

广东省珠江三角洲地区土壤硒生态效应评价

李婷婷

LI Ting-Ting

(广东省地质调查院, 广州 510080)

(Guangdong Geologic Survey Institute, Guangzhou 510080, China)

摘要:本文在广东省多目标区域地球化学调查基础上,选取珠江三角洲地区主要土壤硒富集区进行研究。研究发现,珠三角地区表层土壤 Se 含量变化范围为 0.102 ~ 1.866 $\mu\text{g/g}$,平均值为 0.789 $\mu\text{g/g}$,总体上表现出山丘、坡地地区高于地势平坦地区,非耕作土 Se 含量高于耕作土,旱地 Se 含量高于水田的特征。不同农产品中 Se 含量与土壤 Se 含量有一定关系,但更大程度受 Se 的形态及各种环境因素的影响。适当添加石灰调节土壤 pH 值,可以显著提高部分农作物富硒水平,并且可以降低其对有害重金属元素的吸收率,能够产生可观的经济效益,为该地区富硒土壤的合理开发利用提供依据。

关键词:硒元素;土壤;生态地球化学评价;珠江三角洲地区

中图分类号:P596

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2015)02-217-07

Li T T. Ecological effect evaluation of selenium content in soil in Pearl River Delta, Guangdong Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(2):217-213.

Abstract: Based on the multi-purpose regional geochemical survey in Guangdong Province, soil selenium and selenium contents of plants in Pearl River Delta are analyzed in this paper. On the whole, the contents of Se of sloping hills area, non-tillage and dry land are higher than the flat area, cultivated soil and paddy field, respectively. The content of Se in different agricultural products is not only related to soil Se, but also influenced by the existence form of soil Se and various environmental. Appropriate lime, which can adjust the pH value of soil, can significantly improve the selenium level of some plants and reduce the absorptivity of harmful heavy metals. It will generate considerable economic benefits and provide the basis for reasonable development and utilization of selenium rich soil.

Key words: soil selenium; ecological geochemical evaluation; Pearl River delta

二十世纪五十年代科学家发现,硒在人体内可以缓解机体衰老,保护人类肌肉、肝脏等器官。摄取微量的硒可以预防癌症、心血管等疾病,是维持生命体征必不可少的微量元素^[1]。据不完全统计,全世界共有 42 个贫硒区。1982 年“营养学报”指出,中国

是一个贫硒国家,约有三分之二人口缺硒^[2]。为此,营养学家呼吁全社会抓好贫硒地区居民补硒工作。随着经济不断发展,人类生活水平日益提高,天然富硒农产品逐渐成为社会关注的热点,而土壤硒含量直接影响人类食物的硒营养状况,这使得土壤硒成

为一种特殊的地质资源加以研究^[3]。目前,科学家对于硒的研究主要集中在富硒土壤的分布与地质背景和岩石地球化学的关系等方面^[4-7],对广东珠三角地区富硒土壤与农作物硒地球化学研究较少。本文在广东省多目标区域地球化学调查基础上,选取主要土壤硒富集区进行研究。阐明了该区主要农作物的富硒程度,及其与土壤硒的关系,为该地区富硒土壤的合理开发利用提供依据。

1 样品采集与测试

1.1 样品采集

在广东省多目标区域地球化学调查基础上,在富硒区采集植物样共 236 件,采集的农作物种类有稻米、豆类(花生与黄豆)、水果类(大蕉与龙眼)、叶菜类(菜心、小白菜、芥菜、麦菜)、瓜果类蔬菜(苦瓜、冬瓜、丝瓜、黄瓜)、结果类蔬菜(豇豆、辣椒、茄子)、地下茎块类(番薯、芋头、生姜)、玉米类等。不同样品采集方法如下:

(a) 农作物样品采集:以 0.1 ~ 0.2 hm² 为采样单元,在采样单元内选取 5 ~ 20 个植株,水稻、小麦类采取稻穗、麦穗;玉米采取第一穗,即离地面最近的一穗,混合成样;

(b) 水果类样品采集:以 0.1 ~ 0.2 hm² 为采样单元,在采样单元内选取 5 ~ 10 个果树,每株果树纵向四分,从其中一份的上、中、下、内、外各侧均匀采摘,混合成样;

