

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.01.024

关中塬土地区土壤 pH 变化对硒形态及有效性的影响

陈继平,任蕊,王晖,罗婷,晁旭,张志敏,胡奎

(陕西省地质调查院,陕西 西安 710068)

摘 要:以关中塬土为研究对象,选择周至—户县中酸性土壤和三原—阎良偏碱性土壤 2 个典型地区,采集小麦根系土及小麦籽粒样品,测试分析样品中硒含量及土壤中硒的形态,研究土壤 pH 变化对土壤中 Se 含量、硒形态、硒的生物有效性的影响,得出以下结论:①关中塬土 pH 对 Se 的含量影响不显著,土壤硒形态以强有机结合态、残渣态及腐殖酸结合态为主,大于 80%。有效硒(离子交换态硒+水溶态硒)在偏碱性土壤中大于 10%,中性土壤为 4.91%,弱酸性土壤为 8.17%,呈“山谷型”特征。②有效硒中,pH 对水溶态 Se 含量影响不大,对离子交换态硒影响则更为显著。③与青海、宁夏等富硒地区相比,周至—户县、三原—阎良地区塬土中 Se 含量相对不高,但三原—阎良地区弱碱性、碱性塬土中种植的小麦富硒率分别达 89%、100%,表明偏碱性土壤条件下硒的生物有效性较高,其中弱碱性塬土中硒的有效性最高。

关键词:塬土;土壤 pH;硒形态;硒生物有效性;小麦籽粒

中图分类号:P642.1

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)01-0254-07

Effect of Lou Soil pH Change on Selenium Forms and Availability

CHEN Jiping, REN Rui, WANG Hui, LUO Ting, CHAO Xu, ZHANG Zhimin, HU Kui

(Shaan Institute of Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract: Taking Lou soil as the research object, two typical areas of Zhouzhi-Huxian middle-acid soil and Sanyuan-Yanliang alkaline soil were selected. Wheat root soil and wheat grain samples were collected to analyze the selenium content in the sample and the selenium form in the soil. The effects of the change of pH value in soil on the selenium content, selenium form and selenium bioavailability in soil were as follows: (1) The pH had no significant effect on the content of Se in Guanzhong Lou soil, and the soil selenium form was strongly organically combined. The residual state and the humic acid binding state are mainly greater than 80%. The proportion of water-soluble selenium and ion-exchanged selenium is more than 10% in alkaline soil, 4.91% in neutral soil, 8.17% in weakly acidic soil, being “valley type”. (2) Effective selenium, pH value is water soluble. The effect of selenium is not significant, and the effect on selenium content in ion exchange state is significant. (3) Compared with Qinghai, Ningxia and other regions rich in selenium, the selenium content of Lou soil in Zhouzhi-Huxian and Sanyuan-Yanliang areas is relatively low. However, the selenium enrichment rate of wheat grown in Sanyuan-Yanliang weakly

收稿日期:2019-05-08;修回日期:2019-09-08

基金项目:陕西省公益性地质项目“陕西省关中地区碱性富硒土地开发利用综合研究”(20180307),中国地质调查局西安地质调查中心二级子项目“陕西省黄陵—韩城地区 1:25 万土地质量地球化学调查”(1212010110001500XX)

作者简介:陈继平(1987-),男,工程师,主要从事多目标区域地球化学调查工作。E-mail: 501975628@qq.com

alkaline and alkaline Lou soil is 89% and 100% respectively, indicating selenium organisms is higher under alkaline soil conditions, especially in weakly alkaline Lou soil.

