

乌江流域沉积岩风化过程中稀土元素的富集与释放

宋照亮^{1,2,3}, 刘丛强^{1*}, 韩贵琳¹, 王中良¹, 朱兆洲^{1,2}, 杨 成^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100080; 3. 国家环境保护总局辐射环境监测技术中心, 浙江 杭州 310012)

摘要: 以乌江流域石灰岩、白云质灰岩、白云岩、硅质岩、页岩和砂岩等沉积岩的 13 条风化剖面为对象, 运用 R 型分层聚类分析和质量平衡计算方法, 研究了这些岩石风化过程中稀土元素(REE)的富集与释放及其对植物生长和河水 REE 分布的影响, 目的是为河水物质来源研究和为农业生产提供依据。结果表明: (1) 乌江流域石灰土中 REE 的富集程度显著高于各自母岩、黄壤、上陆壳(UCC)、中国土壤(CS)和世界土壤(WS); (2) 沉积岩风化过程中 REE 的富集特征和机制可能与母岩中 REE 分布特征以及风化剖面中有机质、铁(氢)氧化物和粘土矿物的吸附有关; (3) 沉积岩风化过程中释放的 REE 可为植物吸收利用; (4) 石灰岩等沉积岩风化过程中 REE 和 Fe 等元素的释放对河水溶解态 REE 的分布有重要影响。

关键词: 富集; 释放; 风化; 沉积岩; 稀土

中图分类号: O614.33; X142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4343(2006)03-0344-06

近年来, 稀土元素除应用于工业外, 作为微量元素肥料广泛应用于国内外农林生产中^[1,2]。然而, 随之产生的 REE 环境污染问题日益严重^[2-4]。因此, REE 的生物地球化学循环及其生态环境效应受到诸多研究者如 Zhu 等^[3], Zhang 等^[4]和 Franca 等^[5]的极大关注。岩石风化是生态系统 REE 的重要来源, 也是全球 REE 生物地球化学循环的一个重要环节。因此, 岩石风化过程中 REE 的地球化学行为研究有助于深入了解 REE 的生物地球化学循环及其生态环境效应。相对于花岗岩和玄武岩等其他岩石, 国内外沉积岩风化过程中 REE 的地球化学行为研究较薄弱^[6-8]。目前, 石灰岩等沉积岩风化过程中 REE 的富集特征与机制、植物可利用性、释放及其对河水组成的影响等问题还有待进一步探讨。本文以乌江流域石灰岩等沉积岩风化剖面为例, 探讨上述问题, 为农业生产和河水 REE 来源研究提供科学依据。

1 材料与方 法

乌江是长江上游最大的支流, 其流域基岩类型在上游以石灰岩为主, 在中下游以石灰岩、白云岩

和碎屑岩为主(图 1)。流域地形起伏大(海拔为 300~2300 m), 受亚热带湿润性季风气候控制, 年均温度为 9~17 °C, 年降水量为 900~1400 mm。上游石灰土分布广, 植被以灌草丛为主; 中下游石灰土和黄壤广泛分布, 植被以小乔木和灌草丛为主。

2004 年 8 月, 为重点考察石灰岩并兼顾其它沉积岩的风化, 作者沿乌江采集了 8 条石灰岩(分别为 Q1, Q2, B4, Y1, Y2, Y3, G1 和 M1)、1 条白云质灰岩(W1)、1 条白云岩(G2)和 1 条硅质岩(B1)、1 条黑色页岩(L1)和 1 条紫色砂岩(L2)风化剖面的样品(图 1, 表 1)。为减少物理侵蚀和局部混合, 剖面位置选于总体为高地的局部小洼地中^[9]。所有剖面都挖到基岩为止。样品自下而上地用刻槽法分层采集。

风干样品过 20 目筛后, 用 1/2.5 的土/水质量比和 pH 计测土壤 pH 值。其余样品用玛瑙研钵磨至 200 目以下, 再用 120 °C 烘箱烘 3 h, 供化学全分析和微量元素测试用。化学全分析用传统的湿化学法完成。样品置于聚四氟乙烯罐中混合酸(HNO₃ + HF)密闭消解后, 用 Rh 作内标, 用英国 Finnigan MAT 公司的 ELEMENT 型等离子体质谱