(c) 蔬菜类样品采集:以 0.1 ~ 0.3 hm² 为采样单元,在采样单元内选取 5 ~ 20 个植株,小型植株的叶菜类(白菜、韭菜等)去根整株采集;大型植株的叶菜类可用辐射形切割法采样,即从每株表层叶至心叶切成八小瓣为该植株分样。

1.2 样品测试

1.2.1 测试方法

主要测试 Se、Pb、Cd、Cr、Hg、As、Cu、Zn、Co、Ni 和 F 等元素,采用湿法硝化,以等离子体光谱测试为主,辅以等离子体质谱法、原子荧光光谱法、离子选择电极法进行测试。本配套分析方法所分析元素的检出限均达到或优于中国地质调查局地质调查技术标准《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》(DD2005-03)生物样品分析检出限要求。

1.2.2 质量控制

每一批分析样品(不限样品数量),插入同类型

标准物质 1 ~ 2 件与样品同时分析,并计算单个样品单次测定值与标准物质推荐值的相对误差 RE,要求 RE ≤ 30%,若无标准物质可供选择时,则采取加标回收法控制,每一分析批(不限样品数量)加入 2 份已知浓度标准溶液,与样品同时分析,加标回收率应控制在 90% ~ 110% 之间。

采用重复分析方法控制样品分析的精密度,每件样品进行 100% 的重复分析,双份分析的相对偏差 RE ≤ 30%。

2 结果与讨论

2.1 表层土壤硒含量特征

对土壤样研究发现(表 1),广东珠三角地区表层土壤 Se 含量平均值为 0.789 μg/g,含量范围 0.102 ~ 1.866 μg/g。总体上,土壤 Se 高含量区主要分布于相对较高的山丘、坡地,并伴随相对低 pH,非耕作土 Se 含量高于耕作土,旱地 Se 含量高于水田。区内岩石样品 Se 含量 0.030 ~ 0.771 μg/g、均值 0.233 μg/g、变异系数 0.78。表层土壤 Se 平均含量较明显高于区内岩石平均含量,土壤 Se 平均含量为岩石平均含量的 3.42 倍。研究发现主要富硒区集中在惠东白花凌坑、四会江谷长布、开平龙胜齐洞、高明更楼新围、高明明城坟典、高要蚬岗、三水迳口、台山、宅梧、都斛、牛江一带。

区内表层土壤 pH 为 4.04 ~ 6.45,平均 4.99,总体属酸性土壤;TF₂O₃ 含量 0.89% ~ 10.6%,平均 4.59%;S 含量 82.8 ~ 492.1 mg/kg,平均 246.5 mg/kg;SiO₂ 含量 38.24% ~ 89.39%,平均 64.40%;Al₂O₃ 含量 4.31% ~ 32.52%,平均 18.88%。

2.2 农作物硒含量特征

富硒区 236 件农作物 Se 含量统计表明(表 2),

表1 土壤Se异常调查区土壤元素或指标特征参数

Table 1 Soil element or index characteristic parameters of soil Se anomaly survey

元素或指标	平均值	变异系数	样本数	土壤/岩石
Cu	11.1	0.56	1314	0.41
S	246.5	0.34	1370	1.55
Se	0.798	0.46	1382	3.42
SiO ₂	64.4	0.17	1393	0.95
TF ₂ O ₃	4.59	0.45	1391	0.87
TC	1.29	0.44	1366	8.06
OrgC	1.11	0.47	1365	—
pH	4.99	0.1	1305	—

注:氧化物与C单位为%,pH无量纲,其余为 μg/g。

表2 各评价区农作物Se平均含量(mg/kg)

