

清代以来华北平原作物熟制演变重建与驱动力分析

李士成¹, 刘亚婷¹, 李建蕊¹, 张学珍^{2,3}

(1. 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所
中国科学院陆地表层格局与过程重点实验室, 北京 100101;
3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 历史土地集约利用重建是深入探究气候变化机制和影响的基础。本文从地方志和期刊论文中提取了清代以来华北平原不同地区(点)、不同时段作物熟制及种植组合信息, 据此重建了清代、中华民国(1912—1949年)、20世纪50年代、20世纪60年代、20世纪70年代、20世纪80年代以来6个时段华北平原作物熟制及主要种植组合的时空演变, 并探讨了其驱动力。结果表明: ① 清代至20世纪50年代华北平原作物熟制较稳定, 以一年一熟和两年三熟为主, 一年一熟主要集中在平原北部, 两年三熟则多分布在河南和山东省。在灌溉和农业技术的驱动下, 20世纪60—70年代华北平原大部分地区作物熟制演进为一年两熟、一年两熟与两年三熟混合, 20世纪80年代以来则以一年两熟为主。② 清代至20世纪50年代华北平原作物种植组合较稳定, 一年一熟主要为谷、高粱等作物春种秋收, 两年三熟作物组合以春玉米、冬小麦、豆类为主。20世纪60年代以来, 一年两熟制作物组成在山东、河南、河北为冬小麦—夏玉米, 在淮北为冬小麦—水稻; 两年三熟制作物组合中夏作物由豆类发展成玉米/谷类。③ 清代以来, 华北平原始终具备发展两年三熟、一年两熟的热量条件。热量变化并不是驱动华北平原清代以来熟制演变的主导因素, 1949年中华人民共和国成立以来农业生产条件的改善和生产关系的变革推动了多熟制的快速发展。

关键词: 华北平原; 过去300 a; 作物熟制; 种植组合; 时空变化

DOI: 10.11821/dlxb202403013

1 引言

过去几百年来, 人类土地利用活动显著改变了地球表面的土地覆被^[1], 引发的生物多样性减少、生态系统功能下降及气候变暖等问题对人类的生存和发展带来了巨大威胁^[2-3]。为了应对当前碳排放、气候变化和粮食安全等压力, 助力联合国2030可持续发展目标早日实现, 我们需要对过去几百年甚至更长时间序列的人类土地利用活动有一个更为清晰的认识, 以科学地应对上述气候和环境问题。全球环境变化、历史地理、土地资源管理等领域的诸多学者对此予以高度重视^[4-7]。

在Future Earth (<https://futureearth.org/>)、PAGES (<https://pastglobalchanges.org/>)等国际科学计划和IPCC (<https://www.ipcc.ch/>)等政府间机构的推动下, 已有大量国内外学者对过去几百年甚至整个全新世的土地利用开展了定量重建, 并研制了格网化的历史土地利用数据产品^[2, 8-9]。例如, Goldewijk等^[10-11]以人口为代用指标估算了全新世的土地利

收稿日期: 2023-12-04; 修订日期: 2024-03-10

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF0801103) [Foundation: National Key R&D Program of China, No.2022YFF0801103]

作者简介: 李士成(1989-), 男, 山东临沂人, 副研究员, 主要从事历史土地利用变化研究。E-mail: lisc@cug.edu.cn

通讯作者: 张学珍(1981-), 男, 山东济宁人, 研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: xzzhang@igsrr.ac.cn

用规模,并量化地形及气候等因素对土地利用的影响构建模型进行空间重建,于2023年发布了数据集最新版本HYDE 3.3。此外, KK10^[12-13], SAGE^[14-15], PJ^[16], LUH^[17-18]等全球历史土地利用数据集也引发了广泛讨论^[19]。基于上述数据集的研究表明,人类近几百年的土地利用活动是生物多样性丧失^[20]、大气中二氧化碳含量显著升高^[21]和全球温度升高^[22]的主要原因之一。就国内而言,除历史地理学者的重建成果^[23-25]外,近些年也陆续涌现一些格网化的历史土地利用数据集,多数聚焦在数据可得性较高的近几百年^[26-31],少数覆盖了过去千年甚至更长的时间序列^[32-34]。何凡能等基于历史文献估算了中国过去千年的耕地面积,并研制了耕地空间数据集^[32],其精度要高于HYDE等全球数据集^[35]。方修琦等基于大量前人成果,总结分析了过去2000 a中国农耕区拓展与垦殖率变化的基本特征^[6]。

上述重建工作作为定量认识中国历史土地利用变化及其生态环境效应提供了坚实的基础。然而目前的工作虽然估算了历史时期耕地面积,甚至重建了空间分布,但对中国过去作物熟制、灌溉耕地等反映土地集约利用水平指标的定量重建却鲜有涉及^[8]。这限制了对长时间序列人类土地利用强度时空变化特征及其生态环境效应的全面认识。虽然有学者基于史料在历史地理和农史领域开展了相关的研究,但仅限于少数地区(点)和时段,鲜见区域性耕地集约利用重建研究。例如,李令福^[36]通过分析曲阜孔府档案等资料,分析了山东省明末至清代的作物熟制。王大宾^[37-38]通过分析清代人口记录及河南史志等资料,将清代河南人地关系分为人少地多的清早期阶段及耕地几无增加而人口激增的人地关系日益紧张的清中后期阶段。徐秀丽^[39]对冀鲁豫3省的轮作复种制加以探讨,认为两年三熟是该地区自明清以来主要的种植形式,近代由于灌溉条件的改善和人口压力的增加,一年两熟的土地有所扩展。王保宁^[40]通过分析中华民国年间的地方志和调查资料,发现清末至中华民国,山东平原区仍以两年三熟制为主体,但出现固定的小麦—黄豆复种组合。

有鉴于此,在系统收集地方志和期刊论文中相关资料的基础上,本文尝试将前人的历史土地利用重建工作进一步推进,聚焦具有悠久农史的华北平原这一典型地区,对作物熟制这一反映土地集约利用水平的重要指标进行历史重建,并尝试分析清代以来作物熟制演变的驱动力。希冀研究成果能从长时间序列土地集约利用及其生态环境效应的视角为当前气候和生态环境问题的应对提供科学支撑。

2 研究区概况

华北平原是中国第二大平原,北抵燕山南麓,南到淮河,西倚太行山—伏牛山,东临渤海和黄海,面积达 $4.0 \times 10^5 \text{ km}^2$,跨越河北、山东、河南、安徽、江苏、北京、天津7个省市(图1)。平原大部属于暖温带半湿润、湿润季风气候,四季分明。热量和光照充足,无霜期为190~220 d。年降雨量为500~900 mm,空间上由东南向西北递减,时间分布亦不均,主要集中在7—9月。平原地势平坦,海拔多在50 m以下。作为典型的冲积平原,其土壤肥沃,河湖众多,其人口和耕地面积约占全国的1/5,以旱作农业为主,旱地面积约占全国的1/3,主要种植农作物包括冬小麦、玉米和棉花等。

