中国科学: 地球科学 2013 年 第 43 卷 第 5 期: 810 ~ 823
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

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

方修琦[①], 萧凌波[①②*], 魏柱灯[①]

① 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;
② 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
* 联系人, E-mail: xlingbo1@163.com

收稿日期: 2012-02-16; 接受日期: 2012-07-20; 网络版发表日期: 2013-04-19
全球变化研究国家重大科学研究计划(编号: 2010CB950103)和国家自然科学基金(批准号: 41071127)资助

摘要 对过去发生过的历史案例的重建有助于加深理解当前及未来可能的气候影响方式及后果, 并为人类做出合理的应对提供参考. 华北平原地区在小冰期内的 18 世纪末、19 世纪初的数十年间曾经历过一次从暖到冷为主导的气候转冷, 并伴随极端旱涝事件的频率明显增加. 本文根据《清实录》中提取的 1780~1819 年间华北平原区内难民、动乱、漕运、荒政等相关历史信息, 以粮食安全为切入点, 从社会脆弱性的角度分析了 18~19 世纪之交气候转冷对华北地区难民问题发展变化影响的发生机制. 结果表明: (1) 1780~1819 年间, 华北平原社会以难民问题的显著激化为标志呈现不稳定状态, 具体表现为难民数量激增(动辄数十万人), 且难民行为由原地待赈(18 世纪 80 年代)到背井离乡的流民(18 世纪 90 年代至 19 世纪), 最终发展为铤而走险(19 世纪 10 年代). (2) 社会不稳定性增大与小冰期内由相对温暖转为寒冷的显著降温及极端水旱事件增多为特征的气候变化相对应, 是气候变化的消极影响传递到社会层次的结果. (3) 从粮食安全的角度看, 这一时段气候变化社会影响的发生是由于社会面对外来压力时具有较高的脆弱性, 即较高的敏感性和较低的响应能力, 主要体现在 3 个方面: ① 粮食安全处于临界状态, 社会对气候变化引发的粮食减产十分敏感; ② 政府对灾害的救济能力严重削弱, 不能满足社会应对危机的需求; ③ 东蒙和东北作为华北移民目的地的作用因气候和政策影响受到限制, 特别是清政府在东北封禁政策上的摇摆, 加速了难民问题的激化. (4) 据估算, 此次气候转冷事件中的降温和灾害造成的减产, 可使当地达到气候变化社会影响发生所需的社会脆弱性水平出现的时间提前约 20 年.

关键词
气候难民
气候变化影响
小冰期
华北平原

自然环境及其动力过程在人类决策和社会演化过程中一直是一个重要的因子, 环境变化始终是人类文明兴衰的重要背景[1]. 尽管由于社会的发展, 过去环境变化对社会经济影响的许多具体结果已不可能重现, 但历史事件所揭示的人类对气候变化影响的响应过程与机理对当今人类社会应对全球气候变

中文引用格式: 方修琦, 萧凌波, 魏柱灯. 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, 2013, 43: 810–823
英文引用格式: Fang X Q, Xiao L B, Wei Z D. Social impacts of the climatic shift around the turn of the 19th century on the North China Plain. Science China: Earth Sciences, 2013, 56: 1044–1058, doi: 10.1007/s11430-012-4487-z

化的重大挑战仍具有一般意义. 过去全球变化(PAGES)研究的主题之一, 就是要通过认识过去人类-气候-生态系统在多时空尺度上的相互作用机制与过程, 来增强对当代气候变化影响与人类社会适应的理解[2].

大量研究成果均揭示出历史上的人口波动与迁徙、经济波动、社会治乱变化乃至朝代更替等社会兴衰事件与气候变化存在密切而复杂的对应关系[3~8]. 在欧洲, 罗马与中世纪繁荣时期对应于温暖湿润的夏季, 而公元 250~600 年, 气候变率的加大对应于西罗马帝国的崩溃及大迁徙时期的社会混乱[3]; 中国历史上冷期战争率显著高于暖期, 70%~80%的战争高峰期、大多数的朝代变迁和全国范围动乱都发生在气候的冷期, 气候变化是影响中国历史朝代循环、以及大乱-大治交替的因素之一[7,9]; 而非洲则与欧洲大陆和中国不同, 历史上暖期战争的风险增加[10]. 欧洲过去 1000 年中的冷期冲突明显增多, 但同时也发现上述关系在工业革命后趋于减弱且不稳定[4], 显示出气候变化与社会兴衰的关系深受社会经济条件差异的影响. 环境变化被认为通过影响水资源供给、农业生产[11~15]、人类健康[16]以及内部冲突[10]等途径而影响过去人类文明的兴衰[3]. 由于历史时期社会事件发生原因的多解性、社会对气候变化响应过程的复杂性, 以及过去气候变化重建结果的不确定性等原因, 有关过去气候变化社会影响与人类适应的科学认识尚存在诸多不确定性和分歧[6,8,10,17~22].

过去气候变化的社会影响研究不仅要论证过去气候变化可能存在的影响, 更需要揭示气候变化影响的过程与机制, 特别是揭示人类社会系统中那些使得气候变化影响被放大或被抑制的一系列反馈过程, 明确区分环境与人为因素对过去人类文明变化的贡献. 由于记录过去气候变化影响与人类响应之间相互作用过程的代用资料的难于获得, 迄今大量研究结论是基于气温或降水(干湿)变化与人类历史文化代用序列的因果比对获得的, 有关气候变化影响与响应机制的研究仍十分薄弱.

中国地处对气候变化响应敏感的东亚季风气候区, 社会经济受气候变化影响显著. 在漫长的人地相互作用历史中留下了浩如烟海的历史文献记载, 对于开展过去气候变化的社会影响与人类适应机制研究独具优势, 其巨大的潜力已为典型历史案例研究所证实. 18 世纪末至 19 世纪初, 是总体上寒冷的小冰期内气候由 18 世纪相对温暖的阶段到相对寒冷阶段过渡的时期, 也是清王朝由盛转衰的时期. 在当时的政治中心(所谓“畿辅地带”)华北平原地区, 此阶段的气候变化表现为急剧的降温以及极端旱涝事件频率的明显增加[23~26], 与此同时流民、移民以至动乱等社会不稳定现象亦开始出现[27]. 基于《清实录》[28]中有关华北平原气候变化影响与社会响应的记载, 结合前人对清代华北平原地区气候变化、自然灾害、人口、土地利用、政区沿革等方面的研究积累, 本研究以粮食安全为切入点, 分析在 18~19 世纪之交气候转冷背景下华北地区难民问题的发展过程中自然、人口和社会等不同因素在其中扮演的作用, 探索气候变化社会影响过程与机制.

在当前国际社会所关注的全球变暖诸多不利影响中, 全球变暖可能引发的难民迁徙问题是一个重要方面[29]. 国际上, 通过案例研究或将案例与机理模型相结合对此进行了很多探索[30~33], 但现实社会中气候变化引发大规模难民迁移甚至导致目的地发生动乱的事例并不多见, 有限的案例基本局限在发生于环境敏感地带内的少数发展中国家的区际或跨国迁徙及冲突[34~36]. 本研究可以为认识气候变化背景下的难民问题提供一个具有典型意义的历史案例.

1 资料与方法

1.1 研究区

本文将“华北平原”范围限定为清代直隶省长城以内部分、河南东北部及山东西北部, 总计为 22 府(包括直隶州)(直隶顺天、保定、永平、遵化、宣化、易州、正定、冀州、赵州、深州、定州、天津、河间、大名、顺德、广平; 河南彰德、卫辉; 山东济南、东昌、临清、武定)198 县(包括散州)(据 1820 年行政区划)[37,38](图 1). 在现代, 这一区域大致相当于北京、天津全部、河北省大部和河南、山东省各一部. 这一区域北界燕山, 南抵山东丘陵, 基本地貌单元为太行山东麓海河、黄河等河流的冲积泛滥平原, 尽管地跨三省, 但由于地形均一, 各地之间的交流互动十分密切, 社会经济条件也十分相近.