Table 2 Average contents of selenium in crops in various evaluation areas

评价区	稻米(DM)		番薯(FS)		玉米(YM)		龙眼(LY)		大蕉(DJ)		花生(HS)		黄豆(HD)	
	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n
凌坑	0.049	8	0.003	4	0.016	3	0.005	6	0.011	1	0.082	8	0.180	2
四会	0.050	8	0.005	4	0.134	1	0.002	6	0.016	1	0.042	6	0.050	3
高明	0.086	8	0.002	2	0.022	2			0.002	1	0.042	7	0.038	1
齐洞	0.059	8	0.003	4	0.016	1					0.012	6	0.138	2
三水	0.047	3	0.004	2			0.003	3	0.004	2	0.108	3	0.260	1
台山	0.052	6												
蚬岗	0.067	4												
牛江	0.035	9												
都斛	0.017	15												
宅梧	0.065	6												
全区	0.053	75	0.003	16	0.047	7	0.003	15	0.008	5	0.057	30	0.133	9

评价区	菜心(CX)		辣椒(LJ)		小白菜(XBC)		茄子(QZ)		苦瓜(KG)		豇豆(JD)	
	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n	平均值	n
凌坑	0.004	5	0.001	3	0.004	1	0.003	2	0.004	1	0.005	1
四会	0.005	5			0.007	2					0.017	4
高明	0.002	6	0.001	3			0.003	2	0.002	4	0.003	5
齐洞	0.004	6	0.001	1	0.004	3	0.0005	1	0.0005	1	0.004	5
三水	0.009	2									0.006	1
蚬岗											0.006	4
全区	0.005	24	0.001	7	0.005	6	0.003	5	0.003	6	0.007	20

稻米、花生、黄豆和玉米 Se 平均含量分别为 0.053 mg/kg、0.057 mg/kg、0.133 mg/kg 和 0.047 mg/kg, 其 Se 平均含量普遍高于其他农作物,说明这 4 种农作物对土壤 Se 的吸收能力较强, 农产品富硒情况与农作物种类有关;从各评价区分布来看,除牛江和都斛两个富 Se 区稻米 Se 平均含量低于富 Se 标准外, 其它富 Se 土壤区稻米的平均含量均达到富 Se 稻米要求(>0.04 mg/kg)。其中三水迳口、惠东凌坑花生和黄豆 Se 含量远高于其它各区。此外, 三水迳口、四会长布菜心 Se 平均含量也相对较高。这说明,农产品富硒情况与土壤富硒情况成一定的正相关关系。而 Se 往往以类质同象形式存在于硫化物矿物晶格中, 富含黄铁矿等硫化物的母岩风化后形成褐铁矿化, 同时, 土壤中氧化铁和氧化铝、高岭石和蒙脱石均对 Se 有较强的亲合力, 尤其是铁对 Se 的亲合力最强, 氧化铁对表面配位层的 Se 产生专性吸附^[8], 而且很难被解析, 因此, 农作物硒含量也受土壤结构、铁离子浓度等因素影响。

有研究表明^[9], 土壤中 Se 可以 Se²⁻、Se0、Se⁴⁺、Se⁶⁺ 的形态存在。以 Se²⁻、Se0 形态存在的化合物或单质 Se 不溶于水, 以 SeO₃²⁻ 形式存在的 Se⁴⁺ 可溶于水, 以 SeO₄²⁻ 形式存在的 Se⁶⁺ 溶于水。土壤 Se 的价态很大程度上取决于环境 pH、Eh 和微生物。在通气良好的碱性介质中, 元素 Se 或 Se 化物可被氧化为 SeO₃²⁻ 或 SeO₄²⁻, 有机态 Se 分解后产生的 H₂Se, 也可经氧化而成 SeO₃²⁻ 或 SeO₄²⁻。在强还原或酸性介质中, 厌气微生物可使氧化态 Se 还原为 Se0 和 Se²⁻。可见, 土壤 pH 对硒的有效性影响较大。

2.3 农作物富硒程度评价

根据富 Se 标准(表 3),所采集的 236 件农作物样品中,有 71 件符合富 Se 农产品要求,富 Se 比例达 30.08%,主要品种为是黄豆、花生、稻谷和玉米,所占比例分别为 50.70%、15.49%、11.27%和 7.04%, 见图 1。且富 Se 农作物环境质量较好,重金属超标率低,这与硒对重金属元素的拮抗作用有关^[10]。

稻米 Se 平均含量为 0.073 mg/kg, 富 Se 率

表3 富硒农产品含量标准(mg/kg)

