

江西赣州瑞金—石城地区土壤与白莲果实中 Se 及其他有益元素地球化学特征

黄园英^{1,2}, 魏吉鑫^{1,3}, 刘久臣^{1,2}, 张明⁴, 刘斯文^{1,2}

HUANG Yuanying^{1,2}, WEI Jixin^{1,3}, LIU Jiuchen^{1,2}, ZHANG Ming⁴, LIU Siwen^{1,2}

1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

2. 自然资源部生态地球化学重点实验室, 北京 100037;

3. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

4. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016

1. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China;

2. Key Laboratory for Eco-geochemistry of Ministry of Natural Resources, Beijing 100037, China;

3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4. Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

摘要:为了配合赣州六县脱贫攻坚1:5万土地质量地球化学调查工作,选择江西瑞金和石城采集了表层土壤及70件白莲—根系土样品,测定了土壤和白莲果实中Se等23项元素指标,包括有益人体健康的10项微量元素。调查结果表明:①石城县白莲中Cd、Pb、Cr、Hg和As五种重金属均低于GB2762—2017标准中限量值,瑞金市白莲中除有36% Pb超标现象外,其他重金属都不超标。其对应根系土中5种重金属含量低于筛选值,瑞金—石城表层土壤是绿色安全的,并分别圈定了绿色富硒基地2块,面积分别为瑞金92 km²和石城5.6 km²;②瑞金—石城白莲富硒率较高,达80%以上,并富含人体所需的10项微量元素,这将为开发富硒白莲提供技术支撑;③在非富硒土壤中发现了富硒白莲,可能主要与土壤中硒的生物有效性和白莲自身特性有关。

关键词:赣州脱贫攻坚;白莲;富硒土地资源;瑞金—石城调查区

中图分类号:P595;S15 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)12-1944-08

Huang Y Y, Wei J X, Liu J C, Zhang M, Liu S W. The geochemical characteristics of selenium and other beneficial elements in soil and white lotus in Ruijin-Shicheng, Ganzhou City, Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(12): 1944–1951

Abstract: In order to cooperate with the 1:50000 geochemical survey of land quality in six counties of Ganzhou, the authors selected Ruijin and Shicheng survey areas. Surface soils, 70 sets of white lotus and root soil were collected in the whole area. Twenty three elements in lotus and root soil, including 10 trace elements beneficial to human health, were determined. The content, correlation and geological background of selenium and other beneficial elements in the fruit and root soil of white lotus were analyzed. The survey results are as follows: ①The values of Cd, Pb, Cr, Hg and As in white lotus of Shicheng County are lower than the limit value in GB2762—2017 standard. Except for 36% Pb exceeding the standard, other heavy metals in white lotus in Ruijin do not exceed the standard. The content of five heavy metals in the corresponding root soil is lower than the screening value, and the surface soil of Ruijin Shicheng survey areas is green and safe. Two green selenium rich bases were delineated, with an area of 92 km² in Ruijin and 5.6 km² in Shicheng. ②White lotus produced in Ruijin-Shicheng survey areas is rich in selenium, which is more than 80%, and is rich in 10 kinds of trace

收稿日期:2020-07-20;修订日期:2020-10-23

资助项目:中国地质调查局项目《全国矿山地质环境综合调查与评价(国家测试中心)》(编号:DD20190703)和国家重点研发计划项目《离子型稀土矿浸矿场地土壤污染控制及生态功能恢复技术》(编号:2019YFC1805103)

作者简介:黄园英(1978-),女,博士,研究员,从事矿山污染调查与水土生态修复研究。E-mail:yuanyinghuang304@163.com

通讯作者:刘斯文(1980-),男,博士后,副研究员,从事矿山环境和地球化学研究。E-mail:siwenzliu@cags.ac.cn

elements needed by human body, which will provide technical support for the development of selenium rich white lotus. ③Selenium rich white lotus was found in non-selenium rich soil, which may be related to the biological availability of selenium in soil and its own characteristics.

Key words: poverty alleviation in Ganzhou; white lotus; selenium rich land resources; Ruijin-Shicheng survey areas

Se 是生物体必需的营养元素之一,主要以硒代半胱氨酸(selenocysteine, Sec)形式插入到硒蛋白中发挥生物学作用,具有增强人体免疫力、抗氧化、重金属解毒、阻断基因突变等功能^[1-3]。与其他营养元素相比,硒的安全剂量范围较窄,人体缺硒容易产生高血压,引起心脏病、大骨节病、克山病、癌症、蛋白质营养不良等多种疾病。硒不仅可预防镉中毒,对汞毒性也有明显拮抗作用^[4-5]。但摄入过量硒也会引发中毒,导致头发和指甲脱落,神经系统疾病等^[6]。对于 18 岁以上成年人,大部分国家参考摄入量在 50~75 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[7]。1996 年世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出成年男女每日硒推荐摄入量分别为 40 $\mu\text{g}/\text{d}$ 和 30 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[8]。中国出版《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版)》中,成人硒参考摄入量由 50 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[9] 调整为 60 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[10]。

