

野鸭湖湿地表层土壤稀土元素含量及分布特征研究

符颖¹, 季宏兵^{1, 2*}, 梁夏天¹, 张楠¹

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 首都圈生态环境过程重点实验室, 北京 100048; 2. 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)

摘要: 通过对野鸭湖湿地 52 个站位表层土壤样品的稀土元素(REE)分布特征及其生态效应的研究, 认为野鸭湖湿地地区总稀土元素(Σ REE)含量为 131.81 ~ 217.49 mg·kg⁻¹, 平均含量为 173.87 mg·kg⁻¹。REE 分馏程度较大, 在东小营分馏程度最低也达到了 4.70。研究区内 δ Eu 值 0.64 ~ 0.78, 为负异常, δ Ce 为 0.95 ~ 0.99, 无异常, 与该地区土壤处于弱碱性环境相一致。 δ Ce 与 δ Eu 及 δ Ce 与 Σ REE 相关性表明成岩作用对其影响不明显。该地区 REE 与 pH 值不相关, 与 TOC 有较好相关性。REE 球粒陨石标准化分布模式大致为轻稀土(La-Nd)富集而重稀土(Er-Lu)亏损, 图形曲线呈右倾斜。不同植被区, 表层土壤中 Σ REE、轻稀土元素(LREE)、重稀土元素(HREE)均表现为耕地 > 林地 > 芦苇地 > 草地 > 底泥, 而分异程度耕地最大, 林地与草地近似, 芦苇地最小, 推测湿地环境及人工影响对 REE 分布及分馏影响较大。在湿地环境中, REE 可能更多地参与了生物地球化学循环。

关键词: 野鸭湖; 湿地; 稀土元素

中图分类号: P595 文献标识码: A 文章编号: 1000-4343(2013)06-0749-13

湿地是由陆地系统和水体系统相互作用形成的自然综合体, 通常处于陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡区域。然而, 由于自然原因和人为活动对湿地不正当使用的影响, 导致了湿地在结构上的改变和功能上的减弱甚至丧失, 使得湿地面积减小、水质恶化、植被退化、土壤沙化等^[1], 严重威胁到湿地区域和全球环境可持续发展。

有关湿地 REE 地球化学的研究有其特殊的意义。一方面 REE 在表生环境中非常稳定, 在河流中主要以碎屑态搬运^[2, 3]。在沉积物中主要以颗粒态赋存于粘土矿物和重矿物中^[4]。沉积物中 REE 组成及分布模式主要取决于源岩, 在母岩的风化、剥蚀、搬运、沉积过程中具有较强的稳定性, 能够较好地保存源岩的化学组成, 目前已被广泛地作为沉积物物源的示踪剂^[5, 6]。另一方面, 虽然目前

还没有确认 REE 是植物必需的营养成分, 但是稀土元素对增强植物的抗逆性, 提高农作物的产量以及改善农作物的品质具有积极的促进作用^[7]。

野鸭湖湿地是北京最大、最典型的陆地湿地系统, 湿地资源丰富。目前, 对于野鸭湖湿地的研究主要在空间动态变化上^[8], 而在微观上的研究欠缺。研究表明, 官厅水库水质污染较为严重, 野鸭湖受官厅水库影响, 水体及周边灌溉土壤影响较为严重; 由于气候变化和围垦面积增加, 导致湿地资源开始退化和缩减、水质污染严重、植被逆向演替、土壤退化和肥力耗竭、湿地功能明显下降等^[9]。因此, 本文对野鸭湖湿地进行了 REE 含量及分布的相关分析, 不仅丰富和发展了野鸭湖湿地元素地球化学研究, 而且能够揭示野鸭湖湿地化学风化与物理侵蚀过程中的元素特征和物质输送状况, 从而也为该地区的生态环境现状、治理以

收稿日期: 2013-05-30; 修订日期: 2013-08-29

基金项目: 国家自然科学基金(41173113)资助

作者简介: 符颖(1988-), 男, 硕士研究生; 研究方向: 自然地理学

* 通讯联系人(E-mail: jih_0000@126.com)

DOI: 10.11785/S1000-4343.20130616

及管理决策提供了科学依据和基础资料。

1 样品和方法

土壤样品均于 2012 年采自野鸭湖湿地公园及其周边地区,包括耕地、草地、林地、芦苇地和底泥。一共采集 52 个表层土壤样品(0~20 cm),其中耕地样品 15 个,草地样品 11 个,林地样品 7 个,芦苇地样品 2 个,底泥样品 17 个。地理坐标介于 40°22′04″N~40°30′31″N, 115°46′16″E~115°59′48″E 的区域(图 1)。

采集地表向下约 20 cm 深的土壤 A 层,避开明显的局部人为污染地区。样品在 80 °C 烘干,研磨至 200 目待测。测试采用 GB/T14506.30-2010,《硅酸盐岩石化学分析方法》第 30 部分。测试温度为 20 °C,相对湿度为 30%,用 ELEMENT XR 等离子体质谱分析仪测定 REE,上述测试工作在核工业部地质研究院完成。

2 测试结果

测试结果见表 1,REE 主要参数及其与其他

地区沉积物 REE 分馏比较见表 2。其中 La-Nd 为轻稀土(LREE),Sm-Ho 为中稀土(MREE),Er-Lu 和 Y 为重稀土(HREE)。LREE/HREE 为轻、重稀土元素的比值,在一定程度上反映分析样品的轻、重稀土元素的分异程度。同一类岩石中,若该比值较大,说明轻、重稀土分异明显,LREE 相对富集,MREE 则相对亏损。Eu 的异常程度用 δEu 来表示,Ce 的异常程度用 δCe 来表示。其计算公式为^[10]

$$\delta\text{Eu} = \text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N * \text{Gd}_N)^{1/2} \quad (1)$$

$$\delta\text{Ce} = \text{Ce}/\text{Ce}^* = \text{Ce}_N / (\text{La}_N * \text{Pr}_N)^{1/2} \quad (2)$$

N 表示球粒陨石标准化。(La/Yb)_N 是 REE 球粒陨石标准化图解中分布曲线的斜率,反映曲线的倾斜程度,也能表征 LREE 和 HREE 的分异程度。(La/Sm)_N 比值反映了 LREE 之间的分馏程度,该值越大,LREE 越富集。(Gd/Yb)_N 比值反映了 MREE 之间的分馏情况,比值越小,MREE 富集程度越高。



图 1 野鸭湖湿地采样点位置图

Fig.1 Sampling locations of the Yeya Lake

表 1 表层土壤中 REE 含量与其他地区的比较 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^{*}Table 1 Comparison of REE contents in surface soil sediments and other areas ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^{*}

