

陇西黄土高原秦安地区全新世植被的讨论

钟艳霞 陈发虎* 安成邦 谢树成 黄咸雨

(兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 湖北省地球表层系统开放实验室, 武汉 430074; 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021. * 联系人, E-mail: fhchen@lzu.edu.cn)

摘要 前人曾报道黄土高原西部甘肃秦安地区全新世中期气候湿润, 湿地广泛分布, 发现以松属为主的针叶树花粉可高达 80%以上, 推断当地发育森林植被。依据前人报道的全新世湿地-冲积黄土剖面并补充了典型全新世黄土-古土壤剖面, 开展了分子标志化合物组分的研究, 发现所有样品正构烷烃的高碳数部分均具有显著的奇偶优势, 并且以表征草本植物的正构烷烃 C_{31} 为主峰, 且 C_{27} , C_{29} , C_{31} 这三个有机分子中 C_{27} 的含量最低($C_{27} < C_{29} < C_{31}$), 与研究区草原植被现代表土结果一致, 而与以 C_{29} 为主峰的森林草原现代表土结果有别, 也不同于当地现代松科植物以 C_{29} 为主峰的正构烷烃分布模式, 表明研究区全新世以草原植被为主, 并非前人报道的森林植被。研究说明, 若将孢粉和分子标志化合物指标有机结合, 可以弥补因孢粉传播等带来的古植被重建方面的问题, 更好地解释植被变化。

关键词 分子标志化合物 正构烷烃 古植被 黄土高原西部 全新世

全新世时期黄土高原是否存在大面积森林植被是一个有争议的问题。历史地理学者认为历史时期黄土高原存在大面积的森林植被^[1]; 但黄土地层中多指标的分析结果显示, 黄土高原并不存在广泛的森林植被, 全新世期间尤其不存在森林植被^[2-6]。位于六盘山以西的黄土高原西部地区(陇西黄土高原), 气候干燥、植被类型较为单一, 其东部的秦安地区发育我国北方著名的新石器时代早期文化——大地湾文化^[7,8]。前人对秦安大地湾遗址所在地的全新世湿地-冲积黄土剖面的孢粉分析显示, 全新世中期陇西黄土高原湿地广布, 气候温暖湿润^[9], 剖面地层中确实存在以松为主的高含量的木本花粉, 某些时段的针叶树花粉含量高达 80%以上, 以此推论认为在全新世当地有森林植被发育^[10-13]。对于干旱区孢粉现代过程的研究发现, 河流可以运移传输山地森林植被的孢粉, 尤其是针叶林植被的孢粉^[14,15], 孢粉类型和组成指示了山地植被, 而不是当地的植被。因此, 利用新的手段开展陇西黄土高原植被的重建十分必要, 尤其对于研究新石器文化时期古人类生活环境具有重要意义。

分子标志化合物在海相沉积物^[16]、湖相沉积物^[17]、泥炭^[18]以及冰雪^[19]等载体中已得到了很好的运用, 并对全球环境变化及不同地区植被类型演替的

研究提供了分子级的记录^[20,21]。在对欧洲中部地区末次冰期到全新世植被演替的研究中发现, 使用分子标志化合物中正构烷烃指标, 结合现代过程研究, 可以帮助解决孢粉分析中对一些针叶树只能鉴定到属而不能鉴定到种的困难, 能够更进一步确定针叶林类型^[22]。对于黄土地层中该类分子化石, 在我国不同黄土剖面中已成功进行了不同时期黄土高原植被景观的演化研究^[5,23,24], 实现了黄土地层分子级指标记录古植被的恢复和重建。本文选择陇西黄土高原的秦安地区作为研究区域, 选择该地区两个不同成因的全新世剖面, 运用分子标志化合物指标恢复该地区全新世时期古植被的类型, 讨论前人认为的全新世中期存在森林植被的问题。

1 样品与实验方法

研究区域(图 1)位于六盘山以西的陇西黄土高原东部的甘肃秦安大地湾, 采样点位于秦安县五营乡(35°00'47.3"N, 105°54'53.3"E), 是秦安大地湾新石器文化的所在地。该地区年均温 8~9℃, 年降水量 450~500 mm。当前, 离研究区最近的森林分布在距采样点 100 km 以上的六盘山山区, 其中针叶林只有华山松林和油松林两种, 呈现斑块分布, 在离研究区更远的子午岭和西秦岭的小陇山和白龙江中上游、洮

