

石灰性土壤硒含量与小麦籽粒硒相关性研究

张 栋,张 妮,侯振安,冶 军

(石河子大学农学院资源与环境系,新疆 石河子 832003)

摘 要: 对新疆不同地区的 39 个小麦田耕层土壤及籽粒进行调查取样,研究土壤的全硒、有效硒含量与小麦籽粒硒含量的相关性及其影响因素。结果表明:土壤全硒含量在 0.144~1.153 mg·kg⁻¹ 之间,其中 10% 属于少硒土壤(0.125~0.175 mg·kg⁻¹),49% 属于足硒土壤(0.175~0.450 mg·kg⁻¹),41% 属于富硒土壤(0.450~2.000 mg·kg⁻¹),土壤硒的活化率平均为 25.11%;小麦籽粒全硒含量在 0.004~0.055 mg·kg⁻¹ 之间,达到国家谷物类食品富硒标准(0.040~3.000 mg·kg⁻¹) 的仅有 8%,92% 小麦籽粒硒含量低于国家谷物类食品富硒标准,由此可知土壤全硒含量与小麦籽粒硒含量无相关性,而土壤有效硒与籽粒硒含量呈极显著正相关,所以要充分利用富硒土壤生产富硒小麦就必须提高土壤中硒的有效性;土壤有效硒与土壤 pH 值呈极显著正相关,因此在实际生产中可以通过改善土壤条件的方法来提高土壤硒的有效性,从而提高小麦籽粒中硒的含量;土壤全硒含量随土壤质地粘重程度的增加而增加。

关键词: 小麦籽粒;石灰性土壤;全硒;有效硒;活化率;颗粒组成

中图分类号: X833 **文献标志码:** A

Correlation between calcareous soil selenium content and wheat grain selenium content

ZHANG Dong, ZHANG Ni, HOU Zheng-an, YE Jun

(Department of Resources and Environmental Sciences, College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: As a traceable element, selenium is of great importance on human health and its contents in environment directly affects the health and safety of human beings, animals and plants. Concentration and availability of selenium in wheat soils in Xinjiang province were investigated and the governing factors were analyzed by collecting 39 surface soil samples from different regions in Xinjiang. The results showed that the total selenium content ranges from 0.144 mg·kg⁻¹ to 1.153 mg·kg⁻¹. 10% of the soils contain little selenium (0.125~0.175 mg·kg⁻¹), 49% contain full selenium (0.175~0.450 mg·kg⁻¹), and 41% are selenium-rich (0.450~2.000 mg·kg⁻¹). The average activation rate of soil selenium is 25.11%. The wheat grain selenium content ranges from 0.004 mg·kg⁻¹ to 0.055 mg·kg⁻¹. While 92% of the wheat grains selenium content is lower than the national cereal food selenium-rich standard, indicating that there was no correlation between total selenium content in soil and wheat grain selenium content. But soil availability selenium and wheat grain selenium content have significant correlation. Soil availability selenium and soil pH have significant correlation. Therefore, improvement of the availability of selenium in soil can help to produce selenium-rich wheat. Through the control of soil conditions in the actual production by improving the available soil selenium, the selenium content in wheat grain can also be improved. Soil total selenium content becomes increased with the increase of heavy degree in soil texture.

Keywords: wheat grain; calcareous soil; total Se; available Se; activity index; soil structure

硒是人和动物必须的微量元素之一,在人体中具有抗氧化、排毒、预防癌变、提高免疫力等多方面的功能^[1-4]。我国出现的克山病、大骨节病已被证实是缺硒引起的^[5-7]。据调查我国 72% 的国土面积属低硒或缺硒地区,生活在缺硒地区的人口有 7 亿多^[8]。卢良恕、李振声等院士呼吁加强富硒农产

收稿日期:2015-07-01
基金项目:国家科技支撑项目:滴灌条件下粮食作物水肥资源高效利用与农田肥力提升研究与示范(2012BAD42B02)
作者简介:张 栋(1990—),男,新疆塔城人,硕士研究生,主要从事新型肥料与现代施肥技术的研究。E-mail: xjzhangdong@sina.cn。
通信作者:冶 军,E-mail: yejun.shz@163.com。

