

农业的起源、传播与影响

李小强^{1,2}

1. 中科院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;

2. 中国科学院大学地球与行星科学学院, 北京 100049

摘要: 农业是文明形成和发展的基础。约 1 万年以前, 农业在西亚、中美洲和东亚地区几乎同时独立出现。西亚的两河流域被认为是小麦、大麦、燕麦等作物的起源中心; 中美洲则是玉米、马铃薯和花生等农作物的诞生地; 中国拥有两套独立的原始农业系统, 分别是起源于长江中下游地区的稻作农业和黄河中游地区的粟 - 黍旱作农业, 孕育了中华农耕文明。西亚的小麦农业、东亚的稻作和粟 - 黍农业逐步传播到世界上大多数地区, 促进了早期农业全球化。15 世纪末, 新航路的开辟和众多贸易路线的出现加快了欧亚大陆和美洲大陆农作物的传播和融合, 加速了农业全球化进程。农业的发展改变了人类改造和适应环境的能力; 促进了人类定居, 导致人群结构的重大变革, 出现劳动分工和商品交换等, 为人类提供了稳定的食物供应及储存, 推动了人口的增长。农业起源和发展极大地增强了人类活动的强度和范围, 深刻地影响着全球生态和气候环境。

关键词: 考古; 农业; 智人

The origin, spread, and impact of agriculture

LI Xiaoqiang^{1,2}

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044;

2. College of Earth and Planetary Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: The origins of agriculture is one of the most significant events in human prehistory and the foundation of ancient cultures. At 10000 BP, agriculture emerged almost independently in western and eastern Asia and Central America at the same time. Mesopotamia in western Asia was thought to be the origin of wheat, barley and oats, while corn, potato, peanuts, etc. were firstly cultivated in Central America. China was featured by two independent agricultural systems, namely rice in the middle and lower reaches of the Yangtze River and millet in the Yellow River Basin. During the process of early crop development, agriculture spread widely from its

收稿日期: 2021-08-13; 定稿日期: 2021-11-17

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (41730319); 中科院先导专项项目 (XDB26030401)

作者简介: 李小强, 研究员, 主要从事第四纪植被和气候、环境和生物考古研究。E-mail: lixiaoqiang@ivpp.ac.cn

Citation: Li XQ. The origin, spread, and impact of agriculture[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2022, 41(6): 1097-1108

origin centers to most parts of the world, building an important bridge for cultural exchange and integration in the Eurasia. After Columbus discovered the Americas at the end of the 15th century, the opening of new shipping routes and emergence of numerous trade routes accelerated the spread and integration of crops in the New and Old worlds. The origin of agriculture has changed the ability of human beings to transform or adapt to our environment, and has made an significant impact on human society and the natural environment. Agriculture not only promoted the emergence of a settled lifestyle, but also led to major changes in population structure, division of labor and commodity exchanges. Agriculture improved production efficiency, provided a stable food supply and storage, and increased the intensity and scope of human activities, largely impacting the global ecology and natural environment.

Keywords: archaeology; agriculture; *Homo sapiens*

1 引言

末次冰消期以来, 气候变暖导致世界大多数地区人类活动特征和生存状态发生改变^[1-3], 人类由依赖自然赐予的狩猎 - 采集生活逐步过渡到以种植和家畜饲养为主, 农业活动成为人类改造和适应自然环境并维持社会生存的最主要经济活动^[4-6]。农业的出现影响了社会的意识形态和组织方式、改变了经济结构、加速了文化的交流与融合, 农业也是文明形成和发展的重要基础^[7,8]。因此, 农业起源与人类起源和文明起源一起被视为人类演化和发展历史中的三大里程碑, 是科学界广泛关注的重大科学问题。

农业起源研究已有 150 多年的历史, 存在三个重要阶段和转折。

19 世纪中至 20 世纪初, 农业研究受“文化进化论”影响, 农业起源的假说以“发现论”“智力论”“发明论”等单线进化论为主, 重在讨论农业在进化阶段上的位置以及对人类社会组织的影响^[9], 其立足于两点: 农业经济比狩猎采集经济优越, 具有选择性优势; 农业具有显著的优越性, 一旦被发明或发现, 就会被其他群体所采纳并迅速传播^[10]。

20 世纪初至 60 年代, 许多学者将农业起源归因于环境与气候变化, 在环境模式下研究农业起源过程。Pumpelly 认为气候变化是推动农业起源的单一原动力, 首次提出“绿洲假说”^[11]。Gordon Childe 是这一时期的代表性人物, 预料“环境给予人类影响的系统考古学”研究必将出现, 并提出“新石器革命”(食物生产革命)和“城市革命”概念, 为农耕、家畜饲养和文明起源问题的研究奠定理论基础^[12,13]。二战以后, 考古学家 Braidwood 基于西亚肥沃新月形地带的深入研究, 提出农业应起源于气候环境比较优越的地区的观点^[14]。

20 世纪 60 年代以来, 农业起源研究受新考古学的影响出现重大转变, 从发现模式的过程描述进入了因果模式下的起源动力机制研究^[15], 并试图解释何种条件促使了狩猎采集向食物生产的适应变化。从文化生态学的角度来看, 早期农业种植是一种劳力支出最大的经济形态, 早期农夫需要工作更长的时间来维持生计^[16], 也更易遭受致命疾病的袭击和营养不良之症等因素的影响^[17,18]; 农业生计方式具有延迟收获特征, 存在很大的不确定