Sampling point	Land type	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	pH	TOC/%
14	Grassland	30.40	56.60	6.41	23.00	4.32	0.96	3.62	0.57	2.76	0.55	1.67	0.27	1.66	0.25	16.80	8.09	1.31
16		32.10	61.40	7.05	25.50	4.93	1.02	4.12	0.65	3.11	0.62	1.91	0.30	1.88	0.28	18.60	8.03	1.48
17		37.30	68.40	7.89	28.00	5.39	1.04	4.56	0.68	3.20	0.64	1.89	0.30	1.84	0.28	18.40	7.75	1.33
18		34.00	64.20	7.22	26.30	4.96	1.03	4.26	0.66	3.22	0.63	1.95	0.31	1.90	0.29	18.90	8.09	1.26
20		39.50	74.90	8.45	29.70	5.76	1.20	4.94	0.76	3.86	0.78	2.30	0.36	2.27	0.35	22.20	8.20	1.63
25		34.50	65.90	7.61	27.50	5.49	1.17	4.60	0.73	3.67	0.73	2.20	0.35	2.16	0.33	20.70	8.22	0.97
30		31.20	57.30	6.62	23.40	4.11	0.97	3.51	0.52	2.44	0.49	1.48	0.23	1.44	0.21	14.10	8.51	0.86
33		30.40	56.20	6.53	23.60	4.41	1.00	3.82	0.60	3.03	0.62	1.87	0.30	1.89	0.28	18.10	8.41	1.19
38		27.50	52.30	6.19	22.60	4.39	0.96	3.71	0.61	3.08	0.62	1.87	0.30	1.84	0.27	18.10	9.45	0.55
41		34.60	63.30	7.44	26.30	4.80	1.08	4.18	0.64	3.11	0.62	1.91	0.30	1.89	0.28	18.40	8.22	0.83
42		32.50	61.60	7.04	25.90	4.83	1.04	4.13	0.65	3.22	0.63	1.94	0.31	1.91	0.29	18.80	8.45	0.86
45		34.80	67.00	7.85	28.00	5.68	1.18	4.80	0.77	3.89	0.77	2.30	0.36	2.20	0.34	22.30	8.23	1.28
47		35.10	67.50	7.88	28.20	5.41	1.10	4.60	0.71	3.84	0.69	2.07	0.33	2.03	0.31	20.00	8.41	1.57
49		31.80	60.00	6.92	25.10	4.82	1.11	4.17	0.68	3.44	0.70	2.09	0.34	2.07	0.32	20.40	8.27	1.02
52	36.90	69.40	7.98	29.10	5.59	1.21	4.79	0.76	3.81	0.76	2.26	0.36	2.18	0.33	22.00	8.36	0.81	
6	Cultivated land	44.80	79.90	8.86	30.50	5.67	1.19	5.06	0.759	3.67	0.74	2.24	0.36	2.18	0.33	21.90	7.96	1.09
7		33.70	64.70	7.50	27.80	5.50	1.16	4.72	0.77	3.98	0.80	2.37	0.37	2.32	0.35	23.00	7.71	1.30
9		32.20	60.70	7.07	25.90	5.03	1.07	4.34	0.71	3.62	0.72	2.15	0.35	2.14	0.32	21.30	8.05	1.02
10		40.80	81.30	9.56	35.40	6.82	1.53	5.77	0.88	4.34	0.86	2.54	0.38	2.36	0.35	24.60	8.24	1.17
11		43.50	80.60	8.84	30.20	5.29	1.18	4.76	0.69	3.24	0.64	1.94	0.30	1.88	0.29	19.10	8.33	2.18
12		43.70	79.80	8.90	29.80	5.27	1.13	4.70	0.67	3.12	0.62	1.92	0.30	1.84	0.28	18.50	7.96	0.85
24		42.30	80.60	9.08	31.50	5.99	1.21	5.20	0.79	3.91	0.78	2.35	0.38	2.35	0.36	22.80	8.30	0.97
28		38.00	74.20	8.46	30.20	5.81	1.28	5.05	0.79	4.03	0.82	2.43	0.39	2.39	0.36	23.50	8.40	1.14
29		34.10	64.20	7.37	26.50	5.09	1.11	4.41	0.70	3.42	0.70	2.08	0.34	2.05	0.31	20.30	8.22	1.71
31		33.40	62.90	7.20	25.50	4.67	1.05	4.08	0.63	3.05	0.61	1.84	0.29	1.80	0.27	17.90	8.15	1.22
35	37.30	67.60	7.77	27.10	5.14	1.11	4.43	0.69	3.19	0.62	1.84	0.29	1.80	0.27	17.80	8.59	0.70	
8	Woodland	32.60	63.00	7.37	26.60	5.30	1.08	4.62	0.74	3.78	0.76	2.23	0.36	2.16	0.33	22.00	7.89	0.90
15		43.50	80.70	9.23	32.00	6.13	1.27	5.31	0.81	3.96	0.79	2.41	0.38	2.34	0.35	23.20	8.25	0.96
21		38.20	68.70	7.74	27.40	5.22	1.12	4.57	0.70	3.54	0.72	2.14	0.34	2.14	0.33	20.90	8.31	1.25
23		40.40	72.20	8.16	28.00	5.01	1.10	4.46	0.65	3.08	0.62	1.88	0.30	1.82	0.27	18.10	8.39	0.28
26		37.70	70.00	8.10	29.10	5.76	1.27	4.92	0.78	3.98	0.80	2.37	0.38	2.30	0.34	23.10	8.36	1.07
32		32.60	61.70	7.13	25.60	4.81	1.10	4.16	0.65	3.21	0.65	1.95	0.31	1.92	0.29	19.10	8.54	1.01
34		29.70	56.20	6.63	24.00	4.51	0.96	3.82	0.59	2.89	0.57	1.73	0.27	1.67	0.25	16.70	8.45	1.10
13	Reed	37.40	69.50	7.69	26.90	5.16	1.11	4.51	0.70	3.50	0.70	2.11	0.34	2.07	0.31	20.30	8.09	1.72
19		30.60	58.50	6.72	24.50	4.79	1.02	4.18	0.67	3.52	0.71	2.08	0.34	2.06	0.30	20.70	8.07	2.59
1	Sediment	33.20	62.8	7.35	26.70	5.31	1.19	4.57	0.74	3.85	0.78	2.30	0.37	2.34	0.35	22.30	7.77	1.01
2		35.00	66.40	7.84	28.00	5.46	1.15	4.63	0.72	3.58	0.72	2.14	0.34	2.12	0.31	20.70	7.13	0.79
3		32.70	60.20	7.10	25.30	4.73	1.06	4.02	0.61	3.04	0.61	1.84	0.29	1.78	0.27	17.60	7.86	0.33
4		26.60	50.60	6.01	23.30	4.21	0.95	3.61	0.57	2.96	0.59	1.81	0.29	1.79	0.27	17.40	7.89	0.77
5		37.70	72.90	8.60	30.50	6.05	1.32	5.16	0.81	4.10	0.80	2.43	0.40	2.35	0.35	23.60	7.96	0.39
14		27.60	53.20	6.15	25.30	4.44	0.92	3.74	0.60	3.09	0.63	1.87	0.31	1.91	0.29	18.30	7.67	1.43
17		27.00	51.30	5.82	25.70	3.98	0.89	3.40	0.55	2.69	0.55	1.65	0.27	1.65	0.25	15.90	7.70	1.70
22		27.60	51.70	5.95	25.40	4.23	0.94	3.64	0.58	2.94	0.59	1.77	0.29	1.75	0.26	17.30	7.97	0.97
27		33.40	64.10	7.43	27.20	5.35	1.17	4.55	0.72	3.68	0.73	2.21	0.36	2.20	0.33	21.30	7.89	1.31
36		31.50	59.60	6.92	25.80	4.94	1.10	4.19	0.67	3.51	0.71	2.11	0.35	2.11	0.32	20.60	7.86	1.05
37		32.20	62.00	7.19	26.40	5.16	1.18	4.39	0.70	3.71	0.75	2.23	0.36	2.19	0.33	21.80	8.42	0.58
39		36.20	67.20	7.82	28.00	5.63	1.20	4.81	0.77	3.92	0.79	2.34	0.38	2.27	0.34	22.80	7.97	2.09
40		33.30	63.20	7.42	26.70	5.21	1.09	4.41	0.69	3.49	0.69	2.08	0.33	2.03	0.30	20.10	8.28	0.92
43		26.10	48.30	5.69	26.40	3.71	0.88	3.15	0.46	2.09	0.40	1.23	0.19	1.14	0.17	11.90	8.23	0.38
44		35.50	67.40	7.81	28.50	5.62	1.17	4.82	0.77	3.88	0.78	2.28	0.36	2.18	0.33	22.20	8.00	1.65
46		34.90	63.70	7.47	26.90	5.37	1.13	4.54	0.71	3.62	0.71	2.12	0.34	2.05	0.31	20.10	8.05	0.64
48		32.90	63.00	7.41	27.00	5.14	1.05	4.35	0.65	3.13	0.62	1.88	0.29	1.76	0.26	17.60	8.04	1.00