品的开发^[9],建立日常食物摄取的人类硒营养模式,加大富硒食品的生产,保障人体健康。

植物是人和动物摄入硒营养的主要来源^[10],而农作物对土壤中硒的吸收程度取决于硒的形态及其有效性,而大多数硒以矿物晶格形态存在难以被作物利用^[11],这就制约着食物中硒的营养状况。目前,我国的食品市场上出现了诸如富硒茶叶、富硒鸡蛋、富硒米、富硒苹果等产品,一方面此类产品的价格相对较高,购买量有限,另一方面由于这些食品不能作为人们日常大量食用的食物,所以对硒的补给量有限。据调查新疆小麦主产区多属于足硒和富硒土壤,但小麦籽粒含硒量普遍偏低,在谷类作物中,小麦对硒的积聚能力最强,而通过食物链使无机硒转化为有机硒是最安全有效的补硒途径,可见,通过提高土壤中硒的有效性从而使植物农产品的硒含量提高,是从源头调控硒营养和预防有关硒缺乏病的出路^[5]。

本研究通过分析不同地区小麦田耕层土壤、小麦籽粒中硒含量及土壤理化性质与土壤硒含量相关

性,为正确评价表层土壤及籽粒硒状况,有效利用富硒土壤硒资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试样品的采集及处理

新疆石河子、伊犁、塔城、哈密、吉木萨尔、奎屯等地区小麦产量之和占新疆总产量的比例超过 30%,且均是冬春麦兼种地区^[12],主要种植品种新春 35 号、6 号,宁春 16 号、17 号,奎东 5 号,新东 18 号。

2014 年 7 月至 9 月,小麦收获期在以上几个地区采集小麦及土壤样品 39 个,其中石河子 22 个,伊犁 4 个,塔城 5 个,哈密 3 个,吉木萨尔 3 个(图 1)。在每个小麦地随机选择 3~4 个大小为 1 m² 的采样点按 S 型线路采取小麦及土壤样品。小麦样品经人工脱粒,粉碎后,储存于干燥器中,备用待测,土壤样品经风干、剔除杂物后分别过 2 mm、1 mm、0.25 mm 的尼龙筛,备用待测。