收稿日期: 2005-12-14; 修订日期: 2006-01-30

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-140, KZCX2-105)资助

作者简介: 宋照亮(1978-), 男, 浙江人, 博士; 研究方向: 环境地球化学研究和环境影响评价

* 通讯联系人(E-mail: liucongqiang@vip.skleg.cn)

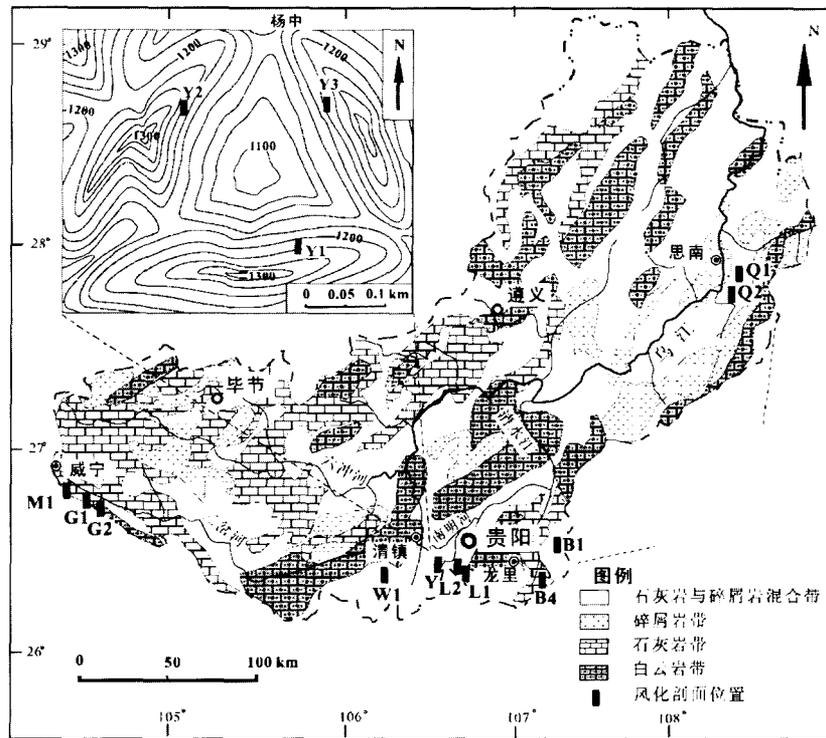


图1 地质与风化剖面位置图

(ICP-MS)测微量元素含量^[10]。分析质量用石英砂岩(GBW07106)、石灰岩(GBW07120)、石灰土(GBW07404)和黄红壤(GBW07405)标样监控。常量元素和REE的分析精度分别优于2%和8%。由于平均页岩(PAAS)^[11]代表了上陆壳的平均组成且常用于REE标准化,因此,用样品和PAAS计算样品中元素的富集系数($EFX = X_{\text{sample}}/X_{\text{PAAS}}$,其中 X_{sample} 和 X_{PAAS} 分别为样品和PAAS中元素X的含量)。R型分层聚类分析用SPSS 11.5软件的组间平均连接和Pearson相关系数法。

2 结果

表1给出了母岩和风化剖面深度权重平均化学组成及相关参数数据。该表说明,在石灰岩(Q1~M1)和白云质灰岩(W1)剖面中,从母岩到相应中偏弱酸性土壤,CaO含量迅速下降,而SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃和烧失(LOI)的含量迅速上升。在白云岩风化剖面(G2)中,从母岩到表土,CaO和MgO含量迅速下降,而SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃和LOI的含量迅速上升。硅质岩(B1)、页岩(L1)和砂岩(L2)母岩组成以SiO₂(59.96%~89.40%)为主;

