

甘肃省民勤县骏枣园土壤硒特征及有效性

刘有军¹, 严子柱¹, 姚泽¹, 邹天福²

(1.甘肃省治沙研究所 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 甘肃兰州 730070; 2.甘肃莲花山国家级自然保护区管护中心, 甘肃临夏 731100)

摘要: [目的] 分析甘肃省民勤县骏枣园土壤硒分布状况及有效性, 为富硒骏枣产业发展提供理论依据。[方法] 采用连续浸提的方法对民勤县3个骏枣园0—60 cm土壤全硒及各形态硒含量进行测定, 并对其分布特征及有效性进行了分析。[结果] ①土壤全硒含量变幅为24~520 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 平均值为210.625 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 全硒表现为不缺乏。②在0—60 cm土层内, 随着土层深度增加, 3个果园土壤全硒含量逐步减少, 且均呈现: 六沟>张坝>新果园关系。表层土壤(0—20 cm)属于足硒类型, 亚表层土壤(20—40 cm)以足硒和少硒为主, 底层土壤(40—60 cm)表现为足硒、少硒和缺硒。③土壤有效硒含量42.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 占全硒的20.2%。其中, 水溶态硒含量为1.1~1.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 交换态硒含量1.4~2.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 两者仅占有效硒的7.7%, 其余为有机态硒。3个枣园土壤有机态硒含量为: 新果园>六沟>张坝。④土壤有效硒随着开垦年限延长而增加, 即新果园>六沟>张坝。⑤全硒、有效硒和无效硒均呈现: 树下>行间。[结论] 民勤县骏枣园土壤全硒不缺乏, 但有效硒缺乏。如果要发展富硒枣, 就必须人工补充硒肥。

关键词: 土壤硒; 分布特征; 有效性; 骏枣园; 甘肃省民勤县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)03-0041-06

中图分类号: S147.2, S151.9

文献参数: 刘有军, 严子柱, 姚泽, 等. 甘肃省民勤县骏枣园土壤硒特征及有效性[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 41-46. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20230421.001; Liu Youjun, Yan Zizhu, Yao Ze, et al. Soil selenium characteristics and availability in jujube orchard in Minqin County of Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 41-46.

Soil Selenium Characteristics and Availability in Jujube Orchard in Minqin County of Gansu Province

Liu Youjun¹, Yan Zizhu¹, Yao Ze¹, Zou Tianfu²

(1. Gansu State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand

Disaster Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730000, China,

2. Management and Conservation Center of Lianhuashan National Nature Reserve, Linxia, Gansu 731100, China)

Abstract: [Objective] The distribution status and availability of soil selenium in three jujube orchards in Minqin County, Gansu Province was analyzed in order to provide a theoretical basis for the development of the selenium-enriched jujube industry. [Methods] The contents of total selenium and various forms of selenium in the 0—60 cm soil layer in three jujube orchards of Minqin County were measured by a method of successive extraction. Jujube distribution characteristics and availability were determined. [Results] ① The total selenium content was 24—520 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (average was 210.625 $\mu\text{g}/\text{kg}$), suggesting that total soil selenium was not deficient. ② Total soil selenium content increasingly declined with increasing soil depth in the 0—60 cm soil layer, with values in the three orchards following the order of Liugou>Zhangba>Xinguoyuan. According to the partition criterion for soil selenium content, the surface soil (0—20 cm) was categorized as selenium-rich; the subsurface soil (20—40 cm) was selenium-rich and selenium-poor; and the bottom soil layer (40—60 cm) was selenium-rich, selenium-poor, and selenium-deficient. ③ The available selenium content was 42.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and accounted for 20.2% of total selenium. Soluble selenium was 1.1—1.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, exchangeable selenium was

收稿日期: 2022-08-10

修回日期: 2022-10-09

资助项目: 甘肃省林业科技计划项目“红枣富硒化栽培技术及其机理研究”(2018kj068), 中央财政林业科技推广示范项目“枣树优良品种及栽培技术推广示范”(2020ZYTG2)

第一作者: 刘有军(1977—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 博士, 研究员, 主要从事植物生理生态学。Email: lyjssmallgrass@163.com。

通信作者: 严子柱(1969—), 男(汉族), 甘肃省武威市人, 硕士, 研究员, 主要从事持续农业与荒漠化防治研究。Email: yanzzh2006@126.com。

1.4—2.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Both of these selenium forms together accounted for only 7.7% of the available selenium. The remaining available selenium was all organic selenium. ④ The available soil selenium increased with increasing number of reclamation years and followed the order of Xinguoyuan>Liugou>Zhangba among the three orchards. ⑤ The contents of total selenium, available selenium, and ineffective selenium were greater under trees than between tree rows. [Conclusion] Total selenium was not deficient in the soil of jujube orchards of Minqin County, but available selenium was deficient. Hence, development of the selenium-enriched jujube industry will require artificially supplementing soils with selenium fertilizer.

