

江西赣州市石城县天然富锌土地资源特征与开发利用

刘久臣^{1,2}, 魏吉鑫^{1,3}, 张明⁴, 马逸麟⁵, 汤奇峰^{1,2}

LIU Jiuchen^{1,2}, WEI Jixin^{1,3}, ZHANG Ming⁴, MA Yilin⁵, TANG Qifeng^{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;

5. 江西省地质调查研究院, 江西 南昌 330030

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

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

3. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

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

5. Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330030, Jiangxi, China;

摘要:中国地质调查局支撑赣州六县脱贫攻坚工作,在赣州石城县布置1:5万土地质量地球化学调查400 km²。通过调查,共发现富锌土壤85.48 km²。在调查的基础上,对石城县土壤中锌含量及空间分布特征、土壤环境质量与肥力状况,以及大气质量、灌溉水质量等进行了系统研究,结合调查区成土母质空间分布及锌含量特征,对土壤中锌的成因来源进行了初探,结果表明当地土壤Zn含量主要受控于成土母质的Zn含量。将石城县天然富锌土地资源与区域农业、地方旅游、地质文化村等相结合,提出了富锌土地资源开发利用的建议,为石城县富锌土地资源的保护和高效利用提供科学支撑。

关键词:脱贫攻坚;富锌土地资源;紫色土;石城县;赣州

中图分类号:P5;F301.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)02/03-0442-09

Liu J C, Wei J X, Zhang M, Ma Y L, Tang Q F. Characteristics and effective utilization of natural zinc-enriched land resources in Shicheng County of Ganzhou City, Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 2021(2/3): 442-450

Abstract: China Geological Survey carried out a 1:50000 land quality geochemical survey covering an area of 400 km² in Shicheng County, Ganzhou, to support poverty alleviation in six counties of Ganzhou, and finally delineated a total area of 85.48 km² of zinc-rich soil. On the basis of geochemical survey, the content and spatial distribution of zinc in soil, soil quality and fertility, air quality and irrigation water quality in Shicheng County were systematically studied. Based on the spatial distribution of soil parent material and the characteristics of zinc content, the origin of zinc in soil was investigated, and the corresponding relationship between parent material and zinc content in soil was verified. By combining the natural zinc-rich land resources with regional agriculture, local tourism and geological culture village in Shicheng County, some suggestions on the development and utilization of zinc-rich land resources were put forward, which provided scientific support for the protection and efficient utilization of zinc-rich land resources in Shicheng County.

Key words: Poverty alleviation; zinc-enriched land resources; purplish soil; Shicheng County; Ganzhou

收稿日期:2020-08-31;修订日期:2020-10-26

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(国家地质实验测试中心)》(编号:DD20190703)和《湘鄂重金属高背景区1:5万土地质量地球化学调查与风险评价》(编号:DD20160323)

作者简介:刘久臣(1978-),男,硕士,助理研究员,从事生态环境与地球化学方面研究。E-mail:jiuchenliu@sina.com

通信作者:汤奇峰(1979-),男,博士,助理研究员,从事生态环境地球化学调查研究。E-mail:tang_qifeng@126.com

锌(Zn)是生物体不可或缺的微量元素,它对动植物的生长发育、生理代谢有重要的作用;同时Zn也是人体最易缺乏的营养元素之一^[1-3]。锌缺乏在国际上是一个重要的公共卫生问题,在发展中国家更突出^[4-5]。锌在人体内代谢旺盛,但人体不能合成锌,也没有锌的特殊储存机制,因此要求在食物摄取中有足够的锌补足^[6-7]。土壤中锌的空间分异性很大,在中国中南部地区土壤存在大面积缺锌现象^[8]。寻找天然富锌土地资源,开发天然富锌农产品,以满足人体对锌的日常需求,具有十分重要的现实意义。

中国人体锌摄入普遍不足,为富锌土地资源利用、天然富锌农产品开发奠定了广阔的市场,成为地球化学调查成果转化应用的重要方向。前人对土壤与农产品中Zn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^[9-11],但关于赣州石城地区土壤和农作物锌地球化学研究较少。2018年,按照中国地质调查局支撑赣州六县脱贫攻坚1:5万土地质量地球化学调查工作要求,开展石城县土地质量地球化学调查,在调查区发现了可开发的富锌土地资源。本次研究查明了石城县土壤及农作物中Zn、Se等有益微量元素分布特征,初步查明了地质背景、成土母质与土壤中Zn含量的关系,提出富锌土地资源利用的综合建议,为合理开发利用石城县富锌资源,促进当地经济发展,支持石城县脱贫攻坚工程提供了科学依据。

