

# 江西信丰县优质脐橙果和叶中稀土元素分布特征研究

谢振东<sup>1</sup> 方宣忠<sup>2</sup> 郑文<sup>3</sup>

(1.江西省地质调查研究院,江西 南昌 330201;

2.贵州省晴隆锑矿,贵州 晴隆 561409;3.浙江省地质调查院,浙江 杭州 311203)

**提要:**通过 1:5 万信丰图组农业地质专题调查,在信丰县 4 个主要脐橙种植区安西、大塘、西牛和同益等地,采集华脐、朋娜和纽贺尔 3 个脐橙品种的果、叶样品,采用中子活化法对 8 个稀土元素(La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb 和 Lu)进行分析,研究稀土元素在脐橙果、叶及其立地土壤和母岩中的丰度、分布模式及生物吸收强度等特征,并探讨了稀土元素和脐橙品质的关系。

**关键词:**脐橙;稀土元素;信丰县

**中图分类号:**P595 **文献标识码:**A **文章编号:**1000—3657(2006)06—1418—06

稀土元素的农业地球化学研究在国内的开展已有 30 多年<sup>[1-12]</sup>,有的研究侧重稀土元素在土壤—植物体系的分布特征和分异机理<sup>[2-5]</sup>,而有的研究则关注果树施用稀土肥料对品质和产量的影响<sup>[6-11]</sup>,在脐橙方面主要研究了稀土元素在其主要器官的分布特征<sup>[12]</sup>。目前的这些研究主要针对稀土元素在土壤与植物体系之间的迁移转化规律,而对稀土元素在母岩—土壤—植物大系统中的迁移规律研究则较缺乏,且对不同脐橙品种对稀土元素的吸收特性研究较少。

信丰县的脐橙品质优良,素有“中国脐橙之乡”的美誉。信丰县目前种植的有朋娜、纽贺尔、华脐、费息尔、纳佛林奈、福罗斯特等品种,其中以朋娜、纽贺尔和华脐的品质好,朋娜在 1987 年获全国橙类评比中第一名,纽贺尔 1989 年获部优产品。通过 1:5 万信丰图组农业地质专题研究,对信丰县 4 个主要脐橙种植区安西、大塘、西牛和同益的果园进行调查取样,研究稀土元素在脐橙果、叶及土壤和母岩系统中的分布特征,并探讨稀土元素对脐橙品质的影响。

## 1 样品采集及测试方法

脐橙样品采集对象为华脐、朋娜和纽贺尔 3 个品种,树龄在 5~8 年,果树均未专门喷施稀土肥料。叶片样由每 50 片叶子组合成一个样品共 10 个。每个果样由 2 个脐橙果组成,

其中一个做元素含量测定,另一个做营养物质分析,脐橙果样共 10 个。同时采集脐橙立地土壤样 9 个和母岩样 29 个。采集位置见图 1。叶样及去皮后的果样经灰化后与土壤、母岩样均采用中子活化法,对 La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb 和 Lu 等 8 种稀土元素进行全量分析,分析测试由成都理工学院应用核技术研究所完成。脐橙鲜果样营养物质的测定由江西农业大学测试中心完成。

## 2 测试结果

脐橙果、叶及土壤和母岩样品的中子活化分析测试结果见表 1。为了方便讨论,对于测定值如<0.096 等数值在参与计算时取一半值。按照地球化学通用的方法,将所测样品中的稀土元素含量,用球粒陨石中稀土元素丰度标准化,球粒陨石参数为参考文献[13]推荐的数据。采用分馏系数来确定轻重稀土的富集程度,稀土分馏系数定义为  $\sum (La+Ce+Nd+Sm+Eu) / \sum (Gd+Tb+Yb)$ 。

### 2.1 母岩和土壤中稀土元素的丰度及分布模式

脐橙生长区的基岩,安西为加里东期花岗岩,岩性主要为花岗闪长岩,大塘、同益和西牛则为晚白垩纪—古近纪红层,其中大塘和同益为同一晚白垩纪地层,西牛为古近纪红层,岩性主要为泥岩和砂岩。母岩样中 8 种稀土元素,单个元