2006-06-01 收稿, 2006-12-01 接受

国家自然科学基金创新群体项目(批准号: 40421101)、湖北省地球表层系统开放实验室开放基金和国家自然科学基金重点项目(批准号: 90502008)资助

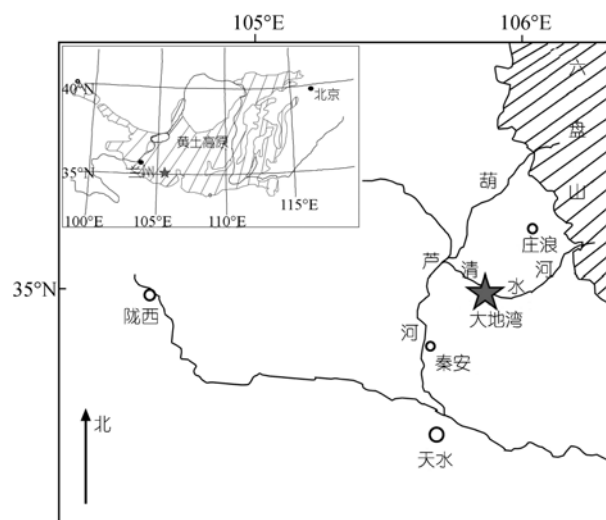


图 1 研究区域和采样点位置图
插图示黄土高原；图中星号示剖面位置

河中上游、岷江等林区有部分天然油松林分布。本文选择大地湾的 DDWA 和 DDWL 两个全新世剖面，其中 DDWA 剖面海拔 1470 m，位于五营乡邵家店村葫芦河的支流清水河一级阶地上，剖面厚 5 m，样品采自 Feng 等 [9] 研究的原剖面上，剖面描述参见安成邦等 [12] 的描述，并根据野外观测做了部分调整。剖面深 2.0 m 以下主要为类似河流牛轭湖湖沼、沼泽相沉积，从 2.0 m 开始脱水形成古土壤，1.0 m 以上属风成堆积

并偶尔受流水影响(图 2(a))。DDWL 剖面位于同一地区，海拔 1540 m，属于典型的全新世古土壤剖面，剖面厚 3 m，深 0~0.8 m 为全新世黄土，0.8~2 m 为全新世古土壤，2~2.6 m 为古土壤淀积层，2.6 m 以下为典型马兰黄土，在深 1.2 m 处采集了一个黄土全有机质 ^{14}C 年代样品(图 3(a))。现场对两个剖面 5 cm 间隔的磁化率利用 Bartington-MS2 型野外磁化率仪进行了测量，以同一位置水平连续测量三次的平均值作为磁化率的结果(图 2(b), 3(b))，并以 50 cm 左右间隔分别采集了 10 个(DDWA 剖面)和 7 个(DDWL 剖面)样品进行分子标志化合物分析。为了更合理地解释分子标志化合物组成与植被的关系，对该地区典型草原和人工次生林的现代表层土壤各采集了一个表土样品。该人工次生林中除存在一定的木本植物外，在林地下部仍有大量草本发育，类似森林草原区。同时，采集了距剖面东 100 多公里以外的六盘山东坡油松和落叶松植物松针样品。

将自然风干后的黄土样品和现代土壤样品粉碎至 80 目以下，现代植物样品清洗干净后，采用谢树成等 [5] 使用的方法测试分子标志化合物，用三氯甲烷在索氏抽提器中抽提；将抽提液用旋转蒸发仪浓缩沉淀沥青质后，用柱层析法分离出烷烃、芳烃、非烃。烷烃采用 HP6890 型气相色谱与 HP5973 型质谱联用