1 研究区概况

石城县位于江西省东南部、赣州市东北部,是千里赣江的发源地,因“环山多石、耸峙如城”而得名,素有“中国白莲之乡”、“中国烟叶之乡”之称。石城县总面积1581.53 km²,其中山地面积1407.56 km²,约占总面积的89%;耕地面积158.15 km²,约占总面积的10%;水面面积47.45 km²,约占总面积的3%;道路、城镇、村落、厂矿158.13 km²,约占总面积的10%。全县海拔最高为1389.9 m,最低为173 m,按海拔高度和相对高度划分,全县地貌主要可分为中低山和丘陵2个类型。中低山海拔高度500~1400 m,相对高度200~500 m,占全县总面积的21.3%;丘陵海拔高度500 m以下,相对高度200 m以下,占全县总面积的78.7%。该县土壤类型以红

壤与酸性紫色土为主,分布规律为海拔600 m以下为红壤或紫色土,600~1000 m为黄红壤,1000 m以上为山地黄壤或山地草甸土。成土母质类型与分布规律表现为,粗晶花岗岩风化物分布在县城以北的中高及中山地区,石英岩类风化物分布在全县各个乡(镇)的丘陵、山地,紫色砂砾岩类风化物、紫色泥页岩类风化物分布在中部西南的中低丘地区。此外,还有少量泥质岩类风化物和第四纪红色粘土零星分布。

石城县是具有辉煌历史的中央苏区全红县。多年来由于交通不便、频繁的自然灾害等,导致这片大山深处的红土地成为了罗霄山脉集中连片特困县。“居难安、食难饱、衣难添、路难行”是长期以来石城县的真实写照。2018年,中国地质调查局支撑赣州六县脱贫攻坚1:5万土地质量地球化学调查工作在石城县展开,工作区包含小松镇、丰山乡、琴江镇(县政府驻地)、屏山镇、珠坑乡、大由乡和龙岗乡7个乡镇,调查面积达400 km²(图1)。

2 样品采集与测试

表层土壤样品平均采集密度为8/km²,采样深度为0~20 cm,共计3200件。土壤样品采集位置均选择在采样地块的中间部位,避开沟渠、林带、田埂、路边及微地形高低不平的无代表性地段。每件土壤样品由3~5个子样等量混合而成,样品重量为1.5 kg。在典型种植区采集莲子、烟叶、花生、果蔬等农作物120件,以及对应根系土120件。对应不同农作物种植区,在灌溉季采集灌溉水样品26件。研究区内布置大气干湿沉降采集点4个,放置集尘桶收集大气沉降物,时间周期为一年。

将采集的土壤样品置于干净、无污染的场地自然风干。在风干过程中,适时翻动,并将大土块捏碎以加速干燥,同时剔除土壤以外的杂物。风干后用橡皮锤将土壤样品锤碎,并过2 mm(10目)的尼龙筛。样品全部过筛混合均匀后装入干净的自封袋中,编号后送至实验室。莲子、烟叶、花生样品在无污染、无扬尘、通风的条件下自然风干后,送至实验室进一步处理。果蔬、大气干湿沉降与灌溉水样品,采集后直接送至实验室进行处理。所有样品均由安徽省地质实验研究所测试。土壤与根系土、大气干湿沉降物、灌溉水、农作物等样品测试指标见表1。

