

岚皋县岩石、土壤和农产品中硒分布规律研究

张建东^{1,2}, 王 丽^{1,2}, 赫栗涛³, 刘学军⁴, 刘利民⁵, 雒昆利^{3*}

(1. 安康学院, 陕西 安康 725000; 2. 陕西省科协院士专家工作站; 3. 中国科学院地理资源与科学研究所, 北京 1001014; 4. 岚皋县农林科技局, 陕西 岚皋 725400; 5. 陕西地矿局第一地质队, 陕西 安康 725000)

摘要:【目的】探讨岚皋县岩石、土壤和农产品硒含量分布特征及其相互关系, 揭示岚皋县岩石、土壤和农产品硒的分布规律。【方法】采集岚皋县岩石、土壤和农产品样本, 测定样本中总硒含量。【结果】岚皋县岩石硒含量范围 0.006~43.38 mg kg⁻¹, 均值 4.15 mg kg⁻¹, 震旦系和寒武系地层岩石硒含量显著高于其他地层; 土壤硒含量范围 0.00007~33.4 mg kg⁻¹, 均值 0.89 mg kg⁻¹, 76.08% 的土壤面积达到富硒水平且表层土壤明显高于下层土壤; 农产品硒含量范围 0.0006~0.64 mg kg⁻¹, 均值 0.08 mg kg⁻¹, 其含量自大排依次排列为其他植物(桑葚、香椿)、药用植物、水果及坚果、茶叶、粮食、魔芋和蔬菜。【结论】土壤硒对岩石硒的继承性良好, 在相同硒含量水平的土壤上农产品硒含量按药用植物、水果及坚果、其他植物、粮食、茶叶、蔬菜和魔芋顺序依次下降, 在富硒土壤生长的同一种类农产品硒含量均值高于生长于硒不足土壤上的该种农产品。

关键词: 硒; 岩石; 土壤; 农产品; 分布规律; 岚皋县

中图分类号: S147.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2022)01-0195-09

DOI: [10.19336/j.cnki.trtb.2021060601](https://doi.org/10.19336/j.cnki.trtb.2021060601)

张建东, 王 丽, 赫栗涛, 刘学军, 刘利民, 雒昆利. 岚皋县岩石、土壤和农产品中硒分布规律研究 [J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 195-203

ZHANG Jian-dong, WANG Li, HE Li-tao, LIU Xue-jun, LIU Li-min, LUO Kun-li. Distribution Characteristics of Selenium in Rocks, Soils and Agricultural Products of Langao[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(1): 195-203

【研究意义】硒是动物和人体所必需的微量元素之一^[1], 环境中硒过量或缺乏会导致机体产生疾病。硒过量危害作物的生长发育, 降低产量, 导致动物胚胎畸形发育甚至死亡; 人体和动物缺硒可引发白肌病、大骨节病、克山病、心血管病和关节炎等多种疾病^[2-7]。目前, 硒已被世界卫生组织认定为是一种必需的微量元素, 硒代半胱氨酸被称为第 21 种必需氨基酸^[8]。在岩石—土壤—植物—动物(人)的生态系统中, 岩石圈硒经过风化作用释放到自然界, 绝大部分首先进入到土壤中, 通过植物吸收再经过食物链最终影响人体健康^[9-10]。硒在自然界中的分布比较分散, 很难单独成矿, 地壳中硒的丰度为 0.13 mg kg⁻¹^[11]。土壤中硒主要来源于成土母质, 分布极其不均, 世界土壤硒的平均含量 0.4 mg kg⁻¹, 全球 40 多个国家和地区不同程度的缺硒, 我国土壤硒的分布表现出东南和西北高、中间低的马鞍形态势, 51% 的地区缺硒或低硒^[12]。不同植物对硒的吸收积

累差别很大, 植物中硒含量水平与土壤总硒含量及其有效硒含量相关, 也与植物体种类、基因型和富硒能力等有关^[13-15]。【前人研究进展】安康是我国第二个富硒区, 享有“中国硒谷”美誉, 最早在紫阳双安发现了硒中毒症^[10,16]。雒昆利研究发现, 紫阳县双安镇闹热村硒中毒区出露的地层主要为晚震旦世和早寒武世鲁家坪组的富硒高硫黄铁矿化黑色碳质硅质板岩和黄铁矿化火山凝灰岩, 硒含量 10~56 mg kg⁻¹^[17]。南秦岭大巴山区主要分布的早古生代地层各种岩石的含硒量与岩石的岩性和形成时代密切相关, 本区所有岩石并非都富硒^[18]。张建东等^[19]探讨了安康市紫阳县土壤硒含量水平及分布特征, 均值 0.94 mg kg⁻¹, 分布不均匀, 71.7% 的土壤分布属于富硒水平, 硒中毒区域主要分布在双安镇北部和汉王镇交界处, 占 1.68%。郝栗涛等^[20]研究了岚皋 306 个土壤的含硒量, 表土中的硒含量也变化很大, 硒分布差异与基岩原始硒含量密切相关。张百忍等

收稿日期: 2021-06-07; 修订日期: 2021-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(42007283, 41877299)、安康市科研项目(AK2019NY-21)和岚皋县天然硒资源普查项目(2018AYHX034)资助

