

# 酸雨胁迫及稀土农用条件下菠菜及其土壤中稀土元素的赋存<sup>\*</sup>

严重玲<sup>1\*</sup>, 洪业汤<sup>2</sup>, 林鹏<sup>1</sup>, 王世杰<sup>2</sup>, 梁洁<sup>1</sup>, 李裕红<sup>1</sup>, 陈英华<sup>1</sup>

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 中国科学院环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 利用盆栽实验研究了酸雨胁迫、稀土农用条件下, 菠菜及其土壤中稀土元素的含量及分布特征。结果表明: 菠菜地上部分的 REE 含量为 0.527~0.696  $\mu\text{g g}^{-1}$  之间, 地下部 2.668~3.003  $\mu\text{g g}^{-1}$ 。土壤 229.09~250.3  $\mu\text{g g}^{-1}$ 。酸雨明显地影响作物对 REE 的吸收和利用, 酸度越大, 影响越明显。随着酸雨酸度的增大、植株体内、土壤中的 REE 受淋洗的作用加强而表现出 REE 的总量随着 pH 的减小而逐渐减少。施用稀土后, 植株的地上或地下部分及其土壤中的 REE 含量均与对照的土壤中的 REE 分配模式基本相同, 遵循稀土元素分布丰度的奇偶 (Oddo-Harkins) 规则、轻稀土富集, Eu 弱负异常, 富铈配分型, 表明稀土元素仍然主要来自土壤并受其影响。

关键词: 稀土; 酸雨; 菠菜; 土壤

中图分类号: O614.33 文献标识码: A 文章编号: 1000-4343(2002)03-0274-05

酸雨对植物的影响<sup>[1~3]</sup>及稀土农用<sup>[4~7]</sup>的研究已有很多报道, 利用 REE 作为植物在酸雨胁迫下的化学调控或防护酸雨胁迫对植物影响的探索<sup>[8, 10]</sup>亦有零星报道。本研究以菠菜为材料, 研究酸雨胁迫、稀土农用条件下, 菠菜植株及其土壤中 REE 的赋存。为酸雨高发区制定 REE 的环境容量和为能否利用 REE 作为提高植物抗酸雨胁迫能力的农业措施提供科学的理论依据。

## 1 材料和方法

选择中国酸雨多发区常见并对酸雨敏感的植物菠菜<sup>[2]</sup> (*Spinacia oleracea*) 华菠 1 号为研究材料; 供试土壤为黄壤, 有机质含量 3.69%, pH 5.2; 供试稀土由河南商丘稀土微肥厂提供, 元素组成见表 1。酸雨配置及喷洒: 模拟西南地区自然降雨中各离子浓度比 (表 2), 用稀硫酸液配置<sup>[8]</sup>, 根据该地区菠菜生育期中自然降雨量的平均数进行喷洒, 每周 2 次, 每次酸雨量 10 mm, 酸雨设置 4 个处理组 (pH 4.0, 3.5, 3.0, 2.5) 另再设一个 pH 6.5、施用稀土和 pH 6.5、不施用稀土 (CK) 的两个处理组。稀土农用设置稀土 0.01%, 0.03%, 0.05% 叶喷和 0.03%, 0.05% 浸种 (浸 16 h, 阴干

表 1 供试稀土元素含量

元素	含量/ %	元素	含量/ %	元素	含量/ %
La	21.32~22.87	Nd	12.85~14.57	Eu	<0.086
Er	<0.087	Ce	39.08~41.51	Sm	<0.258
Tb	<0.081	Yb	<0.087	Pr	4.14~4.97
Dy	<0.087	Ho	<0.087	Lu	<0.089
Y	<0.078				