Keywords: soil selenium; distribution characteristics; availability; jujube orchard; Minqin County, Gansu Province

硒是人和家畜必需元素之一^[1-5],在自然界分布极不均衡。土壤硒含量主要受土壤母质和气候的影响^[7-8]。土壤类型不同,土壤硒含量不同。例如,泥炭土和沼泽土含量较高,草甸土和沙化土较低^[3];土层深度不同,硒分布也存在差异,一般情况下,土壤硒大多富集于土壤表层 0—20 cm^[9-10]。硒浓度大小不仅对人类健康至关重要^[11],而且对动物生物功能维持起着重要作用^[12-13]。维持人体正常生理功能的硒浓度范围较窄,硒缺乏和过量都会引起人类疾病。硒缺乏会引起克山病、大骨节病和水肿病等多种疾病^[14],硒过量会导致人体和牲畜中毒,出现毛发脱落、食欲不振、腹泻等症状。

土壤硒是人和家畜硒主要来源,它通过食物链将硒传递给人类和家畜,因而食物中的硒直接来源于土壤。食物、人和家畜硒供应状况主要受土壤硒环境的影响。土壤中硒主要有 6 种存在形态,包括水溶态硒、交换态硒、有机态硒、酸溶态硒、硫化态硒和残余态硒^[7],其中,水溶性硒和交换态硒为有效硒,有机态硒为潜在有效硒,其余 3 种类型几乎不能被植物吸收利用。土壤硒对环境 and 生物的效应不仅与土壤硒含量有关,还与土壤中硒有效性有关。

研究表明,土壤硒含量随着土层深度增加逐步减少且主要富集在土壤表层^[14-17],特别是 0—20 cm^[18-20]。关于 20 cm 以下土壤含硒量研究较少。在沙漠地区,由于沙地表面的流动,使得沙化草地土壤硒含量变化不具规律且含量较低^[8]。土壤硒含量与土壤有机质呈显著正相关^[8,19-21]。在红枣园内,种植和开垦年限不同,土壤有机质可能会不同,树下和行间受根系和施肥等影响不同,积累的有机质可能不同,土层深度不同,有机质的分布也可能不同,这些因素都可能造成土壤硒含量及分布特征的差异。

民勤县位于腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠交汇处,气候属于典型的温带大陆性气候。这里光照充足,昼夜温差大,生长期长,为红枣种植提供了得天独厚的自然条件。骏枣是民勤沙区近几年引进的红枣新品种。具有适应性强,产量高和品质好的特点,受到当地农民青睐。然而,普通红枣由于供过于求等原因,市场价格较低。为了提高当地农民收入,发展富硒红

枣成为一条可选之路。土壤硒是红枣硒的直接来源。但是,民勤县红枣园土壤硒含量、分布特征、类型和有效性未见报道。

因此,以甘肃省民勤县 3 种不同种植年限骏枣园树下和行间土壤为对象,2019 年 5 月对 0—60 cm 土层土壤硒数量、分布特征和类型进行研究,从而掌握民勤县骏枣园土壤硒分布状况及有效性,以期为富硒骏枣产业发展提供理论依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃民勤综合治沙试验研究站的新果园(102°59'E,38°34'N)、民勤县六沟乡(103°01'E,38°37'N)和张坝乡(102°59'E,38°35'N)。区域内气候干燥,降水稀少,蒸发量大,昼夜温差大,环境条件十分恶劣。年均气温 7.8 $^{\circ}\text{C}$,年均日较差 15.2 $^{\circ}\text{C}$;大于 10 $^{\circ}\text{C}$ 积温 3 036.4 $^{\circ}\text{C}$;无霜期 176 d;年均降水量 115.4 mm,主要集中在 7—9 月,占年降水量 60%;年蒸发量 2 452.7 mm;地下水位 5~18 m。主要植被有怪柳(*Tamarix chinensis*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、红砂(*Reaumuria songarica*)、蓝刺头(*Echinops sphaerocephalus*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、猪毛菜(*Salsola collina*)等。