性；与狩猎—采集者相比，社会结构更不平等^[19-22]。

Boserup 先是提出农业发展是人口压力下强化劳力投入的结果^[23]；Binford 进而提出有关人口压力的“边缘理论”；Cohen 让人口压力理论闻名于世^[24]，但不能解释农业起源的地点、时间以及不同起源区存在的时间差异。一些学者注意到农业起源均发生在全新世早期，这种“同时性”特征似乎暗示某种统一的驱动因素在起作用。Bar-Yosef 提出 Younger Dryas 气候冷事件驱动理论，并进一步论证 YD 理论同样可以解释中国的农业起源^[25,26]；McCorriston 和 Hole 提出了季节性资源短缺是触发农业同时起源的主要因素^[27]；Sage 提出 CO₂ 限制理论^[28]；Richerson 等提出全新世温暖气候假说^[29]。诸家学说都试图探讨农业起源的世界性通则，但大多假说或模式主要源自于西亚和中美洲农业考古记录以及民族学证据，缺少农业起源背景、过程等更多实证性材料，存在过多的演绎推理，大多只能解释部分现象。因此，仍然需要在农业起源的过程和动因等方面取得理论突破和创新。

2 起源

约 1 万年以前，农业在西亚、中美洲和东亚几乎同时独立出现（图 1）。西亚两河流域的“肥沃新月形地区”被公认是动植物的重要驯化区和农业起源中心之一。约 10500-9500 BP，小麦、大麦、燕麦、椰枣、无花果、葡萄、橄榄、洋白菜、胡萝卜、洋葱和豌豆等粮食和经济类作物被驯化。西亚两河流域保存了大量工具、固定居住地和驯化动植物遗存。约旦河谷有 12000 BP 的考古遗址，有石砌地基的圆形房屋、用胶泥涂抹的储藏坑、燧石镰刀等。叙利亚、两河上游和伊朗西部山地发现 12000-10000 BP 先民割谷、烤谷物、储存谷物证据，甚至还保留了小麦和大麦原始品种。西亚农业起源与其地形地貌以及特有的植物类型和成熟期密切相关^[30]。

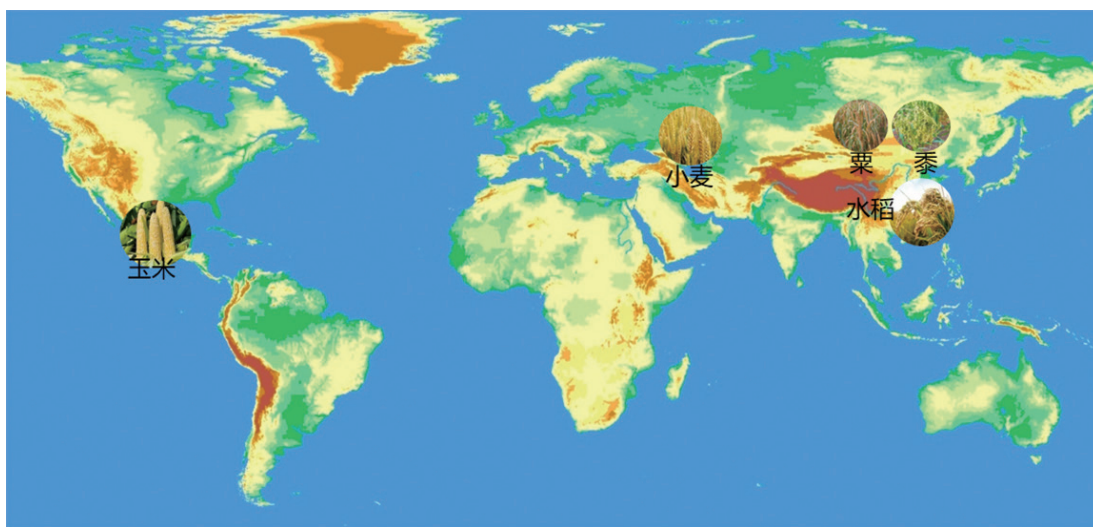


图 1 农业起源中心示意图
Fig.1 Map of agricultural origin centers

因有大洋相隔,美洲的动植物驯化非常独特。中美洲地区南北跨亚热带、热带多种气候区,中部高原与沿海低地海拔高度差巨大,气候垂直特点显著,生物多样性丰富,具有非常好的农业发展条件,因此中美洲地区也是美洲古文明的重要发源地之一^[31]。中美洲从狩猎采集向农业社会过渡的阶段被称为古风时期(Archaic, 9000-3500 BP),玉米、南瓜、马铃薯、甜薯和花生等植物,以及美洲驼、羊驼和火鸡等动物逐步被驯化,使得该地区形成独立的农业体系^[32-36]。

中国是东亚农业起源的关键地区,孕育了世界上唯一连续演化发展的中华农耕文明(图2)。中国拥有两套独立的原始农业系统:起源于南方长江中下游地区的稻作农业和起源于黄河中游半干旱地区的旱作黍粟农业。虽然两个农业体系的起源时间相当,但栽培谷物的生态习性迥异,生态环境背景也不同^[37,38]。

粟(*Setaria italica*)和黍(*Panicum miliaceum*)是东亚干旱-半干旱地区旱作农业起源的代表性作物,也是史前人类最重要的食物。粟俗称谷子,野生祖本可能是青狗尾草;黍又称糜子,野生祖本至今不明。这两种谷物的籽粒细小、形态相似,被统称为粟类作物或小米。旱作粟-黍农业的起源、驯化和栽培,对中华文明的形成和发展有着重大影响。近年来,植物大遗存、微体化石和同位素等新方法为旱作农业起源研究提供了新途径^[39-44]。

黄河中游地区农业出现得早且序列完整,是旱作农业起源和发展中心区。中国旱作农业的起源地点有黄土高原^[45]、黄河中游地区^[46,47]、北方森林-草原过渡带^[48]、辽西地区^[49],此外还有山东半岛说、多中心说等^[50,51]。近年来,新方法的应用为旱作农业起源研究提供了新视野。最新研究表明距今1万年前后,山西柿子滩、河北南庄头、北京东胡林遗址可能已经开始利用粟-黍这两种植物资源,显示旱作农业的原始孕育阶段^[52,53]。吕厚远等基于粟黍植硅体形态鉴别的突破,通过鉴定和统计磁山遗址5个粮窖、1个馆藏样品和3万多植硅体样品的数据信息,确定该粮窖中的灰化物遗存为驯化黍,埋藏时间约10000 BP,这是目前世界上最早的驯化黍证据^[47]。

