

宋延斌, 王喜宽, 夏炎, 等. 河南洛阳市土壤和农作物中硒分布及富集特征[J]. 岩矿测试, 2022, 41(4): 652 – 662.
SONG Yanbin, WANG Xikuan, XIA Yan, et al. Distribution and Enrichment Characteristics of Selenium in Soil and Crops in Luoyang City, Henan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2022, 41(4): 652 – 662. 【DOI: 10. 15898/j. cnki. 11 – 2131/td. 202109280130】

河南洛阳市土壤和农作物中硒分布及富集特征

宋延斌, 王喜宽*, 夏炎, 侯进凯, 赵瑞
(河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院, 河南 洛阳 471023)

摘要: 研究分析某一地区种植的各种农作物中的硒富集特征, 同时对施硒肥农作物硒含量进行调查评价, 可以为富硒特色农业开发提供依据。查明不同农作物中硒含量影响因素, 对于开发富硒农产品具有重要的意义。本文以河南省洛阳市硒资源详查项目区及其他农业种植区为研究对象, 通过采集区内 22 种大田种植的农作物及其根系土, 采用电感耦合等离子体质谱法(ICP – MS)测定土壤和农作物硒含量, 研究了不同农作物中硒富集特征。结果表明: 研究区土壤硒平均值均接近河南省富硒土壤标准, 在酸性土壤中富硒点位占比 28. 61%, 中性土壤中富硒点位占比 43. 72%, 碱性土壤中富硒点位占比 41. 99%, 总体土壤富硒点位占比 40. 56%。根据各类作物的硒富集系数评价, 研究区适合开发富硒豆类、油料类、小麦、谷子、红薯等特色农作物和富硒中药材银条, 不适宜开发富硒玉米。不同农作物中硒含量与土壤硒含量和酸碱度(pH)的相关性研究表明, 土壤硒含量是农作物中硒含量的决定因素, 其次是土壤酸碱度。为促进研究区开发富硒农产品, 可以通过施硒肥改善农作物硒含量水平, 低硒背景土壤种植的农作物特别是水果适合施加硒肥, 高硒背景土壤种植的谷子不适合施加硒肥。

关键词: 洛阳市; 农作物; 硒; 富集系数; 电感耦合等离子体质谱法

要点:

- (1) 研究区豆类、花生、油菜籽、芝麻、小麦、谷子、红薯是富硒农作物, 银条是富硒中药材, 洛阳市是开发富硒特色农业的有利地区。
- (2) 土壤硒含量是农作物中硒含量的决定因素, 当土壤硒含量变化不显著的情况下, 土壤 pH 是主要的影响因素。
- (3) 通过施硒肥改善农作物硒含量水平的同时, 要防止产生硒过量的危害, 需经科学试验具体确定。

中图分类号: O657. 63 **文献标识码:** A

硒是人体必需的微量元素之一。硒在增强人体免疫功能、降低病毒感染、防治癌症、预防心血管疾病, 以及抗衰老等诸多方面有一定的积极作用^[1]。1973 年世界卫生组织(WHO)专家委员会将包括硒在内的 14 种元素确定为动物所必需的微量元素^[2]。缺硒与克山病、大骨节病、心脑血管疾病、癌症等疾病的发生有密切的关系, 但硒过量又会引起人和动物硒中毒^[3–4]。

1999 年以来, 中国地质调查局开展的多目标区

域地球化学调查发现了大量富硒土地资源。近十年来, 通过 1: 5 万土地质量地球化学调查进一步精准圈出绿色富硒土地分布, 发现了富硒粮食、蔬菜、水果、茶叶、油料等大批富硒农产品^[5–6]。农产品是人类摄入硒的安全有效方式^[7], 在土壤 – 植物 – 人和动物生态系统中, 土壤是硒的基本来源^[8]。富硒耕地开发利用、富硒农产品种植促进了对土壤中硒分布特征及来源的研究^[9–12]、土壤中硒的形态有效态研究^[13–15]、农作物中硒的富集规律及其形态研

收稿日期: 2021 – 09 – 28; 修回日期: 2021 – 10 – 11; 接受日期: 2022 – 06 – 01
基金项目: 洛阳市硒资源详查项目(洛公交易采购[2018]053 号)
第一作者: 宋延斌, 硕士, 高级工程师, 从事地质勘查和地球化学研究。E – mail: songyb2007@ 126. com。
通信作者: 王喜宽, 博士, 正高级工程师, 长期从事地球化学研究。E – mail: nmgwxxk@ 126. com。

究^[16-17]、通过外源硒进行生物强化的研究^[18-19]、硒与镉拮抗作用的研究^[20-21]等工作。

人体摄入农产品中丰富而不过量的硒会促进人体健康,而农产品中硒缺乏与过量均会对人体健康产生不利影响。硒的研究促进了相关分析技术的发展。硒在农产品中含量较低,因此对分析方法的灵敏度和准确度要求比较高^[22]。由于分析技术的发展,促进了对农作物中硒含量及赋存状态的研究。当前各地富硒土壤区开发生产富硒农产品,不少低硒土壤区通过施硒肥提高农产品硒含量。研究在富硒土壤中自然生长的各类农产品中硒的富集特征,评价施加硒肥的各类农产品中硒的富集特征,对于富硒农产品筛选与富硒农业开发具有重要意义。本文以河南省洛阳市硒资源详查工作为基础,基本查明了研究区 22 种农作物中硒富集规律,了解不同农作物施加硒肥结果,发现了一些富硒农作物,为当地富硒农业开发、乡村振兴等方面提供科学依据。

1 实验部分

1.1 研究区概况

研究区位于河南省洛阳市伊洛河流域,涉及伊川县大部,汝阳县、嵩县、孟津县和洛阳市区的部分地区。研究区主要出露地层是上太古界、下中上元古界、震旦系、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系、古近系、新近系、第四系。侵入岩主要是太古代花岗岩、元古代片麻状花岗岩、晚元古代花岗闪长岩、燕山晚期花岗煌斑岩、喜山早期玄武岩(图 1)。研究区主要分布在第四系、新近系和玄武岩分布区,以洛阳市硒资源详查项目 770km²面积的 1:5 万调查区为主,洛阳市范围内的其他农业种植区为辅,图 1 范围外有零星采样点。

1.2 样品采集

本次农作物及其根系土样品主要采集区包括粮食类、豆类、油料、蔬菜、水果、银条等 22 种农作物区域。区内大面积种植的农作物主要是玉米、小麦、红薯、花生、芝麻、谷子,其次是黄豆、梨、银条、大蒜、油菜、苹果等,其余农作物种植面积较小,因此不同农作物样品采集数量各不相同,大面积种植的农作物采集大于 30 件,种植面积较小的采集 10~20 件,种植面积太小的样品数量小于 5 件。共采集土壤样品 5794 件。