食物硒含量通常比水、大气硒含量高几个数量级,食物是人体硒摄入的主要来源,约占人体硒摄入量的 80%^[11]。富硒农产品是人体补硒安全、有效的途径。随着社会经济的发展、生活质量的提高,天然富硒农产品越来越成为社会关注的热点,与之相应的富硒土壤也成为一种特殊的地质资源。但土壤全硒含量并不能反映硒的有效性,土壤硒生物有效性与硒成因来源及地球化学景观制约下的土壤理化性质有关^[12](图 1)。一些地区虽然土壤 Se 全量低于 0.40 mg/kg,但由于硒生物有效性较高,土壤硒有效量并不低,因而仍能产出富硒农产品;相反,一些地区土壤 Se 全量虽已达 0.40 mg/kg 以上,但由于硒生物有效性低,土壤硒有效量不高,难以产出富硒农产品^[13],这主要是因为农产品对土壤中硒的吸收、转化与植物种类、土壤 Se 含量、土壤质地、pH、Eh、水分含量等因素有关^[14-17]。

中国人体硒摄入普遍不足,为富硒土地资源利用、天然富硒农产品开发奠定了广阔的市场,成为地球化学调查成果资料转化应用的重要方向。前人对土壤与农产品 Se 含量关系进行过调查和研究,探讨了土壤分布与地质背景和岩石地球化学的关系^[18-24],但关于赣州瑞金和石城土壤和农作物硒地球化学研究较少。在 1:5 万土地质量地

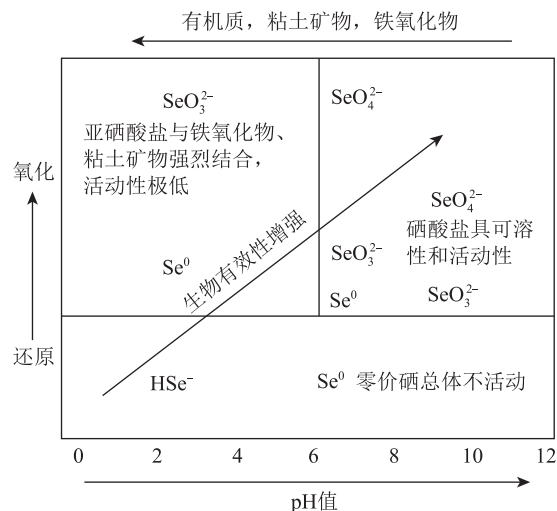


图 1 土壤硒化学形态及其生物有效性的主控因素^[12]

Fig. 1 Schematic diagram showing the main controls on the chemical speciation and bioavailability of selenium in soils

球化学调查中发现,瑞金—石城地区土壤富硒率低,但是农作物白莲富硒率却非常高。本次系统探讨瑞金—石城土壤与白莲硒及其有益元素各项地球化学指标特征,为瑞金—石城地区开展土地资源利用、农产品品质 and 安全性研究提供了可靠的基础资料,为富硒产业发展提供科学依据。

1 研究区概况

由于赣州市是自然灾害频发区,社会保障水平不高,因灾因病返贫现象仍然突出,目前还有 15 万多农村人口窝居深山区、库区和地质灾害频发区,存在脱贫返贫的隐患。经过长期以来扎实推进、重点突破,赣州市扶贫开发已取得一定成效,但是到目前为止,全市仍有贫困人口 70.24 万人,占全省 1/3 多;省定贫困村 932 个,占全省近 1/3,赣州六县贫困人口 38.68 万,贫困人口占赣州 55.07%,仍存在贫困地区集中、贫困规模较大、经济基础差等现状,脱贫解困任务艰巨,是赣州市脱贫攻坚的主战场,扶贫开发任重道远,地质调查工作对支撑服务赣南苏区如期脱贫显得尤为紧迫。

本次选择江西赣州瑞金和石城作为 1:5 万土

地质量地球化学调查区。瑞金位于赣州东部,武夷山脉南段西麓,赣江东源贡水上游,出露地层主要为第四系、白垩系、寒武系和震旦系。石城县位于赣州市东北部,南抵瑞金市及福建省长汀县(图2-a),主要地层为震旦系坝里组和下白垩统赣州群周田组下段。该地区素有“中国白莲之乡”的美誉。石城县调查面积 400 km²,占县域面积 25%,分布有龙岗乡、屏山镇、大由乡、横江镇、珠坑乡、琴江镇、小松镇、长天乡、丰山乡 9 个乡镇,石城县工作区如图 2-b 所示。瑞金市调查面积 400 km²,主要为沙洲坝地区,瑞金工作区见图 2-c。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集

1:5 万土地质量地球化学调查野外工作方法执行中华人民共和国地质矿产行业标准《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^①。开展了瑞金—石城地区 1:5 万土地质量地球化学调查,系统采集了表层(0~20 cm)土壤 6396 个。为了支

撑服务赣州精准脱贫攻坚地质调查,在瑞金市和石城县调查区同时采集了当地种植面积较广、具有地方特色的农作物白莲及其根系土,共计 70 件套,其中瑞金 30 件套,石城 40 件套,白莲具体采样位置见图 3。样品采集采用 GPS 进行野外定点,对每个样品均实地进行记录描述,其样品采集质量符合相应规范要求。