研究区最初为固定沙地,然后经过不同年限开垦和种植成为了现在的果园。新果园种植年限 40 a,六沟 8 a,张坝 5 a。土壤类型多为风沙土,pH 值 7.8~8.1,弱碱性。骏枣园均采用密植矮化宽窄行的模式种植,宽行行距 3 m,窄行行距 0.5 m,株距 30 cm,砧木为酸枣,接穗为骏枣。田间管理技术如嫁接、浇水、施肥、抹芽、除草、病虫害防治和修剪方式等均相同。其中,新果园为 4 a 生骏枣,地径(离地面 10 cm) 31.93 cm,平均高度 112.60 cm,冠幅 88 cm \times 79 cm,面积 3.33 hm^2 ,成活率 92%。张坝为 5 a 生骏枣,地径 40.29 cm,平均高度 184.11 cm,冠幅 129 cm \times 108 cm,面积 3.33 hm^2 ,成活率 92%。六沟为 6 a 生

骏枣,地径 52.54 cm,高度 210 cm,冠幅 150.44 cm×126.56 cm,成活率 91%,面积 3.33 hm²。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤调查和样品采集 2019年5月,在整个骏枣园,根据种植年限在新果园、六沟和张坝各选择3个样区,样区面积1 hm²,每个样区随机选择1个点,每个点分树下和行间选点,树下采用离树5,10,20 cm处各选一个点,行间采用宽行之间的中点处选一个点。每个样点按0—5,5—10,10—20,20—30,30—40,40—60 cm土层深度采集土样,3个样区的相同层次土样充分混合作为一个样品,共采集72个土样,土壤样品自然风干后磨碎,分别过0.85 mm和0.15 mm尼龙筛,保存备用。

1.2.2 土壤有效硒提取 在土壤中,有效硒包括水溶态硒、交换态硒和有机态硒,其余皆为无效硒。根据田应兵等^[13,21]对土壤各形态硒测定方法连续提取

程序,2019年12月,依次分离出水溶态硒、交换态硒和有机态硒。

1.2.3 土壤全硒提取 土样用HNO₃-HClO₄消煮HCl还原制备待测液^[13]

1.2.4 硒的测定方法 采用氢化物发生—原子吸收光谱法(HGAAS)测定^[8,20]。

2 结果与分析

2.1 骏枣园土壤全硒变化

由表1可知,民勤县骏枣园72个土壤样品根据其全硒含量的大小可以划分成缺硒、少硒、足硒和富硒4个类型。其中,缺硒土壤仅占8.33%,少硒土壤占15.28%,足硒土壤占样品75.00%,富硒土壤占1.39%,同时,土壤全硒平均值为210.6 μg/kg,在足硒划分标准范围内。这表明民勤骏枣园土壤整体表现为不缺硒,以足硒类型为主。

表1 民勤县骏枣园土壤全硒等级划分

Table 1 Classification of total selenium in soil of jujube orchard in Minqin County

等级	划分标准/(μg·kg ⁻¹)	样本数/个	总样本/个	百分比/%	变幅/(μg·kg ⁻¹)	平均值/(μg·kg ⁻¹)
缺硒	<125	6	72	8.3		
少硒	125~175	11	72	15.3		
足硒	175~450	54	72	75.0		
富硒	450~2 000	1	72	1.4	24~520	210.6
高硒	2 000~3 000	0	72	0.0		
过量硒	>3 000	0	72	0.0		

由表2可知,3个骏枣园0—60 cm土层全硒含量平均值均呈现树下大于行间。新果园和六沟树下每层土壤全硒均大于行间。而在张坝枣园,只有0—10 cm土层树下全硒含量大于行间,10—40 cm土层树下和行间土壤全硒含量没有显著差异,在40—60 cm土层,行间大于树下。这可能与张坝地下土层母质结构、微地形等因素有关。3个骏枣园无论是行间还是树下全硒含量均呈现:六沟>张坝>新果园。在0—60 cm土层范围内,3个果园土壤硒含量无论是树下还是行间均随着土层深度的增加而减少。根