水稻(*Oryza sativa*)是世界上最重要的粮食作物之一,养活了全球近一半人口,对文化和文明发展有着深刻影响^[54]。稻作农业起源的时间和地点一直是国际考古学的难题。关于稻

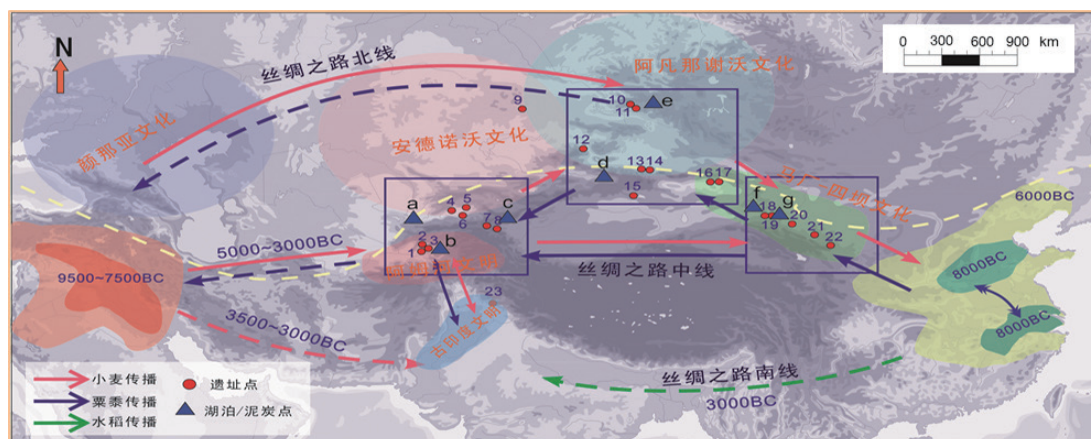


图2 欧亚大陆早期农业传播模式图

Fig.2 Early agricultural spread model through Eurasia

作起源时间、地点和动因的研究开始于 20 世纪 40 年代，先后有印度起源说、东南亚山地起源说、云南 - 阿萨姆起源说、长江中游起源说、长江下游起源说、长江中下游起源说等不同学术观点^[7,37,55-57]，研究的焦点在于：稻作农业究竟是起源于野生稻种类多样性最丰富的地区，还是野生稻分布边缘区？又或是气候环境条件适宜区，还是出土最早稻作遗存考古证据区？

直到 20 世纪 70 年代，中国浙江河姆渡遗址发现 7000 BP 前的古稻^[55]，将稻作农业的起源地逐渐转移到中国。随后，湖南玉蟾岩遗址、江西仙人洞 - 吊桶环遗址和浙江上山遗址最早稻谷遗存的发现，更将稻作起源的发生地聚焦到中国长江中下游地区。至此，稻作农业起源中心地位基本得以确认^[55]。近年来，针对长江中、下游地区大量稻作考古遗存开展了不同植物指标分析和大量测年工作^[41-44,58,59]，基本确定大约距今 10000 BP，长江中下游地区的野生稻逐渐被驯化成栽培稻，稻作农业逐步演变为主要的生业模式^[60-62]。

目前，水稻起源的种类、驯化过程和速率成为稻作起源研究的重要内容。关于水稻起源的种类，“籼粳同源说”曾经被广泛接受，即野生稻没有籼粳之分，是在驯化过程中发生分离^[63,64]。但遗传学研究又提出了“籼粳异源”的证据^[65-67]，即粳稻起源于中国，之后与野生稻杂交，在印度次大陆转变为籼稻^[68-69]。另外，在野生稻到栽培稻的驯化过程中，驯化速率及应该采用怎样的指标和标准来确定早期水稻驯化的完成等，仍然是水稻起源研究中争议较大的问题^[70]。

3 扩散与传播

数千年间，农业从起源中心向外扩散，逐步传播到世界上大多数地区，成为人类文化交流与融合的重要途径，也是经济转型、人口增长以及文明起源和发展的重要基础。农业的扩散和传播在塑造世界农业格局、促进各区域社会发展、实现早期农业多样化和全球化等方面具有重要意义。

3.1 小麦农业

小麦农业的扩散和传播已开展了大量研究工作，获得较充足证据支持^[17,71]。距今 9000 年，起源于西亚“新月沃地”的多种麦类作物（包括一粒小麦、艾玛小麦、硬粒小麦、斯佩尔特和普通小麦、二棱、六棱的皮大麦与裸大麦等）向欧洲和北非地区的传播^[72,73]。首先向西 - 北传播至土耳其和希腊，经过地中海北岸、多瑙河流域和科尔巴阡山脉东侧等多条路线传至欧洲各地，北到德国北部，西至西班牙南部和摩洛哥，向南到达尼罗河上游的努比亚地区，而后在欧洲南部和北非地区形成了环地中海农业文明圈^[72,73]。小麦向欧亚大陆南部传播的时间相对较晚，先是沿着伊朗高原北缘扩散，出现在土库曼斯坦和乌兹别克斯坦的遗址中；约 7000-6000 BP，抵达巴基斯坦和高加索地区；约 5500-5000 BP，到达印度河流域地区^[17,74]。

小麦农业向东亚传播的时间和路径一直备受关注。中国小麦遗存的早期记录出现在山东胶州赵家庄（4450-4220 BP）^[76]以及甘肃天水盆地西山坪（约 4300 BP）^[39]。最新研究表明，距今约 5200 BP，小麦向东传播到我国新疆阿尔泰地区^[75]，形成北方草原人群畜牧及小麦农业混合的经济模式。随后，通过欧亚草原带进入中国北方黄河流域、河西走廊

