

# 碱式水解法提取红土分子化石： 以安徽宣城更新世网纹红土为例

李雪艳<sup>1</sup>, 顾延生<sup>1,2\*</sup>, 黄咸雨<sup>1</sup>, 邱艳<sup>1</sup>, 谢树成<sup>1</sup>, 黄俊华<sup>1</sup>

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生态环境研究所, 湖北武汉 430074

**摘要:** 红土中种类丰富的分子化石为红土古生态研究提供了直接证据, 但较低含量的分子化石限制了传统索氏抽提方法的推广应用. 本次研究尝试性地运用碱式水解法提取安徽宣城更新世红土中的分子化石, 在 25 g 样品中检测到了含量明显、种类丰富的有机物, 且该方法可以显著地降低空白污染. 这说明碱式水解法在分子化石含量低的地质体(如红土)研究中具有一定的应用潜力. 本次研究检测出除了传统索氏抽提得到的正构烷烃、脂肪酸、脂肪醇等以外, 还提取到了二元羧酸这一重要化合物, 它的存在为网纹红土可能形成于多水环境提供了新的证据. 测试样品中各类分子化石组合信息显示红土有机物以微生物为主的来源特征, 表明网纹红土形成过程受到了微生物活动的影响, 同时伴有大量低等菌、藻来源有机质的输入, 初步结果为红土形成环境研究提供了新的证据.

**关键词:** 更新世; 网纹红土; 碱式水解; 分子化石; 类脂物; 分子生物学.

中图分类号: P931.2; P343.1

文章编号: 1000-2383(2009)04-0623-06

收稿日期: 2008-08-26

## An Optimized Alkaline Hydrolysis Method to Extract Lipid Biomarkers from Pleistocene Vermicular Red Paleosols: An Example from Xuancheng, Anhui Province

LI Xue-yan<sup>1</sup>, GU Yan-sheng<sup>1,2\*</sup>, HUANG Xian-yu<sup>1</sup>, QIU Yan<sup>1</sup>, XIE Shu-cheng<sup>1</sup>, HUANG Jun-hua<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Geobiology and Environmental Geology of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Institute of Ecology and Environment, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Variety of molecular fossils in red paleosols can provide direct evidence for paleoecological origin of red paleosols, but the popularization and application of the traditional Soxhlet extraction are limited by low content of molecular fossils in vermicular red paleosols. The alkaline hydrolytic method is tentatively employed to extract lipids from Pleistocene vermicular red paleosols in Xuancheng, Anhui Province. Relatively high content and variety of organics have been detected in two samples with weight of 25 g, respectively. The effect of pollution reducing is also obvious in contrast to Soxhlet extraction, which will be potential for the research on some geological sediment with low content of organic matter (such as red paleosols). A new kind of lipid biomarker named as dicarboxyl acids is firstly found in red paleosols due to alkaline hydrolytic method. In addition, other compounds extracted by traditional Soxhlet extraction such as n-alkanes, fatty acids, n-alkanols are also detected. The occurrence of dicarboxyl acids has put new insight into understanding that red paleosols is possibly developed under excessively humid condition. Distribution pattern of molecular fossils in testing samples demonstrates that the organics of red paleosols mainly originate from microbe and shows that the formation of red paleosols is affected by microbial activities with lots of organic matter from lower bacteria and algae. The results of our preliminary studying have provided new evidence for the research on the formation environment of red paleosols.

**Key words:** Pleistocene; vermicular red paleosols; alkaline hydrolysis; molecular fossils; lipids; molecular biology.

网纹红土作为第四纪重要的沉积物,在恢复我国南方古环境、古气候方面日益受到人们的重视.随着全球变化研究的深入开展,有关红土的成因、发育期次、形成时代、磁性等研究成果丰富(赵其国和杨浩,1995;朱照宇等,1995;顾延生等,2002),但由于红土中生物信息相对缺乏,早期发现的生物证据仅有为数不多的孢粉、旧石器、植硅体等(顾延生等,1997;李长安和顾延生,1997;王伟铭等,1997),这极大地阻碍了红土地层系统的研究.随着分子地层学的研究深入(Brassell *et al.*, 1986; Meyers and Benson, 1988; Xie *et al.*, 2003; 谢树成等, 2007),有机分子化合物被成功地引入到红土地层的研究中来,前人利用传统索氏抽提方法对我国南方不同红土剖面的分子化石分别进行了研究,检测到了种类丰富、含量甚微的分子化石,如正构烷烃、脂肪酸、脂肪醇等,特别是相对较为稳定的正构烷烃的特征在揭示红土形成时的植被类型、气候、环境特征等方面提供了重要信息(王志远等, 2002; Xie *et al.*, 2003; 梁斌等, 2005).

