

甘肃西山坪遗址生物指标记录的中国最早的 农业多样化

李小强^{①②*} 周新郢^{①③} 周杰^{①②} John Dodson^④ 张宏宾^{①③} 尚雪^{①③}

(① 中国科学院地球环境研究所, 西安 710075; ② 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075;
③ 中国科学院研究生院, 北京 100039; ④ Institute for the environment, Brunel University, London, UK)

摘要 通过花粉、农作物种子和植硅石等农业活动生物指标记录研究, 结合高精度 AMS¹⁴C 测年, 重建了甘肃西山坪遗址 5250~4300 cal a BP 时段的农作物类型和农业栽培特征. 5100 cal a BP 以来农业活动增强, 5070 cal a BP 出现中国西北最老的稻作农业遗存. 4600 cal a BP 左右针叶林突然消失和栗树扩张是先民选择性砍伐针叶树, 保留并栽培栗树的结果. 西山坪遗址 4650~4300 cal a BP 期间种植有粟、黍、水稻、小麦、燕麦、青稞、大豆和荞麦等 8 种粮食作物, 囊括了东、西亚 2 个农业起源中心的主要作物类型. 不仅证实小麦和燕麦早在 4650 cal a BP 已传播到中国西北地区, 也揭示了中国最早的农业多样化可能出现在新石器时代的甘肃天水地区.

关键词 考古生物指标 农业多样化 甘肃 西山坪遗址 4650 cal a BP

“人类世”作为单独且有特殊含义和内容的地质时期, 是 21 世纪提出的一个新的地质单元 [1,2], 即从全新世的 10 ka 里边, 再提出一个新的地质时期 [3]. 标志着一个人类影响地球“自然”演变时代 [1~4]. 深入研究“人类世”有助于我们探讨人类活动特征尤其是农业活动导致的土地、植被和大气等环境状况的改变, 关注文明的诞生、冲突、融合与发展 [1,4~6].

末次冰消期以来气候波动改变了世界大多数地区人类活动特征和生存状态, 人口和自然资源平衡失调迫使处于狩猎和采集活动的先民不断采用技术的投入来改造生态环境以维持社会生存 [7,8]. 农业作为人类重要的革命性事件在新石器早期出现并迅速发展 [8~13], 是新石器先民最主要的经济活动, 也是文明形成与发展的重要基础. 目前, “人类世”研究中一项重要的研究内容就是利用人类农业活动的生物指标记录, 重建不同区域农业活动历史, 探讨农业的

起源、扩散与传播导致的经济系统的移动/人口增长与扩张、文化的交流与融合以及人类文明诞生 [4,6,8], 探索农业活动对环境产生的影响 [14].

原始农业源于西亚、东亚和中美洲 3 个主要中心和几个次级中心 [8]. 小麦、燕麦、豌豆、小扁豆等农作物, 约 11500~9500 a BP 起源于著名的西亚“新月形”地区 [8~10]. 东亚的中国是世界另一个重要的农业起源中心, 水稻(*Oryza sativa*)作为东亚地区最重要的农作物, 在长江中下游地区首先被栽培 [11,12]. 黄河中、下游地区是旱作农业起源中心, 粟(*Setaria italica*)和黍(*Panicum miliaceum*)起源于大约 8000 a BP 以前 [13]. 人类作为物质文化最直接的传播者, 史前先民从农业中心区向外扩散和迁徙, 导致了农作物栽培技术的广泛传播和相互交流 [6,8], 促使了农业种植技术的成熟和生产规模的扩大, 促进了农业的不断繁荣. 欧亚大陆东西两个重要的农业起源和文明地区是如

何交流、融合和相互影响的? 中国新石器农业多样化是何时、何地出现的? 这些问题是中国“人类世”研究中需要重点关注的。

甘肃天水地区位于东亚和西亚 2 个农业起源中心之间的古“丝绸之路”上, 孕育了灿烂的大地湾、马家窑和齐家文化, 是中国西部新石器文化出现最早、规模最大、序列最完整的地区之一^[15,16]。目前, 已开展了考古调查, 气候变化与史前人类活动以及农业与畜牧业更替等研究^[16-20]。我们在 2004~2006 年期间对天水西山坪遗址进行了调查和研究, 通过花粉、种子、植硅体、淀粉粒和炭屑等生物指标记录, 结合高精度 AMS¹⁴C 测年, 研究中国甘肃天水地区新石器中、晚期农作物的种植类型和农业活动特征, 揭示中国西部新石器人类活动特征及其环境效应。