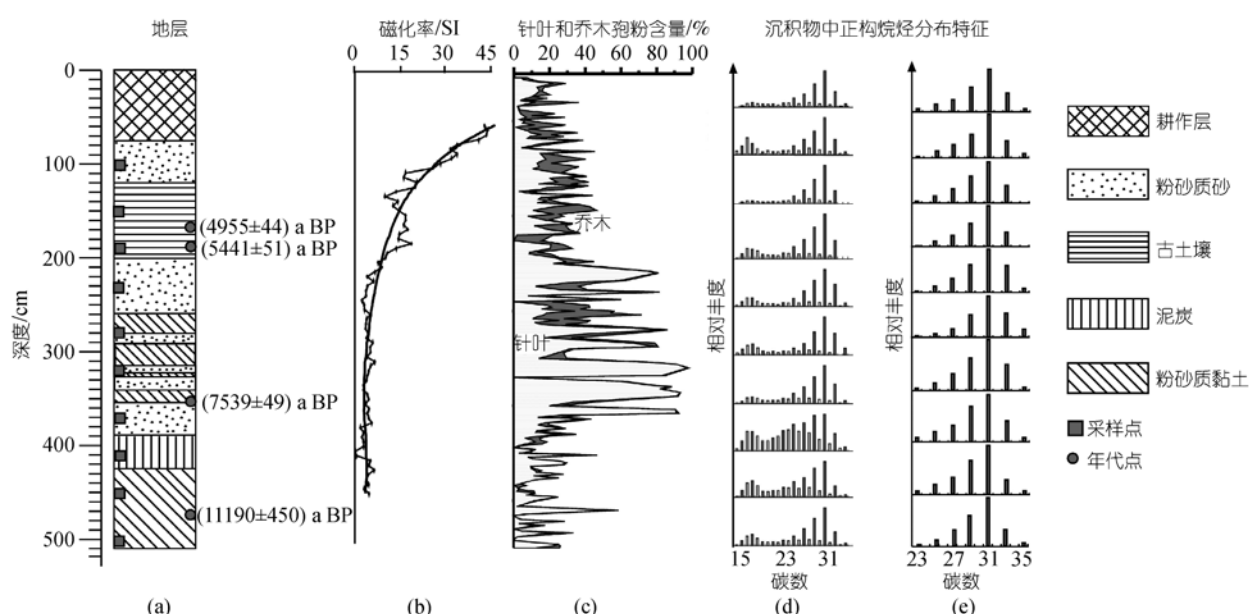


图 2 全新世湿地-冲积黄土剖面(DDWA)地层(a)、磁化率(b)、针叶和乔木花粉百分含量(c)以及沉积物中正构烷烃分布特征(d)和修正计算后的正构烷烃分布特征(e)随深度变化柱形图

(a) 据文献 [12], 略有调整; (b) 中粗线为 5 点多项式拟合曲线; (c) 据文献 [12]; 岩性柱边年龄据文献 [12] 的 ^{14}C 测年

