

奉节脐橙不同器官元素含量分布特征

唐 将¹, 李 勇¹, 付绍红², 邓富银³, 赵 琦⁴, 雷家立³

(1. 成都理工大学, 成都 610059; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002;
3. 重庆川东南地质调查研究院, 重庆 401329; 4. 四川地质勘查局, 成都 610081)

摘要:对奉节脐橙果、叶、干、根中的必需大量元素(N、K、Ca、Mg、P、S)、微量元素(Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo)、有益元素(Si、Co、F、Se、Ni、Sr)、有毒有害元素(Hg、As、Cr、Cd、Pb、Sb、Bi)的分布特征进行分析, 结果表明:果、叶、干、根对各元素的吸收与富集特征具有明显的规律性, 如叶、干、根中大量元素含量次序均为 $Ca > N > K > Mg$, 叶、干、根中微量元素含量均有 $Fe > Mn > Zn > Cu > Mo$ 的规律, 根、干、叶中有益微量元素含量次序均为 $Si > Sr > F > Ni > Co > Se$, 叶、干、根中有毒有害元素含量次序均有 $Pb > As > Sb > Hg$ 的规律; 在脐橙各器官中, 叶是大量元素与有毒有害元素最富集的器官, 根则是有益元素最富集的器官, 有毒有害元素的 Cr、微量元素的 Mn、Fe、Mo 也以根最为富集, 干则是上述元素最不富集的器官, 所有元素中, 仅 Zn 在干中最富集; 大量元素(除 N 外)、微量元素、有益元素在脐橙各器官的分配含量与地壳土壤背景值的分异含量趋势基本一致, 土壤背景是这三类元素的主要控制因素。但有毒有害元素的分配形式则明显受人类活动的影响。

关键词:奉节脐橙; 元素; 分布特征

The distribution and abundance of chemical elements in different parts of Navel orange in Fengjie County, China

TANG Jiang^{1*}, LI Yong¹, FU Shao-Hong², DENG Fu-Ying³, ZHAO Qi⁴, LEI Jia-Li³ (1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China; 3. Sichuan Southeast Institute of Geological Survey, Chongqing 401329, China; 4. Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chengdu 610081, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 31~36.

Abstract: The distribution and abundance of the common necessary-macroelements (N, K, Ca, Mg, P, S), microelements (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo), helpful elements (Si, Co, F, Se, Ni, Sr), and toxic elements (Hg, As, Cr, Cd, Pb, Sb, Bi) in the fruit, leaf, trunk and root of Navel orange trees in Fengjie County, China were analyzed in the present study. The results indicated that the absorption and enrichment of these elements in the trees were showing the following patterns: $Ca > N > K > Mg$ (macroelements), $Fe > Mn > Zn > Cu > Mo$ (microelements), $Si > Sr > F > Ni > Co > Se$ (helpful elements), and $Pb > As > Sb > Hg$ (toxic elements) in the leaf, trunk and root. The amounts of common elements and toxic elements in the leaf were significantly more abundant than those in the other parts of Navel oranges. On the other hand, the helpful elements (Si, Co, F, Se, Ni, Sr), toxic element Cr, and microelements Mn, Fe, Mo were significantly richer in the root system; the amount of Zn was greatest in the trunk. The distribution and abundance of the common elements (except N), microelements, and helpful elements in the plant parts were consistent with those in the surface soils; they were controlled strictly by the background contents of the soil. The distribution of the toxic elements was influenced greatly by the crop cultivation and management practices of the farmers.

Key words: Navel orange; chemical elements; distribution in plant parts

文章编号: 1000-0933(2005)01-0031-06 中图分类号: Q142, Q948, S666 文献标识码: A

基金项目: 国土资源部十五重点调查资助项目(200314200006)

收稿日期: 2004-03-26; 修订日期: 2004-09-19

作者简介: 唐将(1968~), 男, 四川渠县人, 博士生, 高级工程师, 主要从事第四纪地质与生态环境研究。E-mail: tangjiang880@sina.com

Foundation item: Science and Technology Program of the ministry of land and resource P. R. C from 2000 to 2005 (No. 200314200006)

Received date: 2004-03-26; Accepted date: 2004-09-19

Biography: TANG Jiang, Ph. D. candidate, Senior engineer, mainly engaged in ecology environment and quaternary geology. E-mail: tangjiang880@sina.com

