

雷州半岛富硒区土地质量地球化学评价及其利用区划研究——以城月地区为例

李婷婷^{1 2 3}, 贾黎黎³, 朱鑫³, 张新昌⁴

(1.中国科学院南海海洋研究所 边缘海与大洋地质重点实验室 广州 510301; 2.中国科学院大学 北京 100049;
3.广东省地质调查院 广州 510080; 4.中国科学院广州地球化学研究所 边缘海与大洋地质重点实验室 广州 510640)

摘要: 本文根据雷州半岛城月地区 1:5万土地质量地球化学调查成果,对城月地区表层土壤硒含量、分布特征、土壤环境质量、农产品的安全性及富硒耕地利用分区进行了研究。结果表明:城月地区土壤环境质量较好,表层土壤硒平均含量为 0.546 $\mu\text{g/g}$,大宗农作物安全性高,富硒土壤面积占研究区总面积的 61.52%。土壤 Se 与土壤酸碱度、有机质含量、Fe、Al 等密切相关。根据重金属环境质量等级、硒元素含量等级、营养元素丰缺等级,将研究区内农用地分为:优质富硒农用地、一般农用地、差等农用地。并在农用地分等的基础上,结合城月地区目前的农产品种植类型,以及田块是否富硒为主要划分依据,提出了富硒农产品种植规划建议。将周宅-后泼村一带划分为富硒重点种植规划区(一类区),建议开展绿色富硒农业种植。城月镇北部、五里堂村两侧以及潭洋-庆丰村一带(二类区),建议种植果蔗或者当地特色薯类。司马塘-农中-调丰村一带(三类区),建议发展优质水稻种植。广丰水库西侧以及合水村南部(四类区)及牛库水库-后泼村一带(五类区)建议微调现有种植结构,在规避重金属元素高背景的同时,对富硒土地资源的合理利用。

关键词: 富硒土壤; 种植规划; 乡村振兴; 雷州半岛城月地区

中图分类号: O613.52; P59 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2022)04-0481-09 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2022.50.051

硒是人体必不可少的微量元素,具有抗癌、防癌、增强人体免疫力、抗氧化、解毒等作用^[1-3]。1973年,世界卫生组织就宣布硒是人类生命活动中不可缺少的重要元素之一。1988年,中国营养学会也将硒列入居民每日必须摄入的15种膳食元素中^[4-7]。我国属于缺硒国家,中国人硒的人均日摄入量仅 26~32 $\mu\text{g/g}$,远低于中国营养学会推荐摄入量^[8]。硒元素在人体内具有重要的生物学功能,长期摄入不足可导致缺硒病,如克山病、大骨节病等,膳食补硒可以有效缓解和抑制缺硒病^[9-14]。基于我国普遍存在的缺硒现状,合理的开发富硒土地资源、发展绿色富硒农产品是提升我国人均硒摄入水平的重要途径,富硒土地质量评价与利用区划是土地质量地球化学调查成果服务于区域农业全面升级、特色农产品开发、实施乡村振兴战略的重要切入点^[15-18]。

1999年~2015年,我国全面开展 1:25万目标区域地球化学调查发现了大面积的天然富硒土

壤。近年来,1:5万土地质量地球化学调查精准的圈定了富硒土壤的面积及分布。目前,国内学者对土壤中硒元素的分布、转化、来源及影响因素等方面进行了大量研究。蔡大为等^[19]对贵州省土壤硒含量背景值研究时发现,不同母质类型土壤,不同酸碱度土壤和不同类型土壤中硒元素的背景值是不同的。张立等^[20]对黑龙江绥化大宗农作物硒含量特征及影响因素研究发现,绥化地区土壤总硒与有机质相关性较高,土壤有效硒与 pH 显著正相关;农作物硒含量与土壤离子交换态硒、有效硒、pH、Eh 和有机质均有不同程度的相关关系。杨志忠等^[21]研究发现镇远县耕地土壤硒含量受 pH、海拔、地形地貌、成土母岩、土壤类型和土地利用类型的影响。陈显著等^[22]对广州市不同地区的土壤硒含量、分布特点及影响因素进行研究。结果表明,广州地区表层土壤的硒含量相对较高。富硒地区主要集中在南沙区、番禺区南部及增城区东部。但我国富硒农业的研究仍处于起步阶段,如何合理的开发利用富

收稿日期: 2021-09-06; 改回日期: 2021-11-02

基金项目: 中央财政项目(DD20160327-04)。

第一作者简介: 李婷婷(1987-),女,博士研究生,地球化学勘查工程师,主要研究方向为环境地球化学。E-mail: 314825424@qq.com.