收稿日期:2006-02-27;改回日期:2006-09-04

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200414200008)资助。

作者简介:谢振东,男,1975 年生,工程师,从事环境地质和农业地质调查;E-mail:zhendongxie@sohu.com。

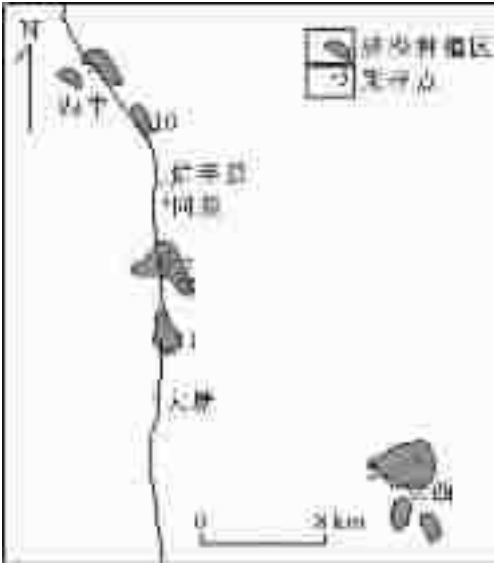


图 1 信丰县脐橙采样位置图

Fig.1 Sampling location of navel orange in Xinfeng County

素丰度为  $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-7}$ , 之和则为  $1 \times 10^{-3}$ , 以安西丰度最高, 其次为西牛、同益、大塘三地, 母岩中的稀土元素含量均高于地壳均值, 安西的母岩略低于花岗岩均值(表 1)。母岩的分布模式从稀土元素标准化图(图 2)中可以看出, 均为右倾斜, 从曲线上看是安西母岩 Eu 亏损不明显, 西牛 Eu 轻度亏损, 而大塘、同益则 Eu 明显亏损。分馏系数值达 33.98~37.55, 轻稀土明显富集。

脐橙生长区的土壤稀土元素特征与母岩的基本一致, 单个元素的丰度在  $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-7}$ , 含量相差不大, 多数元素丰度值低于母岩, 少部分 La、Ce 元素丰度高于母岩。土壤中的稀土总量西牛的丰度最高, 其他依次为安西、同益和大塘, 与土壤均值(表 1)相比, 安西和西牛高, 而同益和大塘略低。从图 2 中可以看出, 曲线右倾, 轻稀土富集, 它们的 Eu 的特征也与基岩基本一致, 稀土分馏系数为 21.77~104.58, 差异较明显, 安西最高, 其次为西牛、同益和大塘。土壤与母岩中的稀土元素有明显的继承性关系, 表明脐橙的立地土壤系由母岩风化形成的, 这与实地土壤调查情况相吻合, 但土壤与母岩之间存在一定的分异。

