

稀土元素在赣南非稀土矿区和不同稀土矿区土壤-铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)系统中的分布、累积和迁移

魏正贵¹, 尹 明², 张 巽³, 洪法水¹, 李 冰², 陶 冶⁴, 赵贵文¹, 汪振立⁵, 谢先求⁵

(1. 中国科学技术大学化学系, 合肥 230026; 2. 地质科学院岩矿测试技术研究所, 北京 100037; 3. 中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026; 4. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100039; 5. 南方工业学校, 赣州 341000)

摘要: ICP-MS 法测定了江西赣南地区非稀土矿区和 4 处不同稀土矿区内, 土壤-铁芒萁系统中 15 个稀土元素的含量, 并对稀土元素在土壤剖面层及铁芒萁植物体内的分布、迁移特征进行了研究。结果表明, 稀土元素总量在土壤剖面层的底土层含量最高, 但表土层铈相对富集。稀土元素在铁芒萁植物体内的分布规律是叶、根>茎>叶柄。铁芒萁根中稀土元素的丰度与其母土表土层, 尤其是母土表土层可溶态稀土元素的分布模式基本相似。稀土元素在铁芒萁体内的迁移过程中, 发生了明显的分馏作用, 茎、叶柄、叶中的重稀土相对贫乏。

关键词: 稀土元素; 土壤; 铁芒萁; 分布; 迁移

Distribution, accumulation and transportation of rare earth elements in soil-*Dicranopteris linearis* system at South Jiangxi

WEI Zheng-Gui¹, YIN Ming², ZHANG Xun³, HONG Fa-Shui¹, LI Bing², TAO Ye⁴, ZHAO Gui-Wen¹, WANG Zhen-Li⁵, XIE Xian-Qiu⁵ (1. Department of Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 2. Institute of Rock and Mineral Analysis, the Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China; 3. Department of Earth and Space Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 4. Institute of High Energy Physics, the Chinese Academy of Science, Beijing 100037, China; 5. South Industrial School, Ganzhou 341000, China)

Abstract: The contents of 15 REEs in soils and *Dicranopteris linearis*, which were obtained from 4 rare earth mining areas and 1 non-mining area located in the south of Jiangxi Province, have been determined by ICP-MS. The distribution patterns and transportation characteristics of REEs of different soil profiles and different parts of *Dicranopteris linearis* were studied. The results showed that in the soil profiles, the REEs contents of the C layer were the highest, but Ce was relatively concentrated in the A layer. The REEs contents of different parts of *Dicranopteris linearis* were leaf, root>stem>leaf stalk. The REEs distribution patterns of *Dicranopteris linearis* root was similar with the patterns of the A layer of their host soils, especially with the soluble REEs distribution patterns of the A layer of their host soils. The REEs were obviously fractionated in their transportation procedure in *Dicranopteris linearis*, HREEs in the stem, leaf stalk, leaf were depletion.

Key words: rare earth elements; soil; *Dicranopteris linearis*; distribution transportation

文章编号: 1000-0933(2001)06-0900-07 中图分类号: Q946.91, Q948.11, X171 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(29805003)

收稿日期: 1999-05-23; 修订日期: 2000-01-26

作者简介: 魏正贵(1972~), 男, 河南新乡人, 博士。主要从事稀土元素环境生态学研究。

稀土微肥对农作物有明显的增产提质效果, 自从 70 年代以来, 已经大规模应用于我国的农业生产^[1]。稀土如此大量、大范围地进入环境, 使人们对其环境生态效应越来越重视^[2~4]。测定土壤各剖面层、植物体各部位中稀土的含量, 并深入研究稀土的分布、迁移特征, 具有重要的生态学意义。而迄今为止, 虽然国内外对重金属的环境生态效应及其机理进行过许多研究^[5~6], 但作为重金属元素的稀土元素, 其环境生态效应研究还远不够深入。尤其是稀土元素由成土母岩到土壤各个剖面层, 再到植物体各部位中系统的分布、迁移特征, 未见报道。