从母岩到相应酸性土壤,化学组成并没有发生显著变化。

图2(a)和(b)是根据表1计算的母岩和平均剖面相对于PAAS的REE富集系数值(EFREE)和(La/Yb)_{SN}比。图2(a)显示,石灰土(Q1~G2)的EFREE值(1.19~1.85)都显著大于1、各自碳酸盐岩母岩(Q1~G2)、中国土壤(CS)^[12]、世界土壤(WS)^[12]和上陆壳(UCC)^[13],说明碳酸盐岩风化过程中REE发生了高度富集。硅质岩(B1)和页岩(L1)风化剖面母岩的EFREE值大于碳酸盐岩的相应值,小于1和UCC,其上发育的黄壤的EFREE值略有增加,表明风化过程中REE只发生了轻微富集。砂岩(L2)剖面母岩的EFREE值略小于硅质岩和页岩的相应值,其上发育的紫色土的EFREE有所降低,表明REE有亏损的趋势。图2(a,b)说明,Q1和Q2剖面石灰岩母岩具有较高的(La/Yb)_{SN}比(1.05~2.37),大于1、UCC和相应石灰土的(La/Yb)_{SN}比,表明这些石灰岩风化过程中优先富集HREE。石灰岩(B4~M1)、白云质灰岩(W1)和白云岩(G1)风化剖面母岩具有较低的(La/Yb)_{SN}比(0.32~0.93),但其上发育的石灰土(La/Yb)_{SN}

比显著升高,说明这些母岩风化过程中优先富集 LREE。硅质岩(B1)和页岩(L1)风化剖面(La/Yb)_{SN}比变化趋势与多数碳酸盐岩风化剖面(B4~G2)相似,从母岩到土壤略有增加,也优先富集 LREE。砂岩(L2)剖面(La/Yb)_{SN}比变化趋势与 Q1 和 Q2 石灰岩风化剖面的变化趋势相似,也表现出从母岩到土壤的下降趋势,说明砂岩风化过程中 LREE 优先亏损。

REE 可分为 LREE 和 HREE,因此在介绍 REE 的行为时,有必要同时给出 LREE 和 HREE 的行为。对母岩和风化剖面的 R 型聚类分析表明(图 3(a),(b)),母岩中的 LREE,REE,HREE,LOI,Fe,Ti,Al 和 K 之间具有很好的正相关关系,风化

剖面中 LREE,REE,HREE,Fe,Ti 和 Al 也有一定相关性。

3 讨论

3.1 REE 的富集机制

LOI 可指示样品中有机质的含量。母岩中的 LREE,REE,HREE,LOI,Fe,Ti,Al 和 K 之间具有很好的正相关关系(图 3(a)),说明 LREE 与 HREE 具有共同的富集相,可能被吸附到有机质、铁(氢)氧化物和粘土矿物的表面,也可能存在于钛铁矿晶格中。由于 Ti 在岩石风化过程中基本不活动^[7],风化剖面中 LREE,REE,HREE,Fe,Ti 和 Al 的相关性(图 3(b)),说明随着风化作用的进