Table 3 The standard content of selenium rich agricultural products

品种	富硒下限	富硒上限
稻谷	≥0.04	≤0.30
豆类	≥0.04	≤0.30
薯类	≥0.01	≤0.10
蔬菜类	≥0.01	≤0.10
水果	≥0.01	≤0.05

48.0%。其中四会长布、高明新围-坟典评价区富 Se 比例最高,均高达 75%,其次是三水迳口、开平齐洞评价区,富 Se 比例分别为 66.7%、62.5%,惠东凌坑评价区较低,仅 37.5%。

豆类 Se 平均含量为 0.121 mg/kg, 富 Se 率为 51.3%。在惠东凌坑、四会长布、开平齐洞、三水迳口评价区采集 9 件黄豆样品,均达到富 Se 标准;评价区内采集 30 件花生样品, 三水迳口花生达到富 Se 率为 100%,四会长布、惠东凌坑、高明新围-坟典评价区花生达到富 Se 率分别为 50%、37.5%、28.6%。

水果类 Se 平均含量为 0.013 mg/kg,富 Se 率为 15%。

叶菜类 Se 含量为 0.001 ~ 0.013 mg/kg,富 Se 率为 6.3%。

瓜果类农作物中的 Se 含量为 0.001 ~ 0.006 mg/kg,10 件瓜果类样品均未达到富 Se 标准。

结果类农作物中的 Se 含量为 0.001 ~ 0.017 mg/kg,2 件达到富 Se 标准,富 Se 率为 6.3%。

地下茎块类 Se 含量为 0.001 ~ 0.022 mg/kg,仅 1 件达到富 Se 标准,富 Se 率为 5.6%。

玉米 Se 含量均值为 0.024 mg/kg,7 件玉米有 5 件达到富 Se 标准,富 Se 比例达 71.43%。

2.4 不同 pH 条件下农作物富硒程度及安全性实验

目前,在一些缺硒或低硒区通常采用添加外源硒来提高作物中硒含量,其施加方式有土施、叶面喷施、拌种等^[11-13]。关于这方面的研究已有了较多报道,研究发现,添加外源硒对提高作物中硒含量具有一定效果,且一定程度上可改善农作物的品质。然而低硒地区长期施用的硒肥,只有 5% ~ 30%被植物吸收利用,而 70% ~ 90%残留在土壤中并随着土壤环境的变化而转化、迁移。这些没有被植物吸收的高浓度硒对水体乃至人类存在潜在危害^[14]。也有研究发现,硒对作物存在剂量反应,硒中毒事件时有发生^[15,16]。而土壤中有效硒主要以硒酸盐、亚硒酸盐和有机态存在。亚硒酸盐占土壤无机硒的 40%,在

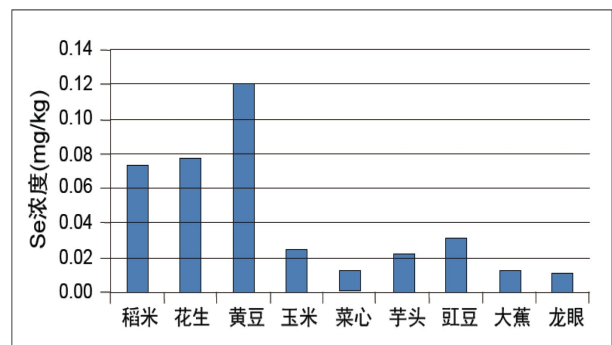


图1 不同农作物硒浓度

Fig. 1 Selenium concentration in different crops

酸性土壤及还原条件下是植物重要的硒源;硒酸盐是水溶性的,在碱性氧化环境中,易被水淋滤从而被植物吸收;有机硒是富硒植物或动物腐败降解的产物,在植物体内活性最高^[17-19]。由此可见,在富硒区只需改善土壤酸碱度就能增加同种农产品硒含量,不需人为添加硒源。有研究表明,采用石灰,同时配合施用有机肥可以提高土壤有效态硒的含量,进而提高农作物中硒含量^[20]。目前,这种富硒途径在实际生