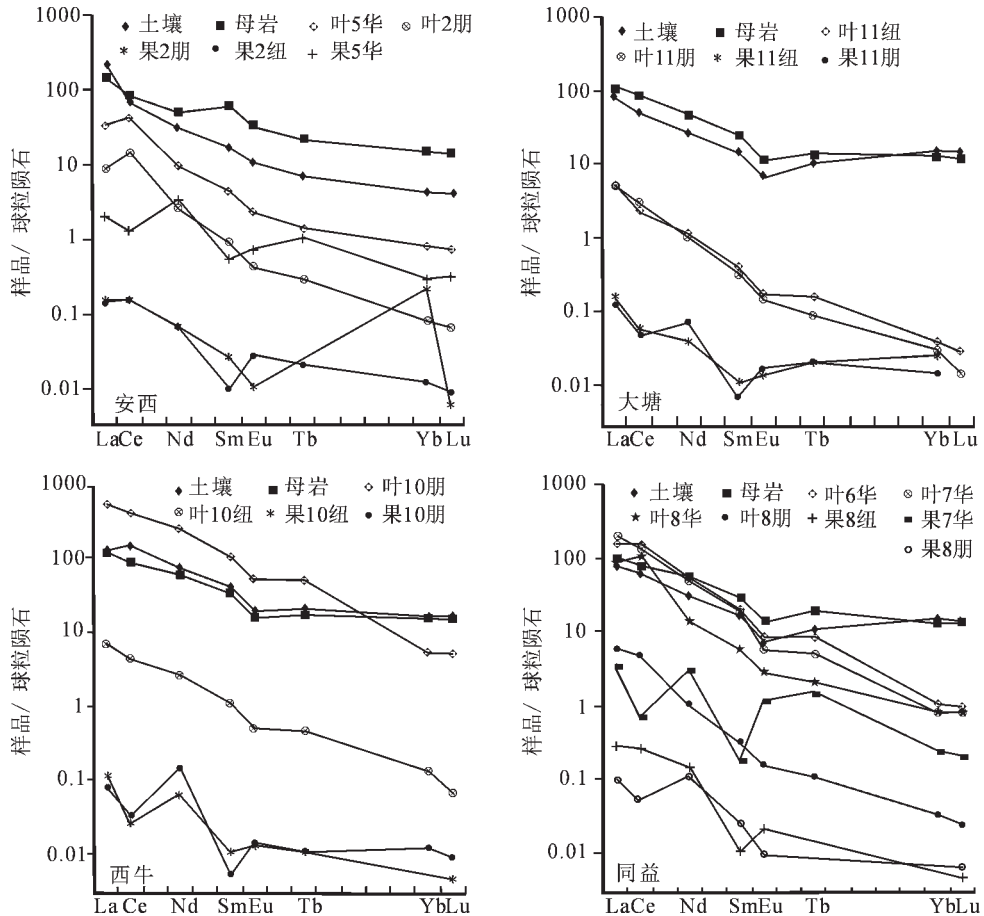


图 2 脐橙果和叶及土壤和母岩中稀土元素分布模式

Fig.2 Distribution pattern of REE in navel orange fruit, leaf, soils and parent rocks

表 1 脐橙果和叶及土壤和母岩样品的稀土元素含量( $10^{-6}$ )及有关参数

Table 1 REE content ( $10^{-6}$ ) and related parameters of navel orange fruit, leaf and soil samples and parent rocks											
地点	样品种类	样品数	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	分馏系数
安西	果 2 朋	1	0.046	0.121	<0.08	0.005	0.0008	\	<0.096	<0.0004	4.41
	叶 2 朋	1	2.65	11.1	1.54	0.177	0.033	0.014	0.017	0.0022	466.87
	果 2 组	1	0.044	0.122	<0.08	0.002	0.002	<0.002	<0.005	0.0003	55.26
	果 5 华	1	0.59	1.03	<4.2	0.104	0.054	<0.1	0.06	0.01	32.32
	叶 5 华	1	11.6	35.6	6.6	0.92	0.194	0.071	0.182	0.0238	198.39
	土壤	2	65.75	62.65	18.6	3.425	0.797	0.346	0.956	0.144	104.58
	花岗岩母岩	6	47.92	69.93	31.53	11.882	2.418	1.085	3.037	0.449	35.81
同益	果 7 华	1	1.02	<1.1	<3.4	0.033	0.083	<0.14	0.048	0.0062	27.26
	叶 6 华	1	53.6	130	34.4	4.21	0.603	0.375	0.233	0.0293	349.62
	叶 7 华	1	59.5	101	29	3.53	0.43	0.24	0.17	0.0258	443.92
	果 8 朋	1	0.03	0.044	<0.126	0.005	0.0007	\	\	<0.0004	713.50
	叶 8 朋	1	1.77	3.69	0.625	0.063	0.012	0.005	0.007	0.00075	483.14
	果 8 组	1	0.085	0.218	0.085	0.002	0.0015	\	\	<0.0003	2610
	叶 8 华	1	26	86.4	8.3	1.12	0.208	0.098	0.16	0.0245	431.96
	土壤	4	24.45	53.38	18.08	3.33	0.538	0.492	2.95	0.425	25.8
	红层母岩	6	31.48	63.11	33.31	5.44	1.03	0.859	2.68	0.415	33.98
西牛	果 10 朋	1	0.023	0.026	0.088	0.001	0.001	<0.001	<0.005	0.0003	42.12
	叶 10 朋	1	172	331	150	21.6	3.95	2.42	1.12	0.167	183.05
	果 10 组	1	0.034	0.021	<0.073	0.002	0.0009	<0.001	\	<0.0003	144.46
	叶 10 组	1	2.16	3.61	1.64	0.209	0.038	0.021	0.027	0.0021	152.83
	土壤	1	42.6	117	43	7.47	1.33	1	3.49	0.526	42.15
	红层母岩	10	37.11	73.02	35.24	6.53	1.22	0.828	3.14	0.497	34.29
大塘	果 11 朋	1	0.037	0.039	<0.088	0.0013	0.0012	<0.002	<0.006	\	30.63
	叶 11 朋	1	1.61	2.32	0.607	0.063	0.011	0.004	0.006	0.00048	439.98
	果 11 组	1	0.048	0.048	<0.05	0.0022	0.001	<0.002	0.0053	\	19.71
	叶 11 组	1	1.54	1.87	0.68	0.076	0.012	0.007	0.008	0.00088	263.1
	土壤	2	24.75	43.15	15.9	2.89	0.537	0.471	3.045	0.4905	21.77
	红层母岩	7	31.36	67.17	26.76	4.63	0.826	0.61	2.492	0.379	37.56
	地壳 <sup>[14]</sup>		30	60	28	6	1.2	0.9	3	0.5	
土壤 <sup>[15]</sup>		34.5	48.1	19.5	5.54	1.36	0.79	2.46	0.43		
花岗岩 <sup>[14]</sup>		50	100	46	8.3	1.1	1.12	4.8	0.78		