表 1 母岩和风化剖面深度权重平均化学组成及相关参数

基岩类型	剖面 编号	深度/ m	样品 类型	pH	La/Yb	REE/10 ⁻⁶ (% ,质量分数)											
						LOI [§]	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	
石灰岩	Q1	0.82	R ^c		32.108	36.938	0.15	2.97	0.67	0.16	0.44	0.04	0.42	52.74	0.07	0.09	0.23
			AS(3) ^f	6.72	15.045	280.916	13.50	54.90	2.03	16.65	8.43	0.17	1.03	1.35	0.20	1.04	0.35
	Q2	0.62	R		14.332	10.579	0.15	4.31	0.53	0.16	0.23	0.01	0.40	52.54	0.10	0.01	0.30
			AS(3)	6.69	8.160	326.199	13.79	51.15	2.08	17.59	10.16	0.18	1.22	1.59	0.15	1.41	0.35
	B4	1.02	R		5.258	7.891	0.10	3.57	0.53	0.16	0.34	0.05	0.30	52.69	0.17	0.06	0.32
			AS(4)	7.06	15.839	232.670	15.03	61.98	2.33	10.30	5.38	0.24	0.81	1.99	0.13	0.96	0.37
	Y1	0.71	R		9.463	5.195	0.10	3.20	0.47	0.15	0.16	0.01	0.84	52.10	0.07	0.06	0.23
			AS(3)	6.50	19.141	341.985	12.79	66.33	1.55	12.06	4.19	0.14	0.60	1.09	0.11	0.33	0.36
	Y2	0.31	R		6.933	2.292	0.21	3.15	0.47	0.16	0.28	0.01	0.24	52.51	0.04	0.01	0.23
			AS(2)	5.53	15.380	237.029	25.58	46.77	1.15	16.10	5.33	0.15	0.90	2.33	0.07	0.42	0.50
	Y3	0.62	R		12.592	1.399	0.45	1.73	0.73	0.15	0.13	0.01	0.38	53.56	0.04	0.04	0.27
			AS(2)	6.18	15.297	308.188	14.18	46.74	1.52	21.19	6.34	0.11	1.44	4.52	0.10	0.38	0.45
G1	0.52	R		4.440	2.594	0.15	2.70	0.47	0.16	0.16	0.05	0.37	53.60	0.07	0.05	0.30	
		AS(2)	6.54	12.963	337.406	16.85	52.31	1.55	19.43	6.08	0.11	0.90	1.56	0.14	0.33	0.40	
M1	1.57	R		6.330	7.204	0.20	3.01	0.77	2.12	0.47	0.04	0.83	51.09	0.07	0.68	0.26	
		AS(3)	6.67	12.632	220.710	13.56	59.24	1.27	14.85	6.21	0.20	1.37	1.14	0.13	0.99	0.40	
白云质灰岩	W1	0.37	R		6.499	2.321	0.10	2.10	0.50	0.16	0.16	0.01	4.31	49.41	0.07	0.05	0.23
			AS(2)	6.01	15.230	319.938	20.09	49.26	1.66	18.46	6.28	0.21	1.01	1.20	0.13	0.72	0.44
白云岩	G2	0.72	R		4.917	4.702	0.20	2.09	0.87	0.16	0.17	0.01	20.84	32.18	0.11	0.01	0.21
			AS(3)	6.73	11.201	277.336	14.50	49.96	1.67	20.69	6.66	0.24	2.254	2.39	0.191	0.717	0.41
硅质岩	B1	1.40	R		13.748	107.001	3.90	83.12	1.30	4.94	4.77	0.05	0.32	0.28	0.09	0.44	0.70
			AS(8)	4.69	15.157	115.114	6.57	74.50	1.70	8.59	6.69	0.03	0.421	0.38	0.126	0.537	0.31
黑色页岩	L1	0.72	R		8.329	141.381	7.91	59.96	1.47	19.22	7.02	0.03	1.22	0.19	0.25	2	0.41
			AS(3)	4.57	10.370	156.322	9.70	63.66	1.04	18.18	4.78	0.03	0.72	0.08	0.149	1.292	0.32
紫色砂岩	L2	0.82	R		11.916	88.142	1.59	89.40	0.80	5.77	1.46	0.04	0.09	0.15	0.01	0.26	0.25
			AS(3)	4.78	7.223	81.962	10.00	59.31	1.20	21.96	5.66	0.06	0.258	0.24	0.265	0.34	0.34
中国土壤 ^[12]	CS				15.660	155.190			0.63	12.56	4.25	0.07	1.23	1.30	1.50	2.26	0.00
世界土壤 ^[12]	WS				13.333	153.800		71	0.8	13.4	6	0.1	0.8	2.1	0.7	1.7	0.2
上陆壳 ^[13]	UCC				13.636	146.370		66.0	0.5	15.2	5.0	0.1	2.2	4.2	3.4	0.2	
平均页岩 ^[11]	PAAS				13.546	184.773											

^c: R 代表母岩; ^f: AS 为剖面权重平均, 括号内的数字为用于求平均值的样品个数; [§] LOI 为烧失量, 可指示有机质量

行, 被释放的 REE 发生了一定程度的分异, 一部分发生淋失, 另一部分被粘土矿物和铁(氢)氧化物固定而保存于剖面中。

为进一步了解风化剖面中 REE 的富集机制, 我们计算了元素活动性系数^[7] ($MF_X = (X /$

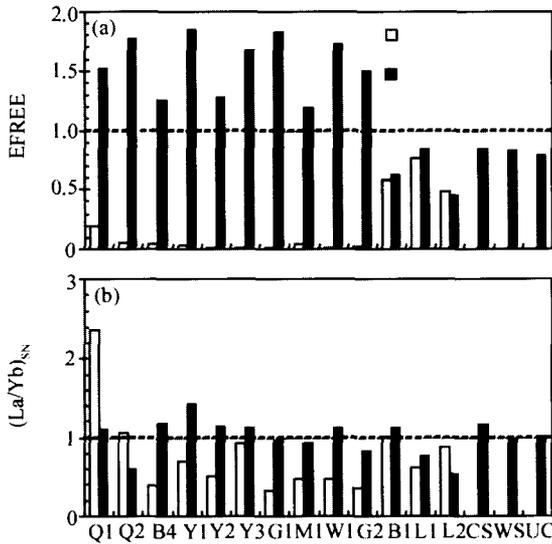


图 2 母岩和剖面深度权重平均 REE 富集系数(EFREE)/ (PAAS) (a)和 PAAS 标准化 La/Yb 比 (b)
 $(La/Yb)_{SN} = (EFLa)/(EFYb)$; □ - 母岩; ■ - 剖面平均