后播种) 5 个系列, 在 30 cm × 25 cm (上口直径 × 高) 的营养钵中 (15 株/盆), 每处理 5 次重复, 进行盆栽。以简易塑料棚遮盖, 使之不受自然降雨的影响。在菠菜成苗期分别测定其地上、地下部分及土壤中 REE 的全量和分量。称取 0.5 g 样品于瓷坩锅中, 在马弗炉中于 550 °C 灰化, 用 HNO<sub>3</sub>: 提取于 25 ml 塑料管中, 加入 250  $\mu\text{g}$  In (铟) 作内标, 稀释至刻度, 用德国 Finnigan Mat 公司生产的高分辨等离子质谱仪 (ICP-MS) 测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 菠菜植株及其土壤中 REE 的含量及组成

表 2 酸雨离子浓度 ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
15	18	50	15.5	40.5	36.5	140	21	7.5	7

\* 收稿日期: 2001-07-26; 修订日期: 2001-11-26

基金项目: 国家自然科学基金 (49833002) 和中国博士后基金资助项目

作者简介: 严重玲 (1959-), 博士, 教授 (博导), 研究方向: 环境生物学和污染生态学

\* 通讯联系人 (E-mail: ycl@xmu.edu.cn)

实验结果(表 3)表明:酸雨及稀土农用条件下,菠菜地上部的 REE 含量为 0.527 ~ 0.696  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 地下部的 REE 含量 2.668 ~ 3.003  $\mu\text{g g}^{-1}$ 。土壤的 REE 含量 229.09 ~ 250.3  $\mu\text{g g}^{-1}$ 。对菠菜植株及土壤中 REE 进行配分(表 4), 植株 REE 配分结果表明:与对照相比,REE 施用后,菠菜植株中的 REE 的含量变化既随着稀土处理浓度的增大而明显增加(叶面喷施比浸种更为明显),也随着酸雨酸度的增大而明显减少。酸雨明显影响菠菜对 REE 的吸收和利用,酸度越大,吸收和利用量越少。菠菜地上部 REE 增加的量比地下部增加的量相对较少、但是增加的幅度却以地上部最明显;菠菜对 REE 的吸收主要集中在铈组元素(La, Ce, Pr, Nd, Sm)上,铽组元素(Eu, Gd, Tb, Dy)次之,而钇组元素(Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc)则相对不明显。这说明菠菜对 REE 的吸收并非整

体性地纳入,而是具有明显的选择性。自然生长的一些植物中 REE 分布亦表现出这种特征<sup>[7,9]</sup>。

稀土农用条件下,菠菜对 REE 的吸收由于具有明显地选择性,以 La, Ce, Pr, Nd, Sm 为主(尤以叶片稀土喷施表现最明显)、这样致使这几种元素在植物体内的分量与植株 REE 总量的比值明显大于对照。但尽管如此,植物体内稀土元素的含量顺序仍然与对照一致(表 4),即  $\text{Ce} > \text{La} > \text{Nd} > \text{Pr} > \text{Sm}$ 。从表 3 还可看出,无论是稀土喷施还是稀土浸种,作物地上部的轻重稀土元素的比值(LREE/ HREE)均明显小于对照,而地下部的 LREE/ HREE 比值则明显大于对照。同时,在同一 REE 的处理中,地上部分 LREE/ HREE 比值小于地下部分的 LREE/ HREE 比值。造成这种原因除了是受 REE 在植物体内分配规律<sup>[5~7,9,11]</sup>所影响外,另一原因则是由于酸雨是

