

鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集

郑舒心¹, 谭志海^{1,2*}, 毛龙江³, 王雪梅¹, 苗继红¹, 雷秋景¹, 杨柳¹

1. 西安工程大学环境与化学工程学院, 西安 710600;

2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061;

3. 南京信息工程大学海洋科学学院, 南京 210044

摘要: 以山东省广饶县常徐村的典型陆相沉积物剖面采集的样品为研究对象, 通过对样品的室内分析获得黑碳、磁化率、烧失量和地球化学元素等多种环境代用指标数据, 借助 GetData 软件和相关文献资料获得与气候指标和人类定居点相关的数据, 并将其与年代数据结合, 形成一个综合数据集。该数据集的分析主要通过不同指标的描述性统计及箱状图揭示所涉及数据的范围和离散性。运用主成分分析中的载荷值以及相关性分析来表明不同主成分代表的意义, 再利用火灾因子得分在不同年代的变化趋势, 对同时期火灾发生的主控因子进行分析。数据集存储格式为.shp 和.xlsx 格式, 由 8 个数据文件组成, 数据量为 74.3 KB(压缩为 1 个文件, 69 KB)。

关键词: 黑碳; 鲁北平原; 古火重建; 常徐剖面; 野火

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.03>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.03>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.03.07.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.03.07.V1>.

1 前言

火灾在自然景观的演变和从陆地生物圈到大气圈的碳循环中起着关键作用^[1]。野火的发生与气候变化密切相关, 但在过去 3,000 年里, 人类活动成为火灾发生的重要诱发因素^[2]。近年来, 全球多地都有野火的发生, 如希腊东北部发生了欧盟有相关记录以来最大规模的火灾; 加拿大也经历了有史以来最严重的野火季; 美国、西班牙也有大规模的火灾发生, 人类正在进入一个新的“火时代”。野火的频发是由气候变化导致的极端高温、干旱和强风以及人为因素(交通事故、故意纵火等)造成的。逐渐增多的火灾事件给生态环境和人类生命安全造成重大威胁, 引发了科学家的关注。

收稿日期: 2023-11-12; 修订日期: 2024-02-26; 出版日期: 2024-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(42373085); 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室(SKLLQG22023); 中国科学院(XDB40000000); 陕西省科技厅(2023-JC-YB-226)

*通讯作者: 谭志海 GJH-2752-2022, 西安工程大学环境与化学工程学院, 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, tonishtan@163.com

数据引用方式: [1] 郑舒心, 谭志海, 毛龙江等. 鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集[J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(1): 21–31. <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.03>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.03>.

[2] 郑舒心, 谭志海, 毛龙江等. 鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.03.07.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.03.07.V1>.

目前,许多学者利用沉积物中的黑碳和炭屑^[3-6]来重建长时间尺度下的古火事件。黑碳(Black carbon)是指生物质或化石燃料不完全燃烧以及岩石风化所产生的一系列含碳物质连续体的统称^[7],它的燃烧范围从轻微烧焦的大颗粒可降解生物质焦炭(Char)到高温燃烧后形成高度浓缩的耐火烟炱(soot)。由于气候、植被和火灾之间的相互作用是复杂的,在现代条件下,当火灾受人类活动的影响较大时,很难厘清它们之间的关系。加之采样区域空间尺度的差异,黑碳分析方法不同和单一指标指示精度的有限性,导致在识别和量化野火历史演变方面存在很大的不确定性,所以在较长的时间尺度下利用高分辨率的黑碳,结合其他多项古环境代用指标、历史文献记录,能更加全面理解古火-气候-人类活动之间的相互作用,对于现代火灾预防以及未来火灾评估具有重要意义。

鲁北平原的地层剖面记录了长时间尺度内的地质和环境变化,提供了从史前到现代的连续环境变化数据。此外,该地区的地理位置独特,位于渤海和黄河的交汇处,受到海洋和河流的双重影响,因此在气候、土壤类型及其利用方式上具有典型性。鲁北平原上的山东省广饶县常徐村,拥有深厚的文化历史和显著的传统农业优势,是研究火活动的理想载体。本研究以常徐剖面作为研究对象,旨在探究不同历史时期野火活动的主导因素,以深入分析该地区野火发生的复杂机制。

2 数据集元数据简介

《鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集》^[8]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