及青藏高原北部地区,传播至西伯利亚草原的阿凡娜谢沃文化区。这一结果也很好地解释了为什么只有青稞和普通小麦两种作物被“选择性”地引入中国北方高纬地区,也指示了汉代“绿洲丝绸之路”开通之前,北方“草原通道”是早期东西方文化交流的最主要路径^[75]。

我国河西走廊位于古丝绸之路之上,处于东、西亚两个农业起源中心的连接点。距今 4100-4000 BP 期间,该地区出土了小麦、大麦、燕麦、粟和黍五种农作物,成为小麦农业东传的重要地区^[77]; 3700-3400 BP 期间,小麦和大麦在河西走廊地区农业结构中的比例最高可达 90%,取代本土粟-黍成为主要农作物。河西走廊早期小麦农业转型速度较快,仅用了约两百年时间^[78]。

中-西小麦农业向东传播的第二次浪潮发生在约 3200 BP。新疆塔里木盆地西缘的农业考古研究显示,3200-2400 BP 期间,喀什绿洲地区出现圆形(硬粒)小麦、两棱大麦以及豌豆和豇豆属等需要灌溉系统辅助和支持的作物类型。这些来自中-西亚的农作物的传入,对新疆绿洲灌溉农业系统和农业多样化的形成具有重要促进作用,对亚洲中部绿洲城邦国家的形成和人口增加意义重大,为汉代“丝绸之路”的开通提供了重要基础^[79]。

3.2 稻作农业

早期稻作传播路线的解读主要基于“水稻起源于长江中下游地区”的观点,稻作农业的扩散和传播存在向北、向西和向南三条路线。约 9000 BP 前,稻作农业向北进入淮河流域,可能形成稻作、旱作混作农业模式^[80]。约 8000 年前,进入山东月庄和西河地区^[81,82],山东后李文化有关水稻的利用证据可能与淮河流域稻作农业有关^[82]。3500 BP 后,扩散至辽东半岛,再向东进入朝鲜半岛。约 2000 BP 后,传播至日本九州-本州岛^[7]。

黄土高原稻作农业遗存丰富,提供了稻作向西北地区传播的重要证据。水稻植硅体研究显示,约 5500 BP 以来,关中盆地保存了许多稻作遗存^[83]。甘肃天水盆地提供了 5070 BP cal 前有精确定年的水稻种植记录,是我国目前已知新石器水稻农业的最西北端,将原始稻作种植区向西拓展了 2 个经度^[39]。

约 6000-5000 BP 期间,稻作农业向华南地区扩散和传播;约 5000-3500 年前,到达福建地区,与粟黍形成混合农业;4200 BP 左右进入台湾岛;3500 BP 前抵达吕宋岛^[84]。杨晓燕等基于华南地区炭化稻粒的¹⁴C 测年数据,确定水稻传入珠江流域的时间为 5000-4300 BP,比以前认为的 6000-5500 BP 要晚^[85]。乌兹别克斯坦也发现了 1714-1756 BP 期间的古栽培稻,是目前中亚地区最早的稻作农业记录,完善了水稻由喜马拉雅南麓向西传播的关键证据链条^[86]。之后,水稻进入西亚、欧洲和非洲地区。

3.3 旱作农业

黍和粟旱作农业传播的研究也有了长足进步^[78,87],但具体传播路线仍不明确。东北地区粟黍农业出现很早,辽宁兴隆洼遗址的黍作农业出现于 8200-7400 BP 期间^[49],查海遗址的黍作农业也产生于 8000 BP 前^[88]。粟-黍农业向南扩散发生在新石器早期,约 8000 BP 传播至淮河流域,与稻作形成混合农业^[87,89];约 6400 BP 进入长江中游地区;黄土高原地区旱作农业突破地理界限,向西和西南地区的传播发生在新石器时代晚期;约 5500 BP 进入成都平原^[87];约 5000 BP 出现在甘肃南部和青藏高原东北部地区;约 4500 BP 粟-黍农业传播到河西走廊地区;在 4000 BP 左右与东传的小麦形成混合农业^[78]。

4 早期农业全球化

旧大陆史前文明的传播与交流研究涉及人群、语言、城市化、游牧、冶金和农业等众多问题。随着环境和生物考古研究的快速发展以及新技术手段的广泛使用，文明传播和交流的时空格局得以重新构建。9000-3500 BP 期间，农业的扩散和传播促使不同起源的驯化植物和动物（含思想和技术）实现了交流和融合，构建一种全新的、多样化的农业系统，极大增强了人们适应环境的能力，构成社会发展的重要动力和经济基础。因此，早期农业的传播和交流也被称为早期农业全球化或史前农业全球化^[90,91]。

“丝绸之路”的凿通^[92-94]，尤其是汉唐两个高峰期横跨欧亚大陆的商贸交流，促进了东西方农作物和农业技术的广泛传播和深度融合^[86,95]。另外，8-10 世纪间的伊斯兰农业革命，也将非洲出产的高粱、中国的柑橘、印度的芒果、棉花、甘蔗等传播至欧亚大陆和非洲各处^[91]。15 世纪末，新航路和贸易路线的开辟促使美洲的玉米、土豆、红薯等农作物，以及火鸡和羊驼等动物逐步向欧亚大陆扩散和传播（图 3），这些耐寒和异常高产的农作物能够在贫瘠的土地上生长，对欧亚大陆人口增长贡献巨大。同时，欧亚大陆的小麦、大麦、水稻等农作物，葡萄和香蕉等水果，以及羊、猪和马等动物传播至美洲大陆（图 3），新、旧大陆原本各自独立的农业系统在全球传播和融合，促进了农业早期全球化的实现。



图 3 欧亚和美洲大陆之间的动植物交流

Fig.3 Animal and plant exchanges between Eurasia and the Americas

5 农业起源的影响

农业起源使人类完成了从攫取性经济到生产性经济质的飞跃,是人类发展历史上的伟大创新和巨大转变,在人类演化发展过程中具有相当重要的地位。农业提升了人类改造和适应环境的能力,对社会和自然环境均产生了重要影响,是文明起源和发展的基础。