本次研究发现红土中分子化石含量极低,尽管传统抽提方法有其鲜明的特点,但在提取红土分子化石的应用中受到了极大限制.传统经典的索氏抽提方法,不仅需要抽提的样品量大,还需进行多次重复操作,同时涉及到可造成环境污染的大量有机溶剂;而且由于被测物质的浓度越来越低,稳定性随时空变化等因素给分析检测带来了一定难度.

鉴于此,为更有效地提取红土分子化石,本文尝试性地采用碱式水解法,对安徽宣城更新世网纹红土进行条件实验.在25 g样品中检测到了含量明显、种类丰富的有机物,尤其重要的是得到了以往研究所未提取到的二元羧酸,为进一步研究网纹红土形成时的古环境、古气候和古生态提供了新的资料.本文着重介绍碱式水解操作方法及该方法检测到的各类分子化石,并对该方法的重要意义进行阐述.

## 1 研究区的地貌和样品采集

研究区位于安徽宣城向阳村陈山红土剖面,该区地处长江下游水阳江南岸,位于二级阶地之上,属亚热带季风湿润气候,年均降水量是1 143.2~1 503.4 mm,年均气温是15.4~15.9 °C.剖面顶部海拔41 m,厚度约11 m.根据岩性和结构,自上而下可分为下蜀黄土层、网纹红土层、粉砂层和砾石层

(乔彦松等, 2003; 梁斌等, 2005).

样品采自2006年8月,由于样品质量对分析测试结果有较大的影响,为避免上部土壤受现代植物影响,故从地表深处40 cm进行采样,每个样品间距10 cm,室内风干后,粉碎至0.154 mm(100目).

本次研究选取两块红土样品,一块位于剖面顶部,深度为0.4~0.5 m,编号为xcfz-1,其岩性特征为棕红—棕黄色亚砂土、块状结构,土体表面见黑色铁锰膜;另一块位于剖面底部,深度为10~10.1 m,编号为xcfz-2,岩性为棕黄色粘土质粉砂层,发育灰白色树枝状网纹,网纹含量约40%~50%,网纹长>5 cm,宽2~3 cm.

## 2 分析方法

### 2.1 有机类脂物的提取

称取样品25 g,加入1 mol·L<sup>-1</sup>氢氧化钾(KOH)甲醇溶液,在80 °C水浴锅中加热4 h,冷却后过滤,用二氯甲烷(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)洗涤残渣,合并液相,以二氯甲烷(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)萃取中性有机类脂质(重复4次);用盐酸将剩余水相调至pH为1,再用二氯甲烷(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)萃取,得到酸性有机类脂质;然后将两部分分别进行减压旋转蒸发浓缩.酸性组分先进行甲酯化,然后同中性组分一起进行BSTFA硅烷化后,直接进行GC-MS分析.

需要特别指出,红土地层中有机质的含量相对较少,故在整个实验过程中防止人为污染是至关重要的.所用试剂均采用进口试剂,玻璃仪器均需在500 °C的马弗炉中烧12 h左右,使用前再用纯化的试剂淋洗数次.空白样品与红土样品同时进行.

### 2.2 GC-MS分析

气相色谱—质谱分析采用HP6890型气相色谱与HP5973型质谱联用仪.色谱条件:HP-5MS石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),始温70 °C,升温速率4 °C/min,终温300 °C,终温恒温20 min,进样口温度300 °C,进样量1 μL,载气为氦气.质谱条件:电子轰击源,电离能量70 eV,GC与MS接口温度280 °C.