脐橙是我国柑桔类水果主要品种之一,目前关于脐橙的研究主要集中在脐橙生长环境^[1~3]、病虫害防治^[4]、栽培贮藏技术与品种改良^[5~7]等方面,但是关于脐橙各器官元素含量分布特征及规律的研究却很少,仅见少量关于脐橙元素的报道^[8~10]。奉节脐橙是重庆市重要经济作物,是中国脐橙品种的主要代表,因其丰富的营养价值及良好的口感多次获得国家级名特产品称号,畅销国内外。本文从生物地球化学的角度,对奉节脐橙不同器官大量元素、微量元素、有益元素、有毒有害元素的分布特征及规律进行初步探索;这对改进脐橙品种质量、病虫害防治、扩大种植规模等均具有重要意义。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于重庆奉节县长江流域北岸,多年年均温度 18.8℃,最热月均温度 28.4℃,极端最高气温 42.1℃,最冷月均温度 7℃,极端最低气温 -3.7℃,年均降雨量 1 200~1 300mm,≥10℃的年积温 6 000~6 500℃,多年年均无霜期 299d,多年年均日照 1402 h,相对湿度 80%~82%。土壤母岩为三叠系中统巴东组泥灰岩、泥岩及粉砂质泥岩^[11],土壤类型主要为石灰土及紫色土两类^[12,13]。良好的地理、气候、土壤条件极适于脐橙生长^[14,15]。

1.2 研究方法

(1)采样方法 在每个选定的采样点,分别采集脐橙的根、干、叶、果;采各器官时,每个采样点在 500m×300m 的范围内,随机性分别采集约 50 棵不同植株的根、干、叶、果,分器官各组合成一个分析样;根主要采自 10~40 cm 深的土层,各株采样时保持须根、细根、中根、粗根的重量大致一致;树干主要采集 2 级及 3 级支干。各株间的采样重量近一致。野外采样后立即用清水冲去泥土及杂物,再用 0.1%中性洗洁精洗涤后凉干。

(2)样品处理及分析 样品用蒸馏水淋净后放入 80~90℃鼓风干燥箱中烘 30min 后降温到 65℃渐渐去尽水分称重,玛瑙研钵研磨,过 0.25mm 尼龙筛后进行元素含量测定。果肉在玛瑙研钵中制成匀浆直接取样分析。N 用 H₂SO₄-H₂O₂ 扩散法,P 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮比色法,K、Ca、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe、Cd、Cr、Sr、Ni、Pb、Co 用原子吸收法,S 用 HNO₃-HClO₄ 消煮比浊法、Si 用熔融比色法,B 用火法灰化比色法、Mo 用极谱法、As、Sb、Bi、Hg、Se 用原子荧光法测定元素含量,F 用熔融离子选择性电极法。

2 研究的主要元素

植物体内已发现 70 多种化学元素,但迄今为止已确认的植物必需元素有 16 种,除 C 主要来自大气,H、O 主要来自于水外,其它均来自于土壤,属于矿质元素^[16]。必需矿质元素主要有 13 种,分别为 N、K、Ca、Mg、P、S、Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo、Cl^[17~19],其中前 6 种作物需求量较大,称为大量元素,而后 7 种植物需求量较小,稍多则会发生毒害,称为微量元素。除必需矿质元素外,有些元素并非植物必需的,但含量适中时能促进植物的生长发育,这些元素称为有益元素,常见的有 Si、Co、F、Se、Ni、Sr 等。另外有些元素,对植物(或动物与人)吸收后有毒或有害,称为有毒有害元素,如 Hg、As、Cr、Cd、Pb、Sb、Bi^[19]。本文主要针对上述 4 类元素在奉节脐橙根、干、叶、果中的分布特征进行分析。

3 结果与分析

3.1 大量元素含量特征

果实是脐橙的食用部分,在组成果实的大量元素中,含量最高的是 N 与 K,两者含量近一致,最低为 S,营养元素含量多少具有 N≈K>P>Ca>Mg>S 的规律(表 1)。叶是植物吸收大气养分的主要器官,其大量元素含量次序为 Ca>N>K>Mg>S>P,且 Ca 与 N 的含量是 P、S、Mg 的 10~20 倍,可见叶对 Ca、N 具有特别的吸收能力;干的大量元素含量也以 Ca 最高,其次依次为 N>K>Mg>P≈S;根是植物吸收水份及土壤母质营养的吸收器,其大量元素含量 Ca>N>K>Mg>P≈S。从上述果、叶、干、根的大量元素次序可以看出,根、干、叶对大量元素具有相同的吸收顺序与特点。