硒土地资源,开发安全的富硒农产品,相应的研究还比较少,类似研究主要集中在陕西安康和湖北恩施两地^[23]。珠江下游基本农田土地质量地球化学调查发现,硒元素在城月地区存在明显的高值异常区^[24]。笔者在该区开展了1:5万土地质量地球化学详查,调查面积约50 km²。本次调查查明了城月地区富硒土壤及富硒农作物的分布情况,提出了农用地分等及富硒农产品的种植规划,为区域经济发展和富硒土地资源利用规划及富硒产业发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

雷州半岛城月镇位于遂溪县东南部,东经109.51°,北纬21.4°,为三市县交汇点,地理位置优越,是广东及内地与海南经济大特区联络的必经之路。属热带季风气候,气温年平均22.9℃,降雨量年平均为1870.8 mm,是广东省著名的水稻、蔬菜种植基地。研究区地理位置图见图1。地势北高南低,总体较为平坦,属滨海与河流交互沉积相。土壤类型以砖红壤、水稻土为主,对应土地利用类型分别为旱地、水田。区内地质背景较为简单,东部、

北部湖光岩组玄武岩及火山碎屑岩广泛分布,中西部主要为石卯岭组玄武岩,仅西南角有小范围第四系北海组滨海-河流沉积分布。

1.2 样品采集与测试

按照网格化方式布设土壤采样点,表层土壤采样密度为1个点/km²,沿海滩涂和潮间带采样密度为1~4个点/4 km²,采样深度为0~20 cm。根据采样小格(1 km×1 km)地形地貌、土地利用等布设采样点,以具有代表性为主要原则,兼顾空间分布的均匀性和合理性。植物样需采集成熟籽实,采样密度为1点/(4~16 km²),在采样点30~50 m半径范围内,以梅花型采集5~10个点,水稻样每一点取10~15株合并为一个样,花生样3~5株合并为一个样,采集完后晾干脱壳送样,干样重1.0~1.5 kg。共采集土壤样品408件,根系土样品25件,植物样品56件。采样时去除土壤样品中的杂物,混匀后用四分法取约1 kg土样装入样袋。样品自然风干,将压碎的土样全部通过2 mm尼龙筛,过筛后送实验室分析。严格执行野外工作三级质量检查制度和原始资料验收制度,确保野外调查工作、样品分析测试质量。

本次分析测试由广东省地质实验测试中心承



图1 研究区地理位置图

Fig.1 Location of the study area

担。测试前将自然风干的试样混匀后粗碎过 20 目筛(除去非土壤杂质),筛下试样混匀后分成两份,一份直接用于 pH 的测定;另一份用于土壤试样的细碎,加工前在 <50 °C 恒温干燥器内充分烘干或晾干。细碎的样品采用无污染刚玉圆盘粉碎机进行破碎,每磨完一个样品均用石英砂和待加工样品磨洗后,进行下一个样品的加工,加工粒度达到 -0.074 mm(200 目),细碎后的样品用于分析元素总量。为了保证加工粒度要求,质检人员每天在已加工好的样品中随机抽取一定数量的样品(3%~5%),从中分出 5 g 过筛检查,过筛率保证在 95% 以上。样品加工合格后,按不同分析方法和测试项目需要分装样品。为了防止样品污染、防止错号,样品由专人负责妥善保管。测试方法及测试指标见表 1。

表 1 测试分析方法

Table 1 Analytical methods

分析方法	项数	测定元素
X 射线荧光光谱法(XRF)	7	Al ₂ O ₃ 、K ₂ O、TFe ₂ O ₃ 、P、(Cr)、(Cu)、(Ni)
等离子体质谱法(ICP-MS)	2	Cd、(Pb)
等离子体光谱法(ICP-OES)	7	Cr、Cu、Ni、(Pb)、(Zn)、(P)、(K ₂ O)
原子荧光光谱法(AFS)	3	As、Hg、Se
离子选择性电极法(ISE)	1	pH
高频红外碳硫分析仪红外吸收法	1	TC
容量法(VOL)	1	N、Corg.

注:“()”项目为补充验证方案。

样品检测严格按照中国地质调查局《多目标区域地球化学调查规范(1:25万)》(DZ/T 0258-2014)^[25]和《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T 0130-2006)^[26]等标准、规范要求执行。所获得数据符合相关要求、合理可用,并通过了中国地质调查局专家组的评审。重复样双差合格率 ≥ 85%,测试质量良好。

1.3 评价方法

1.3.1 土壤养分等级划分与方法

根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)^[27],土壤养分地球化学综合等级划分是在氮、磷、钾土壤单指标养分等级划分基础上,按照如下公式计算土壤养分地球化学综合得分 $f_{\text{养综}}$:

$$f_{\text{养综}} = \sum_{i=1}^n K_i f_i \quad (1)$$

式中 $f_{\text{养综}}$ 为土壤 N、P、K 评价总得分, $1 \leq f_{\text{养综}} \leq 5$;

K_i 为 N、P、K 权重系数,分别为 0.4、0.4 和 0.2; f_i 分别为土壤 N、P、K 的单元素等级得分。

土壤养分地球化学综合等级划分见表 2。

表 2 土壤养分地球化学综合等级划分表

Table 2 Comprehensive classification of soil nutrient geochemistry

等级	一等	二等	三等	四等	五等
$f_{\text{养综}}$	≥4.5	4.5~3.5	3.5~2.5	2.5~1.5	<1.5
含义	丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏

1.3.2 土壤环境等级划分与方法

如表 3 中所示,根据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)^[28]中规定的农用地土壤污染风险筛选值和管控值,针对土壤中重金属元素进行土壤环境质量分级评价。在单指标土壤环境地球化学等级划分基础上,每个评价单元的土壤环境地球化学综合等级等同于单指标划分出的环境等级最差的等级。

表 3 土壤环境地球化学等级划分表

Table 3 Classification of the soil environmental geochemical grade

土壤环境地球化学等级	一等	二等	三等
污染风险	无风险	风险可控	风险较高
划分方法	$C_i \leq S_i$	$S_i \leq C_i \leq G_i$	$C_i > G_i$

注: C_i 为土壤中 i 指标的实测浓度, S_i 为筛选值, G_i 为管制值。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分及土壤质量地球化学评价

土壤养分包括有机质、全氮、全磷、全钾等储量指标及养分有效态等,其含量状况是土壤肥力的重要方面,直接影响着作物的生长发育和产量^[29-30]。对城月地区土壤养分丰缺程度进行评价,结果见图 2。由图 2 可知,研究区土壤养分良好,养分丰富的土壤面积为 3.63 km²,占总面积的 7.11%;养分中等土壤面积为 35.13 km²,占总面积的 68.87%;养分缺乏及较缺乏土壤占比较小。

根据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)^[28]按照 pH 选择 As、Hg、Cd、Cu、Pb、Zn、Ni、Cr 等元素的管控值及风险筛选值对研究区的环境质量进行评价。由图 3 可知,研究区内土壤环境质量较好,主要以无风险土壤和污染可控土壤为主。无风险土壤面积 13.48 km²,占研究区总面积 26.96%,沿城月镇-陈

