

^{14}C 年代校正曲线中“哈尔施塔特平台期”与新疆早期铁器时代遗址年代问题

董惟妙^{1,2}

1. 复旦大学 文物与博物馆学系, 上海 200433
2. 复旦大学 科技考古研究院, 上海 200433

摘要:在对 ^{14}C 测年数据进行校正时, 由于大气 ^{14}C 本身波动的原因, 其校正曲线出现反复波动, 从而形成可持续上百年的放射性碳平台。其中“哈尔施塔特平台期”发生在 800—400 BC, 占据了考古学文化中早期铁器时代的大部分时段。该平台的存在使得这一时期的 ^{14}C 数据校正误差达到数百年, 并且无法单纯地通过增加样本量获得更精确的遗址年代信息。全球很多地区在当时尚无可靠的文字记录可依赖, 因此在这种情况下, 这些地区的早期铁器时代遗址难以做进一步的分期。本文以新疆早期铁器时代遗存为例, 分别介绍树轮交叉定年、 ^{14}C 摇摆匹配、贝叶斯模型及地磁测年的原理和适用范围等, 并讨论了应用上述方法对于改善新疆早期铁器时代遗址年代问题的可行性。结合新疆早期铁器时代遗存的特性, 提出在具体研究中应视材料的保存情况和研究的需求选择合适的方法。

关键词: ^{14}C 测年; ^{14}C 校正; “哈尔施塔特平台期”; 早期铁器时代; 新疆

“Hallstatt Plateau” in radiocarbon calibration curve and the dating of Early Iron Age sites in Xinjiang

DONG Weimiao^{1,2}

1. Department of Cultural Heritage and Museology, Fudan University, Shanghai 200433, China
2. Institute of Archaeological Science, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: Background, aim, and scope Due to the fluctuation of atmospheric ^{14}C itself, the calibration curve fluctuates repeatedly, forming radiocarbon plateaus that can last for hundreds of years. “Hallstatt Plateau” is one occurred between 800—400 BC, covering most of the so called archaeological Early Iron Age. Because of the existence of this radiocarbon plateau, the calendar age of this period always has a span of nearly 400 years, so it is impossible to obtain a more accurate age distribution merely by increasing the sample size. Many parts of the world have no solid written records to rely on at that time. Thus, it is difficult to further subdivide the Early Iron Age sites into different occupation phases in these areas. **Materials and methods** Taking the Early Iron Age remains in Xinjiang as an example, this paper introduces the principle and scope of applications of tree ring cross-

收稿日期: 2021-10-15; 录用日期: 2021-11-29; 网络出版: 2021-12-13

Received Date: 2021-10-15; Accepted Date: 2021-11-29; Online first: 2021-12-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41701215)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (41701215)

通信作者: 董惟妙, E-mail: dongwm@fudan.edu.cn

Corresponding Author: DONG Weimiao, E-mail: dongwm@fudan.edu.cn

引用格式: 董惟妙. 2021. ^{14}C 年代校正曲线中“哈尔施塔特平台期”与新疆早期铁器时代遗址年代问题 [J]. 地球环境学报, 12(6): 595–604, 614.
Citation: Dong W M. 2021. “Hallstatt Plateau” in radiocarbon calibration curve and the dating of Early Iron Age sites in Xinjiang [J]. Journal of Earth Environment, 12(6): 595–604, 614.

dating, ^{14}C wiggle-matching, Bayesian model and geomagnetic dating, and discusses the feasibility of applying the above methods to improve the dating accuracy of the Early Iron Age sites in Xinjiang. **Results** Combined with the actual situation of archaeological discoveries in Xinjiang, all the above-mentioned methods have their superiorities and shortcomings. **Discussion** Both ^{14}C wiggle-matching and tree ring cross-dating can produce high-precision dating results for sites with good preservation of wood, but money or time consuming. Bayesian model has advantages in narrowing the chronological range of sites utilizing existing dates. While for the method of geomagnetic dating, large dating error and limited dating material make it the last choice. **Conclusions** For now, ^{14}C wiggle-match dating can be the best choice to solve the age problem of Early Iron Age sites in Xinjiang. **Recommendations and perspectives** Combined with the characteristics of the relics of the Early Iron Age in Xinjiang, this paper believes that the appropriate methods should be selected according to the preservation of materials and the needs of research.

Key words: radiocarbon dating; radiocarbon calibration; “Hallstatt Plateau”; Early Iron Age; Xinjiang

传统的考古学年代判断主要依据发掘过程中器物出现的最早时间、组合形式和相互打破叠压关系等建立, 据此能够获知有联系的器物及文化的相对早晚, 却难以给出明确的发生时间和间隔长短。放射性 ^{14}C 测年技术的出现, 尤其是近年来高精度 AMS- ^{14}C 测年的广泛应用极大提高了考古年代学相关的研究水平, 为遗址提供高分辨率的年代框架, 帮助关联考古学文化在时空上的演变情况, 被称为考古学的革命 (van der Plicht et al, 2020)。

中国现代考古学已经诞生 100 周年, 自上世纪 80 年代 ^{14}C 测年技术被引入中国起, 广泛、精确的遗址定年对于中国考古学的发展无疑是一项革命性的改变 (仇士华, 2015)。与有深厚积累的中原地区相比, 新疆因地处边疆、地域辽阔、环境相对艰苦, 不利于考古工作顺利、深入开展; 加之地处欧亚大陆内部, 不同来源的文化在不同时段不同程度地影响和改变新疆的不同区域, 导致难以建立广泛接受的考古文化发展序列 (韩建业, 2007; 邵会秋, 2018)。考古年代数据的缺失是上述问题难以解决的重要原因。当前研究表明新疆鲜见典型的新石器时代文化遗存, 青铜时代和早期铁器时代的遗址数量虽多, 但尚未建立普遍认可的文化谱系 (邵会秋, 2018; 董惟妙, 2021), 系统的年代测试对于新疆考古文化演变认识的提高和研究的进步无疑大有帮助。针对某一典型遗址进行系统测年, 除能为该遗址本身建立精确的年代框架, 亦能为文化面貌相同或相近的遗址提供准确的年代参考, 了解各时期文化发展的特征, 最终服务于考古文化谱系的

建立。

然而, 尽管作用巨大, 但受测年材料本身的质量、所处年代以及所在年代范围校正曲线的走势特征等影响, ^{14}C 测年并不总能圆满地解决考古学研究中遇到的所有年代相关的问题。校正曲线中“平台期” (Reimer et al, 2020) 的存在即是影响年代判断的一个重要因素。本文将以 ^{14}C 校正曲线中的其中一个平台期为例, 浅谈平台期附近的精确测年问题, 以及今后的工作中如何有效应对这一现象。