Keywords: Lou soil; soil pH; selenium forms; selenium bioavailability; wheat grains

硒是人体必需的微量元素,是人体谷胱甘肽过氧化物酶 GSH2Px 的重要组成部分(ROTRUCK et al., 1973)。硒的丰缺对人体和动植物的健康会产生重要影响,日摄入 Se 含量的健康范围非常窄(LI Zhe et al., 2017;王锐等,2018),硒缺乏($<40\text{ }\mu\text{g/d}$)、适量(约 $110\text{ }\mu\text{g/d}$)和毒害($>400\text{ }\mu\text{g/d}$)间剂量差异很小(梁东丽等,2017)。摄入不足会产生“克山病”、“大骨节病”等典型疾病,摄入过量会导致中毒甚至死亡。因此,其兼具营养、毒性和解毒三重功效(宋晓珂等,2018)。人体摄入硒主要来源于食物,由于大多数植物从土壤中吸收硒,因此,土壤中的 Se 含量和农作物中的 Se 含量水平对人体健康有重要意义(任蕊等,2016)。土壤中硒的有效性不仅取决于总硒的含量,还受到土壤矿物质和有机质的影响,与土壤理化性质及环境因子等有关(梁东丽等,2017;吴俊,2018)。因此,土壤中硒的有效性研究成为热点。

土壤 pH 在控制硒的价态和有效性方面扮演十分重要的角色(DINH et al., 2018),不同 pH 大小土壤中 Se 的主要存在价态不同,各价态的溶解度大小和迁移性强弱差异很大,进而影响着植物对 Se 的吸收和转运,影响其生物有效性。陕西省关中地区

富硒土壤区(Se 含量大于 0.2×10^{-6})土壤类型多样,pH 变化范围较大,以往研究多注重硒的分布及硒的形态特征分析(尹宗义等,2016;任蕊等,2016),缺乏对不同 pH 土壤中硒形态及有效性的对比研究。为了正确评价硒的有效性,笔者以关中地区广泛覆盖的主要耕作土壤塬土为研究对象,以不同土壤 pH 为依据,选择周至—户县和三原—阎良 2 个典型研究区,通过对比研究,分析不同 pH 塬土中硒的形态及有效性的变化规律,为富硒农产品的安全开发利用提供科学依据。

1 关中富硒土壤分布及土壤 pH 特征

陕西省多目标区域地球化学调查发现,关中富硒土壤主要分布于渭河两岸及黄河沿线,呈面状、条带状分布,面积达到 $8\,938.74\text{ km}^2$ (图 1),典型地区有泾阳、三原、阎良、周至和户县等地(任蕊等,2018)。而关中地区土壤 pH 统计结果表明,表层土壤 pH 平均为 8.16,近 96.5% 的土壤呈碱性或强碱性,中性土壤和酸性土壤面积较小,仅秦岭北麓山前有分布,典型地区有周至、户县、蓝田等地。

