



祁连山周边内流区人类活动对表层沉积物的影响

高铭君, 李育, 张占森, 周雪如, 李海焯, 段俊杰, 薛雅欣

引用本文:

高铭君, 李育, 张占森, 周雪如, 李海焯, 段俊杰, 薛雅欣. 祁连山周边内流区人类活动对表层沉积物的影响[J]. 沉积学报, 2024, 42(4): 1279-1296.

GAO MingJun, LI Yu, ZHANG ZhanSen, et al. Effects of Human Activities on Surface Sediments in the Endorheic Zone Around the Qilian Mountain[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2024, 42(4): 1279-1296.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

崇明岛H12孔百年来长江入海沉积物来源变化及原因

Provenance Tracing of Sediment in Changjiang Estuary in the Past 150 Years and the Implications: Case study in core H12 at Chongming Island

沉积学报. 2020, 38(6): 1204-1214 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2020.002>

南流江河口水下三角洲表层沉积物端元分析及其沉积动力环境意义

End-Member Analysis for Surficial Sediment of Nanliujiang River Subaqueous Delta and Associated Sediment Dynamic Environmental Significance

沉积学报. 2019, 37(1): 124-134 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2018.113>

沉积过程中有机碳及Globigerinoides ruber氧、碳同位素变化特征——以南海南部为例

Changes of TOC and $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$ from Globigerinoides ruber during the Deposition Process in the Southern South China Sea

沉积学报. 2017, 35(4): 730-739 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.007>

新疆乌伦古湖沉积物粒度特征揭示的环境信息

Environmental Information Inferred from Environmentally Sensitive Grain-size Component Records in Wulungu Lake, Xinjiang

沉积学报. 2017, 35(6): 1158-1165 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2017.06.007>

可可西里古湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}C$ 变化特征及其影响因素

Variation Characteristics and Influencing Factors of Organic Carbon Isotope from Palaeolake Sediments in Hoh Xil Area

沉积学报. 2016, 34(2): 260-267 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2016.02.005>

文章编号: 1000-0550(2024)04-1279-18

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2022.115

祁连山周边内流区人类活动对表层沉积物的影响

高铭君, 李育, 张占森, 周雪如, 李海焯, 段俊杰, 薛雅欣

兰州大学资源环境学院, 兰州 730000

摘要 【目的】表层沉积物代用指标可以指示现代环境要素进而推断古环境演化过程,但是在人类活动较强的地区,人类对沉积物产生作用的时间和作用方式以及这种作用是否影响表层沉积物代用指标对该地区气候进行反演的评估较少。【方法】选取祁连山及周边地区所采集的456个表层沉积物,通过总有机氮(TN)、总有机碳(TOC)、碳氮比(C/N)、有机碳同位素($\delta^{13}C_{org}$)、碳酸盐碳同位素($\delta^{13}C_{carb}$)和氧同位素($\delta^{18}O$)等代用指标分析,建立了代用指标与海拔、经纬度、温度、降水等要素之间的关系,探究了现代人类活动对表层沉积物古环境代用指标的影响。【结果与结论】研究发现人类活动影响区表层沉积物古环境代用指标在该区域波动明显,相较其他地区,相关性大幅降低,表明人类活动影响可以改变古环境代用指标的指示意义。通过系统分析和计算表层沉积物与环境要素之间的关系,探讨了人类活动对表层沉积物的影响,进一步明确代用指标的现代环境指示意义,从而为后续利用沉积地层中古环境代用指标反演过去气候变化和分析人类活动提供理论依据。

关键词 祁连山;内流区;表层沉积物;人类活动影响区

第一作者简介 高铭君,男,1999年出生,硕士研究生,气候变化与人类活动,E-mail: 1418861798@qq.com

通信作者 李育,男,教授,古气候学,E-mail: liyu@lzu.edu.cn

中图分类号 P597.2 **文献标志码** A

0 引言

表层沉积物是现代过程的产物,对现代环境具有一定的指示意义,而现代环境的变化又是研究过去气候变化的基础,从现代环境演变过程推断过去环境变化规律是表层沉积物研究的重点内容。在表层沉积物的研究中,通过分析沉积物代用指标来反映沉积物的物质来源、形成机制、流域生态环境以及气候变化等信息,已经逐渐成为环境变化研究中的重要手段之一^[1-8]。Contreras *et al.*^[9]讨论了南美南部湖泊表层沉积物中有机地化指标与气候要素之间的关系,确定了指标所反映的气候梯度(温度和降水),Blagodatskaya *et al.*^[10]在黄土高原古土壤 $\delta^{13}C_{org}$ 植被历史重建过程中提出需要先评估微生物和外部有机质影响;王国安^[11]研究我国西北地区表层沉积物和植被 $\delta^{13}C_{org}$ 时发现表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 值比植被 $\delta^{13}C$ 值偏正2.2‰;饶志国等^[12]发现黄土有机质主要来源于当地植

被,其同位素偏正(<1.7‰)。总体来说,植物转为土壤过程中同位素分馏很小,表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 可以推测历史各时期的植被变化,还原古环境演化过程^[12]。

工业革命以来,人类活动对环境的影响已扩展到整个地球系统,引发了全球变暖、水资源匮乏、森林覆盖减少、沙尘暴频发等一系列全球性环境问题^[13-17]。人类活动受全新世气候变化强烈影响,人类在适应环境变化的同时也给周边环境造成了一定程度的影响^[18]。多项研究证实全新世各种类型的沉积物中存在人类活动痕迹,其古环境代用指标可以指示人类活动,如湖泊沉积物粒度^[19]、孢粉^[20-21]、黄土沉积物磁化率(MS)和粒度^[22-23]、冰芯同位素^[24]、石笋碳氧同位素^[25-26]、表层沉积物有机地化指标^[27-30],但对人类活动影响沉积物的作用时间和作用方式看法不一。

祁连山位于我国东部季风区、青藏高原区和西北干旱区的交汇地带,是我国西北部重要的生态安

收稿日期:2022-07-08;修回日期:2022-09-13;录用日期:2022-10-27;网络出版日期:2022-10-27

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0202);国家自然科学基金项目(42077415);中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA20100102);111计划(BP0618001)[**Foundation:** The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (STEP), No. 2019QZKK0202; National Natural Science Foundation of China, No. 42077415; The Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences, No. XDA20100102; The 111 Project, No. BP0618001]

全屏障。由于深居内陆,远离海洋,具有相对独立的地理环境,祁连山内流河地区是气候变化和人类活动的敏感区。人类活动是否会对祁连山地区表层沉积物代用指标产生影响,是我们以后利用指标反演该地区气候变化时需要考虑的问题。然而,目前我国祁连山周边地区现代表层沉积物研究相对匮乏,特别是其碳酸盐碳氧同位素组成和现代沉积过程的研究。综上所述,为明确沉积地层中古环境代用指标所包含的人类活动信息,以祁连山及周边地区表层沉积物为主要研究对象,分析并讨论了现代表层沉积物与环境要素之间的关系以及人类活动对表层沉积物的影响,进一步明确代用指标的现代环境指示意义,从而为后续利用沉积地层中古环境代用指标反演过去气候变化提供理论依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

位于青藏高原北缘的祁连山是由众多近似平行山脉组成的呈东西走向的巨大山体,东接秦岭,西连阿尔金山。以青海湖和哈拉湖为界线,可以将祁连山地区分成东、中、西三段,东段由大通河谷地、青海湖盆地、湟水谷地和拉脊山、大通山—达坂山、冷龙岭三列较为平行的山脉共同组成;西段由哈拉湖和疏勒河上游谷地以西的山地组成;其余为中段。由于气候单元上属于青藏高原高寒区和西北干旱区交错带,大气环流上地处东亚季风与西风区交汇区,因

此祁连山受季风—西风协同作用影响明显。东段山地受季风、西风影响较大,气候较为温暖湿润;中段地区地域辽阔,冰川发育较多,有众多高山草甸;西段山地干旱寒冷,受干燥剥蚀作用植被覆盖度低,还发育雅丹地貌。

1.2 样品采集与实验方法

1.2.1 样品采集

为获取足够的表层沉积物数据,本课题组于2017年、2019年、2020年分别在祁连山及周边地区进行了三次样品采集,共采集表层沉积物样品456个。第一次在祁连山周边的四个内流河流域—石羊河流域、石油河流域、丰乐河流域和布哈河流域共采集表层沉积物样品129个,采样点位于河漫滩或河谷中,距离河流水平距离30~1 000 m,植被以草甸或混合植被为主;第二次在祁连山地区进行了为期半个月的采样,共采集表层沉积物样品317个,采样点周围地貌为山前坡地、山前平原,植被类型一般为草地或草甸,部分采样点为混合植被类型,参考我国DEM数据分别于祁连山南麓和北麓两条线路进行样品采集,并在沿线采样的基础上,在合适的区域设计了多条从流域上游地区到流域下游地区的采样路线,以涵盖祁连山地区;第三次在金塔县附近进行补充采样,采集表层沉积物样品20个。以5~10 km为间隔进行采样工作,样品采集时需刮除表面2~3 cm的杂质,采集露出的新鲜土壤,采样深度为0~10 cm,采样点如图1所示。为分析人类活动对表层沉积物古环

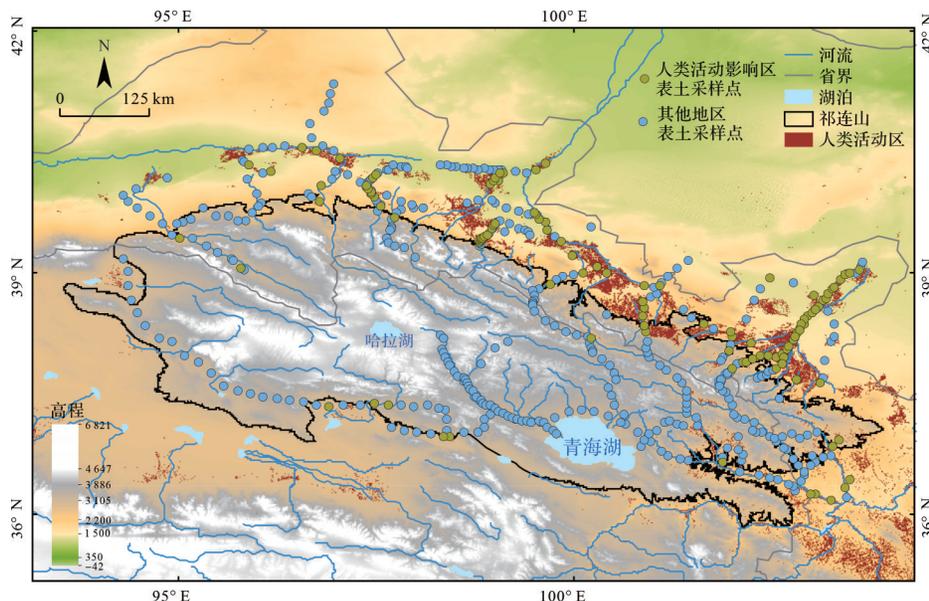


图1 祁连山及周边地区表层沉积物采样点

Fig.1 Sampling sites of surface sediments in study area

境代用指标的影响,将区域内耕地和建设用地作为祁连山及周边地区的人类活动影响区。其他区域主要为林地、草地、灌丛、湿地、水体、裸地和冰川/积雪,人类活动影响较小,将其视为其他地区。