铁芒萁(*Dicranopteris linearis*) 为富集稀土元素的主要植物种类^[9,10], 是研究植物体内稀土含量和分布、迁移规律的理想材料。同时, 铁芒萁还是亚热带酸性土壤的指示植物之一^[11], 广泛分布于长江以南亚热带 1000m 以下的酸性土上, 多为森林经反复砍烧、农田或矿区废弃后所形成的次生类型, 常形成单优势群落; 因此对其进行稀土的分布、迁移特征研究, 可以为稀土污染生物技术调控的可能性提供研究资料, 也可合理利用自然资源, 改造废弃农田或矿区提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样点概况及自然环境

各采样点均位于赣南地区, 地层构造均是燕山期花岗岩为母质发育的酸性土壤。XWS(寻乌县文峰乡石排村) 位于北纬 24°57', 东经 115°29', 海拔 297.8m, 该矿区以轻稀土为主, 为黄壤, 表土层土壤 pH 值为 4.13; DCS(定南县城郊乡石头村) 位于北纬 24°42', 东经 115°0', 海拔 321.6m, 该矿区以轻稀土为主, 为红壤, 表土层土壤 pH 值为 4.82; GHS(赣县韩坊乡水口村) 位于北纬 25°30', 东经 115°6', 海拔 191.4m, 该矿区轻、重稀土含量相近, 为红壤, 表土层土壤 pH 值为 4.80; GDS(赣县大田乡十八湾村) 位于北纬 25°48', 东经 115°6', 海拔 187.3m, 该矿区以重稀土为主, 为黄壤, 表土层土壤 pH 值为 4.30; GS(赣州市沙河乡) 位于北纬 25°50', 东经 114°50', 海拔 123.8m, 该采样点是非稀土矿区, 为黄壤, 表土层土壤 pH 值为 3.92。赣南地区气候温暖湿润, 年均温 18.5~19.5℃, 无霜期年均 272~287d, 年降水量 1439.8~1515.6mm, 年均相对湿度 76%~79%, 全年日照 1863.1~1909.9h。

采样点铁芒萁均形成单优势群, 群落中仅零星分布有少数马尾松(*Pinus massoniana*) 幼苗、杉树(*Cunninghamia lanceolata*) 幼苗、菝葜(*Smilax china*)、石松(*Lycopodium clavatum*) 和芒(*Miscanthus sinensis*) 等。

1.2 样品的采集和制备

土样的采集按照土壤的自然发生分类采样。将土样除去外来物后, 自然风干、磨碎, 过 100 目筛, 混合均匀, 备用。铁芒萁样采集后, 将根、茎(为根壮茎)、叶柄、叶分开, 并依次以自来水、蒸馏水和去离子水各冲洗 3 次, 在 85℃ 下烘干后, 磨碎, 过 100 目筛, 备用。

1.3 测定

以 HCl/HNO₃/HClO₄/HF 分解土样, HNO₃/HClO₄ 分解铁芒萁样, ICP-MS 法测定样品中稀土元素的含量^[12,13]。土壤可溶态稀土浸提液的制备, 以 1.0mol/L NaAc-HAc(pH4.8) 为提取剂, 采取水土比 1:5, 室温振荡 30min; 可溶态稀土样品的制备参照文献^[14]。各样品用 Thermo Jarrell Ash Company 的 POEMS 等离子体光谱仪测定, 其实验参数见文献^[13]。