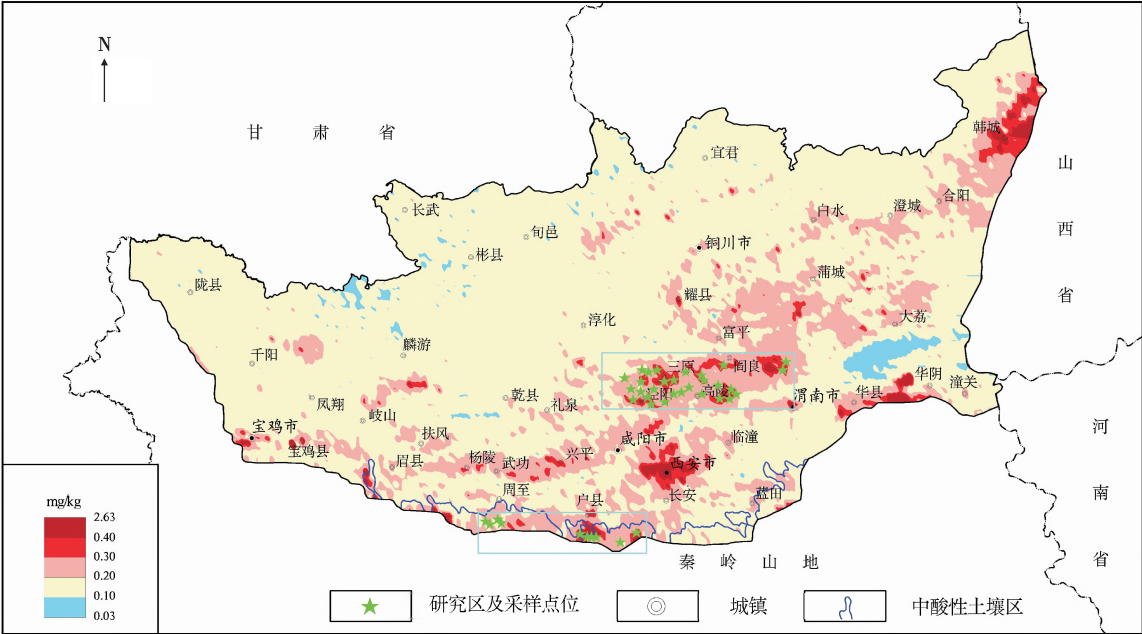


图 1 关中地区表层土壤 Se 含量分布特征图

Fig. 1 Distribution characteristics of selenium content in surface soil of guanzhong area

2 研究区自然地理与地质背景

三原—阎良地区地处关中平原腹地,位于泾渭冲积平原区,是陕西省重要的粮食、蔬菜生产基地,主要种植小麦、玉米,其次为苹果、蔬菜,面积约为 1 255 km²。属暖温带大陆性季风气候,四季分明,气候温和。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。

周至—户县地区地处关中西部,南依秦岭,属秦岭褶皱与渭河地堑的过渡地带,主要种植小麦、玉米,次为猕猴桃、葡萄等,面积约为 850 km²。属暖温带大陆性季风气候,四季分明,气候温和。土壤类型以壤土为主,潮土、新积土次之。

3 样品采集与分析

3.1 样品采集

小麦样品采集:选择具代表性的样品,以 0.1~0.2 hm²为采样单元,选取 10~20 棵植株,采集麦穗混合成 1 件样品,重量大于 300 g(干重);样品采集时间选择无风晴天,采集时避开病虫害和其他特殊的植株。

小麦根系土样品采集:与农作物样品采集相配套,使用竹铲采取相同点位的农作物根系土,采样深度为 0~20 cm,由 4~6 个子样等量混合组成 1 件样品,采样重量大于 1 000 g。

三原—阎良地区采集小麦及根系土样品 22 件,周至—户县地区采集小麦及根系土样品 8 件。

3.2 样品加工与分析

根系土样品经自然风干,用木棒压碎团块,过 20 目尼龙筛后,提取 500 g 分析样,分析指标为 Se、pH、Se 形态,Se 分析方法为原子荧光光谱法(AFS),土壤 Se 形态分析指标为水溶态、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,分析方法为等离子体发射光谱法(ICP-AES)。农作物样品经洗净、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。

3.3 分析质量

样品分析由国土资源部西安矿产资源监督检测中心承担。测试过程中加入国家一级标准物质进行分析质量控制,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。

4 结果与分析

4.1 土壤 pH 及 Se 的含量特征

依据陕西省土壤 pH 分级标准(郭兆元等,1992),周至—户县地区所采集的土壤样品属中性-弱酸性(中性:6.6~7.5,弱酸性:5.6~6.5)。土壤 Se 全量变化于 0.155~0.417 之间,其中弱酸性土壤 Se 含量整体上低于中性土壤。

三原—阎良地区属弱碱性-碱性土壤(弱碱性:7.6~8.5,碱性:8.6~9.0)。土壤 Se 全量变化于 0.084~0.364,其中碱性土壤 Se 全量均值高于弱碱性土壤(表 1)。

土壤 pH 与 Se 含量之间相关性不显著,弱酸性、碱性土壤 Se 含量与 pH 值之间呈低的正相关,与中性、弱碱性土壤呈低的负相关性,由此可见,pH 对关中壤土中 Se 的含量影响不明显,与前人研究结果一致,关中地区大部分土壤 Se 含量不受 pH 制约(任蕊等,2018)。

表 1 土壤 pH 及 Se 含量分析结果表(Se:10⁻⁶)
Tab. 1 Soil pH and Se content analysis results(Se:10⁻⁶)