3.1 研究区域

常徐剖面(118°25'32"E, 37°05'31"N)位于鲁北平原上的山东省广饶县常徐村(图 1),是东亚季风的敏感地带,属于温带大陆性季风气候,夏季多雨湿润,冬季少雨干燥,雨热同期,容易引发干旱、洪涝及盐碱等自然灾害;地形以平原为主,也有部分山丘和低丘地带。该地区有着悠久的历史文化遗产,其中的岳石文化和商周文化是该地区重要的文化。岳石文化是中国新石器时代晚期至青铜时代早期的一种史前文化,其特点是石器工具的使用,反映了古代人类的狩猎、采集和工具制作活动;商周文化是中国古代文明的重要阶段,这一时期,古代人类发展了农业、手工业和商业,推动了当地社会的进步和发展。

3.2 数据来源

本数据集的古环境指标数据来源于野外采样后的室内实验分析以及相关文献的查阅和提取(表 2)。数据集所利用的磁化率、烧失量、黑碳浓度、地球化学元素的原始数据均依据相关指标的实验方法测定计算取得。通过使用 GetData 软件来获取相关文献中的冰芯氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 、植硅体温度、山洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 、木本植物数据。人口数据通过相关的文献和书籍所得。此外,研究剖面的时间年代框架^[10]是基于常徐剖面沉积物 OSL 测年数据、地层划分以及文化遗迹的考古信息。

表 1 《鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集》元数据集简表

条 目	描 述
数据集名称	鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集
数据集短名	Paleofire&HumanActivities_CX
作者信息	郑舒心, 西安工程大学环境与化学工程学院, 1207387736@qq.com 谭志海, 西安工程大学环境与化学工程学院, 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, tonishtan@163.com 毛龙江, 南京信息工程大学海洋科学学院, mlj1214@163.com 王雪梅, 西安工程大学环境与化学工程学院, 1767148131@qq.com 苗继红, 西安工程大学环境与化学工程学院, miaojihong2021@163.com 雷秋景, 西安工程大学环境与化学工程学院, leiqiujing1016@163.com 杨柳, 西安工程大学环境与化学工程学院, 995260636@qq.com
地理区域	鲁北平原山东省广饶县常徐村
数据年代	4000 年以来
数据格式	.shp、.xlsx
数据量	74.3 KB
基金项目	国家自然科学基金(42373085); 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室(SKLLQG22023); 中国科学院(XDB40000000); 陕西省科技厅(2023-JC-YB-226)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	(1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报(中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[9]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