2 结果与讨论

2.1 土壤样品中稀土元素的分布特征

土壤样品中稀土元素的含量见表 1。可见, 各剖面层中除 Ce 以外, 所有稀土元素, 其分布均遵从 Oddo-Harkins 规则(即元素分布的奇偶规则)。土壤中稀土元素的含量模式与其成土母岩(D 层)中稀土元素的含量模式相似, 与 GDS 处的成土母岩相比, XWS 处成土母岩轻稀土含量较高, 而重稀土含量较低, 形成土壤后, 仍然保持了这一特征。不同稀土元素的丰度在土壤和成土母岩中的相似性, 说明不同稀土元素的地球化学性质具有一定的相似性。土壤剖面不同层位中的稀土元素含量均大于成土母岩中的稀土元素含量, 这主要由成土母岩的盐基在风化形成土壤过程中, 大量淋失所造成。剖面层位中以 C 层(底土层)最为富集稀土元素, 这也是酸性淋滤作用造成的, 风化壳中的离子相稀土元素解吸附、向下迁移, 在 C 层富集。A 层(表土层)与 B 层(心土层)各稀土元素的含量相近, A 层略高, 可能与 A 层有较高的有机质含量有关。由于土壤样品中 Ce 以 Ce⁴⁺ 形式存在, 而 Ce⁴⁺

性质明显不同于其它 3 价稀土,因此在稀土解吸附、向下迁移过程中,Ce 表现出与不同于其它稀土元素的地球化学性质;Ce⁴⁺的水解能力大于其它 3 价稀土,故易于形成沉淀而在原处保留下来,这最终导致了土壤 A 层 Ce 的丰度相对较高。同时,由于淋出液中贫 Ce 而导致 B 层、C 层 Ce 的丰度较低,B 层、C 层 Ce 含量小于 La 含量,甚至 Nd 含量,这是离子吸附型稀土矿的典型特征^[15]。从表 1 计算出各种反映稀土元素间分异作用强弱程度的参数^[16],其中 $\sum Ce/\sum Y$ 值向表层增大,这是由于重稀土(包括 Y)水解能力大于轻稀土,因此在解吸附、向下迁移过程中,丰度向深层逐渐降低;La/Sm 值及 Gd/Yb 值各层差异不大,说明轻稀土元素间、重稀土元素间在土壤各层迁移过程中基本未发生分异作用。

表 1 土壤样品中稀土元素的含量($\mu\text{g/g}$)Table 1 Contents($\mu\text{g/g}$) of rare earth elements in soil samples

采样点 Sampling stations	XWS				DCS		
层位 Profiles	A	B	C	D	A	B	C
La	492.5	347.8	942.0	31.07	381.3	309.5	426.3
Ce	630.4	191.7	420.2	37.93	860.6	253.4	332.7
Pr	165.8	88.54	206.4	7.954	102.2	85.47	111.0
Nd	410.6	264.9	737.5	26.15	375.4	311.6	401.9
Sm	126.9	66.97	147.2	6.181	78.28	66.26	74.36
Eu	12.02	6.536	15.78	0.435	6.952	5.540	6.359
Gd	106.2	53.82	147.0	5.899	71.49	55.19	75.01
Tb	13.04	6.559	22.55	1.103	17.54	13.98	17.88
Dy	41.84	24.74	74.58	4.884	57.77	43.57	62.80
Ho	15.53	7.042	20.89	1.610	17.38	12.64	15.92
Er	32.78	19.64	38.47	3.451	35.89	26.47	31.99
Tm	6.973	3.926	5.294	0.539	5.214	3.624	4.398
Yb	26.66	15.61	31.22	3.578	29.36	20.07	21.28
Lu	6.088	1.607	4.642	0.491	4.106	2.580	3.564
Y	226.3	151.9	365.0	16.85	329.9	242.4	221.2
采样点 Sampling stations	GHS		GDS		GA		
层位 Profiles	A	B	A	B	C	D	A
La	112.2	92.23	30.43	26.88	107.2	7.550	18.80
Ce	303.3	54.69	48.56	21.52	56.44	7.263	51.84
Pr	22.83	18.60	11.00	9.663	37.71	2.361	4.556
Nd	81.32	62.30	38.53	42.27	151.1	10.13	14.39
Sm	18.23	13.50	21.19	17.14	53.09	4.559	2.783
Eu	2.237	1.504	1.217	1.061	3.397	0.222	0.279
Gd	23.75	14.12	21.34	17.65	43.55	5.562	2.679
Tb	4.388	2.315	4.431	3.766	7.494	1.319	0.373
Dy	19.31	8.777	20.81	17.48	29.91	6.544	1.540
Ho	6.302	2.789	6.780	5.978	10.14	2.363	0.457
Er	13.93	5.965	17.06	13.58	22.11	5.764	1.131
Tm	2.440	1.004	2.894	2.437	3.829	1.171	0.201
Yb	17.66	6.438	20.33	16.64	25.71	8.244	1.553
Lu	2.709	1.001	3.472	2.644	3.954	1.313	0.234
Y	152.1	59.77	148.3	120.3	193.4	59.56	9.724