研究区	周至—户县		三原—阎良	
	弱酸性	中性	弱碱性	碱性
pH 分级标准	5.6~6.5	6.6~7.5	7.6~8.5	8.6~9.0
土壤 pH	5.95~6.42	6.55~7.49	8.05~8.53	8.56~8.66
土壤 Se 全量	0.155~0.311	0.214~0.417	0.084~0.364	0.158~0.323
Se 全量均值	0.212	0.328	0.227	0.248
Se 全量与 pH	0.179	-0.156	-0.229	0.301
相关性				

4.2 土壤中硒的赋存形态及变化规律

周至—户县弱酸性土壤中,7 种形态 Se 平均含量占全量比例的大小为:强有机结合态(35.25%)>残渣态(31.82%)>腐殖酸结合态(21.31%)>水溶态(6.71%)>离子交换态(2%)>碳酸盐结合态(1.54%)>铁锰氧化物结合态(1.37%)。

周至—户县中性土壤中,7 种形态 Se 平均含量占全量比例的大小为:强有机结合态(38.8%)>残

渣态(35.89%)>腐殖酸结合态(16.22%)>碳酸盐结合态(3.28%)>水溶态(2.58%)>离子交换态(2.33%)>铁锰氧化物结合态(0.9%)。

三原—阎良弱碱性土壤中,7 种形态 Se 平均含量占全量比例的大小为:残渣态(38.30%)>强有机结合态(30.59%)>腐殖酸结合态(13.99%)>离子交换态(5.86%)>水溶态(5.61%)>碳酸盐结合态(3.99%)>铁锰氧化物结合态(1.44%)。

三原—阎良碱性土壤中,7 种形态硒平均含量占全量比例的大小为:残渣态(38.75%)>强有机结合态(34.19%)>腐殖酸结合态(13.05%)>水溶态(6%)>离子交换态(4.76%)>碳酸盐结合态(1.69%)>铁锰氧化物结合态(1.49%)(表 2)。

以水溶态和离子交换态硒代表有效性硒,则中性土壤硒有效性最低,弱碱性土壤硒有效性最高,碱性高于酸性。

表 2 土壤中硒各形态含量占比关系表
Tab.2 The proportion of selenium content in soil

研究区	周至—户县				三原—阎良			
形态均值/全量	弱酸性		中性		弱碱性		碱性	
水溶态	6.71%	8.71%	2.58%	4.91%	5.61%	11.47%	6.00%	10.76%
离子交换态	2.00%		2.33%		5.86%		4.76%	
碳酸盐结合态	1.54%		3.28%		3.99%		1.69%	
腐殖酸结合态	21.31%		16.22%		13.99%		13.05%	
铁锰氧化结合态	1.37%	91.29%	0.90%	95.09%	1.44%	88.57%	1.49%	89.24%
强有机结合态	35.25%		38.80%		30.59%		34.19%	
残渣态	31.82%		35.89%		38.30%		38.75%	

综上所述,结合图 2 可以得出以下变化规律:①无论是酸性土壤还是碱性土壤,硒 7 种形态中总是以强有机结合态、残渣态及腐殖酸结合态为主,占比最大,加和大于 80%。铁锰氧化结合态占比最小,几乎不受土壤 pH 影响。②pH 升高,离子交换态和碳酸盐结合态占比不断增

大,但当土壤 pH>8.6 时,二者占比降低。③与弱酸性、弱碱性、碱性土壤相比,土壤呈中性时,水溶态硒相对占比较小。④pH 升高,腐殖酸结合态占比降低。⑤弱酸性-中性土壤中,以强有机结合态占比最高,弱碱性-碱性土壤中,残渣态占比最高。