1.2.2 实验方法

表层沉积物 TOC、TN 数据在兰州大学化学与化工学院分析测试中心测定。C/N 数据则根据测得的实验数据,利用 TOC/TN 进行计算得到。具体实验步骤如下:(1)称取适量样品置于玛瑙研钵中研磨,过 150 目的网筛;(2)称取上述样品 0.5 g 置于离心管,并加入 10 mL 稀盐酸(1 mol/L)摇晃混匀;(3)水域震荡 3 h(60 °C),随后静置 18 h;(4)待反应完全后,将离心管置于离心机中离心 5 min(4 000 rad/min);(5)将离心管内上层清液倒出,并加入 40 mL 去离子水,震荡约 30 min 后再进行离心,重复多次上述操作,直到上层清液 pH 呈中性;(6)将上述样品放入恒温箱(60 °C),低温烘干 24 h;(7)称取步骤(1)处理后的 20 μg 样品,使用 Vario EL cube 元素分析仪测定。最终样品实际的 TOC、TN 含量用以下公式进行计算:

$$M_0 = M \times G/G_0 \quad (1)$$

式中: M_0 为样品元素的实际百分含量(%), M 为样品中所测元素值(%), G_0 和 G 分别为处理前、后样品的重量(g)。

表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 数据使用 Finnigan-MAT 253 Plus 同位素质谱仪进行测定。具体实验步骤如下:(1)称取适量样品放入研钵中进行研磨,并过 200 目的网筛;(2)称取上述处理好的样品 0.2 g 置于离心管,加入适量 1 mol/L 的稀盐酸,再用去离子水反复搅拌、洗涤,并静置一段时间,保证上层清液接近中性;(3)将处理后的样品放入 60 °C 恒温箱进行 24 h 烘干。沉积物等样品采用 B2151、B2153 两种国际标准物质,标样的分析精度可达 0.2‰。标样 B2151,推荐值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}(\text{‰})=-28.85$,标样 B2153,推荐值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}(\text{‰})=-22.88$ 。

表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 数据使用 Finnigan-MAT 253 Plus 同位素质谱仪测试,计算结果以 VPDB 为标准。采用色谱柱(熔硅毛细管柱:规格为 Poraplot Q, 25 m×0.32 mm)温度为 70 °C。具体实验步骤如下:(1)称量适量样品进行研磨,并过 200 目网筛以去除砂石、树根等杂质;(2)称取 100 μg 样品放至 12 mL 的反应瓶中;(3)使用流速达 100 mL/min 的高纯度氮气(99.999%),每次样品均需排空处理 600 s;(4)向处

理后的样品中加入 0.2 mL 的无水 H_3PO_4 (100%),并将反应瓶置于 72 °C 的加热盘;(5)待完全反应后,气体需要通过熔硅毛细管柱(70 °C),从而提取 CO_2 ;(6)最后利用稳定气体同位素质谱仪测量生成的 CO_2 ,精度均高于 0.1‰。使用 GBW04405 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}=0.57\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}=-8.49\text{‰}$)作为校正标样,GBW04416($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}=1.61\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}=-11.59\text{‰}$)作为质控样,每 20 个样品加入一组标样,每 10 个样品添加一个平行样,5 组标样的测试结果的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 测试精度均高于 0.2‰。

2 结果与分析

本研究组共采集祁连山及周边地区表层沉积物样品 456 个,选取 456 个样品进行了 TOC、TN 和 C/N 测试,288 个样品进行了 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 测试。本文将总研究区划分为人类活动影响区和其他地区,不同区域内表层沉积物 TN、TOC、C/N、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的频率分布如图 2 所示。总研究区和其他地区表层沉积物古环境代用指标的频率分布较为相似,TOC 和 TN 变化幅度较大,整体偏小,C/N 多集中在 10~20, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 多介于 -25‰~-23‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 基本在 -2‰~0 和 -8‰~-4‰(图 2)。在人类活动影响区 TOC 和 TN 在数值小的区域频率分布明显增大。C/N 在 10 附近频率明显减小,其他区间变化不大, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 数值则略偏大。人类活动影响区 TN、TOC 含量平均值分别为 0.08%,1.21%,低于其他地区 and 总研究区的平均值, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的平均值较其他地区 and 总研究区偏大(表 1)。

TOC 是指示沉积物中总有机质含量多少的重要指标^[31]。表层沉积物 TOC 含量的多少不仅取决于植被类型,还受植物残体凋落和分解作用的影响^[32]。祁连山地区表层沉积物 TOC 平均值为 1.57%(表 1),远低于我国第二次土壤普查的平均值^[33]。研究区土壤类型多为土壤肥力较低的草甸土、沼泽土和盐碱土等,导致植被生产力整体较弱,TOC 含量较小。

表层沉积物 C/N 是判别区域内有机质来源的有效手段^[3]。一般情况下,有机质主要为外源物质时,陆生植物有机质内蛋白质含量较低,纤维素含量较高,所以 C/N 变化范围为 14~23,或者更高;有机质以内源物质为主时则与之相反,一般 C/N<10^[34]。研究区表层沉积物 C/N 变化范围大多位于陆生高等植物 C/N 的分布区间(图 3),表明该区域表层沉积物有机质主要来自外源物质,反映了祁连山地区陆生植物

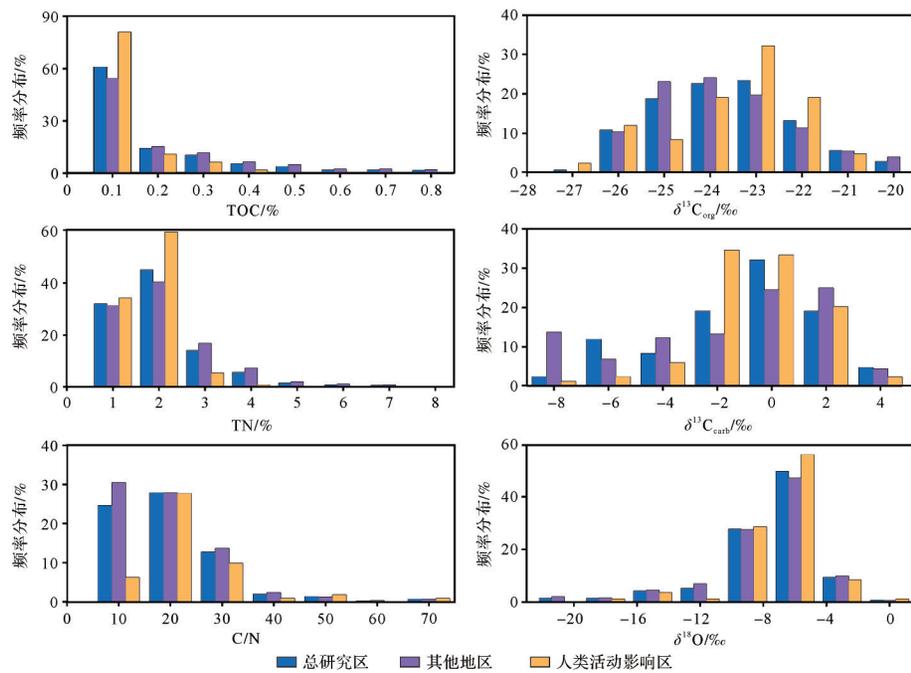


图2 表层沉积物古环境代用指标的频率分布

Fig.2 Frequency histograms of paleoenvironmental proxies in surface sediments

表1 表层沉积物不同区域古环境代用指标的极值和平均值

Table 1 Extreme and average values of paleoenvironmental proxy indicators in different areas of surface sediments

		TN/%	TOC/%	C/N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$
总研究区	最小值	0.013	0.08	1.77	-27.5	-31.7	-23.00
	最大值	0.920	7.13	80.12	-17.8	2.9	1.20
	平均值	0.150	1.57	15.83	-24.0	-3.2	-9.00
其他地区	最小值	0.013	0.08	1.77	-27.0	-31.7	-23.00
	最大值	0.920	7.13	65.07	-17.8	2.9	1.12
	平均值	0.170	1.69	14.99	-24.1	-3.8	-9.20
人类活动影响区	最小值	0.014	0.17	4.68	-27.5	-8.9	-20.40
	最大值	0.370	3.03	80.12	-21.3	2.6	-1.30
	平均值	0.080	1.21	19.9	-24.0	-1.7	-8.60

的生产力状况。前人研究指出中国土壤 C/N 的平均值为 10~12^[33], 而高寒地区表层沉积物 C/N 的平均值为 17.4^[36]。经计算研究区表层沉积物 C/N 的均值为 15.83, 高于全国土壤平均水平, 接近高寒地区表层沉积物的 C/N 值, 表明表层沉积物中微生物分解矿化作用偏慢, 土壤中有效态氮素会被消耗, 这可能与祁连山区域的地理位置、气候变化等多种因素有关。

为进一步探讨研究区主要陆生植物类型, 分析了 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 的变化情况(图3)。不同植物的光合作用路径不同, 导致碳同位素存在差异, 因此 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 可以用来指示植被类型和初级生产力状况^[4]。陆生 C3 植物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 介于 $-34\text{‰} \sim -23\text{‰}$, 集中在 -27‰ 附近; 陆生 C4 植物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 介于 $-19\text{‰} \sim -9\text{‰}$, 集中在 -13‰ 附近

(表2)。研究区表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 集中在陆生 C3 植物的变化区间内(图3), 证明该区域主要植被类型为 C3 植物。该结果与野外采样的实际情况一致, 符合西北干旱区现代植被特征。

通常认为控制土壤碳酸盐形成的主要因素是降水和温度^[39-40], 但在实际应用中 $\delta^{18}\text{O}$ 的指示意义仍存在争议。对 $\delta^{18}\text{O}$ 的分馏机制研究发现, 土壤碳酸盐含量会随着温度和蒸发的增加而富集, 从而致使 $\delta^{18}\text{O}$ 偏正^[41]。表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 多来自土壤吸收的大气 CO_2 和土壤生物过程, 已有研究证明盐碱土可以吸碳, 且在祁连山地区表层存在碳酸盐富集现象^[42-44]。自然因素和人类活动共同作用可能是导致人类活动影响区 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 数值偏大的原因。

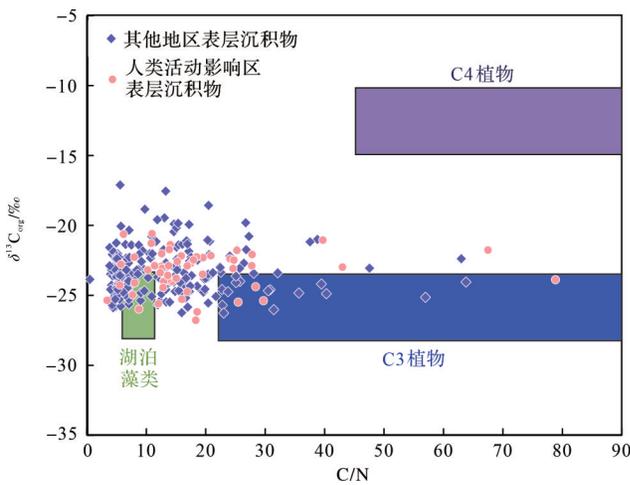


图3 表层沉积物有机质 C/N 和 $\delta^{13}C_{org}$ 的分布特征
湖泊藻类、C3 陆地植物和 C4 陆地植物的有机物的代表性元素和碳同位素组成范围数据参考文献[35]

Fig.3 Distribution of organic matter, C/N and $\delta^{13}C_{org}$ in surface sediments

表2 典型沉积物中 $\delta^{13}C_{org}$ 、C/N 和有机质来源
Table 2 Sources of $\delta^{13}C_{org}$, C/N and organic matter in typical sediments

$\delta^{13}C_{org}/\text{‰}$	C/N	有机质来源	参考文献
-34~-23	>18	C3植物	[37-38]
-19~-9	>15	C4植物	[37-38]
-42~-24	6~8	浮游生物	[37]
-28~-18	10~30	淡水水生生物	[37]