2.2 样品分析测试

表层土壤测试指标有 N、P、K₂O、B、Mn、Mo、有机质、pH、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Cu、Zn、S 和 Se。根系土测试指标有 N、P、K₂O、B、Mn、Mo、有机质、pH、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Cu、Zn、S 和 Se。白莲测试指标有 As、Cd、Hg、Pb、Cr、Ca、P、K、Mg、Fe、Zn、Se、Ge、Cu、Mn。

样品分析测试由安徽省地质实验研究所承担。测试方法依据《自然资源部行业标准《规范》(DZ/T 0279—2016)》^②要求,As、Hg、Ge、Se 等指标用原子荧光光谱法(AFS);N 和有机质等指标用容量法(VOL);Cd 等指标为等离子体质谱法(ICP-MS)。

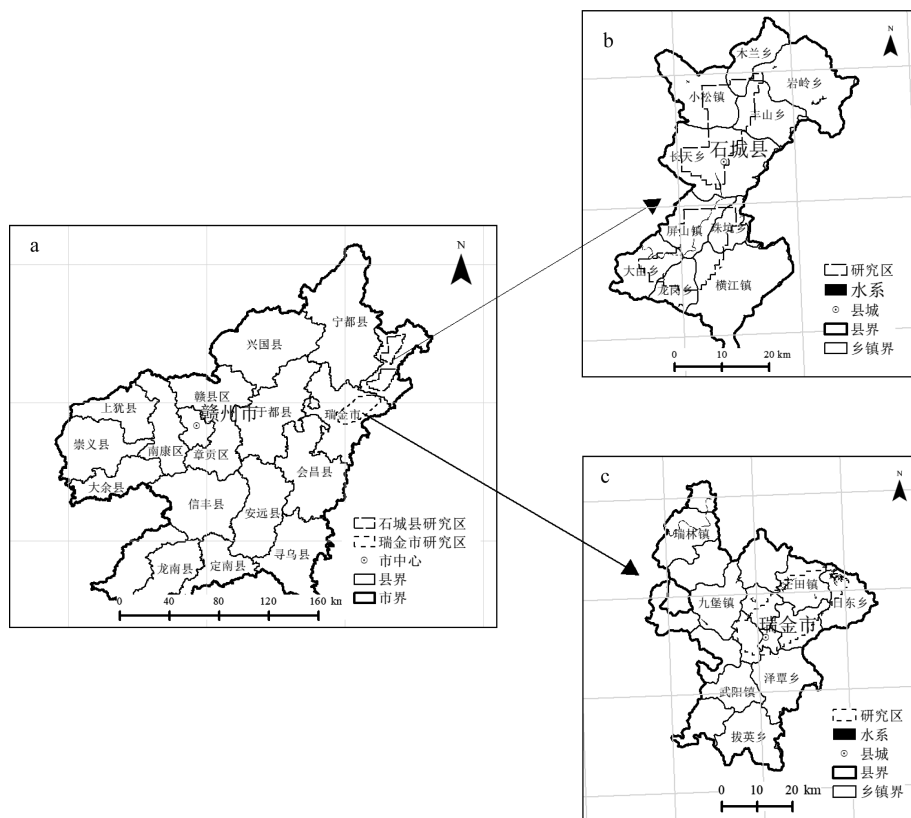


图 2 1:5 万土地质量地球化学调查工作区

Fig. 2 1:50000 land quality geochemical survey work areas

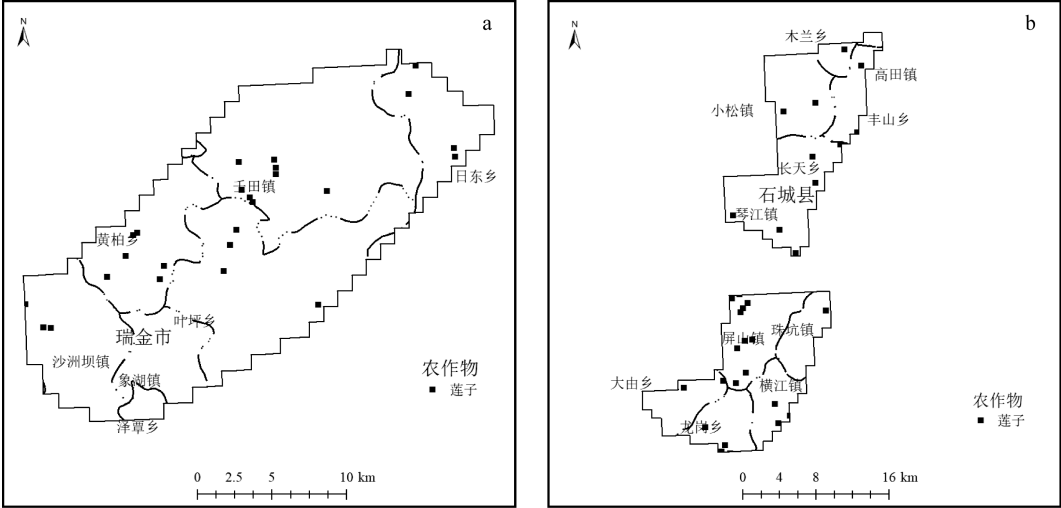


图 3 瑞金(a)和石城(b)调查区白莲采样位置
Fig. 3 Sampling location of white lotus in Ruijin-Shicheng survey area