1 ^{14}C 校正曲线平台期

^{14}C 是由宇宙射线在大气中轰击大气层中的 ^{14}N 所产生的天然放射性同位素, 宇宙射线形成的 ^{14}C 产率并非一成不变, 受地球磁场和太阳活动等多种因素影响, 大气 ^{14}C 浓度始终存在波动。一般认为太阳活动改变了银河宇宙射线向地球移动的偏转幅度 (屏蔽效应), 从而导致二次中子通量和大气中 ^{14}C 产率的变化 (Stuiver and Quay, 1980)。太阳活动较强时地球大气层对宇宙射线的屏蔽作用增强, ^{14}C 产率下降 (Stuiver and Quay, 1980), 导致校正曲线中出现 ^{14}C 校正年龄的波动 (摆动), 从而形成可以持续数百年的放射性碳平台 (van Geel et al, 1998)。落入平台期的 ^{14}C 年代校正数据分布异常分散, 严重影响精确定年, 给相应时段考古学研究和年代划分等造成极大的困扰 (Taylor et al, 2010; Porter and Dec, 2013)。

其中在大约 800—400 BC 阶段出现的平台是当前 ^{14}C 校正曲线中最大的平台区之一 (图 1),

该时期被称为“公元前一千纪中叶¹⁴C扭曲（Mid-First Millennium BC ¹⁴C “warp”）”（Taylor and Southon, 2013），或称“哈尔施塔特平台期（Hallstatt Plateau）”（Becker and Kromer, 1993），后者得名于铁器时代广泛分布于欧洲中部的哈尔施塔特文化（de Navarro, 1928），是目前观察到的一个持续时间较长的校正曲线平台期，因其影响重大，甚至在IntCal20曲线中被单独列出来说明（Reimer et al, 2020）。

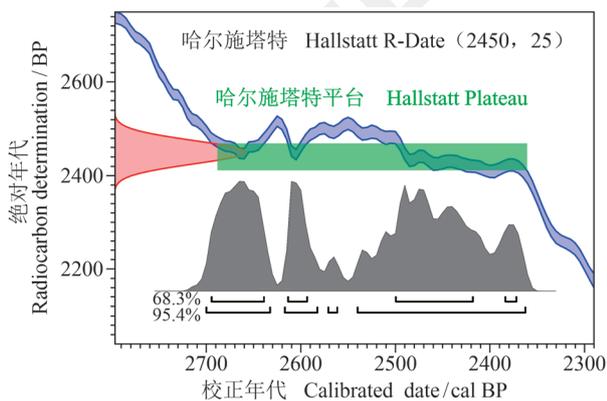


图1 “哈尔施塔特平台期”在IntCal20（Reimer et al, 2020）校正曲线中的位置示意图，数据校正采用了OxCal v4.4.4（<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>）

Fig. 1 The position of “Hallstatt Plateau” on the IntCal20 ¹⁴C calibration curve (Reimer et al, 2020), calibrated with OxCal v4.4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>)

2 “哈尔施塔特平台期”和新疆早期铁器时代遗址年代问题

持续约400 a的平台期对于长尺度研究而言可能没有太大影响，但在考古学研究中，该平台期的存在却可能影响到对很多重要历史事件的认识和判断，如广泛发现于欧亚大陆的早期铁器时代游牧文化遗存（Honeychurch, 2015）是否属于希罗多德所言的斯基泰人（Aleksiev et al, 2001），甚至他们是否有统一的人种属性（Juras et al, 2017; Unterländer et al, 2017）、能否称为某一特定文化（Gneccchi-Ruscione et al, 2021），以及当时有类似生活方式的人群在欧亚大陆草原地带繁荣发展的气候背景等（van Geel et al, 2004; Che and Lan, 2021）。

除了地中海沿岸、亚洲东部地区等少数较早发明和使用文字，并用文字记录历史的地区外，对于全球大多数地区而言，“哈尔施塔特平台期”发生的时代尚无文字记录，其时的考古学研究所

需的精确年代信息高度依赖¹⁴C测年（Finkelstein and Piasezky, 2011）。而“哈尔施塔特平台期”的存在使得该时段内的¹⁴C校正年龄不具备明确的年代指示意义，亦不能准确建立多个样品的时代早晚顺序，在长达400 a的时段内，无法根据¹⁴C测年结果获得明确的分期信息，即使增加测试样本量也无法有效改善这种局面。

“哈尔施塔特平台期”对判断中国早期铁器时代文化的连续性、各时期的变化等同样影响深远。得益于连续的文字记录，人们熟悉并确信西周以降中原以及周边地区的历史事件人物、时间、地点、影响等（白寿彝, 1980），但当时的文字记录只覆盖了当今中国很小的一部分，更大的区域不见确切的文字记录，对于当时生活在这些地区的人、发生的事等需要依赖考古学研究来揭示，明确其年代无疑是重要的一环。

以新疆的早期铁器时代文化为例，一般认为新疆在公元前1000年左右至西汉处在早期铁器时代，比起更早的青铜时代，这一时期新疆各地遗址数量明显增多且分布范围扩大，显示了文化的繁荣（韩建业, 2007; 董惟妙, 2021）。由于早期铁器时代（约1000—200 BC）在年代上与“哈尔施塔特平台期（800—400 BC）”有很大程度的重叠，加之研究初期每个遗址测试标本较少、年代误差较大，导致对早期铁器时代不同阶段的文化发展水平、空间分布等更细致的研究无法深入开展。即使是近些年随着投入的增大和¹⁴C年代测试精度的提高，较大数量、更高精度的¹⁴C数据对于这一时段内遗址的细致分期依然帮助甚微。以最新发表的新疆东部哈密五堡墓地的数据（Wang et al, 2021a）为例，16个¹⁴C数据中的11个落入了平台期内（图2），无可避免地将800—400 BC这400 a的时段划为一个时期。附近同一文化属性的艾斯克霞尔南墓地共发掘墓葬100多座，即使测年样本量增加到了23个，对于明确该墓地的分期依然无济于事（董惟妙, 2021）。位于吐鲁番盆地的鄯善洋海墓地共发掘墓葬500多座，该墓地累计测得46个¹⁴C年代数据，其中有一个明显偏早，剩余的45个数据（吕恩国等, 2017）中有18个落入了平台期（图3）。更有甚者，在同样位于吐鲁番盆地的加依墓地，研究人员测试了15个年代样品，所有数据均落入了平台期（Jiang et al, 2016）。帕米尔高原西部塔什库尔干吉尔赞喀勒墓地的测年结果（Wang et al, 2016）也陷入了同样