本文使用回归分析探究表层沉积物代用指标和空间因素(海拔,经纬度)的关系。其他地区表层沉积物 TN、TOC 与海拔呈极显著正相关关系,阴影部分表示 95% 置信区间(图 4a, c), C/N 与海拔呈极显著负相关关系(图 4e)。人类活动影响区 TN、TOC 与海拔呈正相关,但比其他地区显著性较弱(图 4b, d), C/N 与海拔呈较弱的正相关关系(图 4f)。其他地区表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C_{carb}$ 与海拔呈较为显著的负相关关系 (p 均 <0.01 ; 图 4g, i, k), 其中 $\delta^{13}C_{carb}$ 与海拔为极显著负相关关系(图 4g), 表现为随着海拔高度的增加, 同位素逐渐变重。人类活动影响区中 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C_{carb}$ 与海拔之间的相关性不明显, 且数据多集中在海拔 2 000 m 以下 ($p>0.1$; 图 4h, j, l)。通过分析代用指标在不同海拔范围内与海拔的关系发现, 在 3 200 m 以上区域, TN、TOC 与海拔呈负相关关系(图 5a~d), 可能是高海拔地区植被生长条件因海拔越高, 温度降低而受到影响。海拔 3 500 m 以下, 表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 随海拔升高而逐渐偏轻; 而海拔 3 500 m 以

上, 随海拔升高而逐渐偏重(图 5e, f)

其他地区表层沉积物 TN、TOC 与纬度呈极显著负相关关系(图 6a, c), C/N 与纬度呈较显著的正相关关系(图 6e)。人类活动影响区 TN、TOC 和 C/N 与纬度的相关性减弱(图 6b, d, f)。其他地区表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 和 $\delta^{13}C_{carb}$ 与纬度呈显著的正相关关系(图 6j, k), $\delta^{18}O$ 与纬度的相关性较弱(图 6i)。人类活动影响区 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{18}O$ 与纬度的相关性很小(图 6h, j), $\delta^{13}C_{carb}$ 与纬度呈较显著的正相关关系(图 6l)。

其他地区表层沉积物 TN、TOC 与经度呈极显著正相关关系(图 7a, c), C/N 与经度呈显著负相关关系(图 7e)。人类活动影响区 TN、TOC 与经度的相关性较其他地区减弱(图 7b, d), C/N 与经度呈负相关关系(图 7f)。其他地区表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{13}C_{carb}$ 与经度呈显著负相关关系(图 7g, k), $\delta^{18}O$ 和经度的负相关关系相对较弱(图 7i)。人类活动影响区 $\delta^{13}C_{org}$ 和 $\delta^{18}O$ 与经度的相关性较弱(图 7h, j), $\delta^{13}C_{carb}$ 与经度呈显著负相关关系(图 7l)。

3 讨论

3.1 表层沉积物古环境代用指标与空间因素的关系

海拔高低会通过影响植被生产力的大小和土壤类型改变表层沉积物 TOC 和 TN 含量^[45-46]。北美洲半干旱区^[47]、南美洲亚马孙森林^[48]和我国祁连山^[49]等地均发现了土壤有机碳含量随海拔的升高而增大; 在美国亚利桑那州荒漠草原^[50]、非洲肯尼亚东茂森林^[51]和我国南方的星云湖^[52]、鄱阳湖^[53]等地均证实了土壤 TN 含量随海拔升高而增加, 与研究区 TN、TOC 的变化特征类似(图 4a, c)。当海拔上升到一定高度后, TN、TOC 与海拔的正相关关系转变为负相关关系, 相关性减弱(图 5a~d)。高海拔地区土壤成土母质中含有大量的较粗残积物, 养分含量不高, 同时温度降低影响了植物的生长和土壤氮素的输出。因此土壤 TN、TOC 含量下降, 我国内蒙古黄花甸子流域和甘南草地土壤 TN 也发现类似的情况^[53-54]。表层沉积物 C/N 主要代表了土壤的氮矿化能力^[55], C/N 低值表示有机质矿化过程快, 土壤环境有利于微生物进行有机质分解, 土壤有效氮含量高。C/N 随海拔的增大而减小(图 4e), 表明海拔越高土壤有机质氮矿化能力越大。

祁连山及周边地区表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 的变化与青藏高原表土有机质 $\delta^{13}C_{org}$ 研究结果类似^[56]。表层沉积

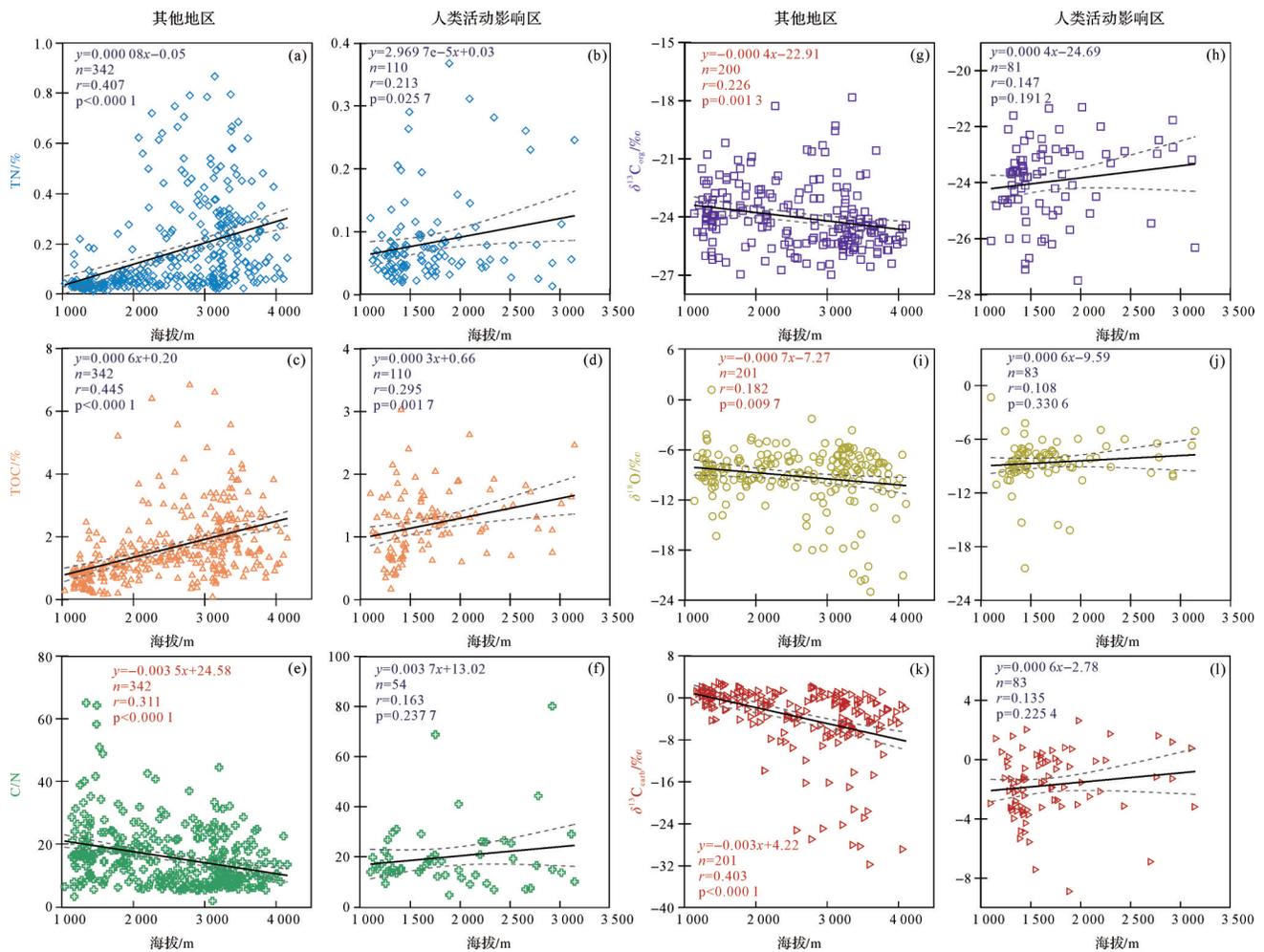


图4 表层沉积物古环境代用指标与海拔的关系

Fig.4 Relationship between paleoenvironmental proxies of surface sediments and altitude

物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 与植物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 密切相关,研究区植物类型分布状况显示,海拔3500 m以下,森林、灌丛、草甸等在不同海拔区域内均有分布,多为C3植物,以禾本科为主的C4植物则多存在于低海拔地区或者干旱区域^[57]。海拔3500 m以下 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 随海拔的升高而逐渐变轻的原因可能与C4、CAM植物减少,C3植物所占比例增大有关(图5e)^[58]。海拔3500 m以上,研究区C3植物占绝对优势,海拔升高而有机碳同位素逐渐变重,可能是低大气压力背景下叶片吸收利用大气 CO_2 效率下降(图5f)^[59-60]。除此之外,海拔变化能够影响温度、降水和光强等多种因素,对植物光合作用产生影响,祁连山区域光照强度足够满足植物的需要量^[61-62],温度和降水可能是影响植物光合作用的决定因素。

由于受到气候因子的驱动,表层沉积物代用指标与经纬度关系密切^[63]。祁连山区域由北向南土壤

类型从砂黄土向黏黄土转变,土壤有机质和微生物量快速增加,有利于有机质吸收和土壤内氮素释放。研究区表层沉积物TN、TOC含量沿经度表现为东高西低,沿纬度表现为南高北低(图6a,c、图7a,c),这在我国土壤有机质的地带性规律研究中均得到了证实^[64-66]。我国青藏高原东部有一夏季风水汽输送通道,来自太平洋的水汽可以到达,水汽输送距离的远近造成研究区东西两地存在水分差异^[67]。已有研究证明祁连山植被与降水的空间分布格局类似,并指出了水分对植被的重要性^[68]。表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 变化受植物碳同位素影响,能够反映C3/C4植物的相对丰度。C4植物丰度受控于温度大小,温度越高,C4植被状况越好^[63]。研究结果显示表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 随纬度降低而偏负(图6g),可能由于研究区位于干旱半干旱区,主要控制因子为降水量并非温度。祁连山地区水汽以纬向输送为主,越向西水汽越少^[69]。

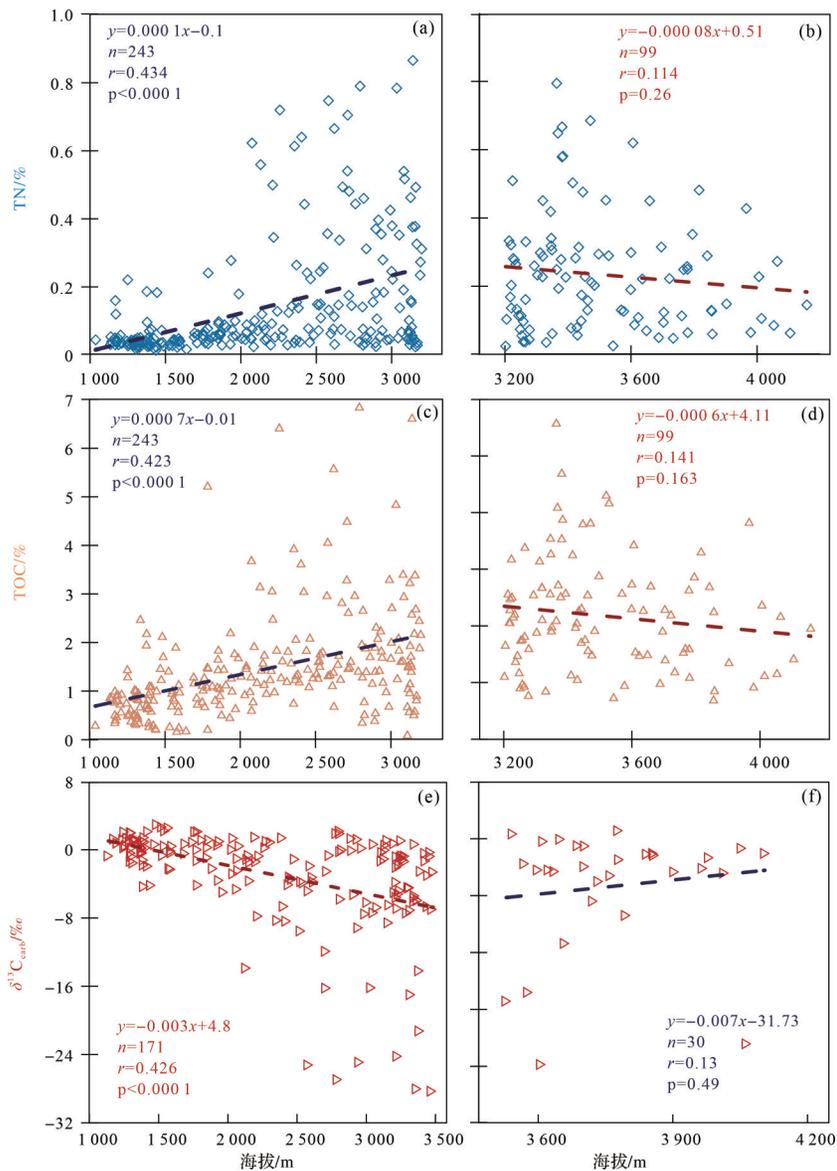


图5 其他地区表层沉积物 TN、TOC、 $\delta^{13}C_{org}$ 与不同海拔的关系

Fig.5 Relationships between TN, TOC, $\delta^{13}C_{org}$ and elevation in surface sediments in other areas

