

doi: 10. 11720/wtyht. 2021. 2546

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. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2021. 2546](http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.2546)

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 and Geochemical Exploration, 2021, 45(1): 230–238. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2021. 2546](http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.2546)

# 陕西关中富硒土壤研究及开发利用 ——以三原—阎良地区为例

乔新星<sup>1,2</sup>, 晁旭<sup>2</sup>, 任蕊<sup>1,2</sup>, 张继军<sup>1,2</sup>, 胡奎<sup>1,2</sup>, 李傲瑞<sup>1,2</sup>, 张志敏<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省水工环地质调查中心, 陕西 西安 710068; 2. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 通过对三原—阎良地区土壤与农作物采样分析研究,发现该地区土壤环境总体清洁,足硒—富硒土壤占调查区总面积的 94.62%,富硒土壤分布广,具备了开发富硒农产品的基本土壤条件;大宗粮食作物均达富硒水平,其中油菜富硒率 100%,小麦富硒率 99.4%,玉米富硒率 88.1%,大部分蔬菜也都达到了富硒蔬菜的标准,适合种植富硒大宗粮食作物和蔬菜;农作物硒与土壤硒整体相关性较好,玉米硒含量与根系土硒含量相关系数为 0.788,小麦硒含量与根系土硒含量相关系数为 0.612,富硒产业发展前景好。三原—阎良地区是陕西省关中地区重要的粮食、蔬菜产地,建议选择示范点开展富硒农产品种植试点,为关中地区富硒资源开发利用提供科学依据,在此基础上打造建设一批富硒粮食、蔬菜产业基地,更好地支撑服务乡村振兴战略和精准脱贫攻坚战。

**关键词:** 三原—阎良地区;富硒土壤;富硒农产品;开发利用;乡村振兴

**中图分类号:** P632

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000–8918(2021)01–0230–09

## 0 引言

硒作为人体必需的微量元素,因其可提高动物体免疫功能和刺激蛋白、抗体的产生及特殊的抗氧化、抗癌、解毒作用而备受关注,科学补硒可以预防高血压、克山病等多种疾病<sup>[1–3]</sup>。随着人们对硒的认识,富硒农产品也逐步热销,极大地提高了农产品的附加值<sup>[4–7]</sup>。研究表明,植物中的硒主要来源于土壤,并经食物链进入人体,土壤硒含量、形态转化等影响到作物对土壤硒的吸收富集并最终影响人体健康<sup>[2]</sup>,因此研究土壤硒含量、赋存形态、迁移转化及其影响因素等具有重要意义。

在三原—阎良地区开展了土壤和农作物样品系

统采集分析,查明了区内富硒土壤和富硒农作物分布情况,提出了富硒农作物种植示范基地建设建议,以期富硒资源开发利用、种植结构调整与富硒产业发展提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区地处关中平原腹地,位于泾渭冲积平原区,行政区划涉及三原、阎良等县,是陕西省重要的粮食、蔬菜基地,调查面积约 1 255 km<sup>2</sup>。研究区属暖温带大陆性季风气候,四季分明,气候温和,多年平均气温为 12 ~ 13℃,多年平均降水量 550 ~ 750 mm。区内土地利用比较单一,主要以农用地为主。区内交通条件较好,铁路纵横交错,高速公路、一级

**收稿日期:** 2019-11-19; **修回日期:** 2020-07-16

**基金项目:** 陕西省公益性地质调查项目“关中—天水经济区(关中盆地)富硒区地球化学调查与评价”(121201011000150023)和“陕西省富硒农作物种植示范基地建设”(20170109)

**作者简介:** 乔新星(1989-),男,工程师,主要从事区域地质、农业地质调查研究工作。Email:dbxxqz@163.com

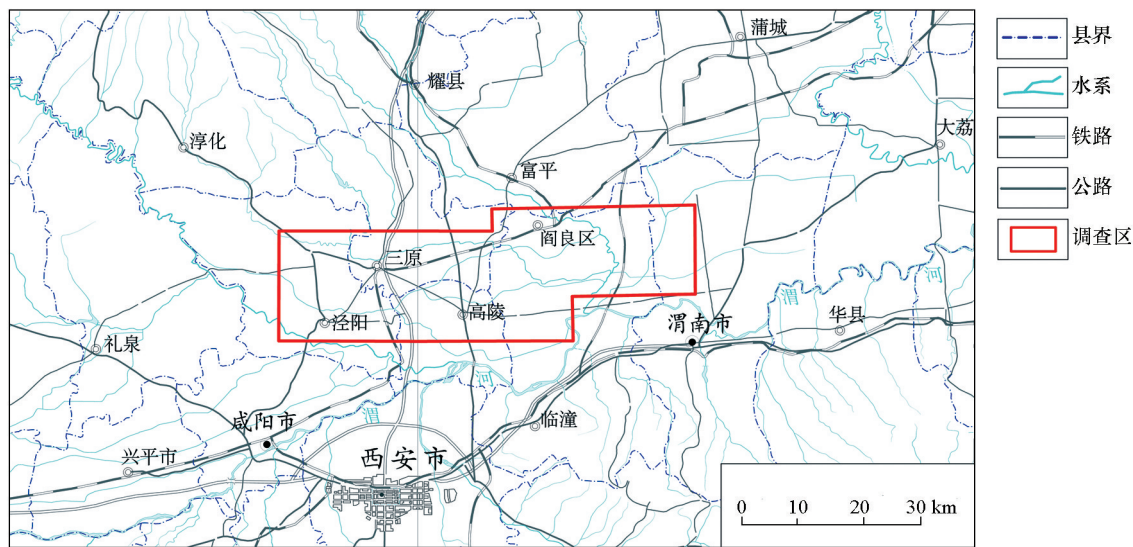


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location map of the study area