## 3 结果与讨论

利用碱式水解法进行实验操作,在空白样品的结果分析中,没有检测出本文所讨论的各类有机物,

故实验数据相对可靠, 本实验结果主要从中性类脂物和酸性类脂物两方面讨论.

### 3.1 中性类脂物

在中性条件下检测出了低碳数的正构烷烃和一元正脂肪醇. 其正构烷烃的碳数分布范围为  $C_{15}-C_{25}$ , 以  $C_{17}$  为主峰(图 1a). 在 xcfz-1 样品中,  $C_{20}-C_{25}$  之间的有机物含量明显高于 xcfz-2 样品(图 2). 正构烷烃广泛分布于各种植物和其他生物体中, 由于来源不同, 通常具有不同的主峰碳数、分布类型及碳数范围. 来源于藻类、菌类等低等生物的

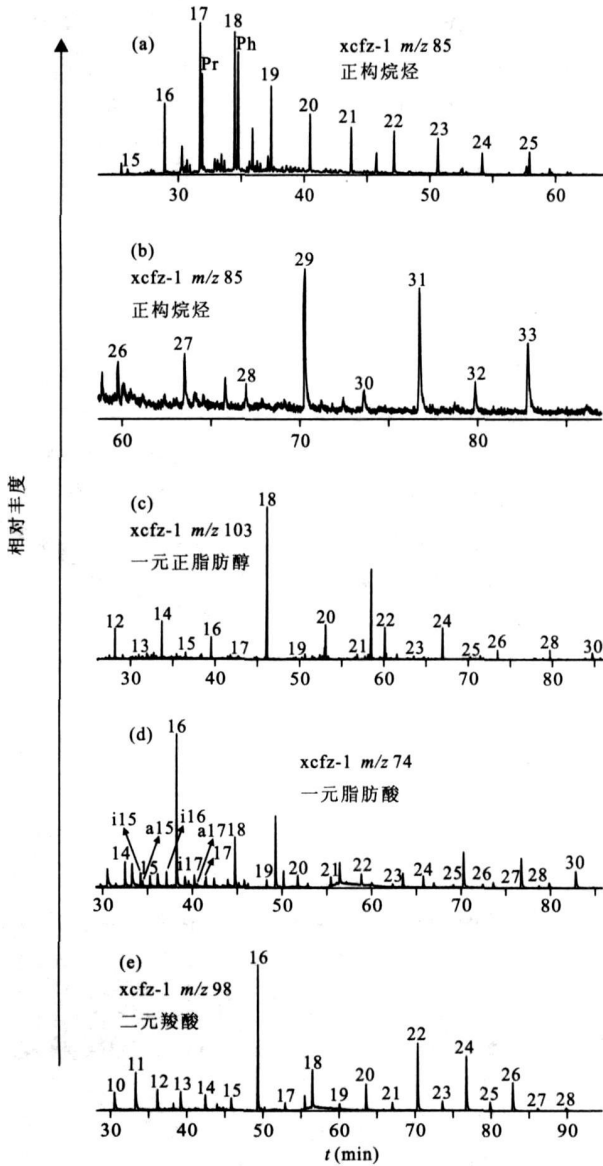


图 1 安徽宣城红土剖面顶部 xcfz-1 分子化石的 GC/MS 质量色谱

Fig. 1 GC/MS mass chromatograms of molecular fossils from sample xcfz-1 at the top of red paleosols profile in Xuancheng, Anhui