C4植物随年降水量的增多而逐渐减少,东西两段水分差异导致C4植物生物量表现为东少西多的分布格局。此外,降水的空间分布差异也与祁连山地形等因素有关^[70]。碳酸盐 $\delta^{18}O$ 多反映干湿变化,降水越多 $\delta^{18}O$ 偏负。 $\delta^{13}C_{carb}$ 的变化原因与 $\delta^{18}O$ 变化类似,越向西蒸发强度越大,地表碳酸盐析出, $\delta^{13}C_{carb}$ 偏正。

3.2 表层沉积物古环境代用指标与气候因素的关系

为了进一步明确现代表层沉积物古环境代用指标与气候因子之间的关系,分析不同代用指标中所包含的人类活动信息,为识别过去人类活动提供依据。对表层沉积物代用指标与年均降水量(Mean Annual Precipitation, MAP)和年平均温度(Mean Annual Temperature, MAT)做了线性相关分析,现代

气候参数(即MAT和MAP)来自国家青藏高原科学数据中心的区域地面气象要素驱动数据集(1979—2018年),该数据集包括近地面气温、近地面气压、近地面空气比湿、近地面全风速、地面向下短波辐射、地面向下长波辐射、地面降水率共7个要素,时间分辨率为3h,水平空间分辨率为 0.1° ^[71]。结果表明,其他地区TN、TOC与MAP呈显著正相关关系(图8a,c),与MAT呈显著负相关关系(图8b,d),且TN、TOC与MAP的相关性高于MAT。

TN、TOC与MAP、MAT均呈极显著相关关系($p<0.0001$),MAP的改变会引起土壤含水量和透气性变化,从而影响土壤TOC分解和有机质降解。土壤中含水量较大大会使TOC矿化作用减慢,表层枯枝落叶

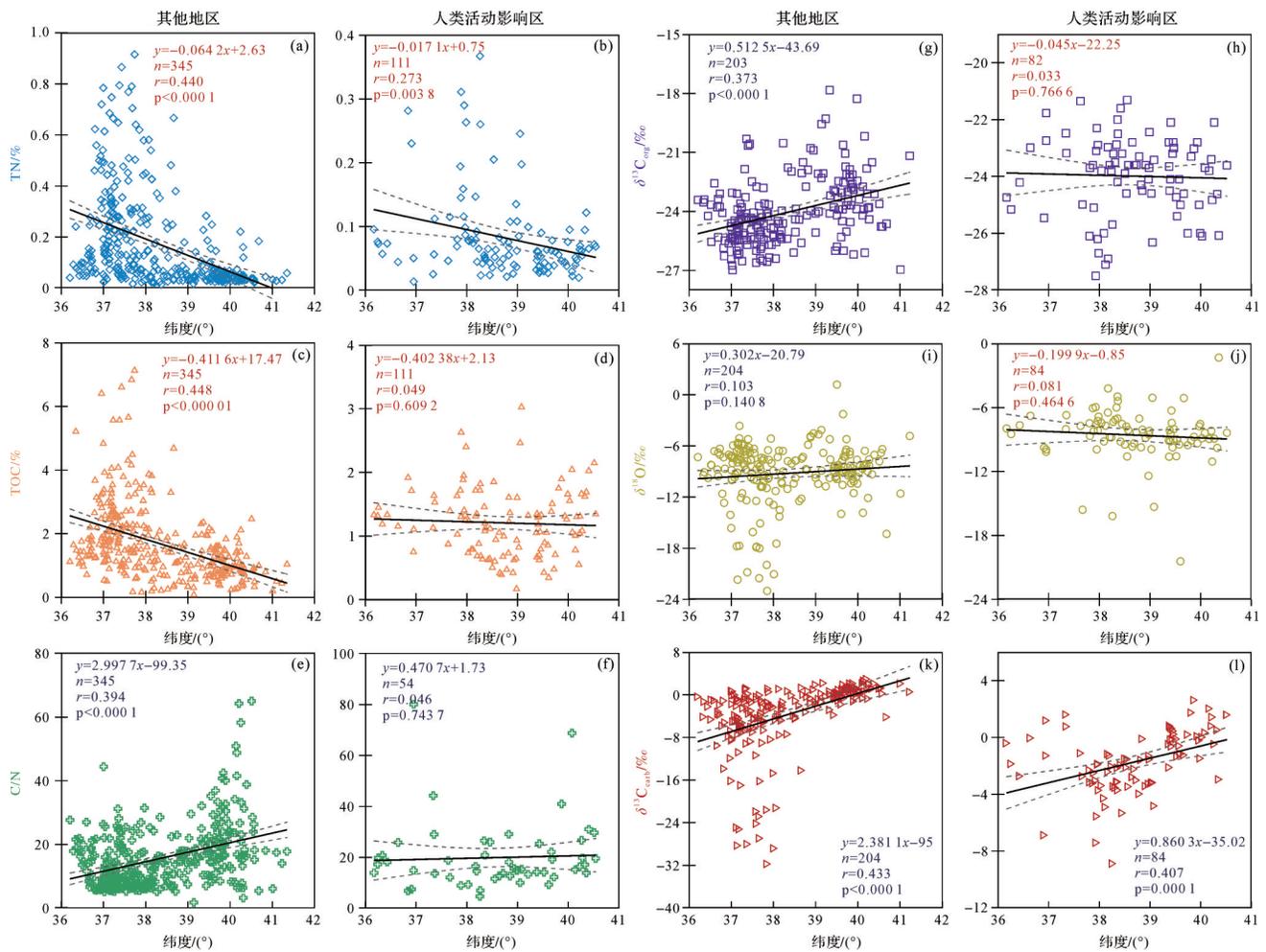


图6 表层沉积物古环境代用指标与纬度的关系

Fig.6 Relationships between the paleoenvironmental proxies of surface sediments and latitude

更易腐烂,从而转化成有机质保存在土壤内,进而导致TOC含量增加。温度对表层沉积物TOC和TN的影响相对复杂,温度升高会加快有机质分解,促进生物生产,有利于增加表层沉积物中TOC和TN含量。

TN、TOC含量和温度、降水呈显著的相关关系(图8)。我国西北祁连山中段代表性土壤研究表明,影响土壤TOC含量的主要因子是归一化植被指数(NDVI)和年均降水量^[72];陕西黄土台塬表层土壤TOC密度与温度和降水的关系分别表现为 <0.001 和 <0.05 的显著相关^[73]。TN、TOC与MAP的相关性高于MAT,表明研究区降水对TOC和TN的影响大于温度(图8a~d)。杨新宇等^[74]在青藏高原高寒草甸土壤中进行了人工模拟实验,通过改变温度和降水证明了该地区土壤总体格局变化受降水量影响,而非温度^[74];Rui *et al.*^[75]研究发现5~15 cm土壤TOC含量不因温度改变而发生变化。以上实验结果与本文结果相一致。表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C_{carb}$ 与MAT和MAP的一

元线性回归分析回归结果显示:其他地区表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C_{carb}$ 均与MAT呈显著正相关关系,与MAP呈显著负相关关系($p<0.01$),且代用指标与MAT的相关系数(图8g,i,k)均低于与MAP的相关系数(图8h,j,l)。

为整体论证环境因素对代用指标的影响,对影响代用指标的环境因素(海拔、MAT、MAP)进行主成分分析,分析哪些因素对代用指标的影响更大,为了减少人类活动的影响,选取其他地区样品的环境要素进行分析。主成分分析表明(图9a),PC1(第一主成分)占初始信息的98.1%,而PC2(第二主成分)仅占1.9%,因此PC1可以很好地表示初始信息。此外,海拔与PC1之间的相关性高达0.992,这意味着海拔可以最好地表示PC1,从而表示研究区表土代用指标的初始信息。海拔和气候因素负荷也表明(图9b),在代用指标中起主导作用的是海拔,其次是降水。结合代用指标与环境因素的相关性分析,认为MAP

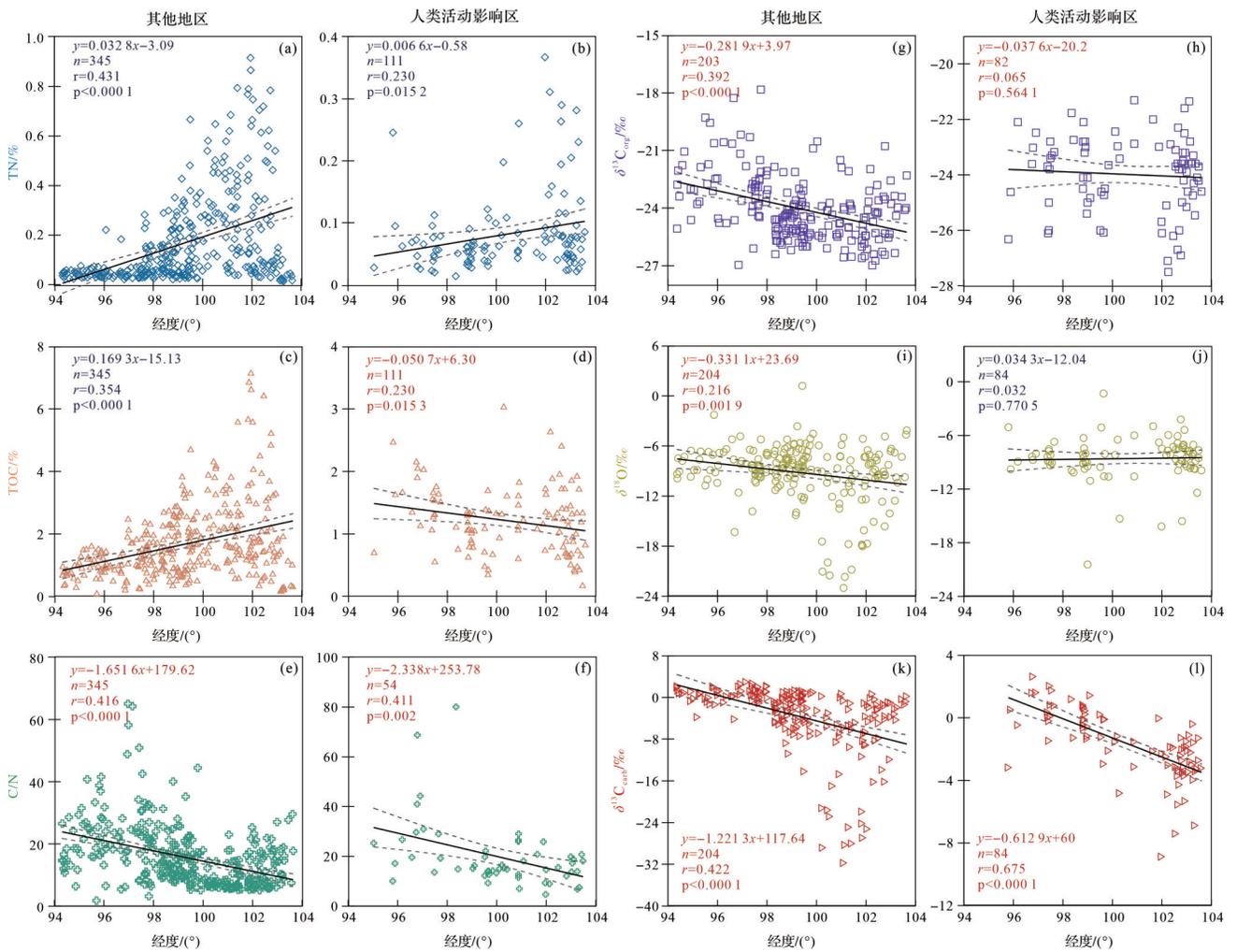


图7 表层沉积物古环境代用指标与经度的关系

Fig.7 Relationships between paleoenvironmental proxies of surface sediments and longitude

