

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.03.010

纽荷尔脐橙果园稀土元素与果实品质的相关性研究

周上铃^{1,2}, 王君秀², 沈鑫健², 朱礼乾²,
彭良志², 凌丽俐², 钱 春¹, 淳长品²

1. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 柑桔研究所, 重庆 400712

摘要: 赣南是我国柑橘主产区之一,也是离子型稀土发源地,而稀土元素对果树的生长发育存在 Hormesis 效应,且近几年生产上稀土肥的施用越来越普遍。因此,本试验探究赣南纽荷尔脐橙园土壤的稀土元素分布与果实品质的相关性,以期为稀土地区纽荷尔脐橙栽培提供理论依据。以江西寻乌、信丰、龙南地区共 30 个纽荷尔果园为采样点,采集土壤和果实,分析不同区域果园土壤的稀土元素分布情况及稀土元素分布与果实品质的相关性。结果表明,信丰、龙南、寻乌 3 个地区稀土元素总质量分数从大到小依次为信丰、寻乌、龙南;纽荷尔脐橙果实大小、可溶性固形物、果皮亮度和红色度与稀土元素质量分数呈正相关,而可食率和维生素 C 与稀土质量分数呈负相关;Ce, La, Eu 和 Yb 是影响纽荷尔脐橙果实品质最主要的几种元素。

关键词: 赣南; 纽荷尔脐橙; 稀土元素; 果实品质; 相关性

中图分类号: S666.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)03-0067-07

赣南具有“中国脐橙之乡”的美称,其脐橙种植面积世界第一^[1],2019 年脐橙种植面积 10.87 万 hm^2 ,同时因具有丰富的稀土矿藏资源而以“稀土王国”闻名^[2]。稀土元素(Rare earth elements, REEs)是由性质相近的 15 种镧系元素以及与镧系元素性质极为相似的钪、钇共 17 种元素组成;将具有较低原子序数和质量的镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)称为镧族稀土,也称作轻稀土元素(LREE);将具有较高原子序数和质量的钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)、铕(Y)、钪(Sc)等元素称钪族元素,也称作重稀土元素(HREE)^[3]。近年来,随着矿采和生产活动的急剧增加,大量的稀土元素通过各种途径释放到环境中,分散并积聚在附近的土壤、水域、大气和植物中。不同地区稀土元素含量差异很大,稀土矿区环境中稀土含量比非稀土区高出数倍至数百倍^[4],如江西省赣州市赣县稀土地区周边耕地土壤中的稀土总含量是对照区的 2.1 倍^[5]。稀土元素的积累必然会对生态环境,尤其是植物的生长造成一定的影响。研究表明,稀土元素对植物的生长发育有 Hormesis 效应;Hormesis 效应指有毒物质对生物体的刺激反应,即在低剂量时表现促进作用,高剂量时具有抑制作用^[6]。适量的稀土元素表现为促进植物的生长发育、提高植物光合作用和抗逆能力等^[7-8],但高浓度的稀土元素却对植物产生毒害作用,主要表现为根和叶的生长速度减缓、叶片枯萎变黄及其他生理生化指标弱化等^[9-10]。

收稿日期: 2020-08-12

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFD0201507, 2017YFD0202006); 国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26-01A)。

作者简介: 周上铃, 硕士研究生, 主要从事柑橘栽培与生理研究。

共同第一作者: 王君秀, 博士研究生, 主要从事桃果树种质资源研究。

通信作者: 淳长品, 副研究员。

共同通信作者: 钱 春, 高级实验师。

赣南是我国离子型稀土的发源地,主要集中在赣南的寻乌、龙南、信丰、安远、定南等区域^[11]。由于赣南稀土矿区与柑橘产区高度重合^[12],且随着稀土肥的普遍使用,柑橘果园土壤中的稀土元素含量逐渐增加。因此,研究赣南地区纽荷尔脐橙果园土壤的稀土元素分布情况及其与果实品质的相关性对纽荷尔脐橙生产具有重要意义。本研究以江西省寻乌、信丰、龙南县为试验地点,采集 30 个纽荷尔脐橙果园的土壤和果实样品,测定土壤样品中稀土元素含量,分析果实样品内在和外在品质,研究赣南地区纽荷尔脐橙果园土壤的稀土元素分布情况及其与果实品质的相关性,以期为当地纽荷尔脐橙的栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土壤和果实样品采集和前处理