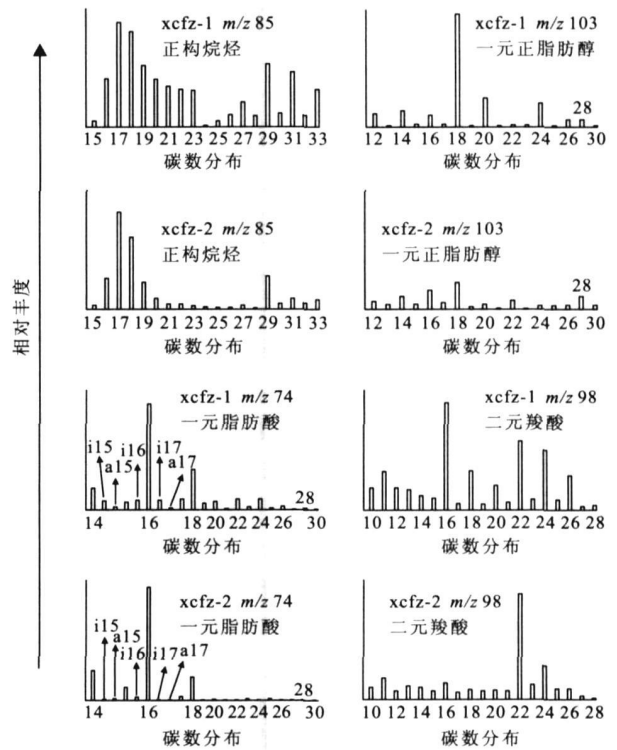


图 2 红土剖面中不同深度分子化石的分布模式

Fig. 2 Distribution pattern of molecular fossils in different depth of red paleosols profile

正构烷烃碳链较短 ( $C_{13}-C_{21}$ ), 通常以  $C_{17}$ 、 $C_{18}$  或  $C_{19}$  为主的单峰型分布, 缺少高碳数 ( $> C_{25}$ ) 的正构烷烃, 无明显的奇偶优势 (Wakeham, 1990). 这说明了低碳数正构烷烃主要来源于藻类、菌类等低等生物.

一元正脂肪醇的碳数分布范围为  $C_{12}-C_{30}$ , 具有明显的奇偶优势(图 1c). 在 xcfz-1 样品中主要呈单峰型, 以  $C_{18}$  为主峰分布, 缺少高碳数的  $C_{28}$  主峰; 在 xcfz-2 样品中则以  $C_{18}$  和  $C_{28}$  的双峰分布, 但各碳数的含量均明显低于 xcfz-1 样品(图 2). 这种差异可能来自不同的年代、不同的沉积环境引起的生物源的差异. xcfz-2 样品中一元正脂肪醇的分布特征体现了明显的混合来源, 既有来自低等菌藻类, 又有源于高等植物的蜡(王志远等, 2002; Xie *et al.*, 2003). 从一元正脂肪醇在本次实验样品中的整体分布形式看, 体现了微生物源的重要贡献.

### 3.2 酸性类脂物

研究表明, 在酸性条件下检测出了高碳数的正构烷烃以及种类丰富的一元脂肪酸和二元羧酸. 高碳数正构烷烃的分布范围为  $C_{26}-C_{33}$ , 以  $C_{29}$  为主峰, 且具有明显的奇偶优势(图 1b). 值得注意的是, 高碳数的总体含量明显低于中性条件下的低碳数, 这

种现象在两块样品中均有体现,在  $x_{cfz-2}$  样品中表现更为突出(图 2)。陆生高等植物来源的正构烷烃碳链较长( $C_{23}-C_{35}$ ),通常以  $C_{27}$ 、 $C_{29}$  或  $C_{31}$  为主峰的单峰型特征,具有显著的奇偶优势(Huang *et al.*, 1999)。结合中性条件下检测出的低碳数正构烷烃,说明红土样品中正构烷烃为混合来源,其中以  $C_{17}$  为主峰的低碳数正构烷烃来源于藻类、菌类等低等生物,具有明显奇偶优势的高碳数正构烷烃来源于高等植物,但菌、藻类等低等生物对红土有机质输入的绝对优势不容忽视。

一元脂肪酸的碳数分布范围为  $nC_{14}-nC_{30}$ , 偶碳数脂肪酸含量占绝对优势,以  $nC_{16}$  含量最高,其次是  $nC_{18}$  和  $nC_{14}$ (图 1d)。高碳数部分以  $nC_{22}$  或  $nC_{30}$  含量较高,在  $x_{cfz-1}$  样品中可明显看出;而在  $x_{cfz-2}$  样品中高碳数部分的含量普遍很低,也无明显的偶碳优势(图 2)。脂肪酸呈现为单峰型分布,低碳数化合物( $\leq C_{20}$ )含量远高于高碳数部分( $> C_{20}$ ),低碳数饱和直链脂肪酸表现出明显的偶碳优势(黄咸雨等, 2007)。 $nC_{16}$ 、 $nC_{18}$  和  $nC_{14}$  等低碳数化合物广泛分布于高等植物蜡、微藻和细菌中(Zegouagh *et al.*, 1996)。然而,含量丰富的  $nC_{14} \sim nC_{20}$  偶碳数脂肪酸可以作为原地生长微藻有机质大量输入的标志(Johns *et al.*, 1994)。