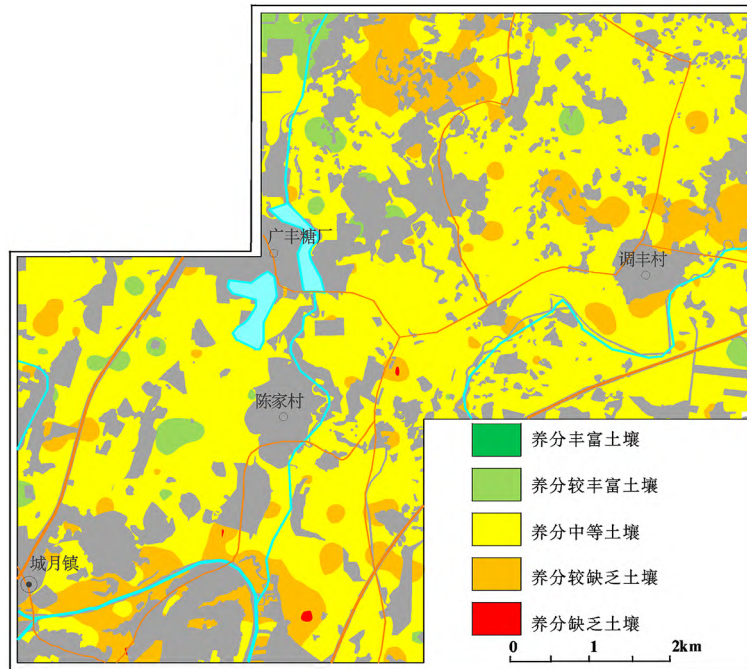


图2 土壤养分综合等级图

Fig.2 Comprehensive grade map of the soil nutrient in Chengyue area

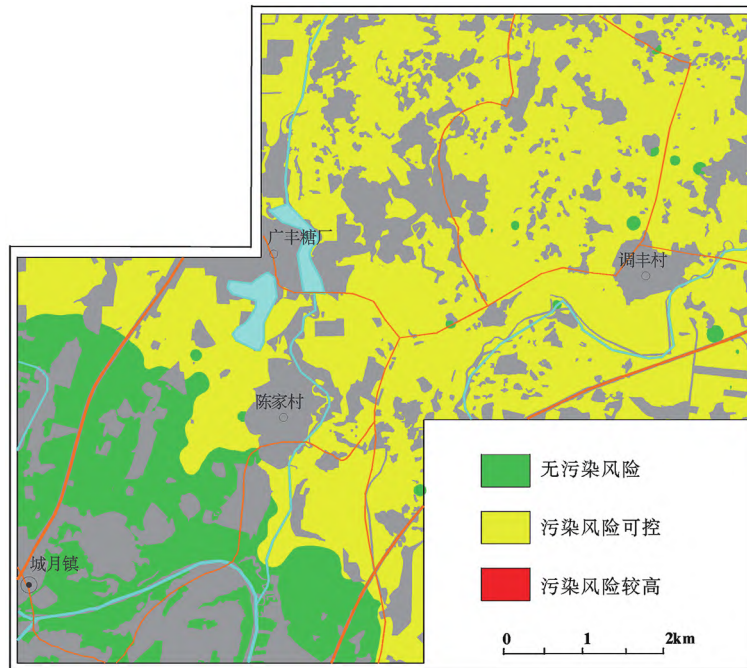


图3 城月地区土壤环境综合等级图

Fig.3 Comprehensive grade map of the soil environment in Chengyue area

家村呈片状分布;其余均为污染风险可控土壤,面积 36.52 km²,占总面积的 73.04%;研究区无污染风险较高土壤分布。影响研究区土壤环境质量的元素主要是 Ni,其次为 Cr、Cu,而 As、Hg、Cd、Pb、Zn 环境质量均无污染风险。

2.2 土壤硒含量及其分布特征

根据《天然富硒土地划定与标识(试行)》(DD2019-10)^[31],将研究区硒含量大于 0.4 μg/g 土壤划定为富硒土壤,硒含量小于 0.4 μg/g 的土壤划分为非富硒土壤。

研究发现,城月地区表层土壤硒平均含量为 $(0.546 \pm 0.30) \mu\text{g/g}$,其含量是雷州半岛土壤硒背景值 $0.34 \mu\text{g/g}$ 的 1.61 倍。共圈定富硒土壤面积 31.38 km^2 ,占研究区总面积的 61.52%,主要分布在研究区中部和东北部。说明城月地区富硒土壤分布面积广泛,适合大范围推广富硒农作物种植,见图 4。

2.3 土壤硒含量影响因素

大量研究表明,表层土壤硒含量与成土母质、土壤 pH、有机质含量等因素有关^[32-35]。研究区成土母质类型单一,以玄武岩母质为主,第四纪沉积物母质分布极少,因此本次研究暂不考虑成土母质对硒元素的影响。研究区表层土壤 pH 平均值为 5.32,呈弱酸性。由图 5 可知,土壤中硒与 pH 相关