2016 年 11 月在江西省信丰、龙南、寻乌 3 个县共 30 个纽荷尔脐橙园内各选取长势基本一致的植株为样本树,每个果园按“S”型法选采样树 15 株,每 5 株树为 1 个重复,每个果园 3 次重复。每株树按东、南、西、北 4 个方位采集 15 个果实,用于果实品质测定。在树冠滴水线周围挖 40 cm 左右深坑,均匀采集剖面深度 5~35 cm 土壤约 200 g,去除根系及砾石等杂物,将 15 个采样点所采土壤混匀后,用四分法取约 500 g,带回实验室风干、研碎、过筛后保存备用^[13]。

1.2 土壤稀土元素测定

样品待测液制备:称取约 0.25 g 样品,加入 9 mL HNO_3 ,1 mL HCl 及 3 mL H_2O_2 ,微波消解后将样品转移至三角瓶中,于 160 °C 下赶酸 40 min,冷却后用超纯水定容至 25 mL。样品做 3 个平行,同时做试剂空白^[14]。

标曲:将各稀土元素 100 mg/mL 的标准溶液分别配置为 1,2,5,8,10 mg/mL 溶液,以 HNO_3 为介质。用 Agilent 5110 ICP-OES 测定稀土含量。仪器设置:射频发射器功率 1 000 W,载气流量 15 L/min,辅助气流量 0.2 L/min,雾化器流量 0.8 L/min,蠕动泵泵速 1.5 mL/min,轴向观测,重复 3 次。

1.3 果实品质测定

用卷尺测定果实纵横径,用电子天平测量单果质量,用色差仪 CR-10(日本美能达)测定果皮色差。将果实沿赤道部横切后,用游标卡尺测定果皮厚度;然后将其榨汁并过滤,所得果汁用于测定各样品的可滴定酸(NaOH 中和滴定法)、可溶性固形物(手持测糖仪)和维生素 C 含量(2,6-二氯苯酚吲哚酚钠滴定法测定),并计算其固酸比。

1.4 数据处理

用 Excel 2010 对试验数据进行统计,用 SPSS 20.0 进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤稀土元素分布情况

2.1.1 土壤中各稀土元素质量分数

试验结果看出,赣南信丰、龙南、寻乌 3 个地区所采土壤均检测到稀土元素,且不同地区差异较大,土壤中总稀土、轻稀土、重稀土质量分数从大到小依次均为信丰、寻乌、龙南。信丰果园土壤中的稀土总质量分数范围为 128.60~754.96 mg/kg,平均值为 407.11 mg/kg;龙南果园土壤中的稀土总质量分数范围为 91.09~481.05 mg/kg,平均值为 239.43 mg/kg;寻乌果园土壤中的稀土总质量分数范围为 102.09~562.72 mg/kg,平均值为 253.33 mg/kg;信丰果园稀土总质量分数平均值分别为龙南和寻乌的 1.70 和 1.61 倍。经方差分析,信丰地区的总稀土元素质量分数与寻乌差异无统计学意义,与龙南差异有统计学意义。3 个地区都以轻稀土元素为主,轻稀土元素中以 Ce,La,Nd 质量分数最高。信丰和寻乌果园轻稀土质量分数从高到低依次为 Ce,La,Nd,Pr,Sm,Eu,龙南从高到低依次为 Ce,Nd,La,Pr,Sm,Eu;信丰地区土壤中各轻稀土元素质量分数为寻乌的 1.49~2.74 倍,而龙南与寻乌之间差异不大;信丰地区的轻稀土总质量分数与寻乌和龙南差异有统计学意义,寻乌和龙南之间差异没有统计学意义。重稀土中 Y,Gd 和 Tm 3 种元素质量分数较高,但这几种元素的质量分数在信丰、龙南和寻乌 3 地之间差异均没有统计学意义。信丰和龙南地区的 Lu,Yb 质量分数差异有统计学意义,但信丰与寻乌、寻乌与龙南之间差异无统计学意义(表 1)。