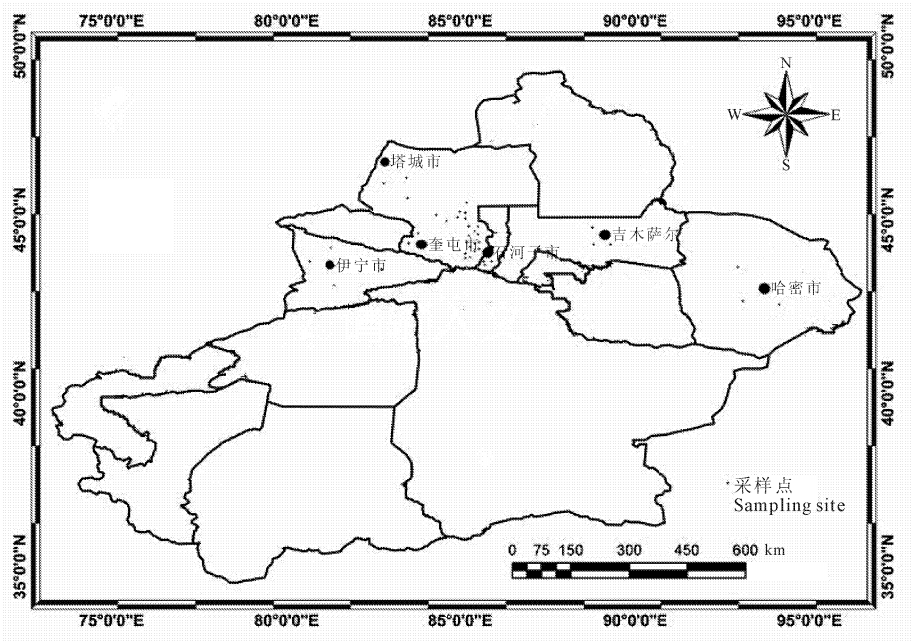


图 1 采样点分布示意图
Fig.1 Distribution of the sampling sites

1.2 测定项目与方法

土壤理化性质:分析方法参照《土壤农化分析》^[13]。土壤颗粒组成采用比重计速测法。

土壤全硒测定:分析方法参照王丹君等^[14]、袁菊等^[15]推荐的测试方法,称取过 0.25 mm 尼龙筛待测土壤样品 1.0000 g 于 100 mL 锥形瓶中,加入优级纯混合酸(硝酸:高氯酸 = 3:2) 10 mL,盖上小漏斗,

放置过夜。次日在砂浴锅上以 100℃加热至棕色烟雾冒尽,继续升温到 160℃~170℃加热消化至灰白色并伴有白烟且溶液体积剩余 3 mL 左右,然后加入 10 mL 6 mol·L⁻¹盐酸置于沸水浴中加热 20 min,取出冷却至室温,加入浓盐酸 10 mL 后用高纯水将消化液转移定容到 50 mL 容量瓶中,摇匀待测。同时做空白试验,原子荧光光谱仪测定

土壤有效硒测定:分析方法参照温国灿等^[16]、吴雄平等^[17]推荐的测定方法,称取 1.0000 g 左右的土壤样品,以 1:15 的固液比,加 0.5 mol·L⁻¹KH₂PO₄ 溶液 15 mL,振荡离心,取上清液 10 mL 置于 50 mL 离心管中。加入浓盐酸 2.0 mL 和 100 g·L⁻¹的铁氰化钾溶液 1.0 ml 摇匀,同时做空白实验,用原子荧光光谱仪测定。

小麦籽粒全硒测定:分析方法参照唐玉霞等^[18]、于振等^[19]推荐的方法,称取 0.5000 g 样品于烧杯中,加入混酸(硝酸与高氯酸的体积比为 4:1) 10.0 mL,室温放置过夜,在砂浴锅上以 160℃加热消化,当溶液无色并伴有白雾产生时且溶液体积剩余约为 2 mL 时,加入 5 ml 6 mol·L⁻¹盐酸,继续加热,待烧杯内的溶液变为透明无色并出现白烟时停止加热。置于室温条件下冷却,消化液于 25 mL 容量瓶中定容,摇匀备用,用原子荧光光谱仪测定。

土壤硒的活化率:参照赵妍等^[20]推荐的计算方法,(有效硒含量/全硒含量)×100%

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 及 SPSS13.0 统计分析软件进行数据处理和差异显著性检验,并用 Microsoft Excel 2003 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同地区土壤硒含量

2.1.1 土壤全硒含量 对新疆不同地区的 39 个小麦地表层土壤样品及籽粒样品检测结果表明,土壤全硒含量变幅为(表 1)0.144~1.153 mg·kg⁻¹,平均值为 0.462 mg·kg⁻¹,而全国土壤硒含量平均值为 0.2900 mg·kg⁻¹,新疆地区土壤硒含量平均值为 0.220 mg·kg⁻¹^[21],可见所研究的耕层土壤全硒含量大于全国及新疆土壤硒含量的平均值。

依据谭见安等^[22]划分的我国硒元素生态景观的界限值,对所调查的新疆不同地区的小麦田耕层土壤进行了硒全量的频度分析,结果表明(图 2),研究区表层土壤 10%为少硒土壤(0.125~0.175 mg·kg⁻¹),49%的为足硒土壤(0.175~0.450 mg·kg⁻¹),41%的为富硒土壤(0.450~2.000 mg·kg⁻¹)。

2.1.2 土壤有效硒含量 根据对新疆不同地区的 39 个小麦田耕层土壤的分析结果表明,有效硒含量为(表 1)17.47~84.09 μg·kg⁻¹,平均值为 42.26 μg·kg⁻¹。为了更直观地反映土壤硒的有效性程度以及土壤供硒潜力,本研究引入了活化率^[20]指标。经调查研究分析,土壤硒活化率偏低,变幅为(表 1)2.00%~31.37%,均值为 12.16%。可见供试土壤