作者简介: 张建东(1981-), 男, 甘肃民勤人, 硕士, 讲师, 主要从事区域资源开发与保护研究。Email: zjd111zjd@163.com

*通讯作者: Email: luokl@igsnr.ac.cn

对^[21]安康市 10 个乡镇主要农作物富硒能力进行了比较,由高到低大致为:十字花科>茄科>禾本科>旋花科,同一地点不同作物及同一作物不同地点硒含量及富硒能力也存在一定差异。【本研究切入点】岚皋县位于陕西安康市南部,紧邻紫阳县东部,和紫阳县同处于北大巴山加里东褶皱带,有极为相似的地层、土壤和农作物种植结构,但有关岚皋环境介质中硒含量水平、分布特征及其相互关系报道很少。【拟解决的问题】岚皋县岩石—土壤—农产品系统中硒含量如何?有什么样的分布规律?是否和紫阳一样有硒中毒区域?为此本研究在岚皋县采集岩石、土壤和农产品样品,测定其中的硒含量,运用 GIS 技术绘制土壤硒含量分布图,分析岩石、土壤和农产品中硒含量特征和分布规律,探讨岩石、农产品和土壤硒的关系,为岚皋县土地资源合理开发利用和富硒农产品种植结构调整和布局等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

岚皋县位于陕西省安康市南部、巴山北麓、汉江之滨,介于 108°37'~109°10' E、31°56'~32°33' N 之间,面积 1956 km²。属于秦岭褶皱系北大巴山加里东褶皱带,红椿树—曾家坝断裂带将其分为紫阳—平利褶皱束和高滩—兵房街褶皱束两个构造单元,由于受褶皱和断层的影响,地层具有明显的多旋回发展特征,不同时期的地层沿北西—南东向(NW-SE)呈条状多次重复出现,海、陆相碎屑沉积物,河湖相松散沉积物及火山侵入体等甚至可以在微地域内交错共存,土壤母质复杂多变,其中主要是碳板岩、海相细碎屑岩和碳酸盐类,中间夹有多层的碳质岩和石煤。

研究区属亚热带大陆性季风气候,年均温 15~17℃,年均降水量 1050 mm,降水集中在 6~9 月份。山地多为黄棕壤,丘陵多为黄褐壤。主要种植水稻、玉米、豆类、油菜和小麦,盛产魔芋、中药材、茶叶、柑橘和猕猴桃等,是秦巴生物多样性生态功能区和国家南水北调中线工程重要水源涵养区。

1.2 样品采集

2018~2019 年在岚皋县分别采集了岩石、土壤、农产品和自然土壤剖面样(图 1)。土壤采样用典型加随机方法获取,在地势较平缓、土层较厚的农田

和园地,用区域布点法,按 1 km² 采集混合土样 1 份,在海拔较高、山形陡峭的林地随机采样,采集土壤样较少。土壤采集混合样,采用梅花布点法,每个土壤样都以一个中心 10 m 范围按照 S 形取 5 个小样组合而成,在各点取 0~20 cm 土壤,取得的土壤充分混合按照四分法则取 300~500 g,共采集土壤样品 527 份。选择 3 个自然土壤剖面,剖面最大深度 60 cm,从表层向下每 10 cm 采集土样 1 个,共采集 16 件。岩石样品采集按照地层取样,自北向南在新鲜出露的地层和岩浆岩中采集 54 组岩石及对应表层土壤样品。选择 113 个规模较大的农业园区采集农产品,农产品采样采用多点组合方式,每份样品选择长势旺盛的农作物 5~20 棵植株,采集新鲜、可食用果实部分,共采集农产品及对应表层土壤样品 126 组。按照陕西省地方标准(DB61/T 556—2018 富硒含硒食品与相关产品硒含量标准)中农产品分类方式将采集到的农产品分为粮食、蔬菜、水果及坚果、药用植物、其他植物 5 大类,特色农产品茶叶和魔芋单列,粮食为水稻、玉米,蔬菜为辣椒、茄子、土豆、大蒜,水果及坚果为猕猴桃、柑橘、板栗、核桃,药用植物主要有白芨、木香、芍药、栝楼、重楼、葛根、绞股蓝、黄连等 17 种,其他植物为桑葚、香椿。

1.3 样品检测

采集到的岩石用自来水、去离子水冲洗干净后,在室内晾干后,粉碎过筛至 100 目,装在密封塑料袋中保存待测。农产品样用自来水、去离子水冲洗干净后在烘干箱烘干,粉碎,装在密封塑料袋中待测。土壤样品室内晾干,用粉碎机研磨过筛至 100 目,装在塑料密封袋中待测。

处理好的样品参考国标(NY/T 1101—2006、GB/T 5009.93—2003)规定的方法测定。氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS,海光,AFS-9780)测定总硒含量。样品测定过程中通过标准物质(GBW 10010、GBW 07403)和平行样测定进行质量控制,同时做空白样测定去除试剂影响,平行样品检测的相对标准偏差小于 10%。