表 3 菠菜植株及土壤中 REE 含量及 LREE/ HREE

处理	浓度	位置	含量及比例	CK	pH 6.5	pH 4.0	pH 3.5	pH 3.0	pH 2.5
叶面喷施	0.01 %	地上	LREE/ HREE	13.57	10.31	11.31	11.86	11.90	12.86
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0.554	0.611	0.591	0.566	0.555	0.527
		地下	LREE/ HREE	14.74	15.11	15.53	15.75	15.19	15.13
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	2.786	2.917	2.91	2.865	2.818	2.71
		土壤	LREE/ HREE	10.71	9.89	13.44	10.18	10.63	15.04
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	238.34	242.8	236.11	239.09	237.76	229.09
	0.03 %	地上	LREE/ HREE	13.57	10.75	11.46	11.04	12.27	12.18
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0.554	0.658	0.623	0.602	0.584	0.567
		地下	LREE/ HREE	14.74	13.69	14.69	15.22	15.08	14.69
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	2.786	2.837	2.873	2.888	2.751	2.668
		土壤	LREE/ HREE	10.71	10.43	10.80	10.81	10.94	10.66
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	238.34	245.26	241.17	240.16	238.53	236.42
0.05 %	地上	LREE/ HREE	13.57	10.22	10.91	11	11.56	10.15	
		REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0.554	0.696	0.679	0.648	0.628	0.591	
	地下	LREE/ HREE	14.74	15.40	16.12	15.78	15.85	16.60	
		REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	2.786	3.003	2.946	2.921	2.899	2.834	
	土壤	LREE/ HREE	10.71	7.68	7.87	7.89	8.37	8.44	
		REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	238.34	250.3	246.74	243.88	243.5	238.71	
浸种	0.03 %	地上	LREE/ HREE	13.57	10.56	11.28	11.74	11.46	11.92
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0.554	0.578	0.553	0.548	0.536	0.53
		地下	LREE/ HREE	14.74	14.80	14.71	15.93	15.60	16.20
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	2.786	2.845	2.829	2.794	2.773	2.718
		土壤	LREE/ HREE	10.71	10.68	10.67	11.01	11.00	11.01
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	238.34	242.83	239.19	237.18	235.98	231.37
	0.05 %	地上	LREE/ HREE	13.57	9.37	11.14	11.71	11.83	12.52
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0.554	0.602	0.583	0.572	0.552	0.541
		地下	LREE/ HREE	14.74	14.66	14.92	15.15	15.55	15.99
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	2.786	2.882	2.867	2.811	2.765	2.719
		土壤	LREE/ HREE	10.71	10.77	10.65	10.57	10.69	10.81
			REE( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	238.34	242.57	238.37	235.19	236.81	232.8