农作物及其根系土主要采集 1:5 万土地质量地球化学调查 770km²面积内的大宗农作物。此外,在 1:5 万调查区之外(包括图 1 外部)的一些农业示范区采集了农作物及其根系土样品,其中部分地

块施加了硒肥,包括石榴、葡萄、苹果、梨、红薯、谷子的种植示范区均有叶面喷施硒肥地块。采集农作物和根系土样品各 764 件。

农作物样品在成熟时集中采集,同时采集根系土。采用棋盘法进行 3~5 点取样,然后等量混匀组成 1 件样品。大型果实由 5~10 棵以上植株组成,小型果实由 10~20 棵以上植株组成。谷物、油料、干果类采集质量为 1kg(干质量),水果、蔬菜类采集质量为 2kg(鲜质量)。样品采集严格执行《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)要求,各项工作质量均满足规范和设计要求。

1.3 样品测试

测试样品包括 1:5 万土壤样品(5794 件)、农作物根系土样品(764 件)、农作物样品(764 件)等。由华北有色地质勘查局燕郊中心实验室承担 1:5 万土壤、根系土样品测试;河南省岩石矿物测试中心、湖北省地质实验测试中心、河南省第一地质矿产调查院实验室承担部分农作物样品测试。样品分析准确度和精密度的质量要求按中国地质调查局《多目标区域地球化学调查规范(1:25 万)》(DZ/T 0285—2014)、《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)等技术标准有关规定执行。

1.3.1 样品制备

土壤样品:野外采集的土壤样品在样品加工间阴干过 20 目尼龙筛混匀后,采用四分法将样品装袋送交实验室。实验室用玛瑙研磨机将样品研磨至小于 200 目以后,称取 0.1000g 样品进行四酸(硝酸、盐酸、氢氟酸、高氯酸)溶样,定容至 25mL 后稀释待测。

谷物与油料样品:小麦、玉米、花生、芝麻、油菜籽、豆类、谷子样品用尼龙筛筛去杂质,四分法缩分,用自来水多次清洗至水澄清,再用蒸馏水冲洗,置于不锈钢托盘中,于 60℃(谷子于 45℃)烘箱中烘干。烘干样品经玛瑙研磨机研磨至 40 目,密闭消解。

果蔬类样品:水果、蔬菜样品用自来水冲洗干净,再用蒸馏水冲洗,粉碎成浆状,将碎好的样品装入螺口塑料瓶内,经密闭消解后测定元素指标。

1.3.2 样品分析及质量控制

土壤硒元素采用原子荧光光谱法(AFS)分析。农作物中硒依据《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268—2016)采用 ICP-MS 分析。土壤、农作物硒元素检出限分别为 0.01mg/kg、0.002mg/kg,与规范要求一致。土壤样品硒元素准确率为 0.006,精密率为 6.01%;pH 准确率为

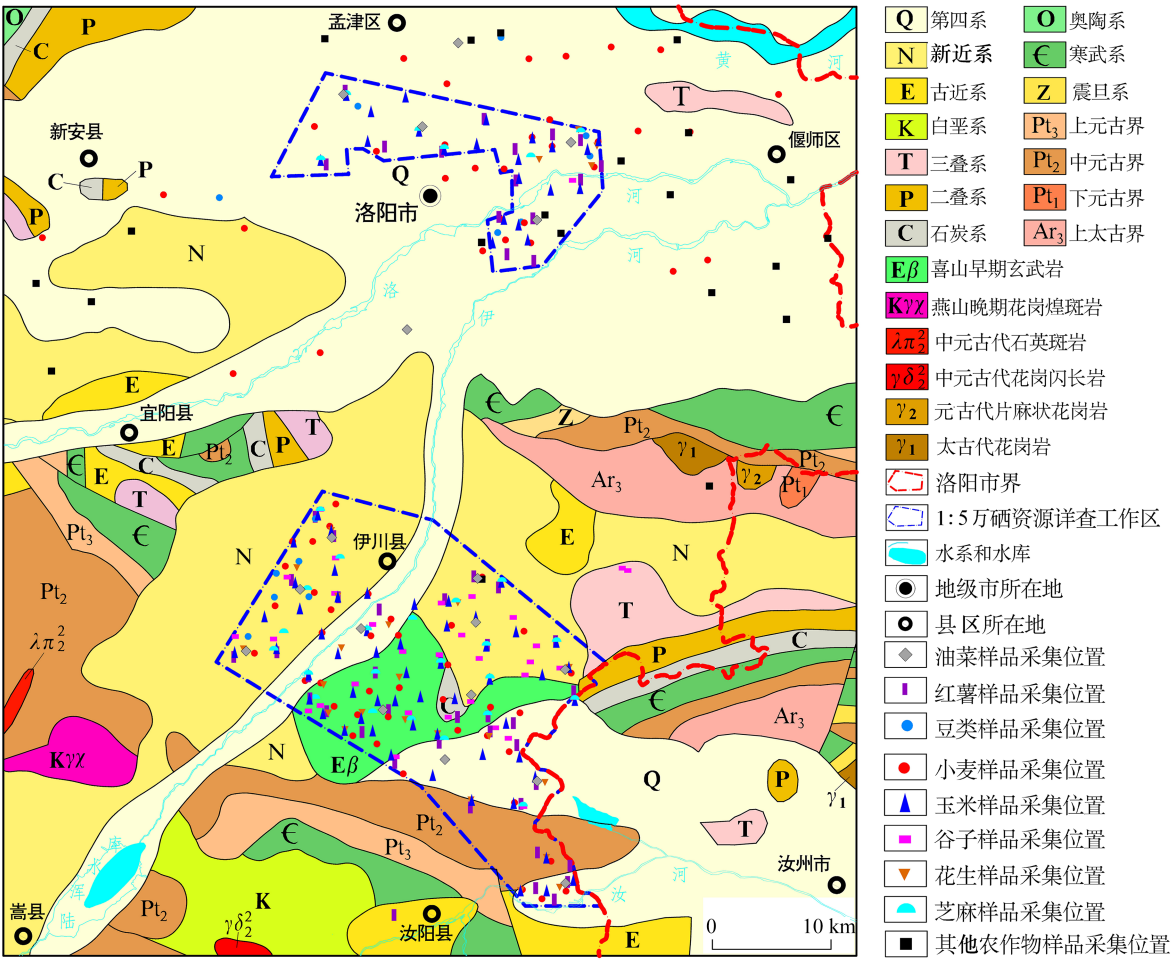


图1 研究区位置及农作物样品采集位置分布图
Fig.1 Location of study area and distribution of crops sampling location

0.003,精密度为 3.88%,报出率为 100%,均符合规范要求。农作物样品硒元素相对误差为 4.35%,精密
度为 3.03%,报出率为 98.12%,均满足规范要求。