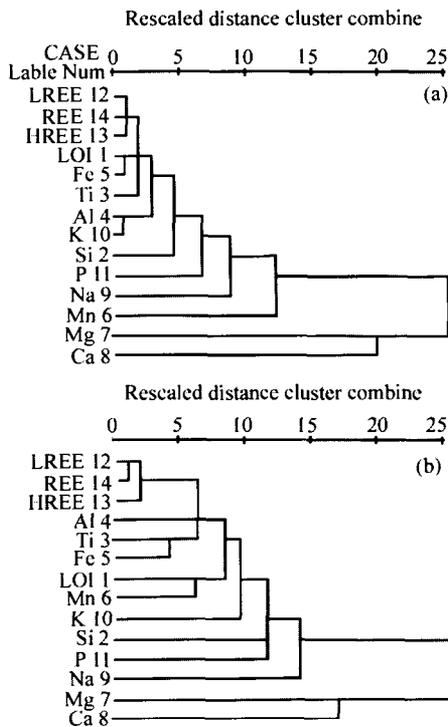


图 3 LREE, HREE, REE 与其他组分的 R 型分层聚类分析树状图
 (a) 基岩样品; (b) 风化剖面样品

$TiO_2)_{sample} / (X/TiO_2)_{bedrock}$, 其中 $(X/TiO_2)_{sample}$ 和 $(X/TiO_2)_{bedrock}$ 分别为样品和母岩中组分 X 与 TiO_2 的质量比)。图 4 给出了 MF 的计算结果。根据图 4 并结合风化剖面中 REE 的富集特征(图 2, 3)可知, 所有碳酸盐岩风化剖面(Q1 ~ G2)中 LREE, HREE, REE 和 Fe 的 MF 值变化趋势基本一致且都大于 1, 说明 REE 在碳酸盐岩风化剖面中的富集主要与 REE 从剖面上部淋滤到下部因被铁氧化物等吸附或共沉淀而淀积以及后期侵蚀作用产生的淀积富集机制有关; 页岩剖面(L1)中 LREE, HREE 和 REE 的 MF 值略大于 1, 说明 LREE, HREE 和 REE 在页岩风化剖面中的轻微富集与 REE 弱的淀积富集机制有关; 硅质岩(B1)和砂岩(L2)风化剖面中 LREE, HREE 和 REE 的 MF 值都小于 1, 说明硅质岩风化剖面中 REE 的轻微富集与 Si 等其他易溶元素强烈迁出引起残留富集有关, 而砂岩风化剖面中 REE 的亏损与 REE 本身淋失有关。图 2, 3 和 4 也说明, 碳酸盐岩风化过程中轻重 REE 的分异特征主要与母岩 $(La/Yb)_{SN}$ 比以及剖面中有机质、铁(氢)氧化物和粘土矿物的吸附能力有关; 硅质岩和页岩风化过程中 LREE 的优先富集则与本身的离子半径较 HREE 的大而更易被铁(氢)氧化物等吸附有关; 砂岩风化过程中 LREE 优先淋失可能与 REE(尤其是 LREE)以硅酸配合物的形式淋失有关。

3.2 REE 的释放与植物生长

传统观点认为^[14], 石灰土具有高盐基状态和 pH 值(7.5 ~ 8.5), 很多在酸性土壤条件下易被植物吸收的元素的溶解度很低, 很难为植物吸收。然而石灰土和其他土壤上的植物组成不同, 石灰土上喜钙植物可通过两种主要方式增加对必需元素

