change in dynastic China. Quat Res, 83: 13–23

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. 2015. Relationships between temperature change and grain harvest fluctuations in China from 210 BC to 1910 AD. Quat Int, 355: 153–163

Yin J, Su Y, Fang X. 2016b. Climate change and social vicissitudes in China over the past two millennia. Quat Res, 86: 133–143

Zhang D, Jim C, Lin C, He Y, Lee F. 2005. Climate change, social unrest and dynastic transition in ancient China. Chin Sci Bull, 50: 137–144

Zhang D D, Jim C Y, Lin G C S, He Y Q, Wang J J, Lee H F. 2006. Climatic change, wars and dynastic cycles in China over the last millennium. Clim Change, 76: 459–477

Zhang D D, Lee H F. 2010. Climate change, food shortage and war: A quantitative case study in China during 1500–1800. Catrina, 5: 63–71

Zhang D D, Lee H F, Wang C, Li B, Pei Q, Zhang J, An Y. 2011. The causality analysis of climate change and large-scale human crisis. Proc Natl Acad Sci USA, 108: 17296–17301

Zhang D D, Pei Q, Lee H F, Zhang J, Chang C Q, Li B, Li J, Zhang X. 2015. The pulse of imperial China: A quantitative analysis of long-term geopolitical and climatic cycles. Glob Ecol Biogeogr, 24: 87–96

Zhang D D, Zhang J, Lee H F, He Y Q. 2007. Climate change and war frequency in eastern China over the last millennium. Hum Ecol, 35: 403–414

Zhang Z, Cazelles B, Tian H, Christian Stige L, Brauning A, Stenseth N C. 2009. Periodic temperature-associated drought/flood drives locust plagues in China. Proc R Soc B-Biol Sci, 276: 823–831

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-Biol Sci, 277: 3745–3753

Zhao S. 1986. Physical Geography of China. Beijing: Science Press. 209