中硒的有效度较低。

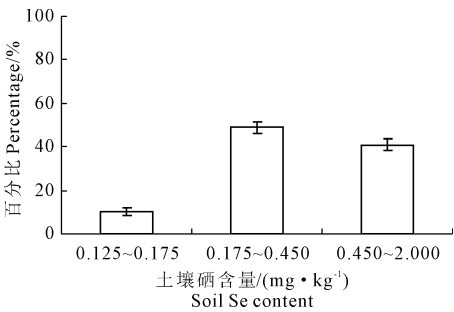


图 2 土壤硒含量频度分布图

Fig.2 Frequency of soil selenium content

表 1 土壤硒含量及其活化率

Table 1 Soil selenium contents and activation rates

测试指标 Test index	范围 Range	平均值 Average value
土壤全硒/(mg·kg ⁻¹) Soil selenium	0.144~1.153 mg·kg ⁻¹	0.462 mg·kg ⁻¹
土壤有效硒/(μg·kg ⁻¹) Soil available selenium	17.47~84.09 μg·kg ⁻¹	42.26 μg·kg ⁻¹
土壤硒活化率/% Activation rate	2.00%~31.37%	12.16%

2.1.3 土壤全硒与有效硒的相关性分析 对新疆不同地区的 39 个小麦田耕层土壤的分析结果表明,在所调查区域中土壤有效硒与全硒含量并没有显示出相关性(图 3),主要由于新疆不同地区成土母质以及土壤理化性质的差异所造成的。这与赵妍等^[20]研究结果相符。

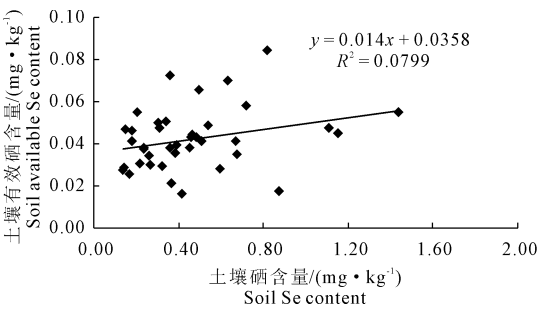


图 3 土壤有效硒与全硒的相关分析

Fig.3 Correlation analysis between available Se and Se in soli

2.2 土壤理化性质、颗粒组成与土壤全硒及有效硒的相关性

2.2.1 土壤理化性质、颗粒组成与土壤全硒的相关性分析 对新疆不同地区 39 个小麦田耕层土壤中全硒含量与土壤理化性质的数据分析表明,土壤全硒含量与土壤 pH 值($n=39, r=0.18$ 、图 4b)、有机质($n=39, r=0.21$ 、图 4a)、电导率($n=39, r=0.15$ 、图 4c)均无显著相关性。供试土壤中大部分以

砂土和粘壤土为主,土壤粘粒含量($n = 39, r = 0.43, P < 0.01$ 、图 4e)与土壤全硒含量呈极显著正相关性(图 4e),且与粉粒含量($n = 39, r = -0.02$ 、图 4d),