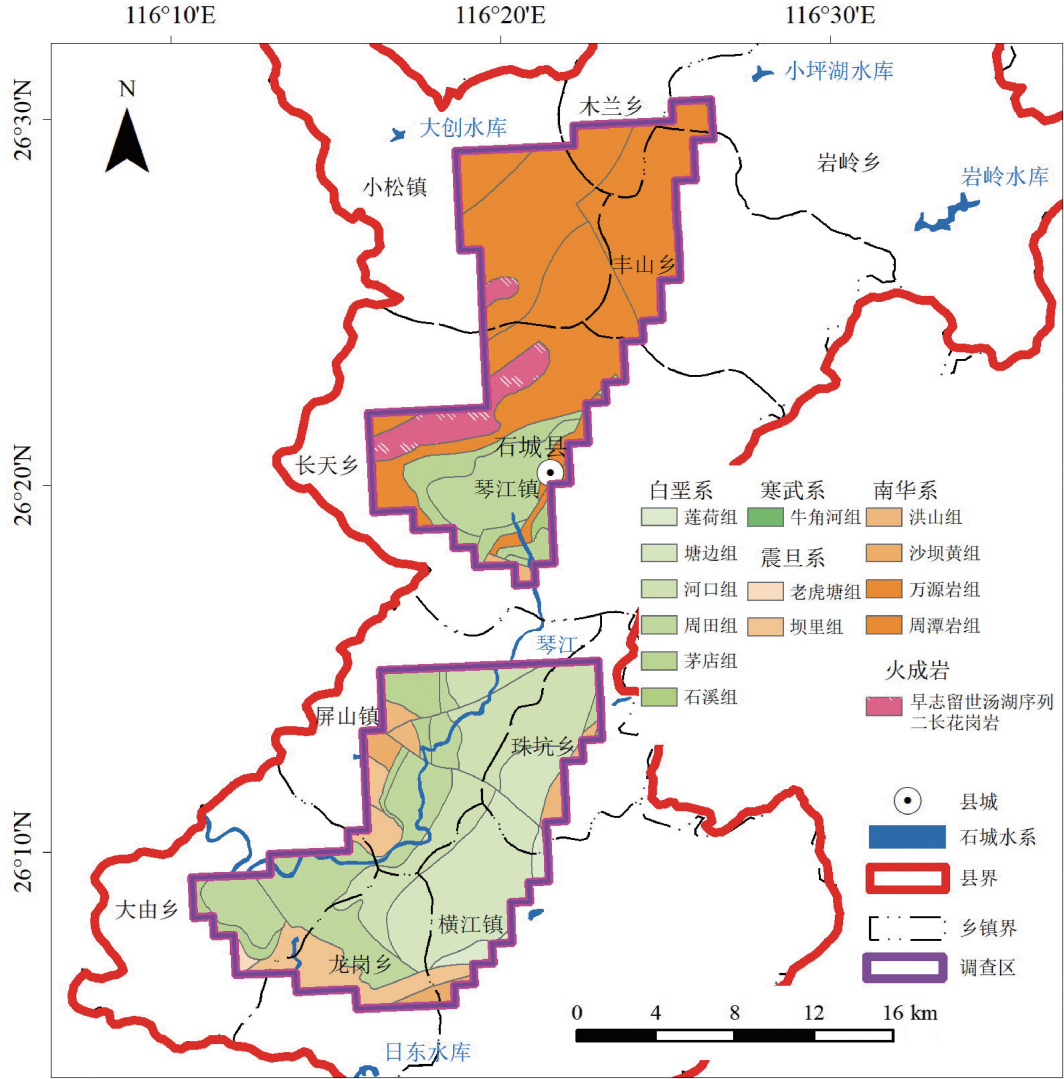


图 1 石城县调查区范围与区域地质简图

Fig. 1 Regional geological map and the surveying area in Shicheng County

样品测试严格执行《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^①、《生态地球化学评价样品分析技术要求》(DD 2005—03)^②等规定选用的分析方法。所有项目各元素报出率均大于 99.8%,各元素国家一级标准物质测定值准确度、精密度合格率均为 100%,各元素重复性检验一次合格率均大于 97.5%,异常检查合格率均大于 95%,外部质量控制样插入比例约 8.26%,各批次各元素合格率均大于 93%,相关系数均大于 0.93。样品分析数据均通过“中国地质调查局区域地球化学样品分析质量检查组”验收,分析质量良好,数据质量可靠。

3 结果和讨论

3.1 土壤锌元素含量特征

石城县调查区表层土壤中 Zn 含量在 $22.0 \times 10^{-6} \sim 268.7 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 72.25×10^{-6} ,剔除异常值后的平均值为 72.01×10^{-6} 。参照《中国矿产地质志:江西卷》^[12] 的地层系统,将调查区表层土壤与其所在地层对应。结果显示,调查区表层土壤中 Zn 含量及分布受地质背景控制明显,青白口系周潭岩组、南华系万源岩组、白垩系周田组岩性主要为紫红色砂砾岩、钙质粉砂岩,土壤 Zn 含量较高,这一特征与前人研究结果一致^[13-16] (表 2)。土壤中 Zn 元素主要来自