1 研究区概况和研究方法

西山坪遗址(105°32'41" E, 34°33'50"N, 海拔 1330 m)位于甘肃省天水市西 15 km 藉河南岸的台地上(图 1), 研究区属暖温带半湿润气候, 年均降水量 574 mm, 年均温 11 °C, 基岩山地属暖温带针阔叶混交林, 黄土梁峁区植被为森林草原和草原^[21]。由于

长期人类活动的影响, 自然植被已经完全被人工植被和次生植被所替代, 农作物主要是小麦、玉米、马铃薯及糜、谷等。

裴文中先生 1947 年首先发现西山坪遗址, 甘青考古队 1956 年开展了考古调查并于 1986 年秋至 1990 年春进行了全面的挖掘, 出土较多的石器和陶器, 测定遗址面积为 204800 m², 中国社会科学院考古研究所将涵盖 7800~3000 年的文化遗存分为 8 期并明确了各文化期的时间关系^[15]。

本研究选定遗址北面一个厚 650 cm, 文化层发育良好的沉积剖面开展研究。通过沉积物的磁化率变化、沉积物颜色和结构特征, 将剖面分为 7 层。(1) 0~40 cm, 现代耕作层; (2) 40~130 cm, 文化层, 褐色, 有零星陶片; (3) 130~260 cm, 棕色疏松粉砂状土; (4) 260~340 cm, 文化层, 黄色细粉砂、疏松; (5) 340~440 cm, 黄色疏松粉砂; (6) 440~570 cm, 文化层, 褐色, 紧实; (7) 570~650 cm, 黄色粉砂。采用筛析-重液综合法^[22]以 10 cm 间距分析花粉样品 64 块, 用植物硅酸体标准分析程序^[23,24]分析植硅体样品 65 块, 运用扫描电镜鉴定和区分几种重要栽培农作物植硅体。以 10~15 cm 层厚采集样品 20 个(约 80 kg/样品), 用