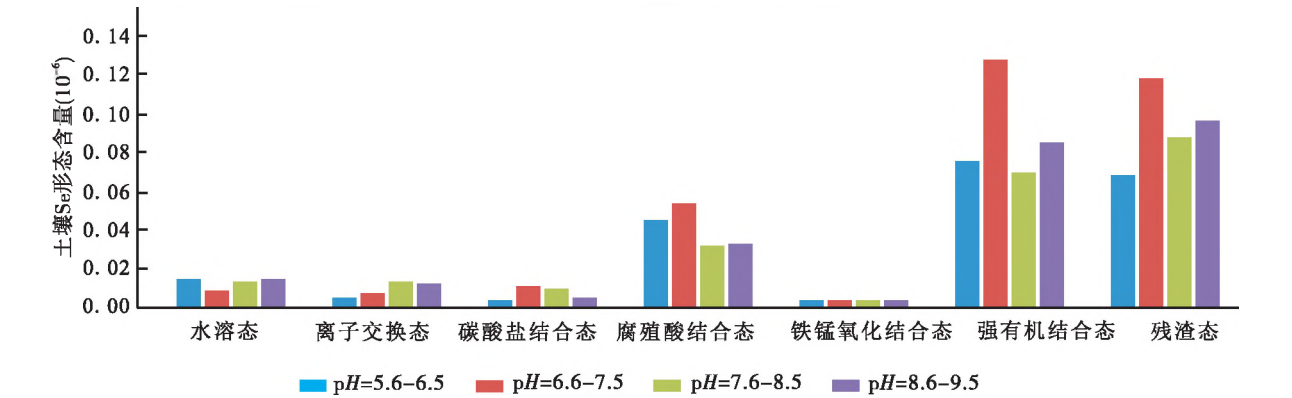


图 2 周至—户县、三原—阎良土壤中硒形态变化特征图
Fig.2 Characteristics of selenium form change in Zhouzhi-Huxian and Sanyuan-Yanliang soils

4.3 土壤中 Se 各形态含量与 pH 相关性

研究发现,相比其他土壤理化性质,土壤的 pH 和 Eh 在控制硒的形态、价态和生物有效性方面更

加重要 (ANTONIAIDS et al. , 2017; SHAHEEN et al. , 2018; DINH et al. ,2018)。硒的热力学稳定价态取决于土壤 pH 和氧化还原条件,Se(VI)主要

存在于中性和偏碱性的土壤中,偏酸性土壤中硒主要以 Se(IV)的形式存在,Se(0)和 Se(- II)2 种有效性较低的硒价态主要存在于还原性的土壤中(WINKEL et al. , 2012;梁东丽等,2017)。如图 3 所示,pH 与土壤中 Se 全量、水溶态 Se 含量、腐殖酸结合态 Se 含量之间呈弱的相关性,与离子交换态 Se 含量呈相对较高的相关性。由此可得出:①关中

地区土壤 pH 对土壤中硒的总量影响不大,土壤中 Se 含量主要受控于成土母质。②土壤中水溶态硒含量、腐殖酸结合态 Se 含量与 pH 有一定关系,但 pH 不是决定性因素。土壤中有有机质、无定形铁等的含量可能是土壤硒形态分布的决定性因素(梁东丽等,2017)。③pH 对土壤中离子交换态 Se 含量影响较为显著。

