

文章编号:1000-694X(2004)06-0685-04

洛川黄土剖面中矿物固定态铵的分布

饶文波^{1,2}, 李晓彪¹, 高振敏¹, 罗泰义¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 对洛川黄土中的固定铵进行了初步分析。结果表明, 在所测定的黄土-古土壤层中, 固定铵态氮含量在 130~210 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间变化。黄土中的固定铵态氮含量明显低于古土壤。13 万 a 以来洛川黄土剖面中固定铵的分布呈现三次大的低-高值的振荡特征, 即末次间冰期 S_0 古土壤中固定铵态氮含量最高, 其次为冰后期的 S_0 古土壤层, 末次冰期形成的马兰黄土中固定铵态氮含量最低; 在马兰黄土中同样体现出三次小的低-高值的波动特征。黄土与互层的古土壤中固定铵的分布与黄土高原区气候的冷暖变化有较好的一致性, 并且 13 万 a 以来洛川黄土剖面中固定铵的分布与磁化率和 $<2 \mu\text{m}$ 组分的分布具有相似性, 这些特征反映了洛川黄土中固定铵态氮的含量变化与气候条件有紧密的联系, 揭示了黄土中固定铵的变化在一定程度上能指示黄土高原区古气候的演变。

关键词: 洛川黄土; 固定铵; 古气候

中图分类号: P532 **文献标识码:** A

中国北方的黄土-古土壤序列是重建古气候古环境理想的信息库, 它完整地记录了 2.4 Ma BP 以来的古气候信息。黄土是在相对干冷的气候条件下堆积形成的, 与东亚冬季风密切联系; 古土壤在相对暖湿的气候条件下发育, 与夏季风变化有关。到目前为止, 第四纪科研工作者通过各种方法和手段已获得了许多有关古气候变化信息的指标, 例如, 磁化率^[1], 粉尘粒度^[2], 同位素^[3], 元素地球化学^[4,5], 等。总体上, 这些指标指示了自早更新世以来, 黄土高原上的气候由暖湿逐渐向干冷方向变化, 并呈现多次冰期-间冰期循环的特点。

固定铵的分析在地质学、环境学和农学等领域都有成功的运用。在农学领域里, 固定铵的释放和固定机理的研究为解决土壤肥力提供理论依据^[6,7]; 在环境学方面, 特别是在海洋、湖泊氮的富营养化和环境治理方面, 固定铵已成为专家学者们日趋关注的问题^[8]; 在地学领域里, 固定铵的分析在解决岩石成因和类型的判断^[9], 矿床成因及物质来源^[10]的确定等方面具有一定的示踪作用。

黄土中氮的古循环研究十分缺乏。氮是植物生长的三大营养元素之一, 也是与全球气候变化联系最紧密的元素之一。固定铵态氮作为土壤氮素的重要组成部分, 在氮循环过程中起着不可忽视的作用, 其在土壤中的含量分布与生物气候条件有着密切的关系^[11]。基于此, 本文着重研究黄土中矿物固定铵态

氮的含量特征, 初步分析固定铵的古气候意义, 为深入研究东亚古气候演变提供新的资料。

1 材料与方法

样品采自陕西省洛川县坡头村黄土-古土壤剖面(35°45'N, 109°25'E)。在 S_0 、 L_1 层段及 L_1 向 S_1 过渡处, 每 10 cm 一个样品, 在 S_1 层段每 30 cm 一个样品, 从上到下连续取样, 每个样在野外用四分法挑取所需数量, 共 95 个样品。另外, 分别采集了从 L_1 到 S_7 各层位中的大块样品, 每个层位采集 3 个, 避免黄土与古土壤混染, 共 52 个样品。将样品风干, 混均, 磨细, 过 100 目筛, 保存。