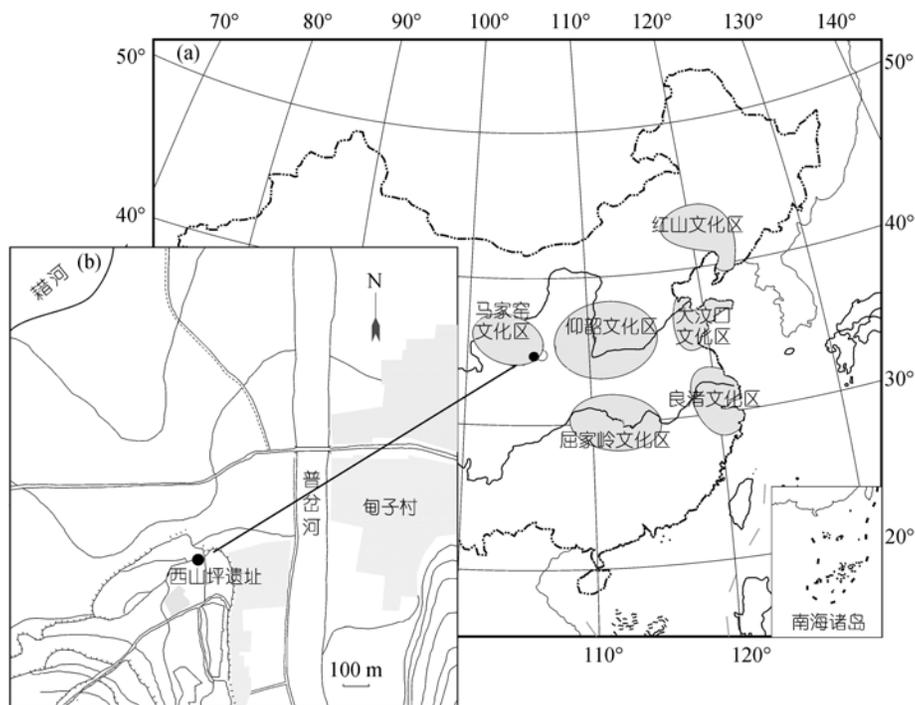


图 1

(a) 中国新石器时代中晚期主要文化区; (b) 西山坪遗址点位位置图

筛析浮选法 [25] 提取考古遗存, 在双目实体显微镜下挑选出炭屑、碳化种子和植物残体供鉴定。

在日本东京大学加速器实验室完成 6 个炭屑和 2 个碳化种子的 AMS¹⁴C 测年, 并对测定年龄进行日历年校正(表 1) [26]。整个剖面的 8 个年龄数据有 3 个年龄有倒置状况, 与地层层序不太一致。130 cm 处的炭屑年龄偏新, 490 cm 的年龄略偏老, 这在文化遗址剖面后期人类活动扰动等有关。340~560 cm 间的沉积可视为快速堆积的结果。620 cm 深度碳化黍种子的年龄为 5165 cal a BP, 585 cm 深度碳化稻种子的年龄为 5070 cal a BP, 其他 3 个炭屑年龄分别为 4330 cal a BP(60cm), 4910 cal a BP(560 cm) 和 4955 cal a BP(570 cm)。选择以上 5 个线性相关良好的 ¹⁴C 年龄值建立西山坪剖面的年龄框架。去掉 40 cm 以上人为扰动明显的现代耕作层, 西山坪剖面 650~40 cm 的年代为 5250

~4300 cal a BP, 约 1000 年的一套沉积, 与马家窑文化期相当(图 2)。

2 研究结果

西山坪剖面 64 个样品共鉴定花粉 21987 粒, 分属 42 个科属。鉴定 65 个植硅体样品中 15 种主要类型和主要农作物。20 个样品中鉴定出共有 15 种类型的种子和 1 个果实。

乔木花粉的主要类型为耐阴冷、喜湿润的针叶乔木云杉(*Picea*)、冷杉(*Abies*)和喜暖的阔叶乔木栗属(*Castanea*)、桦木属(*Betula*)、榆属(*Ulmus*)和栎属(*Quercus*)等。草本植物花粉主要为超代表性的蒿属(*Artemisia*)和藜科(*Chenopodiaceae*)、菊科(*Compositae*)、荞麦属(*Fagopyrum*)、蓼科(*Polygonaceae*)以及低代表性的禾本科(*Poaceae*)。

表 1 西山坪遗址加速器 ¹⁴C 测年^{a)}

深度/cm	实验室号	¹⁴ C 年龄/a BP	校正年龄/cal a BP	测年材料
60	TKa13882	3900±35	4236~4419	炭屑
130	TKa13883	2785±30	2839~2949	炭屑
345	TKa13884	4430±35	4870~5069	炭屑
490	TKa13885	4855±35	5579~5655	炭屑
560	TKa13886	4360±35	4845~4983	炭屑
570	TKa13887	4400±35	4859~5051	炭屑
585	TKa13890	4430±100	4833~5312	碳化种子(水稻)
620	TKa13889	4490±35	5035~5295	碳化种子(粟)

a) 2 个碳化种子和 6 个炭屑样品的加速器 ¹⁴C 测年在日本东京大学加速器质谱实验室完成, 校正年龄采用 Calib Rev 4.4 软件完成 [26]