除此之外,在红土样品中还检测出一些奇碳数脂肪酸( $C_{15}-C_{27}$ ),包括奇数直链饱和脂肪酸和支链脂肪酸(主要是  $nC_{15}-nC_{17}$ , 包括异构和反异构)。其中支链脂肪酸主要有  $iC_{15}$ 、 $aC_{15}$  和  $iC_{17}$  和  $aC_{17}$  被认为是细菌的特征标志物(Zou *et al.*, 2006)。宣城更新世网纹红土中,虽然支链饱和脂肪酸含量不高,但这些奇碳数脂肪酸的出现仍反映出红土形成过程接受了细菌来源有机质的输入。一元脂肪酸的碳数分布表明红土样品中有机质的输入主要来自于微生物(图 2)。

本次实验获得的酸性类脂物二元羧酸的碳数分布范围较广( $C_{10}-C_{28}$ ),在  $x_{cfz-1}$  中,剖面中存在单峰和双峰两种分布模式,以  $C_{16}$  为主峰,  $C_{22}$ 、 $C_{24}$  和  $C_{26}$  为次主峰,高碳数化合物( $> C_{20}$ )具有明显的偶碳优势(图 1e);在  $x_{cfz-2}$  中,以  $C_{22}$  为主峰,缺失  $C_{16}$  主峰(图 2)。有报道显示二元羧酸可能来源于泥炭高等植物,它们在泥炭植物中以聚合物酯的形式存在(Lehtonen and Ketola, 1993),二元羧酸常发现于海相和湖相沉积物中(Matsumoto and Nagashima, 1984; 张干等, 1999),然而 Eglinton *et al.* (1968) 则把二元羧酸归因于细菌等微生物氧化一元脂肪酸

而形成。从  $x_{cfz-1}$  样品中低碳数化合物( $\leq C_{20}$ )的二元羧酸分布型式看与一元脂肪酸基本吻合,而  $x_{cfz-2}$  中二元羧酸的分布型式与一元脂肪酸完全不同(图 2),可能与红土化过程的水洗作用有关。红土被认为是在湿热气候条件下形成的。在暖湿期、降水量大的时期,水洗作用强烈(Xie *et al.*, 2003),水洗的结果为首先淋滤掉低分子量的分子化石,由于此剖面底部长期处于水洗状态,致使  $x_{cfz-2}$  样品中缺失  $C_{16}$  主峰。因此,二元羧酸的存在在一定程度上可能由于细菌等微生物氧化一元脂肪酸,同时伴有强烈水洗作用的影响。但在本次测试的样品中二元羧酸的偶奇优势要小于一元脂肪酸,说明二元羧酸更不稳定,遭受微生物后期改造可能性更大。尽管二元羧酸在红土剖面中的成因还有待更进一步的研究,但有意义的是利用碱式水解法首次提取到二元羧酸,这为认识网纹红土形成环境提供了新的证据。

## 4 结论

与传统方法相比,索氏抽提法需用样品量 150 ~ 200 g,而碱式水解法仅需 25 g,大大减少了采样、碎样工作量;节约了有机溶剂,降低了测试成本,减少了环境污染;此外,仅需 4 h 的加热过程,与传统方法 72 h 的抽提时间形成鲜明的对比,缩短了整个实验的流程,提高了实验效率。

应用碱式水解法,在安徽宣城更新世红土中检测出种类丰富的分子化石,不仅得到了传统抽提方法提取到的正构烷烃( $C_{16}-C_{30}$ )、一元脂肪醇( $C_{12}-C_{30}$ )和一元脂肪酸( $nC_{14}-nC_{30}$ ),还提取到了传统方法未能得到的二元羧酸( $C_{10}-C_{28}$ ),这是红土分子化石研究中首次检测到的有机物。本次实验样品中得到的各类分子化石均显示出以微生物为主的来源特征,这说明碱式水解法在分子化石含量低的地质体研究中具有广泛的应用潜力。