的困境。新疆其他区域的早期铁器时代文化遗址和墓地暂无大量高质量的 ^{14}C 数据发表。新疆之外，哈萨克斯坦中部 Tasmola 文化遗址 20 个测年数据

同样几乎全部处在这一区间，尽管与传统的认识明显不符，但是仍然只能将落入这一个时段内的遗存视为一个时期 (Beisenov et al, 2016)。

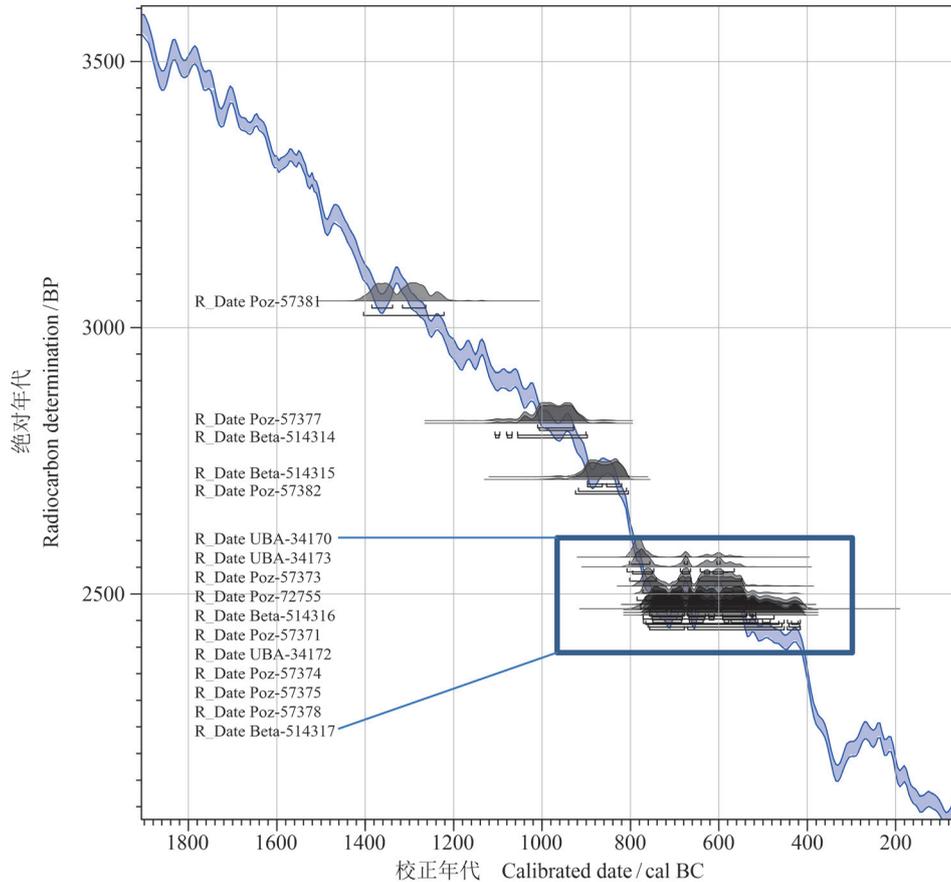


图 2 哈密五堡墓地 16 个 ^{14}C 年代 (Wang et al, 2021a) 校正结果, 校正曲线采用 IntCal20 (Reimer et al, 2020), 数据校正采用了 OxCal v4.4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>)

Fig. 2 Calendar age of Wupu Cemetery from Hami based on 16 ^{14}C data (Wang et al, 2021a), calibrated with OxCal v4.4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>) using the calibration curve of IntCal20 (Reimer et al, 2020)

正是由于上述平台期的存在, 首先, 同一遗址内大量落入平台期内的遗存之间的早晚关系无法明确, 不利于研究中对于该遗址各时期文化发展状况的正确判断, 如在吐鲁番加依墓地共有四种墓葬形制, 参照附近同属于苏贝希文化的洋海墓地的墓葬形制及对应的分期, 研究人员认为加依墓地可以分为三期, 分别是椭圆形竖穴土坑墓所指向的青铜时代晚期、长方形竖穴土坑墓 (包括有土坯墓垣和无土坯墓垣两种) 指向的早期铁器时代和竖穴偏室墓所代表的铁器时代晚期, 并且认为该墓地的延续时间几乎贯穿整个公元前一千纪 (王龙等, 2014), 然而上述考古学分期显然无法得到年代测试结果 (Jiang et al, 2016) 的支持; 其次, 无法通过年代的差异对比落入平台期内的

不同遗址之间的早晚关系, 这显然不利于正确认识不同文化或人群之间的相互影响, 如在上述几个新疆早期铁器时代墓地中 (图 4), 吉尔赞喀勒墓地 (Wang et al, 2016)、洋海墓地 (吐鲁番市文物局等, 2019) 和艾斯克霞尔南墓地 (王永强和党志豪, 2011) 均发现有起源于西亚的箜篌, 由于年代的不清晰, 使得箜篌最早进入新疆的时间、地点以及之后的传播过程和路线无法明晰, 而箜篌只是史前东西方文化交流中的一个例证, 人群 (Wang et al, 2021b)、技术 (Lin et al, 2019)、农作物 (Zhou et al, 2020), 甚至病菌 (Wu et al, 2021) 等更多的交流证据均需要强有力年代数据的支撑; 最后, 在失去高精度 ^{14}C 年代数据控制且无连续的地层证据的情况下, 如果

回归到考古学以往的年代鉴别方式，如根据铁器的有无或普遍性判断该遗址或墓地所处的时代则更危险，在上述加依墓地，全无铁器的痕迹（王龙等，2014），显然并不能因此就认为该墓地使用的时代尚未进入早期铁器时代，此外，通过器

物对比或形制对比固然不失为有效的鉴别方式，但上述加依墓地和洋海墓地的分期和测年情况显示这样的方式同样危险（王龙等，2014；Jiang et al, 2016；吕恩国等，2017；吐鲁番市文物局等，2019）。