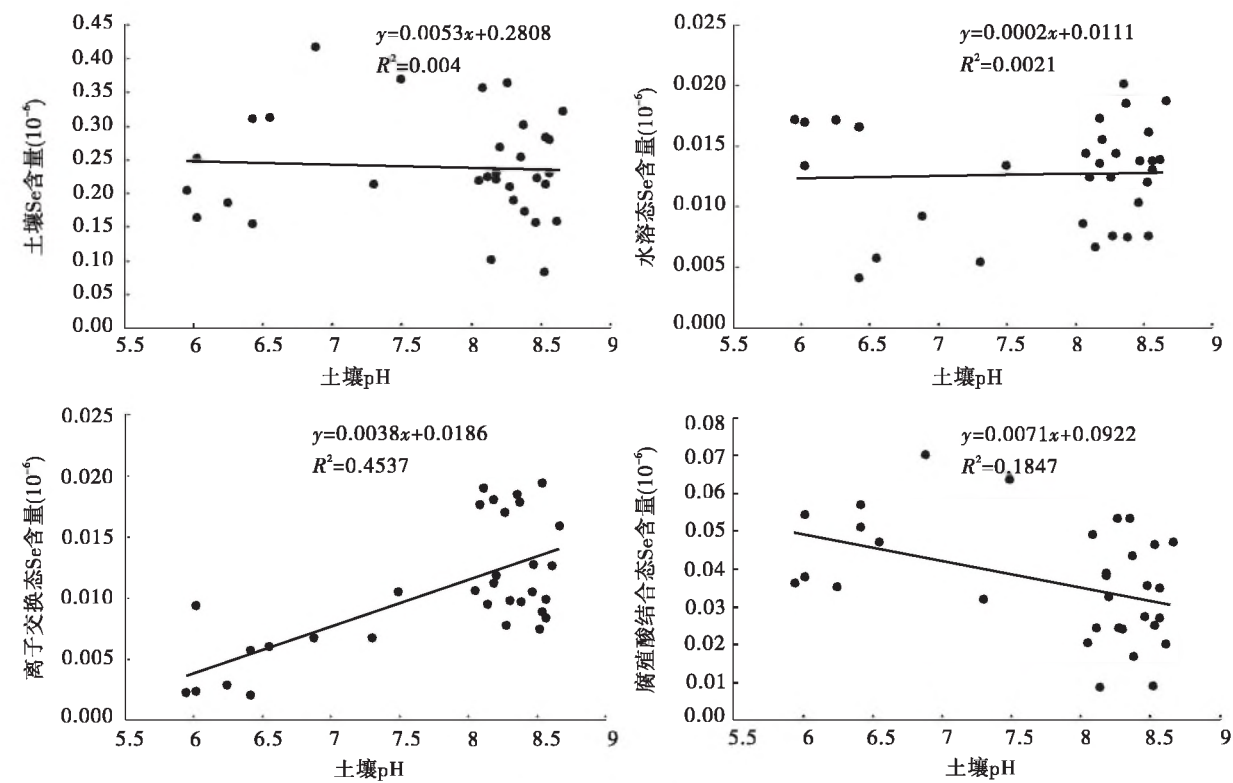


图 3 土壤 Se 形态含量与 pH 值相关性图

Fig. 3 Relativity of selenium speciation contents and pH values in soil

5 pH 对土壤中硒生物有效性的影响

5.1 pH 与土壤中有效 Se 含量的关系

硒的生物有效性除了受土壤中硒的总量影响以外,主要取决于土壤中硒的形态和价态(WANG et al. ,2018)。水溶态硒由于具有强的可迁移性,是最易被植物吸收的。因此,认为是生物有效硒。离子交换态硒主要指与含水氧化物结合和黏土矿物、腐殖质表面吸附的 Se(IV),它比水溶态硒生物有效性低,但可以转化为有效硒而被植物吸收利用。因此,水溶态硒和离子交换态硒可定义为生物有效性硒(DINH et al. ,2018)。

据表 1 显示,周至一户县弱酸性、中性壤土中有效硒占比均小于 10%,分别为 8.71%(Se_全 = 0.212)、4.91%(Se_全 = 0.328),有效硒占比高于青海平安地区平均水平(3.25%),与四川相近(8%);三原一阎良弱碱性、碱性壤土中有效硒占比较高,分别为 11.47%(Se_全 = 0.227)、10.76%(Se_全 = 0.248),均大于 10%,低于浙江(17%~50%)、福建(16%),与加利福尼亚州土壤中有效硒占比相近(7%~10%)(YU et al. ,2015)。整体而言,周至、三原地区壤土中 Se 含量相对较低,但有效硒较高,不同 pH 条件下,硒的生物有效性存在差异。其中,中性壤土中硒有效性最低,弱酸性、弱碱性、碱性壤土中硒有效性较高,弱碱性壤土中硒有效性最高。