表4 酸雨、稀土作用下菠菜植株及土壤中 REE 配分图

处理	位置	REE	CK	pH6.5	pH4.0	pH3.5	pH3.0	pH2.5	处理	位置	REE	CK	pH6.5	pH4.0	pH3.5	pH3.0	pH2.5	
叶面喷施 0.05 % REE	地上	La	23.10	22.26	22.47	22.38	22.83	22.37	浸种 0.5 % REE	地上	La	23.10	22.26	22.47	22.38	22.83	22.37	
		Ce	41.70	39.87	41.34	41.96	42.75	42.70			Ce	41.70	39.87	41.34	41.96	42.75	42.70	
		Pr	5.96	4.32	4.12	4.20	3.99	4.25			Pr	5.96	4.32	4.12	4.20	3.99	4.25	
		Nd	17.33	18.44	18.52	18.36	18.30	18.67			Nd	17.33	18.44	18.52	18.36	18.30	18.67	
		Pm									Pm							
		Sm	4.33	4.49	4.46	4.55	3.62	3.88			Sm	4.33	4.49	4.46	4.55	3.62	3.88	
		Eu	0.72	1.00	0.86	0.70	0.72	0.74			Eu	0.72	1.00	0.86	0.70	0.72	0.74	
		Gd	1.62	2.66	2.40	2.27	2.36	2.22			Gd	1.62	2.66	2.40	2.27	2.36	2.22	
		Tb	0.18	0.33	0.34	0.35	0.18	0.18			Tb	0.18	0.33	0.34	0.35	0.18	0.18	
	Dy	1.81	2.33	1.89	2.10	1.99	2.03	Dy	1.81	2.33	1.89	2.10	1.99	2.03				
	Ho	0.36	0.50	0.51	0.35	0.36	0.18	Ho	0.36	0.50	0.51	0.35	0.36	0.18				
	Er	1.26	1.50	1.37	1.22	1.27	1.11	Er	1.26	1.50	1.37	1.22	1.27	1.11				
	Tm	0.18	0.33	0.17	0.17	0.18	0.18	Tm	0.18	0.33	0.17	0.17	0.18	0.18				
	Yb	1.08	1.33	1.20	1.05	1.09	1.11	Yb	1.08	1.33	1.20	1.05	1.09	1.11				
	Lu	0.36	0.66	0.34	0.35	0.36	0.37	Lu	0.36	0.66	0.34	0.35	0.36	0.37				
	地下	La	La	20.06	20.71	21.08	20.99	21.32	21.81	地下	La	La	20.06	20.23	20.33	20.28	20.29	20.19
			Ce	53.30	52.61	52.00	52.41	52.71	52.93			Ce	53.30	53.19	53.44	53.26	53.60	54.32
			Pr	6.35	5.99	6.35	6.03	6.11	5.79			Pr	6.35	6.25	6.28	6.15	6.15	5.88
Nd			11.20	11.75	11.88	11.95	11.14	11.15	Nd			11.20	11.24	10.95	11.42	11.32	11.18	
Pm									Pm									
Sm			2.40	2.46	2.48	2.40	2.45	2.36	Sm			2.40	2.36	2.37	2.38	2.35	2.28	
Eu			0.32	0.37	0.37	0.27	0.34	0.28	Eu			0.32	0.35	0.35	0.32	0.25	0.26	
Gd			1.54	1.47	1.32	1.44	1.41	1.31	Gd			1.54	1.53	1.50	1.46	1.52	1.36	
Tb			0.29	0.27	0.27	0.27	0.28	0.25	Tb			0.29	0.28	0.28	0.25	0.25	0.22	
Dy		1.72	1.57	1.63	1.64	1.59	1.52	Dy	1.72	1.77	1.74	1.71	1.66	1.66				
Ho		0.36	0.33	0.31	0.27	0.28	0.25	Ho	0.36	0.31	0.35	0.32	0.29	0.29				
Er		1.04	1.00	0.95	0.96	1.00	1.02	Er	1.04	1.08	1.08	1.03	0.98	1.03				
Tm		0.22	0.20	0.20	0.21	0.21	0.18	Tm	0.22	0.21	0.21	0.21	0.18	0.18				
Yb		1.01	1.03	0.95	0.96	1.00	0.99	Yb	1.01	1.01	0.94	1.03	1.05	0.99				
Lu		0.18	0.23	0.20	0.21	0.17	0.18	Lu	0.18	0.21	0.17	0.18	0.11	0.15				
土壤		La	La	19.30	19.26	19.60	19.36	20.05	19.87	土壤	La	La	23.10	25.00	25.33	25.77	25.96	25.21
			Ce	51.20	48.78	48.69	48.96	48.80	49.16			Ce	41.70	38.65	39.91	39.35	39.33	38.75
			Pr	4.18	4.10	4.15	3.96	4.12	3.95			Pr	5.96	4.45	3.98	3.70	4.14	4.23
	Nd		13.70	13.19	13.27	13.47	13.40	13.54	Nd			17.33	17.67	17.67	17.75	17.68	18.10	
	Pm								Pm									
	Sm		2.57	2.66	2.52	2.49	2.45	2.39	Sm			4.33	4.17	3.83	4.17	4.14	3.89	
	Eu		0.52	0.50	0.49	0.51	0.50	0.52	Eu			0.72	1.15	0.88	0.93	0.80	0.85	
	Gd		2.24	2.43	2.27	2.24	1.97	1.71	Gd			1.62	2.44	2.36	2.16	2.23	2.54	
	Tb		0.33	3.22	3.24	3.26	3.24	3.35	Tb			0.18	0.43	0.44	0.46	0.48	0.51	
Dy	2.34	2.25	2.12	2.27	2.01	2.08	Dy	1.81	2.30	2.21	2.47	2.23	2.20					
Ho	0.48	0.50	0.49	0.46	0.45	0.46	Ho	0.36	0.29	0.29	0.31	0.32	0.51					
Er	1.32	1.33	1.35	1.32	1.29	1.28	Er	1.26	1.29	1.47	1.39	1.27	1.52					
Tm	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	Tm	0.18	0.29	0.15	0.15	0.16	0.17					
Yb	1.39	1.36	1.37	1.32	1.35	1.33	Yb	1.08	1.15	1.03	1.08	0.96	1.18					
Lu	0.22	0.22	0.22	0.18	0.16	0.17	Lu	0.36	0.72	0.44	0.31	0.32	0.34					