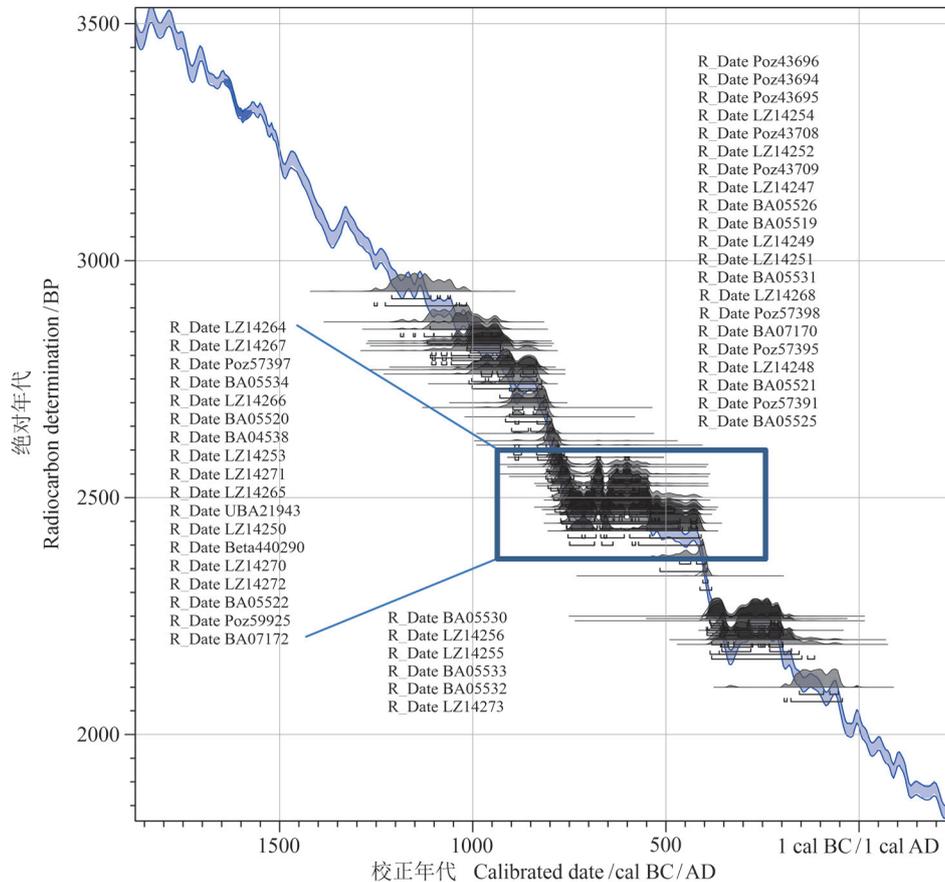


图3 鄯善洋海墓地45个¹⁴C年代（吕恩国等，2017）校正结果，校正曲线采用IntCal20（Reimer et al, 2020），数据校正采用了OxCal v4.4.4（<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>）

Fig. 3 Calendar age of Yanghai Cemetery from Shanshan based on 45 ¹⁴C data (Lü E G et al, 2017), calibrated with OxCal v4.4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>) using the calibration curve of IntCal20 (Reimer et al, 2020)

上述几个遗址仅为大量新疆早期铁器时代遗址中极少数的有比较大量¹⁴C测年数据发表的代表，更多的遗址因各种原因测试样本量偏少或测年精度不够，本文虽未举例，但这些遗址同样重要，它们的年代模糊同样会影响进一步深入研究的可信程度。尤其是新疆位于欧亚大陆的中心地带，来自大陆东西两侧的各类文化印记在此地交汇，是研究史前以及历史时期文化交流的理想区域（di Cosmo, 1994；Chen and Hiebert, 1995；Mei and Shell, 1999；Tan et al, 2021；Zhang et al, 2021）。随着考古学研究更加精确、深入的发展

趋势和要求，通过有效改善平台期内校正年代跨度过大的问题以提高该阶段考古年代相关的研究认识需求显得尤为迫切。

3 新疆早期铁器时代平台期问题解决方案

仅依靠增加¹⁴C测年的样本量，或者在常用的木炭之外改为采用生长年限更短的草本植物或种子、人或动物的骨骼测年，对于解决年代处在“哈尔施塔特平台期”及其他平台期，如AD 1480—1630附近考古遗址的年代问题助益不大，学者们正在尝试引入其他方法以解决这一难题

(Manning et al, 2020)。

3.1 树轮交叉定年

一般认为,生长在相似环境下的树木的轮宽会相似,根据有明确生长年限的树轮的轮宽变化趋势,可以推知同一区域有相似轮宽变化趋势的树木的生长年代,这种方法即是树轮的交叉定年(cross-dating)(马利民等,2003)。如果能在考古遗址中发现有明显的轮宽变化的树木,则可以与该区域已经建立的树轮轮宽年表对比,从而确定该遗址的年代。由此可见,该方法应用于考古遗址定年的基础在于本区域树轮年表的建立,如研究人员在美国西部 Chaco Canyon 所做的工作(Windes and Ford, 1996)。

对于中国西北尤其是新疆的早期铁器时代遗址,通过树轮交叉定年得到遗址确切的时代信息不

失为一种理想的方案。首先,因为新疆大多数地区气候整体干燥,有利于遗址中木材的保存(Shen et al, 2015; Jiang et al, 2021);其次,因为气候干燥,树木生长较为缓慢,其中就不乏一些生长期较长的树木,如胡杨(Li et al, 2019; Zhang et al, 2019; Wang et al, 2021a);再次,因为水热条件较差,树轮生长有比较明显的年际差异(Chen et al, 2015),有利于交叉定年的展开。然而,该方法严重依赖已经建立的树轮年表,尽管有上述优势,但新疆目前尚无理想的树轮年表能够覆盖到这一时期,还需要更多基础工作的展开。虽然对于确定遗址的确切年代可能助益不大,但如果有一系列较长树龄的树木的发现,依然可以通过交叉定年判断遗址、遗迹、遗物等的相对年代差异(Panyushkina et al, 2007; Panyushkina et al, 2010)。