注：“\”表示未测定出含量；测试单位为成都理工学院应用核技术研究所。

表 2 脐橙果和叶稀土元素的生物吸收系数(BAC)

Table 2 Biological absorption coefficient (BAC) of REE in navel orange fruit and leaf

种类	样品数	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
叶(朋)	4	0.0592	0.1	0.0518	0.0308	0.0281	0.0197	0.0074	0.006
叶(组)	2	0.0565	0.0371	0.0405	0.0271	0.0255	0.0179	0.0052	0.0029
叶(华)	4	1.4664	1.6286	1.0801	0.7323	0.6375	0.4136	0.0953	0.0881
叶(平均)	10	0.6840	0.7654	0.5063	0.3418	0.2984	0.1944	0.046	0.0418
果(朋)	4	0.001	0.001	0.0026	0.0009	0.0013	0.0007	0.013	0.0006
果(组)	4	0.0017	0.0018	0.0023	0.0006	0.002	0.0014	0.0011	0.0007
果(华)	2	0.0253	0.0134	0.1035	0.0201	0.111	0.1434	0.0395	0.042
果(平均)	10	0.0062	0.0038	0.0227	0.0046	0.0235	0.0295	0.0135	0.0089

## 2.2 稀土元素在果和叶中的丰度及分布模式

叶中的稀土元素含量为 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-10}$ (表 1), 西牛的脐橙叶中稀土丰度最高, 其次同益、安西和大塘, 这显示出脐橙叶稀土元素丰度高低与土壤的全量丰度高低并不完全一

致, 而应与土壤中稀土元素生物有效态含量有关。从品种上看, 虽然在叶 10 朋出现了稀土元素高异常值, 但是总体上叶中稀土元素的丰度为华脐>朋娜>纽贺尔, 可见叶中稀土丰度高低与脐橙品种也很有关系。稀土在叶中的分布模式曲线与土

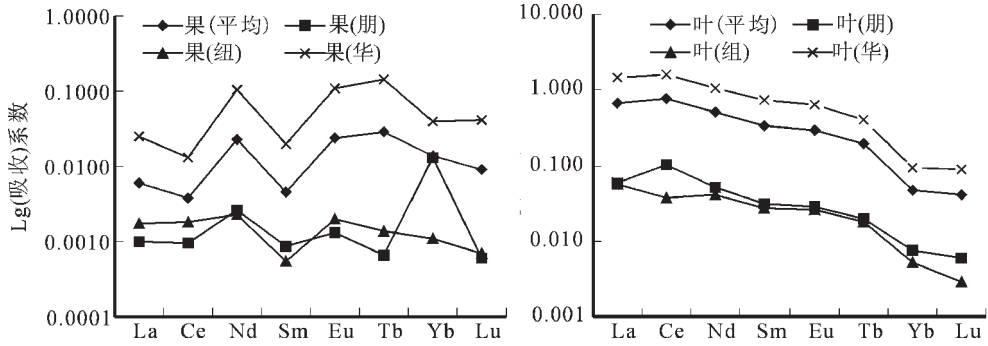


图 3 脐橙果和叶稀土元素的生物吸收系数

Fig.3 Biological absorption coefficient (BAC) of REE in navel orange fruit and leaf