K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 V 、 Cr 、 Mn 、 Ni 、 Cu 、 Pb 、 Zn 等指标用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)。

样品的分析质量采用内部质量监控与外检相结合进行控制。样品测试的分析方法检出限、准确度和精密度,监控样分析质量水平,均符合《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》(DZ/T0258—2014)^③、《生态地球化学评价样品分析方法和技术要求》(DD2005—03)^④、《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295—2016)^①中土壤地球化学样品分析测试质量要求及质量控制的有关规定,质量可靠,分析数据准确。

3 结果与讨论

3.1 赣州瑞金—石城地区表层土壤硒分布特征

(1)表层土壤富硒特征

植物是人和动物摄入硒营养的主要来源,而植物对硒的吸收主要来源于土壤。Se 在地壳中的丰度为 0.05 mg/kg,属于稀有分散元素。其在土壤中分布极不均匀,平均含量为 0.4 mg/kg,变化范围为 0.01~2.0 mg/kg,在高硒土壤中可达到 1200 mg/kg^[14]。采用中国 Se 元素生态景观界限值作为富硒土壤的分级标准^[25](表 1),根据土壤中 Se 含量制作硒地球化学等级图。目前对土壤 Se 含量的分类研究并不是从安全角度出发的,仅从土壤总 Se 含量特征分布角度出发。

瑞金和石城调查区表层土壤中 Se 元素平均含

量分别为 0.26 mg/kg 和 0.15 mg/kg,低于全国土壤平均含量值(0.29 mg/kg)。根据富硒土壤划分的标准,对瑞金、石城地区富硒土壤丰缺分级进行统计(表 2),瑞金和石城均未发现表层土壤硒过剩现象,瑞金表层土壤高硒和硒适量的面积分别为 45 km²和 47 km²,两者之和占调查区(400 km²)面积的 23%,硒处于边缘的面积为 238 km²,占比 60%,硒缺乏面积占比 17%,即瑞金表层土壤潜在硒不足和缺硒之和占比达 77%,总体来说,瑞金表层土壤以潜在硒不足或缺硒为主。而石城表层土壤硒适量、边缘和缺乏分别占总调查面积(400 km²)的 36%、30%和 32%,三者较接近。图 4 为瑞金—石城表层土壤的硒地球化学等级图,瑞金市富硒土壤面积 92 km²,集中分布于沙洲坝镇和云石山乡,以林地为主

表 1 硒生态景观界限值

Table 1 Limittable of ecological landscape of selenium		
Se 含量分级	表土总 Se/(mg · kg ⁻¹)	硒效应
缺乏	≤0.125	硒反应病
边缘	0.125~0.175	潜在硒不足
中等	0.175~0.3	足硒
高	0.3~0.4 *	潜在富硒
高	0.4~3.0	富硒
过剩	≥3.0	硒中毒

注:根据江西信丰、福建大田和永定 3 个地区采集的水稻-根系土配套样品及土壤垂向剖面,研究发现土壤富硒土壤标准划分为 0.3 mg/kg,能满足稳定生产出富硒稻谷要求,因此将 Se 含量在 0.3~0.4 mg/kg 区间内的土壤,划分为潜在富硒土壤

表 2 瑞金—石城调查区土壤中硒丰缺分级统计

Table 2 Classification statistics of selenium abundance and deficiency in soil from Ruijin-Shicheng survey area

调查区		过剩	高	适量	边缘	缺乏
瑞金	面积/km ²	0	45	47	238	70
	占比/%	0	11	12	60	17
石城	面积/km ²	0	7	145	121	129
	占比/%	0	2	36	30	32

(图 4-a);石城县富硒土壤面积 5.6 km²,集中分布于河田村与上坑村(图 4-b)。

(2)绿色富硒基地圈定

按照土壤中 Se 含量 0.3~3.0 mg/kg 划分,结合无公害绿色富硒土地资源评价,圈定了 2 处绿色富硒基地。

瑞金市沙洲坝镇七堡—洁源村绿色富硒区:总面积 5.96 km²,区内地势平坦、交通便利、水源充足、可开发利用程度高。区内土壤养分元素中,Se 元素丰富,B、Mn、Mo 元素丰富,N、P 元素和有机质较缺乏,K 元素缺乏;土壤未见重金属污染,属清洁土壤。土壤中 Se 平均含量约 0.4 mg/kg,达到了富硒土壤标准。该区主要地层为第四系全新统联圩组砾、砂、亚砂土、亚粘土,部分为第四系中更新统进贤组网纹状红土、砂砾层,以及上石炭统梓山组上段灰白色厚层状中细粒—粗粒石英砂岩、长石石英砂岩夹粉砂岩、粉砂质页岩、炭质泥岩及透