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤硒元素地球化学特征

研究区土壤硒含量范围为 0.033~5.67mg/kg,平均值 0.297mg/kg,高于河南省及全国土壤硒平均值,是河南省平均值 0.19mg/kg^[23] 的 1.56 倍,是全国土壤硒平均值 0.22mg/kg^[23] 的 1.28 倍,呈富集特征。研究区内土壤 pH 值范围为 4.59~8.56,平均值 7.53,是河南省平均值 8.07^[23] 的 0.93 倍,是全国平均值 7.67^[23] 的 0.98 倍。其中酸性土壤占比 12.55%,硒含量平均值 0.33mg/kg;中性土壤占比 14.29%,硒含量平均值 0.315mg/kg;碱性土壤占比 73.16%,硒含量平均值 0.288mg/kg。在不同土壤酸碱性环境下,研究区土壤硒平均值均接近对应的

河南省富硒土壤标准。在酸性土壤中富硒点位占比 28.61%,中性土壤中富硒点位占比 43.72%,碱性土壤中富硒点位占比 41.99%,总体土壤富硒点位占比 40.56%(表 1)。采用河南省《富硒土壤硒含量要求》(DB41/T 1871—2019),1:5 万研究区以采样点所处地块统计,共圈出富硒土地(耕地、园地、草地、林地、滩涂、裸地)195km²(29.25 万亩),其中富硒耕地、园地分别为 170250 亩、1410 亩,说明研究区分布广泛的富硒土壤。

2.2 农作物中硒元素特征

2.2.1 各种农作物中硒元素含量特征

不同农作物及其根系土中硒元素含量统计见表 2(其中豇豆、红小豆、毛豆、秋葵由于种植面积小,各只采集到 1 件样品,仅供参考)。结果表明,黄豆、绿豆、油菜籽、花生和施加硒肥的玉米、谷子、红薯硒含量 >0.1mg/kg,除施加硒肥的农作物外,其余农作物属于富硒农作物;豇豆、芝麻、小麦、

表 1 不同酸碱性土壤硒元素地球化学特征值

Table 1 Geochemical characteristic values of selenium in different acid and alkaline soils

土壤酸碱性	样品数量 (件)	占比 (%)	硒含量平均值 (mg/kg)	变异系数	富硒点数	富硒率 (%)	河南省富硒土壤 硒含量标准(mg/kg)
酸性(pH < 6.5)	727	12.55	0.33	0.332	208	28.61	≥0.35
中性(pH 6.5 ~ 7.5)	828	14.29	0.315	0.429	362	43.72	≥0.32
碱性(pH > 7.5)	4239	73.16	0.288	0.478	1780	41.99	≥0.30
全区	5794	100	0.297	0.454	2350	40.56	—

黑豆、谷子和施硒肥石榴中硒平均含量在 0.06 ~ 0.1mg/kg 之间,除硒肥石榴外,其余属于较富硒农作物;红小豆、银条、玉米中硒平均含量在 0.04 ~ 0.06 mg/kg 之间,属于相对富硒农作物;红薯、毛豆、大蒜、沙梨和施硒肥葡萄中硒平均含量在 0.01 ~ 0.04 mg/kg 之间,是足硒农作物;豆角、樱桃、辣椒、苹果、梨、秋葵和施硒肥梨、苹果中硒含量 < 0.01mg/kg,是贫硒农作物。施硒肥的谷子、玉米、红薯、梨、苹果分

别是未施硒肥的 25.33 倍、8.58 倍、5.82 倍、2.0 倍、1.96 倍,显示硒含量高的农作物施加硒肥后硒含量更高。洛阳市未施加硒肥的农作物中硒含量从大到小排列为:黄豆 > 绿豆 > 油菜籽 > 花生 > 豇豆 > 芝麻 > 小麦 > 黑豆 > 谷子 > 红小豆 > 银条 > 玉米 > 红薯 > 毛豆 > 大蒜 > 沙梨 > 豆角 > 樱桃 > 辣椒 > 梨 > 苹果 > 秋葵;施加硒肥的农作物硒含量从大到小排列为:谷子 > 玉米 > 红薯 > 石榴 > 葡萄 > 梨 >

表 2 洛阳市不同农作物及根系土硒含量和富集特征

Table 2 Selenium content and enrichment characteristics of different crops and root soils in Luoyang City

农作物 种类	样品数量 (件)	根系土硒含量 平均值(mg/kg)	根系土硒含量 范围(mg/kg)	农作物硒含量 平均值(mg/kg)	农作物硒含量 范围(mg/kg)	BCF (%)	BCF 范围 (%)
黄豆	20	0.38	0.15 ~ 0.59	0.13	0.03 ~ 0.58	32.39	16.61 ~ 98.81
绿豆	4	0.32	0.26 ~ 0.37	0.12	0.08 ~ 0.16	36.86	25.75 ~ 45.47
油菜籽	15	0.31	0.23 ~ 0.50	0.11	0.04 ~ 0.67	35.44	10.44 ~ 204.06
花生	49	0.344	0.11 ~ 0.70	0.10	0.017 ~ 0.99	29.75	8.42 ~ 73.47
豇豆	1	0.29	—	0.085	—	29.24	—
芝麻	35	0.32	0.22 ~ 0.42	0.081	0.01 ~ 0.20	26.08	3.87 ~ 79.72
小麦	174	0.42	0.074 ~ 0.96	0.08	0.009 ~ 0.52	18.38	2.62 ~ 99.72
黑豆	4	0.19	0.13 ~ 0.29	0.071	0.05 ~ 0.12	36.18	26.73 ~ 43.45
谷子	34	0.31	0.16 ~ 0.48	0.060	0.024 ~ 0.12	19.46	7.67 ~ 44.45
红小豆	1	0.34	—	0.053	—	15.54	—
银条	17	0.24	0.11 ~ 0.31	0.042	0.002 ~ 0.011	4.3	1.02 ~ 8.81
玉米	175	0.40	0.15 ~ 1.28	0.040	0.003 ~ 0.74	7.55	0.66 ~ 73.80
红薯	125	0.40	0.126 ~ 1.59	0.022	0.006 ~ 0.22	2.80	1.37 ~ 67.78
毛豆	1	0.56	—	0.016	—	2.89	—
大蒜	16	0.20	0.13 ~ 0.24	0.013	0.003 ~ 0.028	6.46	1.41 ~ 12.56
沙梨	3	0.14	0.12 ~ 0.16	0.012	0.0001 ~ 0.032	9.42	0.07 ~ 26.33
豆角	2	0.16	0.15 ~ 0.17	0.010	0.009 ~ 0.011	5.90	5.13 ~ 6.67
樱桃	2	0.26	0.24 ~ 0.27	0.0083	0.008 ~ 0.0086	3.32	3.03 ~ 3.61
辣椒	2	0.25	0.25 ~ 0.26	0.0085	0.006 ~ 0.011	3.28	2.14 ~ 4.40
梨	17	0.21	0.13 ~ 0.33	0.003	0.0003 ~ 0.007	1.58	0.11 ~ 4.47
苹果	17	0.17	0.081 ~ 0.84	0.0028	0.0001 ~ 0.0051	2.27	0.04 ~ 4.52
秋葵	1	0.24	—	0.002	—	0.81	—
硒肥谷子	40	0.31	0.12 ~ 0.40	1.52	0.075 ~ 4.92	507.83	22.35 ~ 1503.36
硒肥玉米	2	0.50	0.32 ~ 0.67	0.34	0.0078 ~ 0.68	51.52	2.40 ~ 100.64
硒肥红薯	6	0.24	0.14 ~ 0.30	0.13	0.07 ~ 0.23	54.09	28.88 ~ 87.75
硒肥石榴	3	0.15	0.11 ~ 0.19	0.067	0.054 ~ 0.077	47.20	36.48 ~ 37.22
硒肥葡萄	3	0.48	0.47 ~ 0.51	0.013	0.010 ~ 0.016	2.66	2.07 ~ 3.38
硒肥梨	3	0.064	0.05 ~ 0.076	0.006	0.0036 ~ 0.0073	9.59	5.57 ~ 14.51
硒肥苹果	4	0.076	0.064 ~ 0.089	0.0055	0.0006 ~ 0.010	7.24	0.92 ~ 13.21