5.1 农业对社会和文明诞生的影响

农业与采集-狩猎活动相比具有三个特点:1) 人类居住模式的改变导致人群结构和关系发生重大变革,社会发展出现根本性变化;2) 农业活动创造发明了许多生产工具,提高了生产效率,产生多样的驯化动物和作物,提供了稳定的食物供应及储存,推动了人口增长;3) 农业促使劳动分工、导致商品交换,对阶级、法律、宗教、文字、城市与国家的出现等有积极作用,成为文明诞生的重要基础。世界主要古文明的源区如埃及、巴比伦、印度、中国、墨西哥等,无不与农业发展密切相关。

5.2 早期农业活动的环境效应

现今的生态环境状况是自然过程和人类活动相互叠加的结果,人类活动已成为改变地球环境的重要地质营力^[96,97]。目前,有关人类显著影响环境和气候系统的时限和作用仍存在多种认识:一种观点认为发生在工业革命以后^[98];而“早期人类影响”假说认为,经历了狩猎采集到农业起源的革命性变革^[99]。农业起源极大地增强了人类的活动强度和影响范围,深刻地影响着全球和区域生态和气候环境,显示人类影响地球“自然”演变时代的到来^[100-102]。

全新世快速发展的农业活动对植被生态环境的改造强烈而深远^[101]。在早期农业发达地区,由于农业革命带来的人口大幅度增加,导致森林结构发生改变。早全新世时期,西亚 Levant 地区的农业活动改造了遗址周边 3 km 范围内的植被格局^[102]。我国东部海岸带宁绍平原先民 8000 BP 前已经持续围海造田,改造自然能力逐渐增加^[103,104]。最近 5000 BP 以来,黄土高原地区人类活动的规模和强度增加,已在广泛区域内对植被生态产生重要影响^[105]。约 4000 BP,河西走廊绿洲地区开始的青铜冶炼活动是区域地表植被发生变化的主导因素^[106]。

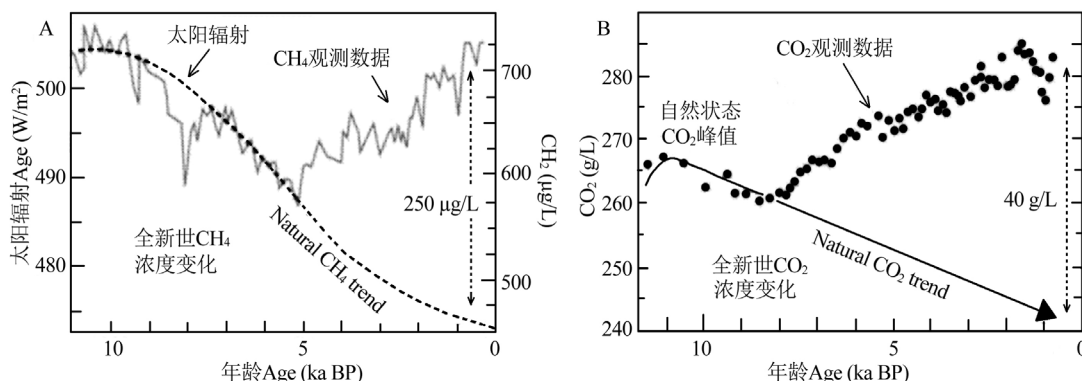


图 4 末次冰消期以来温室气体变化曲线图 (改自 [107])

Fig.4 Curve of greenhouse gases since the last deglaciation (Revised from reference[107])

极地冰芯记录的研究显示，自 400 kaBP 以来大气温室气体浓度与地球的岁差周期基本同步，但这一趋势在全新世发生了改变，CO₂ 浓度变化趋势在约 8000 BP 从下降转为上升，从 5200 BP 起 CH₄ 浓度开始出现异常（图 4）。Ruddiman 等认为全新世持续的原始农业活动会产生大量的生物燃烧，改变了土地利用规模和强度，改变土地和植被等环境要素，间接影响了 CO₂ 的吸收和排放，对 8000 BP 以来 CO₂ 的浓度上升有很大影响^[97,107-110]。

来自中国考古学的证据以及古人口估算和土地利用模型等^[102,107]也对这一假说给予了支持。中国稻作农业在 5000 BP 前后确实有显著的增加^[96]，扩展了季风区湿地面积，增加了甲烷排放源区。畜牧业的增强也对甲烷浓度的变化有所贡献^[112]，稻作农业和畜牧业的发展提供了大气中 100 μg/L 甲烷增量的 70%^[113]。因此，早期农业活动排放的温室气体经过数千年的积累，其产生的温室效应使全球温度在工业革命前夕比预期高出了 0.6 °C，是近两百年来工业革命带来的温室效应的两倍。Ruddiman 等指出，早期农业活动造成的温室气体浓度的增加，在一定程度上阻止了全新世中晚期冰期的来临；人类几千年前已成为改变气候环境要素的重要因子^[108,109]。