3 数据与方法

3.1 数据来源

本文重点采集清代以来华北平原各个县域的作物熟制及其主要作物种植组成与时空

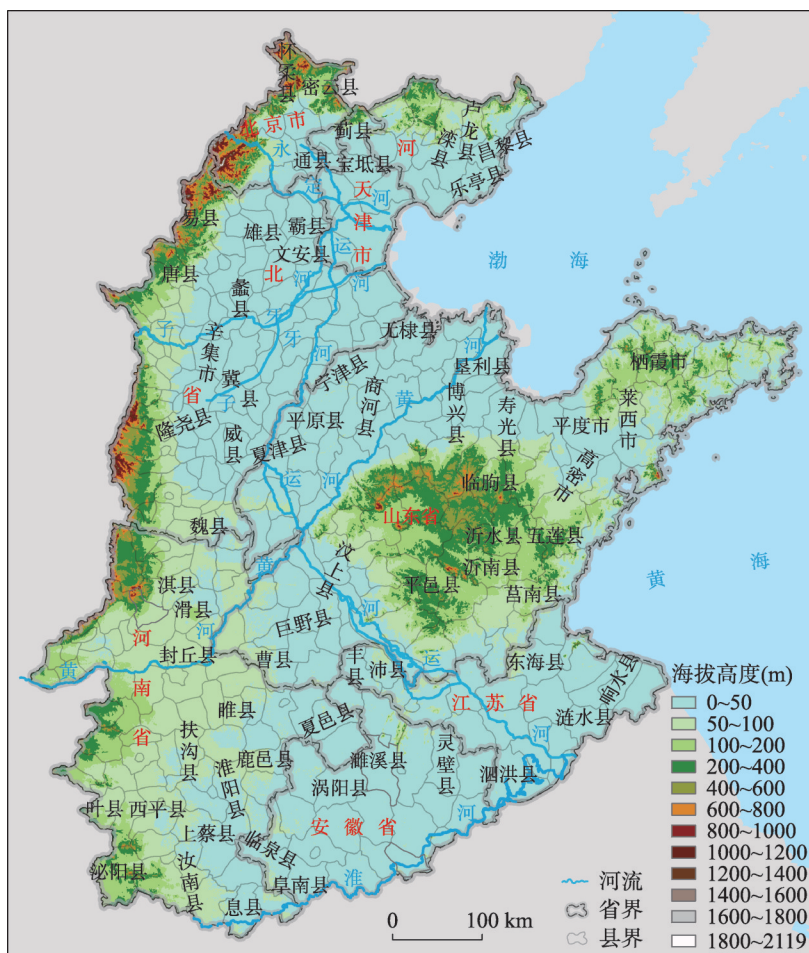


图1 华北平原位置图

Fig. 1 Location of the North China Plain

配置方面的信息，数据主要来源于地方志与期刊论文中发表相关资料。作为记叙某一政区自然、政治、经济、文化、社会的历史与现状的资料性文献，地方志蕴含较多的第一手资料和相对可靠的史实。在地方志的农业有关章节记录了每个县域的农业发展状况，其中包括耕作制度、种植制度及农技农艺等。本文共计翻阅245本地方志，从中采集了与作物熟制、种植组合、时空配置相关的记录245条，部分示例如表1。

此外，本文以“作物熟制”“种植制度”“耕作制度”等内容关键词、“有清一代”“清代”“民国”“过去300年”“历史时期”等时间关键词，“华北平原”“河南”“山东”“河北”等空间关键词进行组合，从中国知网等平台检索已公开发表的研究论文，并对检索到的论文逐篇进行人工阅读筛选，最终得到相关论文约111篇。其中超过72%的论文来自《中国农史》(34%)、《中国历史地理论丛》(15%)、《古今农业》(17%)、《农业考古》(5%)和《历史地理》(1%)等农史和历史地理学期刊。从中采集了前人汇编整理并考证过的华北平原62个县(区)的作物熟制及作物组成和时空配置相关的记录85条。

最后，本文进一步分析了清代以来作物熟制演化的驱动力，需要用到温度数据和农业生产条件数据。其中1961—2021年全国逐日日平均温度数据(CN05.1格点化观测数据

表 1 华北平原部分县作物熟制及其种植组合和时空配置相关记录示例

Tab. 1 Examples of records related to cropping intensity, crop combinations and space-time arrangement in counties of the North China Plain

县志	熟制及作物种植记录
《望都县志》	1949年前, 县内农作物基本一年一熟, 少部分两年三熟。农业合作化后, 随着生产条件的改变, 冬小麦面积逐年增加。从20世纪60—70年代初, 随着农田基本建设发展, 生产条件和技术水平提高, 夏粮食作物特别是夏玉米面积不断增加, 甘薯、谷子、豆类、棉花种植面积逐年减少。1970年开始推广杂交玉米品种, 夏玉米的播种面积进一步增加, 耕作制度发展为一年两熟。20世纪80年代随着农村经济体制的不断改革和生产力水平的不断提高, 耕作制度普遍一年两熟。
《宁津县志》	1949年前, 宁津县农作物种植多采用草田轮作制。1949年采用两年三熟制的占全县耕地总面积的65.1%, 后逐年减少, 到20世纪70年代仅占全县耕地的16.2%。1984—1987年降为2.5%。中华人民共和国建立初期一年一作制占耕地面积的21%, 后逐渐增加, 20世纪70年代增至全县耕地的31.5%。1987年为41%。1949年一年两作制仅占全县耕地的12.4%, 20世纪70年代成为作物种植制度的主体, 平均占全县耕地的45.5%。1987年为41%。
《沂水县志》	1949年前, 县内作物是单一的净作, 一年一熟制或两年三熟制。一年一作的作物主要是地瓜、花生、棉花, 两年三作主要是小麦—大豆—高粱(谷)或小麦—地瓜—花生。1950年后, 一年一作面积逐年减少, 一年两作或两年三作逐年增加。复种指数由1949年123.3%提高到142.0%。一年两熟制的种植作物主要是小麦—夏玉米, 约占60%, 其次是小麦—夏地瓜, 小麦—夏谷子; 两年三熟以小麦—夏地瓜—春花花生或春玉米—小麦—夏地瓜。一年一熟的作物主要是春地瓜、春花花生。1984年以来, 全县种植方式变化很小, 只是一年多作、一年两作面积稍有增加, 到1990年复种指数为143.0%。

集)来源于国家气象信息中心2400余个国家级台站(基本、基准和一般站)的日观测数据^[41]。1901—2021年全球逐月月平均温度数据来源于全球气象数据CRU TS (<https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit>)。1000—2000年北半球年度近地表温度数据来源于Fang等^[42] (<https://poles.tpdc.ac.cn/en/>)。农业生产条件数据, 其中河南省农田有效灌溉面积、农业机械总动力、化肥施用量数据来自于《河南统计年鉴》(1985年); 山东省农田有效灌溉面积、农业机械总动力数据来自于《山东农村统计年鉴》(1999年)。