6 种大量元素在土壤中的平均含量分配模式为 Ca(1.37%)>K(1.36%)>Mg(0.6%)>N(0.1%)>S(0.08%)=P(0.08%)^[20]。除 N 外,大量元素在脐橙中的含量分配与土壤中的分配完全一致。说明土壤中元素含量对脐橙中的大量元素含量分配具有绝对控制作用。N 元素在各器官中异常于土壤背景含量主要与人工施肥有关。据李继承等研究,脐橙植株体内的矿质元素 P、N、K、Ca、Mg 含量水平主要取决于对同种元素的处理,随处理含量的增高而增高,各相关系数均达极显著水平^[9]。通常情况下,脐橙各器官大量元素含量主要取决于土壤中元素背景含量。

从根、干、叶纵向分析,N、P、K 的含量均以叶>根>干为特征,作为通常的“肥料”三要素,它们具有相同的吸收特点;但与人工云杉等暗针叶林植物相比较,却有不同富集特点,云杉各器官的 N、P、K 总含量分配规律为叶>干>根^[21]。说明叶不论是在哪类植物中,都因为它进行光合作用维持植物生长而成为吸收 N、P、K 最活跃的器官,而干在果类植物与林类植物中因作用不同而在富集 N、P、K 大量元素方面存在一定差异,果类植物中,干起营养元素传输作用,而林类植物中,干主要起存贮生物量的作用。Ca、Mg、S 的含量均以叶>干>根为特征,与四川中部的川红桔、先锋橙等柑桔类品种的大量元素含量分配特征一

致^①。6 个大量元素均以叶含量最高,说明叶在脐橙发育过程中占据十分重要的位置,它起着富集脐橙生长必需大量元素的作用。据庄伊美等研究,丰产脐橙叶片大量元素含量的适宜性指标为 N 2.8%~3.3%,P 0.14%~0.18%,K 1.4%~2.1%,Ca 2.0%~2.4%,Mg 0.25%~0.45%^[5]。本区叶片 N、K 含量偏低,P、Mg 含量适中,而 Ca 含量偏高。由于果实采用果浆测试,与根、干、叶没有可比性,本文暂不对果与其它器官的含量进行比较(下同)。

表 1 奉节脐橙不同器官大量元素和微量元素特征
Table 1 Content characteristics of common elements and trace elements in different organ of navel orange in Fengjie

器官 Organ	参数 Parameter	大量元素 Common element (%)						微量元素 Trace element (mg/kg)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
果 Rruit	最大值 Maximum	0.14	0.024	0.15	0.020	0.014	0.007	3.67	0.26	0.72	2.25	1.26	0.0051
	最小值 Minimum	0.14	0.022	0.10	0.017	0.009	0.006	2.17	0.11	0.54	1.64	1.17	0.003
	平均值 Mean	0.14	0.023	0.13	0.018	0.010	0.006	3.04	0.16	0.60	1.903	1.22	0.004
	标准差 sd.	0.000	0.001	0.02	0.001	0.003	0.000	0.635	0.068	0.085	0.256	0.037	0.001
叶 Leaf	最大值 Maximum	2.53	0.150	1.03	3.82	0.42	0.220	128	41.40	11.0	23.2	17.1	0.026
	最小值 Minimum	2.46	0.140	0.80	3.20	0.18	0.180	114	16.30	3.75	17.0	12.2	0.023
	平均值 Mean	2.49	0.143	0.90	3.560	0.280	0.200	121.3	24.97	6.36	19.33	15.23	0.024
	标准差 sd.	0.031	0.005	0.095	0.263	0.102	0.016	5.735	11.63	3.29	2.75	2.16	0.001
干 Trunk	最大值 Maximum	0.88	0.066	0.26	1.66	0.140	0.060	67.60	5.06	4.07	48.5	9.40	0.039
	最小值 Minimum	0.54	0.037	0.22	1.240	0.044	0.020	53.60	3.39	3.20	8.34	8.04	0.029
	平均值 Mean	0.75	0.054	0.24	1.433	0.082	0.046	59.73	4.22	3.57	22.11	8.51	0.034
	标准差 sd.	0.152	0.012	0.017	0.173	0.042	0.018	5.85	0.68	0.37	18.66	0.63	0.004
根 Root	最大值 Maximum	0.99	0.080	0.30	0.940	0.090	0.042	276	172.0	2.88	12.8	11.0	0.056
	最小值 Minimum	0.56	0.039	0.26	0.880	0.060	0.040	198	11.80	2.36	5.41	8.06	0.040
	平均值 Mean	0.80	0.058	0.28	0.910	0.073	0.041	234	95.60	2.68	8.94	9.24	0.046
	标准差 sd.	0.180	0.017	0.016	0.024	0.013	0.001	32.12	65.61	0.23	3.03	1.27	0.007