致谢：感谢周新郢研究员、杨庆江博士在图件绘制和文献整理等方面的贡献。

参考文献

- [1] Bellwood PS. First Farmers: the Origins of Agricultural Societies[M]. London: Blackwell Publishing, 2005
- [2] Lev-Yadun S, Gopher A, Abbo S. Archaeology-The cradle of agriculture[J]. Science, 2000, 288(5471): 1602-1603
- [3] Tanno K, Willcox G. How fast was wild wheat domesticated?[J]. Science, 2006, 311(5769): 1886
- [4] 布赖恩·海登. 驯化的模式 [J]. 译者: 陈淳. 农业考古, 1994(1): 25-40
- [5] Harris D. Origins of agriculture in western central Asia[D]. Philadelphia: University of Pennsylvania Museum, 2010
- [6] Zohary D, Hopf M. Domestication of Plants in the Old World (4th edition)[M]. Oxford: Clarendon Press, 2012
- [7] 严文明. 再论中国稻作农业的起源 [J]. 农业考古, 1989(1): 85-93
- [8] 张光直. 中国东南海岸的“富裕的食物采集文化”[A]. 见: 中国考古学会(主编). 中国考古学论文集[C]. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 1999: 190-205
- [9] Childe VG. The Most Ancient East[M]. London: Routledge and Kegan Paul, 1928
- [10] Darwin C. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life[M]. London: John Murray, 1859
- [11] Pumpelly R. Explorations in Turkestan, Expedition of 1904: Prehistoric Civilizations of Anau: Origins, Growth, and Influence of Environment[M]. Washington DC: Carnegie Institution of Washington, 1908, 65-66
- [12] Childe G. Man Makes Himself[M]. New York: New American Library, 1951
- [13] Wittfogel K. Oriental Despotism[M]. New Haven: Yale University Press, 1957
- [14] Braidwood RJ. The agricultural revolution[J]. Scientific American, 1960, 203(3): 130-141
- [15] Binford L. Post-pleistocene adaptations[A]. In: Binford S, Binford L (Eds.). New Perspectives in Archaeology[M]. Chicago: Aldine, 1968, 313-341
- [16] Harlan JR. Crops and Man[M]. Madison: American Society of Agronomy, 1975
- [17] Diamond J. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication[J]. Nature, 2002, 418(6898): 700-707
- [18] Cohen MN, Armelagos GJ. Paleopathology at the origins of agriculture[M]. Orlando: Academic Press, 1984
- [19] Rosenberg M. The mother of invention: Evolutionary theory, territoriality, and the origins of agriculture[J]. American Anthropologist, 1990, 92(2): 399-415
- [20] Fernandez-Armesto F. Civilizations: Culture, Ambition, and the Transformation of Nature[M]. London: Basingstoke and Oxford, 2000
- [21] Tudge C. Neanderthals, bandits, and farmers: How agriculture really began[M]. New Haven: Yale University Press, 1998
- [22] Olsson O. The rise of Neolithic agriculture[J]. Working Papers in Economics, 2001, 196(6): 647-648
- [23] Boserup E. The Conditions of Agricultural Growth[M]. London: Allen and Unwin, 1965

- [24] Cohen MN. The Food Crisis in Prehistory[M]. New Haven: Yale University Press, 1977
- [25] Bar-Yosef O, Belfer-Cohen A. The origins of sedentism and farming communities in the Levant[J]. Journal of World Prehistory, 1989, 3(4): 447-498
- [26] Bar-Yosef O. Climatic fluctuations and early farming in West and East Asia[J]. Current Anthropology, 2011, 52(S4): S175-S193
- [27] McCorriston J, Hole F. The ecology of seasonal stress and the origins of agriculture in the Near East[J]. American Anthropologist, 1991, 93(1): 46-69
- [28] Sage RF. Was low atmospheric CO₂ during the Pleistocene a limiting factor for the origin of agriculture?[J]. Global Change Biology, 1995, 1(2): 93-106
- [29] Richerson PJ, Boyd R, Bettinger RL. Was agriculture impossible during the Pleistocene but mandatory during the Holocene? A climate change hypothesis[J]. American Antiquity, 2001, 66(3): 387-411
- [30] 肯特·弗兰纳利. 美索不达米亚早期食物生产的生态学——史前农人与牧人开发一系列位置相邻却差异显著的气候区 [J]. 译者: 潘艳. 校对: 陈淳. 南方文物, 2008(4): 135-141+133
- [31] Flannery KV. Guilá Naquitz: Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, Mexico[M]. Orlando: Academic Press, 1986
- [32] MacNeish RS. Ancient Mesoamerican civilization[J]. Science, 1964, 143(3606): 531-537
- [33] MacNeish RS. Reflections on my search for the beginnings of agriculture in Mexico[A]. In: Wolley GR. Archaeological Researches in Retrospect[M]. Washington DC: University Press of America, 1974
- [34] Flannery KV. The origins of the village as a settlement type in Mesoamerica and the Near East: A comparative study[A]. In: Ucko PJ, Tringham R, Dimbleby GW (Eds.). Man, Settlement and Urbanism[M]. London: Duckworth, 1972, 23-53
- [35] Piperno D, Ranere AJ, Holst I, et al. Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest[J]. Nature, 2000, 407(6806): 894-897
- [36] Piperno DR. Identifying manioc (*Manihot esculenta* Crantz) and other crops in pre-Columbian tropical America through starch grain analysis: A case study from Panama[A]. In: Zeder M, Emschwiller E, Bradley D, et al (Eds.). Documenting Domestication: New Genetic and Archaeological Paradigms[M]. Berkeley: University of California Press, 2006, 46-67
- [37] 严文明. 中国稻作农业的起源 [J]. 农业考古, 1982(1): 19-31
- [38] 吕厚远. 中国史前农业起源演化研究新方法与新进展 [J]. 中国科学 (地球科学), 2018, 48(2): 181-199
- [39] Li XQ, Dodson J, Zhou XY, et al. Early cultivated wheat and broadening of agriculture in Neolithic China[J]. The Holocene, 2007, 17(5): 555-560
- [40] Zhang JP, Lu HY, Wu NQ, et al. Phytolith analysis for differentiating between foxtail millet (*Setaria italica*) and green foxtail (*Setaria viridis*)[J]. PLoS ONE, 2011, 6(5):e19726
- [41] Fuller DQ, Castillo C. Rice: Origins and development[A]. In: Smith, Claire (Eds.). Encyclopedia of Global Archaeology[M]. New York: Springer, 2014
- [42] Huan XJ, Lu H, Wang C, et al. Bulliform phytolith research in wild and domesticated rice paddy soil in South China[J]. PLoS ONE, 2015, 10(10): e0141255
- [43] Ball T, Chandler-Ezell K, Dickau R, et al. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world[J]. Journal of Archaeological Science, 2016, 68: 32-45
- [44] Zheng Y, Crawford GW, Jiang L, et al. Rice domestication revealed by reduced shattering of archaeological rice from the Lower Yangtze valley[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 1-9
- [45] 何炳棣, 马中. 中国农业的本土起源 [J]. 农业考古, 1984(2): 43-52
- [46] 安志敏. 中国的史前农业 [J]. 考古学报, 1988(4): 369-381
- [47] Lu HY, Zhang JP, Liu KB, et al. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009, 106(18): 7367-7372
- [48] Crawford G, Underhill A, Zhao Z, et al. Late Neolithic plant remains from northern China: Preliminary results from Liangchengzhen, Shandong[J]. Current Anthropology, 2005, 46(2): 309-317
- [49] 赵志军. 植物考古学及其新进展 [J]. 考古, 2005(7): 42-49+2
- [50] Underhill AP. Current issues in Chinese Neolithic archaeology[J]. Journal of World Prehistory, 1997, 11(2): 103-160
- [51] 严文明. 农业发生与文明起源 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [52] Liu L, Bestel S, Shi J, et al. Paleolithic human exploitation of plant foods during the last glacial maximum in North China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(14): 5380-5385
- [53] Yang XY, Wan ZW, Perry L, et al. Early millet use in northern China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012, 109(10): 3726-3730
- [54] Hadiarto T, Tran LSP. Progress studies of drought-responsive genes in rice[J]. Plant Cell Reports, 2011, 30(3): 297-310