## References

- Brassell, S. C., Eglinton, G., Marlowe, I. T., et al., 1986. Molecular stratigraphy: A new tool for climatic assessment. *Nature*, 320 (6058): 129-133.
- Eglinton, G., Hunneman, D. H., Douraghi-Zadeh, K., 1968. Gas chromatographic-mass spectrometric studies of long chain hydroxy acids. II: The hydroxy acids and fatty acids of a 5000-year-old lacustrine sediment. *Tetrahedron Letters*, 24: 5929-5941.

- Gu, Y. S., Li, C. A., Zhang, Z. J., 1997. Application of phytolith analysis in study of vermicular red earth in South China. *Geological Science and Technology Information*, 16(4): 55—58 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y. S., Xiao, C. E., Zhang, Z. J., et al., 2002. Research advance of red earth in South China. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, (1): 69—75 (in Chinese with English abstract).
- Huang, X. Y., Pu, Y., Cui, J. W., et al., 2007. Distributions of fatty acids in the drip water at He Shang cave Hubei Province and their ecological implications. *Quaternary Sciences*, 27(3): 401—407 (in Chinese with English abstract).
- Huang, Y. S., Street-Perrott, F. A., Perrott, F. A., et al., 1999. Glacial-interglacial environmental changes inferred from the molecular and compound-specific  $\delta^{13}\text{C}$  analyses of sediments from Sacred Lake, Mt. Kenya. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(9): 1383—1404.
- Johns, R. B., Brady, B. A., Butler, M. S., et al., 1994. Organic geochemical and geochemical studies of Inner Great Barrier Reef sediments—IV: Identification of terrigenous and marine sourced inputs. *Organic Geochemistry*, 21(10—11): 1027—1035.
- Lehtonen, K., Ketola, M., 1993. Solvent-extractable lipids of Sphagnum, Carex, Bryales and Carex Bryales peats: Content and compositional features vs. peat humification. *Organic Geochemistry*, 20(3): 363—380.
- Li, C. A., Gu, Y. S., 1997. A preliminary study on phytolith assemblages and its paleoenvironmental indication of the vermicular red earth. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(2): 195—198 (in Chinese with English abstract).
- Liang, B., Xie, S. C., Gu, Y. S., et al., 2005. Distribution of n-Alkanes as of indicative of paleovegetation change in Pleistocene red earth in Xuancheng, Anhui. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(2): 129—132 (in Chinese with English abstract).
- Matsumoto, G. I., Nagashima, H., 1984. Occurrence of 3-hydroxy acids in microalgae and cyanobacteria and their geochemical significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(8): 1683—1687.
- Meyers, P. A., Benson, L. V., 1988. Sedimentary biomarker and isotopic indicators of the paleoclimatic history of the Walker Lake basin, western Nevada. *Organic Geochemistry*, 13(4—6): 807—813.
- Qiao, Y. S., Guo, Z. T., Hao, Q. Z., et al., 2003. Study on magnetostratigraph of aeolian products soil sequence and its implication of paleoenvironment in the southern Anhui Province. *Chinese Science Bulletin*, 48(13): 1465—1469 (in Chinese).
- Wakeham, S. G., 1990. Algal and bacterial hydrocarbons in particulate matter and interfacial sediment of the Cariaco trench. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(5): 1325—1336.
- Wang, W. M., Yu, Z. Y., Yang, H., et al., 1997. A study on phytoliths and palynomorphs of Quaternary red earth in Xingzi County, Jiangxi Province and its significance. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 14(1): 41—48 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. Y., Yu, J. X., Gu, Y. S., et al., 2002. Molecular fossils as indicators for paleoenvironment from Quaternary red earth in Changxing, Zhejiang. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 22(1): 97—102 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S. C., Lai, X. L., Huang, X. Y., et al., 2007. Principles, methodology and application of molecular stratigraphy. *Journal of Stratigraphy*, 31(3): 209—221 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S. C., Yi, Y., Liu, Y. Y., et al., 2003. The Pleistocene vermicular red earth in South China signaling the global climatic change: The molecular fossil record. *Science in China (Series D)*, 33(5): 411—417.
- Zegouagh, Y., Derenne, S., Largeau, C., et al., 1996. Organic matter sources and early diagenetic alternations in Arctic surface sediments (Lena River delta and Laptev Sea, eastern Siberia)—I. A analysis of the carboxylic acids released via sequential treatments. *Organic Geochemistry*, 24(8—9): 841—857.
- Zhang, G., Sheng, G. Y., Fu, J. M., 1999. Occurrence and distribution of hydroxy acids and  $\omega$ -dicarboxyl acids in core sediments from Guchenghu Lake, eastern China and their geochemical significance. *Geochemica*, 28(2): 183—190 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Q. G., Yang, H., 1995. A preliminary study on red earth and changes of Quaternary environment in South China. *Quaternary Sciences*, (2): 107—116 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. Y., Wang, J. D., Huang, B. L., et al., 1995. Red soil, loess and global change. *Quaternary Sciences*, (3): 267—277 (in Chinese with English abstract).
- Zou, L., Sun, M. Y., Guo, L. D., 2006. Temporal variations of organic carbon inputs into the upper Yukon River. Evidence from fatty acids and their stable carbon isotopic compositions in dissolved, colloidal and particulate phases. *Organic Geochemistry*, 37(8): 944—956.