镜状煤层、煤线。土壤中硒主要来自于煤系地层。

石城县大由乡兰田村—下村绿色富硒区:总面积 0.95 km²,区内地势平坦、交通便利、水源充足、可开发利用程度高。区内土壤养分元素中,Se 元素丰富,B、Mo、Zn 元素丰富,N 元素、P 元素中等,有机质较缺乏,K 元素缺乏;土壤未见重金属污染,属清洁土壤。土壤中 Se 元素含量 0.31 mg/kg,含量适中,富硒土壤面积 5.6 km²,集中分布于大由乡、龙岗乡和丰山乡。此处以震旦系周潭岩组和早志留世汤湖序列二长花岗岩为主。周潭岩组是一套含石榴子石黑云斜长片麻岩、含矽线石黑云斜长片麻岩、含石榴子石黑云斜长变粒岩夹片岩、斜长角闪岩等组合的深变质岩。汤湖序列岩石类型主要为英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩。基地土壤中硒主要受变质岩成土母质的影响。

3.2 赣州瑞金—石城调查区白莲

(1)富硒特征

瑞金—石城采集的 70 件白莲果实中湿基和干基 Se 含量及统计分析情况见表 3。参照江西省地方标准《富硒食品硒含量分类标准》(DB36/T566—2017)^⑤,干莲子参照豆类及制品 Se 含量 0.07~0.3 mg/kg 评价标准,而湿莲子按照蔬菜(包括薯类及制品)Se 含量 0.01~0.1 mg/kg 评价标准。结果显示,瑞金和石城白莲样品干基中 Se 平均含量分别为 0.13 mg/kg 和 0.046 mg/kg,对应富硒率为 97% 和 15%;瑞金和石城白莲样品湿基中 Se 平均含量分别

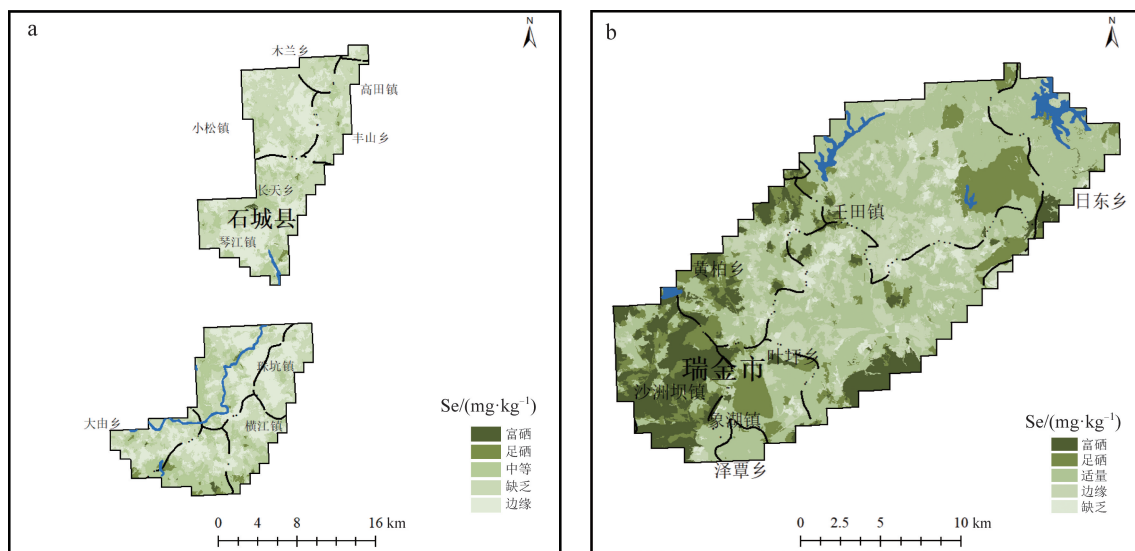


图 4 江西瑞金(a)和石城(b)调查区表层土壤硒地球化学等级图

Fig. 4 Geochemical grade map of surface soil selenium in Ruijin-Shicheng survey area, Jiangxi Province

表 3 瑞金—石城调查区白莲富硒评价
Table 3 Evaluation of selenium enrichment of white lotus in Ruijin-Shicheng survey area

产地	白莲 样品数	富硒 样品数	元素	白莲 Se 含量/(mg · kg ⁻¹)			富硒率 /%
				最小值	最大值	平均值	
瑞金	30	30	Se(湿基)	0.065	0.265	0.134	100
		29	Se(干基)	0.037	0.141	0.078	97
石城	40	33	Se(湿基)	0.030	0.094	0.050	82.5
		6	Se(干基)	0.006	0.025	0.014	15

为 0.08 mg/kg 和 0.013 mg/kg, 对应富硒率达到 100% 和 82.5%。由此表明, 无论以干基还是湿基作为评价标准, 瑞金白莲富硒率都高达 97% 以上。但对于石城白莲, 干基富硒率仅为 15%, 而湿基富硒率高达 82.5%, 采用不同评价标准其富硒率差异较大。

