

# 大兴安岭东缘岩浆岩区地表基质风化 成土过程常量元素特征及其意义

刘航, 李瑞红, 杨永, 王学文

中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊, 065000

**关键词:** 大兴安岭; 岩浆岩; 地表基质; 风化成土; 地球化学

岩石—土壤风化成土过程中元素地球化学特征对于理解不同类型地表基质的转化机理和耦合关系有重要意义(侯红星等, 2022)。笔者选取大兴安岭地区不同类型岩浆岩原生风化剖面为研究对象, 查明常量元素在风化成土过程中迁移转化及分布规律特征, 为解释岩浆岩背景区地表基质岩石风化与土质成土过程耦合关系研究提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于大兴安岭东缘的内蒙古自治区阿荣旗地区, 主要发育古生代火山—沉积建造和中生代火山沉积建造, 岩浆侵入活动从早侏罗世—早白垩世均有显示, 以晚侏罗世侵入岩最为发育。区内主要出露光华组凝灰岩、龙江组安山岩、甘河组玄武岩。区内断裂构造发育, 中生代脆性断裂活动, 奠定了研究区现今地貌格局, 新生代主要以差异升降为主, 追踪早期断裂构造, 发育河流、沟谷等。

## 2 样品采集与结果分析

选取凝灰岩(ARPM01)、安山岩(ARPM02)、玄武岩(ARPM03)、花岗岩(ARPM04)原生风化剖面, 由地表至深部系统采集土质—风化壳—半风化岩石—岩石样品, 共采集样品19件, 样品质量为1 kg。经室内预处理后, 使用电感耦合等离子体光谱法(ICP—AES)、电感耦合等离子体质谱法(ICP—MS)、X射线荧光

光谱法(XRF)测定样品各元素含量。

### 2.1 元素迁移系数

$\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 是4个剖面的主要成分, 而 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 等易溶组分含量较低, 说明该区域风化过程的普遍发生。质量平衡逼近方法能够比较真实反映风化成土过程中元素的地球化学行为, 利用此方法来表示风化剖面元素的迁移情况(Brimhall and Dietrich, 1987)公式为:  
$$\tau_{j,w} = (C_{j,w}/C_{j,p}) / (C_{i,w}/C_{i,p}) - 1$$
式中 $\tau_{j,w}$ 表示风化剖面中某元素的迁移系数,  $C_{j,p}$ 表示基岩中某元素的含量,  $C_{i,w}$ 表示上覆土质中参比元素的含量, Ti元素寄存于抗风化能力强的矿物中, 化学性质稳定, 作为本文的参比元素。

### 2.2 元素含量标准化对比分析

由上地壳元素平均值(UCC)标准化图解可知(图1), 凝灰岩和安山岩主量元素变化趋势较为一致, 凝灰岩中 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 等易迁移元素均低于上地壳元素平均值, 其余元素受风化及淋溶作用影响在岩石和土质中元素含量存在差异; 安山岩中除 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 外, 其余元素均接近或高于上地壳元素平均值。除 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 外, 玄武岩和花岗岩元素含量均接近或低于上地壳元素平均值。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{TiO}_2$ 在玄武岩和花岗岩中含量明显高于地壳元素平均值, 是地壳元素含量的2倍以上。4个剖面中元素的含量差异, 反映在相同气候背景下的差异性溶蚀作用。

## 3 元素的地球化学意义

注: 本文为《松嫩平原西北缘阿荣旗-鄂伦春南部地区黑土地表基质调查》项目(编号: DD20220857)的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-02-05; 责任编辑: 潘静。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.sl.084

作者简介: 刘航, 男, 1995年生, 工程师, 主要从事自然资源综合调查研究; Email: lh950511@qq.com。通讯作者: 李瑞红, 男, 1989年生, 高级工程师, 主要从事自然资源综合调查和胶东金矿相关领域研究; Email: lruihong@mail.cgs.gov.cn。