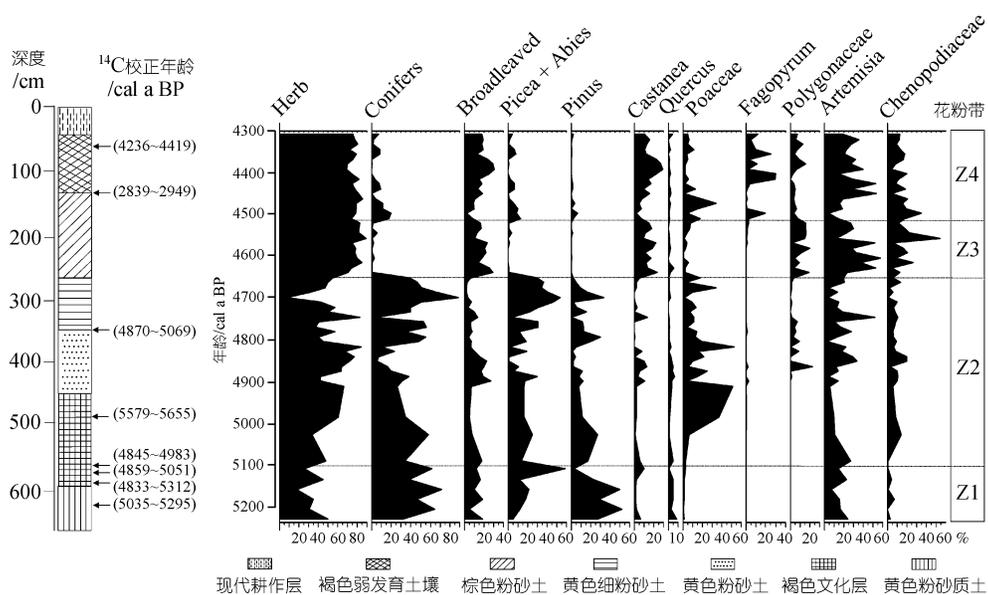


图 2 西山坪剖面 5250~4300 cal a BP 时段主要花粉类型百分比图谱

花粉主要种属的百分比变化可分为 4 个阶段(图 2). (1) 5250~5100 cal a BP 阶段, 显示为针叶乔木特别是云杉的高值区(37%~72%), 草本植物含量很低, 禾本科植物一般在 1%左右. (2) 5100~4650 cal a BP, 草本植物明显增加, 而针叶乔木花粉明显降低, 禾本科植物增长很快, 最高可达 21%. (3) 约 4650 cal a BP 以来一个最突出的变化是针叶乔木尤其是占主导的云杉花粉突然急剧降低, 从 46%的峰值降至不足 1%. 而阔叶乔木花粉尤其是阔叶栗从 2.3%左右增至 16.7%. 草本蒿属、蓼科和荞麦也有明显增加(平均可达 77%). (4) 4560~4300 cal a BP 阶段则表现为草本植物占有绝对优势, 禾本科含量增加明显, 荞麦属花粉达到峰值, 最高达 30%, 乔木花粉含量不高, 主要是阔叶栗占绝对优势.

西山坪剖面 7 种植物碳化农作物种子为粟(*Setaria italica*)、黍(*Panicum miliaceum*)、水稻(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)、燕麦(*Hordeum vulgare*)、青稞(*Avena sp.*)和野大豆(*Glycine soja*). 还有 8 种植物种子和 1 种榛子果壳(图 3). 黍的碳化种子最先出现在剖面 620 cm 处, 其加速器 ¹⁴C 年龄为 5165 cal a BP, 20 个样品中均发现有碳化黍种子, 黍

的植硅体也在 14 个样品中被检出, 主要是颖壳硅酸体. 粟的碳化种子出现在 19 个样品中, 粟的颖壳硅酸体也在 14 个样品中也检出, 最早出现的年龄约为 5070 cal a BP. 16 个样品中鉴定出水稻的碳化种子, 最早出现的层位是 585 cm, 为 5 个完整粒和 7 个破碎粒, 直接的采用 AMS¹⁴C 测定的年龄值为 5070 cal a BP. 水稻植硅体出现在 5 个层位中, 主要是突起扇型和排列的哑铃型(其长轴与叶片长轴垂直). 西山坪剖面一个重要的特征是起源于西亚, 现为中国北方最主要农作物的小麦, 其碳化种子在剖面上部的 8 个样品中被检出, 最早出现的年龄为 4650 cal a BP, 这是中国西北天水地区有高精度年龄控制的最早的小麦遗存. 起源于西亚的燕麦在剖面上部的 2 个样品中出现, 年龄在 4600 cal a BP 左右. 青稞在 4 个样品中被鉴定出, 最早的年龄为 5070 cal a BP, 野大豆在 2 个样品中被检出, 最早年龄为 4770 cal a BP.

中国北方禾本科植物群落的主要建群种为针茅属、芨芨草属、赖草属. 现生栽培作物水稻、小麦、大麦、玉米、燕麦、黑麦、高粱等均属禾本科植物. 现代土花粉研究显示禾本科的代表性较弱, 即使在禾本科植物为建群种的草原群落中, 其花粉含量也