表4 供试土壤pH调节添加的石灰量(kg)

Table 4 Correspondence relationship between lime added and PH value in soil in test

pH	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
添加石灰量					
每盆土(10kg)	0.020	40	60	89	170
每亩地	307	615	922	1368	2613
添加石灰的成本(元)	98	197	295	438	836

注:土壤容重为1.15 g/cm³,土壤厚度取20 cm,每亩地面积约为667 m²,石灰市场价格:320元/吨。

表5 土样中各元素含量(mg/kg)
Table 5 Elements contents in soil sample

原土	Cu	Pb	Zn	Cr	F	Cd	Se	As	Hg	pH
YT1	10.9	52.2	44.2	32.3	333	0.086	0.58	6.79	0.105	6.15
YT2	7.8	36.3	31.0	28.7	318	0.072	0.55	6.41	0.095	6.21

表6 实验蔬菜的处理
Table 6 Treatment experimental of vegetables

农作物	处理	pH 处理水平	重复次数	每个重复的盆数	累计盆数
通菜		6.5、7.0、7.5、8.0、8.5	5	2	5×5×2=50
白菜		6.5、7.0、7.5、8.0、8.5	5	1	5×5×1=25
菜心		6.5、7.0、7.5、8.0、8.5	5	3	5×5×3=75
生菜		6.5、7.0、7.5、8.0、8.5	3	5	5×5×3=75
黄豆		6.5、7.0、7.5、8.0、8.5	5	3	5×5×3=75

产中应用较少,本实验采用石灰调节土壤 pH 值,查明不同农作物中硒随土壤 pH 的变化情况,为富硒区富硒农作物的开发提供新的思维和途径。

(1)实验方法

实验选取珠三角常见的白菜、通菜、黄豆、菜心和生菜五种蔬菜作为研究对象,采用盆栽实验,通过向供试土壤中添加不同量石灰调节富硒土壤 pH 值(共作 5 个处理,若干个重复,为保证实验测试所需的生物量,在每个重复的基础上增加了相应的盆数,共计 300 盆),供试土壤、土壤 pH 调节方法见表 4-6,对比在不同 pH 条件下各类蔬菜中重金属元素和硒含量水平,从而筛选出安全富硒蔬菜及确定该类蔬菜吸收硒最佳 pH 值范围, 以期为富硒农产品的开发提供基础依据。

(2)实验结果

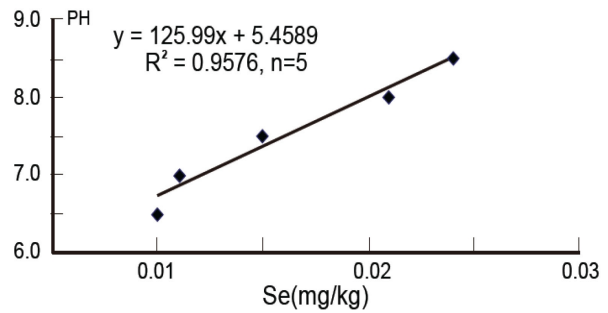


图2 菜心中Se含量与pH的相关关系图
Fig. 2 Correlation between Se content and pH value in Chinese Cabbage

从表 7 中可看出,通菜中重金属元素含量均低于国家限量标准,通菜的生态安全性较高。各 pH 水平下通菜中硒含量介于 0.006 ~ 0.008 mg/kg, 低于富硒农产品标准。各 pH 处理水平下,通菜中硒含量之间没有显著性差异。但加石灰改变土壤酸度后,通菜中重金属含量显著下降,可见调节酸碱度“修复”重金属污染效果是显著的。

从表 7 中可看出,白菜中重金属元素均含量均低于国家限量标准,白菜的生态安全性较高; 各 pH 水平下白菜中硒含量介于 0.003 ~ 0.006 mg/kg,低于富硒农产品标准。各 pH 水平下,白菜中 Se 含量之间没有显著性差异。