### 3.1 元素的物源鉴定

Ti、Zr、Nb、Ta、Hf、Y、Yb、Nd、Sm等元素地球化学性质稳定，不易受到风化、蚀变等作用的影响，其在风化剖面中的分布较稳定，通过线性分析可知，Ti—Zr、Nb—Ta、Zr—Hf、Y—Yb、Sm—Nd具有很强的线性相关性，这表明它们在风化过程中化学性质具有很好的耦合关系（Gong Qingjie et al., 2011）。这些元素对的出现可以证明该剖面为原生风化形成，没有其他物源加入，上覆土质由母岩经风化作用形成。

### 3.2 风化强度分析

在风化成土过程中，Al、Si、Fe为难迁移元素，而Na、K、Ca、Mg等盐基易被淋滤，因此用化学蚀变指数CIA来表示化学风化程度（牛东风等，2019）。其值越高，表明风化强度越大。在四个典型剖面中由岩石—土壤CIA数值降低，玄武岩和花岗岩剖面CIA数值在60~66范围内变化，以初等风化强度为主，凝灰岩和安山岩剖面CIA数值最高可达75以上，属中等风化强度。结果表明，在原生风化剖面中，随着风化成土作用的进行，风化作用逐渐加强，相比于玄武岩和花岗岩，凝灰岩和安山岩抗风化能力较弱，所受风化强度较高。

### 3.3 风化剖面的元素迁移

通过各原生剖面的元素迁移系数可知，凝灰岩和安山岩剖面表现出相同的趋势，即 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 呈现出不同程度的亏损， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 相对富集。玄武岩和花岗岩变化趋势较为一致，表现为： $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 相对富集， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 相对亏损。受风化淋溶作用影响，可溶性组分大量淋失，碱土金属元素相对亏损。不同类型岩浆岩在风化成土过程中对地球化学元素迁移富集作用存在差异，直接影响表层土质的地球化学性质。

## 4 结论

（1）本文选取的大兴安岭东缘四个风化剖面均为原生风化剖面，未受到其他物源影响，可直

观反映不同类型岩浆岩风化成土过程元素地球化学特征。

（2）在四个原生风化剖面中，利用化学蚀变指数（CIA）表征化学风化强度，随着风化成土作用进行化学风化强度逐渐增强，相比于玄武岩和花岗岩，凝灰岩和安山岩抗风化能力较弱，所受风化强度较高。

（3）利用质量平衡逼近方法指示各原生风化剖面的元素迁移特征，可知不同类型岩浆岩在风化成土过程中对地球化学元素迁移富集作用存在差异，直接影响表层土质的地球化学性质。

## 参 考 文 献 / References

- 侯红星, 葛良胜, 孙肖, 孔祥斌, 卢卫华, 秦天, 孔繁鹏, 杨华本, 杨柯. 2022. 地表基质在中国黑土地资源调查评价中的应用探讨——基于黑龙江宝清地区地表基质调查. 自然资源学报, 37(9): 13. DOI: 10.31497/zrzyxb.20220905.
- 牛东风, 李保生, 舒培仙, 王丰年, 琚琛琪, 李志文, 温小浩, 司月君, 郭亿华, 王晨. 2019. 佛山西樵山及邻近地区MIS5a红土中主量元素含量特征及其古气候意义. 地质论评, (5): 12. DOI: 10.16509/j.georeview.2019.05.011.
- Brimhall G H, Dietrich W E. 1987. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(3): 567~587. DOI: 10.1016/0016-7037(87)90070-6.
- Gong Qingjie, Deng Jun, Yang Liqiang, Zhang Jing, Wang Qingfei, Zhang Gaixia. 2011. Behavior of major and trace elements during weathering of sericite-quartz schist. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(1~2): 1~13. DOI:10.1016/j.jseas.2011.03.003.