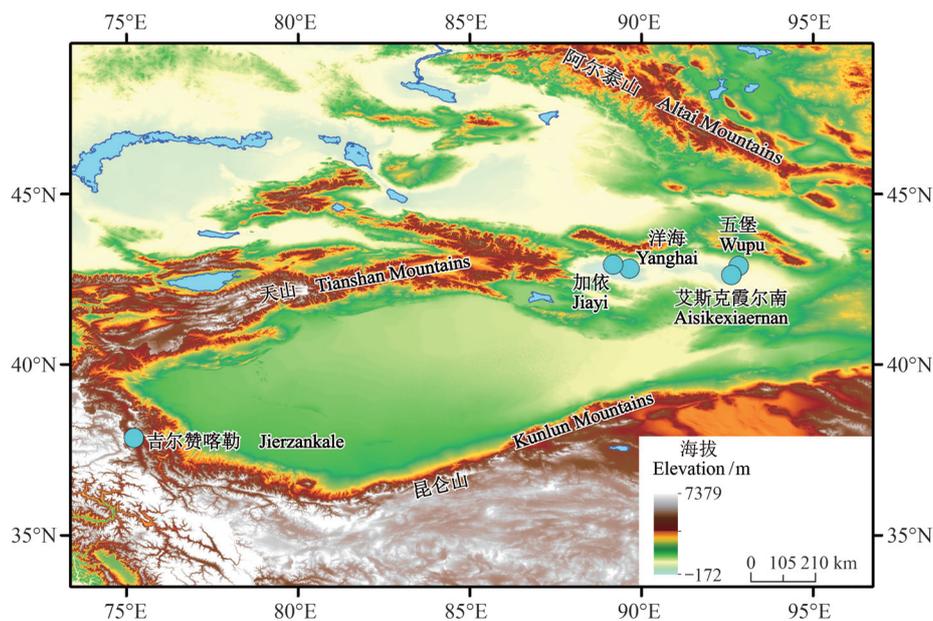


图 4 本文讨论涉及的新疆早期铁器时代墓地位置

Fig. 4 The above-mentioned Early Iron Age cemeteries in Xinjiang

3.2 ^{14}C 摇摆匹配

在树轮交叉定年之外,可以通过连续采集已知年代差的树轮样品,进行序列 ^{14}C 测年,将所得的 ^{14}C 年龄与高精度的 ^{14}C 校正曲线进行曲线拟合,从而获得高精度的日历年,即为 ^{14}C 的摇摆匹配(wiggle-matching)。利用该方法,对生长于该平台期的树木年轮进行序列采样,测出每一轮的 ^{14}C ,之后通过与校正曲线中的 ^{14}C 记录进

行摇摆匹配,可获得每个样品的较为明确的年代信息(Cook et al, 2010; Jacobsson et al, 2018; Hogg et al, 2019; Fahrni et al, 2020),新发布的校正曲线IntCal20中这一平台期内波动较之前的IntCal13更为剧烈,部分时段包含了单一年轮 ^{14}C 数据,有助于更精确年代的获得(Reimer et al, 2020)。然而,即便如此,本方案前期工作基础要求依然比较高,寻找一些特殊事件在树轮中的

记录也许有所帮助 (Pearson et al, 2020)。

俄罗斯的研究者已采用这种办法成功地判断出了中亚多个斯基泰文化大型古墓的年代差 (Zaitseva et al, 1997; Dergachev et al, 2001; Slusarenko et al, 2001; Zaitseva et al, 2007)，正是在这些建立高分辨率年代框架工作的基础上，后续对这一地区斯基泰文化发展的讨论才能有据可依 (Caspari et al, 2018)，关于这一文化与周边其他文化互动的研究才能坚实可信 (Hsu et al, 2016)。如前所述，新疆多数地区气候较为干燥，极其有利于考古遗址中木质材料的保存，上述几个新疆早期铁器时代墓地中均发现有大量木质材料，包括棺木、器具等，根据木材鉴定结果，除了常见的胡杨外，还有柳属、云杉属、桦属、圆柏属等 (Shen et al, 2015; Jiang et al, 2018; Zhang et al, 2019; Jiang et al, 2021; Wang et al, 2021a)，多数拥有较长的生长年限，为通过序列采样实现精确定年提供了可能。

3.3 贝叶斯模型

上述两种方法虽然有广阔的应用前景，但树轮交叉定年需要建立本地的树轮年表，依赖该方法进行新疆早期铁器时代遗址精确定年尚需要一定的时间；¹⁴C 摇摆匹配材料和技术均可行，但需要加大测试样品数量，经费投入较大，考虑到新疆有大量的早期铁器时代遗存需要精确定年，短期内恐难普遍施行。

在不增加测年投入的基础上，如何利用现有年代数据得到更加精准的年代区间？贝叶斯是一种以先验概率分布为起点进行数理统计演算的方法，也是一种能够完成不确定性推理的机器学习方法 (林士敏等, 2000)。对于考古年代学而言，结合已知考古地层堆积顺序和¹⁴C年代，贝叶斯模型的引入可以将现有年代跨度缩小 (Bronk Ramsey, 2009)。目前已有多个研究在现有测年数据的基础上，引入贝叶斯模型，成功获得较高精度的年代范围 (Lee et al, 2013; Hamilton et al, 2015)，为观察各时期遗存的变化和后续考古学分期提供了更扎实的年代依据 (van der Plicht et al, 2009; Toffolo et al, 2014)。在现阶段中国考古年代学研究中，贝叶斯方法的引入更多地服务于明确考古学文化年代序列 (Zhu et al, 2010; Long et al, 2018) 或遗址分期 (Tong et al, 2021)。该方法的应用不依赖于大量木材的测年结果，生长

年限较短的草本植物测年结果能够更有效地排除老碳效应带来的影响，提供更科学的测年数据。在新疆的一些早期铁器时代遗址中不仅仅保存了大量木质材料，植物种子、叶片、秸秆等也得以完好保存 (董惟妙, 2021)，为测年提供了良好的材料，现有测年数据中即有很大比例来自植物种子或秸秆直接测年，如加依墓地 (Jiang et al, 2016)。因此，利用现有测年数据，通过贝叶斯方法改善新疆早期铁器时代年代模糊问题已有很好的数据基础和广阔的应用前景。

当然，也有一些研究者直接放弃采用基于¹⁴C测年解决或改善平台期年代精度的尝试，选择用古地磁测年揭示这一时期遗存的年代信息 (Hervé and Lanos, 2018)。然而，首先，受限于地磁测年本身的精度，该方法得到的年代结果很难满足考古学研究所能接受的误差范围；再者，在考古遗址中进行地磁测年依赖于烧土堆积，然而新疆保留下来或经过发掘的史前遗存多数为墓葬，即使是少量居址类遗存，也因为强烈的风化侵蚀、连续地层堆积少等问题，使得测年材料的获得无法得到有效保障 (韩建业, 2007; 邵会秋, 2018; 董惟妙, 2021)，严重制约了该方法在新疆考古遗存中的应用。当然，如果有恰好能够满足要求的遗址，也不失为一个很好的尝试。

最后，除了上述方法层面的改进，有条件的情况下，发掘和研究中还应该格外重视地层的叠压、打破关系，以及与之相关的遗物的变化规律，从而规避因年代的不确定性带来的时代错乱。至于选用何种方式提高对遗址年代范围的把握，则应该视遗物 (木材、种子、烧土等) 的保存情况、研究的精度要求等选择最适宜的方案。这就要求在今后的发掘过程中要更加注重对各类遗物的记录和收集。

新疆早期铁器时代遗址年代的优化不仅有助于建立其本身的年代框架，还将为中国西北、乃至整个中亚早期铁器时代前后考古学文化谱系的明确提供帮助 (Alekseev et al, 2002; Michczyński, 2004; van der Plicht, 2004)，使得今后在探讨更广泛空间内的文化联系时有更可信的时间坐标。

4 结论

本文从¹⁴C测年原理、年龄校正出发，以“哈尔施塔特平台期”为例，介绍¹⁴C校正曲线中的平台期对相应时段考古学研究的不利影响，并聚焦

到新疆早期铁器时代遗址的精确定年问题,提出几个可能的解决方案。分别是利用遗址中保存的木材进行树轮交叉定年、逐轮测试木质样本的 ^{14}C 年代与 ^{14}C 校正曲线进行摇摆匹配获得精确年代,以及通过贝叶斯运算集中现有 ^{14}C 数据的分布区间,有效改善平台期年代跨度过大的问题和利用烧土堆积进行地磁测年。结合新疆早期铁器时代遗存的实际情况,认为在具体研究中,应该视遗址或墓地中所能发现的材料的特性和研究的需要选择适合的方案。