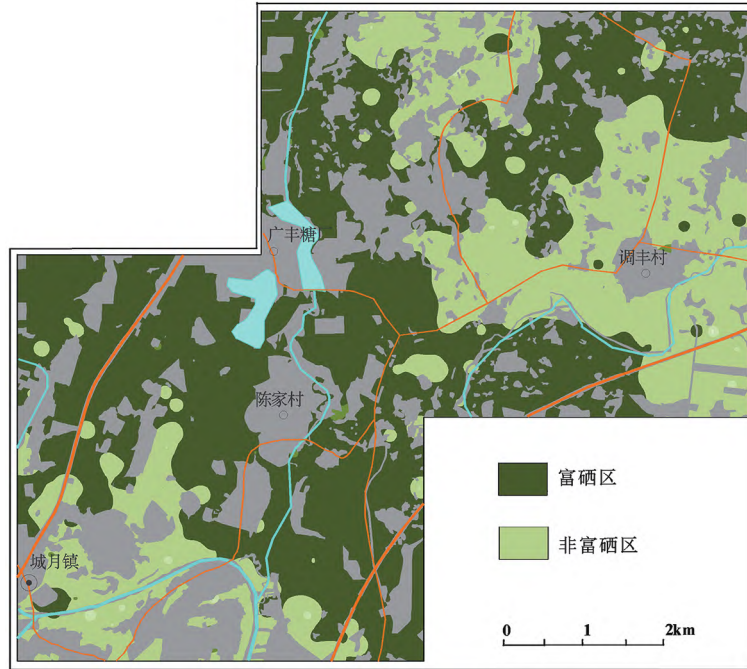


图 4 城月地区硒含量等级分布图

Fig.4 Distribution of selenium content grades in Chengyue area

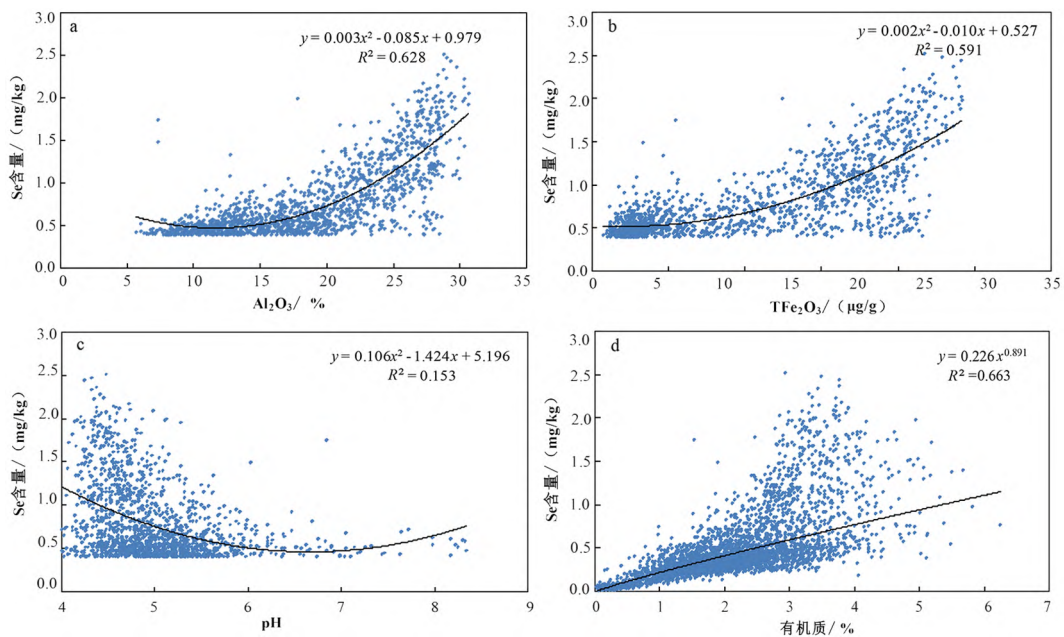


图 5 富硒土壤中 Se 含量与 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、pH、有机质的相关性

Fig.5 Correlations between Se and Al_2O_3 , TFe_2O_3 , pH, organic matter in selenium-enriched soil

系数为-0.34,说明在一定的酸碱度范围内 pH 越高,土壤硒含量越低。土壤 Se 与 Fe、Al 关系密切,相关系数分别为 0.74、0.73,呈显著正相关关系。土壤有机质与 Se 呈正相关,相关系数为 0.66。这可能是由于研究区弱酸性的土壤环境使亚硒酸盐容易被地表土固定,硒优先进入低分子量的腐殖质中,有机质对土壤中硒具有固定作用,从而引起土壤中的硒富集。

2.4 农作物安全性评价

由表 4 可知,研究区农作物样品均无重金属元素超标,合格率为 100%。参考《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618-2018)^[28],研究区内农作物对应的根系土中,无重金属元素含量高于农用地土壤污染风险管制值。

生物富集系数是农作物中元素含量与下部根系土对应元素含量的比值,该指标可视为农作物对土壤化学元素的蓄积率^[36]。通过对研究区农作物的生物富集系数的研究发现(表 5),研究区各元素生物富集程度不一,富集系数较低的元素为砷、铬、镍、铅、汞、镉、铜。锌在农作物中富集能力较强,富集系数在 12.41%~121.84%之间;镉是农作物富集能力最强的重金属元素,富集系数最高达 170.00%,是对应根系土镉含量的 1.7 倍,属于高蓄积度重金属元素,也应当引起重视。此外,硒元素富集能力也较强,富集系数在 4.59%~68.43%之间。

2.5 研究区农用地分等级富硒农产品种植规划

2.5.1 农用地分等

针对田块重金属环境质量等级、硒元素含量等级、营养元素丰缺等特征,对城月地区农用地作了质量分等(图 6),主要分为以下几类:①优质富硒农用地(硒含量达富硒标准以上(大于 0.4 μg/g)、土壤环境质量等级中等及以上、土壤养分综合等级中等及以上):该类农用地分布于钱串-五里堂-陈家

村一带,以及北部望楼、潭洋洋村附近。②一般农用地(土壤环境综合等级在中等及以上,土壤养分综合等级以中等为主):该类农用地分布较为广泛,在研究区中部和北部大面积分布。③差等农用地(土壤环境质量较差,但污染风险可控,土壤养分较为缺乏):主要分布在牛路水库西侧-广丰糖厂-后泼村一带,总体上南北向带状分布。

2.5.2 富硒农产品种植规划建议

在农用地分等的基础上,结合城月地区目前的农产品种植类型,以田块是否富硒为主要划分依据,提出了富硒农产品种植规划建议^[37]。由图 7 可知,富硒重点种植规划区(一类区)主要位于周宅-后泼村一带,覆盖土地面积 527 公顷,区内目前以水稻、花生、蔬菜种植为主,由于该区地势较为低洼,南部有城月河流经,土壤硒含量较高,发展富硒水稻种植有较好的前景,建议开展绿色富硒农业种植,以水稻种植为主。城月镇北部,五里堂村两侧(二类区),覆盖土地面积约 467 公顷,以旱地、园地为,目前主要种植甘蔗、红薯、瓜豆类等,该区土壤中硒含量较高,建议引进遂溪红心番薯等特色农产品,在土质疏松、砂质成分较多的坡地种植,在水田、水浇地发展富硒蔬菜种植;潭洋洋-庆丰村一带(二类区),覆盖土地面积约 366 公顷,区内目前种植甘蔗,局部种植水稻,建议将现有的糖蔗种植,改为种植果蔗或者当地特色薯类,实现富硒土地资源最大限度开发利用,增强农产品附加值。城月镇东北部以及司马塘-农中-调丰村一带(三类区),覆盖土地面积 1 200 公顷,该种植区土壤环境质量较好,但土壤养分水平一般,主要缺乏速效钾,硒含量以适量区为主,局部地区硒含量较高。目前以水稻种植为主,据当地居民反映,调丰村-岭北镇一带所产出稻米口感较好,在周边有一定的知名度。建议在三类区全面补充钾素,改善土壤养分水平,并选择