Parameters	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
Min	26.10	48.30	5.69	22.60	3.71	0.88	3.15	0.46	2.09	0.40	1.23	0.19	1.14	0.17	11.9
Max	44.80	81.30	9.56	35.40	6.82	1.53	5.77	0.88	4.34	0.86	2.54	0.40	2.39	0.36	24.6
av	34.47	64.81	7.47	27.11	5.12	1.11	4.40	0.69	3.42	0.68	2.05	0.33	2.01	0.30	19.9
σ	4.57	8.29	0.89	2.46	0.60	0.12	0.53	0.08	0.46	0.09	0.26	0.04	0.26	0.04	2.55
cv	0.13	0.13	0.12	0.09	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
PAAS	38.2	79.6	8.8	44.9	5.6	1.1	4.7	0.8	4.7	1.0	2.9	0.4	2.8	0.4	
SDQ	31.0	63.0	7.1	27.0	4.7	1.0	4.0	0.7	3.9	0.8	2.3	0.3	2.0	0.3	
HT	31.5	63.9	6.8	28.0	5.6	1.0	4.5	0.7	3.7	0.7	2.1	0.4	2.1	0.3	
CJ	40.4	81.5	9.5	36.5	7.0	1.6	5.9	0.9	4.8	1.0	2.7	0.4	2.4	0.4	
HH	34.3	69.6	8.2	30.8	6.1	1.2	5.0	0.8	4.3	0.9	2.3	0.3	2.2	0.3	
OJ	58.6	102.3	10.3	38.1	7.5	1.4	6.2	1.0	5.6	1.1	3.2	0.5	3.2	0.5	
ZJ	58.9	114.0	13.2	50.1	9.4	1.7	9.0	1.2	6.0	1.2	3.3	0.5	2.7	0.5	
MGH	43.9	90.1	10.5	39.8	7.6	1.6	6.5	1.0	6.0	1.1	3.3	0.6	3.3	0.5	
YLZBJ	39.3	76.2	8.2	29.3	5.4	1.1	4.7	0.7	4.0	0.9	2.3	0.4	2.3	0.4	
QGPJ	39.7	68.4	7.2	26.4	5.2	1.0	4.6	0.6	4.1	0.9	2.5	0.4	2.4	0.4	

* Min is the minimum value; Max is the maximum value; av is the average value; σ is the standard coefficient; cv is the coefficient of variation

表 2 表层土壤中 REE 主要参数及其与其他地区沉积物 REE 分馏比较*

Table 2 Main indices of REE in surface soil sediments and Comparison of REE fractionations between his study and other area sediments*

Land type	Sampling point	Σ REE	LREE	MREE	LREE/MREE	δ Eu	δ Ce	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
Grassland	14	149.83	116.41	20.64	5.64	0.74	0.98	12.35	4.43	1.76
	16	163.47	126.05	22.97	5.49	0.69	0.98	11.51	4.10	1.77
	17	179.80	141.59	22.70	6.24	0.64	0.96	13.67	4.35	2.00
	18	169.82	131.72	23.34	5.64	0.69	0.99	12.06	4.31	1.81
	20	197.32	152.55	27.47	5.55	0.69	0.99	11.73	4.31	1.76
	25	177.64	135.51	25.74	5.27	0.71	0.98	10.77	3.95	1.72
	30	148.02	118.52	17.47	6.79	0.78	0.96	14.61	4.78	1.97
	33	152.66	116.73	22.45	5.20	0.74	0.96	10.84	4.34	1.63
	38	144.35	108.59	22.38	4.85	0.73	0.96	10.08	3.94	1.63
	41	168.85	131.64	22.79	5.78	0.74	0.95	12.34	4.53	1.78
	42	164.80	127.04	23.26	5.46	0.71	0.98	11.47	4.23	1.74
	45	182.24	137.65	27.50	5.01	0.69	0.98	10.66	3.85	1.76
	47	179.77	138.68	24.74	5.61	0.67	0.98	11.66	4.08	1.83
	49	163.95	123.82	25.21	4.91	0.76	0.97	10.36	4.15	1.63
52	187.43	143.38	27.13	5.28	0.71	0.97	11.41	4.15	1.77	
Cultivated land	6	208.15	164.06	27.01	6.07	0.68	0.97	13.86	4.97	1.87
	7	179.03	133.70	28.41	4.71	0.70	0.98	9.80	3.85	1.64
	9	167.62	125.87	26.26	4.79	0.70	0.97	10.14	4.03	1.64
	10	217.49	167.06	30.23	5.53	0.75	0.99	11.66	3.76	1.97
	11	202.45	163.14	23.51	6.94	0.72	0.99	15.60	5.17	2.04
	12	200.55	162.20	22.84	7.10	0.69	0.97	16.01	5.22	2.06
	24	209.60	163.48	28.24	5.79	0.66	0.99	12.14	4.44	1.79
	28	197.70	150.86	29.07	5.19	0.72	0.99	10.72	4.11	1.71
	29	172.68	132.17	25.07	5.27	0.72	0.97	11.21	4.21	1.74
	31	165.20	129.00	22.10	5.85	0.74	0.98	12.51	4.50	1.83
	35	176.95	139.77	22.00	6.35	0.71	0.96	13.97	4.56	1.99
Woodland	8	172.92	129.57	27.07	4.79	0.67	0.98	10.18	3.87	1.73
	15	212.38	165.43	28.68	5.77	0.68	0.97	12.53	4.46	1.83
	21	183.76	142.04	25.85	5.50	0.70	0.96	12.03	4.60	1.72
	23	186.04	148.76	22.37	6.65	0.71	0.96	14.97	5.07	1.98
	26	190.89	144.90	28.49	5.09	0.73	0.96	11.05	4.12	1.73
	32	165.18	127.03	23.57	5.39	0.75	0.97	11.45	4.26	1.75
	34	150.49	116.53	20.62	5.65	0.71	0.96	11.99	4.14	1.85

Land type	Sampling point	Σ REE	LREE	MREE	LREE/MREE	δ Eu	δ Ce	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
Reed	13	182.30	141.49	25.14	5.63	0.70	0.99	12.18	4.56	1.76
	19	160.69	120.32	25.48	4.72	0.70	0.98	10.01	4.02	1.64
Sediment	1	174.15	130.05	27.66	4.70	0.74	0.97	9.57	3.93	1.58
	2	179.12	137.24	25.62	5.36	0.70	0.96	11.13	4.03	1.76
	3	161.16	125.30	21.78	5.75	0.74	0.95	12.39	4.35	1.82
	4	140.96	106.51	21.56	4.94	0.74	0.96	10.02	3.97	1.63
	5	197.07	149.70	29.13	5.14	0.72	0.97	10.82	3.92	1.77
	14	148.35	112.25	22.68	4.95	0.69	0.98	9.74	3.91	1.58
	17	141.60	109.82	19.72	5.57	0.74	0.98	11.03	4.27	1.66
	22	144.93	110.65	21.37	5.18	0.73	0.97	10.63	4.10	1.68
	27	174.73	132.13	26.39	5.01	0.73	0.98	10.24	3.93	1.67
	36	164.43	123.82	25.49	4.86	0.74	0.97	10.06	4.01	1.60
	37	170.58	127.79	26.90	4.75	0.76	0.98	9.91	3.96	1.62
	39	184.47	139.22	28.12	4.95	0.71	0.96	10.75	4.04	1.71
	40	171.04	130.62	24.84	5.23	0.70	0.97	11.06	4.02	1.75
	43	131.81	106.49	14.63	7.28	0.78	0.95	15.44	4.43	2.23
	44	183.60	139.21	27.35	5.10	0.69	0.97	10.98	3.97	1.78
	46	173.97	132.97	24.92	5.34	0.70	0.95	11.48	4.09	1.79
48	167.04	130.31	21.80	5.98	0.68	0.97	12.60	4.03	1.99	
Parameters		Σ REE	LREE	MREE	LREE/MREE	δ Eu	δ Ce	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
Min		131.81	106.49	14.63	4.70	0.64	0.95	9.57	3.76	1.58
Max		217.49	167.06	30.23	7.28	0.78	0.99	16.01	5.22	2.23
av		173.87	133.87	24.57	5.49	0.71	0.97	11.68	4.24	1.78
σ		19.85	16.03	3.15	0.63	0.03	0.01	1.60	0.34	0.14
cv		0.11	0.12	0.13	0.11	0.04	0.01	0.14	0.08	0.08
Chinese continental sediments		172.11	153.54	18.57	8.27	0.54	0.96	-	-	-

* δ Eu is the abnormal value of Eu; δ Ce is the abnormal value of Ce; (La/Yb)_N is the ratio of La, Yb chondrite normalized values