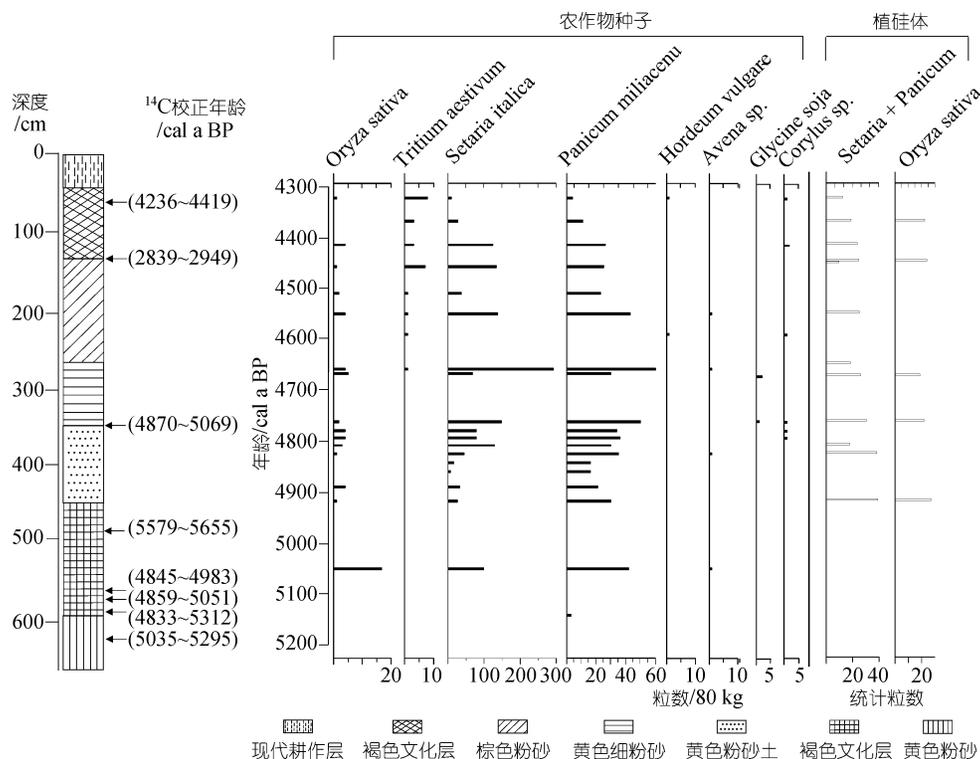


图 3 西山坪剖面 5250~4300 cal a BP 时段农作物种子和植硅体记录

多低于 10%^[27]。西山坪剖面中禾本科花粉含量在多数层位中占有很大比例,最高可达 53%,这种现象在自然植被状态下是很难出现的。禾本科农作物的栽培是人类选择性种植的结果,一般表现为“纯”禾本科植物的生长,低代表性的禾本科花粉仍可在花粉组合中显示高含量,其花粉含量的变化间接指示了农作物盖度的变化,可视为人类农业活动的替代指标。西山坪禾本科花粉在 5100~4650 cal a BP 时段快速升高,乔木植物花粉降低,显示先民的农业活动从 5100 cal a BP 开始已比较强烈,明显影响着研究区植被变化。

荞麦是中国北方主要的旱作农作物,生态适应性强,耐瘠、耐旱、耐盐碱又耐寒,荞麦属植物的 7 个野生种中有细柄野荞麦(*Fagopyrum gracilipes*)与金荞麦(*Fagopyrum dibotrys*)2 个野生种在西北地区有分布,并都可栽培食用,其中细柄野荞麦是与现生栽培的苦荞麦和荞麦的亲缘关系最近^[28]。西山坪花粉百分比显示 4600 cal a BP 以来荞麦花粉开始升高,最高含量可达 30%,荞麦属花粉的增高与先民栽培荞麦有密切的关系,也可作为人类农业活动的替代指标。木本植物的果实是先民的一种重要的食物来源,如栗属植物中野板栗、茅栗和锥栗等的果实的淀粉含量可达 50%左右,历史时期仍广为栽培和食用^[29],目前,天水地区仍残存有天然板栗林^[29]。花粉谱显示了 4600 cal a BP 以来云杉为主的针叶林大幅缩减和栗属乔木大幅度扩张阶段。

3 讨论与结论

文化遗存和自然沉积剖面花粉谱揭示的植被变化的原因是不尽相同的。自然沉积剖面中没有或少有人类活动干扰,花粉记录的植被演替更多与区域气候变化、火发生和突发灾害事件等有关。史前人类活动(主要是农业活动)强烈地区,文化遗址剖面的花粉谱记录的植被变化,不仅与气候等环境因素有关,更多的记录了先民“刀耕火种”与土地利用等造成的植被与生态环境的改变。