公路四通八达,为富硒土壤资源开发利用提供了有利条件(图 1)。

研究区以全新统冲积层为主,包括现代河床冲积层及其下部冲积层,主要成分为浅黄褐色砂质黏土、黏质砂土、夹粉砂土、砂砾层等,此外见少量未分更新统风成黄土、上更新统风积层(马兰黄土)。区内土壤类型以壤土为主,黄绵土、新积土次之,其中壤土熟化程度高,疏松易耕,适耕时间长,保水、保肥能力好,土壤矿物质丰富,肥力较高,是适宜农业发展的优质土类<sup>[8]</sup>。

2 研究方法

2.1 样品采集与分析测试

区域调查土壤样品采样密度为 4 件/km<sup>2</sup>,采样深度为 0~0.2 m,采样方法为多坑组合法,样品质量 1 kg,共采集表层土壤样品 5 022 件。根据区内农作物类型、土壤类型、土地利用类型分布和土壤硒区域分布采集作物样,在作物采样田块按照梅花形法或交叉点法,采集大宗农作物小麦、玉米、油菜籽的籽实以及芹菜、白菜、大蒜等蔬菜样品,采样时避开株体过大或过小、遭受病虫害或机械损伤以及田边路旁的植株。作物样品质量大于 500 g,共采集 845 件样品。在采集农作物样品的同时采集相同点位的根系土样品,样品质量 1 kg。

土壤样经自然风干,用木棒压碎团块,过 20 目尼龙筛后,提取 500 g 送实验室分析。植物样洗净晾干,去掉非食用部分后剁碎或组织捣碎机捣碎,称取适量试样,加硝酸浸泡过夜,再加双氧水,盖好内

盖,旋紧外套,放入微波消解仪器内消解 3~4 h 后,取出冷却,转移溶液,稀释至一定体积进行分析。

样品分析由自然资源部西安矿产资源监督检测中心承担。土壤样品采用原子荧光光谱法(AFS)测定 Se、As、Hg,采用 X 射线荧光光谱法(XRF)测定 Cr、Cu、P、Pb、S、Zn、TF<sub>e2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O,采用等离子体发射光谱法(ICP-AES)测定 MgO、CaO,采用氧化还原容量法(VOL)测定 N、Corg,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Cd、Mo、Co、Ni,采用离子选择性电极法(ISE)测定 F、pH 等共计 29 项元素。土壤水溶态、离子交换态、碳酸盐结合态、铁锰结合态、强有机结合态、残渣态硒含量采用等离子体发射光谱法(ICP-AES)测定。植物样品采用原子荧光光谱法(AFS)分析 Se、As、Sb、Hg,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Cd、Co、Cr、Cu、Ni、Pb,采用离子选择性电极法(ISE)测定 F。测试过程中随机加入 4 个国家一级标准物(GBW07423、GBW07430、GBW07446、GBW07429)控制分析质量,所有样品的报出率为 100%,准确度和精密度监控样合格率达 98%以上。

2.2 富硒土壤分级标准

硒在地壳中的丰度为 0.13×10<sup>-6</sup><sup>[9]</sup>,全国土壤 A 层和 C 层背景值分别为 0.290×10<sup>-6</sup>、0.246×10<sup>-6</sup>,陕西省土壤 A 层和 C 层背景值分别为 0.115×10<sup>-6</sup>、0.061×10<sup>-6</sup><sup>[10-11]</sup>,由陕西省已完成的多目标区域地球化学调查区硒元素地球化学统计及富硒农作物生态效应验证,参照《土地质量地球化学评价规范》、土壤硒含量划分标准与不同硒景观区划分标准<sup>[12-13]</sup>,综合考虑调查区土壤 pH 值及植物样品硒

含量等实际情况,本次工作把土壤 Se 含量大于  $0.2 \times 10^{-6}$  的土壤称为富硒土壤,把土壤硒含量小于等于  $0.2 \times 10^{-6}$  的土壤称为低硒土壤<sup>[14]</sup>。

3 结果讨论

3.1 土壤肥力及土壤环境质量评价

土壤肥力是土壤的基本属性,是土壤为植物生长供应和协调养分、水分、空气和热量的能力,包括水分、养分、空气和温度 4 大肥力因素,土壤肥力指标一般包括土壤环境条件、土壤物理性状、土壤养分(有机质、全氮、全磷、全钾)储量指标、养分有效态等<sup>[15]</sup>。作为土壤肥力的重要组成部分,土壤养分的