白莲果实中硒主要来源于土壤, 调查结果表明, 瑞金—石城表层土壤达到富硒标准的比例不足 40%, 而瑞金—石城白莲湿基富硒率大于 80%, 这表明植物硒累积程度与土壤中 Se 总量和硒形态、分布、生物有效性等因素密切相关, 换言之, 没有达到富硒标准的土壤并不代表不能产出富硒农产品。

(2) 矿物质营养元素

在测定瑞金市和石城县白莲果实 Se 的同时, 也测定了 Ca、P、K 等 10 种有益人体健康的元素, 瑞金白莲中 Ca、Mn 和 Se 含量为食物成分表中规定值的 3 倍, 石城县调查区白莲中 Ca、K、P、Mn 和 Zn 含量约为食物成分表中规定值的 2 倍(表 4)。

(3) 重金属含量

依照食品安全国家标准食品中污染物限量(GB 2762—2017)^⑥对瑞金—石城调查区白莲进行评价。结果表明, 瑞金 30 件白莲样品中 Pb 含量超标占比 36%, Cd、Hg、As 和 Cr 含量均不超标。石城县白莲 40 件样品中 Pb、Cd、Hg、As 和 Cr 含量均不超标(表 5)。

总之, 瑞金市调查区大部分农产品, 石城县所有农产品都是绿色、无污染, 富含人体所需 10 种微

量元素, 且 Ca、K、P、Se、Zn、Mn 等元素含量远高于食物营养成分表规定值, 这为地方发展特色农业产业提供了方向和基础数据支撑。

3.3 赣州瑞金—石城调查区白莲根系土

(1) 富硒特征

对瑞金—石城白莲样品相对应的根系土中 Se 的含量进行统计分析, 如表 6 所示。

瑞金白莲根系土: 莲子根系土中 Se 元素的含量范围为 0.14~0.52 mg/kg, 平均值为 0.24 mg/kg, 略低于瑞金调查区表层土壤 Se 含量均值 0.26 mg/kg, 平均值未达到一般富硒土壤标准(0.3 mg/kg), 据统计, 瑞金白莲根系土富硒率为 20%。

石城白莲根系土: 莲子根系土中 Se 元素含量范围为 0.10~0.25 mg/kg, 平均值为 0.16 mg/kg, 略高于石城调查区表层土壤 Se 含量平均值 0.15 mg/kg, 其平均值约为一般富硒土壤标准(0.3 mg/kg)的一半, 据统计, 石城白莲根系土富硒率为 0。

调查结果表明, 瑞金调查区白莲根系土富硒率仅为 20%, 但瑞金白莲富硒率高达 97% 以上, 石城调查区白莲根系土富硒率为 0%, 但石城白莲干基富硒率 15%, 而对应湿基富硒率 82.5%, 这也进一步说明, 虽然瑞金土壤硒含量低于 0.30 mg/kg, 但由于硒生物有效性较高, 土壤硒有效量并不低, 因而仍能产出高富硒率的白莲。

(2) 重金属含量

农作物中营养元素主要来源于土壤供给, 土壤中元素含量对农作物的生长具有重要影响。土壤中重金属等有害元素可通过农作物富集, 进一步通过食物链间接影响人体健康。按照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618—2018)^⑦对瑞金和石城调查区采集的 70 件植物根系土中 Cd、Hg、Pb、Cr 和 As 五种重金属元素进行评价, 如表 7 所示。瑞金市和石城县调查区内根系土中 Cd 含量为 0.0663~0.598 mg/kg, 平均值为 0.156 mg/kg, 只有 1 件样品超标, 超标率 1.4%。根系土中 Hg 含量为 0.04~0.4 mg/kg, 平均值

表 4 瑞金—石城调查区白莲矿物质营养元素特征(以每 100 g 可食部分计)
Table 4 Characteristics of mineral nutrient elements in white lotus Ruijin-Shicheng survey area

产地	数量/个	Ca/mg	P/mg	K/mg	Mg/mg	Fe/mg	Zn/mg	Se/ μ g	Ge/ μ g	Cu/mg	Mn/mg
瑞金	30	330	833	2046	275.6	6.6	4.4	13.6	0.45	2.02	30.6
石城	40	158	949	1958	263	5	4	4.9	-0.4	1	15
食物成分表规定值 ^[20]		97	550	846	242	3.6	2.8	3.4	-	1.33	8.23

表 5 瑞金—石城调查区白莲重金属平均含量及风险评价

Table 5 Mean concentrations and risk assessment of heavy metals in white lotus in Ruijin-Shicheng survey area

		mg/kg				
产地		Cd	Cr	Hg	Pb	As
瑞金	$n=30$	0.110	0.333	0.0004	0.21	0.038
	超标率				36%	
石城	$n=40$	0.025	0.086	0.001	0.004	0.014
	超标率	0	0	0	0	0
限量值 ^[18]		0.05	0.5	0.01(总汞)	0.2	0.5