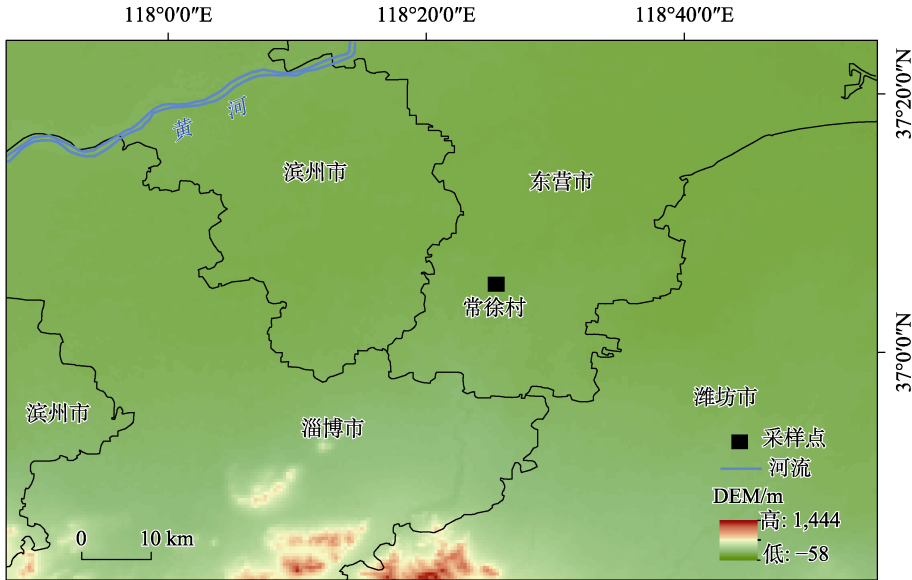


图 1 研究区域及采样点位置图

表 2 不同古环境代用指标数据获取方法统计表

序号	指标	数据获取方式	数据来源
1	磁化率	磁化率采用英国 Bartington 公司生产的 MS-2B 型磁化率仪 (0.47/4.7 kHz) 进行测定	本研究
2	烧失量	取每个样品 0.4 g, 置于已知质量的马弗炉 (X-5-12 型) 的瓷坩埚中, 在 900 ℃ 下燃烧 2 h, 称重残渣用以测定	本研究
3	黑碳	用美国 DRI2001 型 OC/EC 碳分析仪, 以热/光反射 (TOR) 方法进行测定	本研究
4	Mn	地球化学元素采用 PW2403X-Ray 型荧光光谱仪在中国科学院地球环境	本研究
5	P	研究所测定	本研究
6	Ti		本研究
7	Rb		本研究
8	Sr		本研究
9	冰芯氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$	GetData 软件获取	[11]
10	植硅体温度	GetData 软件获取	[12]
11	山洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$	GetData 软件获取	[13]
12	木本植物	GetData 软件获取	[14]
13	人类定居点	历史文献、相关书籍	[15–17]

3.2 数据分析原理

3.2.1 相关性分析

相关性分析用于衡量两个或多个变量之间的关系强度和方向, 发现数据中隐藏的规律和相关性, 常用于研究变量之间的相互作用, 以便更好地理解数据之间的关系。本文用相关性分析量化 Rb/Sr、Mn、Ti、烧失量、烟炱、焦炭、人类定居点、植硅体温度之间的相关性, 反映多变量之间的关系。

3.2.2 主成分分析

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是多元统计分析方法的一种, 将多个变量简化为少数具有代表性的综合变量, 可更加直观地看到不同样本的整体差异。它的目标是为了减少数据集的维度, 同时尽可能地保留原始数据中的变异性或信息, 以便于后续的分析。载荷是主成分分析中重要的一部分, 载荷的绝对值越大, 表示该主成分中该特征的贡献越大, 若某个主成分上有较高的载荷, 而其他主成分上载荷较小, 就可以将该主成分视为与这些高载荷特征相关的“主题”, 它可以更好地理解每个主成分所代表的含义。本数据集通过主成分分析提取出不同时期影响火灾发生的主控因子及各因子的贡献率, 并且利用散点图和桑基图将分析结果可视化, 能更加直观地观察主成分之间的关系以及样本在主成分空间中的分布。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

该数据集内容包括常徐剖面的以下数据: (1) 采样点地理位置; (2) 剖面年代、深度、沉积速率; (3) 低频磁化率; (4) 烧失量; (5) 焦炭、烟炱、黑碳的浓度; (6) 地球化学元素; (7) 多项气候指标; (8) 主成分分析数据。

4.2 数据结果

4.2.1 不同古环境代用指标描述性统计

由表 3 可知，常徐剖面焦炭、烟炱、黑碳的浓度范围分别在 0.042–0.709 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、0.011–0.299 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、0.087–0.904 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间；低频磁化率和烧失量分别在 35.870×10^{-8} – $141.200\times 10^{-8} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 0.038%–0.099% 之间波动；Mn、Ti、P 的含量以及 Rb/Sr 比值分别在 386.45–1,031.52 ppm、3,368.11–4,767.82 ppm、393.75–750.21 ppm、0.477–0.983 之间变化。结合常徐剖面在四个时间阶段^[10]的箱状图（图 2），每一阶段的黑碳、焦炭、烟炱的浓度，Mn、P、Ti 的含量，烧失量、磁化率及 Rb/Sr 比值基本处在 1.5IQR 合理范围内，表明数据集中，离群值较少，指标变量的分布较为均匀，这一结果不仅显示了数据的稳定性和可靠性，也为进一步的统计分析提供了坚实的基础。

表 3 不同环境代用指标的描述性统计表

指标	焦炭 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	烟炱 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	黑碳 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	低频磁化率 ($10^{-8} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$)	烧失量 (%)	Rb/Sr	Mn (ppm)	Ti (ppm)	P (ppm)
最大值	0.709	0.299	0.904	141.200	0.099	0.983	1,031.52	4,767.82	750.21
最小值	0.042	0.011	0.087	35.870	0.038	0.477	386.45	3,368.11	393.75
均值	0.368	0.102	0.470	83.017	0.067	0.617	640.24	4,096.95	530.14
标准差	0.153	0.052	0.188	22.209	0.013	0.122	139.23	262.63	88.58