苹果。中国土壤硒含量最高的湖北省恩施地区^[24]土壤硒含量 >0.4 mg/kg 的农作物硒含量从大到小为:水稻(0.432 mg/kg) > 玉米(0.278mg/kg) > 茶叶(0.119mg/kg) > 萝卜(0.107mg/kg) > 魔芋(0.094mg/kg) > 白菜(0.069mg/kg) > 土豆(0.016 mg/kg),其玉米硒含量明显高于本区。

与全国其他富硒土壤区农作物硒含量对比(表3),研究区土壤硒含量平均值相对较低。各种农作物的硒含量,小麦、玉米比成都、湖北、绥化地区高,低于陕西三原—阎良地区;油菜籽、大蒜、豆角低于陕西三原—阎良地区,花生、芝麻低于海口,豆类与海口接近。红薯高于邢台威县和海南澄迈县,辣椒高于海口,稍低于陕西三原—阎良地区,黄豆稍高于湖北省,谷子稍低于河南、河北、山西、山东谷子主产区。

以往研究证明了几乎所有的研究报告都将土壤pH 值列为影响植物对重金属吸收的最主要的土壤因素^[30]。陕西三原—阎良地区 pH 值为 7.23 ~ 9.28,其中近 80% 土壤 pH 值为 7.5 ~ 8.5,属于碱性、强碱性土壤^[12];绥化地区 pH 值为 6.39,属于弱酸性土壤^[26];海南省内土壤整体偏酸性^[31-33]。土壤硒含量比研究区稍低但更碱性的陕西三原—阎良地区农作物中硒含量高于本研究区,说明适宜农作物生长的土壤碱性环境中农作物更容易吸收硒。但海口土壤虽呈酸性,土壤硒含量明显超出本研究区,农作物中硒含量也高于本研究区,说明土壤硒含量是农作物中硒含量的决定因素,pH 是影响农作物硒含量的重要因素。

2.2.2 农作物中硒元素富集能力评价

富集系数用来表征农作物中元素的富集特征,

富集系数 $BCF = (\text{农作物中硒含量} / \text{根土中硒含量}) \times 100\%$ 。本次将农作物硒的 BCF 值分级为:20% ~ 50% 是较强富集,10% ~ 20% 是富集,5% ~ 10% 是弱富集,1% ~ 5% 是正常累积,<1% 是不富集硒农作物。绿豆、黑豆、油菜籽、黄豆、豇豆、芝麻、花生是较强富集硒农作物;谷子、小麦、红小豆是富集硒农作物;沙梨、玉米、大蒜、豆角是弱富集硒农作物;银条、樱桃、辣椒、红薯、梨是硒正常农作物;秋葵是不富集硒农作物。

目前中国只有稻谷、马铃薯、茶叶、大蒜富硒标准。湖北、陕西、青海、重庆、江西、广西等省市建立了各自的地方富硒农产品标准。河南省还未建立本省的富硒农产品标准,在洛阳市富硒产业协会制定的《富硒农产品及其加工品硒含量标准》(T/LRSIA001—2019)中,硒含量高出于其他省市标准数倍,主要是针对外源硒。本文选择陕西省、江西省、重庆市富硒农产品标准来综合评价洛阳市的富硒农产品(表4)。

从表4可见,豆类作物硒富集系数大于30%,硒含量均达到各省富硒标准,研究区适合开发富硒豆类。油料类作物硒富集系数均大于20%,硒平均含量均大于其他省份富硒标准,研究区适合开发油菜籽、花生、芝麻等富硒油料。小麦硒含量均高于各省富硒标准,适合开发富硒小麦。谷子硒含量低于江西省富硒标准,高于陕西省和重庆市富硒标准,是富硒农作物。玉米硒富集系数为7.55%,硒含量仅高于重庆市富硒标准,低于其他各省富硒标准,属于弱富集硒农作物,不适宜开发富硒玉米。

蔬菜样品采自于足硒土壤,蔬菜硒含量均没有

表3 洛阳市与其他地区不同农作物硒含量对比

Table 3 Comparison of selenium content of different crops in Luoyang City and other areas

样品类型	本区硒含量 (mg/kg)	其他地区硒含量 (mg/kg)	参考文献	样品类型	本区硒含量 (mg/kg)	其他地区硒含量 (mg/kg)	参考文献
土壤	0.297	0.34(成都)	[8]	油菜籽	0.11	0.153(陕西)	[12]
		0.267(陕西)	[12]	大蒜	0.013	0.059(陕西)	[12]
		0.35(海口)	[25]	豆角	0.01	0.018(陕西)	[12]
		0.32(绥化)	[26]	花生	0.101	0.243(海口)	[25]
小麦	0.08	0.075(成都)	[8]	芝麻	0.081	0.194(海口)	[25]
		0.159(陕西)	[12]	豆类	0.13	0.132(海口)	[25]
		0.073(湖北)	[27]	红薯	0.022	0.01(邢台威县)	[28]
小麦 BCF	18.38%	19.51%(成都)	[8]			0.009(海南澄迈县)	[28]
玉米	0.04	0.028(成都)	[8]	辣椒	0.008	0.01(陕西)	[12]
		0.064(陕西)	[12]			0.057(海口)	[25]
		0.028(绥化)	[26]	黄豆	0.132	0.111(湖北)	[27]
		0.036(湖北)	[27]	谷子	0.06	0.084(河南、河北、山西、山东)	[29]
玉米 BCF	7.55%	0.28%(成都)	[8]				