3.2 研究方法

3.2.1 作物熟制及主要作物种植组合重建 通过对文献记录逐条判读, 从地方志和期刊论文中, 共计采集到330条县域作物熟制及其种植组合和时空配置的记录。针对这些记录本文开展如下处理与分析。

(1) 重建的阶段划分。综合考虑农业生产力水平与生产关系及气候变化等因素, 本文对研究时段进行阶段性划分。从清代到新中国时期, 华北平原农业生产力与生产关系经历了明显转变。清代是传统农耕技术与地主—佃农关系, 而新中国农业生产力水平发展空前, 实行土地公有制。同时, 清代以来气候经历了由小冰期到现代暖期的转变, 转折点大致发生在19世纪末。综合农业生产力水平和生产关系的变化及气候变化的阶段性特征, 再结合历史记录数量由古及今越来越多的特征, 本文将清代和中华民国分别作为一个独立研究时段, 将1949年中华人民共和国成立以来大致每10 a作为一个研究时段, 以清晰揭示各个阶段作物熟制的特征。新中国以来的阶段划分具体包括: 20世纪50年代耕作制度的恢复发展阶段——继承传统的技术经验并参考应用外国经验, 20世纪60年代徘徊发展阶段——改善条件、理顺资源和耕作制度的关系来提高产量, 20世纪70年代快速发展阶段——农业生产条件大大改善, 农业生产力迅速提高, 和20世纪80年代以来的创新和全面发展阶段——全国进行了大规模、全局性的耕作制度改革^[43-44]。

(2) 政区变迁的处理。总体来说，自清代以来中国县（区）级行政区划较为稳定，但本文分析的6个时段也存在少数县区拆分、合并、更名。具体而言，在本文涉及的县（区）中，1956年清平县建制撤销，其辖区分别划归临清县和高唐县、茌平县；现在的安新县在清朝时分别是安州和新安县，1832年新安县并入安州，1913年安州改为安新县；汲县更名为卫辉市、河内县更名为沁阳市、束鹿县更名为辛集市、德平县更名为临邑县等。参考《中国历史地图集》（第八册：清时期）^[45]以及政区变迁相关史料，将330条记录中涉及的上述县（区）分别和现代政区进行对应。

经过上述处理，从摘录的330条记录中提取了华北平原210个县（区）的作物熟制及主要作物种植组合等信息，重建了清代以来华北平原县域作物熟制及其种植组合演化数据库，举例如表2所示。以此为基础，分别分析了华北平原各时段作物熟制及主要作物种植组合的空间分布及其演化特征。

表2 华北平原清代以来部分县作物熟制及其组合数据示例
Tab. 2 Examples of cropping intensity and crop combinations in counties of the North China Plain since the Qing Dynasty

县(区)	时间	熟制	作物组合
东平	清代及中华民国	一年一熟/两年三熟	地瓜、花生、棉花/小麦—大豆—高粱
	1950年后	一年两熟	小麦—夏玉米
夏津	1949年后	一年一熟	以棉田为主/缺乏水源的瘠薄粮田
		一年两熟	麦收后种夏玉米、夏谷、大豆或地瓜、花生之类
沂水	1949年前	一年一熟/两年三熟	棉花、春花生/小麦、高粱，夏大豆
	1950年后	一年两熟	小麦，夏玉米、夏大豆
辛集	20世纪50年代前期	一年一熟	单季种植小麦、玉米、棉花等
	20世纪50年代中期后	一年两熟	夏、秋两季种植
顺义	清末—20世纪50年代中期	一年一熟	春玉米
	20世纪50年代末	两年三熟	冬小麦—夏玉米—春小麦
	20世纪70年代后期	一年两熟	冬小麦—夏玉米
沁阳	20世纪50年代	两年三熟	秋播以小麦为主；春播以玉米，谷子，棉花、高粱为主，夏播以大豆、芝麻为主
	20世纪60—70年代后	一年两熟	小麦—玉米
沛县	20世纪50年代前	两年三熟	小麦—夏豆—冬闲，翌年春高粱、谷子或春山芋、棉花等
	20世纪60年代	一年两熟/两年三熟	一年两熟(小麦、夏玉米、夏大豆等)
	20世纪70年代	一年两熟/两年三熟	沿湖地区大都一年两熟(小麦—水稻)为主，西部沙土地地区仍以两年三熟为主
	20世纪80年代后	一年两熟	沙土地地区也演变为一两年两熟(麦—夏玉米、大豆、山芋等)为主兼有两年三熟

3.2.2 作物熟制演变的驱动力分析 从热量状况和农业生产率两个方面初步分析清代以来作物熟制演变的驱动力。当日平均气温稳定上升到10℃以上时，大多数农作物才能活跃生长。中国通常采用日均温≥10℃积温来反映各气候带的热量状况^[46]。采用农田有效灌溉面积、农业机械化水平、化肥施用量以及生产关系的变革等指标来表征农业生产率。

基于1961—2021年全国逐日日均温数据，可以得到华北平原1961—2021年每个气象站点≥10℃年积温值，据此绘制出华北平原20世纪60年代、20世纪70年代、20世纪80年代后这3个时段的≥10℃年积温空间分布图。针对中华民国、20世纪50年代两个时段

(大致 1901—1960 年) 的年积温空间分布, 全球气象数据 CRU TS 提供了 1901—2021 年全球月平均温度数据, 因此对华北平原 1961—2021 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温与 CRU TS 的月平均温度进行逐网格的逐步回归, 以此计算华北平原 1901—1960 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温值, 进而绘制出中华民国、20 世纪 50 年代两个时段的年积温空间分布图。结果表明华北平原有近 70% 的网格 1961—2021 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温与 CRU TS 月平均温度间的逐步回归的修正可决系数 R^2 在 0.7 以上, 表明回归方程拟合度较好, 可以用其计算华北平原 1901—1960 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温值。针对清代 (大致 1700—1900 年) 的年积温空间分布, 基于 1000—2000 年北半球年度近地表温度数据集^[42], 逐网格开展华北平原 1961—2000 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温与年均温的回归分析, 以此计算华北平原 1700—1900 年与 1961—2000 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温值的差值, 在 1961—2000 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温空间分布和差值的基础上绘制出清代的年积温图。最后将各时期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温空间分布图与作物熟制空间分布图叠加, 探讨作物熟制演化与温度变化的关系。

4 结果与分析

4.1 华北平原作物熟制及其种植组合的演化过程特征

(1) 清代。华北平原以一年一熟和两年三熟为主 (图 2a)。其中, 一年一熟制主要分布于平原北部, 包括河北省中部、北部及北京市、天津市, 如滦县、丰润县、顺义县、兴隆县等县 (区)。这一地区位居北端, 是整个华北平原热量最低的地区, 作物生长期较短, 盛行春种秋收的一年一熟制, 一般 4 月份播种, 8 月份收割 (图 3r1)。春季多种谷、高粱、玉米、豆类、地瓜、花生等粮食作物, 其中以谷、高粱种植面积最广, 秋收后歇地。