选择清代华北平原地区进行气候变化社会影响的案例研究的代表性主要表现在以下方面: 首先, 华北平原有史以来就是一个人口密集、农业发达的地区, 地处暖温带季风气候区北部, 气温和降水量的年内、

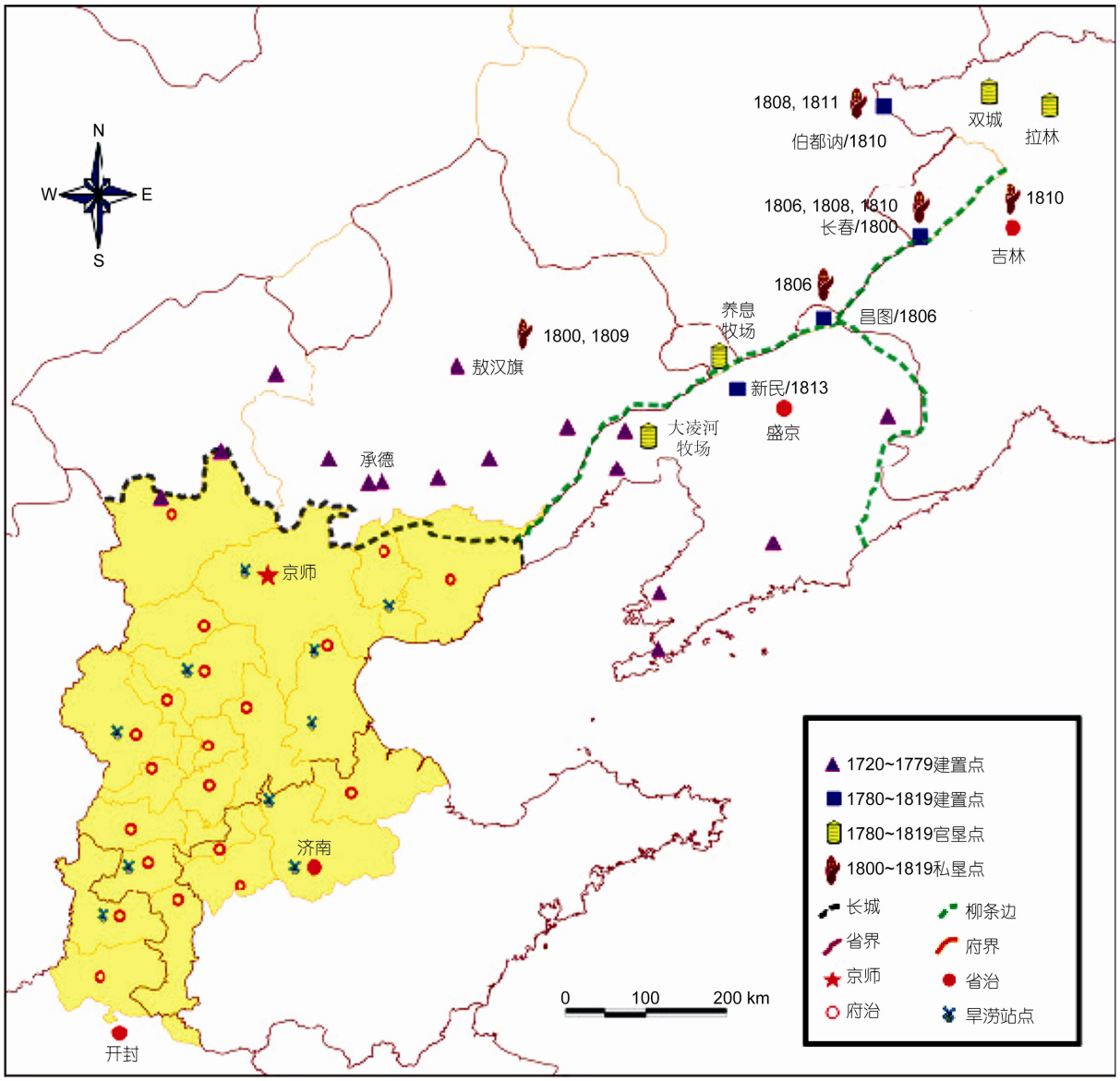

图 1　研究区及东蒙和东北 1720~1819 年的行政建制变化示意图

根据禹贡网 http://yugong.fudan.edu.cn/default.asp 数字底图绘制

年际变化十分剧烈，相对于北面的农牧交错带和南面的江南地区，该地区的社会经济对气候变化影响既具有较高的敏感性同时又具有一定的适应能力，气候变化的影响在从生产到社会的不同层次上均能有明显的表现；其次，作为政治中心区，当地气候变化影响与响应过程直接关系到国家根本，区域社会秩序的稳定得到政府的优先考虑，历史上每当遭遇自然灾害时，救灾活动往往直接置于皇帝领导之下，其救灾物资也直接来自国家储备，因此在该区域可以见到从民众个体直至中央政府的多个社会层次上对气候变化影响的响应；第三，华北平原与周边地区的关联密切，粮食供需平衡仰仗江南地区的调剂[39~41]，北面内蒙和东北则是华北地区难民的接收地，发生在华北地区的气候变化的社会影响和响应不仅局限在华北平原内部，还分别通过粮食调运和大规模难民迁徙分别与江南、内蒙东部及东北三省等周边地区发生密切的联系[42~45]. 因此，研究发生在华北平原的气候变化影响与社会响应过程，有助于

全面认识气候变化的影响与社会响应机制.

1.2　指标的选择

历史气候变化影响与适应问题可归结为全球变化风险/安全问题. 根据脆弱性理论, 气候变化的社会影响可以理解为在一定的物理暴露条件下, 作为外部扰动因子的气候变化与社会系统本身的脆弱性相互作用的产物, 而社会系统的脆弱性决定于系统对气候变化敏感性和人类社会应对气候变化的响应能力[29,46]. 因此, 气候变化对人类社会影响的结果不仅与气候变化的特征有关, 也与人类社会自身的状态和人类所采取的应对行为有关(图 2).

气候变化对社会的影响可以具体表现在诸多方面, 它们最终会体现在对社会系统稳定性或风险水平的影响上. 大量难民的存在是威胁社会稳定的重要因素之一, 历史上的难民行为可分为原地待赈、背井离乡(流民)和最终铤而走险(动乱)三种类型, 与之相对应的社会不稳定性逐步增大. 流民是背井离乡而生活没有着落的难民, 在安土重迁文化背景下, 流民的大量出现意味着难民在原居住地面临生存危机, 粮食安全已难以得到保障; 动乱是难民或流民行为趋于暴力的表现, 其爆发是社会进入不稳定(或高风险)状态的标志, 而动乱事件的主导类型及每种类型发生频次的差别可进一步反映社会不稳定性程度及安全风险的高低. 历史上绝大多数的社会动乱可归因于受迫于生计的难民的暴力行为, 如证实社会

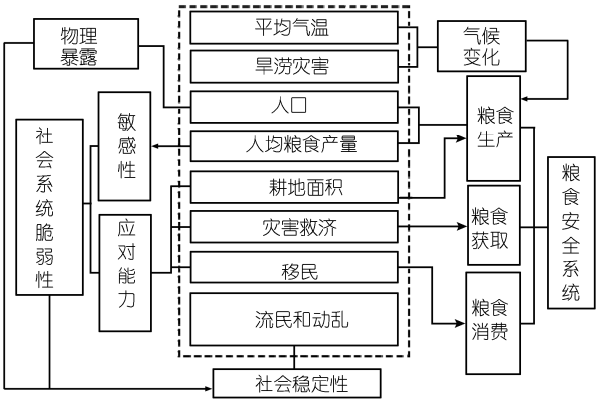

图 2　基于粮食安全的历史气候变化社会影响过程及指标体系

虚线框中的部分为相关指标

动乱确实与气候变化有关联, 则意味着气候变化的消极影响累积到了社会层次、而社会响应与适应机制严重失调乃至崩溃[47]. 但气候变化影响问题的复杂性在于, 相对于直接影响动乱事件发生和发展的诸多社会因素而言, 气候变化只是通过直接或间接影响其中的某些关键环节来对动乱的发生和发展产生作用, 且其间的许多过程并未留下记录, 因此直接论证气候变化确实对动乱事件产生了影响是困难的, 需要从社会脆弱性的方面对气候变化影响可能起作用的关键环节及相关条件进行深入分析和小心求证, 包括排除非气候因素在这些环节中起决定性作用的可能性.