致谢:感谢编辑部和审稿专家对本文的帮助。

参考文献

- 白寿彝. 1980. 中国通史纲要 [M]. 上海: 上海人民出版社. [Bai S Y. 1980. Outline of Chinese general history [M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House.]
- 董惟妙. 2021. 哈密盆地史前居民食谱 [M]. 上海: 复旦大学出版社. [Dong W M. 2021. Diet of prehistoric residents of the Hami basin [M]. Shanghai: Fudan University Press.]
- 韩建业. 2007. 新疆的青铜时代和早期铁器时代文化 [M]. 北京: 文物出版社. [Han J Y. 2007. Bronze Age and Early Iron Age cultures in Xinjiang [M]. Beijing: Cultural Relic Press.]
- 林士敏, 田凤占, 陆玉昌. 2000. 贝叶斯学习、贝叶斯网络与数据采掘 [J]. *计算机科学*, 27(10): 69–72. [Lin S M, Tian F Z, Lu Y C. 2000. Bayesian networks construction and their applications in data mining [J]. *Computer Science*, 27(10): 69–72.]
- 吕恩国, 王 龙, 郭 物. 2017. 洋海墓地分期与断代研究 [J]. *吐鲁番学研究*, (1): 1–18. [Lü E G, Wang L, Guo W. 2017. A study on the staging and dating of Yanghai Cemetery [J]. *Turfanological Research*, (1): 1–18.]
- 马利民, 刘 禹, 赵建夫. 2003. 交叉定年技术及其在高分辨率年代学中的应用 [J]. *地学前缘*, 10(2): 351–355. [Ma L M, Liu Y, Zhao J F. 2003. Cross-dating and its application in high resolving chronological research [J]. *Earth Science Frontiers*, 10(2): 351–355.]
- 仇士华. 2015. ^{14}C 测年与中国考古年代学研究 [M]. 北京: 中国社会科学出版社. [Qiu S H. 2015. ^{14}C dating and the archaeological chronology research of China [M]. Beijing: China Social Sciences Press.]
- 邵会秋. 2018. 新疆史前时期文化格局的演进及其与周邻文化的关系 [M]. 北京: 科学出版社. [Shao H Q. 2018. The evolution of cultural patterns in prehistoric Xinjiang and their relationship with surrounding cultures [M]. Beijing: Science Press.]
- 吐鲁番市文物局, 新疆文物考古研究所, 吐鲁番学院, 等. 2019. 新疆洋海墓地 [M]. 北京: 文物出版社. [Turpan Cultural Relics Bureau, Institute of Cultural Relics and Archaeology of Xinjiang, Turpan Academy of Sciences, et al. 2019. Yanghai Cemetery of Xinjiang [M]. Beijing: Cultural Relic Press.]
- 王 龙, 肖国强, 刘志佳, 等. 2014. 吐鲁番加依墓地发掘简报 [J]. *吐鲁番学研究*, (1): 1–19. [Wang L, Xiao G Q, Liu Z J, et al. 2014. Brief report on excavation of Jiayi Cemeteries in Turpan, Xinjiang [J]. *Turfanological Research*, (1): 1–19.]
- 王永强, 党志豪. 2011. 新疆哈密五堡艾斯克霞尔南墓地考古新发现 [J]. *西域研究*, (2): 134–137. [Wang Y Q, Dang Z H. 2011. New archaeological discoveries of Aiskexiaernan Cemetery, Wupu, Hami, Xinjiang [J]. *The Western Regions Studies*, (2): 134–137.]
- Alekseev A Y, Bokovenko N A, Boltrik Y, et al. 2001. A chronology of the Scythian antiquities of Eurasia based on new archaeological and ^{14}C data [J]. *Radiocarbon*, 43(2B): 1085–1107.
- Alekseev A Y, Bokovenko N A, Boltrik Y, et al. 2002. Some problems in the study of the chronology of the ancient nomadic cultures in Eurasia (9th — 3rd centuries BC) [J]. *Geochronometria*, 21: 143–149.
- Becker B, Kromer B. 1993. The continental tree-ring record—absolute chronology, ^{14}C calibration and climatic change at 11 ka [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103(1/2): 67–71.
- Beisenov A Z, Svyatko S V, Kassenalin A E, et al. 2016. First radiocarbon chronology for the Early Iron Age sites of central Kazakhstan (Tasmola Culture and Korgantas Period) [J]. *Radiocarbon*, 58(1): 179–191.
- Bronk Ramsey C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates [J]. *Radiocarbon*, 51(1): 337–360.
- Caspari G, Sadykov T, Blochin J, et al. 2018. Tunnug 1 (Arzhan 0)—an Early Scythian Kurgan in Tuva Republic, Russia [J]. *Archaeological Research in Asia*, 15: 82–87.
- Che P, Lan J H. 2021. Climate change along the Silk Road and its influence on Scythian cultural expansion and rise of the Mongol empire [J]. *Sustainability*, 13(5): 2530. DOI:

- 10.3390/su13052530.
- Chen F, Yuan Y J, Yu S L, et al. 2015. A 225-year long drought reconstruction for east Xinjiang based on Siberia larch (*Larix sibirica*) tree-ring widths: reveals the recent dry trend of the eastern end of Tien Shan [J]. *Quaternary International*, 358: 42–47.
- Chen K T, Hiebert F T. 1995. The late prehistory of Xinjiang in relation to its neighbors [J]. *Journal of World Prehistory*, 9(2): 243–300.
- Cook G T, Dixon T N, Russell N, et al. 2010. High-precision radiocarbon dating of the construction phase of Oakbank Crannog, Loch Tay, Perthshire [J]. *Radiocarbon*, 52(2): 346–355.
- de Navarro J M. 1928. Massilia and Early Celtic Culture [J]. *Antiquity*, 2(8): 423–442.
- Dergachev V A, Vasiliev S S, Sementsov A A, et al. 2001. Dendrochronology and radiocarbon dating methods in archaeological studies of Scythian Sites [J]. *Radiocarbon*, 43(2A): 417–424.
- di Cosmo N. 1994. Ancient inner Asian nomads: their economic basis and its significance in Chinese history [J]. *The Journal of Asian Studies*, 53(4): 1092–1126.
- Fahrni S M, Southon J, Fuller B T, et al. 2020. Single-year German oak and Californian bristlecone pine ^{14}C data at the beginning of the Hallstatt Plateau from 856 BC to 626 BC [J]. *Radiocarbon*, 62(4): 919–937.
- Finkelstein I, Piasezky E. 2011. The Iron Age chronology debate: is the gap narrowing? [J]. *Near Eastern Archaeology*, 74(1): 50–54.
- Gnecchi-Ruscone G A, Khussainova E, Kahbatkyzy N, et al. 2021. Ancient genomic time transect from the Central Asian Steppe unravels the history of the Scythians [J]. *Science Advances*, 7(13). DOI: 10.1126/sciadv.abe4414.
- Hamilton W D, Haselgrove C, Gosden C. 2015. The impact of Bayesian chronologies on the British Iron Age [J]. *World Archaeology*, 47(4): 642–660.
- Hervé G, Lanos P. 2018. Improvements in archaeomagnetic dating in western Europe from the Late Bronze to the Late Iron Ages: an alternative to the problem of the Hallstattian radiocarbon plateau [J]. *Archaeometry*, 60(4): 870–883.
- Hogg A G, Wilson C J N, Lowe D J, et al. 2019. Wiggle-match radiocarbon dating of the Taupo eruption [J]. *Nature Communications*, 10(1): 4669. DOI: 10.1038/S41467-019-12532-8.
- Honeychurch W. 2015. Inner Asia and the spatial politics of empire: archaeology, mobility, and culture contact [M]. New York: Springer.
- Hsu Y K, Bray P J, Hommel P, et al. 2016. Tracing the flows of copper and copper alloys in the Early Iron Age societies of the eastern Eurasian Steppe [J]. *Antiquity*, 90(350): 357–375.
- Jacobsson P, Hamilton W D, Cook G, et al. 2018. Refining the Hallstatt Plateau: short-term ^{14}C variability and small scale offsets in 50 consecutive single tree-rings from southwest Scotland dendro-dated to 510—460 BC [J]. *Radiocarbon*, 60(1): 219–237.
- Jiang H, Feng G P, Liu X L, et al. 2018. Drilling wood for fire: discoveries and studies of the fire-making tools in the Yanghai Cemetery of ancient Turpan, China [J]. *Vegetation History and Archaeobotany*, 27(1): 197–206.
- Jiang H E, Li C S, Cao H Y, et al. 2021. Wood utilization during the Late Bronze to Early Iron Age in the Turpan Basin of Xinjiang, China, with special emphasis on *Betula* (Betulaceae) [J]. *Sage Open*, 11(3). DOI: 10.1177/21582440211046950.
- Jiang H, Wang L, Merlin M D, et al. 2016. Ancient *Cannabis* burial shroud in a central Eurasian Cemetery [J]. *Economic Botany*, 70(3): 213–221.
- Juras A, Krzewińska M, Nikitin A G, et al. 2017. Diverse origin of mitochondrial lineages in Iron Age Black Sea Scythians [J]. *Scientific Reports*, 7: 43950. DOI: 10.1038/srep43950.
- Lee S, Ramsey C B, Mazar A. 2013. Iron Age chronology in Israel: results from modeling with a trapezoidal Bayesian framework [J]. *Radiocarbon*, 55(2): 731–740.
- Li K K, Qin X G, Zhang L, et al. 2019. Oasis landscape of the ancient Loulan on the west bank of Lake Lop Nur, northwest China, inferred from vegetation utilization for architecture [J]. *The Holocene*, 29(6): 1030–1044.
- Lin Y X, Rehren T, Wang H, et al. 2019. The beginning of faience in China: a review and new evidence [J]. *Journal of Archaeological Science*, 105: 97–115.
- Long T W, Leipe C, Jin G Y, et al. 2018. The early history of wheat in China from ^{14}C dating and Bayesian chronological modelling [J]. *Nature Plants*, 4(5): 272–279.
- Manning S W, Birch J, Conger M A, et al. 2020. Resolving time among non-stratified short-duration contexts on a

- radiocarbon plateau: possibilities and challenges from the AD 1480—1630 example and northeastern North America [J]. *Radiocarbon*, 62(6): 1785–1807.
- Mei J J, Shell C. 1999. The existence of Andronovo cultural influence in Xinjiang during the 2nd millennium BC [J]. *Antiquity*, 73(281): 570–578.
- Micheczyński A. 2004. Problems of construction of a radiocarbon chronology for the time period 900—300 cal BC [M]// NATO science series: IV: Earth and environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 117–123.
- Panyushkina I, Sljusarenko I, Bikov N, et al. 2007. Floating larch tree-ring chronologies from archaeological timbers in the Russian Altai between about 800 BC and AD 800 [J]. *Radiocarbon*, 49(2): 693–702.
- Panyushkina I P, Chang C, Clemens A W, et al. 2010. First tree-ring chronology from Andronovo archaeological timbers of Bronze Age in Central Asia [J]. *Dendrochronologia*, 28(1): 13–21.
- Pearson C, Salzer M, Wacker L, et al. 2020. Securing timelines in the ancient Mediterranean using multiproxy annual tree-ring data [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(15): 8410–8415.
- Porter R M, Dee M W. 2013. Dating anomalies in the archaeology of the 7th century BC [J]. *Radiocarbon*, 55(3): 1371–1376.
- Reimer P J, Austin W E N, Bard E, et al. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0—55 cal kBP) [J]. *Radiocarbon*, 62(4): 725–757.
- Shen H, Wu X H, Tang Z H, et al. 2015. Wood usage and fire veneration in the Pamir, Xinjiang, 2500 yr BP [J]. *PLoS One*, 10(8): e0134847. DOI: 10.1371/journal.pone.0134847.
- Slusarenko I Y, Christen J A, Orlova L A, et al. 2001. ^{14}C wiggle matching of the ‘floating’ tree-ring chronology from the Altai Mountains, southern Siberia: the ulandryk-4 case study [J]. *Radiocarbon*, 43(2A): 425–431.
- Stuiver M, Quay P D. 1980. Changes in atmospheric carbon-14 attributed to a variable sun [J]. *Science*, 207(4426): 11–19.
- Tan L C, Dong G H, An Z S, et al. 2021. Megadrought and cultural exchange along the proto-silk road [J]. *Science Bulletin*, 66(6): 603–611.
- Taylor R E, Beaumont W C, Southon J, et al. 2010. Alternative explanations for anomalous ^{14}C ages on human skeletons associated with the 612 BCE destruction of Nineveh [J]. *Radiocarbon*, 52(2): 372–382.
- Taylor R E, Southon J. 2013. Reviewing the Mid-First Millennium BC ^{14}C “warp” using ^{14}C /bristlecone pine data [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 294: 440–443.
- Toffolo M B, Arie E, Martin M A S, et al. 2014. Absolute chronology of Megiddo, Israel, in the Late Bronze and Iron Ages: high-resolution radiocarbon dating [J]. *Radiocarbon*, 56(1): 221–244.
- Tong J Y, Ma J, Li W Y, et al. 2021. Chronology of the Tianshanbeilu Cemetery in Xinjiang, northwestern China [J]. *Radiocarbon*, 63(1): 343–356.
- Unterländer M, Palstra F, Lazaridis I, et al. 2017. Ancestry and demography and descendants of Iron Age nomads of the Eurasian Steppe [J]. *Nature Communications*, 8: 14615. DOI: 10.1038/ncomms14615.
- van der Plicht J. 2004. Radiocarbon, the calibration curve and Scythian chronology [M]// NATO science series: IV: Earth and environmental sciences. Dordrecht: Springer Netherlands: 45–61.
- van der Plicht J, Bruins H J, Nijboer A J. 2009. The Iron Age around the Mediterranean: a high chronology perspective from the Groningen radiocarbon database [J]. *Radiocarbon*, 51(1): 213–242.
- van der Plicht J, Bronk Ramsey C, Heaton T J, et al. 2020. Recent developments in calibration for archaeological and environmental samples [J]. *Radiocarbon*, 62(4): 1095–1117.
- van Geel B, Raspopov O M, van der Plicht J, et al. 1998. Solar forcing of abrupt climate change around 850 calendar years BC [C]// Peiser B J, Palmer T, Bailey M E. Natural catastrophes during Bronze Age civilizations: archaeological, geological, astronomical and cultural perspectives. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press: 162–168.
- van Geel B, Bokovenko N A, Burova N D, et al. 2004. Climate change and the expansion of the Scythian culture after 850 BC: a hypothesis [J]. *Journal of Archaeological Science*, 31(12): 1735–1742.