土壤 A 层中可溶态稀土元素的含量见表 2。可以看出,矿区土壤 A 层中可溶态稀土元素占的土壤 A 层中稀土元素总量的 43.63%~51.56%,较高;而非稀土矿区土壤 A 层中可溶态稀土占的土壤 A 层中稀土元素总量的 13.92%,较低。并且其分布模式,基本反映了土壤 A 层中稀土元素的分布模式:土壤 A 层中稀土元素 La/Lu 值大的 XWS 样(80.90)和 DCS 样(92.86),其可溶态稀土元素 La/Lu 值仍然较大(XWS 为

206.9, DCS 为 107.8), 土壤 A 层中稀土元素 La/Lu 值较小的 GDS 样(8.764), 其可溶态稀土元素也较小(15.68)。可溶态稀土元素中, Ce 的丰度明显较低, 重稀土元素(包括 Y)相对贫乏, 这可能与 Ce 及重稀土元素较难溶解于 NaAc-HAc 提取剂有关。

表 2 土壤 A 层中可溶态稀土元素的含量($\mu\text{g/g}$)

Table 2 Contents($\mu\text{g/g}$) of soluble rare earth elements in the A layer of the soil profiles

采样点 Sampling stations	XWS	DCS	GHS	GDS	GS
La	285.9	258.1	65.54	21.18	1.077
Ce	132.7	274.6	77.05	8.469	11.15
Pr	95.20	63.67	13.28	7.773	0.396
Nd	237.1	239.6	44.47	24.84	1.101
Sm	72.35	48.16	10.51	14.28	0.230
Eu	5.641	4.575	1.310	0.966	0.029
Gd	55.25	46.63	13.31	14.55	0.258
Tb	6.079	10.57	2.441	2.821	0.029
Dy	18.74	35.52	11.31	12.61	0.114
Ho	5.506	10.81	3.725	4.097	0.034
Er	10.58	21.81	7.761	8.267	0.068
Tm	1.589	3.154	1.366	1.395	0.010
Yb	9.463	17.25	9.112	9.098	0.066
Lu	1.382	2.395	1.470	1.351	0.010
Y	93.53	186.8	78.84	63.08	0.811

2.2 铁芒萁体中稀土元素的分布特征

铁芒萁属于蕨类植物, 茎为根状茎, 生长在地下; 根附着在根状茎上, 呈须状; 地上部分为羽叶和叶柄, 其叶柄直立, 占植株总重的很大一部分; 基于此, 这里将铁芒萁植株分为根、茎、叶柄和叶 4 个部位。表 3 给出了铁芒萁不同部位稀土元素的含量, 可见铁芒萁体内稀土元素的含量是很高的, 这与文献[9, 10]的报道一致。结合铁芒萁在亚热带酸性土壤上的广泛分布, 认为利用铁芒萁, 有可能达到生物调控环境中稀土污染的目的。