* 样品由西南冶金地质测试所测试 Analyse by metallurgy geological laboratory of southwest China

3.2 微量元素含量特征

在脐橙的不同器官,Fe 含量最高的是根,达 234mg/kg,叶含量高于干(表 1)。脐橙叶的含铁量也高于区域上柑桔叶的含铁量(50mg/kg)^[22]。Mn 在各器官中的含量高低次序为根>叶>干。Cu 含量最高的器官为叶,其次为干、根,但 Cu 的叶与果间含量仅相差 6 倍,为所有微量元素中果与根、干、叶间含量相差最小的,可见 Cu 在不同器官的分配较均匀。Zn 含量最高的为干,略大于叶,远高于根。B 含量的分配模式为叶>根≈干。Mo 含量分配模式为根>干>叶。微量元素在各器官的分配中,除 Fe、Mn 分配模式相同外,其它元素差异较大,与大量元素的分配一致性形成鲜明对比,微量元素在植物中的吸收分布特征比大量元素复杂。据庄伊美等研究,丰产脐橙叶片微量元素含量的适宜性指标为 Cu 5~18,Mn 20~100,Fe 50~160,Zn 20~50 (mg/kg)^[6],奉节脐橙叶片 Fe 含量与其完全一致,Cu、Mn、Fe、Zn 含量总体达到适宜性指标,但个别样品含量稍偏低。

在上述 6 种微量元素中,果实中含量高低次序为 Fe>Zn>B>Cu>Mn>Mo;叶中含量高低次序为 Fe>Mn>Zn>B>Cu>Mo;干中含量高低次序为 Fe>Zn>B>Mn>Cu>Mo;根含量高低次序为 Fe>Mn>B>Zn>Cu>Mo;在各器官中,均以铁含量最高,B 含量最低,叶和干具有相同的分配模式。区域土壤中,各元素的背景含量分别为 Fe 2.94%,Mn 583mg/kg,Zn 74 mg/kg,B 47.8 mg/kg,Cu 22.6 mg/kg,Mo 2.0 mg/kg^[20]。显然,脐橙叶、干、根微量元素的主要分配模式与土壤中微量元素含量的多少成正相关关系,但 Mn 在干中的表现不明显。

3.3 有益元素含量特征

Si 是土壤中的大量元素,但由于它大量以 SiO₂ 的形式存在,不为植物所吸收,所以在植物内的含量极低,为有益微量元素,在脐橙不同器官中,Si 含量以根最高,叶、干含量没有明显的规律性,但总体趋势表现为叶>干(表 2)。Co、Se 在果实中均低于检测限而未检出,说明这两个有益元素在果中的含量极低;Co 在其它器官中的含量次序为根>叶>干。Se 含量在叶中最高,在根、干中含量近于一致。F、Ni 与 Si、Co 在各器官中的分布特征相似,也表现为根>叶>干。Sr 的含量分配模式为叶>干>根。

6 种有益微量元素在根、干、叶中含量高低次序均为 Si>Sr>F>Ni>Co>Se。土壤中,有益元素含量背景值分别为 Si 33%,F 478 mg/kg,Sr 167 mg/kg,Ni 26.9 mg/kg,Co 12.7 mg/kg,Se 0.29 mg/kg^[20]。各元素在果实中的分配模式与土壤中的元素含量分配模式完全一致。根、干、叶中 Si、Sr、Ni、Co、Se 分配模式与土壤中的元素含量分配模式一致,但对 Sr 的吸收强于 F。

从微量元素与有益元素含量特征分析,在根、干、叶的分配中,同为铁族元素的 Fe、Mn、Co、Ni 四元素具有相同的分配模

① 李正积,傅平都. 四川农业地质背景与柑桔产量和品质的相关性研究. 成都地质矿产研究所,1989. 9~20

式,均为根>叶>干,这一特征是由于它们均属于铁族元素,并且 Mn^{2+} 与 Fe^{2+} 的离子半径均为 $0.73A^{\circ}$,因而具有相似的地球化学行为^[23],在一定条件下可以类质同象的形式替换,这一特征不仅在岩石与土壤中的地球化学行为中表现明显,通过植物吸收后在植物体内也存在生物地球化学行为继承性。

3.4 有毒有害元素含量特征

果实有毒有害元素含量总体较低,As、Cd、Bi、Sb 均低于检测限(表 2)。

Hg、As、Cd、Pb、Bi、Sb 在叶中含量均为最高;Hg、As 的根含量高于干;而 Cd、Pb、Bi 的干含量高于根;Sb 的根、干含量分异不明显。Cr 作为铁族元素,与其它有毒有害元素在根、干、叶的分配型式不一致,而与其它 4 个铁族元素一样为根>叶>干,说明铁族元素在根、干、叶中在分配严格受其地球化学行为控制。