种子、花粉和植物硅酸体等生物指标结合高精度 AMS¹⁴C 测年,记录了 5250~4300 cal a BP 时段西山坪遗址的农作物类型和农业种植特征。5100 cal a BP 以来禾本科植物含量明显增高,出现大量的粟、黍种子和植硅体,显示了研究区以旱作农业为主的农业活

动较为强烈,对植被产生了明显的影响。5070 cal a BP 出现了水稻的种子和植硅体,揭示了研究区早在 5000 年前已开始种植水稻,这是中国西北有精确定年的最老的稻作遗存,也是目前已知新石器稻作农业分布的最西北端。西山坪遗址 4650~4300 cal a BP 阶段一个重要的特征是小麦和燕麦碳化种子的出现,这一发现对于研究起源于西亚的小麦和燕麦的传播和扩散以及原始农业文明的交流与融合具有重要意义。中国小麦遗存的早期记录有新疆柴达木盆地东部的古墓沟小麦种子,年代测定为约 4000 a^[30],甘肃民乐县东灰山遗址含小麦、大麦、高粱、粟、稷等 5 种农作物遗存,距今约 4500~5000 a^[31],中原地区二里头遗址的小麦遗存为距今 3500~3800 a^[32],山东良城镇龙山文化层中的小麦遗存大约在 3600 a 前^[33]。西山坪遗址 4650 cal a BP 开始出现的小麦和燕麦遗存,提供了有高精度 AMS¹⁴C 测年控制的中国早期小麦种植记录,也证实小麦和燕麦等农作物早在 4650 cal a BP 已传播到中国西北地区。

西山坪遗址 4650 cal a BP 以来一个重要的变化是针叶乔木特别是云杉林的突然消失和阔叶乔木(主要是栗)的扩张。这一阶段恰好对应了小麦、燕麦和荞麦的相继出现,粟、黍、青稞、大豆以及湿地作物水稻共同被栽培时期,禾本科和荞麦花粉的高含量也显示了农业活动强度大,先民通过砍伐和焚毁林木得到更多的农田以获取充足的粮食。坚果是先民的一个食物来源,4650 cal a BP 以来西山坪和天水大地湾栗花粉的高含量^[29],显示了栗的坚果在天水先民的食物结构中占有一定的比例。另外,云杉等高大挺直针叶树是良好的建筑材料,在天水新石器晚期已被广泛用于修建房屋和祭祀场所,天水大地湾 5000 年左右 420 m² 大型祭祀遗存可为佐证^[34]。云杉和栗均为喜湿乔木,其花粉含量的反向变化并无气候变干的信息,天水及周边地区全新世气候变化研究也表明 4650 cal a BP 左右气候较为凉爽^[17,35-38]。因此,气候变化不是云杉林突然消失和栗树扩张的直接原因,应是先民对针叶树进行选择性的砍伐和有意识保留并栽培栗树的结果。4510 cal a BP 以后荞麦作物的峰值在小麦和燕麦出现以后,这一时期的黍和粟种子仍然显示了高含量(图 3),表明研究区仍然以旱作农业为主,这可能与 4510 cal a BP 以来气候干旱程度增加有关。

原始粗放农业经济尤其是旱作农业的载能是不高的。石锄手耕地作物每公顷的产量在 550 kg 左右, 每平方公里大约能供养 12 人 [39]。加拿大安大略省玉米种植辅以渔猎采集的原始混合经济的最高土地载能为每平方公里 25~50 人 [40]。中国秦汉时期粟的平均亩产 20 kg 左右 [41], 1950 年旱地粮食平均单产也仅 15~60 kg [42]。因此, 史前原始农业时期的人口压力很容易形成, 先民需要更多的粮食以满足日益增长的人口压力。选择更高载能的农作物如小麦和水稻等以提高土地的载能也成为先民获取充足食物的重要途径。