铁芒萁体内稀土元素的分布规律是: 叶~根>茎>叶柄。茎和叶柄中稀土元素的含量较低, 可能与茎和叶柄主要作用是输送有关。根和叶是植物物质生产和光能利用的主要部位, 铁芒萁根和叶中稀土元素的含量较高, 说明稀土元素有可能参与了铁芒萁的物质生产和光能利用过程, 一些研究成果已初步表明了这一点^[17, 18]。

根中稀土元素 La/Lu 值的大小对应着土壤 A 层中稀土元素 La/Lu 值的大小, 表明铁芒萁体内稀土元素的含量与其生长的母土密切相关, 这为利用植物进行探矿提供了可行性。根中稀土元素的分布模式, 与土壤 A 层中可溶态稀土的分布模式极为相似, 表明土壤中稀土元素的可溶态最能反映植物的吸收。茎、叶柄和叶中的重稀土相对贫乏, 表明稀土元素在铁芒萁体内的迁移过程中, 发生了明显的分馏作用。具体迁移状况将在下文详细讨论。

2.3 土壤-铁芒萁系统中稀土元素的迁移

以 La 为例计算了不同采样点, 铁芒萁根、茎、叶柄和叶相对于母土 A 层的吸收系数(吸收系数是指植物某一部位的元素含量与土壤中相应元素含量之比, 一定程度上标志着土壤-植物系统中元素迁移的难易程度), 以吸收系统对母土 A 层总 La 含量及可溶态 La 含量作图, 得图 1。由图 1 可见, 根、茎、叶柄和叶对 La 的吸收系数均随母土 A 层可溶态 La 含量、总 La 含量增大而减小, 且在 La 含量低时减小较快(由于非稀土矿区可溶态 La 含量占总 La 含量比例较小, 故非稀土矿区铁芒萁各部位对 La 的吸收系数稍有例外)。这表明铁芒萁在外界稀土含量较低时, 可以较强地吸收稀土元素, 但在外界稀土含量很高时, 产生土壤-植

物壁垒 (Soil-plant barrier)^[19] 以阻碍其对稀土元素的吸收, 始终保持铁芒萁体内稀土元素含量维持在一定范围内。

表 3 铁芒萁不同部位稀土元素的含量 ($\mu\text{g/g}$)

Table 3 Contents ($\mu\text{g/g}$) of rare earth elements in different parts of *Dicranopteris dichotoma*

采样点 Sampling stations	XWS				DCS				GHS	
部位 Parts	根 Root	茎 Stem	叶柄 Leaf stalk	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶柄 Leaf stalk	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem
La	471.5	175.3	21.28	684.8	326.3	110.3	25.20	605.6	206.9	72.09
Ce	226.7	86.38	6.569	202.0	353.9	128.9	27.00	730.8	243.8	69.12
Pr	155.5	46.88	5.701	154.0	86.85	28.41	6.498	144.3	43.24	12.23
Nd	481.5	173.1	16.19	476.6	309.3	100.9	24.90	486.1	137.3	67.37
Sm	113.3	33.22	1.698	52.84	61.54	16.80	4.925	81.78	25.47	7.155
Eu	10.61	3.260	0.153	3.660	5.932	1.025	0.132	5.807	2.366	0.625
Gd	84.69	28.49	1.854	46.55	59.83	7.172	1.692	76.86	32.90	5.957
Tb	10.85	3.679	0.168	4.077	13.59	1.040	0.395	8.905	7.210	0.938
Dy	29.90	10.76	0.309	5.423	46.28	6.036	1.493	20.40	30.70	5.629
Ho	7.869	2.826	0.093	1.134	13.96	2.057	0.491	5.228	10.01	2.007
Er	16.04	5.528	0.196	4.369	28.09	4.178	0.940	10.91	21.13	4.179
Tm	1.956	0.662	0.023	0.212	3.873	1.319	0.189	0.969	3.765	1.042
Yb	12.94	4.408	0.095	1.426	24.18	4.819	0.979	4.827	26.08	2.546
Lu	1.788	0.631	0.016	0.196	3.378	1.172	0.156	0.643	4.381	1.255
Y	129.1	57.77	1.976	22.10	233.2	44.92	7.471	88.10	233.2	60.95