直接作用于叶片，遭受淋洗作用最强烈所至。

实验结果还表明：无论酸雨和稀土农用与否，菠菜地上部、地下部以及土壤中的 REE 的含量均为富铈选择配分型，铈的含量占总稀土含量的 38.27% ~ 43.20% (地上部分)、49.03% ~ 51.32

% (地下部分)、50.2% ~ 54.32% (土壤)，其次是 La 和 Nd；REE 的分布遵循分布丰度的奇偶 (Oddo-Harkins) 规则、即原子序数为偶数的稀土元素含量明显高于相邻奇数的稀土元素。在该研究中，菠菜植株尽管对 REE 的吸收以铈组元素为主，但并未

导致植株中稀土元素的丰度模式发生较大的变化而仍然与其土壤中的 REE 丰度模式基本相似, 这表明植株中的 REE 仍然主要来自土壤并且受其影响。

## 2.2 菠菜植株及土壤中 REE 的分布特征

土壤的 REE 配分结果(表 4)表明, 与对照相比, REE 处理后的各处理土壤中 REE 含量有不同程度的增加。随着酸雨处理酸度的增加, 各处理土壤中 REE 的含量明显逐渐减少, 在 pH 3.0 和 2.5 的处理的土壤中, REE 的含量已低于对照; 稀土喷施与浸种相比, 前者的土壤中 REE 含量增加相对较多, 变化相对明显。

在酸雨、稀土农用条件下, 菠菜植株的地上和地下部分中的 REE 含量变化呈现出随着酸雨 pH 值减少而逐渐减少。这是由于: (1) 酸雨作用下, 过多的  $H^+$  离子进入植物叶汁, 造成叶汁酸化而改变了叶细胞的内环境, 使细胞内的稀土离子被置换; 酸雨影响叶片的电导率, 导致细胞内的大量电解质(包括 REE 离子)外渗; 酸雨胁迫同时也影响植物的抗氧化酶系统, 致使细胞的活性氧产生与清除的平衡系统被打破, 整个平衡体系朝着积累的方向移动, 活性氧的积累最终导致植物细胞膜的结构受到影响、膜功能被破坏, 进而使植物细胞的渗透压发生变化, 稀土离子进入植物细胞难度增大; 随着酸雨胁迫强度(酸度)的进一步增加, 甚至造成植物细胞膜系统的膜脂化而丧失其正常的生理功能, 稀土离子在这种情况下就更难以赋存于膜系统之中<sup>[8, 10]</sup>。(2) REE 本身具有纵向淋溶与侧向迁移流动的双向性<sup>[11-13]</sup>, 由于酸雨的作用, 土壤中的 REE 被酸雨带进较多的  $H^+$  离子所置换而随着酸雨淋溶而流失, 酸雨中的  $H^+$  离子介入, 使 REE 的双向性发挥更彻底, 结果导致土壤中能够被植物地下部所吸收的 REE(交换态)含量减少。(3) 酸雨本身能够淋溶洗脱植物体(尤其是叶片)中的微量元素<sup>[1]</sup>。这也是造成植物体(尤其是作物叶片)的稀土元素流失的原因之一。

上述作用致使菠菜植株中 REE 的含量随着酸雨酸度的增大而逐渐减少, 而第二个原因同时也造成土壤中的 REE 含量随酸雨 pH 值减小而减少。采用 Boynton<sup>[14]</sup>所推荐的球粒陨石稀土元素中的平均值作为球粒陨石标准化系数对植物地上部、地下部