是控制研究区表土的代用指标的主要因素,主要受海拔影响。

Zhao *et al.*^[76]指出在古环境和古生态重建中,生物指标比物理指标对气候变化更敏感,沉积物的有机碳同位素组成($\delta^{13}C_{org}$)可以提供更高的分辨率记录。本研究将 $\delta^{13}C_{org}$ 数据划分为两组,认为小于 -23‰ 的代表纯C3植物,大于 -23‰ 代表C3和C4混合植物,并分别与MAT和MAP进行相关性分析,讨论 $\delta^{13}C_{org}$ 对气候因素的敏感性。在大于 -23‰ 的数据中,表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 与MAT存在较显著的负相关关系(图10a),与MAP存在较弱的正相关关系(图10b),且与MAT的相关性高于与MAP的相关性。其原因可能是位于季风边缘区的祁连山地区受西风季风协同作用影响,温度和降水的耦合变化造成该区域 $\delta^{13}C_{org}$ 与MAT之间呈较为显著的正相关关系。在

小于 -23‰ 的数据中,表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 与MAT表现为显著正相关关系(图10c),与MAP呈显著负相关关系(图9d),且 $\delta^{13}C_{org}$ 与MAP的相关性略大于与MAT的相关性,这与前人在青藏高原东北缘石羊河流域表层土壤的 $\delta^{13}C_{org}$ 的研究结果一致^[76]。 $\delta^{13}C_{org}$ 值在大于 -23‰ 时与MAP和MAT的相关性同减弱也证明不同物种陆生植物受到气候影响的差异性,因此在利用 $\delta^{13}C_{org}$ 进行降水和温度需要注意范围的选择,以C3植物为主要来源的沉积物($\delta^{13}C_{org}$ 小于 -23‰)可用于降水的定量重建,当以C3、C4混合植物的 $\delta^{13}C_{org}$ 进行重建气候时,可能无法准确表达重建的降水; $\delta^{13}C_{org}$ 对温度的相关性相对于降水较低,这可能是由于温度对植物和土壤 $\delta^{13}C_{org}$ 有正面和负面的双重作用。因此,若要利用 $\delta^{13}C_{org}$ 对温度进行重建,需要把握好温度的阈值,进行具体分析。

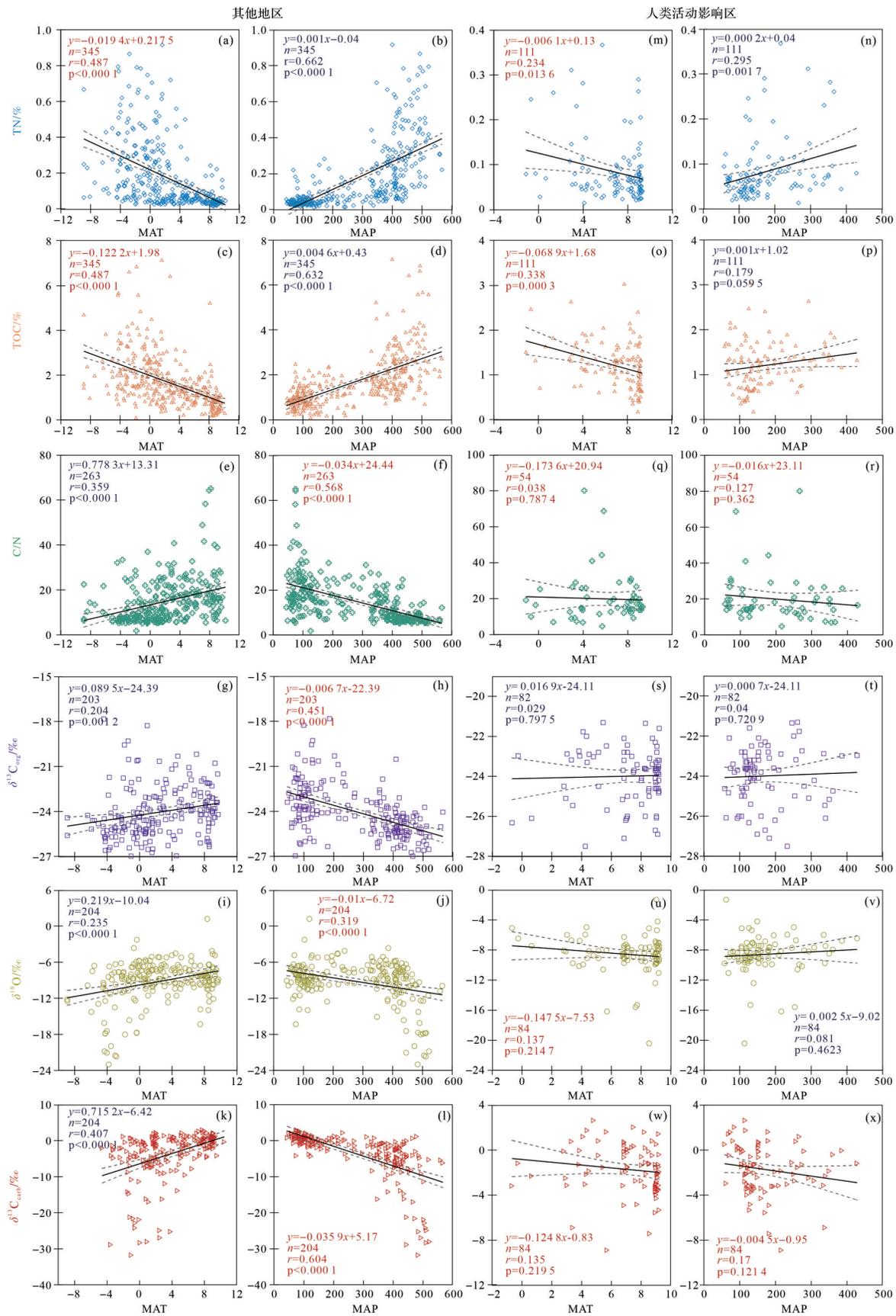


图8 表层沉积物古环境代用指标与MAT和MAP的关系

Fig.8 Relationships between paleoenvironmental proxies of surface sediments and MAT and MAP

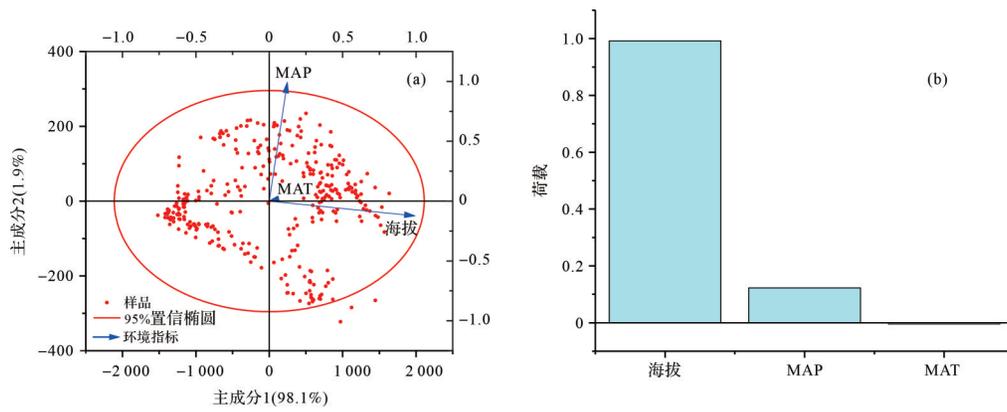


图9 研究区环境因素的主成分分析 Biplot 图(a)和荷载(b)

Fig.9 Principal component analysis of environmental factors in the study area: (a) biplot; (b) loadings

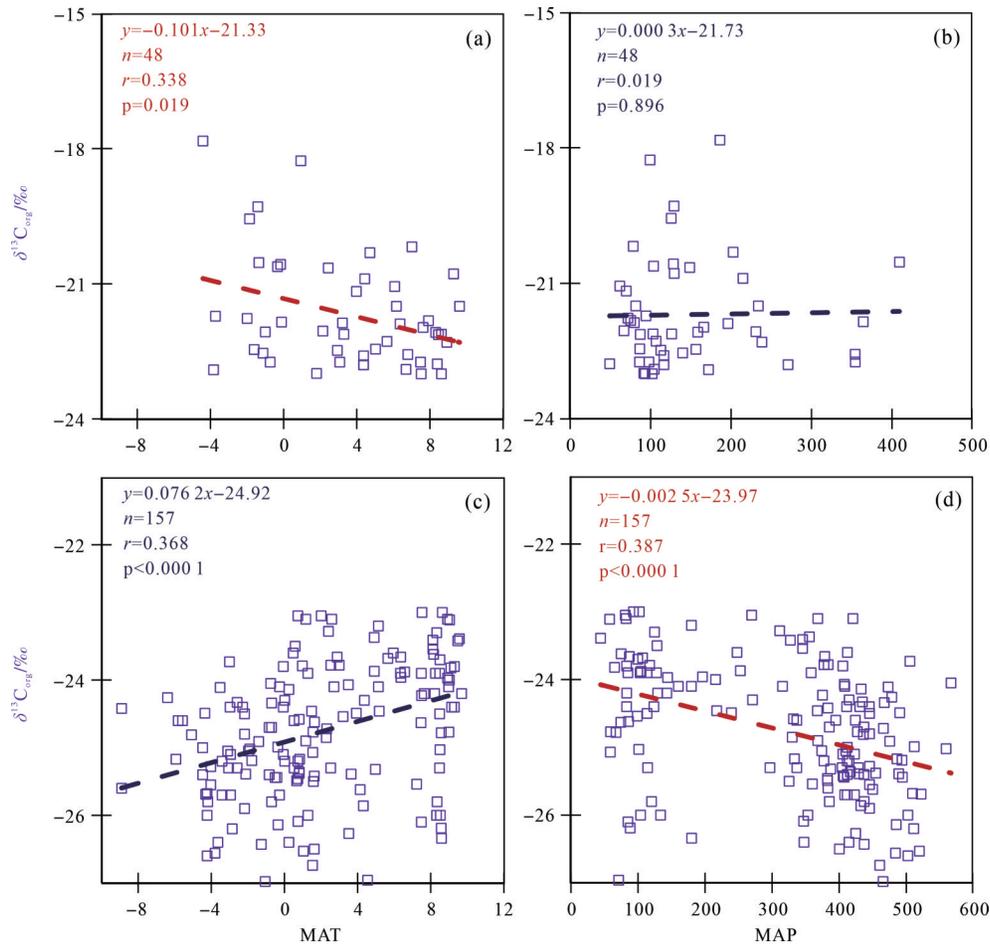


图10 其他地区表层沉积物 $\delta^{13}C_{org}$ 与 MAT 和 MAP 的关系

Fig.10 Relationship between the $\delta^{13}C_{org}$ of surface sediments and MAT and MAP in other areas