2 结果与分析

2.1 岩石硒含量分布特征

统计不同时代地层和岩脉岩石硒含量(表 1),硒含量范围 0.006~43.38 mg kg⁻¹,均值 4.15 mg kg⁻¹,

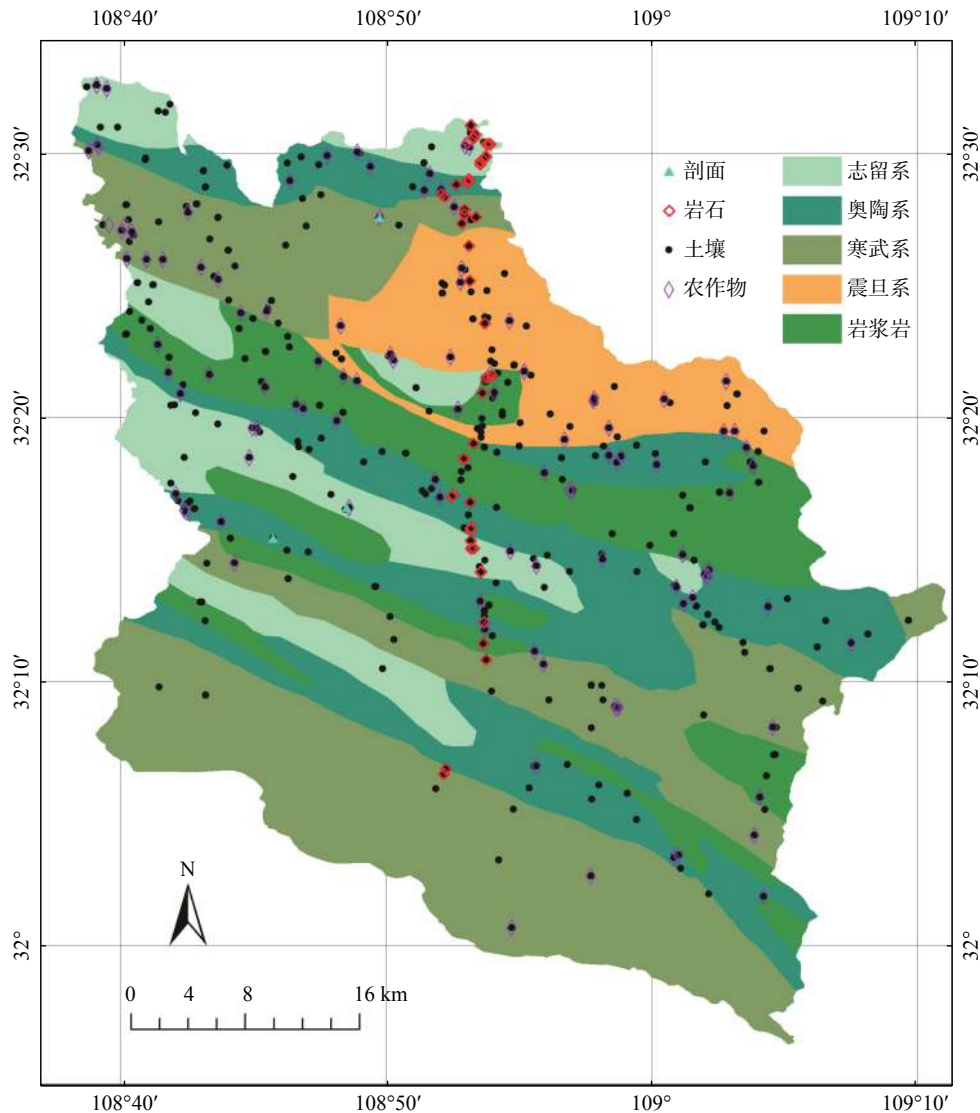


图 1 采样点分布图

Fig.1 Sampling point distribution

表 1 不同地层岩石硒含量统计特征

Table 1 Statistical characteristics of selenium content in rocks from different strata

地层/岩石 Strata/rock	样本数 Number	范围 (mg kg^{-1}) Rang	均值 (mg kg^{-1}) Mean	中值 (mg kg^{-1}) Mid	变异系数 Coefficient of variation	对应土壤硒含量均值 (mg kg^{-1}) Selenium content in soil
志留系	18	0.006-3.99	0.81±1	0.62	1.24	0.64±0.62
奥陶系	5	0.06-1.43	0.67±0.58	0.84	0.86	0.32±0.13
寒武系	18	0.03-27.56	7.40±9.72	2.48	1.31	1.94±2.22
震旦系	5	0.06-43.38	12.93±18.37	2.42	1.42	9.52±13.85
岩浆岩	8	0.09-4.26	1.04±1.49	0.41	1.43	0.95±0.73
总计	54	0.006-43.38	4.15±8.58	0.76	2.07	1.91±4.76

是地壳硒平均丰度 0.13 mg kg^{-1} 的 32 倍^[11], 但低于紫阳县岩石平均硒含量 (25.74 mg kg^{-1})^[18,22] 以及湖北恩施岩石平均硒含量 (38.02 mg kg^{-1})^[23]。变异系数 2.07, 该区地质构造、岩层的形成环境复杂多变, 不同地层和同一地层不同岩性岩石硒含量差异大, 不同地层岩石硒含量均值从大到小依次为: 震旦系、寒武系、岩浆岩、志留系、奥陶系。一系列 NW-SE

走向的震旦系和寒武系地层岩石硒含量明显高于其他地层岩石 (图 2), 面积占全县总面积的 10.52% 和 36.74%, 寒武系岩层发育齐全, 面积占比最大, 主要以板岩、硅质岩为主, 岩石富含黄铁矿、碳质或夹石煤、厚度巨大, 平均硒含量 7.4 mg kg^{-1} , 震旦系上统灯影组和陡山沱组的断裂带出现本区岩石硒含量最大值 43.38 mg kg^{-1} , 断层破碎带内及附近硒含量高。