表 4 洛阳市不同农作物硒含量与其他省富硒标准对比

Table 4 Comparison of selenium content of different crops in Luoyang City with selenium enrichment standard of other provinces

农作物 种类	农作物 名称	样本	根系土硒含量 平均值 (mg/kg)	农作物硒含量 平均值 (mg/kg)	BCF (%)	陕西省硒含量 ^① (mg/kg)	江西省硒含量 ^② (mg/kg)	重庆市硒含量 ^③ (mg/kg)	洛阳市硒含量 ^④ (mg/kg)
豆类	黄豆	20	0.38	0.132	32.39	≥0.02	0.07~0.3	0.05~0.3	0.2~2
	绿豆	4	0.32	0.117	36.86				
	黑豆	4	0.19	0.07	36.18				
油料类	油菜籽	15	0.31	0.11	35.44	≥0.02	0.07~0.3	0.02~0.30	0.3~5
	花生	40	0.34	0.101	24.89			0.05~0.30	
	芝麻	35	0.32	0.081	26.08			0.02~0.30	
粮食类	小麦	174	0.42	0.08	18.38	≥0.05	0.07~0.3	稻谷(0.04~0.30) 玉米(0.02~0.30)	0.2~2
	谷子	34	0.31	0.06	19.46				
	玉米	175	0.4	0.04	7.55				
	硒肥玉米	2	0.498	0.343	51.52				
	硒肥谷子	40	0.31	1.52	507.83				
蔬菜类	大蒜 ^⑤	16	0.2	0.0131	6.46	≥0.03	≥0.03	≥0.03	≥0.03
	豆角	2	0.16	0.0096	5.9	≥0.02	0.01~0.1	0.02~0.1	0.05~0.2
	辣椒	2	0.25	0.008	3.28				
根茎类	红薯	124	0.4	0.022	2.8	≥0.02	0.05~0.1	0.02~0.1	0.05~0.2
	硒肥红薯	6	0.24	0.128	54.09				
中草药	偃师银条	17	0.24	0.042	4.3	≥0.02	—	—	0.3~5
水果类	樱桃	2	0.26	0.0083	3.32	≥0.02	0.01~0.05	0.01~0.5	0.05~0.2
	沙梨	3	0.143	0.012	9.4				
	苹果	17	0.15	0.0033	3.22				
	梨	20	0.21	0.003	1.58				
	硒肥石榴	3	0.15	0.067	47.2				
	硒肥葡萄	3	0.48	0.0128	2.66				
	硒肥梨	3	0.064	0.006	9.59				
	硒肥苹果	4	0.076	0.0055	7.24				

注：①陕西省地方标准,《富硒含硒食品与相关产品硒含量标准》(DB61/T 556—2018)；②江西省地方标准,《富硒食品硒含量分类标准》(DB36/T 566—2017)；③重庆市地方标准,《富硒农产品》(DB50/T 705—2016)；④洛阳市行业标准,《富硒农产品及其加工品硒含量标准》(T/LRSIA001—2019)；⑤大蒜采用农业行业标准《富硒大蒜》(NY/T 3115—2017)。

达到富硒标准。大蒜、豆角硒富集系数大于 5%，在富硒土壤区有希望达到富硒标准。红薯样品采自于富硒土壤,硒含量低于江西省富硒标准,高于陕西省和重庆市富硒标准,是富硒红薯。银条产自于非富硒土壤,但其硒含量超出陕西省富硒标准,在富硒土壤环境中能达到富硒标准。樱桃、苹果和梨种植在非富硒土壤环境中,硒含量远低于富硒标准。

2.2.3 不同土壤和农作物体系中硒迁移规律

对采集样品数 4 件及以上的农作物进行土壤与农作物、pH 与 BCF(富集系数)之间的回归模型分析,结果见表 5。豆类作物和小麦中硒主要决定于土壤硒含量,同时与土壤 pH 呈正相关。玉米中硒主要决定于土壤硒含量,与土壤 pH 无相关性。大蒜中硒与土壤硒含量、土壤 pH 均呈正相关,但与 pH 的相关性高于土壤硒含量,说明 pH 对大蒜中硒含量影响更大。花生中硒与土壤硒含量呈弱相关,

表 5 研究区不同土壤和农作物系统中硒迁移回归方程
Table 5 Regression equation of selenium migration in different soil and crop systems in the study area

农作物	样品数 (件)	土壤硒与农作物 硒回归模型		pH 与农作物硒 BCF 回归模型	
			<i>R</i>		<i>R</i>
黑豆	4	$y = 0.442x - 0.0151$	0.909	$y = 10.718x - 40.584$	0.616
绿豆	4	$y = 0.5789x - 0.0654$	0.695	$y = 11.31x - 50.705$	0.450
黄豆	20	$y = 0.5486x - 0.0756$	0.651	$y = 9.6159x - 41.261$	0.185
小麦	174	$y = 0.2847x - 0.0405$	0.558	$y = 7.5657x - 40.355$	0.344
玉米	175	$y = 0.2211x - 0.0461$	0.530	$y = 0.8204x + 3.5075$	0.055
大蒜	16	$y = 0.0501x + 0.0029$	0.228	$y = 6.8545x - 49.566$	0.468
花生	49	$y = 0.163x + 0.0451$	0.111	$y = -4.5654x + 63.554$	-0.079
红薯	125	$y = -0.0234x + 0.0358$	-0.077	$y = 16.03x - 109.04$	0.082
银条	17	$y = 0.6785x - 2.4652$	0.075	$y = -0.0227x + 0.0113$	-0.446
油菜籽	15	$y = 0.0641x + 0.0893$	0.026	$y = 35.208x - 223.24$	0.314
谷子	34	$y = -0.0042x + 0.0592$	-0.010	$y = -5.799x + 63.439$	-0.368
梨	17	$y = 0.0002x + 0.0031$	0.006	$y = -1.0955x + 10.248$	-0.364
苹果	17	$y = 0.00004x + 0.0028$	0.004	$y = 1.2637x - 7.5582$	0.522
芝麻	35	$y = -0.0008x + 0.0812$	-0.001	$y = 3.9044x - 3.4176$	0.161

与 pH 无相关。红薯中硒与土壤硒含量、pH 均无相关性。银条、谷子、梨与土壤硒含量无相关性,与 pH 均呈负相关。油菜籽、苹果、芝麻与土壤硒含量无相关性,与 pH 均呈正相关。说明不同农作物在土壤-农作物迁移体系中具有不同的迁移富集特征,受 pH 的影响也各不相同。鲁晋秀等^[34]研究发现小麦籽粒富硒程度与土壤硒含量呈显著正相关。廖彪^[35]研究发现玉米硒含量与土壤硒含量呈正相关,均与本次研究相同。赵宇等^[29]研究了河南、河北、山西、山东四省谷子主产区中土壤硒含量是影响小米硒含量的决定性因素,小米硒含量随着土壤硒含量的增加而显著提高。研究区谷子中硒与土壤中硒含量无相关性,主要是因为本区谷子种植区土壤硒含量的变化幅度较小,而赵宇等^[29]研究的四省区土壤硒含量差异达到极显著水平。