表 1 各类样品分析测试指标

Table 1 The analytical indicators for all samples

土壤样品测试指标		灌溉水	大气干湿沉降物	农作物
有机质、氮、磷、钾、硼、锰、锌、铜、硒、钼及碱解氮、速效磷、速效钾	酸碱度、砷、镉、铬、汞、铅、镍、铜、锌、钴、钒、锰	酸碱度、总磷(以 P 计)、总砷、总汞、总镉、六价铬、总铅、总铜、总锌、总硒、硼	砷、镉、汞、铬、铅、铜、镍、镉、硒	铅、铬、镉、汞、砷、锰、铜、钙、镁、铁、锌、锗、硒、磷、钾、氟

表 2 调查区不同地质单元土壤中 Zn 含量

Table2 Zn content in soils of different geological units in the survey area

地层名称	坝里组	河口组	洪山组	老虎塘组	莲荷组	茅店组
Zn 平均含量/ 10^{-6}	60.56	52.58	59.82	59.42	56.88	67.62
样品数/个	155	340	66	5	38	236
地层名称	沙坝黄组	石溪组	塘边组	万源岩组	周潭岩组	周田组
Zn 平均含量/ 10^{-6}	61.37	70.20	63.16	77.65	83.10	79.52
样品数/个	29	8	330	787	373	723

风化红层,风化物质中的锌在中性—弱碱性条件下沉淀进入土壤,形成丰富的 Zn 元素储备库。

从土壤营养指标角度,依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)对石城县表层土壤中的 Zn 元素进行丰缺评价(图 2;表 3)。结果显示,石城县土壤中的 Zn 含量总体以较丰富和丰富为主,上述两者占比达 49.62%,主要分布于石城县北部、琴江沿岸河谷地带,以及南部的大由乡和龙岗乡。土壤中的 Zn 含量超过 84×10^{-6} ,富锌土壤面积达 85.48 km²。

3.2 调查区土地质量地球化学评价

依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)要求,对研究区表层土壤 Cd、Hg、Pb、As、Cr、Ni、Cu、Zn 八项重金属元素进行综合环境质量评价。结果显示,石城县完成的 400 km²调查区中,优先保护的土壤面积为 399.91 km²,占评价面积的 99.98%,安全利用的土壤面积 0.09 km²,占比 0.02%,未出现严格管控土壤。评价结果表明调查区土壤地球化学质量整体状况优良,为该地区特色农业开发提供了必要条件。

石城县调查区灌溉水样品分析结果(表 4)显示,其各项指标测定值均满足《农田灌溉用水质标

准》(GB 5084—92)^③要求,同时达到《无公害食品:大田作物产地环境条件》(NY 5332—2006)^④和《绿色食品产地环境技术条件标准》(NYT 391—2000)^⑤要求,为划定绿色、无公害农业区奠定了基础条件。

本次在石城县共布设 4 个大气干湿沉降样点,样品接收期为一年,根据干沉降和湿沉降样品量计算年沉降通量,衡量大气干湿沉降对土壤环境质量的影响程度。结果显示,石城县重金属元素的年沉降通量从大到小依次为:Cr>Zn>Cu>Ni>Pb>As>Cd>Se>Hg,以 Zn、Cr 元素的年沉降通量最大,分别为 28.073 mg/(m²·a)、50.117 mg/(m²·a)(表 5)。依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),对 Cd 和 Hg 元素的年沉降通量进行评价,石城县 Cd 和 Hg 元素的年沉降通量均符合规范划分一等标准。大气环境质量优良,为调查区绿色富锌土地资源开发提供了保障。

依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),石城县调查区在综合土壤质量地球化学综合评价、大气干湿沉降物环境质量地球化学评价、灌溉水环境质量地球化学评价结果所形成的土地质量地球化学等级,以二等良好和三等中等为主。其中一等土地面积 13.22 km²,占总评价面积的 3.29%;二等良好土地面积 182.93 km²,占总评价面积的 45.58%;三等中等土地面积 188.94 km²,占总评价面积的 47.07%;四等差等土地面积 16.28 km²,占总评价面积的 4.06%;无五等土地。石城调查区土地质量优良(图 3)。

表 3 石城县调查区土壤中锌丰缺分级统计

Table 3 Classification of zinc abundanceand deficiency in soil, Shicheng

分级	丰富 (一等)	较丰富 (二等)	中等 (三等)	较缺乏 (四等)	缺乏 (五等)
分布面积/km ²	85.48	113.56	68.24	83.86	49.00
面积占比/%	21.31	28.31	17.05	20.96	12.25