5.2 小麦籽粒中 Se 含量

研究表明,农作物中 Se 元素的含量主要受土壤中生物有效性硒的影响(王锐等,2018)。研究区主要种植小麦,对小麦籽粒中的 Se 元素含量与对应的根系土中的各形态 Se 含量进行相关性分析可以发现,仅有效性硒与小麦籽粒中 Se 含量呈较高的相关性,相关系数为 $R=0.427\ 5$ (图 4)。随着 pH 增大,塬土从弱酸性变为碱性,Se 全量变化不大,但与之对应的小麦籽粒中 Se 含量呈增大趋势,特别是碱性土壤,小麦籽粒中 Se 含量是酸性土壤 Se 含量的 4 倍,说明碱性土壤中的硒更容易被小麦吸收利用。根据陕西省《富硒含硒食品与相关产品硒含量标准》DB61/T556-2018,将 Se 含量大于等于 0.05 mg/kg 定义为富硒农产品,研究区周至弱酸性、中性塬土中仅 1 件样品达到富硒标准,而三原弱碱性、碱性塬土中小麦富硒达标率分别为 89%、100%(表 3)。

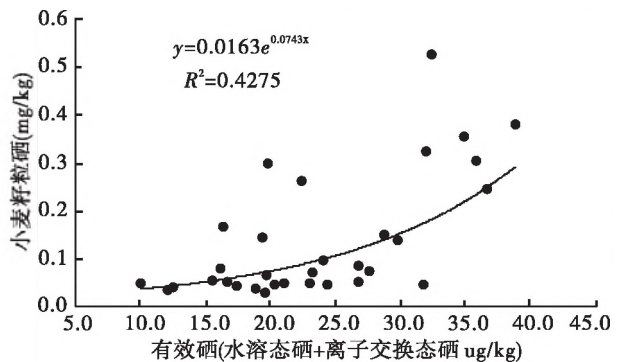


图 4 土壤有效 Se 含量与农作物 Se 含量相关性图
Fig. 4 Correlations of soil available selenium concentrations with crops selenium concentrations

表 3 周至—户县、三原—阎良小麦籽粒中 Se 含量(10^{-6})
Tab. 3 Selenium content in wheat grains from Zhouzhi and Sanyuan(10^{-6})

研究区	周至—户县		三原—阎良	
	弱酸性	中性	弱碱性	碱性
土壤酸碱性				
Se 全量均值	0.212	0.328	0.227	0.248
有效性 Se 含量均值	0.019	0.016	0.026	0.027
小麦籽粒 Se 含量均值	0.045	0.062	0.173	0.184

通过上述分析,造成小麦籽粒中 Se 含量差异的原因主要与土壤酸碱性有关,土壤 pH 影响 Se 存在的形态和价态。偏碱性的土壤中,有效性硒主要以

硒酸盐形态存在,六价硒生物有效性较高,而偏酸性土壤中的硒主要以亚硒酸盐形态存在,四价硒易被土壤固定,生物有效性相对较低。因此,三原—阎良弱碱性、碱性塬土中 Se 含量整体不高,但种植的小麦达到富硒标准,主要是偏碱性土壤中硒生物有效性高的缘故。

6 结论

- (1)pH 对关中塬土中 Se 的含量影响不显著,关中大部分地区土壤 Se 含量不受 pH 制约。
- (2)硒 7 种形态中,以强有机结合态、残渣态及腐殖酸结合态为主,铁锰氧化结合态占比最小,不受土壤 pH 影响。弱酸性—中性土壤中,以强有机结合态占比最高,弱碱性—碱性土壤中,残渣态占比最高。土壤呈中性时,水溶态硒相对占比较小。
- (3)塬土中水溶态 Se 含量与 pH 有一定关系,但 pH 不是决定性因素,pH 对土壤中离子交换态 Se 含量影响更加显著。
- (4)周至—户县、三原—阎良地区塬土中 Se 含量相对较低,但生物有效 Se 含量较高,不同 pH 条件下,硒的生物有效性存在较大差异,中性塬土中硒有效性最低,弱酸性、弱碱性、碱性塬土中硒有效性较高,弱碱性塬土中硒有效性最高。
- (5)三原—阎良弱碱性、碱性塬土中硒含量整体不高,但种植的小麦富 Se 率分别为 89%、100%,与偏碱性土壤中硒生物有效性较高有关。