丰缺程度及其供应能力直接影响作物的生长发育和产量。本次工作按照《土地质量地球化学评价规范》要求,依据土壤中氮(N)、磷(P)、钾(K)、有机质等指标的含量水平和丰缺分级标准,评价三原—阎良地区土壤肥力,结果见表 1。由表 1 可知,三原—阎良地区土壤中必需大量元素含量总体较富足,C、Ca、Mg、S 含量以丰富为主,其中 Ca、Mg、S 的丰富和较丰富级土壤占全区的 100%,有机质和 K 含量以较丰富为主,N、P 的含量以中等为主。

根据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018),按照土壤 pH 值选择 Cd、Hg、As、Pb 和 Cr 相应的风险筛选值及风险管制值评价土壤环境质量。由表 2、图 2 可知,三原

表 1 三原—阎良地区肥力评价结果统计  
Table 1 Statistics on soil fertility in Sanyuan-Yanliang area

元素	一等(丰富)		二等(较丰富)		三等(中等)		四等(较缺乏)		五等(缺乏)	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
N					825.62	65.79	417.87	33.30	11.40	0.91
P			31.39	2.50	1033.27	82.34	190.23	15.16		
K			1219.06	97.14	35.83	2.86				
有机质	134.48	10.72	786.61	62.68	329.87	26.29	3.92	0.31		
C	1185.54	94.47	68.78	5.48	0.57	0.05				
Ca	661.29	52.70	593.60	47.30						
Mg	979.85	78.08	275.05	21.92						
S	1231.84	98.16	23.05	1.84						

表 2 三原—阎良地区土壤环境质量评价结果  
Table 2 Results of soil environmental quality assessment in Sanyuan-Yanliang area

元素	一等(无风险) $C_i \leq S_i$		二等(风险可控) $S_i < C_i \leq G_i$		三等(风险较高) $C_i > G_i$	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
Cd	1245.190	99.227	9.582	0.764	0.120	0.010
Hg	1254.892	100	0	0	0	0
As	1254.892	100	0	0	0	0
Pb	1254.892	100	0	0	0	0
Cr	1254.830	99.995	0.062	0.005	0	0
综合等级	1245.128	99.222	9.644	0.769	0.120	0.010

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; 综合等级等同于单元素划分出的环境等级最差的等级。

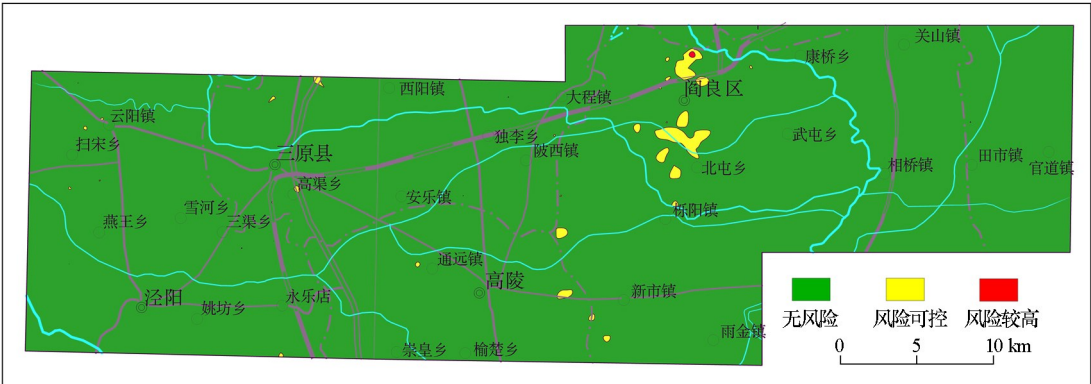


图 2 三原—阎良地区土壤环境质量综合评价  
Fig. 2 Comprehensive evaluation map of soil environmental quality in Sanyuan-Yanliang area



—阎良地区土壤基本清洁,无风险土壤面积占全区面积的 99.222%;风险可控土壤面积占全区面积的 0.769%,超标元素主要为 Cd;风险较高土壤仅占全区面积的 0.010%,超标元素为 Cd,主要分布在城镇人口密集区,推测与工业加工或人为活动关系密切。

3.2 土壤硒含量及其分布特征

根据三原—阎良地区土地质量地球化学调查与评价结果,结合本次富硒土壤定义可知,三原—阎良地区以富硒土壤为主,占研究区总面积 95.04%,其中硒含量为 $(0.2\sim0.3)\times10^{-6}$  的土壤面积为 850.98 km<sup>2</sup>,占全区的 67.81%,在区内广泛分布;硒含量大于 $0.4\times10^{-6}$  的土壤面积为 76.55km<sup>2</sup>,占全区的 6.10%,主要分布在三原县高渠乡、泾阳县南部、新

市镇及相桥镇—田市镇一带;硒含量为 $(0.3\sim0.4)\times10^{-6}$  的土壤占 21.13%,主要分布在硒含量大于 $0.4\times10^{-6}$  的土壤周边,在该区中部也有零散分布;低硒土壤面积较小,仅占全区的 4.96%,在研究区周边零散分布(表 3)。此外,研究区表层土壤 Se 含量为 $(0.023\sim3.060)\times10^{-6}$ ,背景值为 $0.267\times10^{-6}$ ,土壤 Se 含量分别是关中地区土壤 Se 背景值 $0.164\times10^{-6}$  的 1.63 倍,陕西省土壤 Se 背景值 $0.115\times10^{-6}$  的 2.32 倍<sup>[16]</sup>,富硒程度优势明显,结合土壤肥力、土壤环境评价结果可知,三原—阎良地区土壤总体非常清洁,清洁土壤面积占全区面积大于 99%,具备了开发绿色安全富硒食品的土壤环境条件。