表 5 石城县调查区大气中元素年沉降通量

Table 5 Annual deposition fluxes of the main elements in the atmosphere in Shicheng

	mg/(m ² ·a)								
元素	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn	Se
石城县	0.281	0.005	0.328	5.242	50.117	5.868	10.315	28.073	0.155
规范划分标准(一级)	≤3	≤0.5	—	—	—	—	—	—	—
规范划分标准(二级)	>3	>0.5	—	—	—	—	—	—	—

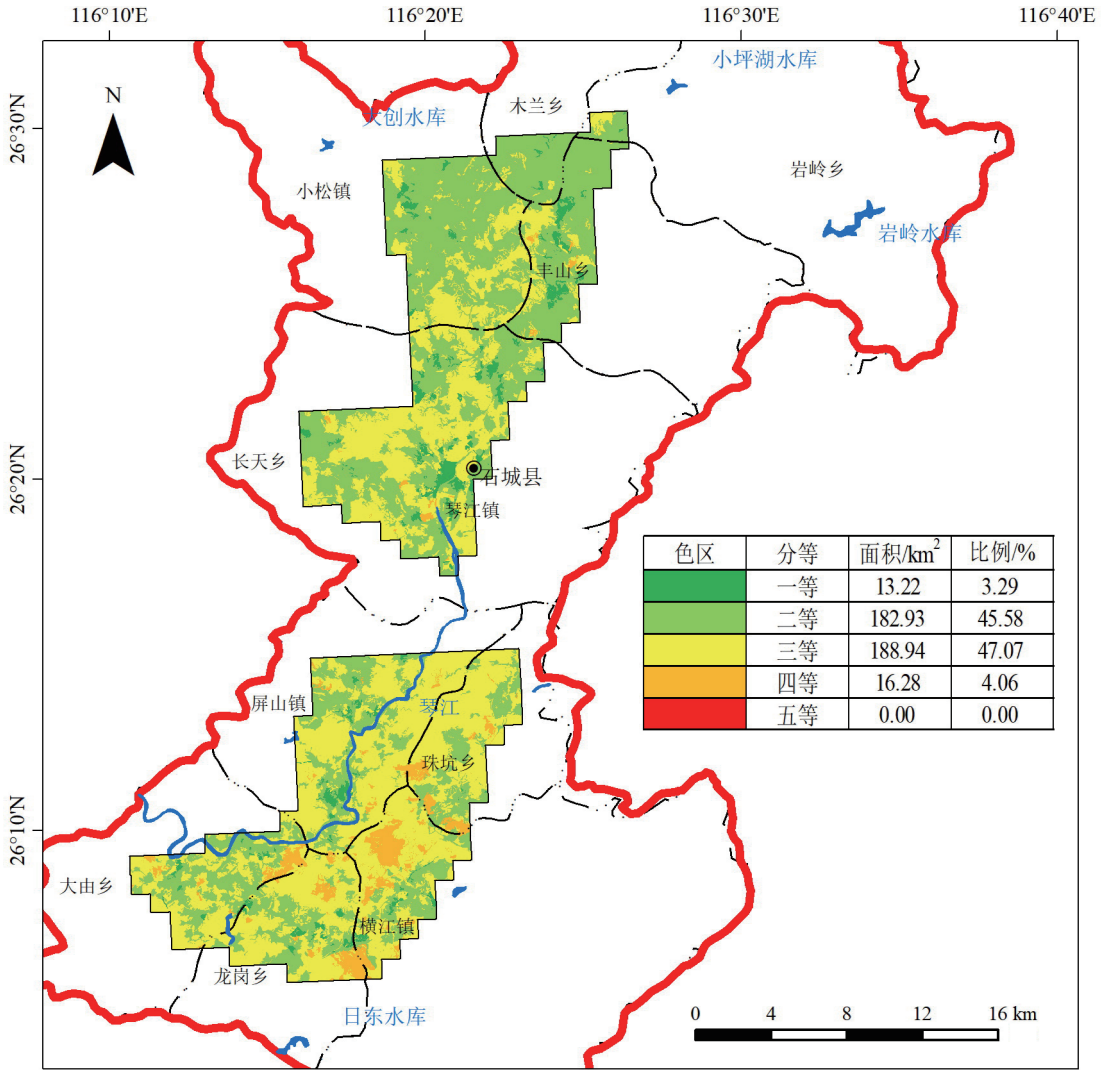


图 3 石城县调查区土地质量地球化学等级图

Fig. 3 Geochemical comprehensive grade of land quality in Shicheng

3.3 富锌特色农作物筛选

采集石城县调查区种植面积较广的莲子、烟叶、花生、大棚果蔬、露天果蔬等农作物共计 120 件。依照《食品安全国家标准-食品中污染物限量》(GB 2762—2017)^⑥对石城县调查区所有农作物进行评价,各类农作物中的 Pb、Cd、Hg、As、Cr 含量均不超

标。由于中国缺少农作物富锌标准,本文采用《中国食物成分表》^[17]中相对应食物可食用部分的主要矿物质元素 Ca、P、K、Mg、Fe、Zn、Se、Cu、Mn 作为参照,对上述农产品进行对比研究。结果显示,所有莲子中 Zn 元素含量都超过《中国食物成分表》中的对应要求,平均含量为食物成分表中含量的 1.5

倍左右,莲子富硒率也达到 15%(参照《江西省富硒食品硒含量分类标准》(DB36/T 566—2017)^⑦)。同时,莲子中其他有益元素含量均衡,Ca、K、P、Mn 等元素含量达到食物成分表中含量的 2 倍左右(表 6)。与其他地区调查发现的富锌农作物相比^[18-22],石城调查区农作物中有益元素含量更均衡更有效,是更具特色的富锌农产品。