此外, 一年一熟制还分布在华北平原中南部临河低洼易涝地区, 如河北省中部白洋淀区域, 历史上称西淀, 包括其周边的雄县、宝坻县、武清县、霸县等。受季风气候影响, 华北平原降雨多集中于夏季的 7—9 月, 低洼区易遭受季节性水灾侵袭, 积水及秋才能消退, 导致普通夏播作物很难保收, 故这类地区一般实行“一水一麦”制, 即每年只种一季小麦, 前一年 10 月播种, 至次年 6 月中旬收割 (图 3r2), 之后通过伏耕休闲接纳雨水, 秋季及早耙檐保墒, 为适时种好小麦打下基础, 一年一熟, 稳收一季冬小麦。

清代两年三熟制主要分布在河北省南部、河南省、山东省大部地区 (图 2a)。这些区域热量资源较北部丰富, 水土条件较好, 麦作条件优越, 形成了以冬小麦为核心, 搭配一季春作物和夏作物的两年三熟轮作制度。多为清明前后 (4 月初) 播种玉米、谷子、高粱等作物, 及 8—9 月份收割, 之后 9—10 月播种冬小麦, 次年 5—6 月收割冬小麦, 麦收后种植大豆、地瓜等作物, 9 月下旬—10 月中旬收获, 冬季土地休闲, 待翌年春天播种春作物, 由此形成两年三熟 (图 3r3)。

(2) 中华民国。从清代到中华民国, 农田水肥条件并没有得到太大改观, 干旱缺水依然是制约当地农业进步的主要问题, 作物熟制在空间上的表现大体与清代时期一致, 仍以一年一熟、两年三熟为主 (图 2b)。其中, 一年一熟仍主要分布于华北平原北部、临河低洼易涝地区。山东省、河南省及淮北部分县域也存在一年一熟制, 与两年三熟制一同构成这些县主要的作物熟制类型。其中, 一年一熟制除表现为上述一年一收的春播秋收外, 在山东、河南两省由于棉花的广泛种植, 一年一熟还体现为棉田连作, 如夏津县、东平县、沂水县等, 棉田一年种植一季棉花; 淮北一年一熟制则还表现为稻区一年

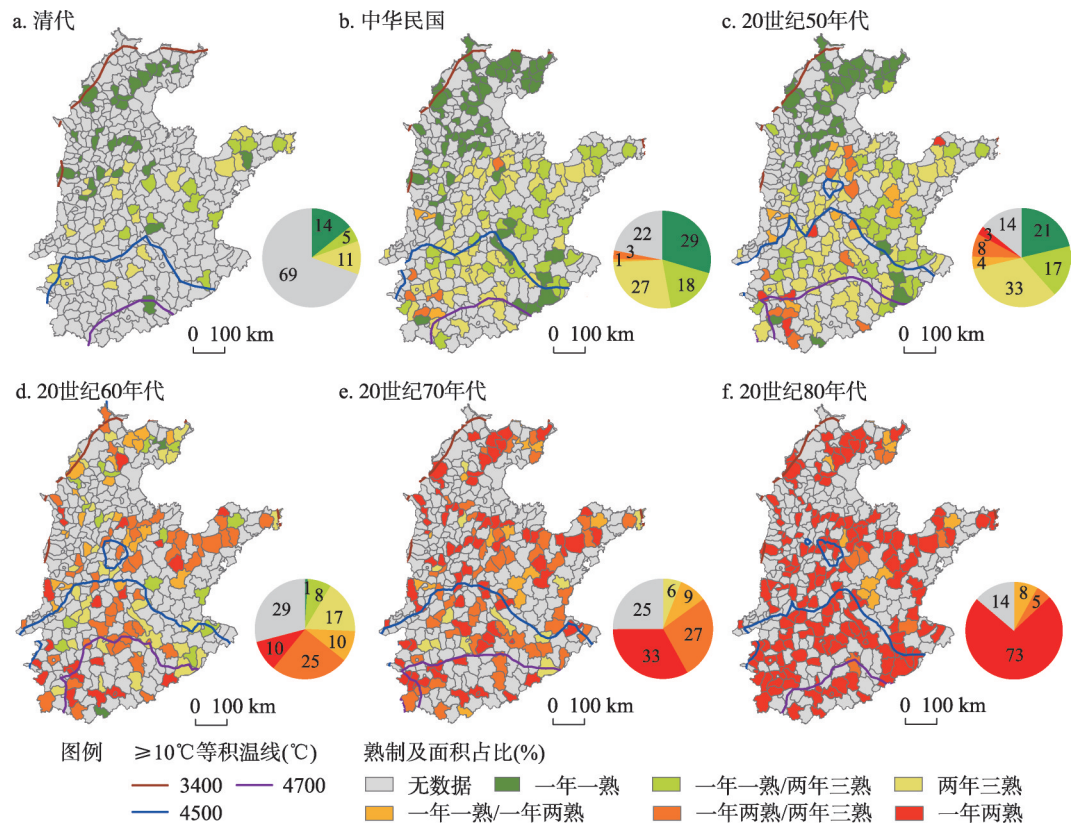


图2 清代以来华北平原积温和作物熟制空间分布及面积占比

Fig. 2 Spatial distribution and proportion of each cropping intensity and accumulated temperature in the North China Plain since the Qing Dynasty

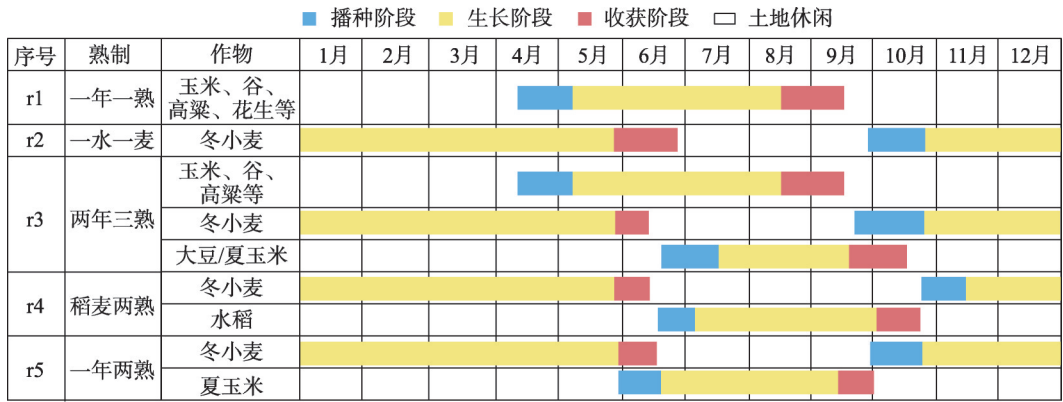


图3 华北平原各作物熟制的作物配置

Fig. 3 Crop combinations of each crop intensity in the North China Plain

一熟，种植一季水稻后休闲，如洪泽县、光山县等。在部分山地丘陵区，如山东鲁南山区平邑县、胶东山区栖霞县，土层浅薄贫瘠，热量资源相对不足，也多为一年一熟。

这一时期两年三熟制也主要分布于河北省南部、安徽省淮河以北、河南省及山东省大部分区域，其作物种植组合同清代一致。但相较于清代，中华民国山东省个别县域由一年一熟向两年三熟发展，河南省南部少数县域出现了一年两熟。