表 3 三原—阎良地区土壤 Se 元素含量统计  
Table 3 Statistics of Se element content in soil in Sanyuan-Yanliang region

元素	富硒						低硒	
	$>0.4\times10^{-6}$		$0.3\times10^{-6}<\text{Se}\leq0.4\times10^{-6}$		$0.2\times10^{-6}<\text{Se}\leq0.3\times10^{-6}$		$\leq0.2\times10^{-6}$	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
Se	76.55	6.10	265.11	21.13	850.98	67.81	62.25	4.96

3.3 土壤 pH 值、有机质含量与分布

大量研究表明,土壤 Se 有效性与土壤 pH 值、有机质等理化性质密切相关。调查结果显示区内表层土壤 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。一般认为碱性土壤中 Se 主要以硒酸盐形态存在,有效性很高<sup>[17]</sup>,因此,三原—阎良地区碱性土壤有利于植物对土壤 Se 的吸收利用。

此外,由表 1 可知区内表层土壤有机质丰缺等级以二级和三级为主,一级次之,四级分布较少,土壤有机质含量总体丰富。对区内土壤有机质与土壤全量 Se 进行相关性计算可知 $r=0.355$ ,二者呈显著相关关系( $P<0.01$ )。土壤有机质对土壤 Se 的吸附和固定起重要作用,除成土母质的影响,土壤有机质可能是土壤硒含量最重要的影响因素。通常有机质含量越高的土壤对 Se 的吸附能力越强,土壤中 Se 的含量也相对较高<sup>[18]</sup>,其原因可能是土壤有机质具有一定的活化作用将非有效态硒活化为有效态硒,也有可能在微生物生理代谢活动过程中影响着硒形态的转化,分解出一部分有效态硒<sup>[19]</sup>。也有研究认为表层土壤的 Se 有 80%以上是有机质相结合的<sup>[20]</sup>。

3.4 农作物富硒率评价

3.4.1 农作物硒含量与富硒率

依据中国富硒食品硒含量行业标准(HB001/T—2013)统计农作物富硒率,各类作物硒含量最小

值、最大值、平均值、中位数、富硒样品数及富硒率结果见表 4。由表可知,研究区大宗作物小麦、油菜、玉米富硒率都很高,其中油菜样品富硒率 100%,小麦样品富硒率 99.4%,玉米样品富硒率 88.1%,富硒能力为小麦>油菜籽>玉米,大宗作物的富硒能力相差不大。但不同蔬菜的富硒能力差异大,大蒜富硒能力最强,富硒率达 100%,大葱、芹菜、白萝卜、豆角、白菜均达到富硒标准,富硒率大于 50%,花白、辣椒、菜花也达到富硒标准,但富硒率为 30%~50%,黄瓜、西红柿、茄子的硒含量平均值未达到富硒标准,富硒率也较低,各类蔬菜富硒能力见图 3。上述农作物的富硒能力集中体现了三原—阎良地区有发展富硒产业的前途,明确了适合大力推广种植的富硒农作物和蔬菜种类。

3.4.2 农作物与土壤硒相关性

有研究表明,农作物硒含量与土壤硒含量呈正相关关系,土壤硒含量及其存在形态直接影响农作物硒含量及其对硒的吸收和迁移转化<sup>[21-24]</sup>。以玉米、小麦为例,统计三原—阎良地区不同硒含量土壤中玉米、小麦两种农作物硒含量(见表 5),发现当土壤硒含量大于 $0.2\times10^{-6}$  时,玉米富硒率明显提高,小麦的富硒率提升不明显,但是当土壤硒含量小于 $0.2\times10^{-6}$  时,小麦的硒吸附量一般小于 $0.12\times10^{-6}$ ,麦粒的硒吸附量一般小于 $0.01\times10^{-6}$ 。而当土壤中硒含量大于 $0.2\times10^{-6}$  时,小麦硒吸附量一般大于 $0.054\times10^{-6}$ ,麦粒的硒吸附量一般大于 $0.057\times10^{-6}$ 。

表 4 农作物富硒含量与富硒率统计

Table 4 Statistics of selenium-rich content and selenium-rich rate of crops

作物种类		最大值/ $10^{-6}$	最小值/ $10^{-6}$	中位数/ $10^{-6}$	平均数/ $10^{-6}$	富硒样品数	富硒率/%	HB001/T—2013
大宗作物	小麦	1.025	0.011	0.106	0.159	466	99.36	$(0.02\sim0.28)\times10^{-6}$
	玉米	0.316	0.009	0.051	0.064	223	88.14	
	油菜	0.359	0.060	0.171	0.153	12	100.00	
蔬菜	大蒜	0.083	0.024	0.056	0.059	11	100.00	$(0.01\sim0.9)\times10^{-6}$
	大葱	0.044	0.008	0.030	0.028	3	75.00	
	芹菜	0.146	0.007	0.014	0.029	30	73.17	
	白萝卜	0.022	0.007	0.011	0.012	10	62.50	
	豆角	0.038	0.004	0.016	0.018	4	57.14	
	白菜	0.041	0.002	0.010	0.013	11	50.00	
	花白	0.101	0.001	0.010	0.014	13	46.43	
	辣椒	0.023	0.001	0.008	0.010	8	40.00	
	菜花	0.101	0.001	0.006	0.014	10	32.26	
	黄瓜	0.013	0.001	0.005	0.006	2	28.57	
	西红柿	0.021	0.002	0.004	0.006	3	17.65	
	茄子	0.019	0.001	0.004	0.005	1	7.14	