采样点 Sampling stations	GHS		GDS		GS	
部位 Parts	叶柄 Leaf stalk	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶柄 Leaf stalk	叶 Leaf
La	16.71	381.3	147.8	59.97	14.30	209.3
Ce	19.08	436.3	65.85	14.52	6.129	71.08
Pr	3.125	74.08	60.40	14.78	6.038	64.07
Nd	10.16	234.8	183.3	57.01	13.18	235.4
Sm	1.813	45.65	65.63	18.97	4.047	88.18
Eu	0.248	4.971	3.150	0.983	0.162	3.257
Gd	2.362	49.02	68.81	18.95	3.139	64.95
Tb	0.340	7.768	15.48	4.236	0.501	10.75
Dy	1.320	27.45	71.31	18.38	1.75	36.97
Ho	0.439	8.404	22.88	6.250	0.462	9.979
Er	0.840	16.50	47.59	12.51	0.881	18.57
Tm	0.127	2.577	8.628	2.161	0.129	2.501
Yb	0.763	15.35	57.91	13.25	0.628	14.04
Lu	0.131	2.213	8.506	2.011	0.090	1.787
Y	7.314	105.8	441.9	156.8	10.02	145.7

以采样点 XWS 处的铁芒萁为例, 计算了稀土元素由 A 层到 A 层可溶态(I), A 层可溶态到铁芒萁根(I), 根到茎(II), 茎到叶柄(IV)和叶柄到叶(V)迁移过程的积累系数, 见表 4。由表 4 可见, 稀土的积累系数 V、II 较大, I、IV 次之, IV 较小, 不同迁移过程难易程度是不同的。值得指出的是, 土壤-铁芒萁系统中, 重稀土元素的迁移较轻稀土困难, I、IV、V 均显示出重稀土的积累系数明显小于轻稀土的; 而轻稀土间、