菜心中重金属元素含量均低于国家限量标准,菜心的生态安全行较高; 各 pH 水平下菜心中硒含量介于 0.01 ~ 0.03 mg/kg, 达到富硒农产品标准; 从

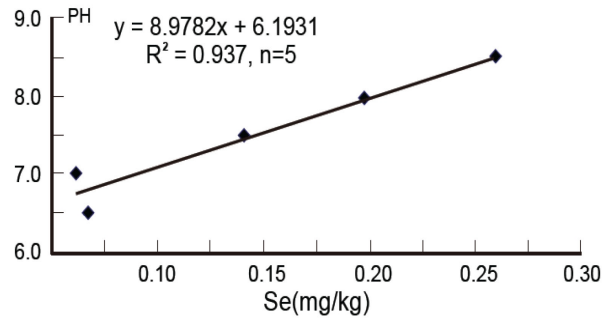


图3 黄豆中Se含量与pH的相关关系图
Fig. 3 Correlation between Se content and pH value in soybean

表7 各pH处理水平下不同作物元素平均含量

Table 7 Average elements content under different pH levels in different crops

作物 品种	pH	元素								Se 均值±标准差
		As	Zn	Cd	重金属元素				Hg	
通菜	6.5	0.031	3.064	0.072	0.850	0.059	0.162	0.394	2.486	0.0080±0.0014a
	7.0	0.034	2.140	0.047	0.916	0.058	0.189	0.528	2.242	0.0074±0.0018a
	7.5	0.032	1.758	0.034	0.934	0.057	0.180	0.398	2.288	0.0074±0.0011a
	8.0	0.027	1.654	0.032	0.752	0.056	0.146	0.738	2.224	0.0060±0.0014a
	8.5	0.029	1.488	0.027	0.752	0.047	0.120	0.426	2.198	0.0066±0.0015a
白菜	6.5	0.008	1.842	0.017	0.174	0.042	0.063	0.616	1.672	0.0042±0.0016a
	7.0	0.008	1.554	0.016	0.166	0.037	0.059	0.524	1.466	0.0034±0.0011a
	7.5	0.008	1.544	0.015	0.19	0.036	0.059	0.516	1.578	0.0038±0.0022a
	8.0	0.008	1.624	0.017	0.256	0.036	0.067	0.516	1.716	0.0052±0.0023a
	8.5	0.008	1.88	0.018	0.298	0.039	0.075	0.518	2.212	0.0050±0.0017a
菜心	6.5	0.010	1.852	0.021	0.354	0.021	0.048	0.53	1.450	0.0100±0.0023c
	7.0	0.009	1.796	0.021	0.346	0.018	0.078	0.476	1.436	0.0114±0.0026bc
	7.5	0.008	1.718	0.018	0.354	0.018	0.158	0.488	1.280	0.0152±0.0019b
	8.0	0.008	1.700	0.019	0.36	0.018	0.159	0.438	0.832	0.0206±0.0021a
	8.5	0.006	1.470	0.017	0.294	0.018	0.144	0.532	0.790	0.0236±0.0056a
生菜	6.5	0.010	1.852	0.021	0.354	0.021	0.048	0.53	1.450	0.010±0.0015b
	7.0	0.009	1.796	0.021	0.346	0.018	0.078	0.476	1.436	0.010±0.0006b
	7.5	0.008	1.718	0.018	0.354	0.018	0.158	0.488	1.280	0.013±0.0025ab
	8.0	0.008	1.700	0.019	0.36	0.018	0.159	0.438	0.832	0.014±0.0017a
	8.5	0.006	1.470	0.017	0.294	0.018	0.144	0.532	0.790	0.011±0.0032ab
黄豆	6.5	0.029	49.036	0.079	14.700	0.069	1.519	0.431	<0.001	0.067±0.019d
	7.0	0.021	37.318	0.065	15.332	0.044	1.594	0.469	<0.001	0.061±0.025d
	7.5	0.020	33.046	0.069	16.374	0.049	1.602	0.326	<0.001	0.141±0.061c
	8.0	0.016	32.454	0.065	15.926	0.064	1.582	0.394	<0.001	0.198±0.039b
	8.5	0.023	32.176	0.067	15.956	0.042	1.661	0.123	<0.001	0.260±0.015a