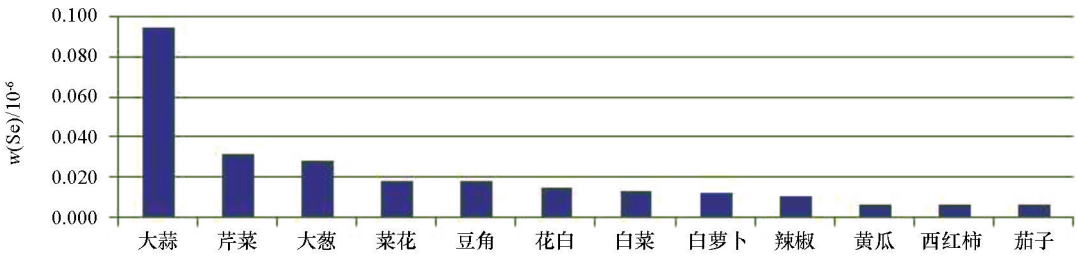


图 3 三原阎良地区各类蔬菜硒含量平均值

Fig.3 Average value of selenium content in various vegetables in Sanyuan-Yanliang area

随着土壤硒含量升高,小麦麦粒硒含量有明显的增加<sup>[15]</sup>。

以土壤硒含量为横坐标,对应的玉米、小麦籽实硒含量为纵坐标,分别绘制两种农作物硒含量散点图。由图 4 可知,玉米籽实、小麦籽实硒含量与其土壤硒含量线性关系均较好, $r$  值分别为 0.621、0.382 (表 6),均达显著相关(置信度 0.01),玉米与土壤硒相关性优于小麦,说明农作物硒与土壤硒整体相关性较好。

农作物对土壤 Se 吸收量与土壤 Se 的形态组成密切相关<sup>[25]</sup>。三原地区 22 个碱性根系土壤 Se 全量及 7 种形态 Se 含量如表 7 所示,土壤 Se 全量均值为 0.230,其中残渣态、强有机结合态含量最高,分别占总量的 38.46%和 31.36%,其次是腐殖酸结合态,占 13.83%,而水溶态(占 5.70%)、铁锰氧化结合态(占 1.45%)、碳酸盐结合态(占 3.55%)和离子交换态(占 5.66%)组分较少。且土壤强有机结合态和残渣态 Se 与 Se 全量呈显著正相关关系,其中有机结合态 Se 可提供大量可溶性有机和无机 Se 为植物利用<sup>[8]</sup>,而残渣态 Se 虽然难于被农作物

直接吸收利用,但可以在长期的土壤熟化过程中被逐渐释放出来,是土壤 Se 的储备库源<sup>[26-27]</sup>。其他形态虽然占全量比值较低,但与全量 Se 相关程度高,易于被植物所吸收利用。

表 5 土壤硒与农作物硒含量统计

Table 5 Statistics of soil selenium and plant selenium content

土壤硒含量	作物	样品数 /件	作物 $w(\text{Se})\geq0.02\times10^{-6}$	作物富硒率 /%
$<0.2\times10^{-6}$	小麦	30	29	96.67
	玉米	2	0	0
$\geq0.2\times10^{-6}$	小麦	438	434	99.09
	玉米	251	223	88.84

表 6 玉米和小麦硒含量与根系土硒含量相关系数

Table 6 The correlation coefficient between corn and wheat grains with its contents in soils