壤的近似但也存在差别,曲线为右倾,斜率大于土壤的,主要存在 2 种类型:第一种为 Ce 正异常、Eu 亏损型,当中有的曲线 Eu 亏损比较明显,而有的比较轻微;第二种为 Eu 亏损型,也存在 Eu 亏损明显和轻微之分。叶的分馏系数在 152.83~466.87,远远高于土壤中的分馏系数,说明脐橙叶中轻稀土高度富集,稀土元素的生物分异作用强。

稀土元素在脐橙果中的丰度较低 ( $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-10}$ ),且在部分果实中的重稀土元素含量不稳定,甚至一些 Tb、Yb 和 Lu 等元素含量太低,而未能测定出含量。稀土元素在华脐果丰度最高,朋娜和纽贺尔果内的丰度较低,而相差不大。果的分布模式与叶的分布模式很不相同,而情况更为复杂,其曲线为右倾,主要的分布模式为 Nd、Eu、Tb 正异常而 Ce、Sm 明显亏损型。此外还存在 Ce、Eu 正异常而 Sm 明显亏损和 Ce、Tb 正异常而 Eu 亏损型等。分馏系数在各个果之间差异较大,一般多数在 20~60,极端出现 4.41 和 2610,这与果中重稀土元素丰度不稳定有一定的关系,但总体上看,果中轻稀土富集程度要比叶中低。脐橙果的稀土分布模式的复杂性与品种及其生长在不同母岩形成的土壤均有一定关系,是否还与果实的成熟度因素存在一定关系,有待今后进一步研究。脐橙叶中的稀土分布模式与土壤的有相似之处,可以说明叶中的稀土主要来源于土壤中,但是存在明显的生物分异作用。果与叶的分布模式的较大差异显示植物器官之间稀土元素的生物分异作用很强。

### 2.3 脐橙果和叶对稀土元素吸收特征

植物体对元素吸收强度用生物吸收系数来表示<sup>[9]</sup>,定义生物吸收系数  $BAC = C_p / C_s$  ( $C_p$  是植物灰华中某一元素的含量;  $C_s$  是土壤中同一元素的含量)。生物吸收系数即反映了植物体的吸收能力,也反映稀土元素在植物体内迁移能力。利用公式计算获得不同脐橙品种果和叶的吸收常数结果(表 2),两者相差较大,并且选择吸收的稀土元素也不相同。

由表 2 及图 3 中可以看出,脐橙叶对稀土的吸收能力远远强于果。华脐和朋娜叶对轻稀土的 Ce 吸收最强,其次 La,而在纽贺尔叶中则是 La 最强,次为 Nd 和 Ce,其他稀土

元素则随原子序数增加而吸收能力下降。叶中 La、Ce 吸收强度高与它们能增加叶绿素含量促进光合作用有关。从品种上看,华脐叶对稀土元素吸收能力最强,BAC 在 1.46~0.088,是朋娜和纽贺尔的几十倍,属于强—中等吸收,属富稀土植物器官。而朋娜和纽贺尔叶的 BAC 则较低,前者略高于后者,BAC 分别在 0.006~0.1 和 0.0029~0.056,为弱—中等吸收。