(3) 20 世纪 50 年代。华北平原北部仍以一年一熟制为主,而在中部及南部两年三熟、一年两熟制略有增加(图 2c)。在山东省西部、河南省南部等水土条件好的地区出现了一年两熟制,如鲁西北平原地区的济阳县、商河县及平原县等。这一时期,以两年三熟制为主和出现一年两熟制的县(区)分别由中华民国的 27% 和 4% 提高到 33% 和 15% (图 2b~2c),多熟制越来越普遍。这一时期各种熟制的作物种植组合同中华民国基本一致。

(4) 20 世纪 60 年代。随着兴修水利等农田基本建设的发展、灌溉等农业耕作技术的提高,华北平原多数地区,特别是山东、河南及淮北,由传统的两年三熟向一年两熟转换,形成以一年两熟/两年三熟为主的熟制类型(图 2d)。这一时期的两年三熟制相较于清代至 20 世纪 50 年代的两年三熟制,作物组合中夏作物发生了一定变化,由传统的麦收后大多复种豆类作物养地转向麦收后播种玉米、谷类作物,即第一年春季清明前后(4 月初)播种春玉米、谷子、高粱等春播作物,及 8—9 月份收割,之后 9—10 月播种冬小麦,第二年 5—6 月收割冬小麦,麦收后种植夏播玉米,9 月下旬至 10 月中旬收获,冬季土地休闲,待翌年春天播种春作物 4 月初(图 3r3)。

一年两熟制的分布已经突破“怀柔—密云”一线,含一年两熟的县域占比也由 20 世纪 50 年代的 15% 提升至 45%。一年两熟制作物种植组合在山东、河南省表现为以小麦复种夏玉米为主。20 世纪 60 年代中期,大多地区为解决当地一年两熟积温不足问题,推广麦田套种,改夏玉米、夏花生、夏地瓜麦收后直播为麦收前套播。一般为冬小麦在前一年的 10 月初播种,次年的 6 月上中旬收获,夏玉米在 5 月底播种,9 月底收获。充分利用了光热和土地资源,提高了农作物产量。而淮北多数地区由于在 20 世纪 60 年代推行旱改水、扩大水稻种植,逐步形成了以小麦—水稻为主的水旱轮作,一般在 6 月初左右收获上一年播种的冬小麦,6 月中下旬播种水稻,及 10 月中下旬收获水稻,之后 10 月下旬—11 月上旬播种冬小麦(图 3r4),由此形成一年两熟。因此淮北地区一年两熟制主要为水田实行稻麦两熟,旱地实行小麦—夏玉米,小麦—山芋、小麦—大豆等一年两熟。

此外,华北平原北部包括北京、天津市及河北省中部、北部,如蓟县、卢龙县、文安县、丰润县、易县等县(区)的熟制主要为一年一熟与两年三熟混合、一年一熟与一年两熟混合(图 2d)。这些地区同样受到灌溉的发展、农耕技术的提高等影响,多由中华人民共和国建立前及初期的一年一熟向两年三熟、一年两熟转换。在土质贫瘠的山区和丘陵区,仍以谷子、高粱、豆类、芝麻等一年一熟制作物为主,春种秋收,秋收后歇地。在土质较好的平原地块,随着水浇地面积的增加,谷子、高粱、豆类作物逐年减少,夏粮玉米面积不断发展,两年三熟、一年两熟同时发展增加,与一年一熟混合形成县域的作物熟制类型。

(5) 20 世纪 70 年代。这一时期随着大规模的农田水利建设、地下水开发和地表水的充分利用,水浇地面积持续扩大,小麦、玉米等高肥水作物种植面积不断增加。因此,在 20 世纪 60 年代的基础上,20 世纪 70 年代华北平原一年一熟、两年三熟进一步向一年两熟发展,以一年两熟制为主的县域单元占比达到了 33%,一年两熟与两年三熟的混合县域单元占比达 27%,且它们的分布范围较 20 世纪 60 年代向北扩张至河北省中部(图 2e)。

这一时期两年三熟、一年两熟的作物组合与 20 世纪 60 年代一致。山东、河南及河北省一年两熟制以小麦复种夏玉米为主,此外,随着麦棉套种这一新的栽培种植方式的出现,打破了历史上一年一熟的常规种植方式,实现了一年麦棉两熟的耕作。在山东、河

南省部分棉田区域如东光县、丰县、临泉县、西华县等县(区),则广泛实行了麦棉套作,在棉田里套种小麦,实行一年两熟。淮北地区一年两熟仍以小麦—夏玉米、小麦—水稻为主。

在华北平原北部少数地区仍存在一年一熟与一年两熟的混合熟制类型。县域内条件较好的平原地块已发展为一年两熟制,贫瘠山地地块仍为春种秋收的一年一熟制。

(6) 20世纪80年代以来。与前一个时期相比,华北平原一年一熟、两年三熟制面积进一步下降,以一年两熟制为主的县区数量显著增加,增至73%(图2f)。华北平原熟制实现以一年两熟制为主体,伴随有小部分的一年一熟/一年两熟、一年两熟/两年三熟制。20世纪80年代以来,随着农村经济体制改革,农民有了土地经营自主权,对农作物的结构与布局做出合理调整,大面积实行一年两熟间作套种制。

在山东、河南、北京、天津、河北绝大部分区域实行小麦—夏玉米、小麦—大豆、小麦—谷子等一年两熟,其中以小麦复种夏玉米最为广泛。作物种植组合即为冬小麦在前一年的10月初播种,次年的6月上中旬收获,夏玉米在麦收之时播种,9月底收获(图3r5)。在淮北地区则实行水田为水稻—冬小麦一年两熟,旱地为小麦—夏玉米、小麦—大豆等一年两熟。

少部分的一年一熟、两年三熟主要分布在华北平原北部部分县域的深山区,如乐亭县、昌黎县、滦南县等县(区)、山东省中部沂蒙山地丘陵区 and 东部山地丘陵区如沂源县、平邑县、临邑县等县(区),由于受地势和热量条件的影响,县域山地地块仍为春种秋收的一年一熟制或以冬小麦为核心的两年三熟制,与县域内平原地块上实行的小麦—夏玉米一年两熟一同构成该县的种植制度。