理论上土壤硒含量是决定农作物硒含量的主要因素,而研究区内的红薯、银条、油菜籽、谷子、梨、苹果、芝麻硒与土壤硒无相关性,除了农作物种类不同外,主要还是由于研究区内土壤硒含量差异变化小。金兴钰等^[8]研究了成都地区土壤硒含量范围为 0.055 ~ 19.76mg/kg;姬丙艳等^[10]研究了青海诺木洪绿洲富硒土壤硒含量在 0.23 ~ 2.8mg/kg 之间;乔新星等^[12]研究了陕西关中三原—阎良地区土壤硒含量在 0.023 ~ 3.06mg/kg 之间;张百忍等^[16]研究了陕西秦巴山区土壤硒含量变化在 0.1347 ~ 14.419mg/kg 之间。这些地区土壤硒含量比研究区变化均显著,因此土壤硒含量与农作物硒含量呈正相关特征。研究区红薯、银条、油菜籽、谷子、梨、苹果、芝麻在土壤硒含量变化不显著的情况下,土壤 pH 成为主要的影响因素。

2.2.4 施硒肥对农作物硒含量的影响

通过施硒肥生产富硒农产品是目前不少地区采用的主要方法。研究区也有农业示范区通过施硒肥开发富硒农产品,主要是谷子、玉米、红薯、石榴、葡萄、苹果和梨。施硒肥的谷子硒含量最高,平均值 1.52mg/kg,最高值 4.92mg/kg。施硒肥谷子、玉米、红薯硒含量分别是未施硒肥的 25.33 倍、8.58 倍、5.91 倍。施硒肥和未施硒肥谷子的土壤硒含量均接近或者达到富硒土壤标准,施硒肥谷子硒含量均值已超出富硒食品标准上限,说明谷子容易吸收硒肥中的硒,研究区富硒土壤环境下种植谷子再施加硒肥容易造成硒超标。施硒肥的石榴硒含量是施硒肥苹果、梨的 12.5 倍、11.7 倍,是未施硒肥苹果、梨的 25 倍、23.3 倍,与黑豆硒含量接近,反映了石榴

较容易吸收硒肥。施硒肥葡萄硒含量是未施硒肥的苹果、梨硒含量的 4.64 倍、4.33 倍。说明谷子、玉米、红薯、石榴对硒肥有较强的吸收能力,葡萄对硒肥吸收能力相对较弱。

研究区多种农作物施加硒肥结果显示要防止产生硒过量的危害。在富硒土壤中种植谷子,不必再施加硒肥,在足硒环境中需要进行科学试验。足硒土壤施硒肥红薯硒含量已超出江西省、青海省、重庆市的富硒标准上限,研究区对红薯施硒肥一定要经过综合试验评价,科学施肥。

富硒土壤中施硒肥的葡萄硒含量低于陕西省富硒标准,略高于其他省富硒标准下限,说明葡萄对硒肥的吸收较低,施硒肥的效果较差。施硒肥梨、苹果均未达到富硒水果标准,说明梨、苹果不容易通过施硒肥达到富硒标准。要使梨、苹果、葡萄达到富硒标准,则需要增加施硒量和施硒次数,通过科学试验来完成。

3 结论

通过对洛阳市硒资源详查区为主的农业种植区,以及其他地区土壤和不同农作物硒含量及富集特征的调查评价,研究区的中部到北部地区的土壤以碱性为主,南部土壤偏弱酸性。根据各类农作物硒含量与全国相关省市富硒标准对比,研究区适合开发富硒豆类、富硒油料类、富硒小麦、富硒谷子、富硒红薯等特色农作物,不适宜开发富硒玉米;非富硒土壤中银条硒含量超出陕西省富硒标准,表明研究区银条属于富硒银条。

不同农作物硒与土壤硒和 pH 值的相关性各不相同。总体而言,土壤硒含量是农作物中硒含量的决定因素,pH 是影响农作物硒含量的重要因素。通过施硒肥是生产富硒农产品的主要方法,但同时要防止产生硒过量的危害,需经科学试验具体确定,低硒背景土壤种植的农作物特别是水果适合施加硒肥,高硒背景土壤种植的谷子不适合施加硒肥。

4 参考文献

[1] 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.
Wang L, Du F, Sun H, et al. Progress on selenium metabolism and nutrition in human [J]. Current Biotechnology,2015,5(4):285-290.

[2] 胡婷,吴文良,赵桂慎,等. 我国富硒农产品及食品标准体系发展与展望[J]. 检测认证,2019,6(1):