表 1 江西省信丰、龙南、寻乌县果园的土壤中各稀土元素质量分数 mg/kg

地区	L-Ce	L-La	L-Nd	H-Y	H-Gd	L-Pr
信丰	171.10±25.94a	72.73±16.20a	56.51±12.95a	36.22±11.07a	15.95±2.33a	15.11±3.31a
龙南	90.56±20.05b	35.76±8.38b	39.25±7.65a	23.10±5.69a	13.04±1.88a	10.10±1.80a
寻乌	99.19±15.81b	37.78±9.39b	36.59±8.48a	22.77±6.57a	13.60±1.54a	10.12±2.03a
	L-Sm	H-Tm	H-Dy	H-Er	L-Eu	H-Ho
信丰	13.70±3.13a	9.49±0.45a	5.52±1.84a	3.42±1.01a	1.48±0.52a	0.12±0.08a
龙南	8.46±1.89a	10.63±2.68a	3.82±1.15a	1.96±0.47a	0.03±0.03b	0.00±0.00a
寻乌	8.87±2.23a	11.26±0.87a	4.13±1.39a	3.18±0.75a	0.54±0.20b	0.07±0.07a
地区	H-Lu	H-Tb	H-Yb	∑LREE	∑HREE	∑REE
信丰	1.07±0.14a	1.37±0.34a	3.32±0.86a	330.63±50.41a	76.48±17.59a	407.11±66.32a
龙南	0.40±0.17b	1.19±0.30a	1.10±0.25b	184.17±38.56b	55.24±8.98a	239.43±45.42b
寻乌	0.74±0.14ab	1.97±0.28a	2.52±0.57ab	193.09±37.72b	60.24±11.10a	253.33±47.83ab

注: L 表示该稀土元素为轻稀土, H 表示该稀土元素为重稀土; 同列不同小写字母间表示显著有统计学意义 ($p < 0.05$), 表 2 同.

2.1.2 各地稀土元素占总稀土元素比例

信丰、龙南、寻乌 3 个地区的果园土壤中各稀土元素占其总量的比例差异较大, Ce, La, Nd, Y, Gd, Pr, Sm, Tm 等元素比例较大, 尤其是 Ce, La, Nd, Y 4 种元素之和占总稀土元素的 80% 以上. 3 个地区果园土壤中的 Ce 比例最大, 其中信丰 Ce 占比最高, 为 42.03%, 寻乌和龙南分别为 39.15%, 37.82%; 其次为 La 元素, 同样以信丰占比最高, 为 17.87%, 龙南和寻乌为 14.94%, 14.91%. Nd 元素比例以龙南地区最大, 为 16.39%, 寻乌地区为 14.45%, 信丰最小, 为 13.88%; 3 个地区果园土壤 Y 元素比例为 9% 左右, 且从高到低依次为龙南、寻乌、信丰; 龙南地区的 Gd, Pr, Sm, Tm 等元素比例与寻乌相近, 但均高于信丰(图 1).