以及土壤中的 REE 含量进行标准化, 获得各元素的平均植物地上部、地下部分以及土壤中的 REE 含量进行标准化, 获得各元素的平均的丰度模式(图 1)表明: 无论酸雨和稀土农用与否, 菠菜地上部分(a, b)、地下部分(c, d)以及土壤(e, f)的稀土元素分布曲线在轻稀土(LREE)处均呈现右倾, 为明显的轻稀土富集型, Eu 呈现弱负异常。而重稀土(HREE)分布在曲线上表现变化较小、曲线趋于平缓, 表现为亏损。LREE/HREE 值(表 3)已达到 9.37%~13.57%(地上部分)、13.69%~16.60%(地下部分)、7.68%~16.6%(土壤)之间, 说明轻稀土富集非常明显。

## 参考文献:

- [1] Hogan G D. Physiological effects of direct impact acidic deposition on foliage, Agriculture [J]. Ecosystems and Environment, 1992, 42: 307.
- [2] 冯宗炜, 曹洪法, 周修萍. 酸沉降对生态环境的影响及其生态恢复 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. 38.
- [3] Gravano. E, M. Ferretti, F. Bussotti, et al. Foliar symptoms and growth reduction of *Ailanthus altissima* Desf. in an area with high ozone and acid deposition in Italy [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1999, 116: 267.
- [4] 倪嘉缙. 稀土生物无机化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1995: 15.
- [5] 郭伯生, 竺伟民, 熊炳昆, 等. 农业中的稀土 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1988. 45.
- [6] 孙景信, 赵航, 王玉琦. 小麦与水稻植株中稀土元素的含量及其分布的研究 [J]. 科学通报. 1992, 37(24): 2273.
- [7] Wang Y G, Sun J X, Chen H M, et al. Determination of the contents and distribution characteristic of REE in natural plants by NAA [J]. J. Radioanal. Nucl. Chem., 1997, 219: 99.
- [8] Yan C L, Hong Y T, Yang X K et al. Biological effect of rare-earth elements on anti-oxidation enzymes in wheat under acid rain stress [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(2): 146.
- [9] A Wyttbach, V. Furrer, P. Schlegli, et al. Rare earth elements in soil-grown plants [J]. Plant and Soil, 1998, 41(8): 851.
- [10] Yan Chongling, Hong Y T, Lin P, et al. Effect of rare-earth elements on physiological and biochemical responses of wheat under acid rain stress [J]. Progress in Nature Science, 1999, 9(12): 929.
- [11] 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. 79.
- [12] 高效江, 章申, 王立军, 等. 赣南富稀土景观稀土元素的土壤地球化学特征 [J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 492.
- [13] 杨元根, 刘丛强, 袁可能, 等. 中国南方红壤中稀土元素分布的研究 [J]. 地球化学, 1999, 28(1): 70.
- [14] Boynton W W. Cosmochemistry of the rare earth elements [J]. Dev. Geochem., 1984, 2: 63.