将研究区稀土元素含量与前寒武纪平均页岩 (PAAS)^[11]、上地壳(SDQ)^[11]、黄土(HT)^[12]、长江(CJ)^[12]、黄河(HH)^[13]、瓯江(OJ)^[14]、珠江(ZJ)^[15]、湄公河(MGH)^[13]、雅鲁藏布江(YLZBJ)^[16]和全国平均值(QGPJ)^[17]中稀土元素含量进行比较(表1)。结果显示,研究区REE平均含量显著高于上地壳、黄土及黄河,与雅鲁藏布江相接近,明显低于PAAS、长江、瓯江、珠江及湄公河。与全国平均值相比,LREE含量高于全国平均值而MREE含量低于全国平均值。

从表中得出该地区 Σ REE为131.81~217.49 mg·kg⁻¹,平均值为173.87 mg·kg⁻¹与中国大陆沉积物值172.11 mg·kg⁻¹^[18]近似。高值主要分布在研究区人类活动影响较大的地区。LREE总量平均值为133.87 mg·kg⁻¹,最小值和最大值分别为106.49和167.06 mg·kg⁻¹;在耕地类型中,LREE含量普遍偏高;而林地中除西五营村含量较高外,

林地其他采样点含量相差不大。HREE总量平均值为24.57 mg·kg⁻¹,最小值和最大值分别为14.63和30.23 mg·kg⁻¹;底泥中MREE含量差异较大;草地类型中除西树林村MREE含量偏低外,其他采样点与平均值接近;耕地类型中MREE含量亦普遍偏高。不同土地类型REE含量见表3。

表3中耕地REE含量最高为217.49~165.20 mg·kg⁻¹,平均在190.67 mg·kg⁻¹,其中张山营镇耕地含量最高,为217.49 mg·kg⁻¹;底泥中REE含量最低为197.07~131.81 mg·kg⁻¹,平均在165.24 mg·kg⁻¹。表2的计算表明,LREE/MREE介于4.70~7.28,说明样品中的LREE富集程度较高,同时由表3看出耕地分馏程度最显著,平均值达到5.78。所有土地类型均有明显的Eu负异常,Ce无异常。

分别将草地、耕地、林地、芦苇地和底泥中14种REE用球粒陨石标准化后绘制出各自的REE分

表3 不同植被区表层土壤 REE 主要参数

Table 3 Main indices of REE in surface soil of different vegetation area

Land type		Σ REE	LREE	MREE	LREE/MREE	δ Eu	δ Ce	$(La/Yb)_N$
Grassland	Min	144.35	108.59	17.47	4.85	0.64	0.95	10.08
	Max	197.32	152.55	27.50	6.79	0.78	0.99	14.61
	av	168.66	130.00	23.72	5.51	0.71	0.97	11.70
Cultivated land	Min	165.20	125.87	21.996	4.71	0.66	0.96	9.79
	Max	217.49	167.06	30.228	7.10	0.75	0.99	16.01
	av	190.67	148.31	25.88	5.78	0.71	0.98	12.51
Woodland	Min	150.49	116.53	20.62	4.79	0.67	0.96	10.18
	Max	212.38	165.43	28.68	6.695	0.75	0.98	14.97
	av	180.24	139.18	25.24	5.55	0.71	0.97	12.02
Reed	Min	160.69	120.32	25.14	4.72	0.70	0.98	10.01
	Max	182.30	141.49	25.48	5.63	0.70	0.99	12.18
	av	171.50	130.91	25.309	5.18	0.70	0.98	11.10
Sediment	Min	131.81	106.49	14.63	4.70	0.69	0.95	9.57
	Max	197.07	149.70	29.13	7.28	0.78	0.99	15.44
	av	165.24	126.12	24.12	5.30	0.73	0.97	11.05

布模式图并与黄土、长江、黄河、珠江、瓯江、湄公河的球粒陨石标准化结果进行比较(图2)。

从草地的标准化配分模式图可以看出,所有采样点球粒陨石标准化曲线均表现为右倾斜,西树林村 MREE 含量明显低于其他采样点。分馏特征值 $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 和 $(La/Yb)_N$ 分别为 3.85~4.78, 1.63~2, 10.08~14.61, 呈 LREE 富集。

耕地、林地和芦苇地的标准化配分模式与草地基本一致。耕地分馏特征值 $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 和 $(La/Yb)_N$ 分别为 3.76~5.22, 1.64~2.06, 9.8~16.01; 林地分馏特征值 $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 和 $(La/Yb)_N$ 分别为 3.87~5.07, 1.72~1.98, 10.18~14.97; 芦苇地分馏特征值 $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 和 $(La/Yb)_N$ 分别为 4.02~4.56, 1.64~1.76, 10.01~12.18。图2中耕地与芦苇地中 MREE 与球粒陨石比值的最小值均在 10 以上,而草地、林地和底泥中 MREE 与球粒陨石比值的最小值均在 10 以下。耕地中除张山营镇 REE 含量稍微偏高外,各采样点 REE 含量相差不大,林地中各采样点 LREE 含量差别不大, MREE 配分模式基本一致,但 MREE 含量相差较大。底泥中 43 号野鸭湖采样点 MREE 含量明显低于其他采样

点,其他采样点配分模式基本一致,分馏特征值 $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 和 $(La/Yb)_N$ 分别为 3.91~4.42, 1.58~1.99, 9.57~15.44, 呈 LREE 富集模式。野鸭湖湿地 δ Eu 为 0.64~0.78, δ Ce 为 0.95~0.99。

3 讨论

3.1 土壤中 REE 含量分布与分异作用

由表1得出,单个样品之间的 REE 丰度差别不大,反映了同一地区内沉积物的物源组成的相似性。该地区 Σ REE 的平均值与中国大陆沉积物值 $172.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 近似,说明物源主要来自陆地。其中,耕地与林地的 Σ REE 高于平均值并略有差别。与全国平均值相比, LREE 含量高于全国平均值而 MREE 含量低于全国平均值,由于官厅水库目前受到污染较为严重,推测与野鸭湖受官厅水库影响较大有关。

沉积物的粒度和源岩组成是影响 REE 含量的主要因素,野鸭湖湿地土地类型属于褐土和潮褐土,潮土本身质地较砂,元素在土壤中的保蓄能力较差。由于该地区最初物源一致,由表3数据表明,人类活动影响是造成不同土地类型 REE 含量不同的原因。