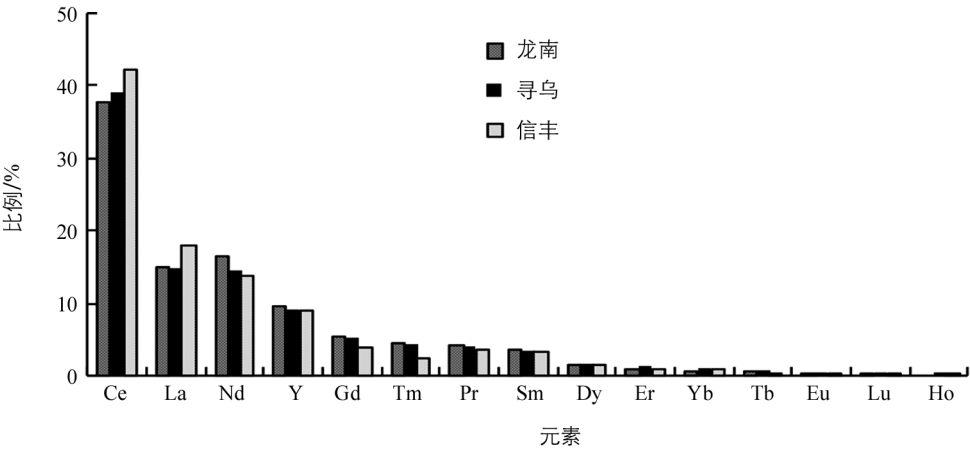


图 1 寻乌、信丰、龙南果园土壤中各稀土元素占比

2.2 赣南纽荷尔脐橙果实品质分析

试验对信丰、龙南、寻乌 3 个地区果实品质进行了分析. 结果显示, 信丰地区果实单果质量最大, 为 251.75 g, 与寻乌和龙南差异有统计学意义, 后两者分别为 228.00 g 和 223.52 g, 二者之间差异无统计学意义. 3 个地区果实果形指数均略大于 1, 表明果实的果形为椭圆近圆球形, 其中信丰地区果实果形指数略小于龙南和寻乌, 更加接近圆球形. 信丰地区果实果皮厚度最大, 平均厚度 4.45 mm, 其次为龙南地区, 平均果皮厚度为 4.11 mm, 果皮最薄的是寻乌地区, 平均厚度为 3.77 mm, 3 地间相互差异均有统计学意义. 信丰和寻乌地区果实亮度(L^*)差异无统计学意义, 龙南地区的 L^* 值较低, 与前两者间差异有统计学意义; a^* 值代表红绿色差, 负值表示偏绿, 正值表示偏红, 信丰地区果实果皮最红, 其次是寻乌, 龙南红色度着色最差, 且龙南果皮 a^* 值与信丰有差异有统计学意义; b^* 值代表黄蓝色差, 负值表示偏蓝, 正值表示偏黄, 信丰地区果实果皮最黄, 其次是寻乌, 龙南 b^* 值最低, 与前两者差异有统计学意义. 3 个地区的果

实可食率最大的是龙南,为 75.92%,其次是寻乌,为 75.6%,两者差异没有统计学意义,可食率最小的是信丰,为 74.26%,与前两者差异有统计学意义. 3 个地区果园的可溶性固形物最高的是信丰,为 11.82%,其次是龙南,为 11.20%,寻乌最低,为 11.00%;信丰和寻乌两地果实可溶性固形物差异有统计学意义,龙南果实可溶性固形物与前两者差异无统计学意义. 3 个地区果园的可滴定酸均值相似,信丰和寻乌可滴定酸为 0.54%,龙南为 0.56%,三者之间差异无统计学意义. 固酸比最高的是龙南,为 25.61,其次是寻乌,为 24.01,最小的是信丰,为 22.2,三者之间差异无统计学意义. 3 个地区果园的果实维生素 C 最高的是龙南,每 100 mL 果汁中维生素 C 为 56.91 mg,其次是寻乌,为 48.99 mg,最小的是信丰,为 40.69 mg,三者之间相互差异有统计学意义(表 2).

表 2 江西省信丰、龙南、寻乌县果园纽荷尔果实品质比较

地区	单果质量/g	果形指数	果皮厚度/mm	L^*	a^*	b^*
信丰	251.75±4.13a	1.05±0.01a	4.45±0.12a	72.32±0.21a	8.19±0.84a	69.39±0.60a
龙南	223.52±4.60b	1.06±0.02a	4.11±0.10b	69.61±0.46b	3.97±1.19b	65.19±0.72b
寻乌	228.00±3.90b	1.06±0.01a	3.77±0.04c	72.52±0.21a	6.74±0.79ab	68.35±0.53a

地区	可食率	可溶性固形物/%	可滴定酸/%	固酸比	维生素 C/mg
信丰	74.26±0.52b	11.82±0.25a	0.54±0.02a	22.20±0.89a	40.69±1.27c
龙南	75.92±0.48a	11.20±0.24ab	0.56±0.04a	25.61±2.37a	56.91±1.58a
寻乌	75.60±0.22a	11.00±0.23b	0.54±0.04a	24.01±3.86a	48.99±1.53b

注:表格中“维生素 C”表示每 100 mL 果汁中所含维生素 C 的质量.

2.3 土壤中稀土元素分布与果实品质的相关性分析

2.3.1 土壤稀土元素质量分数与果实品质的相关性

土壤中的稀土元素质量分数与果实品质相关性分析表明,不同稀土元素与各果实品质的相关性不同. 土壤中各稀土元素质量分数与果实单果质量均呈正相关,与固酸比均呈负相关. 多数元素与可溶性固形物、 L^* 和 a^* 值呈正相关,与可食率和维生素 C 呈负相关. Gd 与果实单果质量呈显著正相关, Tb 与果皮厚度呈显著负相关, Tm 与 b^* 呈显著负相关; Yb 与单果质量呈显著正相关,与维生素 C 呈显著负相关; Eu 与单果质量和 b^* 呈显著正相关,与维生素 C 呈显著负相关; Ce 和 La 两种元素也与维生素 C 呈显著负相关; Lu 与单果质量呈极显著正相关. 本试验结果表明,稀土元素质量分数对纽荷尔脐橙果实单果质量、可溶性固形物和果实着色度有正面效应,但对果实固酸比和维生素 C 含量有负面影响(表 3).