在以农立国的古代中国, 粮食安全是维系经济发展和社会系统稳定的基础, 绝大多数动乱是因无法糊口所致, 社会系统的脆弱性可以具体地用粮食安全的程度来刻画. 根据粮食安全的定义[48], 粮食安全由粮食供应、粮食获取和粮食使用三方面的能力来衡量, 对于古代中国, 区域粮食供应能力主要决定于区域内部的粮食生产能力, 粮食获取能力指粮食进行补充和分配的能力, 它首先与分配制度有关, 而在一定的分配制度下, 获取能力主要受制于社会对粮食调剂的能力; 粮食使用能力是指实际供每个人支配的粮食数量. 其中, 粮食生产量(粮食供应能力)是基础, 气候变化对社会的影响从根本上讲是由对粮食生产的直接影响传递到社会层次而产生的; 社会在粮食获取和使用环节对粮食安全状况进行一定程度的调节, 在区域粮食生产量不足以满足粮食安全需求的情况下, 通过从区外调运粮食以增加供给或向区外移出人口以减少需求人数都是历史上常用的调节方式.

社会系统的敏感性用区域人均粮食生产量相对于维持生存所必需的临界粮食占有水平的高低来反映. 区域人均粮食生产量代表了从区域内可能获得的最大粮食占有量, 其大小是由单位面积的粮食产量和人均耕地面积共同决定的, 其中单位面积产量直接受气候变化的影响, 在某些情况下耕地面积的多少也会受气候变化的影响. 如果人均粮食生产量明显高于临界粮食占有水平, 则生计问题不突出, 社会系统对包括气候变化在内的各种外强迫不敏感; 反之, 如果区域人均粮食生产量接近甚至低于临界水平, 社会系统对包括气候变化在内的各种外强迫的敏感性就会加大.

社会系统的响应能力用对粮食获取和占有量的调节能力来反映. 对于清代华北地区而言, 社会主要有两种方式来调节粮食获取能力: 一是通过政府或民间的各种救助措施增加粮食供应量或提升粮食购买力; 二是通过自发或有组织的形式向区外迁移人口, 相对提高人均粮食占有量.

基于以上认识, 考虑到相关信息在历史文献中的可获得性以及前人的研究基础, 本文以粮食安全为切入点, 选择人均粮食产量、灾荒救助能力、移民目的地的接收能力作为指标, 刻画社会系统的脆弱性, 选择社会动乱事件刻画社会系统的稳定性(图 2). 据此对 18~19 世纪之交气候对华北地区社会影响的形成机制进行分析.

1.3 资料来源与处理方法

本研究以《清实录》为主要信息源, 《清实录》又称《清代历朝实录》, 是清代官修的编年体史料长编, 共 4433 卷, 其资料来自内阁及各部院衙门所存档案、清史馆所藏资料和著作, 以及皇帝的文集、御笔等, 是清史研究中不可多得的原始文献资料. 本文从《清实录》中提取 1780~1819 年间华北平原区内相关历史信息(如漕运、荒政、难民、动乱等), 重建历史代用指标序列, 辅以已有的前人重建结果和相关研究成果, 对这一时段内气候变化影响下的难民行为及其社会后果进行量化分析.

1.3.1 历史气候变化

收集前人已有的历史冷暖变化重建结果[23,49~51], 分辨率达到 10 年或年. 研究时段内气温变化定量估算依据公元 1380 年以来华北年均温距平序列(图 3(a))[23]和过去 2000 年中国东部冬半年温度距平序列(图 3(b))[50].

历史旱涝变化主要依据《中国近五百年旱涝分布图集》中各站点的旱涝等级数据(分为 5 级, 1-大涝, 2-涝, 3-平, 4-旱和 5-大旱)计算[55]. 《中国近五百年旱涝分布图集》中位于华北平原范围之内的有 10 个站点(分别为北京、天津、唐山、保定、沧州、石家庄、邯郸、安阳、德州、济南, 图 1), 根据各站点逐年旱涝等级数据, 分别计算研究区 1780~1819 年逐年的旱灾指数 *Zd*(图 3(c))和涝灾指数 *Zf*(图 3(d)), 计算方法为

$$Z = M_1 \times W_1 + M_2 \times W_2, \quad (1)$$

式中, M_1 为重灾站点数, 即旱涝等级为 1 或 5 者; W_1 为权重, 赋值 0.8; M_2 为轻灾站点数, 即旱涝等级为 2 或 4 者; W_2 为权重, 赋值 0.2.

1.3.2 人口、耕地及人均粮食占有量变化

选择研究区的主体直隶省为代表, 分析清代不同时间节点上的人口、耕地面积, 据此计算人均耕地面积变化(图 3(f)). 其中, 直隶耕地面积数据来自梁方仲《中国历代户口、田地、田赋统计》[53]; 直隶人口变化据曹树基《中国人口史》[54]中的人口数据, 按人口增长率推算到与耕地数据对应的年份. 清代华北平原地区的粮食亩产一般认为在 1~2 石之间[56~59] (1 石原粮约合 140 斤), 本文采用相对保守的薛刚的估测结果, 即 186 斤/亩(93 kg/亩)[59]. 根据以上数据计算 1780~1819 年各时间节点直隶人均耕地面积和人均粮食产量. 以现代 300 kg/人温饱水平的标准取值[60]作为保证安全的临界粮食占有量, 计算不同时间人均粮食产量与临界粮食占有量的偏差程度, 评估社会对气候变化的敏感性.

$$S = \frac{Fp - F_0}{F_0} = \frac{Yp \times Ap - F_0}{F_0}, \quad (2)$$

式中, S 系统敏感性, S 由正到负值表示敏感性由低到高; Fp 人均粮食产量; F_0 保证安全的临界粮食占有量(取 300 kg/人); Yp 单位面积产量, 其大小直接受气候变化的影响; Ap 人均耕地面积.

1.3.3 华北平原地区灾民赈济水平变化

清廷拨发华北灾民的赈济物资包括银、米(原粮加工后的口粮)两类, 其数量可用以量化评估政府的救灾力度, 由《清实录》中提取相关记录, 统计 1780~1819 历年接受政府赈济的州县数(图 3(k))和赈济物资数(图 3(l)), 并将赈济银数折算为米数, 计算赈济密度 Q, 公式如下:

$$Q = \frac{F_1 / 1.5 + F_2}{C}. \quad (3)$$

式中, F_1 为银数, F_2 为米数, 根据文献[61]中的当时主要粮食价格数据, 两者之间大致以 1.5 两银=1 石米折算; C 为赈济州县数.