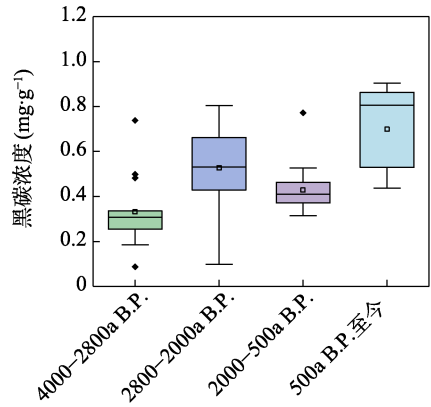


图2 (a) 常徐剖面黑碳浓度箱状图

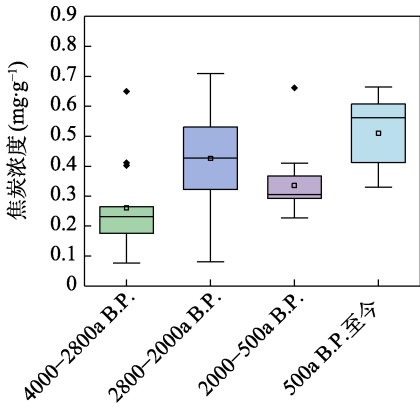


图2 (b) 常徐剖面焦炭浓度箱状图

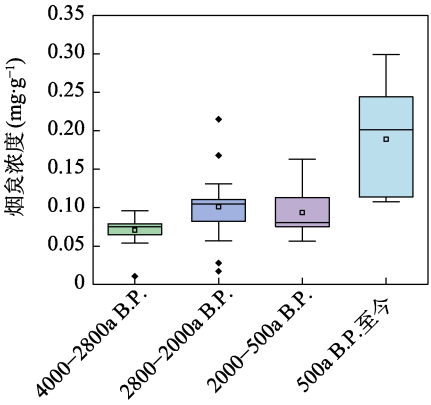


图2 (c) 常徐剖面烟炱浓度箱状图

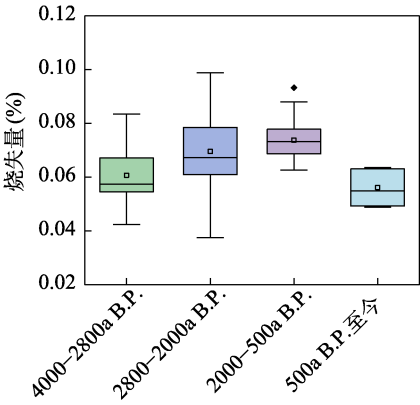


图2 (d) 常徐剖面烧失量箱状图

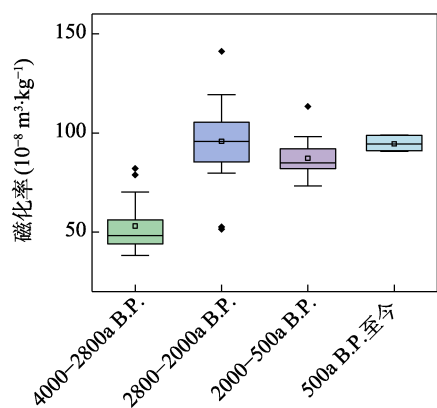


图2 (e) 常徐剖面磁化率箱状图

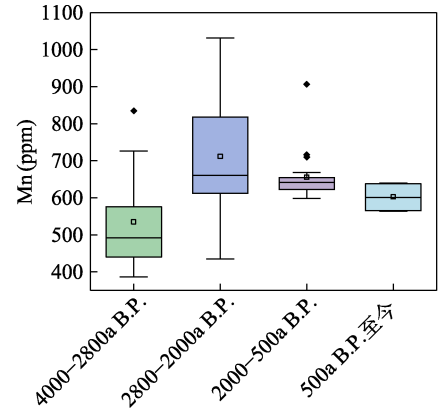


图2 (f) 常徐剖面 Mn 含量箱状图

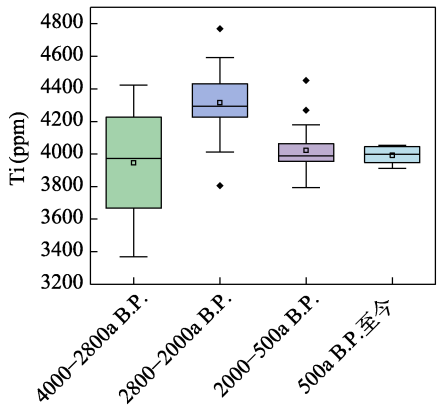


图2 (g) 常徐剖面 Ti 含量箱状图

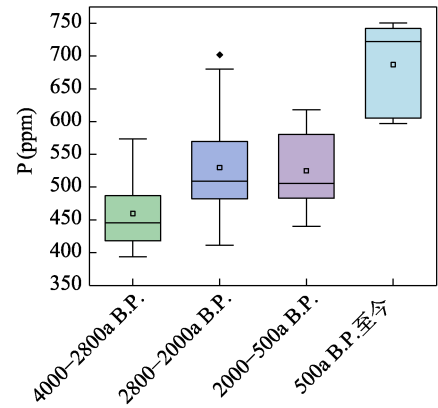


图2 (h) 常徐剖面 P 含量箱状图

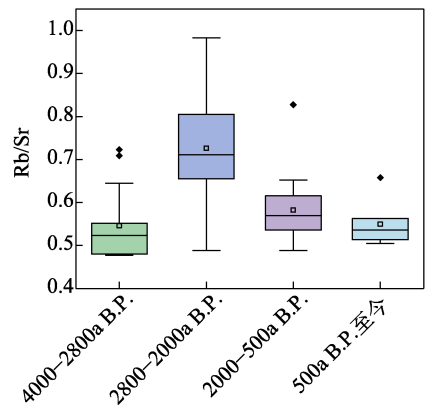


图2 (i) 常徐剖面 Rb/Sr 比值箱状图

4.2.2 相关性分析结果

由表 4 可得, Rb/Sr、Mn、Ti、烧失量之间彼此相关性显著, 说明这些指标可能反映了相同或相互关联的地质或环境过程; 焦炭、烟炆与人类定居点的相关性显著, 表明烟炆和焦炭与人类活动之间有密切联系。然而, 烟炆与 Rb/Sr、Ti、烧失量之间的相关性并不显著, 说明地质背景和土壤化学性质的变化对烟炆的沉积影响不大。植硅体温度与其他指标

的相关性均不显著，这可能表明植硅体温度反映的古气候变化与研究区域内的环境或人类活动相对独立。相关性分析结果可为主成分分析的因子归类提供重要参考。

表 4 常徐剖面烟炱、焦炭与其他指标的相关性统计表