7 种有毒有害元素在叶中的含量次序为 $Pb>Cr>As>Cd>Bi>Sb>Hg$,在干中含量次序为 $Cr>Pb>Cd>As>Sb=Bi>Hg$,在根中的分配形式为 $Cr>Pb>As>Cd>Sb>Bi>Hg$,干与叶除 As、Cd 次序位置交换外,其它元素分配一致。

地壳土壤背景中,上述元素的分配模式为 $Cr(61mg/kg)>Pb(26mg/kg)>As(11.2mg/kg)>Sb(1.21mg/kg)>Bi(0.37mg/kg)>Cd(0.097mg/kg)>Hg(0.065mg/kg)$ ^[20],除 Hg、As 外,其余元素与叶中各元素含量分配模式完全没有联系,各元素在根、干中的规律性也不强,说明有毒有害元素在脐橙中的生物地球化学行为与大量元素、微量元素、有益元素的生物地球化学行为不一致,它们除受区域土壤元素背景的控制外,体现了人为活动的影子,人类活动后果是这些元素在植物中分配的重要控制因素。

表 2 奉节脐橙不同器官有益微量元素和有害元素特征

Table 2 Content characteristics of helpful elements and harmful elements in different organ of navel orange in Fengjie

器官 Organ	参数 Parameter	有益元素 Helpful element						有害元素 Harmful element						
		Si(%)	Co	F	Sr	Ni	Se	Hg	As	Cd	Cr	Pb	Bi	Sb
			(mg/kg)					(μg/g)	(mg/kg)					
果 Fruit	最大值 Maximum	0.0020	<0.01	0.58	0.32	0.11	<0.005	0.41	<0.10	<0.02	0.96	0.079	<0.01	<0.01
	最小值 Minimum	0.0016	<0.01	0.34	0.18	0.023	<0.005	0.30	<0.10	<0.02	0.75	0.060	<0.01	<0.01
	平均值 Mean	0.0019	<0.01	0.49	0.27	0.0563	<0.005	0.34	<0.10	<0.02	0.86	0.07	<0.01	<0.01
	标准差 sd.	0.0002		0.107	0.064	0.038		0.050			0.086	0.009		
叶 Leaf	最大值 Maximum	0.138	0.50	7.65	30.60	1.66	0.047	19.3	0.50	0.35	2.67	3.90	0.109	0.067
	最小值 Minimum	0.019	0.41	6.18	14.40	1.38	0.024	6.33	0.31	0.28	2.44	2.72	0.090	0.054
	平均值 Mean	0.093	0.45	6.85	24.80	1.48	0.036	13.31	0.42	0.32	2.53	3.13	0.10	0.06
	标准差 sd.	0.053	0.037	0.607	7.370	0.128	0.009	5.341	0.082	0.029	0.099	0.547	0.009	0.005
干 Trunk	最大值 Maximum	0.0299	0.22	6.72	20.10	0.98	0.016	4.46	0.20	0.28	2.22	2.36	0.030	0.026
	最小值 Minimum	0.0259	0.16	3.41	9.13	0.64	0.006	3.26	0.14	0.18	1.92	0.78	0.010	0.015
	平均值 Mean	0.0282	0.18	5.02	14.84	0.87	0.012	3.76	0.16	0.22	2.03	1.73	0.02	0.02
	标准差 sd.	0.002	0.03	1.35	4.49	0.16	0.004	0.510	0.026	0.043	0.133	0.685	0.008	0.004
根 Root	最大值 Maximum	0.196	1.02	11.60	12.20	2.64	0.018	7.44	0.30	0.20	2.80	0.95	0.014	0.040
	最小值 Minimum	0.104	0.25	5.22	6.38	0.84	0.010	7.00	0.24	0.077	2.36	0.39	0.014	0.012
	平均值 Mean	0.146	0.65	8.05	9.56	1.85	0.015	7.16	0.26	0.13	2.55	0.62	0.01	0.02
	标准差 sd.	0.038	0.32	2.65	2.41	0.75	0.003	0.201	0.028	0.051	0.185	0.241	0.000	0.012