1.3.4 移民开垦规模和目的地变化

清代长城以北的东蒙地区(河北北部和内蒙古东部)及东北三省地广人稀, 作为华北平原因气候变化与水旱灾害导致的难民跨区迁徙、农业开发的主要目

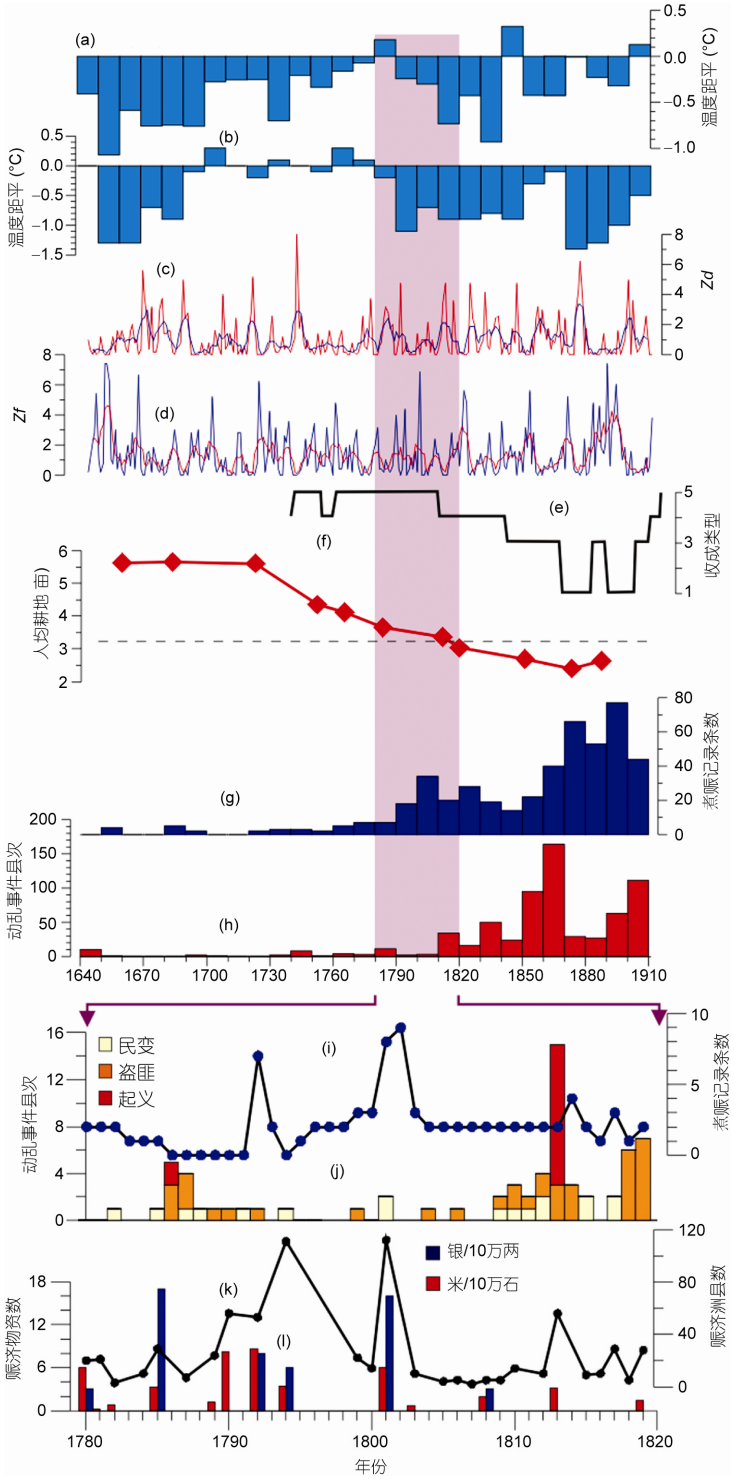

图 3　18~19 世纪之交华北平原的气候转冷与社会响应

(a)~(h)为 17 世纪 40 年代~20 世纪各代用指标的变化: (a) 华北年气温 10 年平均距平[23]; (b) 中国东部冬半年平均温度距平[50]; (c) 逐年旱灾指数及 5 年滑动平均; (d) 逐年涝灾指数及 5 年滑动平均; (e) 华北 5 年滑动秋收收成类型[52][1]; (f) 直隶人均耕地面积(据文献[53]和[54]计算), 水平虚线为人均粮食产量 300 kg 对应的耕地面积; (g) 京城煮赈记录频次; (h) 华北平原动乱事件频次. (i)~(l)为 1780~1819 年各代用指标的逐年变化: (i) 京城煮赈记录频次; (j) 华北平原动乱事件频次; (k) 华北平原赈济州县频次; (l) 华北平原赈济物资数量

1) 收成类型系对农业收成序列进行频次模糊聚类分析得到, 共分为 5 类, 5/1 代表该年及前后各 2 年(共 5 年)中丰/歉年占绝大多数, 4/2 为丰/歉年相对较多, 3 为两者持平(据文献[52])

的地, 是华北平原地区气候变化社会响应机制中的重要调节因子, 对华北平原地区的气候变化影响存在异地响应[42~44]. 从《清实录》及其他史料中提取移民开垦、行政建置等记录, 将东蒙及东北境内新建行政单元的发生时间、地点及同期私垦、官垦事件分别标注在地图上, 用以反映华北平原 1780~1819 年间难民迁徙的时空演变过程(图 1).

1.3.5 华北流民及动乱表征的社会稳定性代用序列

社会的稳定性的变化用华北难民原地待赈、背井离乡(流民)和铤而走险(动乱)三种行为类型的阶段性变化来刻画. 流民的大量出现意味着难民在原居住地的粮食安全已难以得到保障, 动乱的爆发标志着社会进入不稳定(或高风险)状态, 而动乱事件的主导类型及每种类型发生频次的差别可进一步反映社会不稳定性程度及安全风险的高低.

京师煮赈与流民问题直接相关, 煮赈记录的增寡可以反映流民问题的轻重. 清廷每年在城内外设立粥厂救济在京城的难民, 当大量流民涌入京城时, 清政府会在常例煮赈的基础上, 通过延长煮赈时间、增给银米等措施来缓解规模不断增加的外来流民带来的压力; 随着常规赈灾手段的难以为继, 这一辅助性赈灾措施越来越受到政府的重视, 煮赈记录的增多也反映出流民问题的加重. 从《清实录》中提取清代京城煮赈相关记录并进行频次统计(图 3(g)和(i)).

《清实录》中各类动乱事件按与政府对抗的严重程度可分为以下 3 类: (1) 民变事件: 处于社会法制框架边缘的各类群体性事件, 如聚众抗税、抗租、抗粮、民间秘密拜会、传教, 流氓恶棍聚赌讹诈、欺压一方等. (2) 盗匪事件: 形成团伙的盗贼、土匪、游匪等参与的抢劫、杀人、越狱等恶性事件, 规模不大, 单纯以破坏者的面目出现. (3) 起义事件: 农民起义, 规模小者影响一个或数个州县, 大者波及整个研究区, 一般都具有较为严密的组织和鲜明的政治诉求. 民变、盗匪和起义体现了社会动乱规模由小到大的变化, 反映了社会不稳定性程度的增加, 以“县次”(一年一县为动乱事件所波及, 记为 1 县次)为统计单位统计动乱事件频次, 对 1780~1819 年间按民变、盗匪和起义分类统计(图 3(j)), 对整个清代合并统计(图 3(h)). 由于历史原因, 《清实录》中关于义和团运动的记录很不完整, 1899~1901 年间有关义和团的动乱事件据《义和团运动史事要录》[62]进行补充.

2 结果分析

2.1 气候变化的主要表现

18 世纪为小冰期中最后一个持续时间较长的温暖时段, 至 18 世纪末~19 世纪初结束并进入小冰期最后一个寒冷时段. 此次气候转冷是小冰期气候阶段性变化的具体体现, 在全国以至全球各地均有不同程度的表现. 华北 10 年分辨率的年均温距平序列中[23], 降温开始于 18 世纪 90 年代, 19 世纪降至现代水平以下, 至 19 世纪 10 年代降至谷底, 30 年间降温幅度约 1℃, 18 世纪 80 年代至 19 世纪 10 年代与 18 世纪 40~70 年代的平均温度比较下降约 0.8℃[23] (图 3(a)); 中国东部冬半年温度距平序列显示, 降温开始于 18 世纪 70 年代, 18 世纪 80 年代降至现代水平以下, 18 世纪 90 年代急剧降温至谷底(10 年间降温 0.9℃), 30 年间降温幅度 1.4℃[50](图 3(b)); 1724~1982 年北京 7 月平均温度序列在 18 世纪前后也出现一个突然的降温阶段, 持续约 40 年(18 世纪 80 年代至 19 世纪 20 年代)[51]; 华北地区重建的其他历史冷暖序列的转折点也集中在 18~19 世纪之交的一段很短的时间内, 且降温幅度很大[49]. 在我国其他地区重建的历史温度序列也体现出相似的特点[63~65].

同期降水的变化也十分明显, 18 世纪 80 年代以后的数十年, 华北平原降水量较之前有所增多[66,67]; 但年际变率的增大, 使得旱涝灾害发生的频率和强度都有提升. 石家庄、河间、济南、安阳四站年均降水量序列的标准差由 1740~1779 年的 91.89 mm 增大到 1780~1819 年的 112.3 mm[67]. 根据华北平原内 10 个站点旱涝等级计算的旱灾指数由 1740~1779 年平均的 0.94 增加到 1780~1819 年的 1.08, 涝灾指数由 1.00 增加到 1.16. 1780~1819 年间极端旱涝灾害增多, 表现为 1, 5 级(大涝、大旱)站点数(32 和 33 个)较 1740~1779 年间(29 和 26 个)明显上升[55], 如 1785 年旱灾[68,69]、1801 年水灾[25]、1813 年旱灾, 均为此前罕见的大灾(图 3(c)和(d)).