作物	样本数量	$r$ 值
玉米	253	0.788 **
小麦	468	0.612 **

注:“ \*\* ”表示在 0.01 水平(双侧)显著相关。

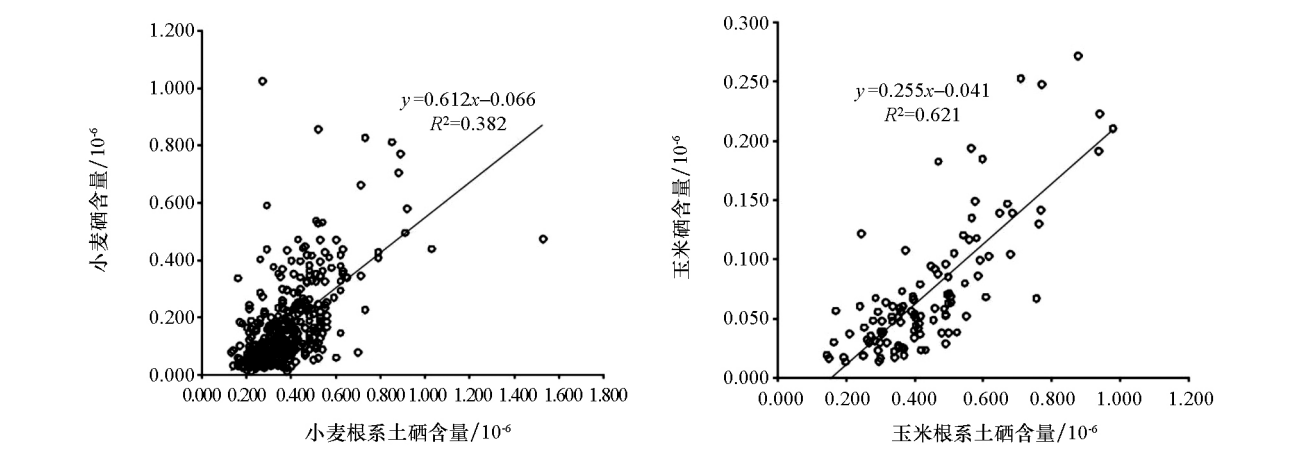


图 4 玉米、小麦硒含量与其根系土硒含量关系

Fig. 4 The relation of selenium contents in corn and wheat grains with its contents in soils

Se 形态	Se 含量/10 <sup>-6</sup>				占比/%	与全量的 相关系数
	最大值	最小值	平均值	标准差		
全量	0.3637	0.0841	0.2304	0.0705		
水溶态	0.0201	0.0067	0.0131	0.0038	5.70	0.523 *
离子交换态	0.0195	0.0076	0.0130	0.004	5.66	0.628 **
碳酸盐结合态	0.0258	0.0012	0.0082	0.0067	3.55	0.631 **
腐殖酸结合态	0.0534	0.0089	0.0319	0.013	13.83	0.861 **
铁锰氧化结合态	0.0069	0.0012	0.0033	0.0015	1.45	0.800 **
强有机结合态	0.1383	0.015	0.0722	0.0299	31.36	0.953 **
残渣态	0.1233	0.038	0.0886	0.0226	38.46	0.924 **

注：“\*\*”表示相关性在 0.01 上显著,“\*”表示相关性在 0.05 上显著。

3.5 作物安全性分析

根据三原—阎良地区小麦、玉米与蔬菜重金属元素含量,参照《食品中污染物限量》(GB 2762—2017)评价标准(表 8)。小麦样品中有 4 件样品 As 含量高出安全阈值,2 件样品 Cd 含量高出安全阈值,29 件样品 Pb 含量高出安全阈值,As 样品超标率为 0.94%,Cd 样品超标率为 0.47%。

Pb 样品超标率为 6.8%,可能与人为活动、农田施肥等污染影响有关。多数油菜样品 Pb、Zn 含量

高出安全阈值,油菜样品 Pb、Zn 普遍超标可能因为 Pb、Zn 易在油菜籽中积累<sup>[28-30]</sup>,其余样品各元素含量均低于国家食品卫生限量标准,达到了安全食品标准。

3.6 富硒土壤开发利用区划建议

实施乡村振兴战略,是新时代做好“三农”工作的总抓手,支撑服务“乡村振兴战略”,民生地质大有可为<sup>[31]</sup>。目前国内富硒农产品市场前景广阔、发展潜力巨大,是实现农民增收、乡村振兴的朝阳产

表 8 作物中重金属元素含量统计								
Table 8 Statistics of heavy metal elements contents in crops								
样品类别	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
小麦	0.721	0.14	0.806	9.41	0.009	6.577	0.307	46.514
玉米	0.07	0.012	0.405	2.45	0.005	0.181	0.173	24.81
油菜	0.032	0.025	0.142	3.673	0.007	0.053	0.384	42.492
大蒜	0.035	0.013	0.019	1.867	0.001	0.097	0.027	7.983
芹菜	0.047	0.025	0.446	1.701	0.002	0.272	0.079	3.763
萝卜	0.005	0.001	0.039	0.264	0	0.045	0.028	2.126
花白	0.004	0	0.037	0.169	0	0.055	0.015	0.979
菜花	0.006	0	0.055	0.28	0	0.045	0.031	1.631
白菜	0.005	0.001	0.052	0.209	0	0.046	0.023	1.694
食品中污染物限量/10 <sup>-6</sup>	≤0.5	≤0.1	≤1		≤0.02		≤0.2	