重稀土间在迁移过程中基本未发生分异作用。

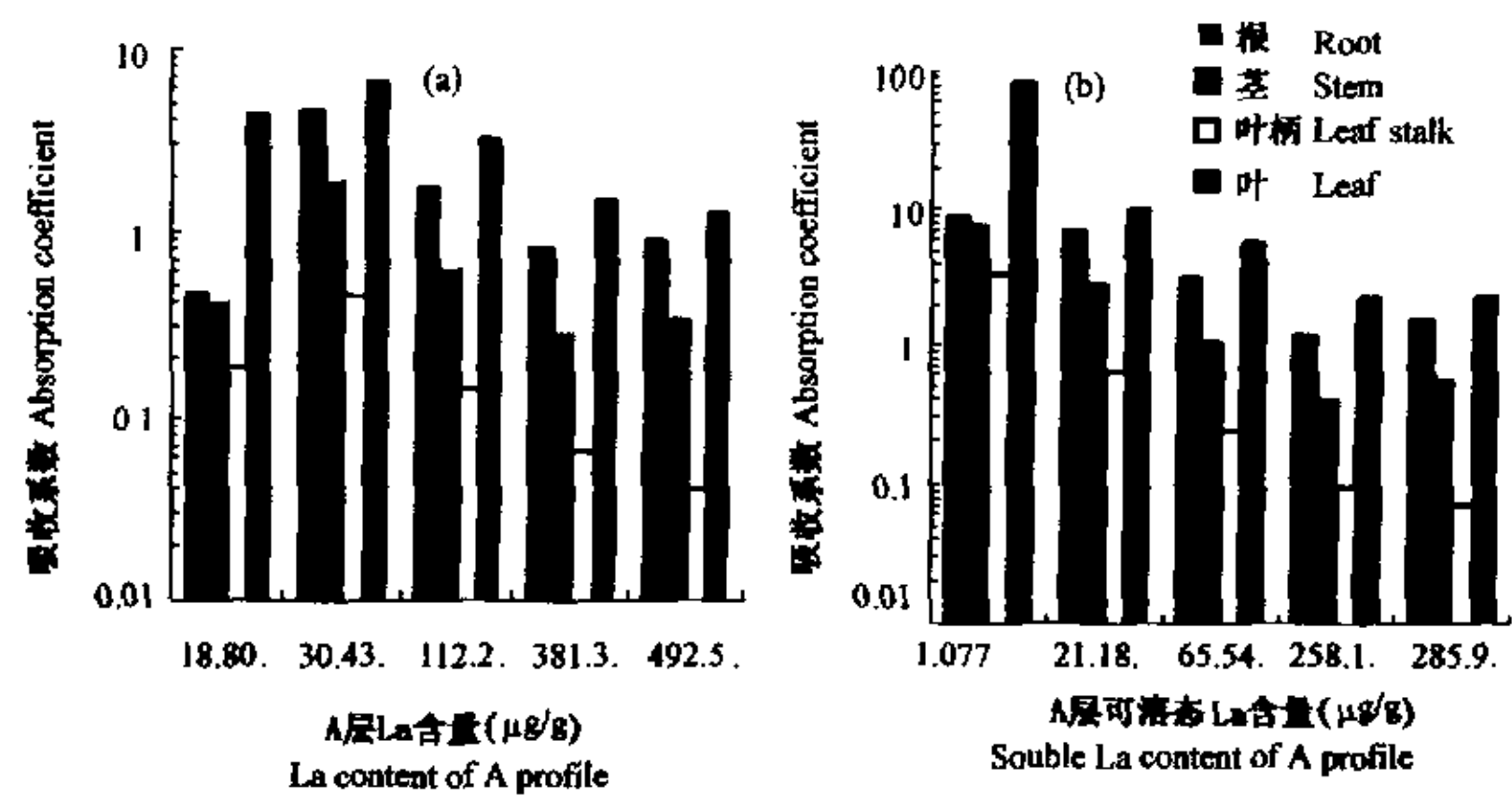


图1 铁芒萁各部位相对于母土A层La的吸收系数与母土A层La含量(a)及可溶态La含量(b)的关系
Fig.1 The relationship between REs absorption coefficients of *Dicranopteris dichotoma* various organs and REs concentrations of soil profile A layers

表4 XWS土壤-铁芒萁系统中稀土元素的积累系数
Table 4 Accumulation coefficients of XWS soil-*Dicranopteris dichotoma* system

迁移过程 Transportation processes	I	I	II	IV	V
La	0.5805	1.649	0.3718	0.1214	32.18
Ce	0.2105	1.708	0.3810	0.0760	30.75
Pr	0.5741	1.633	0.3015	0.1216	27.01
Nd	0.5774	2.031	0.3595	0.0935	29.44
Sm	0.5701	1.566	0.2932	0.0511	31.12
Eu	0.4693	1.943	0.3073	0.0469	23.92
Gd	0.5202	1.533	0.3364	0.0651	25.11
Tb	0.4662	1.785	0.3391	0.0457	24.27
Dy	0.4479	1.596	0.3599	0.0287	17.55
Ho	0.3545	1.429	0.3591	0.0329	12.19
Er	0.3228	1.516	0.3446	0.0355	22.29
Tm	0.2279	1.230	0.3388	0.0347	9.217
Yb	0.3550	1.367	0.3406	0.0216	15.01
Lu	0.2270	1.294	0.3529	0.0254	12.25
Y	0.4133	1.380	0.4475	0.0342	11.18