* 样品由西南冶金地质测试所测试 Analyse by metallurgy geological laboratory of southwest China

4 讨论

转运系数^[24]是描述元素从根部(土壤)到植物各器官间迁移富集的重要地球化学参数,从转运系数可以看出,对于大量元素,叶是最富集的器官,与干相比,各元素的转运系数界于 2.484~4.348,与根相比,各元素转运系数界于 2.466~4.879(表 3)。干与根相比,干对 P、N、K 三元素的转运系数均小于 1;而 Ca、Mg、S 的转运系数均大于 1,在干中比根略有富集,具有从根到干到叶逐级富集的趋势;从根到干,除 Ca 的转运系数为 1.575 外,其余各大量元素的转运系数均界于 0.85~1.13 之间,说明根至干总体转运富集强度较弱。

微量元素 Mn、Fe 从根到干,转运系数均远小于 1,特别是 Mn,转运系数仅为 0.044(表 3),为所有元素中转运系数最小的,说明相对于根,干对 Mn 的生物富积量极其微弱;从干到叶,转运系数均大于 2,说明从干到叶二元素有富集的特点,但叶与根相比,转运系数也远小于 1,说明 Mn、Fe 主要在根部富集,向上传输时在干存储较小,在叶中略有富集。Cu 的干/根、叶/根、叶/干转运系数均大于 1,从根到干到叶,呈现逐级富集的特点。B 的干/根转运系数为 0.921,根、干富集程度基本一致,而叶相对于根、干的转运系数为 1.649、1.789,说明 B 在叶中相对富集,具有向上富集的趋势。Zn 从根到干、叶的转运系数均大于 2,而干到叶的转运系数为 0.874,说明 Zn 在干、叶的富积程度较接近,从根向上具有富集的趋势。Mo 从根-干-叶各级转运系数均小

于 1 而大于 0.5,从根向上 Mo 具有衰减趋势,但衰减强度较弱。

有益元素的元素转运系数规律性较强, Si、Co、F、Ni 四元素从根到干、叶的转运系数均小于 1,而从干到叶的转运系数均大于 1(表 4),四元素均以根部最易富集,有益元素生物富积量最大,而干的生物富积量最小。Se 从根到干的转运系数小于 1,而从根到叶、干到叶的转运系数均大于 2, Se 以叶的生物富积量最大,干的生物富积量最小。Sr 从根到干、根到叶、干到叶的转运系数均大于 1,明显具有从根到干到叶逐级富集的特点。

表 3 奉节脐橙不同器官大量元素和微量元素转运特征

Table 3 Translocation characteristics of common elements and trace elements in different organ of navel orange in Fengjie												
器官 Organ	大量元素 Common elements						微量元素 Trace elements					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	Fe	B	Mo
叶/干 Leaf/trunk	3.32	2.65	3.75	2.48	3.42	4.35	5.91	1.78	0.87	2.03	1.79	0.71
叶/根 Leaf/root	3.11	2.47	3.21	3.91	3.84	4.88	0.26	2.37	2.16	0.52	1.65	0.52
干/根 Trunk/root	0.94	0.93	0.86	1.58	1.12	1.12	0.04	1.33	2.47	0.26	0.92	0.73

表 4 奉节脐橙不同器官有益微量元素和有害元素转运特征

Table 4 Translocation characteristics of helpful elements and harmful elements in different organ of navel orange in Fengjie													
器官 Organ	有益元素 Helpful element						有害元素 Harmful element						
	Si	Co	F	Sr	Ni	Se	Hg	As	Cd	Cr	Pb	Bi	Sb
叶/干 Leaf/trunk	3.29	2.50	1.37	1.67	1.71	3.03	3.54	2.63	1.46	1.25	1.81	5.0	3.00
叶/根 Leaf/root	0.64	0.69	0.85	2.59	0.80	2.47	1.86	1.62	2.46	0.99	5.05	10.0	3.00
干/根 Trunk/root	0.19	0.28	0.62	1.55	0.47	0.82	0.53	0.62	1.69	0.80	2.79	2.0	1.00

有毒有害元素从根到叶、干到叶的转运系数均大于 1(Cr 的叶/根除外,为 0.992),其中,Bi 的叶/根转运系数达 10(表 4),为所有元素中转运系数最大的,各有毒有害元素均以叶的生物富集量最大。Hg、As、Cr 从根到干的转运系数均小于 1,干对 3 元素的生物富集量小于根的生物富集量。Cd、Pb、Bi 从根到干的转运系数均大于 1,3 元素从根到干到叶呈逐级富集的特征。