总体而言,华北平原自清代以来,作物熟制经历了由一年一熟、两年三熟向一年两熟的发展,主要作物组合也随着熟制的转换相应变化,目前基本上稳定了以小麦—夏玉米、小麦—水稻为主的一年两熟制。

4.2 作物熟制演化的驱动力分析

各时期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温与作物熟制空间分布关系如图2所示。清代以来华北平原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温主要介于 $3400\sim 4700^{\circ}\text{C}$ 之间,其中 $3400\sim 4500^{\circ}\text{C}$ 所占面积较大,主要分布在华北平原北部及中部大域;积温 $4500\sim 4700^{\circ}\text{C}$ 则主要分布在华北平原南部。清代以来,华北平原 3400°C 等积温线变化不大,而 4500°C 和 4700°C 等积温线表现出一定的上下波动,总体向北移动。由于积温不同,满足作物生长的热量不同,熟制也相应不同,理论上 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 4500^{\circ}\text{C}$,作物熟制以一年两熟为主; $3400\sim 4500^{\circ}\text{C}$ 作物熟制可两年三熟或一年两熟^[47],表明清代以来,华北平原始终具备发展两年三熟、一年两熟等多熟制的热量条件。

从图2能够看出,清代至20世纪50年代华北平原 4500°C 和 4700°C 等积温线持续北移,但熟制演变则较为缓慢,华北平原北部始终是一年一熟为主(图2a~2c)。而20世纪60—70年代, 4500°C 和 4700°C 等积温线南北波动,但熟制却快速演变,20世纪80年代华北平原全域几乎实现一年两熟制(图2d~2f)。表明热量条件的变化并不是驱动华北平原清代以来熟制演变的主导因素。

进一步分析发现1949年以来华北平原农田有效灌溉面积、农业机械化水平和化肥施用量等农业生产条件得到极大改善。具体而言,1949—1978年山东和河南农田有效灌溉面积分别增长了16.8倍和7.6倍(图4a)。农田有效灌溉面积的快速增加促使华北平原农田从以旱地为主逐渐转变为以水浇地为主,小麦、玉米等高肥水作物的种植面积亦不断

增加。从农业机械化水平来看,山东省1952年农业机械总动力仅为1万kW,1985年达到2300.6万kW;河南省则从1952年的0.22万kW提升至1985年的1569.93万kW(图4b),这极大地提高了农业劳动生产率。河南省的化肥施用量自20世纪50年代亦持续增长,尤其在20世纪60年代后增长明显加快。1962年为8万t,1985年则达到了662.7万t,是1962年的82.8倍(图4c)。上述农业生产条件的大幅改善极大推动了华北平原一年一熟、两年三熟向一年两熟发展。同时随着20世纪80年代生产关系的变革,家庭联产承包责任制的普遍推行,农民有了充分的土地经营自主权,一年两熟的生产方式进一步扩大。

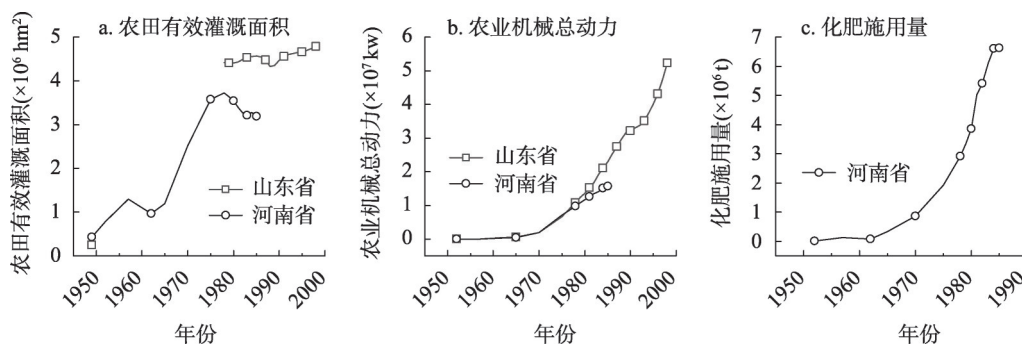


图4 1949年以来华北平原典型地区农业生产条件变化

Fig. 4 Changes in agricultural production conditions for typical area of the North China Plain since 1949

此外,需要指出的是,据相关县志记载,河北省北部部分县域,如正定县、霸县、高邑县及通县等,20世纪70年代中期曾大面积推行三种三收的条田种植法,盲目推广全部粮田全部麦,进一步将一年两熟发展为一年三熟。但由于积温、光照不足,劳力紧张,地力难以恢复和补充,出现夏减秋减的恶性循环,经济效益差,未能全面持续推广。说明华北平原热量状况能够满足一年两熟或两年三熟的农作需要,但尚不具备发展一年三熟制的气候基础。

5 结论与讨论

基于地方志和期刊论文等资料,本文重建了华北平原清代以来清代、中华民国、20世纪50年代、20世纪60年代、20世纪70年代、20世纪80年代以后共6个时段的作物熟制及主要作物种植组合的时空演化,并初步分析了作物熟制演变的驱动力,主要结论显示:

(1) 清代至20世纪50年代,华北平原作物熟制较为稳定,以一年一熟和两年三熟为主,一年一熟主要集中在华北平原北部,两年三熟多分布在河南和山东省。之后,水利工程和农业技术的显著进步驱动着多熟制的快速发展。20世纪60—70年代华北平原大部分地区熟制为一年两熟、一年两熟与两年三熟混合。20世纪80年代以后,则以一年两熟为主。

(2) 作物种植组合也随作物熟制的发展相应演进。清代至20世纪50年代,作物组合较为稳定,一年一熟主要为谷、高粱等作物春种秋收,两年三熟作物组合以春玉米、冬小麦、豆类为主。20世纪60年代以来,一年两熟制的作物组成在山东、河南、河北等地区为冬小麦—夏玉米,在淮北地区为冬小麦—水稻;两年三熟制的作物组合中夏作物由豆类发展成玉米、谷类等。

(3) 清代以来华北平原 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3400\sim 4700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,过去近300 a这里始终具备发展两年三熟、一年两熟的热量条件。热量的变化并不是驱动华北平原清代以来熟制演变的主导因素。中华人民共和国建立以来农田有效灌溉面积、农业机械化水平和化肥施用量等农业生产条件的改善和生产关系的变革推动了多熟制的快速发展。

与已有历史耕地面积估算和空间重建研究相比,本文在县域尺度上重建了清代以来华北平原作物熟制及主要种植作物组合的时空演化,并探讨了作物熟制演化的驱动力。研究方法和结果不仅为历史时期土地集约利用重建研究提供方法借鉴,而且为探究华北平原过去300 a耕地集约利用变化的气候和生态效应提供了基础数据。本文收集到的清时期作物熟制及其种植组合数据相对较少,未来若能进一步挖掘史料、充实清时期作物熟制及其种植组合信息,研究结论将更加可靠。此外,采用本文的方法,系统收集史料和考古资料等,将研究区拓展至全国的农区,并将重建时段延展至清朝以前,亦是未来的研究方向。