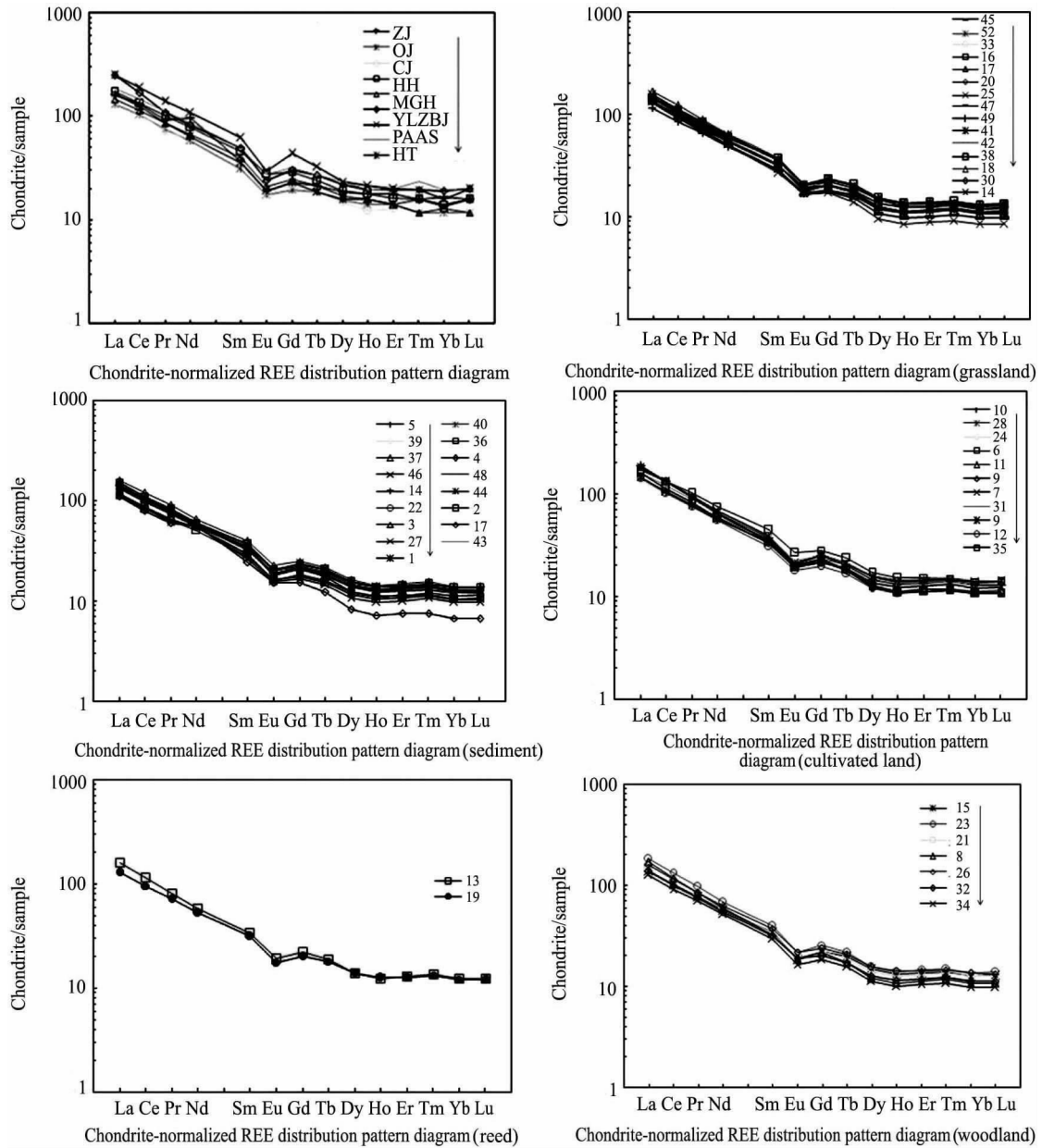


图2 野鸭湖湿地 REE 球粒陨石标准化配分图

Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution pattern of samples

成土母质、pH 值、有机质、黏土矿物等都会影响 REE 在土壤中的分馏^[19]。此外，一方面，风化过程中 HREE 较 LREE 更易在溶液中形成重碳酸盐和有机络合物，优先被溶解迁移，而 LREE 则被黏土优先吸附，使轻重稀土发生分异，LREE 相对富集，MREE 亏损有关^[20]。另一方面，LREE/MREE 比值能够反映沉积环境及物质来源特征：来自陆源的沉积物相对富集 LREE，且 LREE/HREE 比值高；深海沉积物、大洋玄武岩的 LREE/HREE 比值低，轻重稀土的分馏程度不明显^[21-22]。该地区 LREE/

MREE 平均值 5.49，远小于中国大陆沉积物值 8.27，而大于黄河三角洲滨海湿地值 4.52^[23]。

推测野鸭湖湿地 LREE/MREE 值既保留了成岩过程的生物化学过程，在很大程度上又受到外界活动影响。此外，野鸭湖湿地中底泥作为一种缓冲剂，其富含的 REE 能被水体中其他生物稀释，可能引起水质下降，甚至造成对水体的污染。

3.2 REE 配分模式

通常采用一个共同的 REE 数据作为参照标准对样品的 REE 含量进行标准化^[24]。最常用的标准化数

据是球粒陨石的 REE 数据。本文采用 Geokit 程序计算草地、耕地、林地、芦苇地和底泥中 14 种 REE 标准化数值并生成相应的标准化配分模式图(图 2)^[25]。由表 1 得知,该地区 REE 遵循 Od-do-Harkins 法则,即土壤中,原子序数为偶数的稀土元素含量大于相邻的原子序数为奇数的稀土元素含量。对 REE 标准化后能消除图形中元素间“一高一低”现象。

从 REE 的球粒陨石标准化配分图来看(图 2),各土壤类型样品的配分曲线均表现出整体右倾的趋势,LREE 的变化趋势陡峭,MREE 的变化趋势相对平缓,LREE 相对于 MREE 富集明显,Eu 在曲线中下凹,表现为负异常,Ce 异常不明显,符合陆源沉积物的 REE 典型特征^[26]。配分曲线的总体变化除个别采样点有轻微异常外,总体趋势一致,说明整个研究区后期所处环境一样。

3.3 REE 分布特征

由于 REE 自身各元素间的差异,在成土过程

中 REE 受到温度、pH 值、湿度、土壤盐分等环境因素影响,同时与土壤中的次生矿物、微生物和植物发生各种物理、化学、生物化学作用而导致其相对丰度发生改变,产生了 REE 的分馏^[27]。野鸭湖湿地地区土壤普遍呈弱碱性,不利于轻重稀土分馏,轻重稀土平均比值为 5.49,小于全国平均值 9.28。

图 3 为野鸭湖湿地中 pH 与草地、耕地、林地和底泥的 Σ REE 关系图。可以很明显地看出该地区土壤中 REE 含量与 pH 值关系不大,其中底泥 REE 与 pH 相关系数几乎为 0。结合表一,不难发现随着有机碳含量的增加, Σ REE 有增多的趋势。由于正常水体中,大部分胶体和颗粒物都带有负电荷,能够吸附水体中的阳离子,颗粒物含量越多对稀土的吸附能力越强^[28]。一般来说,pH 值对水体中稀土含量以及分异有着非常重要的影响,REE 的吸附/解吸受 pH 的强烈控制^[28~31]。野鸭湖湿地