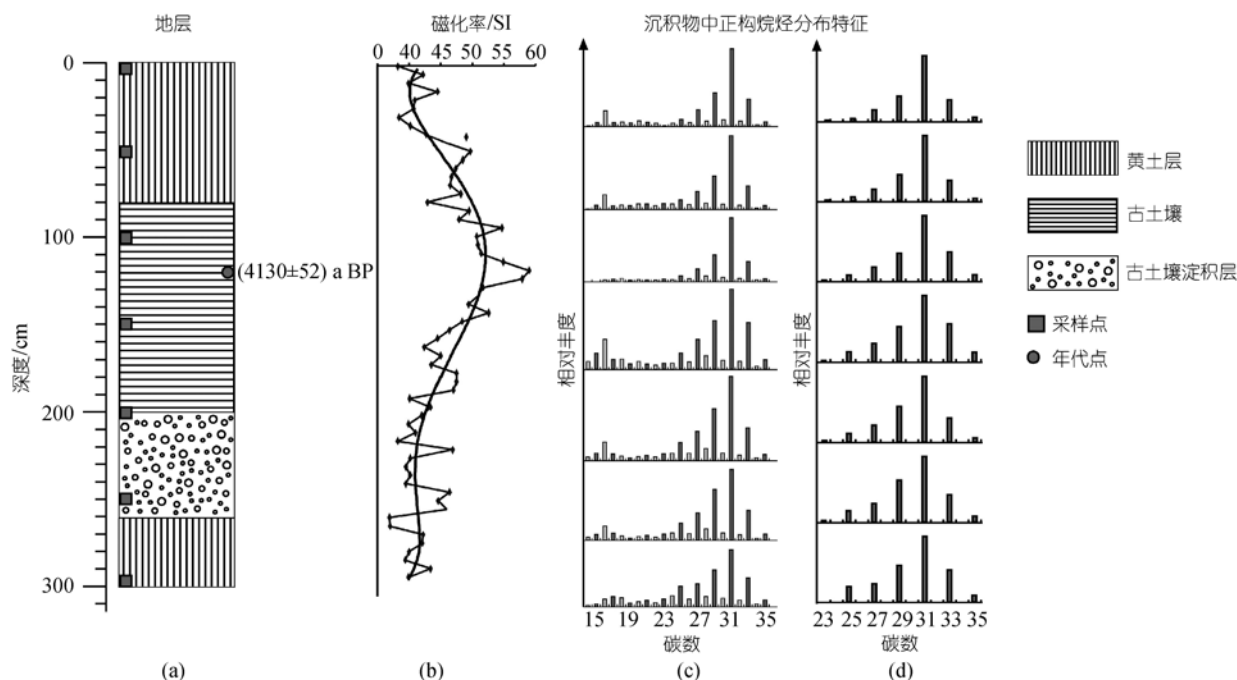


图3 全新世风成黄土-古土壤剖面(DDWL)地层(a)、磁化率(b)、沉积物中正构烷烃分布特征(c)和修正计算后的正构烷烃分布特征(d)随深度变化柱形图

(b) 中粗线为5点多项拟合曲线; 岩性柱边年龄为黄土全有机 ^{14}C 测年

仪, 在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室分析完成. 色谱条件为: HP-5 MS 石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm), 始温 70 $^{\circ}\text{C}$, 升温速率 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 终温 280 $^{\circ}\text{C}$, 终温恒温 20 min, 进样口温度 300 $^{\circ}\text{C}$, 进样量为 1 μL , 氦气为载气; 质谱条件为: 电子轰击源, 电离能量为 70 eV, GC 与 MS 接口温度为 280 $^{\circ}\text{C}$. 空白实验与样品同时进行.

2 结果与讨论

DDWA剖面年代为安成邦^[7]检测的碳屑年代, DDWL剖面年代为本研究中测量的黄土全有机质的 ^{14}C 年代, 两个剖面年代均为未校正的 ^{14}C 年代, 根据年代的结果显示该研究剖面均为全新世剖面(图 2(a), 3(a)). DDWL剖面磁化率曲线具有全新世磁化率曲线的典型特征(图 3(b)), 而DDWA剖面磁化率整体较低, 并逐渐升高, 约深 1.0~2.0 m之间磁化率快速升高(图 2(b)), 与野外观察到受冲积或者积水环境的事实相一致.

剖面中正构烷烃的分布(图 2(d), (e), 3(c), (d))显示, 两个剖面正构烷烃的碳数分布范围为 $\text{C}_{14}\sim\text{C}_{35}$, 多为具有单一 C_{31} 主峰的分布特征, 同时部分样品具有 C_{16} 或 C_{17} 峰和 C_{31} 峰的双峰分布模式, 但两个剖面

中检测出的高碳数正构烷烃无一例外都以 C_{31} 为主峰, 并且 C_{27} , C_{29} , C_{31} 这三个有机分子中 C_{27} 的含量最低($\text{C}_{27}<\text{C}_{29}<\text{C}_{31}$), 所有样品在 C_{22} 以上具有明显的奇偶优势. DDWA剖面含有相对较高的来源于菌藻低等生物的低碳数($<\text{C}_{21}$)正构烷烃, 并且在剖面 400 cm处检测到 $\text{C}_{21}\sim\text{C}_{25}$ 正构烷烃的含量相对增加. 现代代表土的正构烷烃分布模式(图 4(a), (b))显示, 以人工次生林为主要植被特征的现代代表土样品中正构烷烃碳数分布以 C_{29} 为主峰, C_{31} 略低, C_{27} 含量较低, 高碳数具有明显的奇偶优势, 低碳数含量很低. 以草原为主要植被特征的现代代表土样品中正构烷烃具有 C_{31} 和 C_{17} 峰的双峰分布模式, 并且 C_{27} , C_{29} , C_{31} 这三个有机分子中 C_{27} 的含量最低($\text{C}_{27}<\text{C}_{29}<\text{C}_{31}$), 只有高碳数具有明显奇偶优势. 研究区现代松针植物样品正构烷烃分布模式(图 4(c)~(d))显示, 均以 C_{29} 为主峰, 在 C_{27} , C_{29} , C_{31} 这三个有机分子中 C_{27} 的含量最低, 高碳数具有明显奇偶优势.