参考文献(References):

王锐,余涛,杨忠芳,等.富硒土壤硒生物有效性及影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(7):1647-1654.
WANG Rui, YU Tao, YANG Zhongfang, et al. Bioavailability of Soil Selenium and Its Influencing Factors in Selenium-Enriched Soil[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(7): 1647-1654.
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.
LIANG Dongli, PENG Qin, CUI Zewei, et al. Progress on Selenium Bioavailability and Influential Factors in Soil [J]. Current Biotechnology, 2017, 7(5): 374-380.
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.
- SONG Xiaoke, LI Zongren, WANG Jingui. Distribution and Influential Factors of Soil Se in Eastern Qinghai Province[J]. Soil, 2018, 50(4): 755-761.
- 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, 2016, 49(4): 193-200.
- REN Rui, YIN Zongyi, WANG Mingxia, et al. Survey and Research of Selenium Content in Soil and Crops in Sanyuan-Yanliang [J]. Northwest Geology, 2016, 49(4): 193-200.
- 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): 1827-1833.
- REN Rui, WANG Minxia, CHEN Jiping, et al. Distribution of soil selenium in Guanzhong Area and its influencing factors[J]. Mineral Exploration, 2018, 9(9): 1827-1833.
- 尹宗义, 任蕊, 晁旭, 等. 三原—阎良地区富硒土壤中硒形态特征研究[J]. 陕西地质, 2016, 34(1): 31-37.
- YIN Zongyi, REN Rui, ZHAO Xu, et al. Selenium Speciation in Selenium-Rich Soil of Sanyuan -Yanliang Area [J]. Geology of Shaanxi, 2016, 34(1): 31-37.
- 吴俊. 福建省寿宁县土壤硒分布特征及影响因素[M]. 中国地质, 2018, 45(6): 1167-1176.
- WU Jun. The distribution of soil selenium in Shouning County of Fujian Province and its influencing factors[J]. Geology in China, 2018, 45(6): 1167-1176 (in Chinese with English abstract).
- 郭兆元, 黄自立, 冯立孝, 等. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- GUO Zhaoyuan, HUANG Zili, FENG Lixiao, et al. Shaanxi Soil[M]. Beijing: Science Press, 1992.
- ROTRUCKJ T, POPE A L, GANTHER H E, et al. Selenium; Biochemical Role as a Component of Glutathione Peroxidase[J]. Science, 1973, 179(4073): 588-590.
- LI Zhe, LIANG Dongli, PENG Qin, et al. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review[J]. Geoderma, 2017, 295(3): 69-79.
- DINH Q T, WANG Mengke, 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, 2018, 49(6): 443-517.
- ANTONIADIS V, LEVIZOU E, SHAHEEN S M, et al. Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation-A review [J]. Earth-Science Reviews, 2017, 171(25): 621-645.
- SHAHEEN S M, ALI R A, ABOWALY M E, et al. Assessing the mobilization of As, Cr, Mo, and Se in Egyptian lacustrine and calcareous soils using sequential extraction and biogeochemical microcosm techniques [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2018, 191: 28-42.
- WINKEL L H E, JOHNSON C A, LENZ M, et al. Environmental selenium research: From microscopic processes to global understanding[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(2): 571-579.
- WANG Dan, DINH Q T, THU T A T, et al. Effect of selenium-enriched organic material amendment on selenium fraction transformation and bioavailability in soil[J]. Chemosphere, 2018, 199, 417-426.
- YU Dasong, LIANG Dongli, LEI Lingming, et al. Selenium geochemical distribution in the environment and predicted human daily dietary intake in northeastern Qinghai, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(5), 11224-11235.