2.2 社会对气候变化影响的脆弱性

2.2.1 人口持续增长使粮食安全处于危险水平

清代华北平原境内人口飞速增长, 直隶省(现河

北省)人口由清初的 800 余万增加到清末的 3700 余万[54], 随着人口的增加, 人地矛盾逐步激化, 在 18~19 世纪之交粮食安全已处于临界状态, 成为清代华北平原人地关系演进的重要转折点.

清初至 18 世纪 20 年代左右, 直隶主要是通过耕地的扩张来抵消人口增长压力, 人均耕地面积大体维持在 5.6 亩以上, 按 93 kg/亩计算, 人均粮食产量可达 500 kg 以上, 远高于现代维持温饱水平所必需的 300 kg/人. 自 18 世纪 30 年代始, 直隶省耕地面积增长几乎停滞, 人口的持续增加使得 1781 年直隶省人均耕地面积降至 3.71 亩, 人均粮食产量 345 kg, 略高于温饱水平; 至 1820 年, 人均耕地面积进一步下降至 3.03 亩, 人均粮食产量则降至 281 kg, 在温饱线以下(图 3(f)).

至 19 世纪初, 即使不考虑地主和官府剥削造成的粮食分配不公平性, 仅因人口增加已使华北平原粮食产量突破安全的人均生存阈值, 从而使当地社会对外界干扰(如极端水旱灾害)的敏感性急剧上升. 广大农民户无余粮, 一遇天灾, 即难免饥馑、甚至破产之虞.

2.2.2 气候转冷使粮食危机进一步加剧

气温变化直接影响粮食单产水平. 华北的秋收收成类型收成从 19 世纪 10 年代开始变坏, 歉收年份大量增加, 至 19 世纪末几乎年年歉收(图 3(e)), 平均亩产较 18 世纪有明显下降[52]. 根据我国现代(20 世纪 50~80 年代)气温变化与粮食产量的关系推算, 气温升高 1℃, 仅积温变化带来的农作物熟级调整, 即可产生 10%的增产潜力, 如果考虑到升温可能减少冷害, 则幅度可能更大, 反之亦然[70]. 18 世纪 80 年代至 19 世纪 10 年代的 40 年间平均温度较 18 世纪 40~70 年代下降约 0.8℃[49], 据此估计至少可导致 8%的减产.

如果进一步考虑降水变率增大使得极端旱涝事件多发而造成的减产, 则气候变化对粮食单产的影响程度更大, 如 1801 年水灾直隶全省收成仅为正常年景的 25%[25], 为近 300 年最低, 仅此一年就可将 1780~1819 年平均的粮食单产水平拉低 1.88%. 1780~1819 年间旱涝指数≥4 的极端旱涝年份有 5 个(1790, 1794, 1801 年水灾, 1792, 1813 年旱灾), 而 1740~1779 年间仅 2 个(1743 年旱灾, 1761 年水灾). 在现代农业灾情统计中将较常年减产 30%定义为成灾[71], 按上述灾害年份较常年平均减产 50%(相当于现代中等成灾水平)计算, 仅多出的 3 个极端旱涝灾害年份, 即可使 1780~1819 年间的平均单产水平在变冷导致减产的基础上再下降 3.75%.

综合考虑气候变化带来的温度降低及降水年际变率加大、极端旱涝事件频发, 两者合计至少使 1780~1819 年间的平均单产水平较常年下降 11.45%, 这对于清代华北平原正处于临界状态的粮食安全是雪上加霜, 对社会的稳定性和适应能力构成更为严重的威胁.

2.2.3 政府救灾能力显著下降

在中国古代的小农经济社会, 面对气候变化特别是极端水旱灾害时, 政府的应对能力是影响脆弱性的关键环节. 清代兴盛时期, 特别是 18 世纪中期, 清廷曾在华北平原救灾中扮演过十分积极的角色, 除蠲免赋税等常规手段之外, 还通过大量救灾物资、款项的及时调拨和就地发放, 最大限度地缓解了水旱灾害带来的消极影响[45,61,72].

18 世纪末至 19 世纪初适逢清代的黄金时期(所谓"康乾盛世")结束之时. "康乾盛世"过后, 各级政府钱粮亏空严重, 国用不足, 持续 9 年(1796~1804 年)的白莲教起义耗去军费 1 亿余两, 并有大量漕粮转运前线, 直接导致了进入 19 世纪后清廷国库、京仓储备下降, 政府能够支配的救灾钱粮数量锐减. 进入 18 世纪晚期之后, 面对日益增多、加重的旱涝灾害, 在华北灾害救助中扮演着关键角色的清政府赈济力度反而日益下降. 特别是以 1801 年水灾为分野, 前后差别巨大(图 3(k)和(l)), 使得华北平原地区的粮食危机以及更严重的社会危机未能得到有效地缓解.

1780~1819 年间受灾站点(旱涝等级 1, 2, 4, 5)计 252 站次, 重灾(旱涝等级 1, 5)65 站次, 其中 1780~1801 年间受灾 138 站次, 占 54.8%, 重灾 41 站次, 占 63.1%. 1780~1819 年间总计 674 县次获得赈济, 其中前 22 年 482 县次, 占 71.5%, 高于受灾(重灾)站次所占比例, 而后 18 年赈济县次占总数的比例低于受灾(重灾)站次所占比例, 说明在后 18 年中, 很多受灾州县未能得到应有的赈济. 即使获得赈济的州县, 其赈灾力度亦大不如前. 1780~1801 年间清廷下拨华北平原地区的赈灾银近 500 万两、米近 380 万石, 而后 18 年间仅银 30 万两、米 73 万余石; 1780~1801 年间的赈济密度 Q=1.47 万石/县, 后 18 年下降至 0.48

万石/县, 相差 3 倍.

2.2.4 东蒙移民开垦接收能力饱和而东北移民因封禁而受限

自发性的或有组织的向区外移民是我国古代缓解人口及粮食压力、降低社会脆弱性的重要手段之一. 东蒙及东北地区是清代华北平原移民开垦的主要目的地, 自清初以来, 政府对从华北平原向东蒙或东北的移民长期执行平年厉行封禁, 灾年适当放松、默许出境的弹性政策. 相对于封禁更为严厉的东北地区, 长城以北的东蒙地区首先成为华北平原破产流民跨区迁徙、移民的主要目的地[42~44].

17 世纪 80 年代东北实施封禁政策后, 东蒙、特别是古北口外的承德周边成为华北平原地区的主要移民目的地. 18 世纪早中期, 在相对温暖的气候背景下, 东蒙尤其是承德周边地区的农业生产因大量来自于华北平原地区的移民开发而迅速繁荣, 华北平原与东蒙之间存在活跃而良性的人口和粮食交流. 1720~1779 年间, 因移民聚落的增长, 在长城以外新建的州县(16 处 [2])中, 东蒙境内占多数(10 处), 尤以承德最为突出(7 处)(图 1), 形成了清代第一次政区建置、变更高潮. 《清实录》中东蒙有记载的 15 个丰收年份有 14 个集中在 18 世纪, 东蒙不仅实现粮食自给, 且有剩余粮米直接支援华北平原救灾,《清实录》中 7 条由东蒙向华北调运粮食的记录都集中在 18 世纪 20~60 年代的 50 年间[44].

但在 1778 年完成承德府 1 府 6 县的行政区划调整[73]之后, 当地发展开始放缓, 近百年间(至 1876 年设围场厅)无新设行政单元. 1782~1820 年间, 承德府的人口由 557222 人增长至 783897 人, 年均增长 9‰, 接近当时的人口自然增长率, 显示这里已经不再是移民的主要目的地[74]. 18 世纪晚期之后承德周边农业开发的由盛转衰, 与封禁政策的执行、农业人口的饱和等因素有关[75], 而气候变化也在其中扮演了重要角色, 18 世纪末开始的降温导致的农牧交错带南移, 在相当程度上限制了当地农业的发展[44,76].