3.4 富锌土地资源利用建议

特色有益元素土地资源开发中,要综合考虑土壤养分、有益元素分布特征、土壤环境质量、灌溉水环境质量、农作物富集特点、耕地耕作条件等因素,产生潜在特色有益元素土地开发规划区^[23-25]。对富锌土地资源开发中所需因素进行综合评价,产生石城县调查区适宜富锌产业开发区 1 个(大由—龙岗绿色富锌产业区)(图 4)。

该绿色富锌产业区面积 36.41 km²,区内地势

平坦、交通便利、水源充足、可开发利用程度高。区内土壤中 B、Mn 和 Mo 丰富,N、P 中等,有机质、K 较缺乏;土壤中 Zn 平均含量为 102×10⁻⁶,超过富锌土壤 84×10⁻⁶的富锌标准,低于 200×10⁻⁶限量标准;土壤未见重金属污染,属清洁土壤。区内莲子的 Zn 平均含量为 47.01×10⁻⁶,高于中国食物成分表相应食品种类中 Zn 的含量;莲子的 Se 平均含量为 0.13×10⁻⁶,达到富硒标准;Ca、Cu、Mn 等元素含量均高于中国食物成分表中的相应含量;重金属元素含量均不超标。

在富锌产业规划区中,涉及具体开发的产业基地,要根据环境条件、投入成本、预期成效等指标进行排序,并进行分批建设,选出最优的区域作为优先开发区。要将耕地质量高且高度集中地区列为优先和重点开发区域,与土地整治工程结合进行开发^[26-28]。依据此原则提出富锌产业区基地建设建

表 6 石城县调查区莲子中矿物质营养元素特征(以每 100 g 可食部分计)
Table 6 Characteristics of mineral elements in lotus seeds in Shicheng

特色农产品		Ca	P	K	Mg	Fe	Zn	Se	Cu	Mn
		/mg	/mg	/mg	/mg	/mg	/mg	/μg	/mg	/mg
莲子(n=40)	果实	158	949	1958	263	5	4	4.9	1	15
	食物成分表	97	550	846	242	3.6	2.8	3.4	1.33	8.23