表 3 土壤各稀土元素质量分数与纽荷尔脐橙果实品质的相关性

稀土元素	单果质量	可食率	果形指数	果皮厚度	可溶性固形物	可滴定酸	固酸比	维生素 C	L^*	a^*	b^*
Ce	0.23	-0.12	-0.15	0.13	0.13	-0.18	-0.08	-0.42*	0.14	0.06	0.24
Dy	0.20	0.00	-0.21	-0.07	0.12	0.12	-0.20	-0.19	-0.05	-0.02	0.09
Er	0.25	0.01	-0.14	-0.15	0.08	0.06	-0.18	-0.24	0.06	0.04	0.16
Eu	0.40*	0.06	-0.25	-0.03	0.28	-0.05	-0.12	-0.37*	0.24	0.31	0.39*
Gd	0.40*	-0.01	-0.07	-0.05	0.07	0.05	-0.23	-0.16	-0.07	-0.13	-0.07
Ho	0.25	0.21	-0.25	-0.16	0.07	-0.12	-0.05	-0.28	0.01	0.27	0.11
La	0.33	-0.08	-0.32	0.08	0.24	0.04	-0.17	-0.37*	0.06	0.14	0.26
Lu	0.58**	-0.10	0.06	0.03	0.11	0.04	-0.21	-0.30	0.26	0.19	0.17
Nd	0.26	-0.02	-0.28	0.03	0.19	0.09	-0.19	-0.24	-0.03	0.03	0.16
Pr	0.30	-0.04	-0.26	0.03	0.21	0.09	-0.20	-0.25	0.00	0.06	0.17
Sm	0.28	-0.03	-0.28	0.01	0.19	0.08	-0.20	-0.26	0.02	0.06	0.19
Tb	0.17	0.13	0.14	-0.37*	-0.01	0.15	-0.27	0.04	0.07	-0.08	-0.05
Tm	0.26	0.03	0.35	-0.10	-0.15	-0.03	-0.08	0.19	-0.11	-0.30	-0.38*
Y	0.26	0.01	-0.25	-0.03	0.13	0.07	-0.17	-0.25	-0.06	0.01	0.10
Yb	0.39*	-0.04	-0.16	-0.08	0.15	0.07	-0.22	-0.37*	0.22	0.16	0.29

注:“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,表 4 同.

2.3.2 土壤中各稀土元素比例与纽荷尔果实品质的相关性

土壤中各稀土元素比例(该元素与总稀土元素质量分数的比值)与果实品质的相关性分析表明, La 的比例与纽荷尔脐橙果形指数显著负相关, 与可溶性固形物和 b^* 显著正相关; Eu 的比例与维生素 C 呈显著负相关, 与 L^* , a^* 和 b^* 呈显著正相关; Er 的比例与果皮厚度和可溶性固形物呈显著负相关; Nd 和 Pr 的比例与可滴定酸和维生素 C 均呈显著正相关; Sm 的比例与可滴定酸呈显著正相关, Ce 的比例与可滴定酸呈显著负相关; Gd 和 Tm 的比例与 b^* 呈显著负相关, Yb 的比例与 L^* 呈显著正相关. 其中, Nd 和 Pr 的比例与果实可滴定酸呈极显著正相关, Eu 的比例与果皮黄蓝色差值(b^*)呈极显著正相关. 综上所述, 各稀土元素比例对纽荷尔脐橙的可滴定酸、维生素 C 和果皮 b^* 值影响较大, 其中 Eu 的比例对纽荷尔脐橙果皮亮度和着色度影响最为明显; 所有元素比例对果实品质均有一定的正面效应和负面影响(表 4).