表 6 瑞金—石城调查区白莲根系土 Se 含量

Table 6 Selenium content in root soil of white lotus in Ruijin-Shicheng survey area

		mg/kg			
根系土壤	样品数	根系土壤 Se 含量			表层土壤硒含量平均值
		最大值	最小值	平均值	
瑞金白莲田	30	0.52	0.14	0.24	0.26
石城白莲田	40	0.25	0.10	0.16	0.15

为 0.127 mg/kg, 根系土中 Pb 含量为 21.0~68.2 mg/kg, 平均值为 33.8 mg/kg, 根系土中 Cr 含量为 16.1~111.4 mg/kg, 平均值为 40.3 mg/kg, 根系土中 As 含量为 0.0014~14.4 mg/kg, 平均值为 4.53 mg/kg。70 件根系土中, 仅发现 1 件本产品中 Cd 超标, 其他样品中 Cd、Hg、Pb、Cr 和 As 重金属都未出现超标现象。瑞金—石城中白莲对土壤中不同元素的吸收利用率存在一定差异。瑞金白莲中有 36% 的 Pb 超标, 这也说明, 虽然根系土中重金属 Pb 总量不超标, 但其可能铅生物有效性比较高, 导致白莲对 Pb 容易累积富集, 下一步要加强对重金属形态的分析和关注。

3.4 Se 含量低地区富硒农产品特征

作物硒主要来自于土壤, 但作物对硒的吸收除受土壤 Se 含量及其有效性影响外, 同时还与植物种类、土壤质地、pH、Eh、水分含量等因素有关。如果说农田生态环境中 Se 含量是影响农产品 Se 含量的外部条件, 那么作物类型与品种就是决定农产品 Se 含量的内在因素。

调查结果表明, 瑞金—石城白莲所生长的土壤尽管 Se 含量尚未达到富硒土壤标准, 但果实的富硒率较高。瑞金地区白莲相对应根系土中富硒率仅为 20%~30%, 白莲富硒率高达 97%; 石城白莲对应根系土富硒率 0%, 但白莲富硒率为 15%。因此, 农作物果实中 Se 含量水平与所种植作物对硒吸收特性有关。仅从总 Se 含量这一单独指标并不能保证栽培出的作物中的 Se 含量达到相应富硒标准。土壤中 Se 的总量只能看作是土壤潜在供应能力和储量的指标, 植物能直接吸收、利用的是土壤溶液中的有效态硒。大量的研究证明, 农产品与土壤全硒之间关系复杂, 土壤富硒但农产品不富硒是常态, 反之亦然^[12]。植物对硒的吸收主要取决于环境条件、土壤、植物等因素, 其中最重要的是硒在土壤中的存在形态和浓度。因为作物吸收量直接取决于土壤硒有效态含量。土壤 Se 全量相同时, 有效性决定了土壤硒有效量的高低。瑞金白莲根系土大多位于瑞金盆地, 受白垩红层影响 Se 含量较低, 根系土富硒率仅为 7%~20%, 因此在布局富硒产业发展时既要考虑成土母质地背景、土壤富硒状况, 结合影响植物硒吸收和转化的因素, 为了使作物达到更优质的富硒效果, 物种筛选、硒代谢调控、土壤性质调整、施肥管理等方向值得进一步探究。

表 7 瑞金—石城调查区白莲根系土的污染风险评价

Table 7 Pollution risk assessment of root soil of white lotus in Ruijin-Shicheng survey area

根系土	样品数量	pH 值	Cd 平均 含量/(mg·kg ⁻¹)	Cr 平均含量 /(mg·kg ⁻¹)	Hg 平均 含量/(mg·kg ⁻¹)	Pb 平均 含量/(mg·kg ⁻¹)	As 平均含量 /(mg·kg ⁻¹)
根系土			0.126	31.5	0.129	36.0	2.87
石城	筛选值 ^[19]	4.6~8.0	0.3/0.6	150/200/250	1.3/1.8/2.4/3.4	70/90/120/170	40/30/25
污染风险			安全	安全	安全	安全	安全
根系土			0.196	53.6	0.120	32.9	6.75
瑞金	筛选值 ^[19]	4.6~8.0	0.3/0.6	150/200/250	1.3/1.8/2.4/3.4	70/90/120/170	40/30/25
污染风险			安全	安全	安全	安全	安全

4 结 论

(1)石城县白莲果实中Cd、Pb、Cr、Hg和As五种重金属均低于GB2762—2017标准中限量值,而瑞金市白莲果实中除有36%的Pb超标现象外,Cd、Cr、Hg和As都不超标。其对应的根系土中5种重金属含量低于筛选值,瑞金—石城表层土壤处于绿色安全状态。

(2)瑞金—石城白莲中富硒率较高,达80%以上,且富含人体所需K、Na、Ca、Mg、Zn、Cu、Mn、Mo、Se和Ge共10种微量元素,其中石城县白莲果实中Se含量是中国食物成分表中平均含量2~4倍,Zn含量是中国食物成分表中平均含量的1~1.5倍。