在正构烷烃碳数分布中, 低于 C_{21} 的正构烷烃主要来自菌藻类等低等生物, 并且没有明显的奇偶优势, 具有明显奇偶优势的高碳数分子($>\text{C}_{23}$)一般认为来自高等植物, 且多以 C_{27} , C_{29} , C_{31} 为主峰^[25]. 从分布的特征来看, 两个剖面中检测出的正构烷烃都存

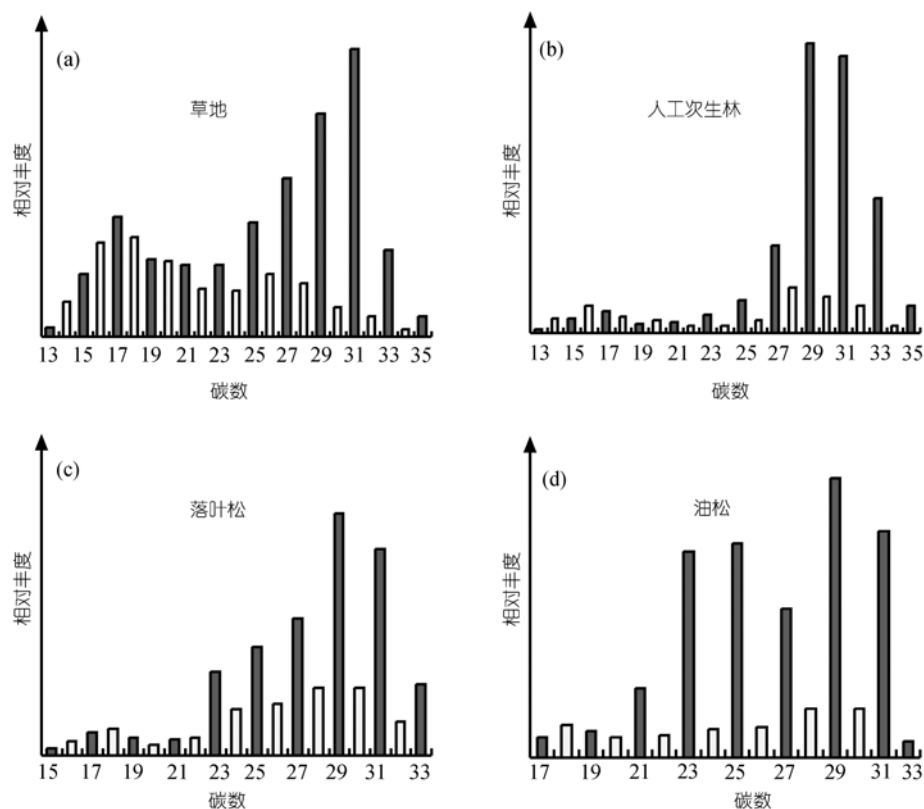


图 4 正构烷烃分布特征柱形图

(a) 示研究区草地的现代表土; (b) 示研究区人工次生林的现代表土; (c) 示六盘山现代针叶林落叶松松针; (d) 示六盘山现代针叶林油松松针

在来自菌藻类低等生物的成分。DDWA剖面由于受水作用的影响,部分地层中低碳数正构烷烃含量相对较多,本文的研究主要讨论对古植被恢复具有重要意义的高碳数分子($>C_{23}$)。两个剖面中检测出的高碳数正构烷烃分布无一例外明显以 C_{31} 为主峰,且 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 这三个有机分子中 C_{27} 的含量最低,这一结果与已发表的现代草原表土正构烷烃的分布相当吻合^[26],同时也与在该地区采集的现代草地表土样品的分析结果一致,而与人工次生林表土分析结果相异。对现代植被的分子有机地球化学研究也显示,木本植物的正构烷烃以 C_{27} 或 C_{29} 为主峰,而草本植物的正构烷烃以 C_{31} 为主峰^[27]。同时许多现代湖泊沉积物的研究中也发现,当其陆源有机质从木本变为草本时,沉积物中正构烷烃的主峰也随之由 C_{27} 转变为 C_{31} ^[28]。

为了消除来自异源分子标志化合物中正构烷烃的影响,本文按照谢树成等^[5]方法利用CPI值的特性从两个黄土剖面总正构烷烃分布中计算出了直接来自当地高等植物的正构烷烃分布,根据剔除后的分布图(图 2(e), 3(d)),更强烈的以 C_{31} 为主峰,同时 C_{27} 、

C_{29} 、 C_{31} 这三个有机分子中 C_{27} 的含量最低($C_{27} < C_{29} < C_{31}$)。仍然与草本植被的分布特征相一致。所以进一步说明该地区全新世时期以草原植被为主,并非为森林植被。研究结果说明,按照前人现代过程研究的普遍结果,研究区全新世期间不曾发育过以木本为主的植被类型(即森林植被)。然而,前人的孢粉分析结果却显示,研究区全新世中期以松为主的针叶林花粉可以达 80% 以上,甚至 90% 以上,松树花粉在 50% 以上^[12](图 2(c)),恰恰国际上的研究也曾发现,有些松科植物也产生以 C_{31} 为主峰的分布模式^[22],十分类似草本植物的正构烷烃分布模式。