附中文参考文献

顾延生,李长安,章泽军,1997.植硅石分析在第四纪环境研究中的应用.地质科技情报,16(4):55-58.

顾延生,肖春娥,章泽军,等,2002.中国南方红土的研究进展.华东师范大学学报(自然科学版),(1):69-75.

黄咸雨,蒲阳,崔景伟,等,2007.湖北清江和尚洞洞穴滴水脂肪酸分布特征及其古生态意义.第四纪研究,27(3):401-407.

李长安,顾延生,1997.网纹红土中的植硅石组合及其环境意义的初步研究.地球科学——中国地质大学学报,22(2):195-198.

梁斌,谢树成,顾延生,等,2005.安徽宣城更新世红土正构烷烃分布特征及其古植被意义.地球科学——中国地质大学学报,30(2):129-132.

乔彦松,郭正堂,郝青振,等,2003.皖南风尘堆积—土壤序列的磁性地层学研究及其古环境意义.科学通报,48

(13):1465-1469.

王伟铭,虞子冶,杨浩,1997.江西星子县第四纪红土层的植硅石和孢粉研究及意义.微体古生物学报,14(1):41-48.

王志远,喻建华,顾延生,等,2002.浙江长兴更新世红土中的分子化石及其古环境意义.海洋地质与第四纪地质,22(1):97-102.

谢树成,赖旭龙,黄咸雨,等,2007.分子地层学的原理、方法及应用实例.地层学杂志,31(3):209-221.

张干,盛国英,傅家漠,1999.固城湖沉积物中羟基酸和 $\Omega$ -二元酸的组成分布及其地球化学意义.地球化学,28(2):183-190.

赵其国,杨浩,1995.中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究.第四纪研究,(2):107-116.

朱照宇,王俊达,黄宝林,等,1995.红土。黄土。全球变化.第四纪研究,(3):267-277.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》 2009年 第34卷 第5期 要目预告

牙形石微量元素对生物绝灭事件的响应:以二叠—三叠系全球层型剖面第一幕绝灭事件为例……	赵来时等
泰国北部难河构造带二叠纪放射虫、硅质岩和玄武岩……	杨文强等
南堡凹陷老爷庙地区构造—沉积分析 ……	张翠梅等
准噶尔盆地腹部超压顶面附近深层砂岩碳酸盐胶结溶蚀作用 ……	杨智等
范数联合约束稀疏脉冲反演的应用 ……	王宇等
珠江口盆地白云凹陷底辟构造类型及其成因 ……	石万忠等
松辽盆地庆深气田天然气成因类型鉴别 ……	杨春等
可容纳空间转换系统的定量模拟及新认识 ……	朱红涛等
天然地下水环境四氯乙烯的强化生物降解 ……	李焯等