表 4 评价区农作物重金属元素含量统计表

Table 4 Statistical tables of heavy metal contents of crops in the evaluation study area

农作物	元素	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
水稻	最大值	0.16	0.078	0.34	4.47	0.018	0.56	0.19	23.50
	最小值	0.03	0.004	0.05	0.59	0.001	0.07	0.02	10.30
	平均值	0.08	0.024	0.11	2.15	0.003	0.21	0.08	16.59
	限量标准	0.2	0.2	1.0	-	0.02	-	0.2	-
花生	最大值	0.06	0.065	0.83	8.55	0.003	5.28	0.06	31.80
	最小值	0.02	0.023	0.64	4.82	0.001	1.31	0.02	24.20
	平均值	0.04	0.044	0.71	6.43	0.002	2.48	0.04	26.90
	限量标准	0.5	0.5	1.0	-	0.02	-	0.2	-

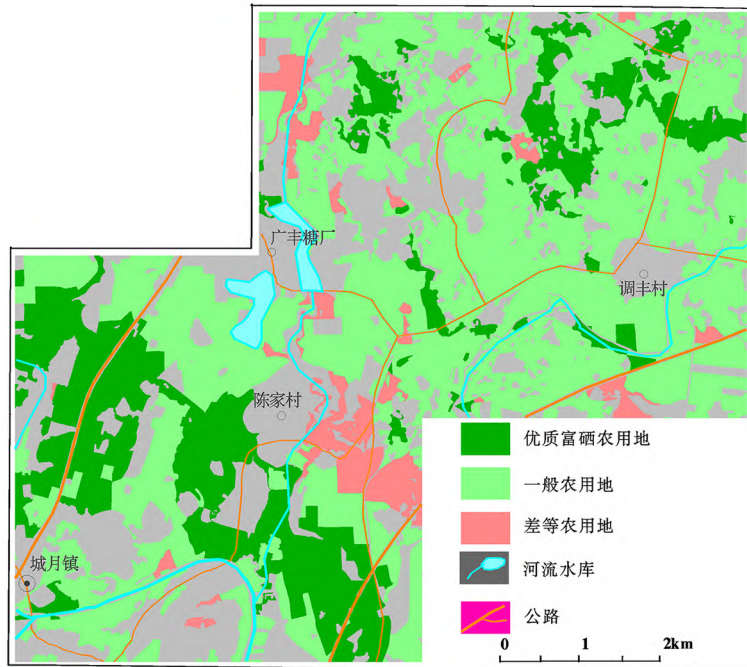


图 6 城月地区农用地分等图

Fig.6 Agricultural land grading map in Chengyue area

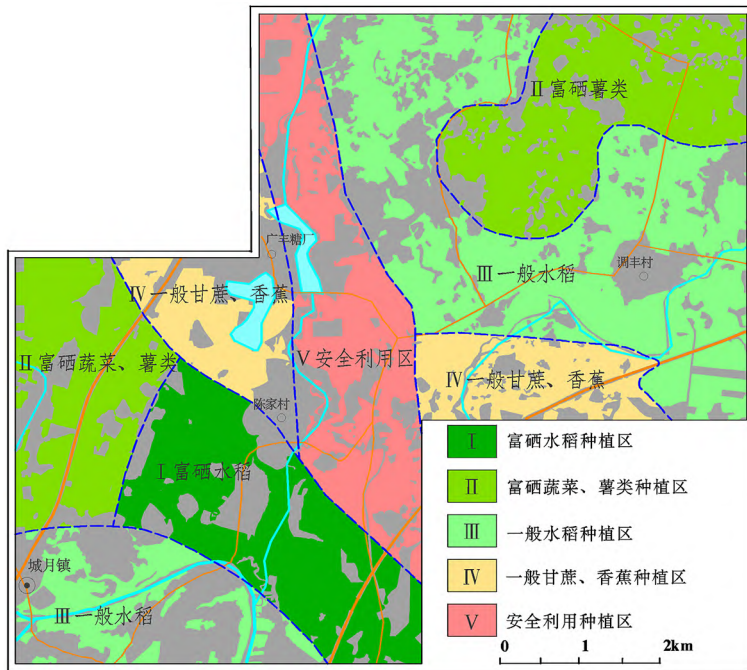


图 7 城月地区富硒农产品种植规划图

Fig.7 Planting plan of selenium-enriched agricultural products in Chengyue area

适合的水稻品种,发展优质水稻种植。

广丰水库西侧以及合水村南部(四类区),覆盖土地面积约 447 公顷,以甘蔗、香蕉种植为主,土壤环境质量一般,土壤养分普遍较差。牛库水库-后浞村一带(五类区),南北向带状分布,区内分布有