3.3 表层沉积物古环境代用指标与人类活动的关系

人类活动影响区 TN、TOC、C/N、 $\delta^{13}C_{org}$ 、 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C_{carb}$ 分布离散程度明显增大,与空间因素和气候因子之间的相关性较其他地区明显降低(图4,6~8)。武志杰^[77]通过分析人类生产活动对土壤生态系统的

影响认为,人类活动的方式、程度,持续的时间通过影响土壤、水文、植被等自然要素,对土壤肥力和土壤生态系统基本生物生产能力产生重要的影响,打破自然界平衡。根据从是否维持土壤肥力或土壤生态系统基本生物生产能力的标准来看,人类生产活

动对土壤生态系统有消极影响和积极影响两个方面的作用,最终表现为土壤环境代用指标的变化。韦应莉等^[78]证明人类过度放牧会使土壤养分下降有机质减少,造成土壤 TOC、C/N 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 含量下降。郑曼迪^[30]研究发现,土壤一旦被耕作农用之后,耕作的增加导致土壤侵蚀进而使得土壤有机质含量减少,表层沉积物 TOC 和 TN 含量减小。此外,不恰当的农业灌溉方式如漫灌会使得大量多余水分进入灌区地下,导致地下水位上升引起系统次生盐渍化发展,地表碳酸盐富集 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 数值偏正^[79]。另一方面,人类活动也会对土壤产生积极的影响,集约耕作、流域治理、水土保持、植被恢复等都可以恢复土壤的肥力。Zhu *et al.*^[80]通过研究黄土高原自然植被恢复过程发现,植被的恢复会改善土壤的可蚀性,迅速增加土壤的 TOC 和 TN 含量。王增丽^[81]通过研究秸秆还田对土壤的改良效果,发现秸秆粉碎氮化措施可以显著提高土壤 TN 含量。李东坡等^[82]发现利用有机农业施肥方式可以使土壤微生物量、C、N 含量成倍数增加。总体来看,经过长期耕种土地的土壤有机质和代用指标很大程度上受诸如耕作、轮作、施肥等农业措施的影响。

^{14}C 测量证实,早在 7 000 年前,我国就开始了农业利用^[83],根据生产方式的不同,可以将中国农业发展划分为原始农业阶段、传统农业阶段、现代农业阶段。自新石器时代以来,刀耕火种技术被广泛用于将森林转变为农田和牧场^[84]。Wang *et al.*^[85]通过内蒙古岱海湖沉积物岩心中的黑碳重建了中国北部全新世期间发生火灾的高分辨率历史,发现中国北方约 8 000 年和 3 000 年前火灾频率的增加是因为早期农业的出现和人类土地利用的扩大。这种早期农业和广泛的土地利用模式不仅改变了表面景观,对植被覆盖下的土壤有机质也产生了深远的影响。何翔宇等^[86]通过研究河南仰韶村文化遗址发现,与自然剖面相比,文化剖面土壤在古人类活动干扰下,各理化性质变异系数大,数值差异明显,反映古人类活动在一定程度上阻碍了土壤的发育。传统农业阶段,铁农具的出现使得土壤表面变得平滑和压实,在促进集约化锄耕农业形成的同时,也导致了坡面上的地表径流和土壤侵蚀^[87]。从西汉时起黄土高原等北方地区农业开垦引起的水土流失已经较为明显,黄河泥沙含量高的特点已经出现^[88]。桑广书^[89]发现历史时期以来,黄土高原土壤侵蚀强

度日趋增强,现代侵蚀强度较全新世早、中期人类影响较微弱情况下的侵蚀强度大 41%~45%,主要原因是植被受到破坏。现代农业时期,新垦耕地迅速增长的同时,城市扩展对耕地的占用不断增加,化肥、农药和机械等的投入使得对耕地的利用强度达到前所未有的程度^[90]。周涛等^[91]发现耕地土壤与非耕地土壤有机碳储量之间存在显著差异,土地利用的改变在总体上导致了土壤碳的释放。秦景秀等^[92]通过分析气候变化和人类活动对干旱区植被生产力的影响发现,人类活动在植被的恢复和退化中起主导作用。

祁连山周边内流河区域是气候变化和人类活动的敏感区,出山径流是下游绿洲农业的主要来源。汉代收复河西走廊,便在祁连山中下游绿洲区域进行屯垦,农业发展和人类文明演化有紧密的关系。李并成^[93]总结了汉唐时期 10 块沙漠化的古绿洲,认为绿洲沙漠化的原因是人类活动和气候共同导致的植被破坏和水土流失。关于现代植被的研究显示,降水增加使得祁连山及周边地区植被覆盖率有所增加,但受人类活动干扰较大的河谷和部分山区其植被明显减少,地表侵蚀能力增强,有机质输入变少^[94]。祁连山下游地区受强烈蒸发作用影响,土壤盐渍化程度加重^[95],且大量人类活动对原有的土地利用方式产生了影响,现多是以灌溉农业为主的耕作农田,农耕土壤内含有大量肥料物质,造成了 TN 含量向人为需要的状态下发展^[96]。总的来说,随着科学技术的进步和农业水平的提高,从原始农业阶段到现代农业阶段,农业区域的面积不断扩展,农业土地利用强度的不断增大,人类活动也已经从影响土壤表面植被到直接影响土壤理化性质,导致了森林破坏、水域湿地等自然景观的退缩和消失、土地退化和土壤侵蚀的加剧、动植物数量减少以至灭绝等一系列环境问题。所以,人类活动不可避免地会影响土壤代用指标,导致人类活动影响区表层沉积物代用指标的变化较其他地区存在显著差异,在一定程度上改变了其环境指示意义。

4 结论

根据研究区内其他地区 and 人类活动影响区的划分标准,对祁连山及周边地区 456 个表层沉积物中 TN、TOC、C/N、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 指标进行了综合分析,利用相关性分析法和主成分分析法对代用指标

与海拔、温度、降水等不同要素之间的关系进行了讨论,分析影响代用指标变化的主要因素,探究人类活动对古环境代用指标指示意义的影响,取得以下认识。

(1) 结合相关性分析和主成分分析,其他地区表层沉积物 TN、TOC、C/N 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 指标与 MAT、MAP 存在相关性,其中与 MAP 相关性最强, $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 与 MAT 和 MAP 相关性较强,表明表层沉积物对降水的敏感性大于温度。该地区沉积物古环境代用指标用于重建区域古气候时可以用来指示降水,若用来指示温度时,还需仔细鉴别。

(2) 人类活动影响区古环境代用指标波动幅度较大,相关性较其他地区明显减弱,可能因为人类活动加剧,用水量增大,土地利用方式改变,森林植被遭到破坏,造成水土流失、土壤盐渍化等一系列问题,影响了代用指标的变化。因此,在人类活动较强的地区利用表层沉积物重建气候要素时需要考虑该地区人类活动影响强度。

致谢 衷心感谢三位审稿人及编辑部工作人员提出的宝贵意见,使论文能够进一步完善。感谢国家青藏高原科学数据中心提供的数据帮助。

参考文献(References)

- [1] Sun D Y, Tang J H, He Y X, et al. Sources, distributions, and burial efficiency of terrigenous organic matter in surface sediments from the Yellow River mouth, northeast China[J]. *Organic Geochemistry*, 2018, 118: 89-102.
- [2] Li X Z, Liu W G, Xu L M. Carbon isotopes in surface-sediment carbonates of modern Lake Qinghai (Qinghai-Tibet Plateau): Implications for lake evolution in arid areas[J]. *Chemical Geology*, 2012, 300-301: 88-96.
- [3] Wagner B, Melles M, Hahne J, et al. Holocene climate history of Geographical Society Ø, East Greenland-evidence from lake sediments[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 160(1/2): 45-68.
- [4] Krishnamurthy R V, Bhattacharya S K, Kusumgar S. Palaeoclimatic changes deduced from $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and C/N ratios of Karewa lake sediments, India[J]. *Nature*, 1986, 323(6084): 150-152.
- [5] 陈英勇,鹿化煜,张恩楼,等. 浑善达克沙地地表沉积物有机碳同位素组成与植被—气候的关系[J]. *第四纪研究*, 2013, 33(2): 351-359. [Chen Yingyong, Lu Huayu, Zhang Enlou, et al. The relationship between organic carbon isotopic composition of surface sediment and vegetation-climate in Otindag dune field, northern China [J]. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(2): 351-359.]
- [6] Deines P. The isotopic composition of reduced organic carbon [M]//Fritz P, Fontes J. *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1980: 329-406.
- [7] 曹红霞,尚婷,吴海燕,等. 鄂尔多斯盆地东南部马家沟组碳酸盐岩碳氧同位素特征及意义[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2018, 48(4): 578-586. [Cao Hongxia, Shang Ting, Wu Haiyan, et al. Characteristics of carbon and oxygen isotopes of carbonate rocks in Majiagou Formation and their implication, southeastern Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2018, 48(4): 578-586.]
- [8] 王宁,刘卫国,徐黎明,等. 青藏高原现代湖泊沉积物碳酸盐矿物氧同位素组成特征及影响因素[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(4): 591-600. [Wang Ning, Liu Weiguang, Xu Liming, et al. Oxygen isotopic compositions of carbonates of modern surface lacustrine sediments and their affecting factors in Tibet Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(4): 591-600.]
- [9] Contreras S, Werne J P, Araneda A, et al. Organic matter geochemical signatures (TOC, TN, C/N ratio, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of surface sediment from lakes distributed along a climatological gradient on the western side of the southern Andes [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 630: 878-888.
- [10] Blagodatskaya E, Yuyukina T, Blagodatsky S, et al. Turnover of soil organic matter and of microbial biomass under $\text{C}_3\text{-C}_4$ vegetation change: Consideration of ^{13}C fractionation and preferential substrate utilization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(1): 159-166.
- [11] 王国安. 稳定碳同位素在第四纪古环境研究中的应用[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(5): 471-484. [Wang Guo'an. Application of stable carbon isotope for paleoenvironmental research [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(5): 471-484.]
- [12] 饶志国,郭文康,薛骞,等. 黄土高原西部地区黄土地层有机质主要来源分析[J]. *第四纪研究*, 2015, 35(4): 819-827. [Rao Zhiguo, Guo Wenkang, Xue Qian, et al. Assessment on primary provenance of organic matter in loess/paleosol sequences in the western Chinese Loess Plateau: Local biomass or bedrocks in dust source regions? [J]. *Quaternary Sciences*, 2015, 35(4): 819-827.]
- [13] IPCC. 2021: Summary for policymakers [M]//Masson-Delmotte V P, Zhai A, Pirani S L, et al. *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [14] Chen S Q, Liu J B, Wang X, et al. Holocene dust storm variations over northern China: Transition from a natural forcing to an anthropogenic forcing [J]. *Science Bulletin*, 2021, 66(24): 2516-2527.
- [15] Pei W Q, Wan S M, Clift P D, et al. Human impact overwhelms long-term climate control of fire in the Yangtze River Basin since 3.0 ka BP [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2020, 230: 106165.