- 136 – 144.
- Hu T, Wu W L, Zhao G S, et al. Development and prospect of selenium – enriched agricultural products and foods standards in China [J]. Certification Testing, 2019, 6(1): 136 – 144.
- [3] 李傲瑞, 乔新星, 赵飞飞, 等. 硒与人体健康关系研究进展[J]. 绿色科技, 2020(12): 121 – 122.
- Li A R, Qiao X X, Zhao F F, et al. Research progress on the relationship between selenium and human health[J]. Journal of Green Science and Technology, 2020(12): 121 – 122.
- [4] 张勇胜, 李仁兰, 刘妍, 等. 硒对人体健康作用的研究进展[J]. 内科, 2018, 13(4): 623 – 625.
- Zhang Y S, Li R L, Liu Y, et al. Research progress of selenium on human health[J]. Internal Medicine, 2018, 13(4): 623 – 625.
- [5] 自然资源部中国地质调查局. 中国耕地地球化学调查报告(2015年)[R]. 北京: 中国地质调查局, 2015.
- China Geological Survey, Ministry of National Resources. Geochemical survey report of cultivation land in China (2015) [R]. Beijing: China Geological Survey, 2015.
- [6] 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.
- Zhou G H. Research progress of selenium – enriched land resources and evaluation methods[J]. Rock and Mineral Analysis, 2020, 39(3): 319 – 336.
- [7] 韩笑, 周越, 吴文良. 富硒土壤硒含量及其与土壤理化性状的关系——以江西丰城为例[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(6): 1177 – 1183.
- Han X, Zhou Y, Wu W L, et al. Selenium contents of farmland soils and their relationship with main soil properties in Fengcheng, Jiangxi [J]. Journal of Agro – Environment Science, 2018, 37(6): 1177 – 1183.
- [8] 金兴钰, 王胜华, 包雨函, 等. 成都经济区土壤及经济植物硒含量特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37(3): 322 – 331.
- Jin X Y, Wang S H, Bao Y H, et al. Survey and research of selenium content in soil and economic plants from the Chengdu Economic Areas, Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37(3): 322 – 331.
- [9] 王锐, 余涛, 曾庆良, 等. 我国主要农耕地土壤硒含量分布特征、来源及影响因素[J]. 生物技术进展, 2010, 37(3): 322 – 331.
- Wang R, Yu T, Zeng Q L, et al. Distribution characteristics, origin and influencing factors of soil selenium concentration of main farming areas in China [J]. Current Biotechnology, 2010, 37(3): 322 – 331.
- [10] 姬丙艳, 沈骁, 姚振, 等. 青海柴达木盆地绿洲农业区硒地球化学特征——以诺木洪绿洲为例[J]. 物探与化探, 2020, 44(1): 199 – 206.
- Ji B Y, Shen X, Yao Z, et al. Geochemical characteristics of selenium in the oasis agricultural area of Qaidam Basin, Qinghai Province: Exemplified by Nomhon Oasis [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2020, 44(1): 199 – 206.
- [11] 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.
- Zhang L, Liu G D, Lyu S J, et al. Distribution characteristics of selenium cultivated soil and its influencing factors in Hailun County of Heilongjiang Province [J]. Geoscience, 2019, 33(5): 1046 – 1054.
- [12] 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.
- Qiao X X, Chao X, Ren R, et al. Research development and utilization of selenium rich soil of Shaanxi: A case study of Sanyuan—Yanliang area [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2020, 45(1): 230 – 238.
- [13] 张亚峰, 苗国文, 马强, 等. 青海东部碱性土壤中硒的形态特征[J]. 物探与化探, 2019, 43(5): 1138 – 1144.
- Zhang Y F, Miao G W, Ma Q, et al. Distribution characteristics of Se speciation of alkaline soil in eastern Qinghai [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2019, 43(5): 1138 – 1144.
- [14] 周小娟, 张嫣, 祝莉玲, 等. 武汉市侏儒—消泗地区农田系统中硒的分布特征及有效性研究[J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 158 – 171.
- Zhou X J, Zhang Y, Zhu L L, et al. Research on selenium distribution and effectiveness in the farm system in Zhuru and Xiaosi areas, Wuhan City [J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(4): 158 – 171.
- [15] 张立, 姜侠, 崔玉军, 等. 松嫩平原吕大火房垂直剖面中硒赋存形态及影响因素分析[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 603 – 608.
- Zhang L, Jiang X, Cui Y J, et al. Analysis on the occurrence forms of selenium of and influencing factors in Lvda huofang vertical section of Songnen Plain [J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 603 – 608.
- [16] 张百忍, 解松峰. 陕西秦巴山区不同农田农作物硒含量变化规律分析[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(10): 128 – 134.
- Zhang B R, Xie S F. Analysis of selenium concentrations in different crops and croplands in Qinba Mountain

- areas, Shaanxi Province [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(10): 128–134.
- [17] 陈清清, 张泽洲, 袁林喜, 等. 富硒西兰花中硒的赋存形态及其抗氧化性[J]. 宜春学院学报, 2020, 42(12): 90–95.
- Chen Q Q, Zhang Z Z, Yuan L X, et al. Study on the distribution and combined speciation of selenium in Se-enriched broccoli and their antioxidant activity[J]. Journal of Yichun University, 2020, 42(12): 90–95.
- [18] 卢鹏飞, 高志强, 孙敏, 等. 外源硒肥对小麦籽粒产量及植株硒元素积累的影响[J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(3): 17–22.
- Lu P F, Gao Z Q, Sun M, et al. Effects of exogenous selenium fertilizer on grain yield and selenium accumulation in wheat[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2020, 43(3): 17–22.
- [19] 成东梅, 尹国红, 赵伟峰, 等. 外源硒在绿色优质小麦生产中的应用研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(1): 20–29.
- Cheng D M, Yin G H, Zhao W F, et al. Study on the application of exogenous selenium in the production of green and high quality wheat[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 41(1): 20–29.
- [20] 袁知洋, 项剑桥, 吴冬妹, 等. 恩施富硒土壤区主要农作物硒镉特征以及和根系土硒镉关系研究[J]. 资源环境与工程, 2017, 31(6): 706–712.
- Yuan Z Y, Xiang J Q, Wu D M, et al. The characteristics of selenium and cadmium in crops and its root soil in the area of Se and Cd-enriched soil in Enshi[J]. Resources Environment & Engineering, 2017, 31(6): 706–712.
- [21] 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.
- Tang S Q, Wan N, Zeng M Z, et al. Geochemical characteristics of selenium and cadmium in soil and crops in Enshi area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(3): 607–614.
- [22] 朱帅, 沈亚婷, 贾静, 等. 液相色谱-高分辨质谱法在中国东北地区农作物有机硒形态分析中的应用[J]. 岩矿测试, 2021, 40(2): 262–272.
- Zhu S, Shen Y T, Jia J, et al. Determination of organic selenium compounds in crops by liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high-resolution mass spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(2): 262–272.
- [23] 侯青叶, 杨忠芳, 余涛, 等. 中国土壤地球化学参数[M]. 北京: 地质出版社, 2020: 26–41, 17.
- Hou Q Y, Yang Z F, Yu T, et al. Soil geochemical dataset of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2020: 26–41, 17.
- [24] 袁知洋, 许克元, 黄彬, 等. 恩施富硒土壤区绿色富硒农作物筛选研究[J]. 资源环境与工程, 2018, 32(4): 569–575.
- Yuan Z Y, Xu K Y, Huang B, et al. Screening of high quality crops in selenium rich and high cadmium soil area of Enshi[J]. Resources Environment & Engineering, 2018, 32(4): 569–575.
- [25] 李福燕, 漆智平, 李许明. 海口市农田土壤硒含量特征与农作物硒特征[J]. 土壤通报, 2016, 47(3): 630–635.
- Li F Y, Qi Z P, Li X M. Survey and research of selenium contents in farmland soil and crops of Haikou[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47(3): 630–635.
- [26] 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.
- Zhang L, Yang C M, Sun G Y, et al. Characteristics and influencing factors of selenium content of staple crops in Suihua area of Heilongjiang Province[J]. Earth and Environment, 2021, 49(5): 510–519.
- [27] 闫加力, 徐春燕, 杨军, 等. 湖北省不同农作物对土壤硒吸收富集规律的研究[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(4): 481–485.
- Yan J L, Xu C Y, Yang J, et al. Study on soil selenium absorption and enrichment of different crops in Hubei Province[J]. Resources Environment & Engineering, 2019, 33(4): 481–485.
- [28] 刘芳, 张磊, 张晓彬, 等. 威县枣园乡魏家寨村红薯中硒含量的测定[J]. 农产品加工, 2019(6): 61–65.
- Liu F, Zhang L, Zhang X B, et al. Two methods for determination of selenium content in sweet potato of Weijiazhai Village in Weixian County[J]. Farm Products Processing, 2019(6): 61–65.
- [29] 赵宇, 崔纪菡, 李顺国, 等. 不同品种(系)和地区对小米硒含量的影响[J]. 河北农业科学, 2017(4): 1–4.
- Zhao Y, Cui J H, Li S G, et al. Effects of different varieties and regions on selenium content in Foxtail Millet[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2017(4): 1–4.
- [30] 王祖伟, 李宗梅, 王景刚, 等. 天津污灌区土壤重金属含量与理化性质对小麦吸收重金属的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1406–1410.
- Wang Z W, Li Z M, Wang J G, et al. Absorption to heavy metals by wheat and influencing features in sewage-

irrigated soil in Tianjin [J]. Journal of Agro - Environment Science,2007,26(4) :1406 - 1410.