**LIU Hang, LI Ruihong, YANG Yong, WANG Xuewen:**  
**Characteristics and significance of major elements in soil formation process of surface matrix weathering in magmatic rock area in eastern margin of Greater Hingan Mountains**

**Keywords:** Greater Khingan Mountains; magmatic rock; surface matrix; weathering into soil; geochemical

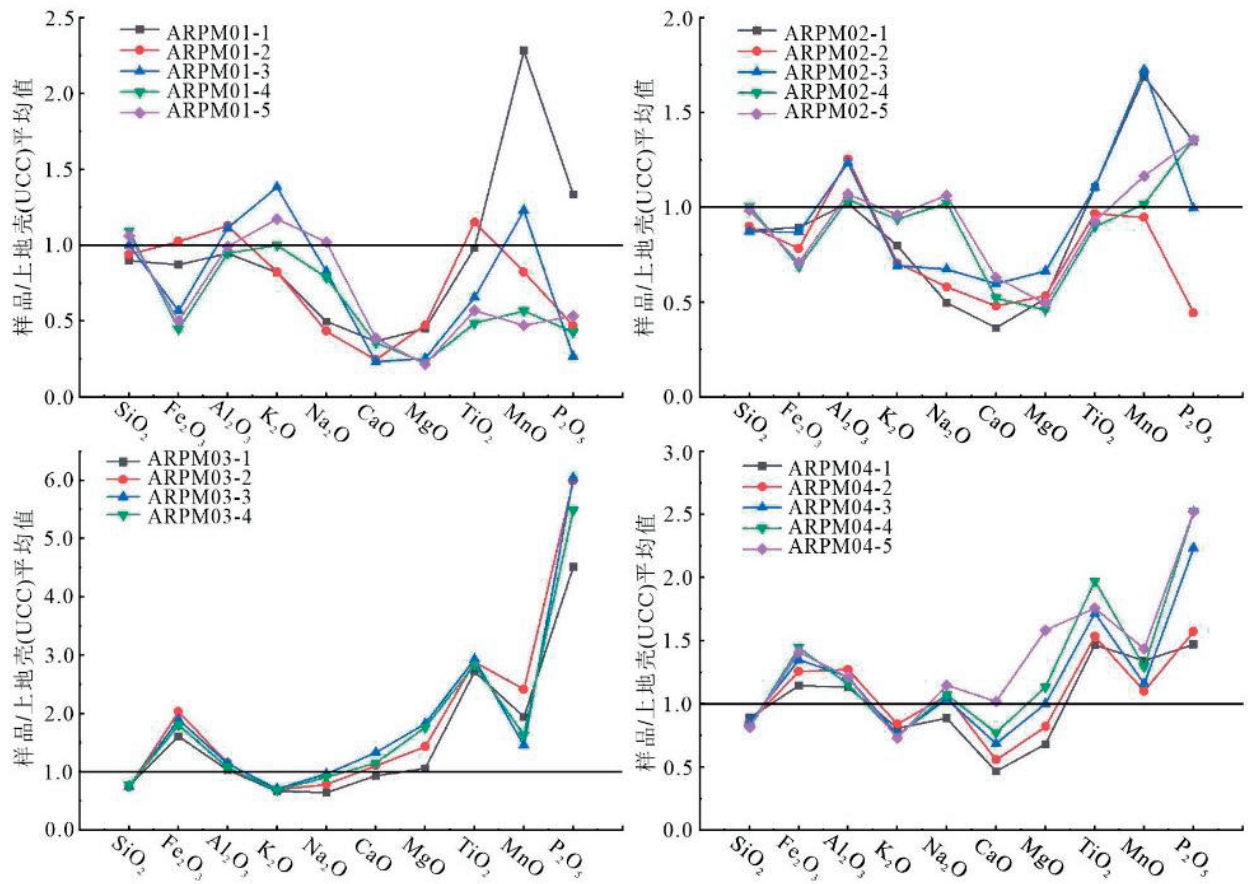


图 1 四个原生风化岩石剖面主量元素上地壳元素平均值 (UCC) 标准化蛛网图