若干水库以及广丰糖厂,种植香蕉、甘蔗等旱生作物;土壤质量综合等级较差,主要受铜、镍等元素影响;但其含量对农作物食用安全性并无影响,同时该区硒含量较高,因此划分为安全利用种植区,建议微调现有种植结构,在规避重金属元素高背景的

同时,对富硒土地资源的合理利用。

表5 评价区元素生物富集系数统计表

Table 5 Statistics of elemental bioconcentration factors in the study area %

元素	最小值	最大值	中位值	均值
砷 [*]	0.39	22.73	3.82	5.9
铬	0.02	1.21	0.06	0.17
镉	3.33	170	26.11	43.5
铜	1.88	62.41	6.05	9.74
锌	12.4	121.84	32.89	38.88
镍	0.04	16.2	0.24	1.21
铅	0.07	1.82	0.48	0.57
硒	4.69	68.42	13.61	16.77
汞	0.85	18.18	3.71	4.26
镉	0.04	1.06	0.29	0.36

注: * 水稻样品测试无机砷。

3 结论

1) 研究区土壤环境质量良好,硒平均含量为 $0.546 \mu\text{g/g}$,农作物安全性较高。土壤Se与土壤酸碱度、有机质含量、Fe、Al等密切相关。本次研究圈定富硒土壤面积占研究区总面积的61.52%。

2) 根据重金属环境质量等级、硒元素含量等级、营养元素丰缺等特征的不同,将研究区内农用地分为:优质富硒农用地、一般农用地、差等农用地。在此基础上,结合城月地区目前的农产品种植类型,以田块是否富硒为主要划分依据,提出了富硒农产品种植规划建议。为科学开发富硒土地资源、发展绿色富硒农产品、推动雷州半岛农业全面升级,实施乡村振兴战略提供策略。

参 考 文 献

- [1] Landucci F, Mancinelli P, Guido A R, et al. Selenium supplementation in critically ill patients: A systematic review and meta-analysis [J]. *Journal of Critical Care*, 2014, 29(1): 150-156.
- [2] Hu Q, Chen L, Xu J, et al. Determination of selenium concentration in rice and the effect of foliar application of Se-enriched fertiliser or sodium selenite on the selenium content of rice [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82(8): 869-872.
- [3] 乔新星,晁旭,任蕊,等. 陕西关中富硒土壤研究及开发利用—以三原—阎良地区为例[J]. *物探与化探*, 2020, 45(1): 230-238.
- [4] 陈继平,钞中东,任蕊,等. 陕西关中富硒土壤区农作物重金属含量相关性及其安全性评价[J]. *西北地质*, 2021, 54(2): 273-281.
- [5] 王张民,袁林喜,朱元元,等. 我国富硒农产品与土壤标准研究[J]. *土壤*, 2018, 50(6): 1080-1086.
- [6] 廖启林,崔晓丹,黄顺生,等. 江苏富硒土壤元素地球化学特征及主要来源[J]. *中国地质*, 2020, 47(6): 1813-1825.
- [7] Pang X G, Gao Z J, Wang M, et al. Ecological geochemistry of selenium in the production base of Zhangqiu Green Chinese Onion [J]. *Agricultural Science and Technology*, 2010, 11(11-12): 39-43.
- [8] 曾庆良,余涛,王锐. 土壤硒含量影响因素及富硒土地资源区划研究—以湖北恩施沙地为例[J]. *现代地质*, 2018, 32(1): 105-112.
- [9] 郭莉,杨忠芳,阮起和,等. 北京市平原区土壤中硒的含量和分布[J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 859-864.
- [10] 汤奇峰,徐春丽,刘斯文,等. 江西赣州市瑞金盆地天然富硒土地资源特征与保护利用[J]. *地质通报*, 2020, 39(12): 1932-1943.
- [11] 周墨,陈国光,张明,等. 赣南地区土壤硒元素地球化学特征及其影响因素研究:以青塘—梅窖地区为例[J]. *现代地质*, 2018, 32(6): 1292-1301.
- [12] Yu T, Yang Z F, Liu Y Y, et al. The origin and geochemical cycle of soil selenium in a Se rich area of China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 139: 97-108.
- [13] 贺灵,刘占元,周国华,等. 土地质量地球化学评价成果与若干问题探讨:以浙江省金华市汤溪镇为例[J]. *现代地质*, 2019, 33(1): 152-160.
- [14] 杨琼,侯青叶,顾秋蓓,等. 广西武鸣县典型土壤剖面Se的地球化学特征及其影响因素研究[J]. *现代地质*, 2016, 32(3): 455-462.
- [15] 杨志强,李杰,郑国东,等. 广西北部湾沿海经济区富硒土壤地球化学特征[J]. *物探与化探*, 2014, 38(6): 1260-1264.
- [16] 杨忠芳,余涛,侯青叶,等. 海南岛农田土壤Se的地球化学特征[J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 837-849.
- [17] 张立,刘国栋,吕石佳,等. 黑龙江省海伦市农耕地土壤硒分布特征及影响因素[J]. *现代地质*, 2019, 33(5): 1046-1054.
- [18] 黄园英,魏吉鑫,刘久臣,等. 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[J]. *地质通报*, 2020, 39(12): 1944-1951.
- [19] 蔡大为,李龙波,任明强,等. 贵州省土壤硒含量背景值研究[J]. *地球与环境*, 2021, 49(5): 504-509.
- [20] 张立,杨晨梦,孙广义,等. 黑龙江绥化大宗农作物硒含量特征及影响因素分析[J]. *地球与环境*, 2021, 49(5): 510-519.
- [21] 杨志忠,周文龙,罗永军,等. 贵州镇远县耕地土壤中硒的分布特征及控制因素[J]. *现代地质*, 2021, 35(2): 434-442.
- [22] 陈显著,李就好. 广州市土壤硒含量的分布及其影响因素研究[J]. *福建农业学报*, 2016, 31(4): 401-407.
- [23] 高显钧. 富硒农业产业化发展研究—以湖北省恩施州为例[M]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [24] 朱鑫,黎旭荣,罗思亮,等. 珠江下游基本农田土地质量地球化学调查成果报告[R]. 广州: 广东省地质调查院, 2019.