据中国表层土壤含硒量分级标准^[14,22]并结合表2数据可以看出,在0—20 cm表层土壤,足硒类型占表层土壤总硒含量的94.44%,这表明民勤县骏枣园表层土壤属于足硒水平;在20—40 cm亚表层土壤,足硒类型占土50.00%,少硒占41.67%,表明民勤县骏枣园亚表层土壤以足硒和少硒为主;在40—60 cm底层土壤,足硒、少硒和缺硒各占三分之一。其中,新果园为缺硒,张坝为少硒、六沟为足硒。从0—60 cm土层土壤全硒含量平均值来看,3个骏枣园整体表现为足硒水平。特别是树下全为足硒水平。

表2 民勤县骏枣园树下和行间不同土层土壤全硒含量

Table 2 Total selenium content of soil under trees and between rows in jujube orchard in Minqin County μg/kg

深度/cm	新果园		张坝		六沟	
	树下	行间	树下	行间	树下	行间
0—5	241.5	199.6	324.2	294.1	453.6	342.5
5—10	232.0	197.5	230.0	214.3	270.3	242.7
10—20	225.7	180.5	184.1	184.6	255.5	205.7
20—30	204.0	177.0	171.3	171.7	243.7	206.1
30—40	165.5	115.2	170.8	173.8	229.7	197.8
40—60	90.0	55.3	142.4	169.6	224.2	190.0
平均值	193.1	154.2	203.8	201.4	279.5	230.8

2.2 骏枣园土壤各形态硒变化

(1) 水溶态硒。水溶态硒指可溶性无机硒和可溶性有机硒,最容易被植物吸收利用的有效硒形态。由表 3 可知,3 个骏枣园土壤水溶态硒含量为 1.1~1.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值仅为 1.22 $\mu\text{g}/\text{kg}$,占各土地层全硒含量的 0.5%~1.2%。这说明水溶态硒在 3 个果园各土层中分布均衡且含量较低,而且树下和行间没有差异。中国低硒带表层土壤水溶态硒的缺乏指标上限为 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[9]。根据该标准,3 个枣园土壤水溶态硒总体缺乏。

(2) 交换态硒。土壤交换态硒指那些被水合氧化物、黏土矿物及腐殖质表面吸附的四价态亚硒酸离子,在一定条件下可被植物吸收。由表 3 可知,3 个枣园交换态硒含量为 1.4~2.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$,它们的平均值为 2.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$,占各土层全硒含量的 0.4%~2.2%。3 个果园土壤之间交换态硒没有差异,但行间的交换

态硒含量略高于树下。说明 3 个骏枣园交换态硒也缺乏,且分布没有水溶态硒均衡。

(3) 有机态硒。土壤有机态硒是指可以矿化成硒酸盐或亚硒酸盐以及一些可以直接被植物吸收的低分子量有机态硒化合物(含硒氨基酸)^[20]。由表 3 可知,3 个骏枣园有机态硒含量在树下和行间变化均较大,在树下变化范围为 28.1~57.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$,每层含硒量占本层全硒含量 11.3%~46.1%,行间变化范围为 19.0~55.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$,每层含硒量占本层全硒含量的 11.6%~36.0%。3 个枣园中,仅有张坝 5—10 cm 土层行间有机态硒含量显著大于树下,其余土层均呈现树下大于行间($p < 0.05$)。另外,有机态硒随着土层深度增加逐步减少。有机态硒含量显著高于水溶态硒和交换态硒($p < 0.05$)。水溶态硒和交换态硒随着土层深度的增加无明显变化趋势,含量均小于 2.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$,它们的含量均不及有机态硒的 10%。

表 3 民勤县骏枣园土壤各形态硒含量

Table 3 Different forms selenium content in soil of jujube orchard in Minqin County