参考文献(References)

- [1] Ellis E C, Gauthier N, Klein Goldewijk K, et al. People have shaped most of terrestrial nature for at least 12000 years. *PNAS*, 2021, 118(17): e2023483118. DOI: 10.1073/pnas.2023483118.
- [2] Ellis E C. Land use and ecological change: A 12000 year history. *Annual Review of Environment and Resources*, 2021, 46(1): 1-33.
- [3] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [4] He Fanneng, Li Meijiao, Yang Fan. Main progress in historical land use and land cover change in China during the past 70 years. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2019, 34(4): 5-16. [何凡能, 李美娇, 杨帆. 近70年来中国历史时期土地利用/覆被变化研究的主要进展. *中国历史地理论丛*, 2019, 34(4): 5-16.]
- [5] Han Maoli. *Chinese Historical Agricultural Geography*. Beijing: Peking University Press, 2012: 13-47. [韩茂莉. *中国历史农业地理*. 北京: 北京大学出版社, 2012: 13-47.]
- [6] Fang Xiuqi, He Fanneng, Wu Zhilei, et al. General characteristics of the agricultural area and fractional cropland cover changes in China for the past 2000 years. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(7): 1732-1746. [方修琦, 何凡能, 吴致蕾, 等. 过去2000年中国农耕地拓展与垦殖率变化基本特征. *地理学报*, 2021, 76(7): 1732-1746.]
- [7] Gaillard M J, Sugita S, Mazier F, et al. Holocene land-cover reconstructions for studies on land cover-climate feedbacks. *Climate of the Past*, 2010, 6(4): 483-499.
- [8] Li S C, He F N, Liu X, et al. Historical land use reconstruction for South Asia: Current understanding, challenges, and solutions. *Earth-Science Reviews*, 2023, 238: 104350. DOI: 10.1016/j.earscirev.2023.104350.
- [9] Fang Xiuqi, Ye Yu, Zhang Chengpeng, et al. Cropland cover change and its environmental impacts in the history of China. *Journal of Palaeogeography*, 2019, 21(1): 160-174. [方修琦, 叶瑜, 张成鹏, 等. 中国历史耕地变化及其对环境的影响. *古地学报*, 2019, 21(1): 160-174.]
- [10] Goldewijk K K, Beusen A, van Dreht G, et al. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 73-86.
- [11] Klein Goldewijk K, Beusen A, Doelman J, et al. Anthropogenic land use estimates for the Holocene: HYDE 3.2. *Earth System Science Data*, 2017, 9(2): 927-953.
- [12] Kaplan J O, Krumhardt K M, Zimmermann N. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 2009, 28(27/28): 3016-3034.
- [13] Kaplan J O, Krumhardt K M, Ellis E C, et al. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *Holocene*, 2011, 21(5): 775-791.
- [14] Ramankutty Navin. Global Cropland and Pasture Data from 1700-2007 (Data set). 2011. <http://www.geog.mcgill.ca/~nramankutty/Datasets/Datasets.html>.
- [15] Ramankutty N, Foley J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 997-1027.
- [16] Pongratz J, Reick C, Raddatz T, et al. A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last

- millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(3): GB3018. DOI: 10.1029/2007gb003153.
- [17] Hurr G C, Chini L, Sahajpal R, et al. Harmonization of global land use change and management for the period 850-2100 (LUH2) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 2020, 13(11): 5425-5464.
- [18] Hurr G C, Chini L P, Frolking S, et al. Harmonization of land-use scenarios for the period 1500-2100: 600 years of global gridded annual land-use transitions, wood harvest, and resulting secondary lands. *Climatic Change*, 2011, 109(1/2): 117. DOI: 10.1007/s10584-011-0153-2.
- [19] Stephens L, Fuller D, Boivin N, et al. Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use. *Science*, 2019, 365(6456): 897-902.
- [20] Johnson C N, Balmford A, Brook B W, et al. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, 2017, 356(6335): 270-275.
- [21] Pongratz J, Caldeira K. Attribution of atmospheric CO₂ and temperature increases to regions: Importance of preindustrial land use change. *Environmental Research Letters*, 2012, 7(3): 034001. DOI: 10.1088/1748-9326/7/3/034001.
- [22] Jenkins S, Povey A, Gettelman A, et al. Is anthropogenic global warming accelerating? *Journal of Climate*, 2022, 35(24): 4273-4290.
- [23] Han Maoli. On the accommodation between human and environment during the last 2000 years and scientific inspiration. *Geographical Research*, 2000, 19(3): 324-331. [韩茂莉. 2000年来我国人类活动与环境适应以及科学启示. *地理研究*, 2000, 19(3): 324-331.]
- [24] Zhang Weiran. *The Connection between History and Modernity: The Latest Research Progress in Chinese Historical Geography*. Beijing: The Commercial Press, 2016. [张伟然. *历史与现代的对接: 中国历史地理学最新研究进展*. 北京: 商务印书馆, 2016.]
- [25] Han Zhaoqing. Historical geography and environmental history research. *Jiangnan Tribune*, 2014(5): 46-50. [韩昭庆. 历史地理学与环境史研究. *江汉论坛*, 2014(5): 46-50.]
- [26] Li S C, He F N, Zhang X Z. A spatially explicit reconstruction of cropland cover in China from 1661 to 1996. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(2): 417-428.
- [27] Yu Z, Jin X B, Miao L J, et al. A historical reconstruction of cropland in China from 1900 to 2016. *Earth System Science Data*, 2021, 13(7): 3203-3218.
- [28] Jin Xiaobin, Pan Qian, Yang Xuhong, et al. Reconstructing the historical spatial land use pattern for Jiangsu province in mid-Qing Dynasty. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(12): 1689-1706.
- [29] Huo Renlong, Yang Yuda. Application of the fieldwork method in the research of land use change at local dimension in past 300 years. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2018, 33(4): 62-69. [霍仁龙, 杨煜达. 田野调查和GIS方法在近300年来小尺度区域土地利用变化研究中的应用. *中国历史地理论丛*, 2018, 33(4): 62-69.]
- [30] Huo Renlong, Yang Yuda, Man Zhimin. Gridded reconstruction of spatiotemporal evolution of cropland in the Zhangjiu River Basin in Yunnan province from 1700 to 1978. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(9): 1966-1982. [霍仁龙, 杨煜达, 满志敏. 1700—1978年云南山地掌鸠河流域耕地时空演变的网格化重建. *地理学报*, 2020, 75(9): 1966-1982.]
- [31] Huo Renlong, Yang Yuda, Man Zhimin. Pattern evolution of settlement space in the Zhangjiuhe Basin, Yunnan province, during the past 300 years. *Geographical Research*, 2016, 35(9): 1647-1658. [霍仁龙, 杨煜达, 满志敏. 云南省掌鸠河流域近300年来聚落空间演变. *地理研究*, 2016, 35(9): 1647-1658.]
- [32] He Fanneng, Yang Fan, Zhao Caishan, et al. Spatially explicit reconstruction of cropland cover for China over the past millennium. *Science China Earth Sciences*, 2023, 66(1): 111-128.
- [33] Li Meijiao, He Fanneng, Liu Haolong. A re-estimation of cropland area at Lu scale in the mid-Northern Song Dynasty. *Geographical Research*, 2016, 35(12): 2322-2332. [李美娇, 何凡能, 刘浩龙. 北宋中期路域耕地面积的再估算. *地理研究*, 2016, 35(12): 2322-2332.]
- [34] Wu Zhilei, Liu Fenggui, Chen Qiong, et al. Reconstruction of cropland spatial patterns in 733 AD in the Yellow River-Huangshui River Valley. *Resources Science*, 2017, 39(2): 252-262. [吴致蕾, 刘峰贵, 陈琼, 等. 公元733年河湟谷地耕地分布格局重建. *资源科学*, 2017, 39(2): 252-262.]
- [35] Zhao C S, He F N, Yang F, et al. Uncertainties of global historical land use scenarios in past-millennium cropland reconstruction in China. *Quaternary International*, 2022, 641: 87-96.
- [36] Li Lingfu. The spatiotemporal characteristics of the structure of grain crops in Shandong during the Ming and Qing dynasties. *Journal of Chinese Historical Geography*, 1994, 9(1): 159-174, 1. [李令福. 明清山东粮食作物结构的时空特