- [25] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0258-2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250000) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [26] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0130-2006 地质矿产实验室测试质量管理规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [27] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0295-2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [28] 生态环境部. GB15618-2018 农用地土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [29] 陶春军, 周天健, 张笑蓉, 等. 安徽岳西翠兰产地土壤环境质量及种植适宜性评价研究[J]. 西北地质, 2020, 53(1): 261-268.
- [30] 武春林, 王瑞延, 丁坤, 等. 中国土壤质量地球化学调查的研究现状与进展[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 240-252.
- [31] 自然资源部中国地质调查局. DD2019-10 天然富硒土地划定与标识(试行) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [32] Wan Y N, Yu Y, Wang Q, et al. Cadmium uptake dynamics and translocation in rice seedling: Influence of different forms of selenium[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, 133: 127-134.
- [33] 周越, 吴文良, 孟凡乔, 等. 土壤中硒含量、形态及有效性分析[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(6): 527-532.
- [34] Hai W, Tao W, Jiang C, et al. Sorption of Se(IV) on Fe and Al-modified bentonite[J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2015, 303(24): 107-113.
- [35] 宋明义, 冯雪外, 周涛发. 浙江典型富硒区与重金属的形态分析[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 960-965.
- [36] 陈娟, 宋帅, 史亚娟, 等. 富硒农业产业生产基地土壤硒资源空间分布特征及评价[J]. 环境化学, 2015, 34(12): 2185-2190.
- [37] 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.

Geochemical Evaluation of the Land Quality and Classification of the Selenium-enriched Soils in Chengyue Area , Leizhou Peninsula

LI Tingting^{1 2 3} JIA Lili³ ZHU Xin³ ZHANG Xinchang⁴

(1. Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology , South China Sea Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510301 , China; 2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China; 3. Geologic Survey Institute , Guangzhou 510080 , China; 4. Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology , Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640 , China)

Abstract: Based on the results of land quality geochemical survey with a scale of 1:50 000 in Chengyue region of Leizhou Peninsula , the selenium content of surface soil and its distribution and environmental quality , as well as the utilization zoning of selenium-enriched cultivated land were studied. Results showed that the soil environmental quality of the Chengyue region is good , with 61.52% of the total area is selenium-enriched and the average selenium content in surface soil is 0.546 $\mu\text{g/g}$. Based on the environmental quality grade of heavy metals , selenium content , and the abundance of nutrients , the agricultural land in Chengyue region was divided into three types , including the high-quality selenium-enriched agricultural land , the general agricultural land , and the poor agricultural land. Moreover , the planting plan of selenium-enriched agricultural products can be pointed out when combined the land type and the current type of agricultural products planting in Chengyue region. Based on the investigation in this study , Zhouzhai-Houpu Village is classified as key selenium-enriched planting planning areas (Class I area) , and it is recommended to plant green selenium-enriched agricultural products; the areas in the north of Jingyue Town and in both sides of Wulitang Village , as well as the Tanpanyang-Qingfeng Village are classified as Class II area , where is recommended to plant sugarcane or local characteristic potato; the Simatang-Nongzhong-Shuangfeng Village are classified as Class III area , it is suggested to develop high-quality rice planting; As for the areas in the west side of Guangfeng Reservoir and in the south of Heshui Village (Class IV area) and the area of Niuku Reservoir-Houpu Village (Class V area) , it is suggested to fine-tune the existing planting structure to make the reasonable use of selenium-enriched land resources while avoiding the high background of heavy metal elements.

Key words: Se-enriched soil; planting design; rural revitalization; Chengyue area of Leizhou Peninsula