- Sun C, Hou Q Y, Yang Z F, et al. Study on the factors affecting the migration and transformation of selenium in typical soil environment—A case study of Chengdu Economic Zone in Sichuan Province[J]. Chinese Geology, 2010, 31(1): 1760–1761.
- [3] Altekin E, Coker C, Sisman A R, et al. The relationship between trace elements and cardiac markers in acute coronary syndromes [J]. Trace Elem Med Biol, 2005, 18(3): 235–242.
- [4] 汪庆华,唐根年,李睿,等. 浙江省特色农产品立地地质背景研究[M]. 北京:地质出版社,2007.
- Wang Q H, Tang G N, Li R, et al. Study on the geological background of the characteristic agricultural products in Zhejiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [5] 魏然,侯青叶,杨忠芳,等. 江西省鄱阳湖流域根系土硒形态分析及其迁移富集规律[J]. 物探与化探, 2012, 36(1): 109–113.
- Wei R, Hou Q Y, Yang Z Y, et al. Selenium speciation analysis and migration and enrichment of roots in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(1): 109–113.
- [6] 许学宏,余云飞,高芹,等. 富硒农产品开发现状与发展对策[J]. 江苏农业科学, 2010(1): 311–313.
- Xu X H, Yu Y F, Gao Q, et al. Development status and development strategies of selenium-enriched agricultural products [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010(1): 311–313.
- [7] 夏学齐,杨忠芳,薛圆,等. 黑龙江省松嫩平原南部土壤硒元素循环特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 850–858.
- Xia X Q, Yang Z F, Xue Y, et al. Selenium cycling characteristics of soil in the Southern Songnen Plain of Heilongjiang Province [J]. Modern Geology, 2012, 26(5): 850–858.
- [8] 任蕊,尹宗义,王明霞,等. 三原—阎良地区土壤及农作物 Se 含量特征[J]. 西北地质, 2012, 49(4): 194–196.
- Ren R, Yin Z Y, Wang M X, et al. Characteristics of Se content in soil and crops in Sanyuan-Yanliang area[J]. Northwest Geology, 2012, 49(4): 194–196.
- [9] 迟清华,鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社,2007.
- Chi Q H, Yan M C. Application of geochemical elemental abundance data handbook [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [10] 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,1990:87–91, 370–373.
- China National Environmental Monitoring Center. Chinese soil element background value [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990:87–91, 370–373.
- [11] 尹宗义,王会锋,任蕊,等. 陕西省石头河一带土壤及植物富硒特征[J]. 物探与化探, 2014, 38(2): 349–351.
- Yin Z Y, Wang H F, Ren R, et al. Selenium-rich characteristics of soil and plants in the Shihe River area of Shaanxi Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(2): 349–351.
- [12] 李家熙,张光弟,葛晓立,等. 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.
- Li J X, Zhang G D, Ge X L, et al. Characteristics and prediction of human selenium deficiency and excess geochemical environment [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [13] 谭见安,王五一,朱紫瑜,等. 环境硒及其复合因子与大骨节病[J]. 环境科学学报, 1987, 7(1): 8–13.
- Tan J A, Wang W Y, Zhu Z Y, et al. Environmental selenium and its complex factors and Kashin-Beck disease [J]. Journal of Environmental Science, 1987, 7(1): 8–13.
- [14] 任蕊,王明霞,陈继平,等. 陕西关中地区土壤硒分布特征及影响因素[J]. 矿产勘查, 2018, 9(9): 1827–1828.
- Ren R, Wang M X, Chen J P, et al. Distribution of soil selenium in Guanzhong Area and its influencing factors [J]. Mineral Exploration, 2018, 9(9): 1827–1828.
- [15] 晁旭,王会锋,任蕊,等. 关中—天水经济区(关中盆地)富硒区地球化学调查与评价成果报告[R]. 西安:陕西省地质调查中心,2017.
- Chao X, Wang H F, Ren R, et al. Geochemical investigation and evaluation report of selenium-rich area in Guanzhong-Tianshui Economic Zone (Guanzhong Basin) [R]. Xi'an: Shaanxi Geological Survey Center, 2017.
- [16] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社,2006.
- Chen H M. Environmental soil science [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [17] 董广辉,武志杰,陈利军,等. 土壤—植物生态系统中硒的循环和调节[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1): 65–68.
- Dong G H, Wu Z J, Chen L J, et al. Circulation and regulation of selenium in soil-plant ecosystem [J]. Journal of Agricultural Systems Science and Comprehensive Research, 2002, 18(1): 65–68.
- [18] 商靖敏,罗维,吴光红,等. 洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素[J]. 环境科学, 2015, 36(1): 301–308.
- Shang J M, Luo W, Wu G H, et al. Distribution and influencing factors of soil selenium (Se) in different land use types in the Yanghe River Basin [J]. Environmental Science, 2015, 36(1): 301–308.
- [19] 梁若玉,和娇,史雅娟,等. 典型富硒农业基地土壤硒的生物有效性及剖面分布分析[J]. 环境化学, 2017, 36(7): 1588–1595.
- Liang R Y, He J, Shi Y J, et al. Bioavailability and profile distribution of selenium in soils of typical Se-enriched agricultural base [J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(7): 1588–1595.
- [20] 赵少华,宇万太,张璐,等. 环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因[J]. 生态学杂志, 2005, 24(10): 1197–1203.
- Zhao S H, Yu W T, Zhang L, et al. The biogeochemical cycle of selenium in the environment and the regulation of nutrition and the causes of differentiation [J]. Journal of Ecology, 2005, 24(10): 1197–1203.
- [21] 徐绍清,柴春燕,陈晓强,等. 土壤硒含量与杨梅果实硒含量相关性研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(5): 13–15.
- Xu S H, Chai C Y, Chen X Q, et al. Correlation between selenium content in soil and selenium content in bayberry fruit [J]. Zhejiang Forestry Science and Technology, 2012, 32(5): 13–15.