- 征. 中国历史地理论丛, 1994, 9(1): 159-174, 1.]
- [37] Wang Dabin. Human-land relationship and crop combination: Crop composition in Henan region for the Qing Dynasty. *Agricultural History of China*, 2016, 35(1): 29-40. [王大宾. 人地关系与作物组合: 清代河南地区农作物构成. *中国农史*, 2016, 35(1): 29-40.]
- [38] Wang Dabin. The relationship between human and land and the adjustment of agricultural management in Henan province for the Qing Dynasty. *Agricultural History of China*, 2018, 37(6): 80-88. [王大宾. 人地关系与清代河南农业经营方式的调整. *中国农史*, 2018, 37(6): 80-88.]
- [39] Xu Xiuli. Agricultural farming system in the North China Plain in modern times. *Modern Chinese History Studies*, 1995 (3): 112-131. [徐秀丽. 近代华北平原的农业耕作制度. *近代史研究*, 1995(3): 112-131.]
- [40] Wang Baoning. The climate change in the late Ming and early Qing dynasties and the changes in Shandong's farming system: A discussion on the system of harvesting three times in two years in North China. *Agricultural Archaeology*, 2014(4): 6-15. [王保宁. 明末清初的气候突变与山东耕作制度变迁: 兼论华北的两年三熟制. *农业考古*, 2014(4): 6-15.]
- [41] Wu Jia, Gao Xuejie. A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets. *Chinese Journal of Geophysics*, 2013, 56(4): 1102-1111. [吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比. *地球物理学报*, 2013, 56(4): 1102-1111.]
- [42] Fang M, Li X, Chen H W, et al. Arctic amplification modulated by Atlantic Multidecadal Oscillation and greenhouse forcing on multidecadal to century scales. *Nature Communications*, 2022, 13: 1865. DOI: 10.1038/s41467-022-29523-x.
- [43] Li Lijun. Involving regularities in recent 50 years and future trends in 2020 on farming system in China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. [李立军. 中国耕作制度近 50 年演变规律及未来 20 年发展趋势研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.]
- [44] Ma Xinming, Lu Jianfei. On the reform and development of cropping system. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1995, 13(2): 1-6. [马新明, 陆建飞. 论种植制度的改革与发展. *干旱地区农业研究*, 1995, 13(2): 1-6.]
- [45] Tan Qixiang. *The Historical Atlas of China (Volume 8 Qing Dynasty)*. Beijing: SinoMaps Press, 1982. [谭其骧. *中国历史地图集(第八册·清时期)*. 北京: 中国地图出版社, 1982.]
- [46] Qiu Baojian, Lu Qiyao. A tentative regionalization of agroclimate of China. *Acta Geographica Sinica*, 1980, 35(2): 116-125. [丘宝剑, 卢其尧. 中国农业气候区划试论. *地理学报*, 1980, 35(2): 116-125.]
- [47] Huang Bingwei. Draft of comprehensive natural regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 1958, 24(4): 348-365. [黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案. *地理学报*, 1958, 24(4): 348-365.]

Reconstruction of the evolution of cropping pattern in the North China Plain since the Qing Dynasty and driver analysis

LI Shicheng¹, LIU Yating¹, LI Jianrui¹, ZHANG Xuezheng^{2,3}

(1. School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The reconstruction of historical land use intensification is the basis for in-depth exploration of climate change mechanisms and impacts. In this study, we first extracted the information of cropping intensity and crop combinations from gazetteers and journal publications for different regions of the North China Plain (NCP) since the Qing Dynasty. Then we reconstructed the spatiotemporal evolution of cropping pattern in the NCP for six periods, including the Qing Dynasty, the late Qing Dynasty to the Republic of China, the early period of the People's Republic of China (1960s, 1970s, and 1980s), and discussed the drivers of the change of cropping pattern. We found that: (1) From the Qing Dynasty to the early period of the People's Republic of China, the cropping intensity in the NCP was relatively stable, harvesting once a year or three times in two years. The situation of one harvest a year is mainly concentrated in the northern part of the study area, and the three harvests in two years are mostly distributed in Henan and Shandong provinces. Driven by irrigation and agricultural techniques, the cropping intensity in much of the NCP was two harvests a year, or a mix of two harvests a year and three harvests in two years during the 1960s and 1970s. In the 1980s, the cropping intensity was dominated by two harvests a year. (2) From the Qing Dynasty to the early period of the People's Republic of China, the crop combinations were relatively stable. The pattern of harvesting once a year is that cereals and sorghum are planted in the spring and harvested in the fall. The combination of crops harvested three times in two years is dominated by spring maize, winter wheat and beans. Since the 1960s, the composition of crops harvested twice a year has been winter wheat-summer maize in Shandong, Henan, and Hebei, and winter wheat-rice in the north of the Huaihe River. The summer crop of the crop mix harvested three times in two years developed from beans to maize/cereals. (3) Since the Qing Dynasty, the NCP has always had the thermal conditions for harvesting twice a year or three times in two years. The changes of thermal conditions are not the dominant factor driving the evolution of the cropping intensity in the NCP since the Qing Dynasty. Since the founding of the People's Republic of China, the improvement of agricultural production conditions and the reform of production relations have promoted the rapid development of multiple cropping.

Keywords: North China Plain; the past 300 years; cropping intensity; crop combinations; spatiotemporal variations