随着承德等地对华北难民吸纳能力的逐步减弱, 流向东北地区的难民开始增加. 1792 年旱灾发生后, 清政府自清初以来首次公开放松禁令, 允许甚至鼓励灾民前往长城及柳条边外的东蒙及东北各地谋生, 以分流难民潮 [3]. 这一措施随即引发了规模空前的难民迁徙, 难民目的地也发生显著转移, “西北一带关口(注: 指张家口、古北口等长城各口)自九月下旬以来, 携眷外出之民日渐稀少; 惟出山海关者, 依然络绎”[4]. 东北三省、特别是柳条边沿线地区从此开始大量接收关内移民. 据清廷事后估计, 1792 年旱灾期间, 灾民 “前赴盛京、吉林及蒙古地方就食, 不下数十万人”[5], 这一数字可能有夸张, 而且包括了临时性的迁徙, 但规模之大仍然空前. 经政府安置定居吉林省的灾民即达 1 万 5 千余人 [6], 为数更多的未申报者、留居盛京蒙古等地者尚不在内. 1792 年旱灾后的短短 10 余年间, 清廷即在东北柳条边沿线地区新建 4 个行政单元以管理移民(长春、昌图、伯都讷、新民), 大凌河东岸、养息牧厂、拉林、双城等官垦聚落也分布在附近(图 1). 1780 年东北人口约 95 万, 至 1820 年猛增至 247 万人[77], 较 1780 年增长 1.6 倍, 年均增长率 24.2‰, 增长人口中大部分来自移民(约 100 万), 其中吉林省接收移民 30 万人[74]. 以长春地区为例, 1800 年设长春厅后 6 年间移入 7000 余口 [7]; 其后两年间, 移入 3010 户 [8]; 又过两年, 又移入 6953 户 [9], 移民增加的趋势极为迅猛.

2) 不含建置之后撤销者

3) 清实录, 1792-08-21

4) 清实录, 1792-12-31

5) 清实录, 1794-09-04

6) 清实录, 1793-12-03

7) “郭尔罗斯地方从前因流民开垦地亩, 设立长春厅管理. 原议章程, 除已垦熟地及现居民户外, 不准多垦一亩, 增居一户. 今数年以来, 流民续往恳荒, 又增至七千余口之众. ”(清实录, 1806-09-02)

8) “长春厅……续经查出流民三千一十户……若概行驱逐, 未免失所. ……入于该处民册安插. 自此次清查之后……除已垦之外, 不准多垦一亩, 增居一户. 如将来再有流民入境, 定即从严办理.” (清实录, 1808-07-10)

9) “长春厅查出新来流民六千九百五十三户, ……姑照所请入册安置外, 嗣后责成该将军等督率厅员实力查禁, 毋许再增添流民一户. 如再有续至流民, 讯系从何关口经过者, 即将该守口官参处. 至长春厅民人向系租种郭尔罗斯地亩, 兼著理藩院饬知该盟长扎萨克等, 将现经开垦地亩及租地民人查明确数, 报院存案, 嗣后无许招致一人, 增垦一亩. 如有阳奉阴违, 续招民人增垦地亩者, 即交该将军咨明理藩院参奏办理.” (清实录, 1810-11-27)

但清政府 1792 年对东北的开禁只是一种应急的措施, 而非长远的政策. 为控制移民的激增, 清政府自 1803 年起重申封禁政策, 并对边外地区的私垦聚落进行大规模清理, 《清实录》中关于私垦的记录即主要分布在 19 世纪前后十余年间. 1811 年以后, 《清实录》中清查私垦的记录告一段落, 东北人口经过 1781~1820 年间的高速增长后, 在 1820 年后增速显著放缓, 道光三十年(1850)东北的人口约 340 万人, 年均增长率下降至 10.7‰[77]; 东北的行政建置也处于停滞状态, 1813 年建新民厅后, 至 1862 年设立呼兰厅, 50 年间东北再未增加新的州县.

2.2.5 社会的高脆弱性为气候变化影响华北平原社会稳定提供了可能性

从以上分析可知, 18~19 世纪华北平原的社会具有较高的脆弱性, 对外来压力具有较高的敏感性和较低的响应能力, 主要表现为 3 个方面: (1) 粮食安全处于临界状态, 1780~1819 年间, 人均耕地由 3.7 亩降至 3 亩以下, 仅由此即可使人均粮食年产量由 345 kg 降至 281 kg, 突破温饱阈值, 使得社会对气候变化和极端灾害引发的粮食减产极其敏感. (2) 政府对水旱灾害的救济水平在此期间逐年下降, 1801 年后更是急剧减少, 不能满足社会应对危机的需求. (3) 东蒙作为华北移民目的地的作用因气候变冷、农业衰落而削弱, 一度开放的东北地区在 1803 年重申禁令之后移民进程受到严重限制, 加速了难民问题的激化. 这种较高的社会脆弱性为气候转冷影响社会稳定提供了基础.

2.3 气候变化背景下区内社会稳定性趋于恶化

在 18~19 世纪气候转冷的背景之下, 华北平原社会发生一系列显著变化, 其中的一个突出表现是 1780~1819 年间难民问题的逐步恶化与失控, 特别是 1803 年东北重申禁令之后, 华北平原地区社会稳定性趋于恶化, 突出表现为流民数量增多、动乱事件频次增加显著、以及动乱事件的级别逐步升高. 随着清廷政策调控侧重点的变化, 因各种原因特别是在极端水旱灾害中破产的华北难民的行为可分为原地待赈(18 世纪 80 年代)、背井离乡(流民)(18 世纪 90 年代至 19 世纪)和最终铤而走险(乱民)(19 世纪 10 年代)三个阶段.

1785 年旱灾中多数的灾民仍选择原地等待救济, 但流民问题已开始显现, 表现为 1780 年后, 京城煮赈大量增加表明流民涌入京城的数量增多. 1792 年旱灾、1801 年水灾中, 有大量难民背井离乡, 或进入京城暂时栖身, 或向境外流动. 涌入京师的灾民均达数万之众[10], 清政府被迫一再扩大粥厂规模、延长煮赈时间, 流民增加给京城社会治安带来严峻挑战. 由于东蒙的衰落和东北的开禁, 大批难民沿柳条边一线迁徙和定居.

华北平原的流民行为转向暴力的趋势, 18 世纪 80 年代即已显露, 1785 年旱灾之中、之后, 动乱事件相对多发. 在 18 世纪 90 年代至 19 世纪期间的相对平静之后, 从 19 世纪末开始, 流民的暴力行为问题重新成为华北平原社会的严重威胁. 19 世纪 10 年代由武装流民团体参与的盗匪事件达 24 县次, 占 1780~1819 年 40 年总数(37 县次)的 64.9%(图 3(j)), 发生地点遍及华北平原. 1813 年旱灾中爆发的天理教起义, 为本地清代以来第一次大规模武装起义, 涉及本区的 12 个州县, 大批破产灾民加入起义军.

3 讨论

3.1 气候转冷对华北平原社会不稳定的贡献

社会在突破 300 kg/人的温饱阈值后面对压力时敏感性的增加, 而同期社会的调节能力不断下降, 使得气候变化和极端事件引发的农业生产危机(粮食减产)随即带来连锁反应, 消极影响在粮食供给-分配-消费各个环节逐步传递并积累, 形成大面积的饥荒和大规模的难民迁徙, 最终爆发动乱.