- 34(8): 46–50.]
- 张 鑫. 2015. 大汶口文化研究 [D]. 长春: 吉林大学. [Zhang X. 2015. The research of Dawenkou Culture [D]. Changchun: Jilin University.]
- 赵 济. 1992. 胶东半岛沿海全新世环境演变 [M]. 北京: 海洋出版社. [Zhao J. 1992. Holocene environmental evolution along the Jiaodong Peninsula [M]. Beijing: China Ocean Press.]
- 周 江, 刘冬雁, 庄振业, 等. 2008. 全新世海侵以来山东荣成朝阳港泻湖沉积层与古环境记录 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 38(5): 803–808. [Zhou J, Liu D Y, Zhuang Z Y, et al. 2008. The sediment layers and the records of the paleoenvironment in the Chaoyanggang lagoon, Rongcheng City of Shandong Province since Holocene transgression [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 38(5): 803–808.]
- 赵 强, 邹春辉, 王 爽, 等. 2018. 莱州湾南岸中全新世聚落遗址时空分布特征及其环境背景 [J]. *地理科学*, 38(9): 1560–1569. [Zhao Q, Zou C H, Wang S, et al. 2018. Spatial and temporal distribution characteristics and environmental background of the Middle Holocene settlements in the south bank of Laizhou Bay [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 38(9): 1560–1569.]
- 张少华, 原永党, 刘振林, 等. 2008. 威海湾水域环境因子周年变化特征 [J]. *中国生态农业学报*, 16(5): 1248–1252. [Zhang S H, Yuan Y D, Liu Z L, et al. 2008. Environmental monitoring and evaluation of Weihai Bay seawater [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(5): 1248–1252.]
- Goude G, Fontugne M. 2016. Carbon and nitrogen isotopic variability in bone collagen during the Neolithic period: influence of environmental factors and diet [J]. *Journal of Archaeological Science*, 70: 117–131.
- IGAC. 2006. Science plan and implementation strategy [R]. Stockholm: IGBP Secretariat: 44.
- Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. 2005. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate [J]. *Science*, 308(5723): 854–857.
- Zhang Z P, Liu J B, Chen J, et al. 2021. Holocene climatic optimum in the East Asian monsoon region of China defined by climatic stability [J]. *Earth-Science Reviews*, 212: 103450. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103450.
- ~~~~~
- (上接 604 页)
- Wang L J, Wang Y Q, Li W Y, et al. 2021a. Inner Asian agropastoralism as optimal adaptation strategy of Wupu inhabitants (3000—2400 cal BP) in Xinjiang, China [J]. *The Holocene*, 31(2): 203–216.
- Wang W J, Ding M Y, Gardner J D, et al. 2021b. Ancient Xinjiang mitogenomes reveal intense admixture with high genetic diversity [J]. *Science Advances*, 7(14). DOI: 10.1126/sciadv.abd6690.
- Wang X Y, Tang Z H, Wu J, et al. 2016. Strontium isotope evidence for a highly mobile population on the Pamir Plateau 2500 years ago [J]. *Scientific Reports*, 6: 35162. DOI: 10.1038/srep35162.
- Windes T C, Ford D. 1996. The *Chaco* wood project: the chronometric reappraisal of Pueblo Bonito [J]. *American Antiquity*, 61(2): 295–310.
- Wu X Y, Ning C, Key F M, et al. 2021. A 3,000-year-old, basal *S. enterica* lineage from Bronze Age Xinjiang suggests spread along the Proto-Silk Road [J]. *PLoS Pathogens*, 17(9): e1009886. DOI: 10.1371/journal.ppat.1009886.
- Zaitseva G I, Vasiliev S S, Marsadolov L S, et al. 1997. A tree-ring and ^{14}C chronology of the key Sayan-Altai monuments [J]. *Radiocarbon*, 40(1): 571–580.
- Zaitseva G I, Chugunov K V, Yu Alekseev A, et al. 2007. Chronology of key barrows belonging to different stages of the Scythian period in Tuva (Arzhan-1 and Arzhan-2 barrows) [J]. *Radiocarbon*, 49(2): 645–658.
- Zhang F, Ning C, Scott A, et al. 2021. The genomic origins of the Bronze Age Tarim Basin mummies [J]. *Nature*, 599(7884): 256–261.
- Zhang G L, Wang Y Q, Spate M, et al. 2019. Investigation of the diverse plant uses at the South Aisikexiaer Cemetery (~ 2700—2400 years BP) in the Hami Basin of Xinjiang, northwest China [J]. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(2): 699–711.
- Zhou X Y, Yu J J, Spengler R N, et al. 2020. 5,200-year-old cereal grains from the eastern Altai Mountains redate the trans-Eurasian crop exchange [J]. *Nature Plants*, 6(2): 78–87.
- Zhu Y Z, Cheng P, Yu S Y, et al. 2010. Establishing a firm chronological framework for Neolithic and early dynastic archaeology in the Shangluo area, central China [J]. *Radiocarbon*, 52(2): 466–478.