为此采集了该地区两个现代松科植物样品加以检验,两个现代松科植物样品的正构烷烃分布尽管 C_{31} 含量较高,但仍然是以 C_{29} 为主峰的分布模式(图 4(c), (d)),符合一般木本植物正构烷烃的分布。因此,本文的研究可以肯定,对于秦安地区两个全新世剖面中以 C_{31} 为主峰的正构烷烃分布特征反映出,在全新世期间该地区发育的植被以草本植物为主,不曾发育森林植被。事实上,两个剖面(图 2, 3)均不具有森林土壤所具有

的结构,支持当地全新世不曾发育森林植被的结论。前人依据的DDWA剖面是一个典型河流湿地或者牛扼湖潜水沉积,磁化率从水相沉积的低值逐步升高。纯风成全新世古土壤剖面(DDWL剖面)与这一区域广泛分布的全新世黑垆土剖面一致,也只能是草原土壤。

那么,如何解释研究区全新世中期地层中出现的高含量针叶树花粉?早在1991年,黄春长^[13]就对该地区的孢粉进行了研究,随后一些学者的孢粉研究结果也认为该地区全新世中期的孢粉组合具有以针叶树花粉为主的孢粉谱特征,推断可能有森林植被发育^[10,11]。近期高分辨率的孢粉研究显示,在整个剖面中木本花粉百分含量高值段主要由针叶树花粉组成,后者尤以松花粉为主(图2(c))。也就是说,全新世若存在森林的话,则是由松林组成的针叶树。尤其是在C-14年龄7.5~5.5 ka BP期间木本花粉含量可超过90%,其中松属占绝对优势,平均含量约50%,落叶阔叶树花粉占10%左右,按照正常解释应当存在森林植被^[12]。然而,同一剖面(DDWA剖面)及全新世风成黄土-古土壤剖面的正构烷烃分析结果却显示,研究区全新世期间不曾存在森林植被,一直是以草本为主的草原植被。DDWA剖面为类似牛扼湖的湖沼相沉积,是一个相对开放的沉积环境,接受流水对花粉的搬运传输,对于开放环境的孢粉记录,可能指示了更大范围的环境信息,反映整个流域以及山地植被状况,而不是采样点当地的植被^[29]。也有人认为冲积相孢粉反映河流的沉积特征,用孢粉组合重建当地植被时应当小心^[30]。大风和暂时性洪流都具有很强的长距离搬运孢粉的能力,导致植物孢粉远距离的运移,尤其对于针叶林孢粉,这些相对数量较大的外来孢粉与本地孢粉混合的结果可能造成,外来孢粉反而可能成为孢粉谱中的主要成分,特别是在我国植被覆盖稀疏的干旱区、半干旱区。如果不把外来孢粉和当地孢粉加以区别,直接进行古环境重建,其结果必然导致重建结果的不可信。对石羊河流域的冲积物和积水环境(如水库)的现代土孢粉研究,发现表土样品中高含量的针叶林花粉指示的是约200 km以外的祁连山山地针叶林植被,而不是当地的荒漠植被^[31]。因此,简单使用孢粉含量来解释当地植被可能会出现问題,特别是存在高含量的针叶树花粉情况下。前人的研究,例如,刘卫国等^[4]的有机碳同位素指标、谢树成等^[5]的分子化石指标和李小强等