西山坪遗址 4650 cal a BP 以来出现的粟、黍、水稻、小麦、燕麦、青稞、大豆和荞麦等 8 种农作物囊括了东亚和西亚 2 个农业起源中心的主要类型, 也涵盖了除玉米外的主要粮食作物。显示了农业多样化特征。现有的研究初步勾勒了中国新石器中、晚期几个主要文化区农业状况(图 1), 东北红山文化是渔猎和黍、粟旱作农业 [43], 大汶口文化以黍、粟旱作农业为主, 也有稻作农业 [44,45]。黄河中游仰韶文化以黍、粟旱作农业为主伴有水稻种植 [46,47]。长江中游的屈家岭文化和下游的良渚文化主要以稻作农业为主 [48,49]。因此, 天水西山坪遗址可能记录了 4650 cal a BP 以来中国最早的农业多样化。

农业活动是新石器人类活动中最重要的内容和人类社会向高级形态发展的基础 [44]。农业多样化的出现是农业栽培、耕作、田间管理等技术相互交流、融合、日趋成熟的结果, 提高了农业规模和土地载能, 增强了先民对植被和环境的影响。天水地区农业多样化不仅反映了东亚和西亚两个原始农业文明之间早在 4650 cal a BP 就已开始交流与融合, 更重要的是农业多样化可能导致的农业综合实力的提高, 对于缓解日益增长的人口压力, 增大人口聚居规模, 运用集体的智慧和社会的力量都是至关重要的。

中国西部天水地区最早的农业多样化出现对中国新石器农业体系产生了怎样的影响? 对中华文明的诞生和发展有着怎样的贡献? 这些都是需要继续深入研究的问题。

致谢 中国科学院植物研究所刘长江研究员完成植物种子鉴定, 东京大学加速器实验室完成 ^{14}C 年龄测定, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Crutzen P J, Stoermer E F. The "Anthropocene". *IGBP Newslet*, 2000, 41: 17—18
- 2 Crutzen P J. Geology of mankind. *Nature*, 2002, 415(1): 23[DOI]
- 3 刘东生. 科学工作假说(Working Hypothesis)是科学创新的基础. *第四纪研究*, 2006, 26(5): 673—677
- 4 Ruddiman W F. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Clim Change*, 2003, 61: 261—293[DOI]
- 5 Diamond J, Bellwood P. Farmers and their languages: the first expansions. *Science*, 2003, 30: 597—603[DOI]
- 6 Hazelwood L, Steele J. Spatial dynamics of human dispersals: constraints on modelling and archaeological validation. *J Archaeol Sci*, 2004, 31: 669—679[DOI]
- 7 Cashdan E A. Natural fertility, birth spacing, and the "First demographic transition". *Am Anthropol*, 1985, 87(3): 650—653[DOI]
- 8 Bellwood P. *First Farmers: the Origin of Agricultural Societies*. London: Blackwell Publishing, 2005
- 9 Zohary D, Hopf M. *Domestication of Plants in the Old World*. Oxford: Oxford Univ Press, 2001
- 10 Zeist W, Bottema S. *Late Quaternary Vegetation of the Near East*. Wiesbaden, Ludwig Reichert, 1991
- 11 Normile D. Yangtze seen as earliest rice site. *Science*, 1997, 275—309
- 12 Higham C, Lu T L. The origins and dispersal of rice cultivation. *Antiquity*, 1998, 72: 867—877
- 13 Underhill A P. Current issues in Chinese Neolithic archaeology. *J World Prehistory*, 1997, 11: 103—160[DOI]
- 14 陈淳. 考古学理论. 上海: 学林出版社, 2004. 481—487
- 15 中国社会科学院考古研究所. 师赵村与西山坪. 北京: 中国大百科全书出版, 1999. 102—160
- 16 谢端琚. 马家窑文化诸类型及相关问题. *考古与文物*, 1985, 1: 63—71
- 17 An C B, Tang L Y, Barton L, et al. Climate change and cultural response around 4000 cal a BP in the western part of Chinese Loess Plateau. *Quat Sci Rev*, 2005, 63: 347—352
- 18 夏敦胜, 马玉贞, 陈发虎, 等. 秦安大地湾高分辨率全新世植被演变与气候变迁初步研究. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1998, 34(1): 119—127
- 19 吴汝祚. 甘青地区原始文化的概貌及相互关系. *考古*, 1961, 1: 119—127
- 20 黄春长. 甘肃秦安大地湾遗址植被与气候变迁. *地理科学*, 1991, 11(4): 328—335
- 21 吴征镒, 王荷生. *植物地理(上册)*. 北京: 科学出版社, 1983. 382—383
- 22 李小强, 尚雪, 周新郢, 等. 高分辨黄土花粉分析的筛析-重液综合法. *干旱区地理*, 2006, 29(5): 663—667
- 23 Lentfer C J, Boyd W E. Simultaneous extraction of phytoliths, pollen and spores from sediments. *J Archaeol Sci*, 2000, 27: 363—372[DOI]
- 24 王永吉, 吕厚远. *植物硅酸体研究及应用*. 北京: 海洋出版社, 1993
- 25 Tsuyuzaki S. Rapid seed extraction from soils by a flotation method. *Weed Res*, 1994, 34(6): 433—436[DOI]