表 4 土壤中各稀土元素比例与纽荷尔脐橙果实品质的相关性

稀土元素	单果质量	可食率	果形指数	果皮厚度	可溶性固形物	可滴定酸	固酸比	维生素 C	L^*	a^*	b^*
Ce	-0.07	-0.02	0.02	0.06	-0.06	-0.37 [*]	0.20	-0.26	0.24	0.13	0.23
Dy	-0.04	0.09	-0.14	-0.17	-0.08	0.26	-0.28	0.06	-0.18	-0.25	-0.15
Er	0.03	0.09	0.13	-0.42 [*]	-0.39 [*]	-0.06	-0.01	0.00	0.14	-0.18	-0.07
Eu	0.33	0.04	-0.18	-0.05	0.34	-0.02	-0.19	-0.39 [*]	0.41 [*]	0.408 [*]	0.53 ^{**}
Gd	0.06	0.06	0.33	-0.12	-0.23	-0.05	0.12	0.35	-0.18	-0.26	-0.42 [*]
Ho	0.07	0.15	-0.06	-0.18	-0.05	-0.07	-0.07	-0.16	0.03	0.23	0.02
La	0.15	-0.23	-0.40 [*]	0.24	0.45 [*]	0.32	-0.24	-0.30	0.06	0.35	0.36 [*]
Lu	0.32	-0.11	0.31	0.00	-0.14	-0.03	0.01	0.04	0.08	-0.01	-0.14
Nd	-0.18	0.14	-0.17	-0.03	0.17	0.49 ^{**}	-0.23	0.36 [*]	-0.29	-0.09	-0.14
Pr	-0.03	-0.02	0.04	0.03	0.19	0.49 ^{**}	-0.26	0.37 [*]	-0.23	-0.02	-0.15
Sm	0.00	0.07	-0.31	-0.05	0.15	0.43 [*]	-0.32	0.14	-0.13	-0.03	0.02
Tb	-0.02	0.14	0.36	-0.35	-0.26	-0.06	0.03	0.29	-0.06	-0.24	-0.35
Tm	0.06	0.04	0.36	-0.08	-0.20	-0.10	0.16	0.32	-0.13	-0.22	-0.36 [*]
Y	0.05	0.08	-0.10	-0.12	-0.07	0.26	-0.24	0.07	-0.26	-0.24	-0.21
Yb	0.30	-0.12	0.15	-0.24	-0.21	-0.01	-0.16	-0.33	0.39 [*]	0.07	0.16

3 讨 论

赣南是我国稀土元素的主要分布区域, 稀土元素主要来源于天然土壤, 因天然环境条件不同, 不同区域稀土质量分数差异较大. 本研究表明, 不同供试地区土壤中总稀土质量分数差异较大, 从大到小依次为信丰、寻乌、龙南地区, 土壤中的轻稀土元素质量分数远大于重稀土元素, 且轻稀土元素以 Ce, La, Nd 为主, 重稀土元素中 Y, Gd 占比较高, 与前人研究结果类似^[15-16].

有研究发现, 通过土施稀土元素对提高果实品质效果十分明显^[17]; 土壤中稀土元素含量与大枣的可溶性糖和可滴定酸含量呈正相关, 与固酸比和可食率呈负相关^[18]; 稀土复合肥可提高龙眼、荔枝和柑橘可溶性固形物含量^[19]. 本研究结果表明, 信丰的稀土元素质量分数显著高于龙南与寻乌, 而信丰纽荷尔脐橙园果实单果质量显著高于其他两个地区, 与董素钦研究发现稀土对提高柑橘果实单果质量有很大作用的结果相符^[20], 与陈腾土通过喷布稀土肥试验表明稀土能使果实单果质量比对照增加 2.1%~15.8%^[21]的结论基本一致, 说明稀土元素能提高果实质量, 但具体机理有待进一步研究. 进一步分析土壤各稀土元素与纽荷尔果实品质的相关性, 结果表明, 信丰果园土壤 Eu, Gd, Yb 和 Lu 的质量分数高于龙南果园, 其中 Gd, Yb 和 Lu 显著或极显著高于龙南果园, 而土壤中的 Eu, Gd, Yb 和 Lu 质量分数与果实单果质量呈显著正相关, 因此推测 Gd, Yb 和 Lu 元素可能是增加纽荷尔脐橙果实单果质量的主要元素. 诸多研究结果表明, 果皮厚度一般与果实大小呈正相关^[22-23], 信丰地区果园果皮厚度显著高于龙南地区, 果实果皮厚度增加, 果实可食率也相应地降低. 在常规的水肥管理措施下, 南方稀土地区纽荷尔脐橙在 38.6~546 mg/kg 土壤