固定铵态氮含量的测定采用 Silva-Bremner 法^[12]。取一个样品, 分 1 g、2 g 两种情况, 各测 10 次, 所测结果如表 1。从表 1 可知, 20 mL 的 HF-HCl 溶液能完全破坏掉 1 g 黄土古土壤样品, 而不能完全破坏 2 g 的样品。样品量少(0.5 g)的话, 样品能被完全破坏, 但是可能会带来大的误差。另外, 试剂量变大, 给蒸馏带来很大的不便; 试剂量变小, 也可能不完全破坏样品。因此, 本实验选取样品量为 1 g, 试剂不变的方案。磁化率的测定在北京大学城市与环境学系 BaringtonMS2 磁化率仪上完成。

根据所测定的磁化率数据与鹿化煜所提供的磁化率和粒度数据以及 Yang Jiedong 等的资料^[13]进行对照, 采用五分法对洛川黄土 S_0 - L_1 - S_1 序列进

收稿日期: 2003-05-08; 改回日期: 2003-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(49902024)资助

作者简介: 饶文波(1973--), 男(汉族), 湖南祁阳人, 博士, 主要从事地球化学研究工作。E-mail: raowenbo@163.com

表 1 同一样品不同质量的固定铵态氮含量测定
Tab. 1 Fixed-NH₄⁺-N content in different weights of the same sample

| 质量 /g | 实测含量/(μg·g ⁻¹) | | | | | | | | | | 均值 | 标准偏差 |
|----------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 1 | 174.11 | 175.33 | 174.40 | 173.19 | 173.90 | 169.18 | 173.70 | 174.94 | 172.83 | 175.92 | 173.75 | 1.8 |
| 2 | 138.52 | 144.22 | 144.43 | 138.16 | 143.78 | 133.74 | 148.33 | 138.27 | 142.77 | 150.94 | 142.32 | 5.0 |

行划分,依次为:S₀(全新世古土壤),L₁LL₁(末次冰期盛冰阶黄土),L₁SS₁(末次冰期间冰阶弱土壤化黄土),L₁LL₂(末次冰期始冰阶黄土),S₁(末次间冰期古土壤)。

2 结果

2.1 黄土-古土壤旋回中固定态铵的分布特征

在所测定的黄土-古土壤层位中,固定铵态氮含量在 130~210 μg·g⁻¹ 范围内变化,其中,古土壤中的固定铵态氮含量高于相邻黄土中的固定铵态氮含量(图 1)。黄土-古土壤中固定铵态氮的低-高值的规律性变化基本上对应黄土-古土壤互层所隐含

的古气候冷-暖振荡信息,即干冷气候条件下形成的黄土层有较低的固定铵态氮值,湿热气候条件下形成的古土壤有相对较高的固定铵态氮含量(图 1)。气候条件不同,黄土-古土壤中固定铵态氮含量差异显著。例如,形成于最暖湿气候条件下的 S₀ 层古土壤中固定铵态氮含量最高,平均值为 201.87 μg·g⁻¹;形成于最干冷气候条件下的 L₂ 层黄土中固定铵态氮含量最低,为 145 μg·g⁻¹ 左右。

2.2 13 万 a 来洛川黄土剖面中固定铵的分布特征

在 S₀-L₁-S₁ 序列中固定铵态氮含量在 134~187 μg·g⁻¹ 之间,平均为 160 μg·g⁻¹。在古土壤中,固定铵明显表现出高值,相反,在黄土中表现低值(表 2)。整个剖面中固定铵态氮的分布曲线表现出三次大的低-高值的波动特征,即在 L₁ 中固定铵态氮含量低,在 S₀ 中固定铵态氮含量较低,在 S₁ 中固定铵态氮含量高。在 13 万 a 来洛川黄土剖面中,固定铵态氮含量分布又体现出三次小的波动特征,即在 L₁LL₁ 层中,固定铵态氮含量最低,在 L₁LL₂ 层中,固定铵态氮含量较低,而在 L₁SS₁ 层中,固定铵态氮含量高(图 3 和表 2)。因此,S₀-L₁-S₁ 序列中固定铵态氮的分布与气候条件的变化能较好对应。固定铵态氮与磁化率、<2 μm 组分的分布有相似性(图 3 和表 2),并且有好的相关关系(图 2),也证明了这一点。