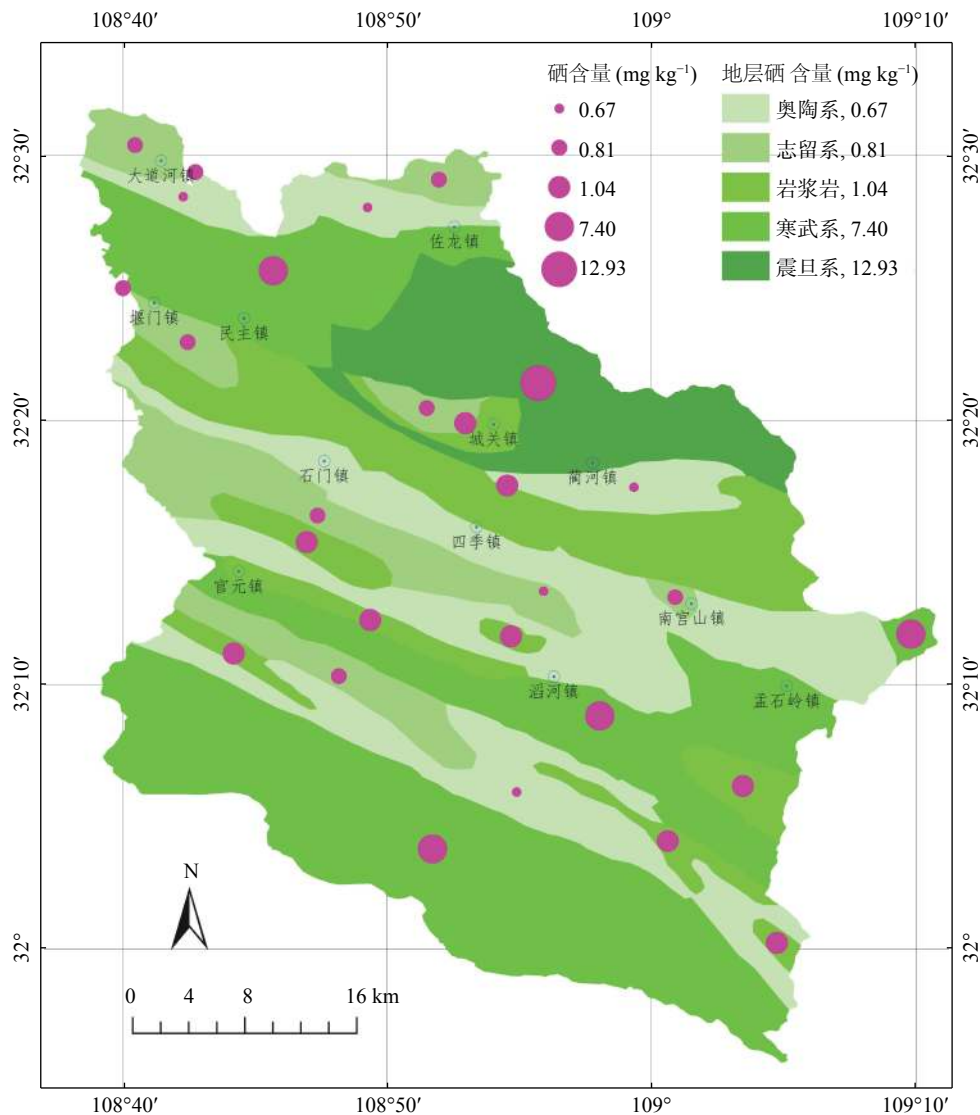


图 2 岚皋县岩石硒含量空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of selenium contents in rocks in Langao

2.2 土壤硒含量分布特征

2.2.1 土壤硒含量水平分布特征 岚皋县土壤硒含量在 0.00007 ~ 33.4 mg kg⁻¹ 之间, 变异系数 2.28, 变化幅度大, 均值 0.89 mg kg⁻¹ (表 2), 是全国土壤硒含量均值 (0.29 mg kg⁻¹) [24] 的 3.07 倍, 陕西省土壤硒含量均值 (0.118 mg kg⁻¹) [25] 的 7.54 倍, 略低于紫阳县土壤硒含量 (0.94 mg kg⁻¹) [19]。对照谭见安的划分标准 [9], 硒缺乏样品占 19.92%, 硒中毒样品占 3.42%, 30.93% 和 45.73% 土壤硒含量样品处于足硒和富硒水平。

土壤硒含量数据对数转换后符合正态分布, 在 GS + 软件中构建各向同性的变异函数及其拟合的最佳理论模型, 经分析指数模型拟合效果最佳, 块金效应 $C_0 = 0.32$, 基台值 $C_0 + C = 4.1$, 变程 (自相关距离) $R = 1800$ m, 空间异质性指数 $C_0/C_0 + C = 0.08$, 表现为强烈的空间相关性, 表明地统计学和 GIS 方法在分析和绘制土壤硒含量分布时有明显优势 [26-27], 也说明成土母质、土壤类型和结构及地形等结构性因子是引起土壤中硒空间变异的主要原因 [19,28]。

在 ArcGIS 中依据变异函数设置高级参数, 按照

表 2 土壤硒含量测定值统计特征

Table 2 Statistical characteristics of selenium contents in soils

样本数 Number	最小值 (mg kg ⁻¹) Minimum	最大值 (mg kg ⁻¹) Maximum	均值 (mg kg ⁻¹) Mean	中值 (mg kg ⁻¹) Mid	标准差 (mg kg ⁻¹) Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
527	0.00007	33.4	0.89	0.39	2.04	2.28

土壤硒含量的划分标准, 运用 OK 法模拟绘制了土壤硒含量分布图 (图 3)。岚皋县主要分布足硒和富硒土壤, 97.75% 的土壤面积处于足硒、富硒水平, 其中富硒水平土壤面积 1488.21 km², 占岚皋县总面积

的 76.08%; 硒含量超过 3 mg kg⁻¹ 的区域主要分布在佐龙镇中部和城关镇中部, 占总面积的 1.97%; 硒含量低于 0.175 mg kg⁻¹ 的土壤呈小斑块状分布在城关镇、蔺河镇和石门镇, 占总面积的 0.28%。