种植园	深度/ cm	树下土壤						行间土壤							
		水溶态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	交换态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	有机态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	全硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	水溶态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	交换态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	有机态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	全硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
新果园	0—5	1.3	0.5	2.1	0.9	49.2	20.4	241.5	1.1	0.6	2.4	1.2	40.0	20.0	199.6
	5—10	1.4	0.6	1.7	0.7	52.0	22.4	232.0	1.2	0.6	1.8	0.9	42.0	21.3	197.5
	10—20	1.2	0.5	1.8	0.8	55.6	24.6	225.7	1.2	0.7	1.8	1.0	29.4	16.3	180.5
	20—30	1.2	0.6	1.5	0.7	49.0	24.0	204.0	1.1	0.6	2.2	1.2	42.5	24.0	177.0
	30—40	1.4	0.8	2.4	1.5	36.5	22.1	165.5	1.1	1.0	2.8	2.4	41.5	36.0	115.2
	40—60	1.1	1.2	1.9	2.1	41.5	46.1	90.0	1.2	2.2	2.0	3.6	19.0	34.4	55.3
张坝	0—5	1.3	0.4	1.9	0.6	47.5	14.7	324.2	1.3	0.4	2.1	0.7	43.0	14.6	294.1
	5—10	1.3	0.6	1.7	0.7	28.1	12.2	230.0	1.1	0.5	2.0	0.9	55.0	25.7	214.3
	10—20	1.1	0.6	1.4	0.8	37.7	20.5	184.1	1.2	0.7	2.3	1.2	26.0	14.1	184.6
	20—30	1.2	0.7	1.9	1.1	35.3	20.6	171.3	1.3	0.8	2.3	1.3	34.0	19.8	171.7
	30—40	1.2	0.7	2.3	1.3	38.3	22.4	170.8	1.3	0.7	2.1	1.2	27.5	15.8	173.8
	40—60	1.4	1.0	2.2	1.5	33.1	23.2	142.4	1.1	0.6	2.2	1.3	32.0	18.9	169.6
六沟	0—5	1.3	0.3	1.8	0.4	51.2	11.3	453.6	1.3	0.4	2.1	0.6	47.5	13.9	342.5
	5—10	1.2	0.4	2.1	0.8	33.9	12.5	270.3	1.1	0.5	2.0	0.8	28.1	11.6	242.7
	10—20	1.1	0.4	2.2	0.9	57.7	22.6	255.5	1.3	0.6	2.1	1.0	33.1	16.1	206.1
	20—30	1.2	0.5	2.3	0.9	47.4	19.5	243.7	1.2	0.6	2.3	1.1	37.7	18.3	205.7
	30—40	1.2	0.5	2.2	1.0	35.1	15.3	229.7	1.3	0.7	2.3	1.2	28.3	14.3	197.8
	40—60	1.3	0.6	1.6	0.7	42.1	18.8	224.2	1.1	0.6	2.2	1.2	35.3	18.6	190.0

2.3 骏枣园有效态硒和无效态硒变化

土壤全硒主要包括水溶态硒、交换态硒、有机态硒、醇溶态硒、硫化态硒和残余硒。其中,水溶态硒和交换态硒可以被植物有效利用。有机态硒可以矿化成硒酸盐或亚硒酸盐被植物吸收,甚至有些低分子量的有机态硒化合物也可以被直接吸收。因此,在评价

土壤有效态硒时,水溶态硒、交换态硒和有机态硒都应该被考虑。无效态硒是指有效态硒之外的硒类型。由表 4 可知,3 个枣园有效态硒含量均较低且不均衡,范围为 22.2~61.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$,占本层总硒含量的 12.0%~49.4%,平均值为 42.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,占总硒含量的 20.2%,有效态硒随着土层深度增加没有明显规律。另外,除

新果园 30—40 土层和张坝 5—10 土层的有效硒低于行间,其余土层树下有效硒均高于行间。树下有效硒平均值为 $46.0 \mu\text{g}/\text{kg}$,占土层全硒含量的 20.4%,行间有效硒平均值为 $39.0 \mu\text{g}/\text{kg}$,占土层全硒含量的 20.0%。对于无效硒来说,也有和有效硒相似的趋势,除了张坝 20—30 cm,30—40 cm 和 40—60 cm 土层外,其余土层树下无效硒均高于行间。树下无效硒平均值为 $179.4 \mu\text{g}/\text{kg}$,占树下土层总硒含量的 79.8%。行间无效硒含量为 $156.4 \mu\text{g}/\text{kg}$,占行间总硒含量的 80%。

3 个枣园树下全硒含量平均值为 $225.5 \mu\text{g}/\text{kg}$,而

行间为 $195.4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。这表明除了个别土层,树下有效硒、无效硒和全硒均高于行间。个别土层剖面树下有效硒或无效硒高于行间的原因可能与底层土壤母质、土层结构、风沙流动等因素有关。而树下全硒高于行间,这可能与树下有较高有机质有关。有研究表明全硒含量与有机碳含量变化呈显著正相关^[7],因为枣园有机肥和树叶主要分布在树下土壤表层 0—20 cm,在清除死亡和发病枣树时发现,随着土层深度增加,根系生物量减少,这可能与浇水有关。这正好解释了随着土层深度增加,土壤全硒含量和有机质含量减少的现象。