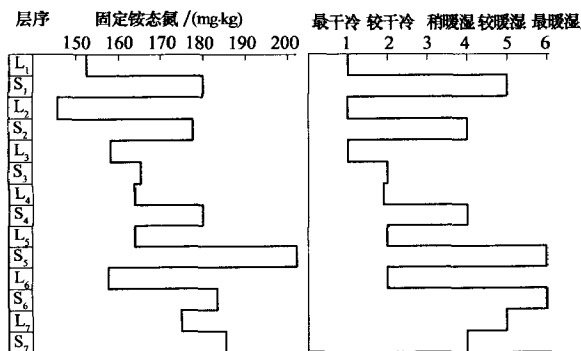


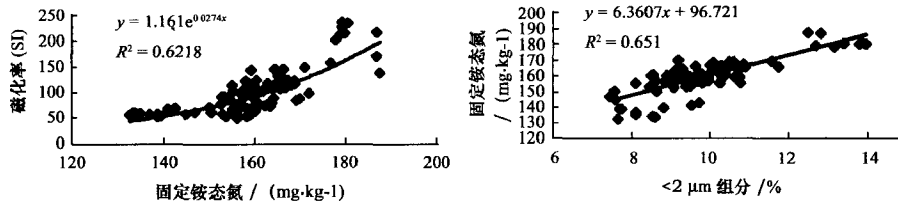
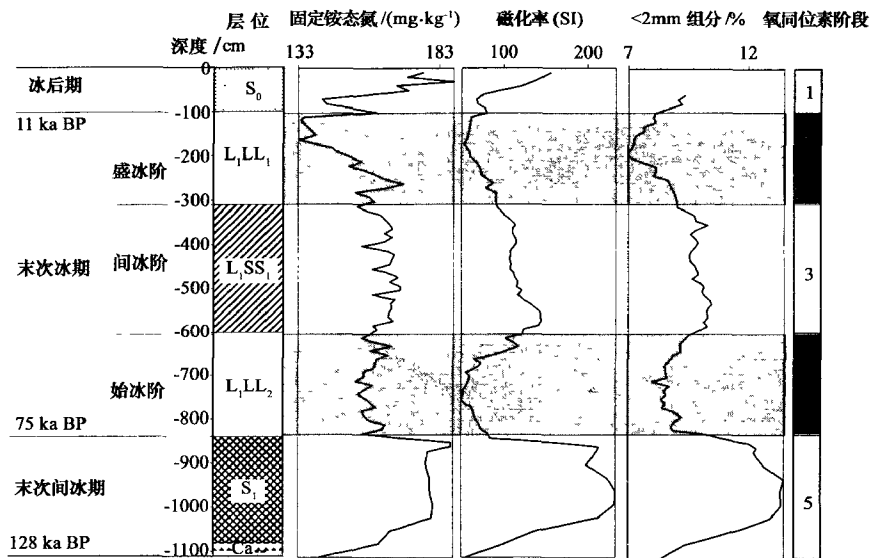
图 1 洛川黄土剖面中固定铵态氮的平均含量及其对应的自然环境^[14]

Fig. 1 Distribution of fixed-NH₄⁺-N in Luochuan loess section and corresponding natural environments^[14]

表 2 洛川黄土剖面中固定铵态氮、磁化率和 <2 μm 组分的含量

Tab. 2 Fixed-NH₄⁺-N content, magnetic susceptibility, and the <2 μm fraction in Luochuan loess section