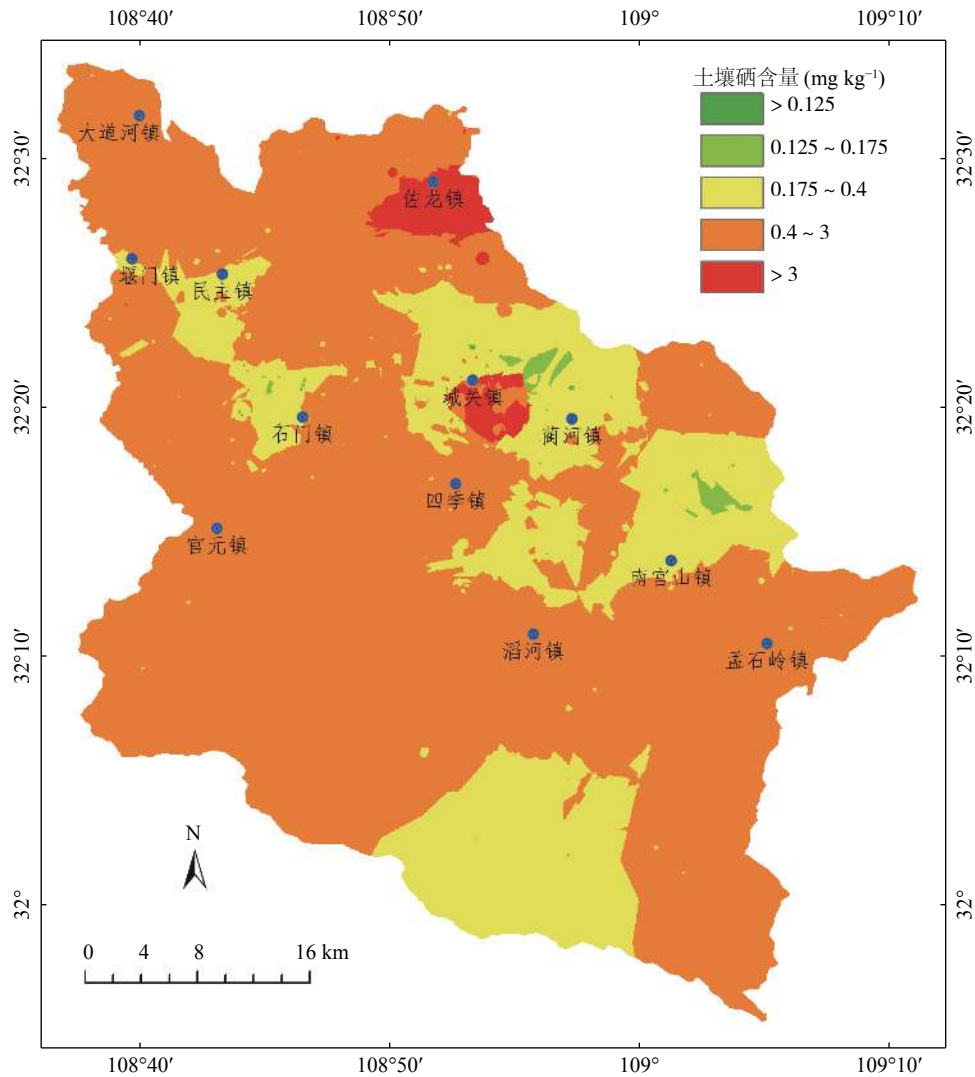


图 3 岚皋县土壤硒含量分布图
Fig.3 Distribution of selenium contents in soils in Langao

2.2.2 土壤硒含量垂直分布特征 对采集的 3 个自然土壤剖面 (ABC) 按 10 cm 土层逐层分析硒含量。图 4 表明硒在表层土壤富集明显, 且主要富集在 0~20 cm, 这与紫阳县的研究结果相一致^[29]。在自然剖面硒富集在腐殖质层, 这与岚皋县植被覆盖度高、表层土壤含有丰富的腐殖质有关, 植物根系对硒的吸收及腐殖质对硒的吸附作用可能是导致表层土壤硒含量高的主要原因^[30-31]。

2.3 农产品硒含量分布特征

农产品硒含量的测定结果列于表 3, 含量范围在 0.0006~0.64 mg kg⁻¹ 之间, 最大值小于 1 mg kg⁻¹,

无硒中毒样品出现, 硒含量的均值 0.08 mg kg⁻¹, 变异系数 1.37, 变化幅度大。农产品平均硒含量从大到小依次为其他植物 (桑葚、香椿)、药用植物、水果及坚果、茶叶、粮食、魔芋、蔬菜。

对照陕西省地方标准 (DB61/T 556—2018 富硒含硒食品与相关产品硒含量标准), 7 类农产品硒含量平均值都超过陕西省富硒食品标准, 但是同种作物在不同地区、同一地区不同作物硒含量的差异均很大; 不同农产品间的富硒率 (达到地方标准的样品数在同类作物中的比例) 差异也很大, 采集的样品中其他植物的富硒率 (达到富硒食品标准 0.02

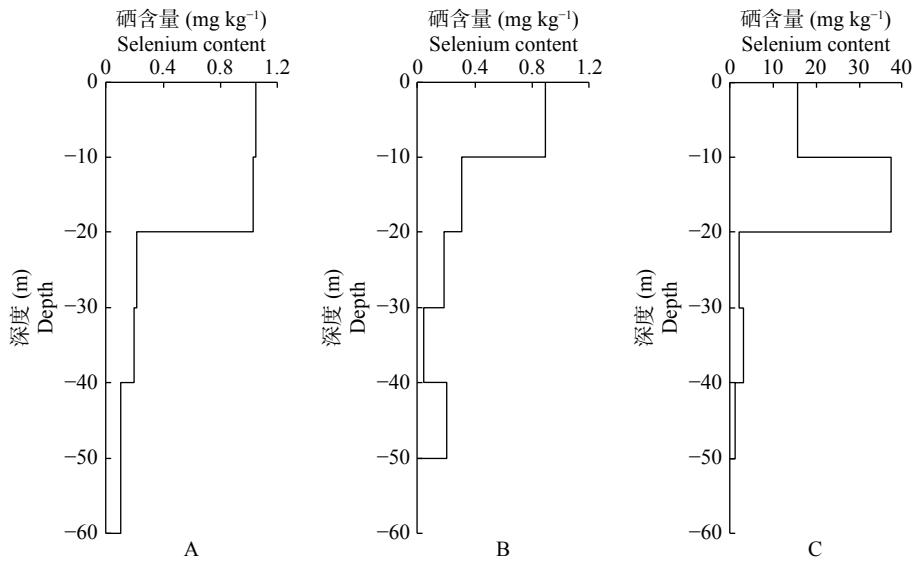


图 4 自然土壤硒含量垂直分布图

Fig.4 Vertical distribution of selenium in natural soil

mg kg^{-1}) 为 83.33%、蔬菜 80%、药用植物 76.47%、水果及坚果 68.75%、魔芋 40%，而粮食作物的富硒率（达到富硒标准 0.05 mg kg^{-1} ）和茶叶富硒率（达到富硒标准 0.15 mg kg^{-1} ）则均低于 30%。

