

蒙脱石-氨基酸复合体的热演化机理

卜红玲^{1,2}, 袁鹏^{1,2*}, 刘冬^{1,2}, 刘红梅^{1,2}

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所/中国科学院 矿物学与成矿学重点实验室/广东省矿物物理与材料研究开发重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

有机小分子物质合成生物大分子物质的过程是生命前驱体产生的重要步骤, 研究该过程对认识生命起源过程具有重要的意义。在原始岛弧火山喷发环境中, 粘土矿物碎屑可能会与氨基酸等生物单体结合形成粘土-有机质复合体, 并可能进入原始海洋时发生沉积。当海底火山喷发时, 粘土-有机质复合体会经历一系列热演化过程, 如随温度的增加, 会发生蒸发、干燥、热分解等现象。在此过程中, 氨基酸等生物单体会否因升温而发生热分解, 从而影响其聚合反应生成大分子有机质, 尚很少有研究关注。本研究利用热重-红外联用 (TG-FTIR) 方法和原位热处理漫反射红外光谱分析 (in situ DRIFTS) 法, 对蒙脱石 (Mt) 和氨基酸 (L-精氨酸, Arg) 的层间和层外复合体的热演化机理进行了研究, 重点探索了其不同升温阶段气态产物和固态产物的变化机制。Mt 和 Arg 的层外和层间复合物分别命名为 MtOuter-Arg 和 MtInter-Arg。

研究结果表明, Mt 与 Arg 的不同复合方式显著改变了 Arg 的热分解温度及其不同阶段的气态和固态产物分布。复合体有机质热解温度高于纯相 Arg, 且烃类物质 (CxHy), HCN 及 NH₃ 等含氮物质的形成或释放被延后, 对于 MtInter-Arg 尤其如此。固体产物分析表明, MtOuter-Arg 的热解产生含肽键的大分子有机质出现的初始温度低于 Arg, 而 MtInter-Arg 的该温度明显大于前者。可见, Arg 的热演化与 Mt 微结构和表面酸性有密切关系: 对于层外复合体, Mt 表面吸附 Arg 后, 表面 L 酸位可促使 Arg 发生羧基活化作用; 表面 B 酸位可促使 Arg 氨基质子化。B 酸和 L 酸的共同作用, 可促使两性的 Arg 分子发生聚合反应, 有利于肽键等大分子有机质的形成, 使其热演化速率减慢; 对于层间复合体, 由于 L 酸位主要源于层外边缘断键, 难以促使层间 Arg 发生羧基活化反应, 且质子化的 Arg 分子带多个 NH₃⁺基团, 其与 Mt 带负电荷片层间存在较强的静电作用, 使层间 Arg 分子间难以发生聚合。加之 Mt 层间域结构对 Arg 热分解存在“位阻”效应, 导致肽键等大分子物质的形成延后。

上述结果表明, 粘土矿物和氨基酸复合体的热演化受粘土矿物固体酸性及微结构的影响。粘土矿物的表面酸性对生物单体合成大分子结构有机质有一定催化作用, 其层间结构可延缓有机质的热分解。这些认识对于探索早期地球火山作用等热事件所导致的化学演化过程, 以及对理解粘土矿物参与的生物大分子形成机制具有参考意义。

基金项目: 广东省科技计划项目 (批准号: Grant No. 2017B030314175)

作者简介: 卜红玲, 女, 1988 年生, 博士后, 粘土矿物的结构和表-界面作用方向. E-mail: buhongling@gig.ac.cn

* 通讯作者, E-mail: yuanpeng@gig.ac.cn