参考文献

[1] 郭伯生. 农业中的稀土, 北京: 中国农业科技出版社, 1988. 1~13, 45~61.
[2] 王晓蓉. 稀土元素的环境化学研究现状及发展趋势. 环境化学, 1991, 10(6): 73~74.
[3] 陈志澄. 受稀土矿山废渣淋滤水影响的生物及其稀土水平调查. 稀土, 1993, 14(1): 43~46.
[4] Markert B and Zhang D L. Natural background concentrations of rare earth elements in a forest ecosystem. *Science of Total Environment*. 1991, 103(1): 127~135.
[5] 吴燕玉, 王 新, 梁仁禄, 等. 重金属污染对土壤-植物系统的生态效应 I. 对作物、微生物、苜蓿、树木的影响. 应用生态学报, 1997, 8(2): 207~212.

- [6] 吴燕玉,王 新,梁仁禄,等. 重金属污染对土壤-植物系统的生态效应 1. 对作物、微生物、苜蓿、树木吸收的影响. 应用生态学报,1997,8(5):545~552.
- [7] Dudka S, Piorowska M, Chlopecka A. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of plants. *Water, Air and Soil Pollution*, 1994, 76(3~4):333~341.
- [8] Homer F A, Morrison R S, Brooks R R, *et al.* Comparative studies nickel, cobalt and copper uptake by some nickel hyperaccumulators of genus *Alyssum*. *Plant and Soil*, 1991, 138:195~205.
- [9] 李凡庆,朱育新,毛振伟,等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定植物体铁芒萁中的稀土元素. 分析化学, 1992, 20(8):981.
- [10] 倪嘉赞. 稀土生物无机化学, 北京:科学出版社, 1995. 77.
- [11] 侯学煜. 中国境内酸性土, 钙质土和盐碱土的指示植物. 北京:科学出版社, 1955. 66~72.
- [12] Hirata T, Shimizu H, Akagi T, *et al.* Precise determination of rare earth elements in geological standard rocks by inductively coupled plasma source mass spectrometry. *Analytical Sciences*, 1988, 4(12):637~643.
- [13] Cao X D, Zhao G W, Yin M, *et al.* Determination of REEs in tea by ICP-MS with microwave digestion and AG50W-x8 cation-exchange chromatography. *Analyst*, 1998, 123:1115~1119.
- [14] 曹心德,赵贵文,查立新,等. 沉淀分离富集——电感耦合等离子体原子发射光谱测定土壤中可溶态稀土元素. 环境化学, 1998, 19(2):66~70.
- [15] 苏 锵. 稀土化学, 郑州:河南科学技术出版社, 1993. 19~38.
- [16] 陈德潜,陈 刚. 实用稀土元素地球化学. 北京:冶金工业出版社, 1990. 10~58.
- [17] 王玉琦,许 雷,孙景信,等. 分子活化分析研究铁芒萁叶中稀土结合多糖. 中国科学, 1997, 27(6):517~521.
- [18] 洪法水,魏正贵,陶 冶,等. 天然植物铁芒萁体内稀土元素的分布及其叶绿素侧的结构表征. 植物学报, 1999, 41(8):851~854.
- [19] 王宏康. 土壤中金属污染的研究进展. 环境化学, 1991, 10(5):39.
- *****

《保护和生物多样性》介绍 (Conservation and Biodiversity)

索书号:57.194/D635/1996/Y

作者:Andrew P. Dobson

本书适于生态学、环境科学等相关学科的研究人员参考。

主要内容如下:

1. 什么是生物多样性? 2. 生物生境的破坏和生物多样性的丧失; 3. 生物灭绝的速率; 4. 什么时候一个物种变为濒危种; 5. 野生动物生境的标记样地; 6. 种的控制; 7. 自然保护的识别样地; 8. 野生动物保护管理; 9. 变化世界中的生物多样性; 10. 自然健康

刘丽华 武汉大学图书馆外国教材中心

电话:027-87682740-847

Email: LiuLh@mail.lib.whu.edu.cn