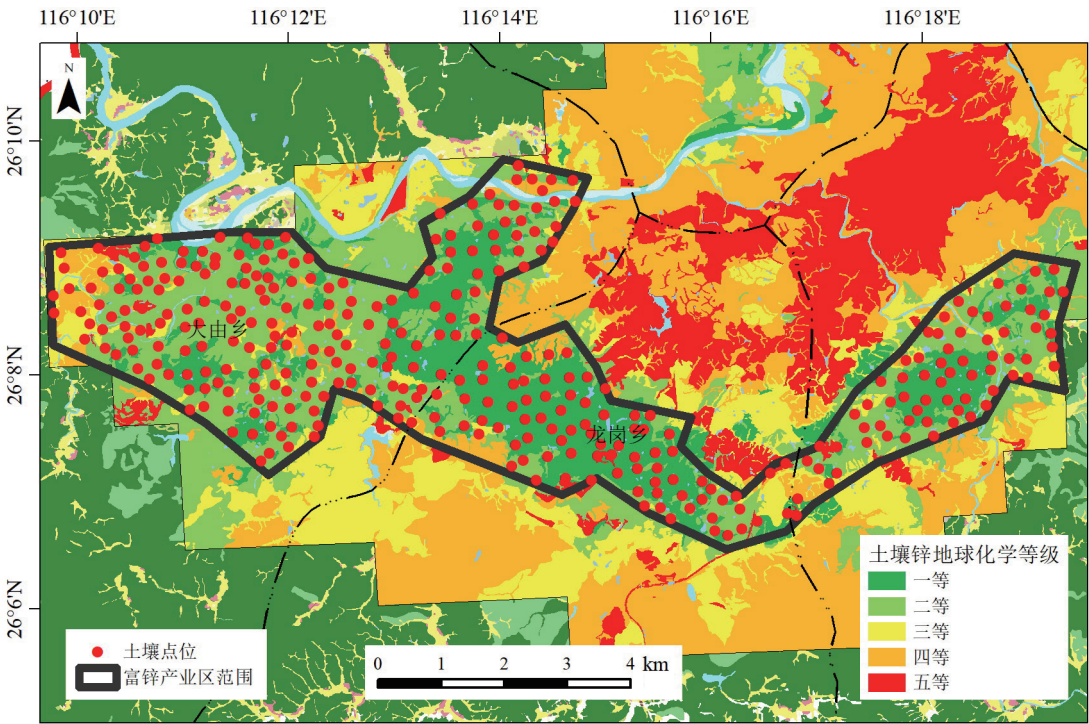


图 4 石城县大由—龙岗绿色富锌产业区范围与土壤点位图

Fig. 4 Scope of green zinc-enriched industrial zone and the soil sample locations, Shicheng County

议。具体包括:①按照“统一规划、连片种植、适度规模、分户经营”的理念,在已经确定的大由—龙岗绿色富锌产业区范围,为《石城县 2020 年蔬菜产业高质量发展工作方案》发展方案再择优选区。在 2020 年石城县新(扩)建规模蔬菜基地建设中,为大由乡和龙岗乡分别提供钢架大棚 0.13 km² 及露天蔬菜基地 0.1 km² 的建设区域,发展富锌蔬菜产业。②在大由乡政府周边村落已有莲子种植的基础上,增加种植面积,形成规模化、产业化种植基地,利用莲子种植过程产生的观赏性和食用性,与乡村旅游和地质文化村建设相结合,助力地方乡村振兴。

4 结 论

(1)石城县土地环境质量优越。调查区 49.62% 的土壤中,Zn 元素含量处于较丰富或丰富等级,主要分布于石城县北部、琴江沿岸河谷地带、大由乡和龙岗乡。土壤中 Zn 元素含量及分布受地质背景控制明显,南华系万源岩组、白垩系周田组对应土壤中 Zn 元素含量较高,其岩性主要为紫红色砂砾岩、钙质粉砂岩。土壤中 Zn 元素主要来自于风化红层,风化物质中的锌在中性—弱碱性条件下沉淀进入土壤中,形成丰富的 Zn 元素储备库,为天然富锌土壤的形成提供了优越的条件。

(2)石城县特色农产品中微量元素丰富,尤其是 Zn 元素含量达到中国食物成分表中平均含量的 2~4 倍,且农作物及其根系土中重金属含量均低于限量值,富锌绿色农产品开发前景光明。

(3)石城县土地质量调查成果在土地资源管护、富锌土地开发、农业安全生产、环境治理等方面具有广阔的应用前景。石城县富锌土地资源开发利用尚处于初级阶段,富锌农产品的开发也刚刚起步,富锌产业建设仍需得到地方政策支持。