	Rb/Sr	Mn	Ti	烧失量	烟炱	焦炭	人类定居点	植硅体温度
Rb/Sr	1.00	0.883**	0.831**	0.678**	0.130	0.589**	0.375**	0.038
Mn		1.00	0.770**	0.797**	0.291*	0.667**	0.485**	0.076
Ti			1.00	0.520**	0.155	0.536**	0.355**	-0.227
烧失量				1.00	0.075	0.438**	0.311*	0.244
烟炱					1.00	0.567**	0.380**	-0.137
焦炭						1.00	0.443**	-0.063
人类定居点							1.00	0.061
植硅体温度								1.00

*.在 0.05 级别，相关性显著。

**.在 0.01 级别（双尾），相关性显著。

4.2.3 主成分分析结果

经 SPSS27 主成分分析计算，KMO 为 0.740 (>0.5)，因子分析的适宜性较好。以沉积物中的 Rb/Sr、Mn、Ti、烧失量、烟炱、焦炭以及植硅体温度、社会指标人类定居点为变量进行主成分分析，共提取了三个主成分（图 3）。

PC1（第一主成分）是数据集中变异最大的方向。在这个方向上，数据点的分布范围最广，因此 PC1 通常捕捉了数据中最主要的变化趋势，可能代表了数据中最显著的影响因素。该主成分分析中 PC1 因子的方差贡献为 43.372%，由 Rb/Sr、Mn、Ti、烧失量组成（图 4），载荷值分别为 0.931、0.906、0.869、0.809。Mn 和 Ti 的浓度反映了在无水饱和的氧化条件下土壤形成过程中的生物成土强度。Mn 和 Ti 的富集发生在土壤形成过程中密集的生物成土过程中，主要是由与季风气候变化相关的温暖湿润环境造成的。同时，Mn 和 Ti 是植被的必需元素，通过土壤中的枯叶得到富集。烧失量可反映土壤和植被覆盖中有机碳的含量。Rb/Sr、Mn、Ti、烧失量之间彼此相关性显著（表 4），由此可以推断，PC1 指示植被（湿度）。