- [55] 严文明. 我国稻作起源研究的新进展 [J]. 考古, 1997(9): 71-76
- [56] 顾海滨. 湖南澧县城头山遗址出土的新石器时代水稻及其类型 [J]. 考古, 1996(8): 81-89+104
- [57] 朱乃诚. 中国史前稻作农业概论 [J]. 农业考古, 2005(1): 26-32
- [58] 郑云飞, 蒋乐平. 上山遗址出土的古稻遗存及其意义 [J]. 考古, 2007(9): 19-25+99+2
- [59] 赵志军, 蒋乐平. 浙江浦江上山遗址浮选出土植物遗存分析 [J]. 南方文物, 2016(3): 109-116
- [60] Fuller DQ, Qin L, Zheng Y, et al. The domestication process and domestication rate in rice: spikelet bases from the Lower Yangtze[J]. Science, 2009, 323(5921): 1607-1610
- [61] 赵志军. 中国稻作农业起源研究的新认识 [J]. 农业考古, 2018(4): 7-17
- [62] 秦岭. 中国农业起源的植物考古研究与展望 [J]. 考古学研究, 2012: 260-315
- [63] Oka HI. Origin of Cultivated Rice[M]. Elsevier, 2012
- [64] Chang TT. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rice[J]. Euphytica, 1976, 25(1): 425-441
- [65] Sato YI, Ishikawa R, Morishima H. Nonrandom association of genes and characters found in indica $\times$ japonica hybrids of rice[J]. Heredity, 1990, 65(1): 75-79
- [66] Londo JP, Chiang YC, Hung KH, et al. Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006, 103(25): 9578-9583
- [67] 王象坤, 才宏伟, 孙传清, 等. 中国普通野生稻的原始型及其是否存在籼粳分化的初探 [J]. 中国水稻科学, 1994, 8(4): 205-210
- [68] Gross BL, Zhao Z. Archaeological and genetic insights into the origins of domesticated rice[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(17): 6190-6197
- [69] Fuller DQ, Van Etten J, Manning K, et al. The contribution of rice agriculture and livestock pastoralism to prehistoric methane levels: An archaeological assessment[J]. The Holocene, 2011, 21(5): 743-759
- [70] Fuller DQ, Asouti E, Purugganan MD. Cultivation as slow evolutionary entanglement: Comparative data on rate and sequence of domestication[J]. Vegetation History and Archaeobotany, 2012, 21(2): 131-145
- [71] Bellwood P. Examining the farming / language dispersal hypothesis in the East Asian context[A]. In: Blench R, Laurent S, Alicia S (Eds.). The Peopling of East Asia: Putting Together Archaeology, Linguistics and Genetics[M]. Routledge, 2005: 17-30
- [72] Ammerman AJ, Cavalli-Sforza LL. Measuring the rate of spread of early farming in Europe[J]. Man, 1971, 6(4): 674-688
- [73] Liu XY, Jones PJ, Matuzeviciute GM, et al. From ecological opportunism to multi-cropping: Mapping food globalisation in prehistory[J]. Quaternary Science Reviews, 2019, 206: 21-28
- [74] Jones MK, Liu XY. Origins of agriculture in East Asia[J]. Science, 2009, 324(5928): 730-731
- [75] Zhou XY, Yu JJ, Spengler RN, et al. 5200-year-old cereal grains from the eastern Altai mountains redate the trans-Eurasian crop exchange[J]. Nature Plants, 2020, 6(2): 78-87
- [76] 赵志军. 小麦传入中国的研究 — 植物考古资料 [J]. 南方文物, 2015, (3): 44-52
- [77] Dodson JR, Li XQ, Zhou XY, et al. Origin and spread of wheat in China[J]. Quaternary Science Reviews, 2013, 72: 108-111
- [78] Zhou XY, Li XQ, Dodson J, et al. Rapid agricultural transformation in the prehistoric Hexi corridor, China[J]. Quaternary International, 2016, 426: 33-41
- [79] Yang QJ, Zhou XY, Spengler RN, et al. Prehistoric agriculture and social structure in the southwestern Tarim Basin: Multiproxy analyses at Wupaer[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 1-11
- [80] 张居中, 程至杰, 蓝万里, 等. 河南舞阳贾湖遗址植物考古研究的新进展 [J]. 考古, 2018, (4): 100-110
- [81] Jin GY, Wu WW, Zhang KS, et al. 8000-year-old rice remains from the north edge of the Shandong Highlands, East China[J]. Journal of Archaeological Science, 2014, 51: 34-42
- [82] Jin GY, Chen S, Li H, et al. The Beixin Culture: Archaeobotanical evidence for a population dispersal of Neolithic hunter-gatherer-cultivators in northern China[J]. Antiquity, 2020, 94(378): 1426-1443
- [83] Zhang JP, Lu HY, Wu NQ, et al. Phytolith evidence for rice cultivation and spread in Mid-Late Neolithic archaeological sites in central North China[J]. Boreas, 2010, 39(3): 592-602
- [84] Deng ZH, Hung H, Fan XC, et al. The ancient dispersal of millets in southern China: New archaeological evidence[J]. The Holocene, 2018, 28(1): 34-43
- [85] Yang XY, Wang W, Zhuang Y, et al. New radiocarbon evidence on early rice consumption and farming in South China[J]. The Holocene, 2017, 27(7): 1045-1051
- [86] Chen GH, Zhou XY, Wang J, et al. Kushan period rice in the Amu Darya Basin: Evidence for prehistoric exchange along the southern Himalaya[J]. Science China Earth Sciences, 2020, 63(6): 841-851