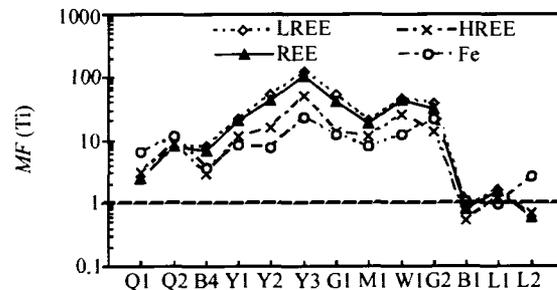


图 4 不同剖面 LREE, HREE, REE 和 Fe 相对于各自母岩的深度权重平均迁移因子(MF)(假设 Ti 不活动)

的吸收: (1) 在根系表面繁殖菌根真菌, 以提高可利用的土壤体积和必需元素吸收^[15, 16]; (2) 植物根系分泌以二元和三元酸为主的有机酸或这些有机酸的阴离子, 以促进矿物溶解和有机质矿化, 增强植物根对根际难溶元素的吸收^[15, 17]。研究区石灰土中偏弱酸性(pH 值为 5.5 ~ 7.5), 钙和镁等盐基含量一般低于 UCC, CS 和 WS, 而 REE 的富集程度则与其他石灰土^[18]相当(甚至更高), 远高于 UCC, CS 和 WS (表 1 和图 2)。此外, 区内石灰土中 REE 主要以专性吸附态和铁(氢)氧化物等较易被植物吸收的形态存在(图 3(b))。因此, 本区喜钙植物可以通过分泌二元/三元有机酸和有机酸阴离子, 释放和利用石灰土中富集的 REE。硅质岩、页岩和砂岩上发育的酸性土壤 REE 的富集程度基本上与 UCC, CS 和 WS 相近, 且活动性较强(图 2(a), 图 4), 也可为植物吸收利用。但要确定区内沉积岩风化过程中可提供的 REE 量, 还需研究不同植被条件下根系分泌物的组成、数量以及释放 REE 的效率。

3.3 沉积岩风化对河水 REE 分布的影响

根据前面 REE 的富集特征与机制分析, 乌江流域石灰岩等碳酸盐岩、硅质岩和页岩风化过程中大量释放的 REE 主要储存于风化剖面中, 而很少从风化剖面中淋滤迁出。砂岩中 REE 的含量较低, 其风化过程中释放的 REE 只有一小部分从剖面中迁出。因此, 总体而言, 乌江流域沉积岩风化过程中释放进入河水的 REE 总量可能较小。此外, 从上游到下游(G2 ~ Q1), 石灰岩等碳酸盐岩风化过程中 Fe 的释放迁出能力逐渐增强(图 1, 4), 说明河水中 Fe 含量从上游到下游逐渐增加, 并使形成的 Fe 胶体含量增加。由于河水中 Fe 胶体优先吸附 LREE, 因此, 从上游到下游河水溶解态 REE 含量及(La/Yb)_{SN}逐渐下降。上述论断解释了韩贵琳等^[19]关于乌江河水溶解态 REE 的含量远低于世界其他地区低 pH 的河水且 REE 的含量以及(La/Yb)_{SN}从上游到下游逐渐下降的报道。

4 结 论

相对于 CS, WS, UCC 和各自母岩, 石灰岩等碳酸盐岩上发育的石灰土显著富集 REE, 硅质岩和页岩上发育的黄壤 REE 富集不明显, 砂岩上发

育的紫色土亏损 REE。碳酸盐岩风化过程中 REE 的富集主要是 REE 淀积的结果, 轻重 REE 的分异特征主要与母岩(La/Yb)_{SN}比以及剖面中有机质、铁氧化物和粘土矿物的吸附能力有关。硅质岩风化过程中 REE 的富集是 Si 等其他易溶元素迁出引起弱残留富集的结果, LREE 的优先富集则与本身离子半径较 HREE 大而更易被铁(氢)氧化物等吸附有关。页岩风化过程中 REE 的富集是 REE 淀积的结果, LREE 的优先富集也与铁(氢)氧化物等的选择性吸附有关。砂岩风化过程中 REE 亏损且 LREE 优先淋失可能与 REE(尤其是 LREE)以硅酸配合物的形式淋失有关。沉积岩风化过程中释放的 REE 可为植物吸收利用, 然而要确定区内沉积岩风化过程中可提供的 REE 量, 还需研究不同植被条件下根系分泌物的组成、数量以及释放 REE 的效率。石灰岩等沉积岩风化过程中 REE 和 Fe 等元素的释放对河水溶解态 REE 的分布有重要影响。