- [16] Pirmia A, Golshan M, Darabi H, et al. Using the Mann-Kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities [J]. *Journal of Water and Climate Change*, 2019, 10(4): 725-742.
- [17] Garcin Y, Deschamps P, Ménot G, et al. Early anthropogenic impact on western central African rainforests 2,600 y ago [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(13): 3261-3266.
- [18] 杨林海, 周杰, 何忠, 等. 国内全新世环境变化与人类活动关系研究略评 [J]. *盐湖研究*, 2009, 17(2): 63-68. [Yang Linhai, Zhou Jie, He Zhong, et al. Review of research on correlation of Holocene environmental change and human activities in China [J]. *Journal of Salt Lake Research*, 2009, 17(2): 63-68.]
- [19] 姚远, 张恩楼, 沈吉, 等. 云南属都湖流域人类活动的湖泊沉积响应 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(5): 115-120. [Yao Yuan, Zhang Enlou, Shen Ji, et al. Human activities indicated by lacustrine deposition in the region of Shudu Lake [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(5): 115-120.]
- [20] Zhao L, Ma C M, Leipe C, et al. Holocene vegetation dynamics in response to climate change and human activities derived from pollen and charcoal records from southeastern China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, 485: 644-660.
- [21] Li Y Y, Zhou L P, Cui H T. Pollen indicators of human activity [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(9): 1281-1293.
- [22] Tan Z H, Han Y M, Cao J J, et al. The linkages with fires, vegetation composition and human activity in response to climate changes in the Chinese Loess Plateau during the Holocene [J]. *Quaternary International*, 2018, 488: 18-29.
- [23] Klinge M, Lehmkuhl F, Schulte P, et al. Implications of (reworked) aeolian sediments and paleosols for Holocene environmental change in western Mongolia [J]. *Geomorphology*, 2017, 292: 59-71.
- [24] 田立德, 姚檀栋. 青藏高原冰芯高分辨率气候环境记录研究进展 [J]. *科学通报*, 2016, 61(09): 926-937. [Tian Lide, Yao Tandong. High-resolution climatic and environmental records from the Tibetan Plateau ice cores [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(9): 926-937.]
- [25] Yasur G, Ayalon A, Matthews A, et al. Climatic and environmental conditions in the western Galilee, during late Middle and Upper Paleolithic periods, based on speleothems from Manot cave, Israel [J]. *Journal of Human Evolution*, 2021, 160: 102605.
- [26] Koç K, Koşun E, Cheng H, et al. Black carbon traces of human activities in stalagmites from Turkey [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2020, 123: 105255.
- [27] 丁伟, 庞瑞沼, 许清海, 等. 中国东部暖温带低山丘陵区表土花粉对人类活动的指示意义 [J]. *科学通报*, 2011, 56(11): 841-849. [Ding Wei, Pang Ruiming, Xu Qinghai, et al. Surface pollen assemblages as indicators of human impact in the warm temperate hilly areas of eastern China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(11): 841-849.]
- [28] 崔安宁, 马春梅, 朱诚, 等. 长江三峡库区玉溪遗址的环境与人类活动的孢粉记录 [J]. *微体古生物学报*, 2015, 32(2): 161-173. [Cui Anning, Ma Chunmei, Zhu Cheng, et al. Pollen records of the Yuxi culture site in the Three Gorges reservoir area, Yangtze River [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2015, 32(2): 161-173.]
- [29] Dong Y J, Wu N Q, Li F J, et al. Anthropogenic modification of soil communities in northern China for at least two millennia: Evidence from a quantitative mollusk approach [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2020, 248: 106579.
- [30] 郑曼迪. 人类活动对土壤有机质空间格局影响的研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018. [Zheng Mandi. Study on the effect of human activities on the spatial pattern of soil organic matter [D] Urumqi: Xinjiang University, 2018.]
- [31] Schumacher B A. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments [R]. Las Vegas: Ecological Risk Assessment Support Center, 2002: 1-23.
- [32] 赵满兴, 余光美, 白二磊, 等. 陕北黄土高原植被恢复对土壤理化性状的影响 [J]. *中国农学通报*, 2020, 36(25): 86-94. [Zhao Manxing, Yu Guangmei, Bai Erlei, et al. Effects of vegetation restoration on soil physicochemical properties in the Loess Plateau of northern Shaanxi [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(25): 86-94.]
- [33] 施建平, 宋歌. 中国土种数据库—基于第二次土壤普查的全国性土壤数据集 [J]. *中国科学数据*, 2016(2): 1-12. [Shi Jianping, Song Ge. Soil type database of China: A nationwide soil dataset based on the second national soil survey [J]. *China Scientific Data*, 2016(2): 1-12.]
- [34] Meyers P A, Lallier-Vergés E. Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates [J]. *Journal of Paleolimnology*, 1999, 21(3): 345-372.
- [35] Meyers P A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter [J]. *Chemical Geology*, 1994, 114(3/4): 289-302.
- [36] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones [J]. *Nature*, 1982, 298(5870): 156-159.
- [37] Sarma V V S S, Arya J, Subbaiah C V, et al. Stable isotopes of carbon and nitrogen in suspended matter and sediments from the Godavari estuary [J]. *Journal of Oceanography*, 2012, 68(2): 307-319.
- [38] Rostad C E, Leenheer J A, Daniel S R. Organic carbon and nitrogen content associated with colloids and suspended particulates from the Mississippi River and some of its tributaries [J]. *Environmental Science & Technology*, 1997, 31(11): 3218-3225.
- [39] Zamanian K, Pustovoytov K, Kuzyakov Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation processes [J]. *Earth-Science Re-*

- views, 2016, 157: 1-17.
- [40] Lal R, Kimble J M, Stewart B A. Global climate change and pedogenic carbonates [M]. Boca Raton: CRC Press, 1999, 135-141.
- [41] 周笃珺, 马海州, 高东林, 等. 青海湖南岸全新世黄土地球化学特征及气候环境意义[J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 144-148. [Zhou Dujun, Ma Haizhou, Gao Donglin, et al. Geochemical characteristics and climatic environmental significance of Holocene loess on south Qinghai Lake shore [J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(2): 144-148.]
- [42] Li Y, Zhang C Q, Wang N A, et al. Substantial inorganic carbon sink in closed drainage basins globally [J]. Nature Geoscience, 2017, 10(7): 501-506.
- [43] Li Y, Wang Y G, Houghton R A, et al. Hidden carbon sink beneath desert[J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42(14): 5880-5887.
- [44] Liu J B, Feng W, Zhang Y Q, et al. Abiotic CO₂ exchange between soil and atmosphere and its response to temperature[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(5): 2463-2471.
- [45] 王长庭, 王启基, 龙瑞军, 等. 高寒草甸群落植物多样性和初级生产力沿海拔梯度变化的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 240-245. [Wang Changting, Wang Qiji, Long Ruijun, et al. Changes in plant species diversity and productivity along an elevation gradient in an alpine meadow [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2004, 28(2): 240-245.]
- [46] 李英年, 王勤学, 古松, 等. 高寒植被类型及其植物生产力的监测[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 40-48. [Li Yingnian, Wang Qinxue, Gu Song, et al. Integrated monitoring of alpine vegetation types and its primary production [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(1): 40-48.]
- [47] Smith J L, Halvorson J J, Bolton Jr H. Soil properties and microbial activity across a 500m elevation gradient in a semi-arid environment [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(11): 1749-1757.
- [48] Luizão R C C, Luizão F J, Paiva R Q, et al. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest [J]. Global Change Biology, 2004, 10(5): 592-600.
- [49] 车宗玺, 刘贤德, 车宗奇, 等. 祁连山青海云杉林土壤有机质及氮素的空间分布特征[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 164-169. [Che Zongxi, Liu Xiande, Che Zongqi, et al. Spatial distribution characteristics of soil organic matter and nitrogen of *Picea crassifolia* in Qilian Mountains [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(5): 164-169.]
- [50] Wheeler C W, Archer S R, Asner G P, et al. Climatic/edaphic controls on soil carbon/nitrogen response to shrub encroachment in desert grassland [J]. Ecological Applications, 2007, 17(7): 1911-1928.
- [51] Were K, Singh B R, Dick Ø B. Spatially distributed modelling and mapping of soil organic carbon and total nitrogen stocks in the eastern Mau Forest Reserve, Kenya [J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(1): 102-124.
- [52] 田洋洋. 星云湖表层沉积物有机质空间分布特征及其环境指示意义[D]. 昆明: 云南师范大学, 2020. [Tian Yangyang. Spatial distribution characteristics and environmental indications of organic matter in surface sediment of Xingyun Lake [D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2020.]
- [53] 雷学明, 段洪浪, 刘文飞, 等. 鄱阳湖湿地碟形湖泊沿高程梯度土壤养分及化学计量研究[J]. 土壤, 2017, 49(1): 40-48. [Lei Xueming, Duan Honglang, Liu Wenfei, et al. Soil nutrients and stoichiometry along elevation gradients in shallow-lakes of Poyang Lake wetland [J]. Soils, 2017, 49(1): 40-48.]
- [54] 李龙, 姚云峰, 秦富仓, 等. 黄花甸子流域土壤全氮含量空间分布及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1306-1312. [Li Long, Yao Yunfeng, Qin Fucang, et al. Spatial distribution pattern of soil nitrogen in Huanghuadianzi watershed and related affecting factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(5): 1306-1312.]
- [55] 张瑶瑶, 冷若琳, 崔霞, 等. 甘南州高寒草地土壤氮磷空间分布特征[J]. 草业学报, 2018, 27(12): 12-21. [Zhang Yaoyao, Leng Ruolin, Cui Xia, et al. Spatial distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in soil on the Gannan plateau [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(12): 12-21.]
- [56] 吕厚远, 顾兆炎, 吴乃琴, 等. 海拔高度的变化对青藏高原表土 $\delta^{13}C_{org}$ 的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 399-406. [Lü Houyuan, Gu Zhaoyan, Wu Naiqin, et al. Effect of altitude on the organic carbon-isotope composition of modern surface soils from Qinghai-Xizang Plateau [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 399-406.]
- [57] 唐志红, 尉秋实, 刘虎俊, 等. 祁连山东段高寒植被群落特征及其与地形气候因子关系研究[J]. 生态学报, 2020, 40(1): 223-232. [Tang Zhihong, Yu Qiushi, Liu Hujun, et al. Characteristics of alpine vegetation community and its relationship to topographic climate factors in the eastern Qilian Mountain [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 223-232.]
- [58] 綦琳. 青藏高原东缘表土有机碳同位素分布特征及其主控因素研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017. [Qi Lin. Distribution of organic carbon isotope composition for modern soils from the eastern margin of the Tibetan Plateau and its main controlling factors [D]. Beijing: China University of Geoscience (Beijing), 2017.]
- [59] 刘哲, 李奇, 陈懂懂, 等. 青藏高原高寒草甸物种多样性的海拔梯度分布格局及对地上生物量的影响[J]. 生物多样性, 2015, 23(4): 451-462. [Liu Zhe, Li Qi, Chen Dongdong, et al. Patterns of plant species diversity along an altitudinal gradient and its effect on above-ground biomass in alpine meadows in Qinghai-Tibet Plateau [J]. Biodiversity Science, 2015, 23(4): 451-462.]
- [60] Woodward F I, Bazzaz F A. The responses of stomatal density to CO₂ partial pressure [J]. Journal of Experimental Botany,