| 层位 | 固定铵态氮/(μg·g ⁻¹) | | 磁化率(SI) | | <2 μm 组分/% | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----|--------------|--------|------------|-------|
| | 变化范围 | 均值 | 变化范围 | 均值 | 变化范围 | 均值 |
| S ₀ (10) | 141~187 | 163 | 67.60~155.55 | 102.24 | 8.56~9.83 | 9.35 |
| L ₁ (74) | 134~170 | 158 | 49.10~142.5 | 89.63 | 7.47~11.58 | 8.5 |
| S ₁ (11) | 140~187 | 174 | 53.55~233.25 | 180.27 | 8.82~13.94 | 12.40 |
| S+L(95) | 134~187 | 160 | 49.10~233.25 | 101.45 | 7.47~13.9 | 9.87 |
| L ₁ LL ₁ (21) | 134~170 | 149 | 52.15~91.15 | 70.03 | 7.47~9.50 | 8.50 |
| L ₁ SS ₁ (29) | 155~169 | 164 | 97.50~142.5 | 118.22 | 9.96~10.92 | 10.40 |
| L ₁ LL ₂ (24) | 153~169 | 159 | 49.10~117.6 | 72.22 | 8.47~10.80 | 9.39 |

图2 固定铵与磁化率、 $<2 \mu\text{m}$ 组分的相关关系Fig. 2 Correlation between fixed- NH_4^+ -N and magnetic susceptibility, and the $<2 \mu\text{m}$ fraction图3 $S_0 - L_1 - S_1$ 序列中固定铵、磁化率、以及 $<2 \mu\text{m}$ 组分的分布Fig. 3 Distribution of fixed- NH_4^+ -N, magnetic susceptibility, and the $<2 \mu\text{m}$ fraction in the $S_0 - L_1 - S_1$ sequence

3 讨论

由于黄土高原区的黄土母质——粉尘的化学成分具有均一性^[15],黄土-古土壤中固定铵态氮的含量主要受两方面的条件控制:一是粉尘的粒度,二是沉积后风化成壤作用的强弱。粉尘沉积时粒度的大小决定了其所携带的细粒组分,特别是粘粒组分的多少,而粘粒组分又是固定铵的载体,因此,沉积时粉尘的粒度与固定铵态氮的含量有密切的联系,在一定程度上制约着固定铵态氮的含量变化。风化成壤作用使风力搬运沉积下来的矿物被改造,生成新的次生矿物,与此同时,由于淋溶作用和生物作用的影响,铵的矿物固定与释放的动态平衡被破坏,同样影响黄土-古土壤层中固定铵态氮的含量分布。黄土-古土壤层中固定铵态氮的含量特征正是这两种作用叠加的综合结果。粉尘沉积时的粒度与东亚冬季风紧密相关,而风化成壤作用强弱与东亚夏季风密切联系。因此,固定铵在一定程度上是东亚季风

强弱的反映。

4 结论

在所测定的黄土-古土壤层位中固定铵态氮的含量在 $130 \sim 210 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间变化;其中,形成于最暖湿气候条件下的 S_0 古土壤层固定铵态氮的含量最高,达 $201.87 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,形成于最干冷气候条件下的 L_2 黄土层固定铵态氮的含量最低,为 $145 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右。

无论从大的时间尺度上(黄土-古土壤旋回),还是从较小的时间尺度上($S_0 - L_1LL_1 - L_1SS_1 - L_1LL_2 - S_1$)讲,黄土-古土壤序列中固定铵态氮的变化能与气候的变化较好对应,即黄土层中的固定铵态氮含量低于相邻的古土壤;另外,马兰黄土中间冰期形成的弱土壤化黄土中固定铵态氮的含量高于始冰阶和盛冰阶形成的黄土。因此,黄土-古土壤中固定铵态氮低-高值的变化能反映古气候的冷暖变化,进一步揭示了东亚季风的强弱变化。

致谢: 粒度数据由中国科学院地球环境研究所鹿化煜研究员提供, 在此致以真诚的感谢。

参考文献 (References):