^[6]的孢粉分析结果,均指示出全新世期间黄土高原不曾发育森林植被,间接支持本文的结果。正是由于流水对山地森林植被孢粉的搬运问题和针叶树花粉的强传播能力及其超代表性,孢粉指标的运用应更加慎重。本文的研究说明,对于冲积或者湖沼相沉积物中出现的高针叶树花粉(如本研究中高达80%以上针叶树花粉),结合正构烷烃的分布特征,可以弥补孢粉分析的某些缺陷,避免简单依据孢粉分析结果推断植被时可能出现的错误。当然,我国在使用分子标志化合物(正构烷烃)气候和环境代用指标方面,还需要开展大量现代过程研究。

3 结论

秦安地区两个不同成因的全新世剖面分析结果显示,在整个剖面全新世时期分子标志化合物中高碳数正构烷烃的分布特征相同,都表现为以 C_{31} 为主峰,而 C_{27} 含量最低($C_{27} < C_{29} < C_{31}$),这与该地区以草本为植被类型的现代土样品的分布特征相同,而与人工次生林现代土样品的分布特征不同,也与当地松树具有的正构烷烃模式不同。表明全新世时期该地区一直是以草原植被为主,并无森林植被发育。前人发现的全新世中期以松为主的高针叶树花粉组合并不能指示当地存在森林植被。本文的研究说明,分子标志化合物——正构烷烃的分布特征可以弥补因孢粉传播导致依据孢粉谱解释植被时出现的困难。正构烷烃指标与孢粉分析的有效结合不仅可以更合理的解释孢粉分析的结果,同时可以使孢粉的解释更进一步。

致谢 感谢赵艳博士参与了论文的讨论;感谢一起参与野外工作的周爱峰博士;特别感谢两位匿名评审人提出的一些建设性意见。

参 考 文 献

- 1 史念海. 论历史地理时期我国植被的分布及其变迁. 中国历史地理论丛, 1991, 3: 43—73
- 2 孙湘君, 宋长青, 王璋瑜, 等. 黄土高原南缘10万年以来的植被——陕西渭南黄土剖面的花粉记录. 科学通报, 1995, 40(13): 1222—1224
- 3 吕厚远, 刘东生, 吴乃琴, 等. 末次间冰期以来黄土高原南部植被演替的植物硅酸体记录. 第四纪研究, 1999, 4: 336—349
- 4 刘卫国, 宁有丰, 安芷生, 等. 黄土高原现代土壤和古土壤有机碳同位素对植被的响应. 中国科学D辑: 地球科学, 2002, 32(10): 830—836
- 5 谢树成, 王志远, 王红梅, 等. 末次间冰期以来黄土高原的草原植被景观: 来自分子化石的证据. 中国科学D辑: 地球科学, 2002, 32(1): 28—35