(3)在非富硒土壤中发现了富硒白莲特色农产品,白莲富硒更多可能是因为白莲自身的特性,容易利用土壤中硒的生物有效性。

(4)按照土壤中Se含量为0.3~3.0 mg/kg划分,结合无公害绿色富硒土地资源评价,圈定了2处瑞金—石城富硒莲子种植基地:瑞金市沙洲坝镇七堡—洁源村绿色富硒区5.96 km²和石城县大由乡兰田村—下村绿色富硒区0.95 km²,区内地势平坦、交通便利、水源充足、可开发利用程度高,为地方开发富硒莲子种植提供了技术支撑。

参考文献

- [1] World Health Organization. Trace elements in human nutrition and health[M]. Geneva: World Health Organization, 1996.
- [2] Sharma V K, McDonald T J, Sohm, et al. Assessment of toxicity of selenium and cadmium selenium quantum dots: A review[J]. Chemosphere, 2017, 188: 403–413.
- [3] Smits J E, Krohn R M, Akhtar E, et al. Food as medicine: Selenium enriched, lentils offer relief against chronic arsenic poisoning in Bangladesh[J]. Environmental Research, 2019, 176: 108561.
- [4] 潘丽萍,刘永贤,黄雁飞,等.土壤-植物体系中硒与重金属镉的相互作用[J].生物技术进展, 2017, 7(5): 480–485.
- [5] 王祖光,崔丽魏,赵甲亭,等.硒对汞毒性的拮抗作用及机理[J].中国科学:化学, 2016, 7: 677–687.
- [6] 王磊,杜菲,孙卉,等.人体硒代谢与硒营养研究进展[J].生物技术进展, 2015, 5(4): 285–290.
- [7] 哈特菲尔德 D L,施魏策尔 U,津路 P A,等.硒:分子生物学与人体健康[M].北京:科学出版社, 2018.
- [8] Lubick N. A balanced diet selenium may offset the effects of methylmercury on cataract development[J]. Environmental Health Perspectives, 2010, 118(11): A491.
- [9] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2000版)[M].北京:科学出版社, 2000.
- [10] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[M].北京:科学出版社, 2014.
- [11] Miguel N A, Carmen C V. Selenium in food and the human body: A review[J]. Science of the Total Environment, 2008, 400: 115–141.
- [12] Fordyce F M. Selenium deficiency and toxicity in the environment[C]// Selinus O. Essentials of Medical Geology (revised edition). British Geological Survey, 2013: 375–416.
- [13] 张学林. 硒的世界地理分布[J]. 国外医学医学地理分册, 1992: 1–4.
- [14] 胡秋辉,朱建春,潘根兴. 硒的土壤生态环境、生物地球化学食物链的研究现状[J]. 农村生态环境, 2000, 16(4): 54–57.
- [15] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [16] Sun G X, Lu X, Williams P N, et al. Distribution and translocation of selenium from soil to grain and its speciation in paddy rice (Orvza sativa L.)[J]. Environment Science and Technology, 2010, 44: 6706–6711.
- [17] Jacobs L W. Selenium in agriculture and the environment[M]. SSSA, Madison: Soil Science Society of America Special Publication, 1989.
- [18] Fordyce F M, Zhang G D, Green K, et al. Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium-responsive diseases in Enshi District, China[J]. Applied Geochemistry, 2000, 15(1): 117–132.
- [19] 周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法[J]. 岩矿测试, 2020, 39(3): 319–336.
- [20] Fordyce F M, Brereton N, Hughes J, et al. An initial study to assess the use of geological parent materials to predict the Se concentration in overlying soils and in five staple foodstuffs produced on them in Scotland[J]. Sci. Tot. Environ., 2010, 408(22): 5295–5305.
- [21] 张艳玲,潘根兴,胡秋辉,等.江苏省几种低硒土壤中硒的形态分布及生物有效性[J].植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 355–359.
- [22] Li H F, McGrath S P, Zhao F J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite[J]. New Phytologist, 2008, 178(1): 92–102.
- [23] 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): 194–199.
- [24] 唐世琪, 万能, 曾明中, 等. 恩施地区土壤与农作物硒镉地球化学特征[J]. 物探与化探, 2020, 44(3): 607–614.
- [25] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 83–118.
- ① 中华人民共和国国土资源部. 中华人民共和国地质矿产行业标准 土地质量地球化学评价规范(DZ/T 0295—2016). 2016.
- ② 中华人民共和国国土资源部. 中华人民共和国地质矿产行业标准 区域地球化学样品分析方法(DZ/T 0279—2016). 2016.
- ③ 中华人民共和国国土资源部. 中华人民共和国地质矿产行业标准 多目标区域地球化学调查规范(1: 250000)(DZ/T 0258—2014). 2014.
- ④ 中国地质调查局. 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). 2005.
- ⑤ 江西省质量技术监督局. 江西省地方标准富硒食品硒含量分类标准(DB36/T 566—2017). 2017.
- ⑥ 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 中华人民共和国国家标准食品安全国家标准食品中污染物限量(GB 2762—2017). 2017.
- ⑦ 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 中华人民共和国国家标准土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618—2018). 2018.