表 4 民勤县骏枣园土壤有效态硒和无效态硒含量

Table 4 Available and unavailable selenium contents in jujube orchard of Minqin County

种植园	深度/ cm	树下土壤				行间土壤					
		有效硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	无效硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	全硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	无效硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/%	全硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
新果园	0—5	52.6	21.8	188.9	78.2	241.5	43.5	21.8	156.1	78.2	199.6
	5—10	55.1	23.8	176.9	76.3	232.0	45.0	22.8	152.5	77.2	197.5
	10—20	58.6	26.0	167.1	74.0	225.7	32.4	18.0	148.1	82.0	180.5
	20—30	51.7	25.3	152.3	74.7	204.0	45.8	25.9	131.2	74.1	177.0
	30—40	40.3	24.4	125.2	75.6	165.5	45.4	39.4	69.8	60.6	115.2
	40—60	44.5	49.4	45.5	50.6	90.0	22.2	40.1	33.1	59.9	55.3
张坝	0—5	50.7	15.6	273.5	84.4	324.2	46.4	15.8	247.7	84.2	294.1
	5—10	31.1	13.5	198.9	86.5	230.0	58.1	27.1	156.2	72.9	214.3
	10—20	40.2	21.8	143.9	78.2	184.1	29.5	16.0	155.1	84.0	184.6
	20—30	38.4	22.4	132.9	77.6	171.3	37.6	21.9	134.1	78.1	171.7
	30—40	41.8	24.5	129.0	75.5	170.8	30.9	17.8	142.9	82.2	173.8
	40—60	36.7	25.8	105.7	74.2	142.4	35.3	20.8	134.3	79.2	169.6
六沟	0—5	54.3	12.0	399.3	88.0	453.6	50.9	14.9	291.6	85.1	342.5
	5—10	37.2	13.8	233.1	86.2	270.3	31.2	12.9	211.5	87.1	242.7
	10—20	61.0	23.9	194.5	76.1	255.5	36.5	17.7	169.6	82.3	206.1
	20—30	50.9	20.9	192.8	79.1	243.7	41.2	20.0	164.5	80.0	205.7
	30—40	38.5	16.8	191.2	83.2	229.7	31.9	16.1	165.9	83.9	197.8
	40—60	45.0	20.1	179.2	79.9	224.2	38.6	20.3	151.4	79.7	190.0
平均值		46.0	20.4	179.4	79.6	225.5	39.0	20.0	156.4	80.0	195.4

2.4 骏枣园土壤有效硒与开垦年限关系

由表 5 可知,有效硒中水溶态硒和交换态硒在 3 个枣园土壤含量均较低,仅占有效态硒的 7.2%~8.3%,而有机态硒占有效态硒的 91.8%~92.8%。但是,水溶态硒和交换态硒是最有效的两种硒类型,可以直接被植物吸收利用,而有机态硒则需要经过矿化作用,将其转化成硒酸盐或亚硒酸盐,或者是一些有机小分子才可以被植物吸收利用,它是一种潜在的有效硒类型。这些来自于有机质的有机态硒矿化需要一定时间。开垦年限越长,有机质残存越多,产生的

有机态硒就越多。所以,3 个果园有机质残存量大小应该为:新果园>六沟>张坝,3 个果园有机态硒含量也为:新果园>六沟>张坝(表 5)。

3 个枣园土壤有效硒含量与开垦年限变化一致。即开垦年限越长,有效硒含量越高。可能原因是开垦年限越长,土壤有机质含量越高,导致有机态硒含量越高,而在 3 个果园中有机态硒占有效硒的 90%以上(表 5),因此,3 个果园有效硒含量主要取决于有机态硒含量,即有效硒的大小为:新果园>六沟>张坝。

表 5 民勤县骏枣园土壤有效硒与开垦年限关系

Table 5 Relationships between soil available selenium and reclamation years in jujube orchard of Minqin County