砂粒含量($n = 39, r = -0.29$ 、图 4f)均无显著相关性。可见土壤全硒随土壤质地粘重程度的增加硒含量增加。

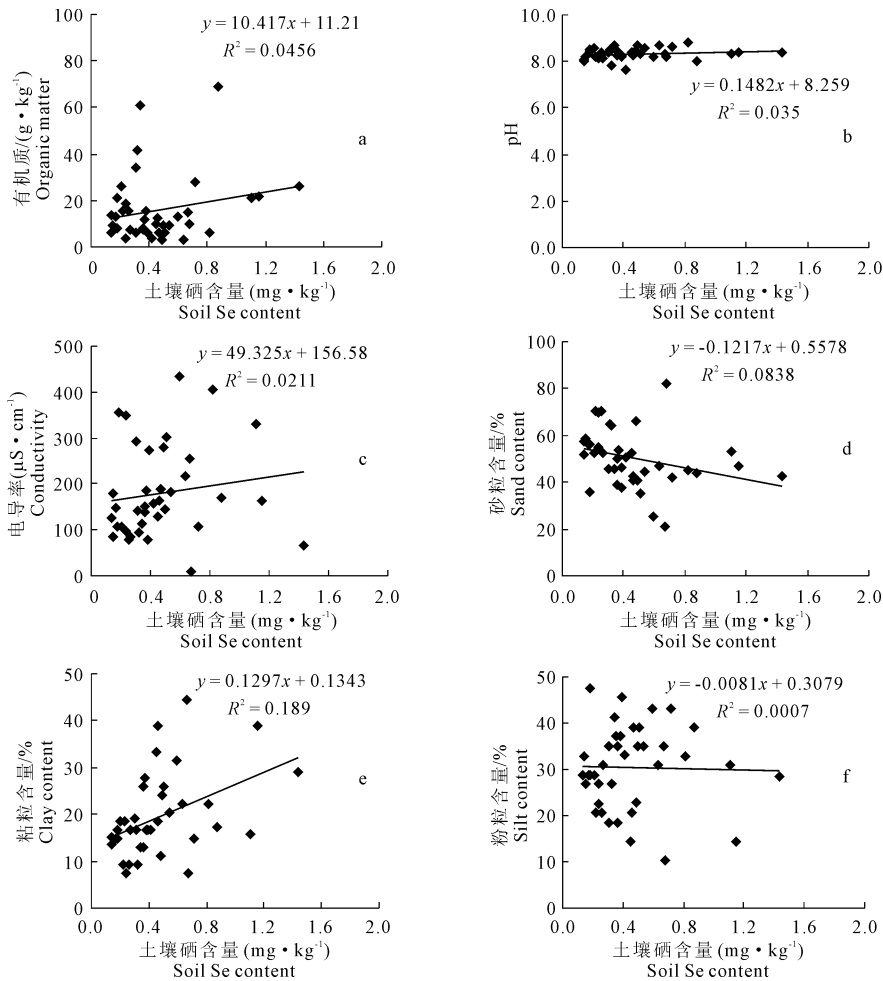


图 4 土壤理化性质、颗粒组成与土壤全硒含量的相关性分析

Fig.4 Correlation analysis among soil basic, soil structure and soil selenium content

2.2.2 土壤理化性质、颗粒组成与土壤有效硒的相关性分析 本研究供试的新疆不同地区小麦田的 39 个耕层土壤样品的有效硒含量与 pH 值、有机质、电导率及土壤的颗粒组成的相关性分析表明,土壤有效硒含量与土壤 pH 值(图 5a)呈极显著相关,这与魏显有等^[23],赵美芝等^[24],赵妍等^[20]研究相符。土壤有效硒含量与土壤有机质($n = 39, r = -0.12$ 、图 5b)、电导率($n = 39, r = 0.19$ 、图 5c)、粘粒含量($n = 39, r = 0.04$ 、图 5d)、粉粒含量($n = 39, r = 0.23$ 、图 5e)、砂粒含量($n = 39, r = -0.19$ 、图 5f)之间并不存在明显的相关性。

2.3 小麦籽粒硒含量

小麦籽粒全硒含量的变幅为 0.008 ~ 0.055 mg·kg⁻¹,平均值为 0.019 mg·kg⁻¹。依据国家富硒食品含量分类,对所调查的小麦籽粒进行了硒含量的频

度分析,结果表明仅有 8% 的小麦籽粒达到富硒标准(0.040 ~ 0.300 mg·kg⁻¹),其余的 92% 的小麦籽粒均未到达富硒标准(<0.0400 mg·kg⁻¹)(图 6)。

2.4 小麦籽粒硒含量土壤硒含量的相关性

本研究对 39 个土壤的有效硒含量与小麦籽粒硒含量的相关性分析(图 6)表明土壤有效硒含量与籽粒硒含量呈极显著相关($n = 39, r = 0.64, P < 0.01$)。由此得出土壤中有有效硒含量在 0.08 ~ 0.61 mg·kg⁻¹时小麦籽粒达到富硒标准且低于硒中毒标准。