PC2（第二主成分）是除了 PC1 之外变异第二大的方向，并且与 PC1 正交（即独立）。PC2 捕捉了数据中次要的变化趋势，这些趋势在 PC1 已解释的变异之外。因此，PC2 可能代表了数据中第二重要的影响因素。该主成分分析中，PC2 因子的方差贡献为 23.870%，由烟炱、焦炭、人类定居点组成（图 4），载荷值分别为 0.910、0.697、0.649。焦炭和烟炱分别反映区域范围的野火发生以及更大区域尺度范围的生物质燃烧状况，人类定居点则表明人口的大小和规模。焦炭、人类定居点与烟炱的相关性显著，但烟炱与其他气候指标的相关性并不显著（表 4）。由此可以推断，PC2 可指示与人口规模和生物质燃烧密切相关的人为火灾。

PC3（第三主成分）是在 PC1 和 PC2 定义的平面正交方向上变异第三大的方向。同样，

它反映了数据的第三重要的变化趋势。该主成分分析中，PC3 因子的方差贡献为 14.994%，主要组成为植硅体温度（图 4），载荷值为 0.961。植硅体温度可指示气候冷暖，可作为古环境温度变化的理想指标。植硅体温度与其他指标的相关性均不显著（表 4），PC3 可指示与气候相关的温度。

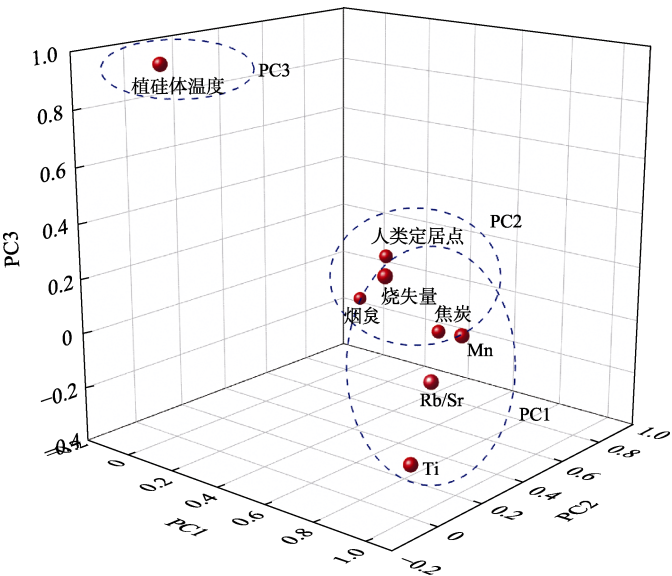


图 3 主成分分析结果图

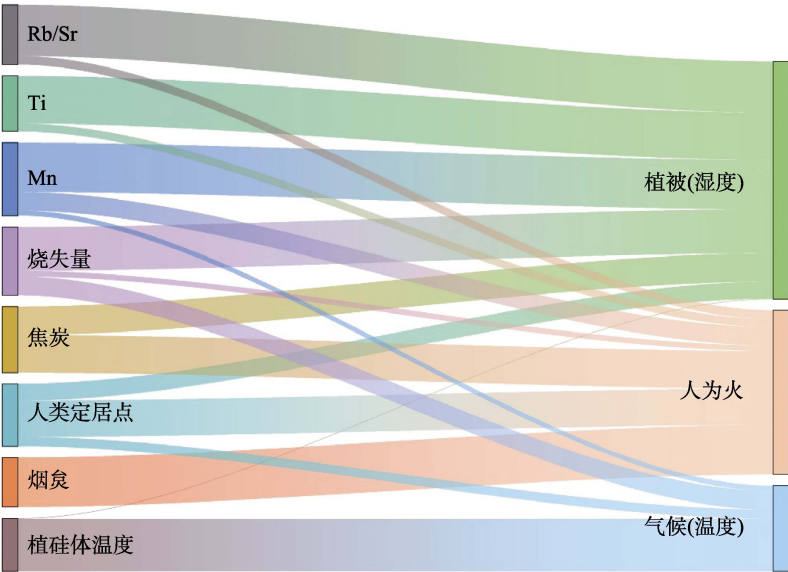


图 4 桑基图

火灾因子得分随年代变化的曲线图（图 5）显示，研究区域在 4000–2800 a B.P. 时期，气候整体较为温暖，黑碳值较低，但在 3000 年左右，随着气候的降温和高洪水期的到来，表明气候（温度）和植被（湿度）是主要影响因素；在 2800–2000 a B.P. 时期，气候整体