- 6 李小明, 安芷生, 周杰, 等. 全新世黄土高原塬区植被特征. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 109—114
- 7 安成邦. 黄土高原西部全新世环境变化及其对史前人类文化的影响. 博士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2004. 35—64
- 8 甘肃省博物馆. 甘肃秦安大地湾新石器时代早期遗存. 文物, 1981, (4): 1—7
- 9 Feng Z D, An C B, Tang L Y, et al. Stratigraphic evidence of a Megahumid climate between 10000 and 4000 years B.P. in the western part of the Chinese Loess Plateau. Glob Planet Change, 2004, 43(3-4): 145—155[DOI]
- 10 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
- 11 莫多闻, 李非, 李水成, 等. 甘肃葫芦河流域中全新世环境演化及其对人类活动的影响. 地理学报, 1996, 51(1): 59—68
- 12 安成邦, 冯兆东, 唐领余. 黄土高原西部全新世中期湿润气候的证据. 科学通报, 2003, 48(21): 2280—2287
- 13 黄春长. 甘肃秦安大地湾遗址植被气候变迁. 地理科学, 1991, 11(4): 328—334
- 14 朱艳, 陈发虎, 张家武, 等. 沉积环境对孢粉组合影响的探讨——以石羊河流域为例. 沉积学报, 2001, 19(2): 186—191
- 15 朱艳, 陈发虎, 冯兆东. 干旱区终间湖泊孢粉记录的环境重建模式——以甘肃石羊河流域终间湖泊为例. 古生物学报, 2001, 40(2): 269—275
- 16 Goni M A, Rittenberg K C, Eglinton T I. Source and contribution of terrigenous organic carbon on surface sediments in the Gulf of Mexico. Nature, 1997, 389: 275—278[DOI]
- 17 Huang Y, Street-Perrott F A, Metcalfe S E, et al. Climate change as the dominant control on glacial-interglacial variations in C₃ and C₄ plant abundance. Science, 2001, 293: 1647—1651[DOI]
- 18 Xie S C, Nott C J, Avsejs L A, et al. Molecular and isotopic stratigraphy in an ombrotrophic mire for paleoclimate reconstruction. Geochim Cosmochim Acta, 2004, 68(13): 2849—2862[DOI]
- 19 谢树成, 姚檀栋, 康世昌, 等. 青藏高原希夏邦马峰地区冰雪有机质的气候与环境意义. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1999, 29(5): 457—465
- 20 Brassell S C, Eglinton G, Marlower I T, et al. Molecular stratigraphy: A new tool for climate assessment. Nature, 1986, 320(6058): 129—133[DOI]
- 21 Rieley G, Collier R J, Jones D M, et al. Sources of sedimentary lipids deduced from stable carbon-isotope analyses of individual compounds. Nature, 1991, 352(6334): 425—427[DOI]
- 22 Schwark L, Zink K, Lechterbeck L. Reconstruction of postglacial to early Holocene vegetation history in terrestrial Central Europe via cuticular lipid biomarkers and pollen records from lake sediments. Geology, 2002, 30(5): 463—466[DOI]
- 23 Zhang Z, Zhao M, Lu H, et al. Lower temperature as the main cause of C₄ plant decline during the glacial periods on the Chinese Loess Plateau. Earth Planet Sci Lett, 2003, 214: 467—481 [DOI]
- 24 王志远, 谢树成, 陈发虎. 临夏塬堡黄土地层 S₁ 古土壤中的正构烷烃及其古植被意义. 第四纪研究, 2004, 24(2): 231—235
- 25 菲尔普, 著, 傅家谟, 盛国英, 译. 化石燃料生物标志物: 应用与图谱. 北京: 科学出版社, 1987. 11—13
- 26 王志远, 刘占红, 易毅, 等. 不同气候和植被区现代土壤类脂物分子特征及其意义. 土壤学报, 2003, 40(6): 967—970
- 27 Cranwell P A, Eglinton G, Robinson N. Lipids of aquatic as potential contribution to lacustrine sediments. Org Geochem, 1987, 11: 513—527[DOI]
- 28 Meyers P A, Ishiwatari R. Lacustrine organic geochemistry: An overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. Org Geochem, 1993, 20: 867—900[DOI]
- 29 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社, 1983. 17—18
- 30 Fall P L. Pollen taphonomy in a Canyon stream. Quat Res, 1987, 28: 393—406[DOI]
- 31 Zhu Y, Chen F H, Cheng B, et al. Pollen assemblage features of modern water samples from the Shiyang River Drainage, arid China. Acta Bot Sin, 2002, 44(3): 367—373