3 讨 论

全国土壤硒含量平均值为 0.290 mg·kg⁻¹,新疆地区土壤硒含量平均值为 0.220 mg·kg⁻¹^[21],本研所供试土壤全硒含量平均值为 0.462 mg·kg⁻¹,可见

供试土壤全硒含量均高于全国及新疆土壤全硒含量的平均值,并且有研究表明:土壤中有有效硒是能够被植物直接吸收利用的部分,它是决定食物链中硒水平的关键因素^[25],对供试土壤分析结果表明,有效硒含量平均值为 $42.26\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,硒的活化率的平均值 12.16% 。前人发现土壤全硒是有效硒的来源,在一定条件下土壤全硒会活化成植物能利用的有效

硒,而有效硒在一定条件下也能转化为固定态硒^[25]。但是土壤-植物生态系统中,土壤全硒代表土壤中各种形态的总和,并不代表土壤中硒的生物有效性^[26],本研究与上述研究一致,土壤全硒含量与有效硒含量并无相关性。可见供试土壤中硒的有效度较低,但有效度提高的空间很大。

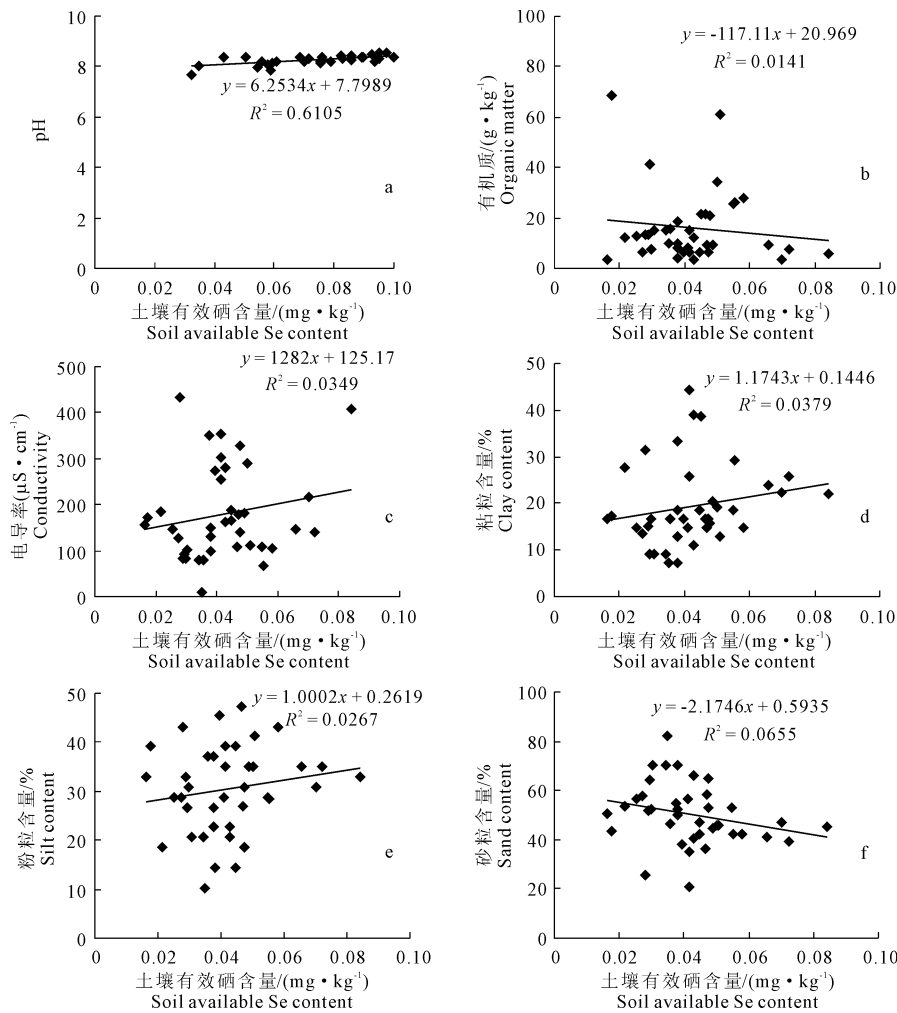


图 5 土壤理化性质、颗粒组成与土壤有效硒含量的相关性分析

Fig.5 Correlation analysis among soil basic, soil structure and soil available selenium content