脐橙果对稀土元素的吸收强度非常低,总体上看脐橙果对 Nd、Eu 和 Tb 吸收强,Ce、Sm 吸收弱。但是不同品种果选择性吸收稀土元素的种类差异很大。华脐果 BAC 在 0.1434~0.0134,对稀土元素的吸收强度最大,但吸收曲线波动性也最大,对元素选择性吸收极其明显。其对重稀土元素 Tb 吸收最强,其次为轻稀土 Eu 和 Nd,对轻稀土 Ce 和 Sm 的吸收最弱。朋娜和纽贺尔果的吸收曲线相对华脐而言波动小,BAC 分别在 0.013~0.0007 和 0.0023~0.0006,吸收强度低。并且重稀土元素在一些朋娜和纽贺尔的果中没有检测出,显示吸收的不稳定性。朋娜果虽然对重稀土 Yb 平均吸收系数数值最高,但是 Yb 在果中并不稳定,对轻稀土 Nd 和 Eu 吸收较强且相对稳定,对重稀土 Tb 和 Lu 吸收能力最弱。纽贺尔果则对轻稀土 Nd 和 Eu 吸收强,对 Sm 和 Lu 吸收能力最弱。

脐橙果和叶对稀土元素明显选择性吸收的特征,一方面是不同的品种的脐橙对稀土元素生理需求差别的体现,另一方面这也是不同稀土元素在植物器官中迁移能力的反映。由此可见,脐橙不同品种及其果和叶对稀土元素的选择性吸收,是稀土元素在土壤—植物体系中产生分异的一个主要原因。

### 3 稀土元素与脐橙品质关系探讨

华脐果在有机营养(总糖+有机酸+蛋白质)和维生素 C 含量方面是 3 个品种中最高,其次是纽贺尔和朋娜(表 3),并且它也明显优于其他产地的(如重庆奉节)华脐果实品质<sup>[7]</sup>。一些研究表明稀土元素对提高果树的作果率,增加产量,改善果实品质方面有一定的作用,稀土元素对改善和增强光合器官的结构、功能和活性,大大加强光合产物的产出和向结实器官的转运,可以使蛋白质、氨基酸、维生素、抗逆性和糖

表 3 信丰脐橙鲜果的有机营养物质测定结果及参数  
Table 3 Results of measurements and parameters of organic nutrients in navel orange fruit in Xinfeng

地点	样号	水分(%)	有机酸 (%)	维生素 C (mg/100g)	可溶性固形物(%)	总糖(%)	还原糖 (%)	蔗糖(%)	蛋白质(%)	固酸比	糖酸比
安西	果 2 朋	89.18	0.376	49.82	10.5	7.92	3.85	4.07	0.7	27.93	21.06
	果 2 纽	86.52	0.549	53.47	11.2	8.82	4.56	4.26	0.71	20.40	16.07
	果 5 华	84.31	0.759	62.82	未测	10.73	6.31	4.43	0.892		14.14
同益	果 7 华	81.2	0.823	59.71	未测	11.8	6.76	5.04	1.594		14.34
	果 8 朋	88.52	0.615	43.15	10.5	8.02	3.95	4.08	0.71	17.07	13.04
	果 8 纽	85.57	0.444	41.81	12.2	9.25	4.52	4.73	1	27.48	20.83
西牛	果 10 朋	88.91	0.558	39.47	10	7.54	3.63	3.91	0.77	17.92	13.51
	果 10 纽	86.36	0.455	49.55	12.8	10.64	5.02	5.61	0.76	28.13	23.38
大塘	果 11 朋	88.8	0.487	33.18	10	7.28	3.46	3.82	0.82	20.53	14.95
	果 11 纽	86.87	0.46	42.22	12	8.76	4.62	4.13	0.91	26.09	19.04

注:由江西农业大学分析测试中心分析。

酸比增加<sup>[11]</sup>。因此,华脐的高有机营养物质含量应当与其叶中高丰度的稀土元素有着密切的关系,叶中的稀土元素高丰度对华脐营养物质合成起了很重要的生物化学作用影响。但是,在朋娜品种中出现了一种情况,在朋娜的叶 10 朋样中的稀土元素丰度高异常,而其果 10 朋的营养物质并不是很高,甚至还不如其他叶样中稀土元素丰度较低的果,表明稀土元素在叶中丰度高低是有一定限度范围的。此外,在糖酸比指标上,纽贺尔>朋娜>华脐,在固酸比指标上纽贺尔又强于朋娜,说明在口感上纽贺尔的最好,朋娜略强于华脐。但是纽贺尔和朋娜在叶中稀土元素丰度却远远低于华脐,显然稀土元素在促进有益营养元素吸收以及有机营养物质合成的生物化学作用等方面,在不同品种脐橙之间存在一定差异。