参考文献:

- [1] 熊炳昆, 陈 蓬, 郭伯生, 等. 稀土农林研究与应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000. 1.
- [2] Volokh A A, Gorbunov A V, Gundorina S F, et al. Phosphorus fertilizer production as a source of rare earth elements pollution of the environment [J]. *Sci. Total Environ.*, 1990, 95: 141.
- [3] Zhu W F, Xu S Q, Shao P P, et al. Biological effect of rare earth elements in south of Jiangxi Province [J]. *China Environ. Sci.*, 1997, 17(1): 63.
- [4] Zhang S, Shan X. Speciation of rare earth elements in soil and accumulation by wheat with rare earth fertilizer application [J]. *Environ. Pollution*, 2001, 112: 395.
- [5] Franca E J, De Nadai Fernandes E A, Bacchi M A, et al. Pathway of rare earth elements in a Brazilian forestry fragment [J]. *J. Alloys Compounds*, 2002, 344: 21.
- [6] Nesbitt H W. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite [J]. *Nature*, 1979, 279: 206.
- [7] Middelburg J J, Van der Weijden C H, Woitiez J R W. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks [J]. *Chem. Geol.*, 1988, 68: 253.
- [8] Ji H, Wang S, Ouyang Z, et al. Geochemistry of red residua underlying dolomites in karst terrains of Yunnan-Guizhou Plateau II. The mobility of rare earth elements during weathering [J]. *Chem. Geol.*, 2004, 203: 29.

- [9] Chadwick O A, Gavenda R T, Kelly E F, et al. The impact of climate on the biogeochemical functioning of volcanic soils [J]. Chem. Geol., 2003, 202: 195.
- [10] Qi L, Hu J, Conrad Gregoire D. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Talanta, 2000, 51: 507.
- [11] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [J]. Rev. Mineral, 1989, 21: 169.
- [12] 陈怀满主编. 环境土壤学 [M]. 北京: 科学出版社, 2005. 549.
- [13] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312.
- [14] Chen Y, Barak P. Iron nutrition of plants in calcareous soils [J]. Adv. Agronomy, (1982) 35: 217.
- [15] Marschener H. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition [J]. Field Crops Res., 1998, 56: 203.
- [16] Landeweert R, Hoffland E, Finlay R D, et al. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals [J]. TRENDS Ecological Evolution, 2001, 16(5): 248.
- [17] Ström L, Owen A G, Godbold D L, et al. Organic acid behaviour in a calcareous soil: implications for rhizosphere nutrient cycling [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, in press.
- [18] 邢光熹, 朱建国. 土壤微量元素和稀土元素化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1.
- [19] 韩贵琳, 刘丛强. 喀斯特河流溶解态稀土元素组成变化及其控制因素 [J]. 中国岩溶, 2004, 23(3): 177.

Enrichment and Release of Rare Earth Elements during Weathering of Sedimentary Rocks in Wujiang Catchments

Song Zhaoliang^{1,2,3}, Liu Congqiang^{1*}, Han Guilin¹, Wang Zhongliang¹, Zhu Zhaozhou^{1,2}, Yang Cheng^{1,2} (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Radiation Monitoring Technical Center, State Environmental Protection Administration of China, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Thirteen weathering profiles of sedimentary rocks such as limestone, dolomitic limestone, dolomite, silicalite, black shale and purple sandrock from Wujiang catchments were selected for study on enrichment and release behavior of rare earth elements (REE) during weathering, and in its impact on plant growth and riverine REE distribution in the catchments with methods of hierarchical cluster analysis and mass balance calculation in order to set a basis for riverine material source research and agricultural production. The results show that the enrichment degree of REE in calcareous soils from the Wujiang catchments is much

higher than that of limestone, yellow soil, upper continental crust (UCC), China soil (CS) and world soil (WS). The ability of enrichment and release of REE is partly controlled by distribution of REE in bedrocks, contents and adsorption ability of organic matters, clay minerals and Fe-oxides/hydroxides in weathering profiles. The REE released from weathering of carbonate rocks and clastic rocks can be absorbed and utilized by local plants. Our results also reveal that release of REE and Fe mainly from weathering of carbonate rocks and partly from clastic rocks exerts an important control on riverine REE distribution.

Key words: enrichment; release; weathering; sedimentary rocks; rare earths