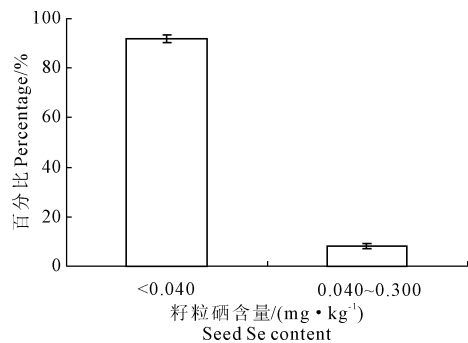


图 6 小麦籽粒硒含量频度分布

Fig.6 Frequency of wheat seed selenium content

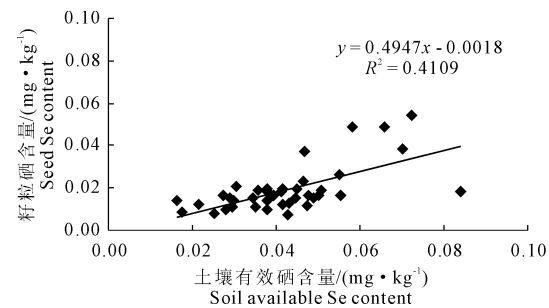


图 7 土壤有效硒含量与小麦籽粒硒含量的相关分析

Fig.7 Correlation analysis between soil available Se and seed Se content

岩石通过风化进入土壤,因此土壤中的硒含量主要与母质有关,不同地区土壤中的硒含量差异很大,土壤全硒含量除了与土壤母质有关还与土壤理化性质有关^[27-29]。前人对影响土壤硒有效度的研究发现,土壤 pH 值是影响土壤价态变化主要因素之一,土壤溶液中,pH 决定了土壤硒的价态特征,一般来说 pH 值越高,土壤中硒可溶性越强,活性越大^[20]。且有研究报道,有机质对土壤硒有双重作用,一方面有机组分中的硒是以与有机化合物成结合物的形式存在,或者由于微生物的作用结合到氨基酸和蛋白质中,所以比粘土矿物有更强的固定能力;另一方面有机质的增加会导致有机硒的增加,从而增加硒的生物可利用性^[26]。本研究结果发现,土壤全硒含量与土壤粘粒含量呈显著正相关,而与土壤 pH 值、有机质、电导率等均无显著相关性,而土壤有效硒含量与土壤 pH 值呈显著相关性,与其他理化性质及土壤颗粒组成均无显著相关性。

土壤中硒的总量只能看作是土壤的潜在供应能力和贮量的指标,植物能直接吸收、利用的是土壤溶液中的有效态硒,有大量的研究证明作物中硒的含量与土壤中有效硒的含量呈显著正相关^[30]。本研究结果表明,供试小麦籽粒硒含量平均值为 0.019 mg·kg⁻¹,且在与土壤全硒,土壤有效硒的相关性分析中发现,籽粒硒含量与土壤有效硒含量呈显著正相关,而与土壤全硒含量无明显相关性。

4 结 论

1) 供试的耕层土壤样品硒含量大部分都达到足硒及富硒的标准,但大部分小麦籽粒样品硒含量均未达到国家标准,由此可知土壤全硒含量与小麦籽粒硒含量无相关性,而土壤有效硒与籽粒硒含量呈极显著正相关,所以要充分利用富硒土壤就必须提高土壤中硒的有效性。

2) 小麦籽粒硒含量与土壤有效硒含量呈极显著正相关关系,因此通过提高土壤中硒的有效性可以使植物农产品的硒含量提高。

3) 土壤有效硒含量与土壤 pH 值呈极显著正相关关系,因此,可以在实际生产中通过改善土壤环境条件的方法来提高土壤硒的有效性。土壤全硒含量随土壤质地粘重程度的增加,硒含量亦增加,且增加幅度明显。