稀土质量分数范围内栽培时,果实内部品质会随着土壤稀土元素质量分数的增加而呈上升趋势^[24]。本研究表明,Ce,Dy,Eu,La,Nd,Pr,Sm,Y和Yb与可溶性固形物呈正相关,且信丰果园稀土元素Ce,La,Eu和Yb质量分数显著或极显著高于龙南果园,相应地信丰纽荷尔脐橙果实可溶性固形物也显著高于龙南果园,表明这些稀土元素是导致可溶性固形物升高的主要原因。相反,稀土元素Ce,Eu,La和Yb是降低维生素C的主要元素,分析表明维生素C与以上元素均呈极显著负相关。林正红等^[25]、梁艳^[26]研究表明稀土肥可略微提高果实维生素C,与本试验结论的不一致,这可能与稀土元素对果树的生长发育存在Hormesis效应有关。由于本试验采样地区土壤中的稀土元素质量分数超过了促进作用的最大浓度,反而抑制了果实维生素C合成,如研究稀土La元素调节草莓维生素C质量分数时发现高浓度的 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 对维生素C的合成、再生和降解影响较小,甚至降低了维生素C和酶的活性及转录水平^[27]。姜俊玲等研究表明在贡柑和砂糖橘上喷施稀土叶面肥可以促进果实快速着色^[28],姚正安等通过喷施硝酸稀土溶液能使果实外观鲜艳光滑^[29]。本试验研究结果表明,纽荷尔脐橙果皮亮度和色泽与多种元素质量分数及占比有关,但其中与Eu占总稀土的比例相关性最大,信丰地区纽荷尔脐橙果皮的亮度(L^* 值)和红色度(a^* 值)均显著高于龙南。

4 结 论

不同地区土壤稀土元素分布差异较大,稀土元素总质量分数从大到小依次为信丰、寻乌、龙南地区。3个地区纽荷尔脐橙果实品质有明显的差异,果实大小、可溶性固形物、果皮亮度和红色度与稀土元素质量分数呈正相关,而固酸比和维生素C与稀土质量分数呈负相关,Eu的比例对纽荷尔脐橙果实着色影响最大。Ce,La,Eu和Yb是影响纽荷尔脐橙果实品质最主要的几种元素。

参考文献:

- [1] 杨海枫,曾江川,黄传龙. 赣南脐橙 [J]. 中国质量与标准导报, 2017(12): 96-99.
- [2] 杨芳英,廖合群,金姝兰. 赣南稀土矿产开采环境代价分析 [J]. 价格月刊, 2013(6): 87-90.
- [3] HUMPHRIES M. Rare Earth Elements: The Global Supply Chain [R]. Washington: Congressional Research Service, 2013.
- [4] LIANG T, LI K X, WANG L Q. State of Rare Earth Elements in Different Environmental Components in Mining Areas of China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186(3): 1499-1513.
- [5] 高效江,章 申,王立军. 赣南富稀土矿区农田土壤中稀土元素的环境化学特征 [J]. 土壤与环境, 2001, 10(1): 11-13.
- [6] 陈祖义. 稀土的“hormesis 效应”与农业生态环境潜在效应 [J]. 中国农学通报, 2004(专刊): 92-97, 107.
- [7] 徐如松,柴瑞娟,王玉良. 镧、铈对油菜种子萌发与幼苗生长的影响 [J]. 热带作物学报, 2012, 33(9): 1593-1597.
- [8] 王甲辰,左 强,邹国元,等. 添加稀土对镉污染土壤上青椒生长与镉吸收分布的影响 [J]. 中国稀土学报, 2013, 31(3): 353-362.
- [9] 王 蕊,王应军,马星宇. 镧、铈对铜胁迫下豌豆幼苗抗氧化酶系统的影响 [J]. 核农学报, 2013, 27(6): 873-878.
- [10] 赵倩倩,赵朝宇,徐秋曼,等. 稀土金属铈对黄豆种子萌发及幼苗生理活性的影响 [J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2014, 34(4): 72-75.
- [11] 杨斌清. 江西稀土产业链 SWOT 分析研究 [J]. 稀土, 2012, 33(4): 94-98.
- [12] 蒋 威,薛 珺,黄晓成,等. 赣南脐橙园土壤中稀土元素含量分布特征研究 [C] //中国化学会. 中国化学会第 30 届学术年会论文集. 大连: 大连出版社, 2016.
- [13] 唐玉琴,彭良志,淳长品,等. 红壤甜橙园土壤和叶片营养元素相关性分析 [J]. 园艺学报, 2013, 40(4): 623-632.
- [14] 谭和平,吕 昊,高 杨,等. 微波消解在茶叶和土壤稀土元素与重金属元素分析中的应用 [J]. 中国测试, 2010, 36(2): 37-40.
- [15] 刘 霞,李 伟,丁冶春,等. ICP-AES 测定龙南稀土矿区土壤中的稀土元素 [J]. 赣南医学院学报, 2015, 35(6): 859-861, 866.
- [16] 钟林生. 赣南脐橙果园土壤中稀土元素的分布特征研究 [D]. 赣州: 赣南师范学院, 2012.
- [17] 刘平辉,芮玉奎,叶长盛. 南丰蜜桔中稀土元素与土壤的关系 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(12): 2575-2577.