[31] 郭素霞,程志号,孙佩光,等. 海南 17a 宿根巴西蕉园土壤微生物特征及土壤 pH 周年变化特征分析[J]. 热带作物学报,2021,42(8) :2413 - 2421.

Guo S X,Cheng Z H,Sun P G,et al. Soil microbial flora and pH annual change characteristics of 17 years continuous cropping banana field in Hainan, China [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2021,42(8) :2413 - 2421.

[32] 吴小芳,张振山,范琼,等. 海南省果园土壤肥力综合评价研究 [J]. 热带作物学报, 2021, 42 (7) : 2109 - 2118.

Wu X F, Zhang Z S, Fan Q, et al. Comprehensive evaluation of soil fertility in orchards of Hainan Province [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42 (7) : 2109 - 2118.

[33] 李福燕,李许明. 海口市农用地土壤硒含量与土壤理化性质的相关性研究[J]. 安徽农业科学,2020,48 (14) :42 - 47,52.

Li F Y,Li X M. Soil selenium contents in relation to soil physicochemical properties in agricultural land of Haikou [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48 (14) :42 - 47,52.

[34] 鲁晋秀,闫秋艳,杨峰,等. 土壤硒含量显著影响黑小麦与普通小麦的硒吸收[J]. 生态环境学报,2018,27 (10) :1966 - 1971.

Lu J X,Yan Q Y,Yang F, et al. Soil selenium content affects selenium accumulation in seeds of triticale and bread wheat [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018,27(10) :1966 - 1971.

[35] 廖彪. 玉米硒含量与土壤硒含量的相关性[J]. 贵州农业科学,2021,49(1) :34 - 37.

Liao B. Correlation between corn and soil Se content [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2021,49(1) :34 - 37.

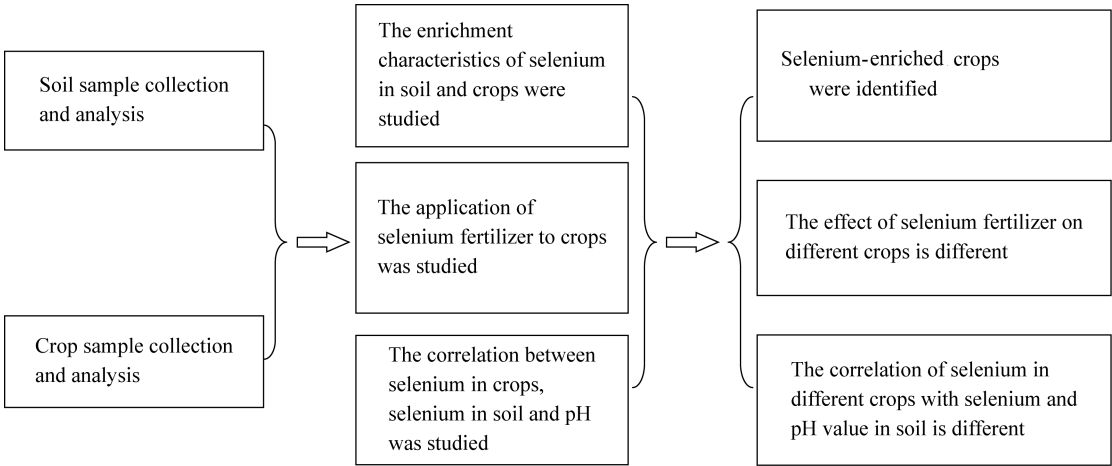
Distribution and Enrichment Characteristics of Selenium in Soil and Crops in Luoyang City, Henan Province

SONG Yanbin, WANG Xikuan*, XIA Yan, HOU Jinkai, ZHAO Rui

(No.1 Institute of Geological and Mineral Resources Survey, Henan Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Luoyang 471023, China)

HIGHLIGHTS

- (1) Beans, peanuts, rapeseed, sesame, wheat, millet and sweet potato are selenium - enriched crops in the study area, and *Stachys floridana* Schuttl. ex Benth is a selenium - enriched Chinese medicinal material. Luoyang is a favorable area for developing selenium - enriched characteristic agriculture.
- (2) Soil selenium content controls selenium content in crops. When soil selenium content does not change significantly, soil pH is the main influencing factor.
- (3) While improving the level of selenium in crops by applying selenium fertilizer, it is necessary to prevent the harm of excessive selenium by determining the level of selenium content with scientific experiments.



ABSTRACT

BACKGROUND: The analysis of selenium enrichment characteristics in various crops planted in a certain area and investigation and evaluation of selenium content in selenium fertilizer crops can provide a basis for the development of selenium – enriched characteristic agriculture. It is important to find out the influencing factors of selenium content in different crops for developing selenium – enriched agricultural products.

OBJECTIVES: To understand the distribution and enrichment characteristics of Se in soil and crops in Luoyang City.

METHODS: The selenium resources detailed investigation project area and other agricultural planting areas in Luoyang City, Henan Province were chosen as the research object. The selenium content of 22 kinds of crops and their root soil were measured by ICP – MS, and the selenium enrichment characteristics of different crops were studied.

RESULTS: The average value of soil selenium in the study area was close to the standard of selenium – enriched soil in Henan Province. The selenium – enriched sites in acidic soil, neutral soil, alkaline soil, and overall soil accounted for 28.61% , 43.72% , 41.99% , and 40.56% , respectively. According to the evaluation of selenium enrichment coefficient of various crops, the study area was suitable for the development of selenium – enriched beans, oil – bearing crops, wheat, millet, sweet potato and other characteristic crops and selenium – enriched traditional Chinese medicine *Stachys floridana* Schuttl. ex Benth, but not suitable for the development of selenium – enriched corn. The correlation of selenium content in different crops with soil selenium content and pH showed that soil selenium content was the decisive factor of selenium content in crops, followed by soil pH.

CONCLUSIONS: In order to promote the development of selenium – enriched agricultural products in the study area, selenium fertilizer can be applied to improve the selenium content of crops. Crops planted in low selenium background soil, especially fruits, are suitable for applying selenium fertilizer, while millet planted in high selenium background soil is not suitable for applying selenium fertilizer.

KEY WORDS: Luoyang; crops; selenium; enrichment factor; inductively coupled plasma – mass spectrometry