5 结论

(1)大量元素在果实中的含量次序为 $N \approx K > P > Ca > Mg > S$,叶中的含量次序为 $Ca > N > K > Mg > S > P$,干与根含量次序均为 $Ca > N > K > Mg > P \approx S$ 。微量元素在果实中含量次序为 $Fe > Zn > B > Cu > Mn > Mo$,叶中含量次序均为 $Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo$,干中含量次序为 $Fe > Zn > B > Mn > Cu > Mo$,根中含量次序为 $Fe > Mn > B > Zn > Cu > Mo$ 。有益微量元素在根、干、叶中含量次序均为 $Si > Sr > F > Ni > Co > Se$ 。有毒有害元素在叶中含量次序为 $Pb > Cr > As > Cd > Bi > Sb > Hg$,干中含量次序为 $Cr > Pb > Cd > As > Sb = Bi > Hg$,根中含量次序为 $Cr > Pb > As > Cd > Sb > Bi > Hg$ 。

(2)在脐橙各器官中,叶是大量元素与有毒有害元素最富集的器官,除 Cr 的叶/根转运系数为 0.992 外,其余大量元素及有毒有害元素的叶/干、叶/根转运系数均大于 1;有益元素的 Sr、Se,微量元素的 Cu、B 也以叶中最富集,其叶/根、叶/干的转运系数均大于 1。根则是有益元素最富集的器官,除 Sr、Se 外,其余有益元素的叶/根、干/根转运系数均小于 1;有毒有害元素的 Cr、微量元素的 Mn、Fe、Mo 也以根最为富集。干则是元素最不富集的器官,所有元素中,仅 Zn 在干中最富集。

(3)奉节脐橙必需大量元素、微量元素、有益元素、有毒有害元素在脐橙果树体内具有不同的生物地球化学行为,大量元素(除 N 外)、微量元素、有益元素在脐橙各器官的分配含量与地壳土壤背景值的分异含量趋势基本一致,土壤背景是这 3 类元素的主要控制因素。有毒有害元素的分配形式与地壳背景值的分异规律联系不明显,人为影响是脐橙体内有毒有害元素分配的重要控制因素。

(4)铁族元素(Fe、Mn、Co、Ni、Cr)5 个元素在植物体内的分配形式与在岩石、土壤中的分异形式一样受元素的地球化学行为控制,根、干、叶具有完全相同的分配模式。

References:

[1] Luo M, Shen H. Influence of The Elevation High Degree to Orange Nourishment Grows and the Fruit Quality. *Sichuan Fruit Tree*, 1996, **24**(4):3~4.

[2] Zhang R Q. Development Comment to Navel-orange in Fengjie. *Sichuan Fruit Tree*, 1996, **24**(2):35~36.

[3] Shi J Q, Sheng L G, Lu M L. Resource Characteristic Appraise of orange varieties in Guangxi Province. *China Orange*, 1995, **24**(4):14~16.

[4] Tong W B, Fu S Q, Cheng L F. Prevention and Cure Measures to Ulceration of Orange. *China Southward Fruit Tree*, 1996, **25**(2):28.

[5] Yang Y Z. Technology Measures to Improving Fruit Quality of Big Fruit. *China Southward Fruit Tree*, 1997, **26**(3):20~21.

[6] Cheng X D. Planting Technology of High Quality and Yield of Navel Orange in Fengjie. *Resource Development and Market*, 1994, **10**(5):

195~196.

- [7] Qin X N, Teng C S, Influence of Rare Earth on the Quality and Storage Property of Citrus Fruits. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1996, **18**(1):56~60.
- [8] Zhuang Y M, Wang R J, Xie Z N. Optimum Range of Mineral Element Contents in the Leaves of Parent Navel Orange. *Subtrop. Plant Res. Commun.*, 1997, **26**(2):1~6.
- [9] Li J C, Li X X, Peng J C. Influence of Five types mineral elements to Navel Tree Nutrition. *Journal of Hulan Agricultural University*, 1999, **25**(1):36~39.
- [10] Wu X Y, Tong Chun H. Study of Distribution Features of ree in the Navel-orange Trees and Soils in Meishan, Sichuan. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2002, **29**(3):346~349.
- [11] Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. *Regional Geology of Sichuan Province*. Beijing: Geology Press, 1991. 206~230.
- [12] Sichuan office of soil survey. *Sichuan Soil*. Chengdu: Sichuan Science & Technology Press, 1995. 316~371.
- [13] He Y R. *Purple Soils in China*. Beijing: Science Press, 2003. 47~58.
- [14] Chen Z L. An Adapted Region for Navel-orange Production. *Resource and Environment in the Yangtze Valley*, 1993, **2**(3):219~224.
- [15] Li F, Bao J F, Zhong J J. Study of zoology orchard building in three gorge region. *Agriculture environment and development*, 1999, **16**(2):39~41.
- [16] Wu X Y. *General Introduction of Living Creature Geochemistry*. Chengdu: Chengdu Science & Technology University Press, 1993.
- [17] Feng Z D, An Z Z. *Life Elements*. Chengdu: Sichuan Education Publishing House, 1989. 55~174.
- [18] Yiang W Y. *General Introduction of Agronomy*. Beijing: Chinese agriculture Press, 2002. 83~105.
- [19] Wang Z. *Plant physiology*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000.
- [20] Wang Y, Wei F S. *Soil Environment Element Chemistry*. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1995. 25~34.
- [21] Liu X L, Su L M, et al. Macronutrients and Their Allocation in Non-photosynthetic Organs in the Picea Balfouriana in Western Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **2**(12):2573~2578.
- [22] Li J X, Wu G J, Huang H Z. *Regional Geochemistry and its Effect to Agriculture and Health*. 1-13. Environment of Geochemistry. Beijing: Geology Press, 2001.
- [23] Liu Y J, Chao L M, et al. *Element Geochemistry*. Beijing, Science Press, 1984.
- [24] Xiao X Y, Liao X Y, et al. Effects of Arsenic and Calcium on Metal Accumulation and Translocation in Pteris Vittata L. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(8):1477~1487.