利用富集系数（农产品硒含量/对应土壤硒含量）来反映农产品对土壤硒的富集能力，从大到小依次为药用植物、水果及坚果、其他植物、粮食、茶叶、蔬菜、魔芋。

2.4 岩石、土壤和农产品中硒含量间关系

2.4.1 岩石与土壤 在岚皋县沿着岩层变化自北向南采集不同地层的岩石及对应表层土壤 54 份，统计不同时代地层和岩脉上发育的土壤硒含量在 $0.03 \sim 33.4 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间，变异系数 2.49，均值 1.91 mg kg^{-1} ，硒含量高的寒武系和震旦系岩石发育的土壤硒含量（ $1.94 \pm 2.22 \text{ mg kg}^{-1}$ 、 $9.52 \pm 13.85 \text{ mg kg}^{-1}$ ）也明显高于其他地层（表 1），说明岚皋县土壤硒含量表现出良好的继承性，母质是自然土壤硒最主要

的来源^[18,20,32]。

对照岚皋县地质分布图和土壤硒含量分布图，志留系下统斑鸠关组、陡山沟组，寒武系下统鲁家坪组、箭竹坝组和震旦系含碳较高的黑色岩系分布和富硒及以上土壤的分布是一致的，这些黑色岩系的主要组成物质以晚前寒武纪—早古生代地层中海相的碳质板岩、碳硅质岩、碳酸岩和页岩为主，中间夹有多层的石煤、黄铁矿和碳质岩，说明晚前寒武纪—早古生代地层的海相黑色含碳岩系是岚皋县富硒土壤中硒的主要来源，也是控制土壤中硒分布的主要因素^[18,32-34]。

2.4.2 农产品与土壤 农产品对应表层土壤硒含量在 $0.12 \sim 5.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间，均值 0.55 mg kg^{-1} （表 3），对农产品和对应表层土壤样品硒含量分别进行相关分析，整体在 0.01 水平极显著相关，其中其他植物和药用植物硒含量和对应土壤硒含量在 0.01 水平下极显著相关，粮食和对应土壤硒含量在 0.05 水平显著

表 3 农产品硒含量统计特征

Table 3 Statistical characteristics of selenium content in agricultural products

农产品类 Agricultural product	范围 Range (mg kg^{-1})	均值 Mean (mg kg^{-1})	中指 Mid (mg kg^{-1})	变异系数 Coefficient of variation	富硒率 Selenium enrichment (%)	对应土壤硒含量均值 Selenium content in soil (mg kg^{-1})	富集系数 Enrichment coefficient
粮食	0.002 ~ 0.27	0.06 ± 0.10	0.03	1.65	28.57	0.49 ± 0.37	0.12
蔬菜	0.003 ~ 0.04	0.02 ± 0.01	0.02	0.55	80.00	0.30 ± 0.15	0.08
水果及坚果	0.01 ~ 0.54	0.09 ± 0.13	0.03	1.52	68.75	0.47 ± 0.16	0.19
茶叶	0.008 ~ 0.24	0.07 ± 0.07	0.04	0.97	19.23	0.77 ± 1.15	0.09
魔芋	0.003 ~ 0.09	0.02 ± 0.02	0.01	1.07	40.00	0.37 ± 0.20	0.06
药用植物	0.0006 ~ 0.64	0.10 ± 0.13	0.05	1.29	76.47	0.51 ± 0.37	0.19
其他植物	0.01 ~ 0.47	0.10 ± 0.18	0.04	1.73	83.33	0.84 ± 1.11	0.12
总计	0.0006 ~ 0.64	0.08 ± 0.11	0.04	1.37	56.62	0.55 ± 0.64	0.15

相关, 其它农产品与对应土壤硒含量无显著统计关系。

126 组数据中, 土壤硒含量 $> 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ 样品数占 44.44%, 对应农产品平均硒含量 0.12 mg kg^{-1} ; 硒

含量 $\leq 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ 土壤样品数占 55.56%, 对应农产品平均硒含量 0.04 mg kg^{-1} (表 4)。

表 4 不同土壤硒含量对应农产品硒含量
Table 4 Different soil selenium contents corresponding to agricultural product selenium contents

农产品类 Agricultural product	土壤硒含量 $> 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ Selenium content in soil $> 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$		土壤硒含量 $\leq 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ Selenium content in soil $\leq 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$	
	土壤硒含量 (mg kg^{-1}) Selenium content in soil	农产品硒含量 (mg kg^{-1}) Selenium content in agricultural product	土壤硒含量 (mg kg^{-1}) Selenium content in soil	农产品硒含量 (mg kg^{-1}) Selenium content in agricultural product
粮食	0.8 ± 0.24	0.04 ± 0.13	0.27 ± 0.04	0.02 ± 0.06
蔬菜	0.54 ± 0	0.03 ± 0	0.24 ± 0.04	0.02 ± 0.06
水果及坚果	0.57 ± 0.11	0.13 ± 0.11	0.32 ± 0.04	0.03 ± 0.05
茶叶	1.28 ± 0.88	0.09 ± 0.14	0.26 ± 0.06	0.04 ± 0.05
魔芋	0.59 ± 0.12	0.02 ± 0.11	0.26 ± 0.06	0.02 ± 0.05
药用植物	0.79 ± 0.36	0.15 ± 0.14	0.29 ± 0.05	0.06 ± 0.05
其他植物	1.86 ± 0.57	0.26 ± 0.17	0.32 ± 0.02	0.02 ± 0.03
总计	0.88 ± 0.84	0.12 ± 0.14	0.28 ± 0.07	0.04 ± 0.05