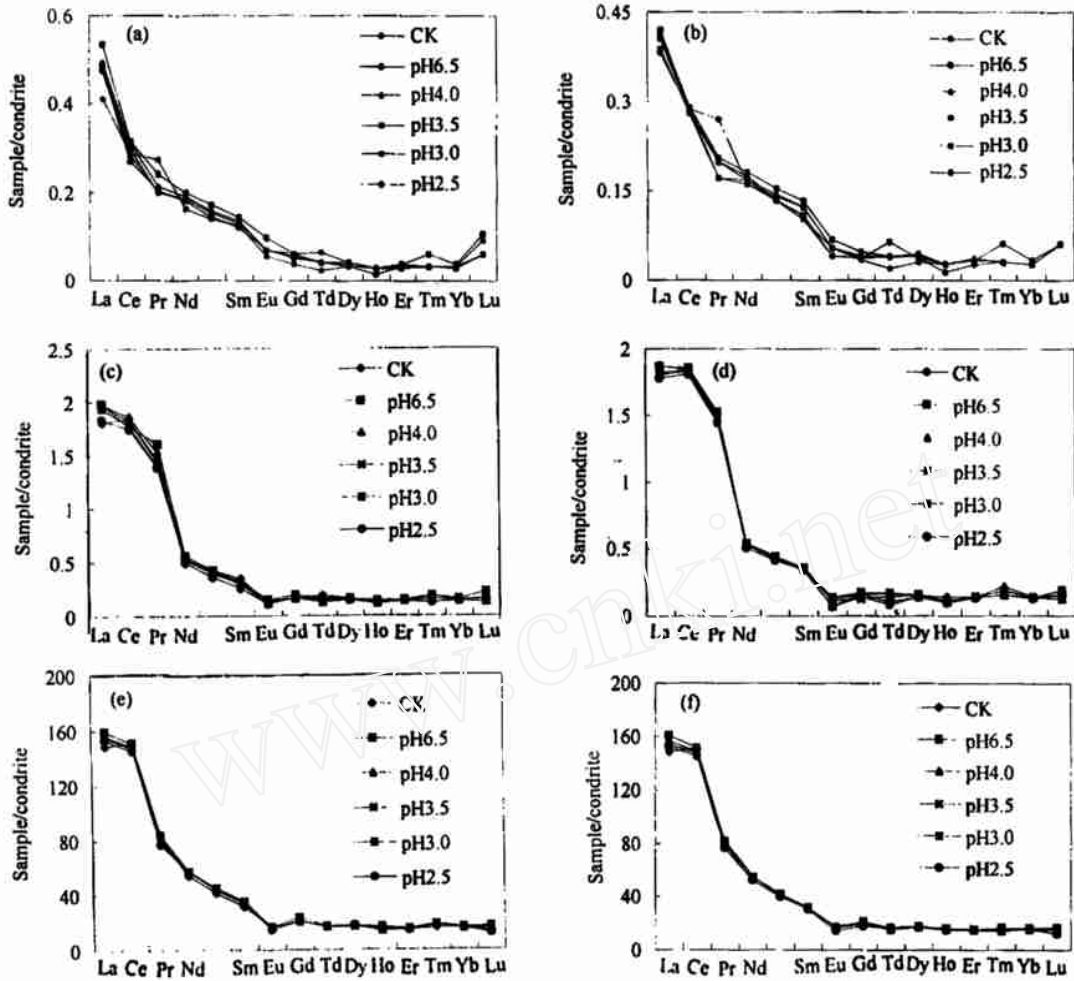


图 1 酸雨、稀土作用下菠菜植株及土壤的 REE 分布模式

(a, b) 地上部分的 REE 分布模式; (c, d) 地下部分的 REE 分布模式; (e, f) 土壤的 REE 分布模式

## Accumulation of Rare Earth Elements in Spinach and Soil under Condition of Using REE and Acid Rain Stress

Yan Chongling<sup>1\*</sup>, Hong Yetang<sup>2</sup>, Lin Peng<sup>1</sup>, Wang Shijie<sup>2</sup>, Liang Jie<sup>1</sup>, Li Yuhong<sup>1</sup>, Chen Yinghua<sup>1</sup> (1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guizhou 550002, China)

**Abstract:** The content and distribution characteristics of REE in spinach and soil under using REE and acid rain stress were studied by pot experiments. The results show that the content of REE is  $0.527 \sim 0.696 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  in the above-ground portion of spinach,  $2.668 \sim 3.003 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  in the under-ground portion of spinach and  $229.09 \sim 250.30 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  in the soil. With the acidity of acid rain increasing, the leaching of REE in plants and soil is strengthened and the amount of REE reduces with decreasing of pH value.

After REE are used, though plants show the selective

**Key words:** rare earths; acid rain stress; spinach; soil

absorption to Ce group elements (especially spraying on leaves), regardless under acid rain stress or using REE or not. The distribution model of REE in the above-ground and under-ground portion of plants is basically the same with the control. Plants also follow the Oddo-Harkins rule of the REE of distribution abundance, light rare earth elements is enriched, the minus of Eu is abnormal and admeasure of Ce is a rich model. The results show that REE in plants mainly come from soil and are affected by it.