1820 年可以作为社会进入不稳定状态的起始点. 不考虑气候变化的影响, 根据人均耕地面积变化估算 1820 年直隶的人均粮食产量为 281 kg, 如果考虑气温降低和水旱灾害导致减产 11.45%, 则 1820 年人均粮食产量约 249 kg, 此人均粮食产量(近似地 250 kg)可视为在当时社会响应能力下, 社会进入不稳定状态的临界产量. 对理想状态下的直隶人地矛盾发展(气候转冷不发生, 粮食单产不变, 人口自然增长)

10) 如“京城粥厂现在远来领赈者竟有二万余人”(清实录, 1792-08-17); “近日京城附近地方饥民领赈者至二万五六千人”(清实录, 1802-03-27)

进行估算: 取 1776 年直隶人口 1779.9 万为起点, 按照 1776~1820 年间的人口增长率 5.92‰计算逐年人口数量; 再根据 1820 年耕地面积值(69860981 亩)计算逐年人均粮食产量, 达到 250 kg 的年份发生在 1841 年. 换言之, 气候变化直接导致的粮食减产, 相当于人口增加对人均粮食产量减少贡献率的一半, 它将华北平原当地人地矛盾激化的时间提前约 20 年(图 4).

此外, 考虑到这一气候转冷事件在全国尺度上均有体现, 气候对邻区的影响势必间接影响到本区, 如东蒙农牧交错带的南移会影响其对华北移民的容纳能力, 江南地区气候转冷和气象灾害会影响其对华北的粮食输送. 上述变化都会影响华北平原社会的响应能力, 其影响程度尚有待进一步的研究.

3.2 区域社会气候变化响应机制中的政府作为

在 18~19 世纪之交气候转冷与社会响应的互动中, 政府扮演了重要角色, 政府作为突出体现在两个方面——钱粮调度与赈济、移民政策管理(图 3). 因各种原因特别是在极端水旱灾害中破产的华北难民的行为选择随着清廷响应行为和政策调控侧重点的变化而变化, 分别以弛禁的 1792 年和厉禁的 1803 年为节点, 将这一时期的政策调控分为 3 个阶段(图 3).

1780~1791 年(赈济为主阶段): 这一阶段清廷主持的赈粮调度和赈灾活动仍保持了较高的力度和效率, 赈济密度约 1.95 万石/县, 对灾后社会秩序的稳定发挥了积极作用, 但零星动乱事件已经开始出现, 说明单一的赈济手段已难以解决难民问题.

1792~1803 年(赈济与东北开禁并行阶段): 赈济力度开始下降(Q=1.2 万石/县, 约为 1780~1791 年的 2/3), 面对难民规模日益增大的现实, 政府灵活地放宽了禁令, 特别是将封禁 100 余年的东北三省公开向难民开放, 有效缓解了华北社会的压力, 18 世纪 90 年代至 19 世纪的 20 年间华北平原地区动乱事件较少发生.

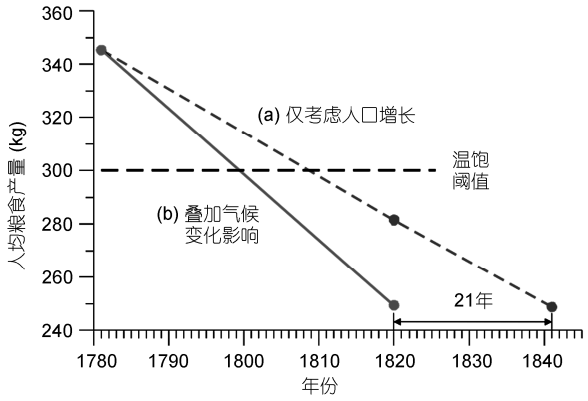

图 4 两种情景下的直隶人均粮食产量变化

(a) 仅考虑人口增长; (b) 叠加气候变化影响

1804~1819 年(厉禁东北阶段): 政府灾害救济能力急剧下降(Q=0.47 万石/县, 约为 1780~1791 年的 1/4), 清廷顾虑移民过多威胁"龙兴之地", 错误地决定重申封禁政策, 更是雪上加霜. 进入 19 世纪 10 年代, 清查私垦告一段落、封禁效果显现之后, 华北平原难民问题失控, 行为日趋暴力, 盗匪横行, 区内清代首次大规模起义事件在 1813 年旱灾背景下爆发.

4 结论

通过探讨 18~19 世纪之交气候转冷背景下华北地区难民问题发展过程中自然、人口和社会等不同因素在其中扮演的作用, 本研究提供了一个以粮食安全为切入点, 从社会系统对气候变化影响脆弱性的角度分析历史气候变化社会影响过程与机制的案例. 论文的主要结论如下.

1780~1819 年间, 华北平原难民问题显著激化, 经历了从灾民到流民再到暴民的过程. 因各种原因特别是在极端水旱灾害中破产的华北难民在早期多选择原地等待救济(如 1785 年旱灾); 随着政府救济力度的下降, 1792 年旱灾和 1801 年水灾中有大量难民背井离乡, 或进入京城暂时栖身, 或向境外流动, 由于东蒙的衰落和东北的开禁, 大批难民沿柳条边一线迁徙和定居; 清廷重申封禁东北(1803 年)之后, 难民既无法获得足够救济, 亦无法通过移民谋生, 被迫铤而走险, 1813 年旱灾中即有大量灾民加入天理教起义.

华北平原地区上述难民问题的发展演化, 发生在 18~19 世纪之交以从暖到冷为主导的气候转冷的气候变化背景下, 由 18 世纪相对温暖时段进入小冰期最后一个寒冷时段, 同时伴随频率明显增加的极端旱涝事件, 气候变化的消极影响是社会趋于不稳定的重要因素. 气候对人类社会的直接影响来自温度降低和灾害增多所造成的粮食减产, 根据气候变化所导致的减产幅度估算, 气候变化直接导致的粮

食减产, 相当于人口增加对人均粮食产量减少贡献率的一半, 它将华北平原当地人地矛盾激化的时间提前约 20 年.

18~19 世纪之交华北平原因气候变化引发的农业生产危机所以能够迅速波及经济、社会层次并造成严重后果, 主要是因为区域社会面对外来压力时较高的敏感性和较低的响应能力, 主要体现在 3 个方面: (1) 人口增加导致的人均耕地减少使粮食安全处于临界状态, 社会对粮食减产十分敏感; (2) 政府对水旱灾害的救济水平不能满足社会应对危机的需求; (3) 东蒙和东北作为华北移民目的地的作用因气候和政策影响受到限制.

致谢 感谢审稿专家提出的宝贵意见.

参考文献

1 Costanze R, Graumlich L J, Steffen W, et al. Sustainability or collapse: What can we learn from integrating the history of humans and the rest of nature? AMBIO, 2007, 36: 522–527
2 IHOPE. Developing an integrated history and future of people on Earth (IHOPE): Research plan (IGBP Report No. 59). 2010. http://www.stockholmresilience.org/ihope
3 Büntgen U, Tegel W, Nicolussi K, et al. 2500 years of European climate variability and human susceptibility. Science, 2011, 331: 578–582
4 Richard S J, Wagner T S. Climate change and violent conflict in Europe over the last millennium. Clim Change, 2010, 99: 65–79
5 许靖华. 太阳、气候、饥荒与民族大迁移. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1998, 28: 366–384
6 Zhang P Z, Cheng H, Edwards R L, et al. A test of climate, sun and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record. Science, 2008, 322: 940–942
7 章典, 詹志勇, 林初, 等. 气候变化与中国的战争、社会动乱和朝代变迁. 科学通报, 2004, 49: 2468–2474
8 Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J, et al. Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian Monsoon. Nature, 2007, 445: 74–77
9 葛全胜. 中国历朝气候变化. 北京: 科学出版社, 2011
10 Burke M B, Miguel E, Satyanath S, et al. Warming increases the risk of civil war in Africa. Proc Natl Acad Sci USA, 2009, 106: 20670–20674
11 Buckley B M, Anchukaitis K, Penny D, et al. Climate as a contributing factor in the demise of Angkor, Cambodia. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, 107: 6748–6752
12 Weiss H, Bradley R S. What drives societal collapse? Science, 2001, 291: 609–610
13 deMenocal P B. Cultural responses to climate change during the late Holocene. Science, 2001, 292: 667–673
14 Haug G H, Günther D, Peterson L C, et al. Climate and the collapse of Maya civilization. Science, 2003, 299: 1731–1735
15 Patterson W P, Dietrich K A, Holmden C, et al. Two millennia of North Atlantic seasonality and implications for Norse colonies. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, 107: 5306–5310
16 McMichael A J, Woodruff R E, Hales S. Climate change and human health: Present and future risks. Lancet, 2006, 367: 859–869
17 张德二, 李红春, 顾德隆, 等. 从降水的时空特征检证季风与中国朝代更替之关联. 科学通报, 2010, 55: 60–67
18 Cheng H, Edwards R L, Haug G H. Comment on “on linking climate to Chinese dynastic change: Spatial and temporal variations of monsoonal rain”. Chin Sci Bull, 2010, 55: 3734–3737
19 Zhang D E, Li H C, Ku T L, et al. Reply to the comment of Cheng et al. Chin Sci Bull, 2010, 55: 3738–3740
20 Zhang D E, Lin L H. Anti-correlation of summer/winter monsoon? Nature, 2007, 450: E7–E8
21 Burke M B, Miguel E, Satyanath S, et al. Climate robustly linked to African civil war. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, 107: E185
22 Buhaug H. Climate not to blame for African civil wars. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, 107: 16477–16482
23 王绍武. 公元 1380 年以来我国华北气温序列的重建. 中国科学 B 辑, 1990: 553–560
24 王绍武, 王国学, 赵作梅, 等. 公元 1380~1989 年长江黄河流域的旱涝变化. 见: 王绍武, 黄朝迎, 等著. 长江黄河旱涝灾害发生规律及其经济影响的诊断研究. 北京: 气象出版社, 1993. 41–54
25 李克让. 华北平原旱涝气候. 北京: 科学出版社, 1990
26 萧凌波, 方修琦, 黄欢, 等. 1780~1819 年华北平原水旱灾害社会响应方式的转变. 灾害学, 2011, 26: 83–87
27 萧凌波, 叶瑜, 魏本勇. 气候变化与清代华北平原动乱事件关系分析. 气候变化研究进展, 2011, 7: 253–258
28 得勒洪, 鄂尔泰, 张廷玉, 等. 清实录(第 1~60 册). 北京: 中华书局, 1985–1987