从表 4 可以看出, 当土壤硒含量 $> 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$, 7 类农产品硒含量均高于土壤硒含量 $\leq 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ 中生长的该类农产品。

3 讨论

最早发现硒中毒在陕西省安康市紫阳县, 在紫阳县开展了较多的硒资源调查工作, 相关研究报道较多。岚皋县紧邻紫阳县、位于紫阳县东部, 两县同处于北大巴山加里东褶皱带, 有极为相似的地层、土壤和农作物种植结构, 通常认为都在富硒带上。本文研究结果表明岚皋县各地层岩石硒含量低于紫阳县, 土壤硒含量略低于紫阳县, 且存在硒中毒区域 (土壤硒含量 $> 3 \text{ mg kg}^{-1}$)。土壤硒含量有良好的成土母质继承性, 在硒含量大于 0.4 mg kg^{-1} 的土壤上生长的农产品硒含量、富硒食品达标率明显高于硒含量低于 0.4 mg kg^{-1} 土壤。农产品硒含量调查中没有采用以前单独品种调查, 本文按照陕西省地方标准 (DB61/T 556—2018 富硒含硒食品与相关产品硒含量标准) 中农产品分类方式将采集到的农产品分为 5 类, 并结合岚皋县产业发展特色, 将魔芋和茶叶单列。在分析土壤和农产品硒含量关系时, 农产品硒含量的累计与土壤总硒含量有关, 与土壤理化性质、有效硒含量、植物体种类、基因型和富硒能力等也有关系^[13-15], 并且植物土壤硒含量是各种形态硒的总和, 包括多种形态, 它同植物的吸收有着显著的关系, 所以土壤中植物可利用的有效硒含量以及植物对有效硒的吸收利用机制需要进一步分析研究。

4 结论

采集岚皋县岩石、土壤、农产品样本, 对硒含量分布特征进行研究, 所得结论如下:

(1) 县域内岩石硒含量变幅大, 震旦系和寒武系地层岩石硒含量明显高于其他地层岩石, 最高值出现在断层破碎带内, 但岩石硒含量均值低于相邻的紫阳县岩石平均硒含量。

(2) 土壤硒含量均值高于全国和陕西省均值, 略低于紫阳县; 县域内土壤硒含量变化大, 76.08% 和 1.97% 的土壤面积分别处于富硒和硒中毒状态, 且硒在表层土壤富集明显。

(3) 农产品硒含量从大到小依次为其他植物 (桑葚、香椿)、药用植物、水果及坚果、茶叶、粮食、魔芋和蔬菜。采样分析的 7 类农产品硒含量均值都超过陕西省富硒食品标准, 无硒中毒样品出现; 但同种农产品在不同地区、不同农产品在同一地区硒含量差异很大, 致使县域内不同农产品的富硒率也相差较大。

(4) 土壤硒含量水平与当地成土母质 (岩) 关系较密切, 总体上母质硒含量高的地区土壤硒含量也较高。

(5) 农产品富集土壤硒的能力从强到弱依次为药用植物、水果及坚果、其他植物、粮食、蔬菜、茶叶和魔芋; 生长在土壤硒含量 $> 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ 的农产品硒含量均高于在土壤硒含量 $\leq 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ 生长的该类农产品, 因此, 在硒含量 0.4 mg kg^{-1} 以上的土壤上优先种植富硒农作物是生产富硒农产品的关键措施。

参考文献:

- [1] Khan K U, Zuberi A, Fernandes J B K, et al. An overview of the ongoing insights in selenium research and its role in fish nutrition and fish health[J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 2017, 43(6): 1689 – 1705.
- [2] 谭见安. 环境生命元素与克山病[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996.
- [3] 李家熙, 张光弟, 葛晓立. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [4] Lv Y, Yu T, Yang Z, et al. Constraint on selenium bioavailability caused by its geochemical behavior in typical Kaschin–Beck disease areas in Aba, Sichuan Province of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 493: 737 – 749.
- [5] Shi Z, Pan P, Feng Y, et al. Environmental water chemistry and possible correlation with Kaschin-Beck Disease (KBD) in northwestern Sichuan, China[J]. *Environment International*, 2017, 99: 282 – 292.
- [6] Rayman M P. The importance of selenium to human health[J]. *Lancet (London, England)*, 2000, 356(9225): 233 – 241.
- [7] Mombo S, Schreck E, Dumat C, et al. Bioaccessibility of selenium after human ingestion in relation to its chemical species and compartmentalization in maize[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2016, 38(3): 869 – 883.
- [8] Hosnedlova B, Kepinska M, Skalickova S, et al. A summary of new findings on the biological effects of selenium in selected animal species —A critical review[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(10): 2209.
- [9] 谭见安, 苏映平. 中华人民共和国地方病及其环境地图集[M], 北京: 科学出版社, 1989.
- [10] Wang, J, Li H R, Yang L S, et al. Distribution and translocation of selenium from soil to highland barley in the Tibetan Plateau Kashin-Beck disease area[J]. *Environ Geochem Health*, 2017, 39(1): 221 – 229.
- [11] Wedepohl K H. The composition of the continental crust[M]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(7): 1217 – 1232.
- [12] Dinh Q T, Cui Z W, Huang J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review[J]. *Environment International*, 2018, 112: 294 – 309.
- [13] 梁东丽, 彭 琴, 崔泽玮, 等. 土壤中硒的形态转化及其对有效性的影响研究进展[J]. *生物技术进展*, 2017, 7(5): 374 – 380.
- [14] Dinh Q T, Wang M K, Tran T A T, et al. Bioavailability of selenium in soil-plant system and a regulatory approach[J]. *Critical Reviews in Environmental science and technology*, 2019, 49(6): 443 – 517.
- [15] Ulah H, Liu G J, Yousaf B, et al. Developmental selenium exposure and health risk in daily foodstuffs: A systematic review and meta-analysis[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 149(3): 291 – 306.
- [16] 梅紫青. 我国发现的两个高硒区[J]. *中国地方病学杂志*, 1985, (4): 61 – 66.
- [17] 雒昆利. 陕南硒中毒区地层时代的厘定[J]. *地质论评*, 2003, (4): 383 – 388.
- [18] 雒昆利, 潘云唐, 王五一, 等. 南秦岭早古生代地层含硒量及硒的分布规律[J]. *地质论评*, 2001, 47(2): 211 – 217.
- [19] 张建东, 王 丽, 王浩东, 等. 紫阳县土壤硒的分布特征研究[J]. *土壤通报*, 2017, 48(6): 1404 – 1408.
- [20] Hao L T, Zhang J, Zhang S, et al. Distribution characteristics and main influencing factors of selenium in surface soil of natural selenium-rich area: A case study in Langao County, China[J]. *Environmental geochemistry and health*, 2020, 43(3): 333 – 346.
- [21] 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.
- [22] 田 欢. 典型富硒区岩石—土壤—植物中硒的赋存状态及环境行为研究[D]. 中国地质大学, 2017.
- [23] 郑宝山, 周怀阳. 鄂西的富硒碳质硅质岩与地方性硒中毒[J]. *科学通报*, 1992, 25(11): 1027 – 1029.
- [24] Pan Z P, He S L, Li C J, et al. Geochemical characteristics of soil selenium and evaluation of Se-rich land resources in the central area of Guiyang City, China[J]. *Acta Geochimica*, 2017, 36(2): 240 – 249.
- [25] 陈代中. 陕西地区土壤中的硒[J]. *土壤学报*, 1984, 21(3): 245 – 256.
- [26] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [27] 汤国安, 杨 昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006, 363 – 428.
- [28] Matos R P, Lima V, Windmüller C C, et al. Correlation between the natural levels of selenium and soil physicochemical characteristics from the Jequitinhonha Valley (MG), Brazil[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, 172: 195 – 202.
- [29] 赵成义, 任景华, 薛澄泽. 紫阳富硒区土壤中的硒[J]. *土壤学报*, 1993, 30(3): 253 – 259.
- [30] 邵 亚. 桂林富硒长寿区小流域地理环境中硒分布特征、控制因素及其生态效应[D]. 华中农业大学, 2019.
- [31] 宋晓珂, 李宗仁, 王金贵. 青海东部农田土壤硒分布特征及其影响因素[J]. *土壤*, 2018, 50(4): 755 – 761.
- [32] 李永华, 王五一, 雒昆利, 等. 大巴山区土壤中的硒和氟[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 61 – 67.
- [33] 温汉捷, 裘愉卓, 凌宏文, 等. 中国早古生代若干高硒黑色岩系中层状硅质岩的地球化学特征及其成因意义[J]. *沉积学报*, 2003, 21(4): 619 – 626.
- [34] Luo K L, Xu L R, Tan J A, et al. Selenium source in the selenosis area of the daba region, South Qinling Mountain, China[J]. *Environmental Geology*, 2004, 45(3): 426 – 432.

Distribution Characteristics of Selenium in Rocks, Soils and Agricultural Products of Langao

ZHANG Jian-dong^{1,2}, WANG Li^{1,2}, HE Li-tao³, LIU Xue-jun⁴, LIU Li-min⁵, LUO Kun-li^{3*}

(1. Ankang University, Ankang 725000, Shaanxi, China; 2. Academician and Expert Workstation of Shaanxi, Ankang 725000, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources research, CAS, Beijing 100101, China; 4. Langao Bureau of

Agriculture, Forestry and technology, Langao 725400, China; 5. First Geological Team of Shaanxi Geology and

Mineral Resources Bureau, Ankang 725000, China)

Abstract: [Objective] The selenium contents in rocks, soils and agricultural products in Langao were discussed and their distribution characteristics and relationships were analyzed. [Method] Samples of rocks, soil and agricultural products in Langao were collected and the total selenium contents in the samples were determined. [Result] The results showed that the selenium contents in Langao rocks ranged from 0.006 to 43.38 mg kg⁻¹, with an average of 4.15 mg kg⁻¹. The selenium contents in Sinian and Cambrian strata were significantly higher than those in other strata. The selenium contents in soil ranged from 0.00007 to 33.4 mg kg⁻¹, with an average of 0.89 mg kg⁻¹. The percentage of soil enriching selenium was up to 76.08%, and selenium contents in surface soil was obviously higher than that in sub soil. The contents of selenium in crops ranged from 0.0006 to 0.64 mg kg⁻¹, with an average of 0.08 mg kg⁻¹. The order of selenium contents in crops from high to low was other plants (mulberry, toona sinensis), medicinal plants, fruits, tea, grain, konjac and vegetables in turn. [Conclusion] Selenium in soil showed good inheritance to rock selenium. The order of selenium contents in crops which planted on the same selenium content was from high to low for medicinal plants, fruits, other plants, grain, tea, vegetables and konjac. The average selenium content in crops grown in rich selenium soil was higher than that of in poor selenium soil. vegetables and konjac. The average selenium content in crops grown in rich selenium soil was higher than that of in poor selenium soil.

Key words: Selenium; Rock; Soil; Agricultural product; Distribution characteristics; Langao

[责任编辑: 张玉玲]