#### 4 结论与讨论

总的来看,华脐对稀土元素特别是轻稀土元素的生物需求量,对土壤中稀土元素的损耗也就高,因而其更适合于种植在稀土元素高背景地区,在长期种植后需要补充稀土微肥,已在低稀土背景地区种植的应及时补充稀土微肥来改善和提高其品质,同时还可以针对华脐对稀土元素强吸收的特性,对该品种进行改良培育出新品种。纽贺尔和朋娜对稀土元素生物需求量低,土壤中的稀土元素损耗较低,从农业种植中低消耗、高产质的角度来说,说明它们的品种更好,适宜种植的地区更广。

从稀土元素在母岩—土壤—植物这个大系统中迁移特征来看,脐橙品质与其生长地的地质背景之间存在一定的关联性。就信丰县这四处种植区的地质背景条件对比表明,安西地区加里东花岗岩风化形成的土壤区和同益地区白垩系红层风化形成的土壤区生长出的脐橙品质最好。两者在全县分布面积约 30 km<sup>2</sup> 和 20 km<sup>2</sup>, 该地区风化形成的土壤适宜规划种植华脐、纽贺尔和朋娜。而大塘和西牛地质背景条件则适合种植纽贺尔和朋娜,与其相近型地质条件背景区分布面积较广,约有 110 km<sup>2</sup>。

#### 参考文献 (References):

- [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, 2000.67~70.  
Xiong Bingkun, Chen Peng, Guo Bosheng, et al. Research and the Application of Rare Earths[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2000.67~70(in Chinese).
- [2] 张智勇, 李福亮, 王玉琦, 等. 土壤—植物体系稀土元素的分异现象[J]. 中国稀土学报, 2002,20(1):94~96.  
Zhang Zhiyong, Li Fuliang, Wang Yuqi, et al. Fractionation of rare earth elements in plant—soil system [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2002,20(1):94~96(in Chinese with English abstract).
- [3] 顾雪元, 王晓蓉, 顾志忙. 稀土在土壤—植物系统中的分馏效应及影响因素[J]. 环境科学, 2002,23(6):74~78.  
Gu Xueyuan, Wang Xiaorong, Gu Zhimang. Fractionation and relevant influencing factors of rare—earth elements (REE) in a soil—plant system [J]. Environmental Science, 2002,23 (6):74~78 (in Chinese with English abstract).
- [4] 梁涛, 章申, 王立军, 等. 小麦籽粒中痕量稀土元素的背景含量及分布特征[J]. 科学通报, 1999,44(23):2570~2573.  
Liang Tao, Jiang Sheng, Wang Lijun, et al. Distribution characteristics and background of REE in wheat seeds [J]. Chinese Science Bulletin, 1999,44(23):2570~2573(in Chinese).
- [5] 王玉琦, 孙景信, 陈红民, 等. 中子活化法研究稀土矿区植物体中稀土元素的分布特征[J]. 中国稀土学报, 1997,15(2):160~164.  
Wang Yuqi, Sun Jingxin, Chen Hongmin, et al. Study on contents and distribution characteristics of rare earths in natural plants by NAA [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 1997,15(2):160~164(in Chinese with English abstract).
- [6] 任胜云. 无核蜜柑施稀土的研究[J]. 稀土, 1994,15(2):62~66.  
Ren Shengyun. Non nuclear mandarin orange apply rare earths studies[J]. Chinese Rare Earths, 1994,15(2):62~66(in Chinese).
- [7] 廖铁军, 黄云, 苏彬彦, 等. 稀土对作物的生物效应研究[J]. 稀土, 1994,15(5):26~29.