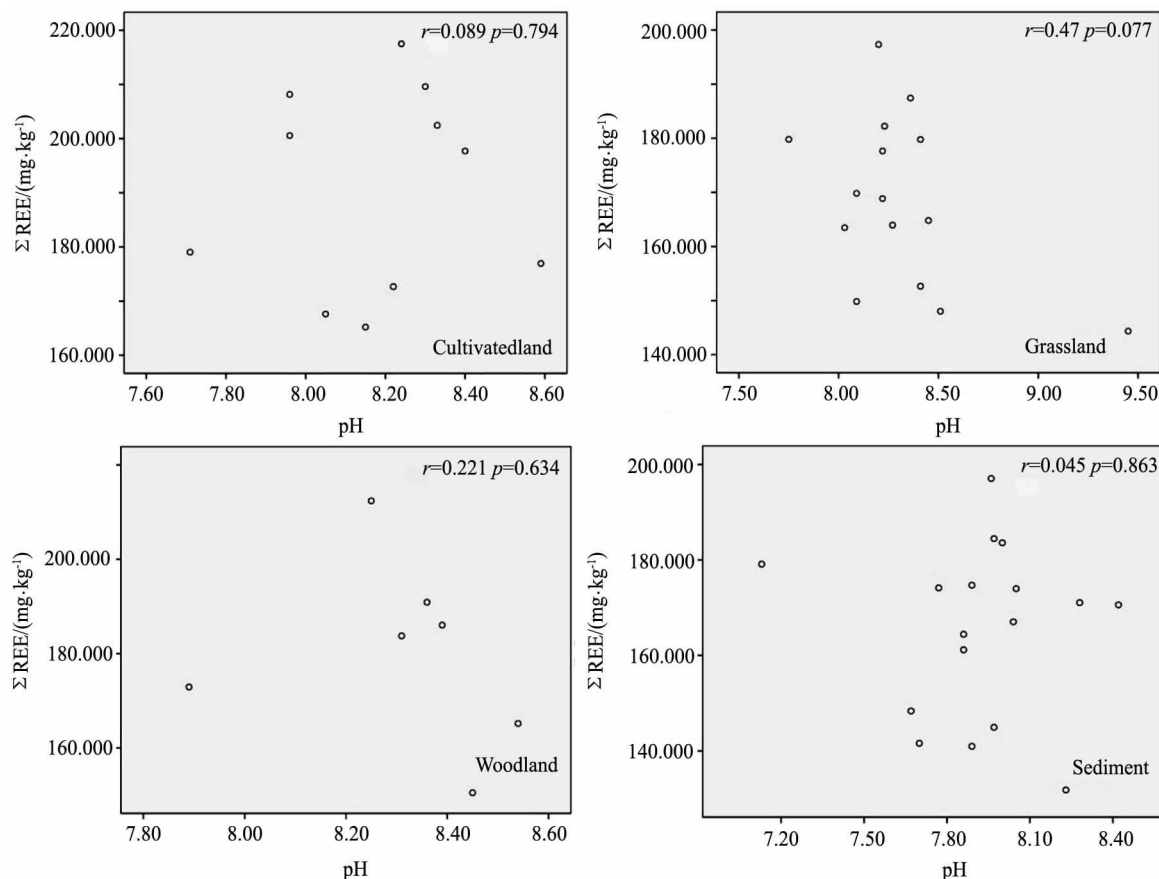


图 3 野鸭湖湿地 Σ REE 与 pH 值的相关关系图

Fig. 3 Correlation between concentrations of samples and pH

公园内湖边底泥与 pH 不相关,而且一般 pH 值较高的水体中稀土含量较低^[32,33],而该地区在 pH 值超过 8.1 后部分底泥样点 Σ REE 依旧较高,推测该地区水体环境受到较为严重的外部污染。此外,野鸭湖湿地公园紧邻官厅水库,目前官厅水库水质较差推测对野鸭湖湿地公园也有一定影响。

图 4 为野鸭湖湿地中草地、耕地、林地跟底泥 Σ REE 与 TOC 的相关关系图,耕地与底泥中 REE 与 TOC 具有很好的正相关性,林地中 REE 与 TOC 具有较好的负相关,而草地中 REE 含量显示与 TOC 不相关。

成岩作用可以改变 Ce 异常值,导致 δ Ce 与 δ Eu 表现出较好的相关性、 δ Ce 与 Σ REE 表现出较好的正相关性特征。一般而言,REE 具有较好的稳定性,较少受到成岩作用的改变,在相关学者已对此进行过可行性验证的基础上^[34,35],本探究对全

部样品的 δ Ce 与 δ Eu 及 Σ REE 进行相关性分析,结果显示 δ Ce 与 δ Eu 的相关系数(r)仅为 -0.194 ,而 δ Ce 与 Σ REE 的相关性系数(r)为 0.306 (图 5),表明成岩作用的影响不明显^[36]。

3.4 Ce 与 Eu 异常

由表 2 得知,经球粒陨石标准化后 Eu 有明显的负异常,Ce 无异常。一般 REE 大多呈正三价状态,但 Eu 特殊,既可呈三价,也可呈二价。Eu 在二价状态下,性质发生改变,与其他三价 REE 发生分离而出现异常行为。Ce 与 Eu 类似,Ce 除三价状态外,在氧化条件下还可呈四价状态,而与其他 REE 发生分离。在岩石分化过程中,在弱酸性条件下,Ce⁴⁺ 极易水解而在原地停留下来,使淋出的溶液贫 Ce。因此, δ Eu 和 δ Ce 是反映环境的重要参数。通过表 1 可以得出所测土壤均为弱碱性,与以上描述相符。野鸭湖湿地地区因常年处于还原环