[18] 周沁沁, 栾文楼, 宋泽峰, 等. 土壤稀土元素对太行山区大枣品质影响的探讨 [J]. 河北农业科学, 2015, 19(6): 40-43.

[19] 戴良昭, 梁子俊, 邹 玲, 等. 稀土化合物对龙眼、荔枝、柑桔的效应研究 [J]. 稀有金属, 1988(6): 458-461.

[20] 董素钦. 喷施微量元素和稀土对柑桔经济性状和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007(4): 71-72.

[21] 陈腾土, 袁白雯, 黄邦良, 等. 稀土对柑桔产量和品质的影响 [J]. 南方园艺, 1990, 1(1): 12-15.

[22] 黄雪燕, 陈丹霞, 王燕斌, 等. 温岭高橙果实大小与品质的相关性研究 [J]. 浙江柑橘, 2008, 25(4): 7-9.

[23] 黎 明, 金方伦, 岳 宣, 等. 柑橘不同幼果大小与其生长发育动态及品质的相关性 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6474-6479, 6480.

[24] CHENG J, DING C, LI X, et al. Rare Earth Element Transfer from Soil to Navel Orange Pulp (*Citrus sinensis* Osbeck Cv. Newhall) and the Effects on Internal Fruit Quality [J]. PLoS One, 2015, 10(3): e0120618.

[25] 林正红, 李则忠, 刘志华, 等. 新型稀土微肥对柑桔的增产增质效果 [J]. 中国南方果树, 1997, 26(2): 1007-1431.

[26] 梁 艳. 稀土在柑桔上的应用效果初报 [J]. 广西园艺, 2008, 19(5): 40.

[27] SHAN C J, ZHANG H X, ZHANG Y Y, et al. Lanthanum Nitrate Regulates the Content of Vitamin C through Its Biosynthesis, Regeneration and Degradation in the Fruit of Strawberry [J]. Scientia Horticulturae, 2017, 224: 102-108.

[28] 姜俊玲, 张爱中, 李祥剑, 等. 用于柑橘着色的稀土叶面肥及其应用: CN106518369A [P]. 2017-03-22.

[29] 姚正安, 谢新民. 稀土改善柑桔品质 [J]. 稀土, 1986(4): 59-60.

The Distribution of Rare Earth Elements in Newhall Navel Orange (*Citrus sinensis* Osbeck) Orchards in Southern Jiangxi Province and Their Correlation with Fruit Quality

ZHOU Shang-ling^{1,2}, WANG Jun-xiu², SHEN Xin-jian², ZHU Li-qian²,
PENG Liang-zhi², LING Li-li², QIAN Chun¹, CHUN Chang-pin²

1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China

Abstract: Southern Jiangxi province is one of the main producing areas of citrus in China, and it is also the birthplace of ionic rare earth. The rare earth elements have a Hormesis effect on the growth of fruit trees, and in recent years the use of rare earth fertilizers is becoming more common in fruit production. In order to provide a theoretical basis for Newhall navel orange cultivation in southern Jiangxi, the distribution of rare earth elements in this area and their relationship with fruit quality were studied. In this experiment, 30 Newhall orchards in Xunwu, Xinfeng and Longnan of Jiangxi province were used as sampling sites to collect soil and fruit samples for the investigation of the distribution of rare earth elements. The results showed that the average total content of rare earth elements was the highest in Xinfen, followed by Xgunwu and Longnan in sequence. The contents of rare earth elements were positively correlated with fruit size, soluble solids and peel brightness and redness of Newhall orange, and negatively correlated with its edible rate and Vc content. Ce, La, Eu and Yb were the main elements influencing the quality of Newhall navel orange fruit.

Key words: Southern Jiangxi; Newhall navel orange; rare earth element (REEs); fruit quality; correlation