- 26 Stuiver M, Reimer P J, Bard E, et al. INTCAL 98 radiocarbon age calibration, 24000~0 cal BP. *Radiocarbon*, 1998, 40: 1041—1083
- 27 许清海, 李月丛, 阳小兰, 等. 北方草原区主要群落类型表土花粉分析. *地理研究*, 2005, 24(3): 394—402
- 28 Chen Q F. A study of resources of *Fagopyrum* (Polygonaceae) native to China. *Bot J Linnean Soc*, 1999, 130: 53—64[DOI]
- 29 罗桂环. 早期的植物驯化与中国文明的起源. *农业考古*, 2003, 1: 64—67
- 30 Thornton C P, Schurr T G. Genes, language, and culture: an example from the Tarim Basin. *Oxford J Archaeol*, 2004, 23(1): 83—106 [DOI]
- 31 李璠. 甘肃省民乐县东灰山新石器遗址古农业遗存新发现. *农业考古*, 1989, 1: 56—69
- 32 叶万松, 周昆叔, 方孝廉, 等. 皂角树德古环境预古文化. 周昆叔, 宋豫秦, 主编. *环境考古研究(第二辑)*. 北京: 科学出版社, 2000. 34—40
- 33 Crawford G, Underhill A, Zhao Z J, et al. Late Neolithic plant remains from Northern China: preliminary results from Liangchengzhen, Shandong. *Curr Anthropol*, 2005, 46: 309—317[DOI]
- 34 朗树德. 大地湾遗址建筑遗存的初步研究. *考古与文物*, 2002, 5: 12—17
- 35 Li X Q, Zhou W J, An Z S, et al. The vegetation and monsoon variations at the desert-loess transition belt at Midiwan in northern China for the last 13ka. *Holocene*, 2003, 13 (5): 825—830
- 36 Maher B A, Hu M Y. A high-resolution record of Holocene rainfall variation from the western Chinese Loess Plateau: antiphase behaviour of the African/Indian and East Asian summer monsoons. *Holocene*, 2006, 16(3): 309—319[DOI]
- 37 Feng Z D, An C B, Wang H B. Holocene climatic and environmental changes in the arid and semi-arid area of China: a review. *Holocene*, 2006, 16(1): 119—130[DOI]
- 38 孙千里, 肖举乐. 岱海沉积记录的季风/干旱过渡区全新世气候适宜期特征. *第四纪研究*, 2006, 26(5): 781—790
- 39 Aleen W. Ecology, technique, and settlement pattern. In: Ucko P J, Tringham R, et al, eds. *Man, settlement, and urbanism*. London: Duckworth, 1972. 211—226
- 40 Butzer K W. *Archaeology as Human Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990
- 41 中国科学院黄土高原科学考察队. 黄土高原地区农业气候资源的合理利用. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 44—48
- 42 辛怡华. 汉唐时期北方旱地作物粟的产量. *农业考古*, 2001, 1: 103—104
- 43 梁文栋, 阳小兰, 崔之久, 等. 赤峰地区孢粉分析与先人生活环境初探. *地理科学*, 2002, 22(4): 453—457
- 44 靳桂云. 海岱地区史前稻作农业初步研究. *农业考古*, 2001, 3: 91—96
- 45 栾丰实. 海岱地区史前时期稻作农业的产生、发展和扩散. *文史哲*, 2005, 6: 41—47
- 46 方修琦, 章文波, 张兰生. 全新世暖期中国土地利用的格局及其意义. *自然资源学报*, 1998, 13(1): 16—22
- 47 刘军社. 陕西宝鸡地区新石器时代农业考古概述. *农业考古*, 1990, 1: 98—102
- 48 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. *考古*, 1996, 8: 81—89
- 49 朱乃诚. 中国史前稻作农业概论. *农业考古*, 2005, 1: 26—32