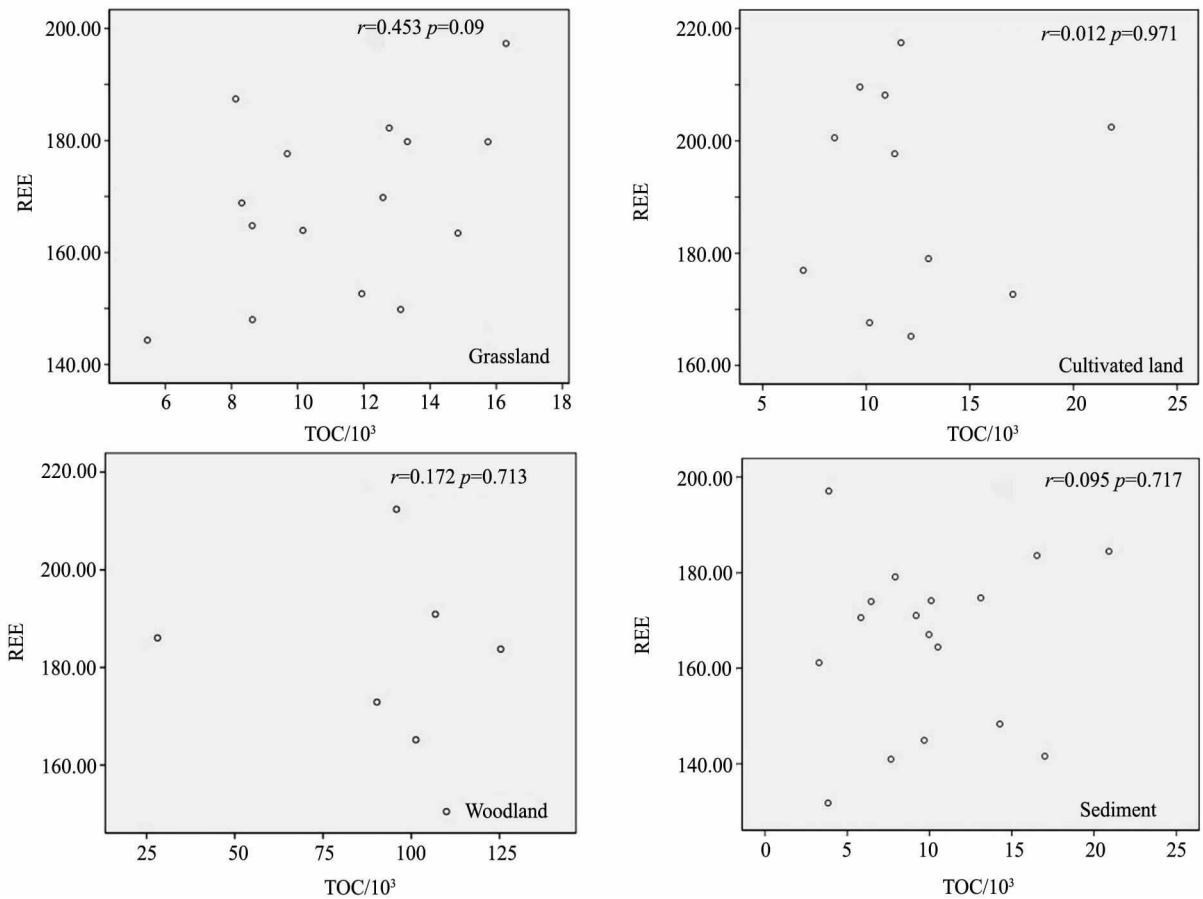


图 4 野鸭湖湿地 Σ REE 与 TOC 的相关关系图

Fig. 4 Correlation between concentrations of samples and TOC

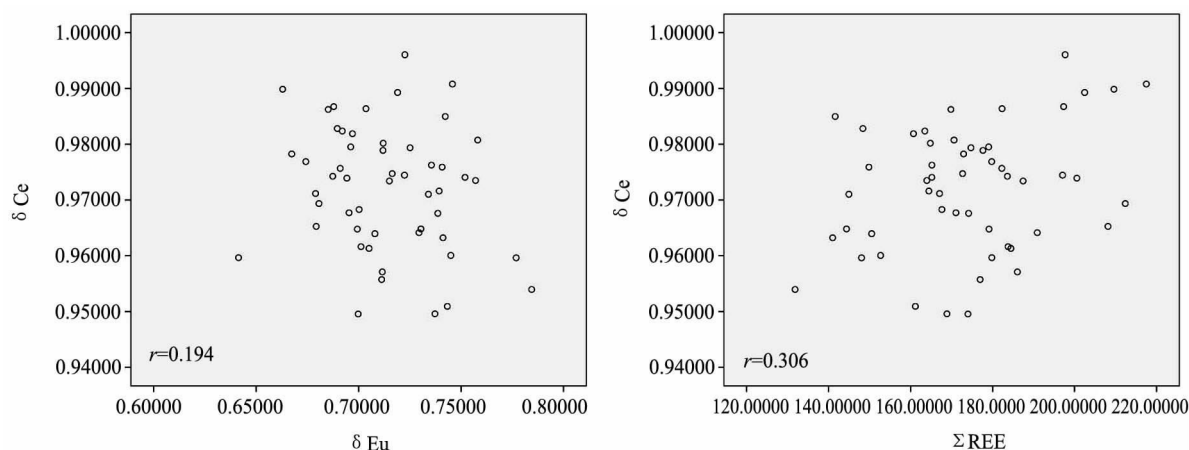


图5 样品的 δCe 与 δEu , δCe 与 ΣREE 相关性图

Fig. 5 Correlation between δCe and δEu , δCe and ΣREE

境中, Ce 未被氧化成 Ce^{4+} 而流失; Eu 因其特殊性能呈二价态而被还原, 导致与其他三价的 REE 发生分离而亏损。

3.5 不同土地类型下 REE 差异

根据不同区域主要植被的不同, 对植被区表层土壤中 REE 含量进行了统计, 其主要参数见表 3。

从表 3 可以看出, 耕地与林地 REE 含量明显多于其他土地类型, 由于有机质是 REE 最强的吸附剂之一, 在磷酸盐碎中, REE 的最高含量产生在富含有机质的地段^[37], 推测耕地与林地中有机质含量较多。此外耕地与林地中轻重稀土分异程度也高于其他土地类型, 鉴于影响植物中 REE 分馏作用的因素主要是土壤的副矿物成分和植物的生理化学特性, 植物中 REE 的分布因其种类不同而有很大差别^[27], 耕地与林地作物生长周期一般较短, 植物对土壤中物质成分的选择吸收有可能导致轻重稀土分异程度增大^[38]。所有土地类型的 δEu 和 δCe 平均值无较大区别, 表明该地区土壤环境未有明显变化, 同时其物质来源应该一致。

4 结 论

1. 研究区 δEu 和 δCe 与中国大陆沉积物 δEu 和 δCe 一致; PH 值显示弱碱性, 轻重稀土比值较小, 与该地区 Eu 呈负亏损相一致。土壤质地疏松,

土壤粒级较大, ΣREE 低于全国平均值。

2. 研究区表层土壤 REE 分馏程度远小于中国大陆沉积物值 8.27 而大于黄河三角洲滨海湿地值 4.52; 该研究区数据显示 ΣREE 与 PH 不相关, 林地、耕地与底泥中 ΣREE 与 TOC 相关性较好, 草地中 ΣREE 与 TOC 不相关, 推测外源污染物质对其影响占主要地位; 通过分析数据表明该地区成岩作用对 REE 影响不明显; 此外, 数据表明底泥中 ΣREE 含量比其他土地类型要少, 而 δEu 的值变化不大, 推测水源污染及居民活动对其影响较大, 底泥中 REE 被水体中其他生物稀释, 导致底泥中 ΣREE 含量较其他土地类型要少, 植物生长富营养化反映了该地区水体现状污染较为严重。此外, 官厅水库虽然不再作为水源地提供生活用水, 但作为灌溉用水其仍有重要地位, 相关部门应加强重视。

3. 本文样品的球粒陨石配分曲线具有轻稀土富集、重稀土亏损、配分曲线整体右倾的陆源沉积物典型特征。不同土地类型样品的配分曲线变化趋势表现出高度的一致性, 表明样品具有同源性。稀土元素分馏差异的细微差别表明不同植物对 REE 具有选择吸收作用。

4. 研究区表层土壤中 ΣREE , LREE, MREE 均表现为耕地 > 林地 > 芦苇地 > 草地 > 底泥, 而分馏程度耕地最大, 林地与草地近似, 芦苇地最

小,推测湿地环境、植物类型与人工影响对 REE 分布及分馏影响较大。

参考文献:

- [1] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优化领域与展望 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 508.
Yang Y X. New Knowledge On The Progress Of International Wetland Science Research And Priority Field And Prospect Of Chinese Wetland Science Research [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(4): 508.
- [2] 王立军, 张朝生, 章申. 珠江广州江段水体中稀土元素的地球化学特征 [J]. 地理学报, 1998, 53(5): 453.
Wang L J, Zhang C S, Zhang S. Geochemical characteristics of rare earth elements in the Guangzhou section of the Pearl River water [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(5): 453.
- [3] 王中良, 刘从强. 长江口水体混合过程中溶解态稀土元素分布特征 [J]. 科学通报, 2000, 45(12): 1322.
Wang Z L, Liu C Q. Distribution characteristics of dissolved rare earth element water mixing process in the Changjiang Estuary [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(12): 1322.
- [4] 刘季花, 梁宏峰, 夏宁, 宋苏顷. 东太平洋深海沉积物小于 2 μm 组分的稀土元素地球化学特征 [J]. 地球化学, 1998, 27(1): 49.
Liu J H, Liang H F, Xia N, Song S Q. REE geochemistry of < 2 μm fractions in deep-sea sediments from East Pacific [J]. Geochimica, 1998, 27(1): 49.
- [5] Cullers R L. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, from uplifted continental block in Colorado to platform sediment in Kansas, USA [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1994, 58(22): 4955.
- [6] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes [J]. Rev. Mineral, 1989, 21: 169.
- [7] 吴晶, 冯秀娟. 稀土元素对植物的生物有效性研究进展 [J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(4): 37.
Wu J, Feng X J. Progress in the Plant Ecological effects of rare earth elements [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2012, 30(4): 37.
- [8] 王颖, 宫辉力, 赵文吉, 李小娟, 张志峰, 赵微. 北京野鸭湖湿地资源变化特征 [J]. 地理学报, 2005, 60(4): 656.
Wang Y, Gong H L, Zhao W J, Li X J, Zhang Z F, Zhao W. The change of Yeyahu wetland resources in Beijing [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4): 656.
- [9] 张明亮, 焦土兴. 我国生态环境退化的问题分析及对策 [J]. 国土与自然资源研究, 2003, (2): 32.
Zhang M L, Jiao T X. Analysis and countermeasures of the degraded environment and ecosystem in China [J]. Territory & Natural Resources Study, 2003, (2): 32.
- [10] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989. 88.
Wang Z G, Yu X Y, Zhao Z H. Geochemistry of Rare Earth Elements [M]. Beijing: Science Press, 1989. 88.
- [11] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. 1 edn Palo Alto, CA: Blackwell Scientific Publisher, 1985.
- [12] 李徐生, 韩志勇, 杨达源, 陈曰友. 镇江下蜀黄土的稀土元素 [J]. 地球化学特征研究, 2006, 43(1): 1.
Li X S, Han Z Y, Yang D Y, Chen Y Y. REE Geochemistry of XiaShu loess in Zhenjiang [J]. Jiangsu Province, 2006, 43(1): 1.
- [13] Gaillardet J, Dupre B, Allegre C J. Geochemistry of large river suspended sediment: Silicate weathering or recycling tracer [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1999, 63(23-24): 4037.
- [14] 徐方建, 李安春, 徐兆凯, 肖尚斌, 万世明, 刘建国. 东海内陆架沉积物稀土元素地球化学特征及物源意义 [J]. 中国稀土学报, 2009, 27(4): 574.
Xu F J, Li A C, Xu Z K, Xiao S B, Wang S M, Liu J G. Rare earth element geochemistry in inner shelf of the east China sea and implication for sediment provenance [J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2009, 27(4): 574.
- [15] Zhang C, Wang L. Multi-element geochemistry of sediments from the Pearl River system, China [J]. Appl.