参 考 文 献:

[1] 陈 军.“生命火种”——微量元素硒[J].科学中国人,1998,(6):35.
[2] 卢 钢,孙 军,殷丽文,等.富硒大米抗氧化作用的研究[J].中国地方病防治杂志,2008,(4):261-262.
[3] Combs C F. The role of selenium in nutrition[M]. New York: Aca-

demc Press, 1986:15-40.
[4] Combs G F. Selenium in global food systems[J]. British Journal of Nutrition, 2001,85(5):517-547.
[5] 齐玉薇,史长义.硒的生态环境与人体健康[J].微量元素与健康研究,2005,22(2):63-66.
[6] 侯少范,王五一,李日邦,等.大骨节病病情下降与环境因素的定位研究[J].环境科学学报,1994,14(2):198-205.
[7] 蒋 彬,李志刚,叶正钱,等.硒从土壤向食物链的迁移[J].土壤通报,2002,33(2):149-152.
[8] 张万业,张 旭,田 强,等.农作物富硒增产高新技术及其产品的开发[J].内蒙古农业科技,2003,(5):30-32.
[9] 谭伟中,王志勇,马纯鹰,等.隆回县天然富硒茶开发前景初探[J].茶叶通讯,2005,32(3):15-20.
[10] Fordyce F. Selenium Deficiency and Toxicity in the Environment [M]. Berlin: Springer Netherlands, 2013:375-416.
[11] 罗 杰,王佳媛,游远航,等.硒在土壤-水稻系统中的迁移转化规律[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(3):60-66.
[12] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴 2014[M].北京:中国统计出版社,2014.
[13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005.
[14] 王丹君.原子荧光光谱法测定土壤中的硒[J].理化检验(化学分册),2014,50(7):914-915.
[15] 袁 菊,洪 涛,陈凤凰,等.微波消解-氢化物发生原子荧光法测定土壤中硒[J].福建分析测试,2008,6(2):25-27.
[16] 温国灿,黄 艳,郭永玲,等.酸性土壤有效硒提取条件优化的研究[J].农业环境科学学报,2007,26(5):1996-2000.
[17] 吴雄平,鲍俊丹,梁东丽,等.石灰性土壤有效硒浸提剂和浸提条件研究[J].农业环境科学学报,2009,28(5):931-936.
[18] 唐玉霞,王慧敏,刘巧玲,等.原子荧光法测定小麦中硒含量的研究[J].华北农学报,2009,24(8):218-220.
[19] 于 振,李建科,李梦颖,等.食品中微量硒测定方法研究进展[J].食品工业科技,2012,33(18):371-377.
[20] 赵 妍,宗良纲,曹 丹,等.江苏省典型茶园土壤硒分布特性及其有效性研究[J].农业环境科学学报,2011,(12):2467-2474.
[21] 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.
[22] 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.
[23] 魏显有,刘云惠,王秀敏,等.土壤中硒的形态分布及有效态研究[J].河北农业大学学报,1999,22(1):22-25.
[24] 赵美芝.影响土壤中硒有效性的若干因子[J].土壤,1991,23(5):236-240.
[25] 唐玉霞,王慧敏,刘巧玲,等.土壤和植物硒素研究综述[J].河北农业科学,2008,12(5):43-45.
[26] Charak V S, Tripathi B R. Studies on selenium and iodine and iodine distribution in some soils of Kangra Valley Himachal Pradesh India[J]. Journal of the Indian Society of Soil Science, 1989,37(1):167-170.
[27] 王雅玲,潘根兴,刘洪莲,等.皖南茶区土壤硒含量及其与茶叶中硒的关系[J].农村生态环境,2005,21(2):54-57.
[28] 何振立,章明奎,黄昌勇,等.岷县几种主要土壤硒的状况及有效度评价[J].生态学报,1994,14(1):51-56.
[29] 何振立,杨肖娥,祝 军,等.中国几种土壤中的有机态硒及其分布特征[J].环境科学学报,1993,13(3):281-287.
[30] 赵成义.土壤硒的生物有效性研究[J].中国环境科学,2004,24(2):57-60.