29 IPCC. Working Group II Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 2007. http://www.ipcc.ch
30 Myers N. Environmental refugees in a globally warmed world. Bioscience, 1993, 43: 752–761
31 Reuveny R. Climate change-induced migration and violent conflict. Polit Geogr, 2007, 26: 656–673
32 Smith P J. Climate change, mass migration and the military response. Orbis, 2007, 51: 617–633
33 Saldaña-Zorrilla S O, Sandberg K. Impact of climate-related disasters on human migration in Mexico: A spatial model. Clim Change, 2009, 96: 97–118
34 Barrios S, Bertinelli L, Strobl E. Climatic change and rural-urban migration: The case of sub-Saharan Africa. J Urban Econ, 2006, 60: 357–371
35 Kevane M, Gray L. Darfur: rainfall and conflict. Environ Res Lett, 2008, 3: 1–10
36 Mortreux C, Barnett J. Climate change, migration and adaptation in Funafuti, Tuvalu. Glob Environ Change- Human Policy Dimens, 2009, 19: 105–112
37 谭其骧. 中国历史地图集(第 8 册·清时期). 北京: 中国地图出版社, 1987
38 牛平汉. 清代政区沿革综表. 北京: 中国地图出版社, 1990
39 郭松义. 清代粮食市场和商品粮数量的估测. 中国史研究, 1994: 40–49
40 邓亦兵. 清代前期内陆粮食运输量及变化趋势. 中国经济史研究, 1994: 80–92
41 李文治, 江太新. 清代漕运. 北京: 社会科学文献出版社, 2008
42 方修琦, 叶瑜, 曾早早, 极端气候事件-移民开垦-政策管理的互动. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36: 680–688
43 Ye Y, Fang X Q, Khan A. Migration and reclamation in Northeast China in response to climatic disasters in North China over the past 300 years. Regional Environ Change, 2012, 12: 193–206
44 萧凌波, 方修琦, 叶瑜. 清代东蒙农业开发的消长及其气候变化背景. 地理研究, 2011, 30: 1775–1782
45 萧凌波, 黄欢, 魏柱灯. 华北 1743~1744 年与 1876~1878 年旱灾中的政府粮食调度与社会后果对比. 灾害学, 2012, 27: 101–106
46 Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Glob Environ Change-Human Policy Dimens, 2006, 16: 293–303
47 张兰生, 方修琦, 任国玉. 全球变化. 北京: 高等教育出版社, 2000
48 GECAFS (Global Environmental Change and Food Systems). Report 1: Science Plan and Implementation Strategy. 2005. http://www.gecafs.org
49 郑景云, 郑斯中. 山东历史时期冷暖旱涝状况分析. 地理学报, 1993, 48: 348–356
50 葛全胜, 郑景云, 方修琦, 等. 过去 2000 年中国东部冬半年温度变化. 第四纪研究, 2002, 22: 166–173
51 张德二, 刘传志. 北京 1724~1903 年夏季月温度序列的重建. 科学通报, 1986: 597–599
52 张丕远. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996
53 梁方仲. 中国历代户口、田地、田赋统计. 北京: 中华书局, 2008
54 曹树基. 中国人口史(第 5 卷·清时期). 上海: 复旦大学出版社, 2001
55 中央气象局气象科学研究院. 中国近五百年旱涝分布图集. 北京: 地图出版社, 1981
56 赵冈, 刘永成, 吴慧, 等. 清代粮食亩产量研究. 北京: 中国农业出版社, 1995
57 吴慧. 清前期北京、河北地区粮食亩产蠡测. 北京社会科学, 1997, (4): 32–39
58 石涛, 马国英. 清朝前中期粮食亩产研究述评. 历史研究, 2010: 143–155
59 薛刚. 从人口、耕地、粮食生产看清代直隶民生状况——以直隶中部地区为例. 中国农史, 2008: 60–68
60 Yin P H, Fang X Q, Yun Y R. Regional differences of vulnerability of food security in China. J Geogr Sci, 2009, 19: 532–544
61 Li L M. Fighting Famine in North China: State, Market, and Environmental Decline, 1690s–1990s. Stanford: Stanford University Press, 2007
62 李文海. 义和团运动史事要录. 济南: 齐鲁书社, 1986
63 张德二. 中国南部近 500 年各季温度变化的若干特征. 科学通报, 1980: 270–272
64 沈小英, 陈家其. 太湖流域的粮食生产与气候变化. 地理科学, 1991, 11: 207–212
65 郑景云, 葛全胜, 郝志新, 等. 1736~1999 年西安与汉中地区年冬季平均气温序列重建. 地理研究, 2003, 22: 343–348
66 张德二, 刘月巍. 北京清代"晴雨录"降水记录的再研究——应用多因子回归方法重建北京 1724~1904 年降水量序列. 第四纪研究, 2002, 22: 199–208
67 郑景云, 郝志新, 葛全胜. 黄河中下游地区过去 300 年降水变化. 中国科学 D 辑：地球科学, 2005, 35: 765–774
68 张德二. 相对温暖气候背景下的历史旱灾——1784~1787 年典型灾例. 地理学报, 2000, 55(增刊): 106–112
69 曾早早, 方修琦, 叶瑜, 等. 中国近 300 年来 3 次大旱灾的灾情与原因比较. 灾害学, 2009, 24: 116–122

70 张家诚. 气候变化对中国农业生产的影响初探. 地理研究, 1982, 1: 8–15
71 王春乙. 农业气象灾害影响评估与风险评价. 北京: 气象出版社, 2010
72 魏丕信(法). 十八世纪中国的官僚制度与荒政. 南京: 江苏人民出版社, 2006
73 颜廷真, 陈喜波, 韩光辉. 清代热河地区盟旗和府厅州县交错格局的形成. 北京大学学报(哲学社会科学版), 2002, 39: 108–115
74 曹树基. 中国移民史(第 6 卷·清 民国时期). 福州: 福建人民出版社, 1997
75 邓辉. 从自然景观到文化景观——燕山以北农牧交错地带人地关系演变的历史地理学透视. 北京: 商务印书馆, 2005
76 邹逸麟. 明清时期北部农牧过渡带的推移和气候寒暖变化. 复旦学报(社会科学版), 1995: 25–33
77 赵英兰. 清代东北人口的统计分析. 人口学刊, 2004: 49–53