种植园	水溶态+交换态/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占有效硒 比例/%	有机态硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占有效硒 比例/%	有效硒/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	开垦年限/a
新果园	3.2	7.2	41.5	92.8	44.8	40
六沟	3.3	7.7	39.8	92.3	43.1	8
张坝	3.3	8.3	36.5	91.8	39.7	5
平均值	3.3	7.7	39.3	92.3	42.5	14.3

3 结论

(1) 民勤县沙区 3 个骏枣园表层土壤全硒不缺乏,且呈现六沟>张坝>新果园。树下土壤含硒量均高于行间。在 0—60 cm 土层深度内,随着土层深度增加,全硒量逐步减少,表层(0—20 cm)土壤属于足硒类型,亚表层(20—40 cm)土壤以足硒和少硒为主,底层(40—60 cm)土壤表现为足硒、少硒和缺硒。

(2) 土壤有效硒含量较低,仅占全硒的 20.2%。有效硒中,水溶态硒和交换态硒仅占有效硒的 7.7%,其余为有机态硒。土壤有机态硒含量分别为新果园>六沟>张坝,开垦年限越长,有机态硒含量越高。土壤全硒、有效硒和无效硒含量均呈现树下高于行间。

(3) 民勤县沙区 3 个骏枣园土壤有效硒含量低,特别是骏枣直接吸收利用的水溶态性和交换态硒极低,会导致骏枣果实低硒。如果要发展富硒枣产业,必须人工补充硒肥。

[参 考 文 献]

- [1] 徐强,迟凤琴,匡恩俊,等.方正县土壤硒的分布特征及其与土壤性质的关系[J].土壤通报,2015,46(3):597-602.
- [2] Gerla P J, Sharif M U, Korom S F. Geochemical processes controlling the spatial distribution of selenium in soil and water, West-Central South Dakota, USA [J]. Environmental Earth Sciences, 2011,2(7):1551-1560.
- [3] Rayman M P. The importance of selenium to human health [J]. The Lancet, 2000(356):233-241.
- [4] 王晓杰,孟凡乔,吴文良.内蒙古武川县土壤硒分布特性研究[J].土壤通报,2016,47(3):624-629.
- [5] 侯军宁,李继云.土壤硒的形态及有效硒的提取[J].土壤学报,1990,24(7):405-410.
- [6] 陈锦平,刘永贤,曾成城,等.植物对土壤硒的吸收转化研究进展[J].生物技术进展,2017,7(5):421-427.
- [7] 周越,吴文良,孟凡乔,等.土壤中的硒含量、形态及有效性研究[J].土壤通报,2014,31(6):527-532.
- [8] 田应兵,陈芬,熊明彪,等.若尔盖高原湿地土壤硒的数量、形态与分布[J].水土保持学报,2004,18(3):66-70.
- [9] 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.
- [10] 李福燕,漆智平,李许明.海口市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.
- [11] Tan Jian'an, Zhu Wenyu, Wang Wuyi, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China [J]. The Science of the Total Environment, 2002,284(1/2/3):227-235.
- [12] Huang Yang, Wang Quanxin, Gao Jin, et al. Daily dietary selenium intake in a high selenium area of Enshi, China [J]. Nutrients, 2013,5(3):700-710.
- [13] 王云,魏复盛.土壤环境元素化学[M].北京:中国环境科学出版社,1995.
- [14] 王晓杰,孟凡乔,吴文良.内蒙古武川县土壤硒分布特性研究[J].土壤通报,2016,47(3):624-629.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 张丽珊,朱岩.东北大骨节病区主要土壤腐殖酸与大骨节病关系的研究[J].应用生态学报,1990,1(4):333-337.
- [18] Ohlendorf H M, Hoffman D J, Saiki M K, et al. Embryonic mortality and abnormalities of aquatic birds: Apparent impacts of selenium from irrigation drain water [J]. Science of Total Environment, 1986, 52: 49-63.
- [19] 陈雪龙,王晓龙,齐艳萍.大庆龙凤湿地土壤理化性质与硒元素分布关系研究[J].水土保持研究,2012,19(4):159-162.
- [20] 迟凤琴,徐强,匡恩俊,等.黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究[J].土壤学报,2016,53(5):1262-1274.
- [21] 王子健.土壤样品中硒的结合态分析[J].中国环境科学,1998,8(6):51-54.
- [22] 谭见安,朱文郁,李日邦,等.克山病与环境硒等生命元素的关系[J].中国地方病学杂志,1991,10(5):269-274.