- [87] He KY, Lu HY, Zhang JP, et al. Prehistoric evolution of the dualistic structure mixed rice and millet farming in China[J]. The Holocene, 2017, 27(12): 1885-1898
- [88] Wang J, Zhou XY, Xu H, et al. Relationship between C4 biomass and C4 agriculture during the Holocene and its implications for millet domestication in Northeast China[J]. Geophysical Research Letters, 2021(48): e2020GL089566
- [89] Luo W, Gu C, Yang Y, et al. Phytoliths reveal the earliest interplay of rice and broomcorn millet at the site of Shuangdun (ca. 7.3-6.8 ka BP) in the middle Huai River valley, China[J]. Journal of Archaeological Science, 2019(102): 26-34
- [90] Jones M, Hunt H, Lightfoot E, et al. Food globalization in prehistory[J]. World Archaeology, 2011, 43(4): 665-675
- [91] Liu XY, Jones MK. Food globalisation in prehistory: Top down or bottom up?[J]. Antiquity, 2014, 88(341): 956
- [92] Yao Y, Wang X, Guo W, et al. Environment human activity and their relationship with Buddhism during the 9th-13th centuries at Turpan, Xinjiang on the ancient Silk Road[J]. Vegetation History and Archaeobotany, 2020(29): 539-552
- [93] 张波, 张纶. 中国绿洲 - 东亚古代农事交流的纽带 [J]. 中国农史, 1993(4): 7-12
- [94] 王思明. 丝绸之路农业交流对世界农业文明发展的影响 [J]. 内蒙古社会科学 (汉文版), 2017(3): 1-8
- [95] Chen T, Wang B, Power R, et al. The first archaeobotanical evidence of *Medicago sativa* L. in China: Hay fodder for livestock[J]. Archaeological and Anthropological Sciences, 2020(12): 2
- [96] 刘东生. 走向“地球系统”的科学: 地球系统科学的学科雏形及我们的机遇 [J]. 中国科学基金, 2006(5): 266-271
- [97] Ruddiman WF, Guo Z, Zhou X, et al. Early rice farming and anomalous methane trends[J]. Quaternary Science Reviews, 2008, 27(13-14): 1291-1295
- [98] Crutzen PJ. Geology of mankind[J]. Nature, 2002, 415(1): 23
- [99] Diamond J, Bellwood P. Farmers and their languages: The first expansions[J]. Science, 2003, 300(5619): 597-603
- [100] Zong Y, Chen Z, Innes JB, et al. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China[J]. Nature, 2007, 449(7161): 459-462
- [101] Li XQ, Dodson J, Zhou J, et al. Increases of population and expansion of rice agriculture in Asia, and anthropogenic methane emissions since 5000 BP[J]. Quaternary International, 2009, 202(1-2): 41-50
- [102] Kirch PV. Archaeology and global change: The Holocene record[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2005(30): 409-440
- [103] Rollefson G, Kohler-Rollefson I. Early Neolithic exploitation patterns in the Levant: cultural impact on the environment[J]. Population and Environment, 1992(13): 243-254
- [104] Liu B, Wang, NY, Chen MH, et al. Earliest hydraulic enterprise in China, 5100 years ago[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114 (52): 13637-13642
- [105] Zheng, YF, Sun GP, Li Q, et al. Rice fields and modes of rice cultivation between 5000 and 2500 BC in east China[J]. Journal of Archaeological Science, 2009, 36(12): 2609-2616
- [106] Li XQ, Sun N, Dodson J, et al. The impact of early smelting on the environment of Huoshiliang in Hexi Corridor, NW China, as recorded by fossil charcoal and chemical elements[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 305(1-4), 329-336
- [107] Ruddiman WF. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago[J]. Climatic Change, 2003, 61(3): 261-293
- [108] Ruddiman WF. The Anthropocene[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2013(41): 45-68
- [109] Ruddiman WF, Ellis EC, Kaplan JO, et al. Defining the epoch we live in[J]. Science, 2015, 348(6230): 38-39
- [110] Zalasiewicz J, Waters CN, Ellis EC, et al. The Anthropocene: Comparing its meaning in geology (chronostratigraphy) with conceptual approaches arising in other disciplines[J]. Earth's Future, 2021(9): e2020EF001896
- [111] Yu YY, Guo ZT, Wu HB, et al. Reconstructing prehistoric land use change from archeological data: Validation and application of a new model in Yiluo valley, northern China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012(156): 99-107
- [112] Guo ZT, Zhou X, Wu HB. Glacial-interglacial water cycle, global monsoon and atmospheric methane changes[J]. Climate Dynamics, 2012, 39(5): 1073-1092
- [113] Fuller DQ, Van Etten J, Manning K, et al. The contribution of rice agriculture and livestock pastoralism to prehistoric methane levels: An archaeological assessment[J]. The Holocene, 2011, 21(5): 743-759