为暖干，为火的发生提供有利条件，黑碳值较高。该阶段处于春秋战国时期，人类农业活动的不断发展和土地利用的增加表明人类活动对火灾发生的影响逐渐加剧，但植被（湿度）仍是引发火灾的重要前提；2000–500 a B.P. 时期，气候整体偏冷干，黑碳值相对较低，再次突显气候（温度）对野火发生的决定性影响；500 a B.P. 以来，气候进一步干旱，该阶段的明清时期人类文明迅猛发展，用火强度不断提升，日益频繁的人类活动成为火事件的主导因子。

综上所述，研究区域 4000 年以来影响火灾发生的主控因子可分为植被（湿度）、人类活动、气候（温度）三大类，并且火灾发生的主要影响因子在不同时间阶段有明显的差异。

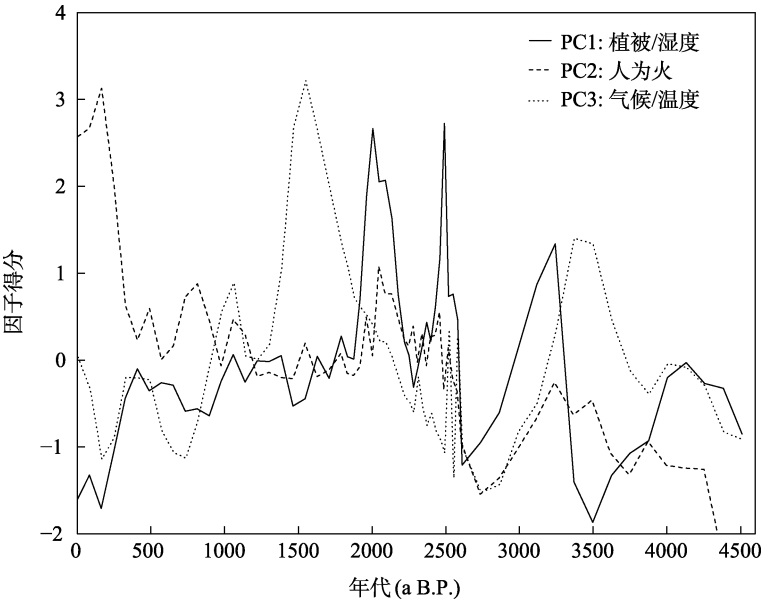


图 5 火灾因子得分随年代变化的曲线图

4.3 数据验证

4.3.1 室内实验分析

在进行室内实验时，确保实验的准确性和可靠性是至关重要的。因此，本研究实施了质量控制措施，主要包括以下几个方面：

（1）空白样的使用

黑碳、磁化率、烧失量、地球化学元素引入空白样，以检查实验室条件、试剂或仪器是否引入了外部污染或误差，有助于确保数据的净度和实验结果的有效性。

（2）平行样分析

黑碳、磁化率、烧失量测定过程中，每 10 个样品中随机抽取一个样品进行重复检测，保证相对误差在 10% 以内。

（3）国家土壤参比物质样品

在地球化学元素测量中，使用国家标准的土壤参比物质样品，以校准分析结果并确保

测定误差保持在 5% 以下。

4.3.2 GetData 数据提取

在提取数据之前，确保清楚地定义所需数据的类型和范围，要选择相关度高且可靠的数据源；在提取数据时，选择适当的方法以确保数据提取的准确性和一致性。

（1）确保数据源的可靠性

在选择数据源时，本文选择学术期刊上发表的文章以及官方出版书籍中的数据。

（2）确保数据提取过程的准确性和可靠性

在使用 GetData 软件提取数据时选择文件导入的提取方法紧密取点，在提取数据后，比较 GetData 软件提取的数据与数据源原始数据，确保其一致性能更加准确地利用所需数据。