- Geochem. ,2001 ,16(9-10) : 1251.
- [16] Li C ,Kang S ,Zhang Q , et al. Rare earth element in the surface sediments of the Yarlung Tsangbo (Upper Brahmaputra River) sediments , southern Tibetan Plateau [J]. Quat. Int. ,2009 ,208(1-2) : 151.
- [17] 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. 85.
Xing G X ,Zhu J G. Soil Trace Element and Rare Earth Element Chemistry [M]. Beijing: Science Press , 2003. 85.
- [18] 赵一阳,鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学 [M]. 北京: 科学出版社,1994. 130.
Zhao Y Y ,Yan M C. China Marine Sediment Geochemistry [M]. Beijing: Science Press ,1994. 130.
- [19] 章海波,骆永明,赵其国,张甘霖,黄铭洪. 香港土壤研究 V. 稀土元素的地球化学特征 [J]. 土壤学报, 2006 ,43(3) : 383.
Zhang H B ,Luo Y M ,Zhao Q G ,Zhang G L ,Huang M H. Hong Kong soil researches V. Geochemical characteristics of rare earth elements [J]. Acta Pedologica Sinica ,2006 ,43(3) : 383.
- [20] 宋云华,沈丽璞,王贤觉. 某些岩石风化壳中稀土元素的初步探讨 [J]. 科学通报,1987 ,32(9) : 695.
Song Y H ,Shen L P ,Wang X J. Preliminary study of rare earth elements in some weathering crust [J]. Chinese Science Bulletin ,1987 ,32(9) : 695.
- [21] Frey F A ,Haskin L. Rare earths in oceanic basalts [J]. J. Geophys. Res. ,1964 ,69(4) : 775.
- [22] 王金土. 黄海表层沉积物稀土元素地球化学 [J]. 地球化学,1990 ,(1) : 44.
Wang J T. REE geochemistry of surficial sediments from the yellow sea of China [J]. Geochimica ,1990 ,(1) : 44.
- [23] 庞守吉,叶思源,苏新,赵广明. 黄河三角洲滨海湿地表层土壤稀土元素分布特征 [J]. 地球学报, 2008 ,29(5) : 607.
Pang S J ,Ye S Y ,Su X ,Zhao G M. REE distribution characteristics of coastal wetlands surface soil from the yellow river delta [J]. Acta Geoscientica Sinica ,2008 , 29(5) : 607.
- [24] Masuda A. Regularities in variation of relative abundances of lanthanide elements and an attempt to analyse separation-index patterns of some minerals [J]. Earth Sci. Nagoya Univ. ,1962 ,(10) : 173.
- [25] 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包 [J]. 地球化学,2004 ,33(5) : 459.
Lu Y F. GeoKit—A geochemical toolkit for Microsoft Excel [J]. Geochimica ,2004 ,33(5) : 459.
- [26] 蓝先洪,申顺喜. 南黄海中部沉积岩心的稀土元素地球化学特征 [J]. 海洋通报,2002 ,21(5) : 46.
Lan X H ,Shen S X. Geochemical characteristics of rare earth elements of sediment cores from the central south yellow sea [J]. Marine Science Bulletin ,2002 , 21(5) : 46.
- [27] 陈莹,王晓蓉. 稀土元素分馏作用研究进展 [J]. 环境科学进展,1999 ,7(1) : 10.
Chen Y ,Wang X R. The research progress of fractionation among the rare earth elements [J]. Advances in Environmental Science ,1999 ,7(1) : 10.
- [28] 朱兆洲,王中良,高博,王仕禄. 巢湖的稀土元素地球化学特征 [J]. 地球化学,2006 ,35(6) : 639.
Zhu Z Z ,Wang Z L ,Gao B ,Wang S L. Geochemical characteristics of rare earth elements in Lake Chaohu , East China [J]. Geochimica ,2006 ,35(6) : 639.
- [29] Xu Z F ,Han G L. Rare earth elements (REE) of dissolved and suspended loads in the Xijiang River , South China [J]. Appl. Geochem. ,2009 ,24(9) : 1803.
- [30] Dupre B ,Gaillardet J ,Rousseau D ,Allegre C J. Major and trace elements of river-borne material: The Congo Basin [J]. Geochim. Cosmochim. Acta ,1996 ,60(8) : 1301.
- [31] Sholkovitz E R. The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries [J]. Aquat. Geochem. , 1995 ,1(1) : 1.
- [32] Goldstein S J ,Jacobsen S B. Rare earth elements in river waters [J]. Earth Planet. Sci. Lett. ,1988 ,89 (1) : 35.
- [33] Han G L ,Liu C Q. Dissolved rare earth elements in river waters draining karst terrain in Guizhou Province , China [J]. Aquat. Geochem. ,2007 ,13(1) : 95.
- [34] 刘士林,刘蕴华,林舸,周叶,龚发雄,张德圣. 渤海湾盆地南堡凹陷新近系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义 [J]. 现代地质,2006 ,20 (3) : 449.

- Liu S L , Liu Y H , Lin K , Zhou Y , Gong F X , Zhang D S. REE geochemical characteristics and geological significance of mudstones from Neogene Nanpu Sag , Bohai Basin [J]. *Geoscience* , 2006 , 20(3) : 449.
- [35] 李 军 , 桑树勋 , 林会喜 , 陈世悦 , 苗 耀 , 杨 勇. 渤海湾盆地石炭二叠系稀土元素特征及其地质意义 [J]. *沉积学报* , 2007 , 25(4) : 589.
- Li J , Sang S X , Lin H X , Chen S Y , Miao Y , Yang Y. REE characteristics and its geological significance of the Permo-Carboniferous in Bohaiwan Basin [J]. *Acta Sedi-mentologica Sinica* , 2007 , 25(4) : 589.
- [36] 苗卫良 , 邵 磊 , 庞 雄 , 雷永昌 , 乔培军 , 李 昂 , 吴旻哲. 南海北部渐新世以来的稀土元素地球化学特征及其意义 [J]. *海洋地质与第四纪地质* , 2008 , 28(2) : 71.
- Miao W L , Shao L , Pang X , Lei Y C , Qiao P J , Li A , Wu W Z. REE geochemical characteristics in the northern south China sea since the Oligocene [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology* , 2008 , 28(2) : 71.
- [37] 王中刚 , 于学元 , 赵振华. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社 , 1989b. 271.
- Wang Z G , Yu X Y , Zhao Z H. *Geochemistry of Rare Earth Elements* [M]. Beijing: Science Press , 1989b. 271.
- [38] 余海兵 , 王金顺 , 刘 正 , 王 波 , 韦文联. 农用稀土施用量、宽窄行配置对鲜食糯玉米产量构成因素及品质的影响 [J]. *中国稀土学报* , 2013 , 31(1) : 102.
- Yu H B , Wang J S , Liu Z , Wang B , Wei W L. Effect of rare earths of agriculture. wide-narrow row spacing cultivation on components of yield and quality in fresh eating maize [J]. *Journal of the Chinese Society of Rare Earths* , 2013 , 31(1) : 102.

REE Content and Distribution Characteristics of Wetlands Surface Soil from Yeya Lake

Fu Ying¹ , Ji Hongbing^{1 2*} , Liang Xiatian¹ , Zhang Nan¹ (1. *The Key Laboratory of Metropolitan Eco-Environmental Processes , College of Resource Environment and Tourism , Capital Normal University , Beijing 100048 , China*; 2. *State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 , China*)

Abstract: This paper studied REE distribution characteristics and ecological effects of 52 surface soil samples collected from the wetlands of Yeya Lake. The results indicated that REE contents in surface soil of this area ranged from 131.81 to 217.49 mg·kg⁻¹ , with an average of 173.87 mg·kg⁻¹. Fractionation of REE was in larger extent , even the lowest fractionation reached 4.70 in Dong xiaoying. The δEu value ranged 0.64 to 0.78 in the study area , meaning negative anomalies. The δCe value ranged 0.95 to 0.99 , meaning without anomalies , matched the soil in the region which is a reducing environment. Correlation between δCe and δEu , δCe and $\sum\text{REE}$ showed that the diagenesis of the impact was not obvious. REE in the area had little correlation with pH , but a good correla-

Key words: Yeya Lake; wetland; REE

tion with TOC. Chondrite-normalized pattern of REE showed that the typical enrichment of light REEs (La to Nd) was relative to that of heavy REEs (Er to Lu) . The graphic curve was right tilt. In different vegetation areas , the average content of $\sum\text{REE}$, LREE and HREE was in order of common cultivated land > woodland > reed > grassland > sediment. However , fractionation was in order of cultivated land > woodland > grassland > sediment > reed. The authors thus consider that the wetland environment and artificial have a larger influence on REE distribution and fractionation. In the wetland environment , the REE might have taken a more important part in geochemical cycle.