- 1988, 39(12): 1771-1781.
- [61] 郭文康. 中国季风边缘区、青藏高原和新疆干旱区有机碳同位素现代过程研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016. [Guo Wenkang. Modern-process study on organic carbon isotopes in monsoonal margin, Qinghai-Tibet Plateau and Xinjiang of China [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.]
- [62] 李相博, 陈践发, 张平中, 等. 青藏高原(东北部)现代植物碳同位素组成特征及其气候信息[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 325-329. [Li Xiangbo, Chen Jianfa, Zhang Pingzhong, et al. The characteristics of carbon isotope composition of modern plants over Qinghai-Tibet Plateau (NE) and its climatic information[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 325-329.]
- [63] 饶志国, 朱照宇, 贾国东, 等. 环北太平洋地区现代植被中C₃/C₄植物相对丰度与气候条件关系研究[J]. 科学通报, 2010, 55(12): 1134-1140. [Rao Zhiguo, Zhu Zhaoyu, Jia Guodong, et al. Relationship between climatic conditions and the relative abundance of modern C₃ and C₄ plants in three regions around the North Pacific[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(12): 1134-1140.]
- [64] Wu H B, Guo Z T, Peng C H. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China[J]. Global Change Biology, 2003, 9(3): 305-315.
- [65] 刘媛媛, 马进泽, 卜兆君, 等. 地理来源与生物化学属性对泥炭地植物残体分解的影响[J]. 植物生态学报, 2018, 42(7): 713-722. [Liu Yuanyuan, Ma Jinze, Bu Zhaojun, et al. Effect of geographical sources and biochemical traits on plant litter decomposition in a peatland[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2018, 42(7): 713-722.]
- [66] 魏淑贞, 张伟华. 内蒙古草原经度地带性土壤地球化学特征研究[J]. 地球科学前沿, 2015, 5(3): 160-170. [Wei Shuzhen, Zhang Weihua. Inner Mongolia grassland longitude zonal soil geochemistry [J]. Advances in Geosciences, 2015, 5(3): 160-170.]
- [67] Li Y, Xu L M. Asynchronous Holocene Asian monsoon vapor transport and precipitation [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2016, 461: 195-200.
- [68] 蒋友严, 杜文涛, 黄进, 等. 2000—2015年祁连山植被变化分析[J]. 冰川冻土, 2017, 39(5): 1130-1136. [Jiang Youyan, Du Wentao, Huang Jin, et al. Analysis of vegetation changes in the Qilian Mountains during 2000-2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(5): 1130-1136.]
- [69] 任娇. 祁连山区域人工增雨的适宜条件及影响因素分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2020. [Ren Jiao. Analysis of the suitable conditions and impact factors for precipitation enhancement in Qilian Mountain[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.]
- [70] 汤懋苍. 祁连山区降水的地理分布特征[J]. 地理学报, 1985, 40(4): 323-332. [Tang Maocang. The distribution of precipitation in mountain Qilian (Nanshan)[J]. Acta Geographica Sinica, 1985, 40(4): 323-332.]
- [71] 阳坤, 何杰. 中国区域地面气象要素驱动数据集(1979—2018)[DB]. 国家青藏高原科学数据中心, 2019. [Yang Kun, He Jie. China meteorological forcing dataset (1979-2018) [DB]. National Qinghai-Tibet Plateau Scientific Data Center, 2019.]
- [72] 杨敏, 杨飞, 杨仁敏, 等. 祁连山中段土壤有机碳剖面垂直分布特征及其影响因素[J]. 土壤, 2017, 49(2): 386-392. [Yang Min, Yang Fei, Yang Renmin, et al. Profile vertical distribution modes of SOC and influential factors in Qilian Mountains [J]. Soils, 2017, 49(2): 386-392.]
- [73] 张萌萌, 刘梦云, 常庆瑞, 等. 1985—2015年陕西黄土台塬表层土壤有机碳空间分布[J]. 自然资源学报, 2018, 33(11): 2032-2045. [Zhang Mengmeng, Liu Mengyun, Chang Qingrui, et al. Spatial distribution of organic carbon in topsoil of the loess tableland in Shaanxi province during 1985-2015[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(11): 2032-2045.]
- [74] 杨新宇, 林笠, 李颖, 等. 青藏高原高寒草甸土壤物理性质及碳组分对增温和降水改变的响应[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2017, 53(4): 765-774. [Yang Xinyu, Lin Li, Li Ying, et al. Effects of warming and altered precipitation on soil physical properties and carbon pools in a Tibetan alpine grassland[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2017, 53(4): 765-774.]
- [75] Rui Y C, Wang S P, Xu Z H, et al. Warming and grazing affect soil labile carbon and nitrogen pools differently in an alpine meadow of the Qinghai-Tibet Plateau in China [J]. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(6): 903-914.
- [76] Zhao Y, Wu F L, Fang X M, et al. Altitudinal variations in the bulk organic carbon isotopic composition of topsoil in the Qilian Mountains area, NE Tibetan Plateau, and its environmental significance[J]. Quaternary International, 2017, 454: 45-55.
- [77] 武志杰. 人类生产活动对土壤生态系统的影响[J]. 生态学杂志, 1993, 12(4): 47-51. [Wu Zhijie. Influence of human activity on soil ecosystem[J]. Chinese Journal of Ecology, 1993, 12(4): 47-51.]
- [78] 韦应莉, 曹文侠, 刘玉祯. 不同放牧强度和围封对高寒灌丛草地土壤微生物量的影响[J]. 草原与草坪, 2018, 38(5): 1-7. [Wei Yingli, Cao Wenxia, Liu Yuzhen. Effect of grazing intensity and fencing on soil microbial biomass in alpine shrubland [J]. Grassland and Turf, 2018, 38(5): 1-7.]
- [79] 穆振侠, 任贤月, 俞雪琴, 等. 特定条件下农业灌溉用水对地下水水量与水质的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(3): 112-117. [Mu Zhenxia, Ren Xianyue, Yu Xueqin, et al. Effects of agricultural irrigation on groundwater quantity and quality under specific conditions[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(3): 112-117.]
- [80] Zhu B B, Li Z B, Li P, et al. Soil erodibility, microbial biomass, and physical-chemical property changes during long-term natural vegetation restoration: A case study in the Loess Plateau, China [J]. Ecological Research, 2010, 25(3): 531-541.

- [81] 王增丽. 秸秆不同处理还田方式对土壤理化特性和作物生长效应的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012. [Wang Zengli. Effects of different straw incorporation manners on soil physical and chemical properties and crop growth [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012.]
- [82] 李东坡,武志杰,陈利军. 有机农业施肥方式对土壤微生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(2):99-101. [Li Dongpo, Wu Zhijie, Chen Lijun. Influence of fertilizing modes of organic agriculture on the soil microbial activities[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(2): 99-101.]
- [83] 赵晓波. 河姆渡周边遗址原始稻作农业的研究[J]. 农业考古,1998(1):131-137. [Zhao Xiaobo. Research on primitive rice farming at the site around Hemudu[J]. Agricultural Archaeology, 1998(1): 131-137.]
- [84] Awe J J. Maya cities and sacred caves: A guide to the Maya sites of Belize[M]. Cubola, 2006.
- [85] Wang X, Xiao J L, Cui L L, et al. Holocene changes in fire frequency in the Daihai Lake region (north-central China): Indications and implications for an important role of human activity [J]. Quaternary Science Reviews, 2013, 59: 18-29.
- [86] 何翔宇,吴克宁,查理思,等. 古人类活动对土壤理化性质的影响:以河南仰韶村文化遗址为例[J]. 土壤,2017,49(5):1038-1048. [He Xiangyu, Wu Kening, Zha Lisi, et al. Indicative characteristics of soil in ancient human cultural sites: A case study of Yangshao village cultural relic site, Henan province [J]. Soils, 2017, 49(5): 1038-1048.]
- [87] Dotterweich M. The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation: A global synopsis [J]. Geomorphology, 2013, 201: 1-34.
- [88] 谭其骧. 何以黄河在东汉以后会出现一个长期安流的局面:从历史上论证黄河中游的土地合理利用是消弭下游水害的决定性因素[J]. 学术月刊,1962(2):23-35. [Tan Qixiang. Why does the Yellow River have a long-term stable state after the eastern Han Dynasty [J]. Academic Monthly, 1962(2): 23-35.]
- [89] 桑广书. 黄土高原历史时期地貌与土壤侵蚀演变研究[D]. 西安:陕西师范大学,2003. [Sang Guangshu. The evolutionary process of the landform and soil erosion during historical period in Loess Plateau [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2003.]
- [90] 葛全胜,方修琦,张雪芹,等. 20世纪下半叶中国地理环境的巨大变化:关于全球环境变化区域研究的思考[J]. 地理研究,2005,24(3):345-358. [Ge Quansheng, Fang Xiuqi, Zhang Xueqin, et al. Remarkable environmental changes in China during the past 50 years: A case study on regional research of global environmental change [J]. Geographical Research, 2005, 24(3): 345-358.]
- [91] 周涛,史培军,王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳储量的影响[J]. 地理学报,2003,58(5):727-734. [Zhou Tao, Shi Peijun, Wang Shaoqiang. Impacts of climate change and human activities on soil carbon storage in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 727-734.]
- [92] 秦景秀,郝兴明,张颖,等. 气候变化和人类活动对干旱区植被生产力的影响[J]. 干旱区地理,2020,43(1):117-125. [Qin Jingxiu, Hao Xingming, Zhang Ying, et al. Effects of climate change and human activities on vegetation productivity in arid areas [J]. Arid Land Geography, 2020, 43(1): 117-125.]
- [93] 李并成. 河西走廊历史时期沙漠化研究[M]. 北京:科学出版社,2003. [Li Bingcheng. Research on desertification in the historical period of Hexi Corridor [M]. Beijing: Science Press, 2003.]
- [94] 陈京华,贾文雄,赵珍,等. 1982—2006年祁连山植被覆盖的时空变化特征研究[J]. 地球科学进展,2015,30(7):834-845. [Chen Jinghua, Jia Wenxiong, Zhao Zhen, et al. Research on temporal and spatial variation characteristics of vegetation cover of Qilian Mountains from 1982 to 2006 [J]. Advances in Earth Science, 2015, 30(7): 834-845.]
- [95] 龚雪蛟,秦琳,刘飞,等. 有机类肥料对土壤养分含量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(4):1403-1416. [Gong Xuejiao, Qin Lin, Liu Fei, et al. Effects of organic manure on soil nutrient content: A review [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(4): 1403-1416.]
- [96] Zhao Y, Feng Q, Yang H D. Soil salinity distribution and its relationship with soil particle size in the lower reaches of Heihe River, northwestern China [J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(9): 810.

Effects of Human Activities on Surface Sediments in the Endorheic Zone Around the Qilian Mountain

GAO MingJun, LI Yu, ZHANG ZhanSen, ZHOU XueRu, LI HaiYe, DUAN JunJie, XUE YaXin

College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: [Objective] Surface sediment proxies indicate modern environmental elements and thus infer paleoenvironmental evolution, but few assessment have been reported on the effect of intensive human activity on sediments, and whether this affects the indication of the climate of the area by surface sediment proxies. [Methods] In this study, 456 surface sediments from the Qilian Mountains and surrounding areas were collected and proxies such as total organic nitrogen (TN), total organic carbon (TOC), carbon to nitrogen ratio (C/N), organic carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$), carbonate carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) and oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) were analyzed. Relationships between proxies and elevation, latitude, longitude, temperature and precipitation were examined, and the influence of modern human activity on the paleoenvironmental proxies of surface sediments was explored. [Results and Conclusions] It was found that these proxies in the anthropogenic zone fluctuate significantly in this region and the correlation is significantly less than in other areas. This suggests that the influence of human activity has changed the indicative meaning of paleoenvironmental proxies. Systematic analysis and calculation of the relationship between surface sediments and environmental elements explored the influence of human activities on surface sediments, and clarified the use of proxies as modern environmental indicators. This provides a theoretical basis for the use of paleoenvironmental proxies in sedimentary strata to infer past climatic conditions and to analyze human activities.

Key words: Qilian Mountains; endorheic zone; surface sediments; human activity-affected area