- [22] 张雪莲,周俊,张先凤,等. 皖南地区茶园土壤硒与茶叶硒的相关性及其影响因素研究[J]. 皖西学院学报,2013,29(5):105-109.
- Zhang X L, Zhou J, Zhang X F, et al. Study on the correlation between soil selenium and selenium in tea garden in southern Fujian and its influencing factors [J]. Journal of West Anhui University, 2013, 29(5): 105-109.
- [23] 张栋,张妮,侯振安,等. 石灰性土壤硒含量与小麦籽粒硒相关性研究[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(5):152-157.
- Zhang D, Zhang N, Hou Z A, et al. Study on correlation between selenium content in calcareous soil and selenium in wheat [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(5): 152-157.
- [24] 李碧波,余彦铭,张轶. 栗林嘴村富硒水稻硒含量与土壤的相关性研究[J]. 湖北农业科学,2018,57(16):16-20.
- Li B B, Yu Y M, Zhang Y. Relationship between selenium content and soil in selenium-enriched rice in Lilinzui Village [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(16): 16-20.
- [25] 方金梅. 福州市土壤硒形态分析及其迁移富集规律[J]. 岩矿测试,2008,27(2):103-107.
- Fang J M. Soil selenium speciation analysis and its migration and accumulation in Fuzhou City [J]. Rock and Mineral Analysis, 2008, 27(2): 103-107.
- [26] 王金达,于家宝,张学林. 黄土高原土壤中硒等元素的地球化学特征[J]. 地理科学,2000,20(5):469-473.
- Wang J D, Yu J B, Zhang X L. Geochemical characteristics of selenium and other elements in soils of the Loess Plateau [J]. Geographical Science, 2000, 20(5): 469-473.
- [27] 李辉勇. 土壤溶液中硒的价态变换及其影响因素[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2001,27(2):139-142.
- Li H Y. Valence transformation of selenium in soil solution and its influencing factors [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science, 2001, 27(2): 139-142.
- [28] 王兴明,刘登义,涂俊芳,等. 芜湖钢铁厂周边土壤及油菜籽中镉、铜、锌、铅含量和形态分布研究[J]. 应运生态学报,2015,16(10):1927-1930.
- Wang X M, Liu D Y, Tu J F, et al. Research on the content and morphological distribution of cadmium, copper, zinc and lead in the soil and rapeseed around Wuhu iron and steel plant [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 16(10): 1927-1930.
- [29] 代天飞,王昌全,李冰. 油菜各部位对土壤中活性态重金属的累积特征分析[J]. 农业环境科学学报,2006,25:471-475.
- Dai T F, Wang C Q, Li B. Accumulation characters of heavy metals at different parts of rape growing at various soils [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25: 471-475.
- [30] 方慧,柳小兰,颜秋晓,等. 贵州油菜各器官在不同生育时期对土壤重金属的富集[J]. 北方园艺,2018,42(5):111-117.
- Fang H, Liu X L, Yan Q X, et al. Enrichment of heavy metals in soil of rape organs in different growth stage in Guizhou Province [J]. Northern Horticulture, 2018, 42(5): 111-117.
- [31] 杜少喜,钞中东,游军,等. 民生地质如何精准支撑服务“乡村振兴战略”[J]. 矿产勘查,2018,9(9):1834-1840.
- Du S X, Chao Z D, You J, et al. How does minsheng geology accurately support the service “rural revitalization strategy” [J]. Mineral Exploration, 2018, 9(9): 1834-1840.

## Research, development and utilization of selenium-rich soil of Shaanxi: A case study of Sanyuan-Yanliang area

QIAO Xin-Xing<sup>1,2</sup>, CHAO Xu<sup>2</sup>, REN Rui<sup>1,2</sup>, ZHANG Ji-Jun<sup>1,2</sup>, HU Kui<sup>1,2</sup>,  
LI Ao-Rui<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhi-Ming<sup>1,2</sup>

(1. Shaanxi Hydraulic Engineering and Environment Geological Survey Center, Xi'an 710068, China; 2. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Through the sampling and analysis of soil and crops in Sanyuan-Yanliang area, it is found that the soil environment in the study area is generally clean. The medium-rich selenium soil accounts for 94.62% of the total survey area, selenium-rich soil is widely distributed and has the basic soil conditions for the development of selenium-rich crop. It has the basic soil conditions for developing selenium-enriched foods. For the analysis of crop products, it can be seen that the bulk crops are selenium-rich crops, and the selenium-enriched level is relatively stable. Some vegetables have also reached the standard of selenium-enriched vegetables. The selenium in crops has a good correlation with soil selenium. The correlation coefficient between the selenium content of corn and that of root soil is 0.788, and the correlation coefficient between the selenium content of wheat and that of root soil is 0.612. Hence the study area has a future for the development of selenium-enriched industries. Guanzhong is suitable for vigorously promoting the cultivation of selenium-enriched crops and vegetables as an important food and vegetable. The production area has great potential for the development of selenium-enriched crops. It is recommended to select demonstration sites to carry out selenium-enriched planting work, and to focus on building a group of selenium-rich grain and vegetable industry bases so as to provide a scientific basis for the development and utilization of selenium-rich resources in Guanzhong, Shaanxi Province, thus supporting the rural revitalization strategy and the precise poverty alleviation battle.

**Key words:** Sanyuan-Yanliang area; selenium-rich soil; selenium-rich crop; development and utilization; rural revitalization

(本文编辑:蒋实)