参考文献:

- [1] 罗明, 沈烨. 海拔高度对脐橙营养生长与果实品质的影响. *四川果树*, 1996, **24**(4):3~4.
- [2] 张人庆. 奉节脐橙基地开发评述. *四川果树*, 1996, **24**(2):35~36.
- [3] 石健泉, 沈丽娟, 卢美玲. 广西甜橙品种资源特性评价. *中国柑桔*, 1995, **24**(4):14~16.
- [4] 童文彬, 胡水泉, 陈莲芳. 脐橙溃疡病的防治措施. *中国南方果树*, 1996, **25**(2):28.
- [5] 杨有柱. 提高脐橙大果率的果实品质的技术措施. *中国南方果树*, 1997, **26**(3):20~21.
- [6] 陈孝得. 奉节脐橙优质高产栽培技术. *资源开发与市场*, 1994, **10**(5):195~196.
- [7] 秦焯南, 滕彩遂. 稀土对柑桔果实品质及耐贮性的影响. *西南农业大学学报*, 1996, **18**(1):56~60.
- [8] 庄伊美, 王仁玢, 谢志南. 巴林脐橙叶片元素含量适宜指标研究. *亚热带植物通讯*, 1997, **26**(2):1~6.
- [9] 李继承, 李先信, 彭俊彩. 五种矿质元素对脐橙树体营养状况的影响. *湖南农业大学学报*, 1999, **25**(1):36~39.
- [10] 吴香尧, 童纯菡. 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. *成都理工学院学报*, 2002, **29**(3):346~349.
- [11] 四川省地质矿产局. *四川省区域地质志*. 北京:地质出版社, 1991. 206~230.
- [12] 四川省土壤普查办公室. *四川土壤*. 成都:四川科学技术出版社, 1995. 316~371.
- [13] 何毓蓉. *中国紫色土(2)*. 北京:科学出版社, 2003. 47~58.
- [14] 陈卓良. 一个适宜发展脐橙的区域. *长江流域资源与环境*, 1993, **2**(3):219~224.
- [15] 李峰, 鲍江峰, 钟家菊. 三峡库区生态果园建设初探. *农业环境与发展*, 1999, **16**(2):39~41.
- [16] 吴香尧. *生物地球化学概论*. 成都:成都科技大学出版社, 1993.
- [17] 冯子道, 安智珠. *生命元素*. 成都:四川教育出版社, 1989. 55~174.
- [18] 杨文钰. *农学概论*. 北京:中国农业出版社, 2002. 83~105.
- [19] 王忠. *植物生理学*. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [20] 王云, 魏复盛. *土壤环境元素化学*. 北京:中国环境科学出版社, 1995. 25~34.
- [21] 刘兴良, 宿以明, 等. 四川西部川西云杉人工非同化器官营养元素含量与分布. *生态学报*, 2003, **23**(12):2573~2578.
- [22] 李家熙, 吴功建, 黄怀曾. 区域地球化学特征及其农业和健康效应. 1-13. *地球化学环境*. 北京:地质出版社, 2001.
- [23] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. *元素地球化学*. 北京:科学出版社, 1984.
- [24] 肖细元, 廖晓勇, 等. 砷、钙对蜈蚣草中金属元素吸收和转运的影响. *生态学报*. 2003, **23**(8):1477~1487.