5 讨论和总结

本研究选取山东省广饶县常徐村的典型陆相沉积物剖面作为研究对象，通过实验室的精确分析及严格的质量控制措施，包括使用空白样品、进行平行样品分析和国家土壤参比物质样品的比对，确保了黑碳、磁化率、烧失量及地球元素数据的准确性，利用 GetData 软件的高效数据提取功能，从可靠的数据源中导入数据，确保了数据提取的准确性和数据源的一致性。基于多种古环境代用指标，并运用主成分分析及相关性分析，揭示了研究区域不同时期影响野火发生的主控因素。多元统计分析结果表明：在 4000–2800 a B.P. 时期，气候（温度）和植被（湿度）是主要影响因素；在 2800–2000 a B.P. 时期，人类活动对火灾发生的影响逐渐加剧，但植被（湿度）仍是引发火灾的重要前提；2000–500 a B.P. 时期，气候（温度）对野火的发生具有决定性影响；500 a B.P. 以来，日益频繁的人类活动成为火事件的主导因子。本文结果不仅深化了对该地区野火发生的复杂机制以及关键控制因素的理解，也为全球气候变暖气候变化背景下的可持续发展提供依据。

作者分工：郑舒心对数据进行处理并撰写数据论文；谭志海对数据集的开发做了总体设计；毛龙江提供土壤样品和 OSL 测年数据；王雪梅、苗继红、雷秋景进行数据采集；杨柳做了数据验证。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] Bowman, D., Balch, J., Artaxo, P., *et al.* Fire in the earth system [J]. *Science*, 2009(324): 481–484.
- [2] Marlon, R. J., Bartlein, P. J., Danianu, A. L., *et al.* Global biomass burning: a synthesis and review of Holocene paleofire records and their controls [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2013(65): 5–25.
- [3] 程天泽. 亚北极太平洋沉积物黑碳分布特征及晚第四纪古野火重建[D]. 济南: 山东大学, 2023.
- [4] 张振, 赵永杰, 刘超飞等. 泥河湾盆地上新世-更新世过渡时期野火与植被和气候变化[J]. *第四纪研究*, 2024, 44(1): 16–28.
- [5] 宋祎晴. 扬州地区下蜀黄土中的炭屑特征及古环境意义[D]. 上海: 华东师范大学, 2024.
- [6] Brugger, S., Mcwethy, D., Chellman N. Holocene black carbon in New Zealand lake sediment records [J].

- Quaternary Science Reviews*, 2024(325): 108491.
- [7] 姜寿恕, 赵德博, 唐艺等. 沉积物中黑碳在古环境古气候研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(5): 119-135.
- [8] 郑舒心, 谭志海, 毛龙江等. 鲁北平原典型剖面 4000 年古火重建数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.03.07.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.03.07.V1>.
- [9] 全球变化科学研究数据出版系统, 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [10] 王雪梅, 谭志海, 苗继红等. 4000 年以来鲁北平原典型剖面古火重建及人类活动[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37 (11): 92-99.
- [11] Kawamura, K., Parrenin, F., Lisiecki, L., *et al.* Northern hemisphere forcing of climatic cycles in Antarctica over the past 360,000 years [J]. *Nature*, 2007, 448 (7156): 912-916.
- [12] 南学良, 杜军, 李培英等. 东营港附近海域植硅体特征及其古环境指示意义[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(3): 385-393.
- [13] Dong, J., Wang, Y., Cheng, H., *et al.* A high-resolution stalagmite record of the Holocene East Asian monsoon from Mt Shennongjia, central China [J]. *The Holocene*, 2010, 20(2): 257-264.
- [14] Yang, S., Song, B., Ye, S., *et al.* Large-scale pollen distribution in marine surface sediments from the Bohai Sea, China: Insights into pollen provenance, transport, deposition, and coastal-shelf paleoenvironment [J]. *Progress in Oceanography*, 2019, 178: 102183.
- [15] Goldewijk, K., Beusen, A., Doelman, J., *et al.* Anthropogenic land use estimates for the Holocene- HYDE 3.2 [J]. *Earth System Science Data*, 2017, 9(2): 927-953.
- [16] 王建华. 黄河中下游地区史前人口研究[D]. 济南: 山东大学, 2005.
- [17] 吴玉林. 中国人口(山东分册)[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1989.