- [1] An Zhisheng, George J K, Stephen C P, *et al.* Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130 000 years[J]. *Quaternary Research*, 1991, 36(1): 29-36.
- [2] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. *中国科学(D辑)*, 1998, 28(3): 278-283.
- [3] 韩家懋, 姜文英, 吕厚远, 等. 黄土中钙结核的碳氧同位素研究: (一) 碳同位素及其古环境意义[J]. *第四纪研究*, 1995, (4): 367-377.
- [4] Chen J, An Z S, Head J. Variation of Rb/Sr ratios in the loess-paleosol sequences of central China during the last 130 000 years and their implications for monsoon paleoclimatology[J]. *Quaternary Research*, 1999, 51: 215-219.
- [5] 杨石岭, 丁仲礼. 7.0 Ma 以来中国北方风尘沉积的游离铁/全铁值变化及其古季风指示意义[J]. *科学通报*, 2000, 45(22): 2453-2456.
- [6] Schneiders M, Scherer H W. Fixation and release of ammonium in flooded rice soils as affected by redox potential[J]. *European Journal of Agronomy*, 1998, 8: 181-189.
- [7] 汪晓丽, 封克, 汤炎, 等. 土壤矿物层间电荷组成与固定态铵的释放[J]. *扬州大学学报(自然科学版)*, 2001, 4(3): 38-41.
- [8] 王雨春. 贵州红枫湖、百花湖沉积物——水界面营养元素(磷、氮、碳)的生物地球化学作用[D]. 中国科学院地球化学研究所博士研究生学位论文. 贵阳, 2001. 180-183.
- [9] Cooper J E, Bradley A D. The ammonium content of granites in the English lake district[J]. *Geology Magazine*, 1990, 127: 579-586.
- [10] 黄智龙, 刘从强, 肖化云, 等. 云南老王寨金矿煌斑岩固定态地球化学特征[J]. *地质论评*, 2001, 47(1): 27-33.
- [11] 文启孝, 程励励, 陈碧云. 我国土壤中的固定态铵[J]. *土壤学报*, 2000, 37(2): 145-156.
- [12] A L 佩奇, R H 米勒, 等(闵九康等译). 土壤分析法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991. 475-479.
- [13] Yang Jiedong, Chen Jun, An Zhisheng, *et al.* Variations in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of calcites in Chinese loess; a proxy for chemical weathering associated with the East Asian summer monsoon [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 157: 151-159.
- [14] 程伟民, 谢炳庚, 肖宁川. 古地理过程研究的方法与实例——以洛川黄土剖面为例[J]. *地理学报*, 1993, 48(2): 131-142.
- [15] 陈骏, 季峻峰, 仇纲, 等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(6): 531-536.

Distribution of Fixed- NH_4^+ -N in Luochuan Loess Section

RAO Wen-bo^{1,2}, LI Xiao-biao¹, GAO Zhen-min¹, LUO Tai-yi¹

(1. The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Fixed- NH_4^+ -N content varies between $120 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ and $202 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in Luochuan loess-palaeosol sequences. Fixed- NH_4^+ -N content in interbedded palaeosols is higher than that of the loess. There are three big fluctuations in values of fixed NH_4^+ -N content in the Luochuan loess section during the last 130 ka. Fixed- NH_4^+ -N content is the highest in the S_1 palaeosol developed in the last interglacial period. Secondly, fixed- NH_4^+ -N content is slightly lower in the S_0 layer formed in the post-glacial period. Thirdly, fixed- NH_4^+ -N content is the lowest in Malan loess formed in the last glacial period. In addition, there are three small oscillations in the values of fixed- NH_4^+ -N content in the Malan loess. The curve of fixed- NH_4^+ -N in the loess and interbedded paleosols much corresponds to climate variation in the Chinese Loess Plateau. The curve of fixed- NH_4^+ -N exhibits a similar oscillation in amplitude and in frequency with that of magnetic susceptibility and the $<2 \mu\text{m}$ fraction in the $S_0-L_1-S_1$ sequence. These characteristics show that fixed- NH_4^+ -N is closely related to climate conditions, and further reveal that fixed- NH_4^+ -N in the Luochuan loess section can record the information of climate change to some degree.

Key words: Luochuan loess; fixed- NH_4^+ -N; palaeoclimate