参考文献

- [1] 林剑峰.必需微量元素锌营养研究进展[J].临床医药实践,2005,13(12): 887-889.
- [2] 陈文强.微量元素锌与人体健康[J].微量元素与健康研究,2006,23(4): 62-65.
- [3] Salgueiro M J, Zubillaga M, Lysionek A, et al. Zinc as an essential micronutrient: A review[J].Nutrition Research,2000,20(5): 737-755.
- [4] 牛丽凤,刘剑辉.微量元素锌与儿童健康关系的研究现状[J].中国中西医结合儿科学,2011,27(3): 235-236.
- [5] 宁运旺,张永春,汪吉东,等.土壤-植物-人类系统中锌与富锌农产品的开发[J].江苏农业科学,2009,37(3): 1-4.
- [6] Welch R M, Graham R D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 353-364.
- [7] Alloway B J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2009, 31(5): 537-548.
- [8] 王子腾,耿元波,梁涛.中国农田土壤的有效锌含量及影响因素分析[J].中国土壤与肥料,2019,(6): 223-228.
- [9] 何邵麟,陈武,莫春虎.贵州乌蒙山区土壤-农作物体系硒-锌分布特征研究[J].生物技术进展,2017,7(5): 557-562.
- [10] 王登峰,魏志远,韩妙杰.海南西北部地区耕地土壤锌分布特征[J].南方农业学报,2013,44(3): 447-451.
- [11] 唐晓东,屈明,陈燕霞.溶解性有机质对紫色土中锌形态分布的影响[J].2008,39(6): 1424-1428.
- [12] 江西省地质矿产勘查开发局.《中国矿产地质志:江西卷》[M].北京:地质出版社,2017.
- [13] 李明辉,陈富荣,张笑蓉,等.皖西大别山区富锌土壤分布特征及成因分析[J].地质调查与研究,2019,42(3): 235-240.
- [14] 贾志豪,朱磊.干旱地区耕地土壤养分空间变异性及其影响因素研究[J].西南农业学报,2019,32(8): 189-195.
- [15] 穆桂珍,罗杰,蔡立梅,等.广东揭西县土壤微量元素与有机质和 pH 的关系分析[J].中国农业资源与区划,2019,40(10): 284-290.
- [16] 任彧,陈杰,韩杏杏,等.不同母质类型下耕地土壤速效锌与速效钼的空间变异及其影响因子[J].安徽农业科学,2018,(23): 93-97.
- [17] 杨月欣.中国标准食物成分表 2017[M].北京:北京大学医学出版社,2018.
- [18] 胡学玉,李学恒,谢振翅.棕红壤区土壤中的锌及其生物利用途径[J].环境学报,2000,9(4): 330-332.
- [19] 张秀芝,马忠社,魏静,等.利用元素地球化学特征研究河北平原第四纪沉积环境的探讨与实践[J].地学前缘,2012,19(4): 194-205.
- [20] 王昌宇,张素荣,刘继红,等.河北省饶阳县富锌、硒特色土地及其生态效应评价[J].地质调查与研究,2019,42(1): 49-56.
- [21] 文帮勇,张涛亮,李西周,等.江西龙南地区富硒土壤资源开发可行性研究[J].中国地质,2014,41(1): 256-263.
- [22] 廖启林,崔晓丹,任静华,等.江苏土壤硒分布特征及富硒土地资源开发利用潜力[J].地质学刊,2019,43(4): 639-651.
- [23] 陈国光,周国华,梁晓红.土地质量地球化学调查成果应用于永久基本农田划分方法技术[J].地质通报,2019,38(2): 437-442.
- [24] 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.
- [25] 郑先迪,刘友兆.基于 GIS 的南京市溧水区富硒土地资源开发利

用研究[J].水土保持通报,2018,38(4): 282-287.

[26] 陈国光,梁晓红,张洁.丘陵区土地质量地球化学调查方法技术——以服务赣州六县精准脱贫土地质量地球化学调查为例[J].物探与化探,2020,44(3): 463-469.

[27] 戴文举,王东杰,卢瑛,等.华南地区县域耕地质量和产能评价研究——以广东吴川为例[J].农业资源与环境学报,2019,36(4): 419-430.

[28] 方捷,曾勇,刘一,等.“地质调查+”支撑服务脱贫攻坚模式探索与实践——以赣南苏区为例[J].地球学报,2018,39(5): 559-564.

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)(DD 2005—03).2005.

③中华人名共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.中华人名共和国国家标准农田灌溉水质标准(GB 5084—92).1992.

④中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准无公害食品: 大田作物产地环境条件(NY 5332—2006).2006.

⑤中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准绿色食品产地环境技术条件标准(NYT 391—2000).2000.

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.