注: Hg 的单位为 $\mu\text{g/kg}$, 其它元素的单位为 mg/kg ; 注: 带有相同字母的同一列数据间无显著差异, $n=5$ 。

上表可以看出, 土壤 pH 为 6.5 与 pH 为 7.0 时, 菜心中硒含量没有显著性差异, 其它 pH 条件下, 菜心硒含量存在显著性差异。且随土壤 pH 升高而增加, 土壤 pH 为 8.5 时菜心中硒含量最高, 是土壤 pH 为 6.5 情况下的 2 倍多。相关散点图如图 2 所示。

从表 7 中可看出, 生菜中重金属元素含量均低于国家限量标准, 生菜的生态安全性较高。各 pH 处理水平下生菜中硒含量介于 0.010 ~ 0.014 mg/kg , 略高于富 Se 食品标准; 从各 pH 处理水平来看, 当土壤 pH 为碱性和中酸性时生菜中硒含量存在显著性差异。在土壤 pH 为 8.0 时, 生菜中硒含量最高, 为 0.014 mg/kg 。

如表 7 所示, 黄豆中 Cr 介于 1.5 ~ 1.6 mg/kg , 高于国家限量标准。除 Cr 外, 其它重金属元素含量均低于国家限量标准。各 pH 水平下黄豆中 Se 含量介

于 0.06 ~ 0.26 mg/kg , 均达到了富硒农产品标准。从各处理水平来看, 土壤 pH 为碱性和中酸性时黄豆中硒含量存在显著性差异; 黄豆中 Se 含量随 pH 升高而增加, pH 为 8.5 时, 黄豆中 Se 含量最高, 约为 pH 为 6.5 时的 4 倍。相关散点图如图 3。

综合上述结果来看, 五种蔬菜在不同 pH 环境下吸收富集 Se 及重金属元素具有以下特点:

从盆栽蔬菜的生态安全性来看, 通菜、白菜、菜心、生菜中各重金属元素含量均低于食品污染物限量标准, 生态安全性较高。而黄豆中 Cr 超标, 超标率达到 100%, 这可能与黄豆生长过程中所喷洒的农药有关, 也可能是黄豆对重金属 Cr 的富集能力较强, 实践中有待进一步探讨。

与富 Se 农产品标准对比, 在各 pH 处理水平下, 通菜和白菜中 Se 含量均低于 0.01 mg/kg , 而菜心、

黄豆和生菜中 Se 含量均达到富 Se 食品标准。整体来看,盆栽蔬菜富硒能力大小顺序为: 黄豆 > 菜心 > 生菜 > 通菜 ≈ 白菜。

从 pH 与蔬菜中 Se 含量的关系来看, 各 pH 处理水平下通菜、白菜和生菜中 Se 含量没有显著差异性,即 pH 不影响通菜、白菜、生菜这三种蔬菜的富硒水平; 而不同 pH 水平下黄豆和菜心中 Se 含量存在显著差异性, 且随着 pH 值升高这两种蔬菜 Se 含量也随着增加,二者呈显著正相关。但在实践生长中,pH 值过大容易造成土壤板结,不利于农作物生长。因此,建议在不影响农作物产量的基础上,适当添加石灰量以增加这两种蔬菜对 Se 的吸收。

3 结论

(1)研究表明,珠三角地区土壤硒含量极为丰富,表层土壤 Se 含量平均值为 $0.789 \mu\text{g/g}$, 含量范围 $0.102 \sim 1.866 \mu\text{g/g}$ 。区内表层土壤 pH 为 $4.04 \sim 6.45$,平均 4.99,总体属酸性土壤。

(2) 不同农产品中 Se 含量不仅与土壤 Se 总量有关, 更大程度受土壤 Se 存在形态及各种环境因素的影响, 且硒对重金属元素有一定的拮抗作用。

(3) 不同土壤 pH 下各农作物富硒水平实验结果表明,通过适当添加石灰调节土壤 pH 值,可以显著提高部分品种农作物富硒水平和降低其对有害重金属元素的吸收率,并且能够产生可观的经济效益。因此,在珠江三角洲经济区开发富 Se 农产品是可行的。

参考文献:

- [1] Guo X S, Liu X, Williams P N, Zhu Y G. Distribution and Translocation of Selenium from Soil to Grain and Its Speciation in Paddy Rice (*Oryza sativa* L.)(J). Environmental Science & Technology, 2010, 44: 6706–6711.
- [2] Eiche E, Bardelli F, Nothstein A K, Charlet L, G?ttlicher J, Steininger R, Dhillon K S, Sadana U S. Selenium distribution and speciation in plant parts of wheat (*Triticum aestivum*) and Indian mustard (*Brassica juncea*) from a seleniferous area of Punjab, India [J]. Science of the Total Environment, 2015, 505:952–961.
- [3] Sors T G, Ellis D R, Salt D E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants [J]. Photosynthesis Research, 2005, 86: 373–389.
- [4] 邢润华, 贾十军. 安徽省x地区富硒土壤地球化学评价[J]. 安徽地质, 2008, 18(3): 202–205.
- [5] 王室纪, 吴小勇, 刘军保. 浙北地区土壤硒元素特征及其生态环境效应评价 [J]. 中国地质, 2004, 31(增刊): 118–125.
- [6] 廖金凤. 土壤环境中的硒对人和动物健康的影响[J]. 广东微量元素科学, 2002, 9(3): 20–23.
- [7] 杜前进, 张永发, 唐树梅. 水稻不同品种在海南富硒土壤中硒的吸收和分配机理[J]. 中国土壤与肥料, 2009(6): 37–40.
- [8] Gerald F. Combs Jr. Review article Selenium in global food systems[J]. British Journal of Nutrition, 2001, 85: 517–547.
- [9] You Y W, Vance G F, Zhao H T. Selenium adsorption on Mg–Al and Zn–Al layered double hydroxides [J]. Applied Clay Science, 2001, 20: 13–25.
- [10] 罗杰, 王世纪, 温汉辉. 浙江三市水稻Pb污染原因研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(10): 4611–4613.
- [11] 廖启林, 华明, 冯金顺, 金洋, 吴新民, 颜朝阳, 朱伯万. 苏南局部富硒土壤及其天然富硒茶叶初步研究 [J]. 中国地质, 2007, 34(2): 347–353.
- [12] 罗杰, 温汉辉, 吴丽霞, 游远航, 欧阳春飞. 自然富硒与人工施硒肥的比较[J]. 中国农学通报, 2011, 27(33): 90–97.
- [13] 马芳宇. 江汉平原富硒土壤与农产品质量初探 [J]. 资源环境与工程, 2012, 26(2): 194–200.
- [14] 李慧, 魏昌华, 鲍征宇, 郭宇, 马真真, 王海燕. 恩施富硒茶叶中Se含量与对应土壤中Se及重金属元素As、Cd、U的关系[J]. 地质科技情报, 2011, 30(3): 103–107.
- [15] 李娟, 龙健, 汪境仁. 黔中地区水稻土的含硒量及其对糙米硒含量的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 571–574.
- [16] Van Hoewyk D. A tale of two toxicities: malformed seleno-proteins and oxidative stress both contribute to selenium stress in plants[J]. Annals Botany, 2013, 112: 965–972.
- [17] Luo K L, Xu L R, Tan J A, Wang D H, Xiang L H. Selenium source in the selenosis area of the Daba region, South Qinling Mountain, China [J]. Environmental Geology, 2004, 45(3): 426–432.
- [18] 廖启林, 黄顺生, 范迪富, 吴新民, 朱伯万, 翁志华, 华明, 陈宝, 冯金顺. 微量元素在湖积物、土壤的垂向分布与稻谷中的分配[J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 331–339.
- [19] 廖启林, 金洋, 吴新民, 毕葵森, 范迪富, 华明. 南京地区土壤元素的人为活动环境富集系数研究 [J]. 中国地质, 2005, 32(1): 141–147.
- [20] Renkema H, Koopmans A, Kersbergen L, Kikkert J, Hale B, Berkelaar E. The effect of transpiration on selenium uptake and mobility in durum wheat and spring canola[J]. Plant and Soil, 2012, 354(1–2): 239–250.