- Liao Tiejun, Huang Yun, Shu Bingyan, et al. Rare earth biological effects on crop research[J]. Chinese Rare Earths, 1994,15(5):26~29 (in Chinese).
- [8] 郑海雷, 赵中秋, 张春光, 等. 稀土生物效应机理研究进展[J]. 稀土, 2000,21(8):55~60.
- Zheng Hailei, Zhao Zhongqiu, Zhang Chunguang, et al. Advances in mechanism research of rare earth biological effect [J]. Chinese Rare Earths, 2000,21(8):55~60(in Chinese with English abstract).
- [9] 方能虎, 何友昭, 赵贵文. 稀土元素的植物生理作用研究进展[J]. 稀土, 1998,19(5):66~70.
- Fang Nenghu, He Youzhao, Zhao Guiwen. Advance in study of physiological effects of rare earth elements on plants [J]. Chinese Rare Earths(in Chinese with English abstract).
- [10] 宁加贲. 稀土对作物增效因子的研究[J]. 稀土, 1994,15(1):63~65.
- Ning Jiafeng. Rare earth efficiency factor for crop research [J]. Chinese Rare Earths, 1994,15(1):63~65(in Chinese).
- [11] 王宪泽. 稀土农用的效果、影响因素及其作用的生理基础[J]. 稀土, 1994.15(1):47~49.
- Wang Xianzhe. Rare earth agricultural results, physiological factors affecting the foundation and its role [J]. Chinese Rare Earths, 1994.15(1):47~49(in Chinese).
- [12] 吴香尧, 童纯菡, 李志扬. 四川眉山脐橙果树各器官及其土壤中稀土元素分布特征研究[J]. 成都理工学院学报, 2002,29(3):346~349.
- Wu Xiangyao, Tong Chunhan, Li Zhiyang. Study of distribution features of REE in the navel-orange trees and soils in Meishan, Sichuan [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002,29(3):346~349(in Chinese with English abstract).
- [13] 高秉璋, 洪大卫, 郑基俭, 等. 花岗岩类区 1:5 万区域地质填图方法指南[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991,33.
- Gao Bingzhang, Hong Dawei, Zhen Jijian, et al. A Guide to the Method of the 1:50000 Regional Geological Survey in Igneous Granite Areas [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1991,33(in Chinese).
- [14] 涂光炽, 等. 地球化学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1982.246.
- Tu Guangzhi, et al. Geochemistry [M]. Shanghai:Shanghai Science and Technology Press, 1982.246(in Chinese).
- [15] 刘铮, 等. 微量元素的农业化学[M]. 北京:农业出版社,1991.337.
- Liu zheng, et al. Trace Elements of the Agricultural Chemistry[M]. Beijing:Agricultural Press, 1991.337(in Chinese).
- [16] 尚翎, 提福魁, 王淑华, 等. 元素生态地球化学及其应用 [M]. 沈阳:辽宁大学出版社, 1997.29~35.
- Shang Lin, Ti Fukui, Wan Shuhua, et al. Ecological Element Geochemistry and Its Application [M]. Shenyang:Liaoning University Press, 1997.29~35(in Chinese).
- [17] 中国农业科学院果树研究所, 郑州果树研究所, 柑桔研究所主编. 中国果树栽培学[M]. 北京:农业出版社, 1987.893.
- Fruit Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou Fruit Institute, Citrus Institute (eds.). Chinese Fruit Cultivation[M]. Beijing:Agricultural Press, 1987.893(in Chinese).

## Distribution characteristics of REE in quality navel orange fruit and leaf in Xinfeng County, Jiangxi

XIE Zhen-dong<sup>1</sup>, FANG Xuan-zhong<sup>2</sup>, ZHEN Wen<sup>3</sup>

(1. Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330201, Jiangxi, China;

2. Qinglong Antimony Deposit, Qinglong 561409, Guizhou, China;

3. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China)

**Abstract:** On the basis of the 1:50,000 agro-geological survey of the Xinfeng County Sheet, the neutron activation analysis was used to analyze eight rare earth elements (REE) (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb and Lu) in fruit and leaf samples of three navel orange varieties from Anxi, Datang, Xiniu and Tongyi. This paper deals with the abundances, distribution patterns and manikin absorption of REE in navel orange fruit and leaf and their soils and parent rocks and discusses the relationship between REE and the quality of navel orange.

**Key words:** REE; Xinfeng County; navel orange

**About the first author:** XIE Zhen-dong, male, born in 1975, engineer, engages in the study of environmental geology and agro-geological survey; E-mail: zhendongxie@sohu.com.