

新疆伊犁土壤硒资源分布及与土壤性质的关系分析

王 琪, 刘禹含, 杨景娜, 黄青青, 吴文良, 李花粉*

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 调查研究了伊犁州土壤中硒资源的分布特征, 为该地区富硒农产品的开发提供理论指导。用原子荧光光度法测定了新疆伊犁州 6 个县 158 个农田土壤样品的全硒含量, 并运用统计分析方法对伊犁州土壤硒资源的分布特征及与土壤理化性质的关系进行了分析。结果表明, 伊犁州 6 个县土壤中全硒含量范围为 0.14~2.75 mg·kg⁻¹, 几何均值为 0.33 mg·kg⁻¹, 其中昭苏县土壤全硒含量均值最高, 巩留县最低。所检测的土壤样品中有 2.38% 属于少硒土壤, 78.57% 属于足硒土壤(0.175~0.45 mg·kg⁻¹), 19.05% 属于高硒土壤(0.45~3.00 mg·kg⁻¹)。统计分析的结果表明, 有机质、速效钾、碱解氮与全硒含量呈极显著正相关($P<0.01$), pH 值与硒含量成显著负相关($P<0.01$)。伊犁州土壤中硒的含量水平偏高, 可以优先考虑富硒农业的开发建设。

关键词: 伊犁州; 土壤; 全硒; 分布; 理化性质

中图分类号: S153.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2014)06-0555-05

doi: 10.13254/j.jare.2014.0249

Analysis on the Distribution of Selenium Resources and Its Relationships with Soil Properties of Ili District, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

WANG Qi, LIU Yu-han, YANG Jing-na, HUANG Qing-qing, WU Wen-liang, LI Hua-fen*

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The aim of this work was mainly to study the distributions of selenium (Se) resource in soils to provide basic information for the exploitation of Se-enriched agricultural products in Ili District, Xinjiang Uygur Autonomous Region. Based on the analysis data of total Se content from 158 soil samples in six counties, the distribution characteristics of Se and the correlation with soil physicochemical properties were analyzed with the statistic method. The results indicated that the geometric mean value of Se content in the soils of Ili district was 0.33 mg·kg⁻¹, ranged from 0.14 mg·kg⁻¹ to 2.75 mg·kg⁻¹. The soil in Zhaosu county had the highest average, and Gongliu county had the lowest. The statistics analysis showed that the percentage of low Se soil, full Se soil(0.17~0.45 mg·kg⁻¹) and high selenium soil(0.45~3.00 mg·kg⁻¹) was 2.38%, 78.57% and 19.05%, respectively. The content of total Se was significantly positive correlated with organic matter, available potassium and available nitrogen($P<0.01$), while pH showed negative correlation with Se($P<0.01$). High level of Se content in soils provided an opportunity to develop the Se-enriched agricultural products in Ili district.

Keywords: Ili district; soil; total selenium; distribution; physicochemical property

硒是人体必需的微量营养元素, 低硒和过度摄取都会危害人体的健康。在寻求摄取硒元素有效方法的过程中, 归纳得出 4 种补充途径: ①食用亚硒酸钠强化食盐; ②口服亚硒酸钠药片; ③施用硒肥以提高农作物中的含硒量; ④探寻病区富硒食物^[1]。其中, 植物性硒源是对人体最安全有效的来源, 而人体所需的植

物性硒源最终取决于土壤中硒的含量水平。世界各国土壤中的硒含量大多在 0.1~2.0 mg·kg⁻¹ 之间, 均值为 0.40 mg·kg⁻¹ [2-3]。据估计约有 5 亿~10 亿人口的硒摄入量不足^[4]。中国是世界上缺硒最严重的国家, 同时也是硒含量分布不均匀的国家之一。我国土壤硒含量范围为 0.003~9.483 mg·kg⁻¹, 平均为 0.29 mg·kg⁻¹ [5-8]。从地图上看, 我国从东北到西南存在一条低硒带^[9], 缺硒省份多达 22 个, 约有 1 亿多人口因膳食结构中硒含量不足, 造成人体低硒状态。目前, 我国已报道发现多个富硒地区, 如湖北恩施、陕西紫阳、广西南宁、浙江嘉善、新疆石河子等^[10-14], 通过对富硒农畜产品的大力开发, 实现了“增产、增效、创收益”的经济目标。

收稿日期: 2014-09-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303106); 国家自然科学基金项目(41073094)

作者简介: 王 琪(1988—), 女, 博士, 主要从事环境化学方面的研究。
E-mail: wangxiaoqi.1208@163.com

* 通信作者: 李花粉 E-mail: lihuafen@cau.edu.cn

伊犁州是我国发展绿色农业和有机农业的重要区域之一^[15],近年来,农业增长速度较快,农业生产连年丰收,前景广阔。但是该地区对于富硒农产品的开发并未得到当地政府和国家的广泛关注,对伊犁州土壤硒含量的评价也鲜有报道。因此,本研究对新疆伊犁州 6 县的土壤全硒含量进行了取样分析,并进行质量评价,研究结果有助于了解伊犁州土壤中硒的含量水平,为该地区地方性疾病的预防或富硒农业的开发提供科学理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

伊犁哈萨克自治州位于中国西北边境,成立于 1954 年,辖塔城、阿勒泰 2 个地区和 10 个直属县(市),是全国唯一的既辖地区、又辖县(市)的自治州。地理坐标为东经 80°9′42″~91°01′45″,北纬 40°14′16″~49°10′45″,属温带大陆性气候地区。伊犁州土壤类型丰富,据全国第二次土壤普查结果,伊犁州土壤类型主要有:潮土、灌耕土、草甸土、沼泽土、黑钙土、灌耕黑钙土、栗钙土、风沙土等 13 种,并且土壤呈现“两高”、“一厚”、“微碱性”的特点。“两高”指有机质含量高、速效钾含量高;“一厚”指土层厚,一般>1 m;“微碱性”指土壤 pH 值中偏微碱,范围为 7.3~8.4 之间。

1.2 样品采集与分析

为了保证质量性和经济性,本试验均匀布点,共采集 168 个土壤样品,分别为:伊宁县 35 个,察县 30 个,昭苏县 29 个,特克斯县 19 个,巩留县 30 个,新源县 25 个,具体采样点分布情况如图 1 所示。在 168 个土壤样本中选取 33 个样品分析其土壤基本理化性状与硒含量的相关关系,其中 pH 值、有机质、速效磷、速效钾、碱解氮 5 项指标的数据来自于伊犁州当地的农业局。在一个样区内采用 S 形(又称蛇形)采样,5~10 点混合,采样深度为 0~20 cm 表土层。

土壤样品经过风干后,剔除样品中植物根系,然后用研钵研磨过 100 目尼龙网筛,样品存放于自封袋中待测,整个过程避免其他金属污染。称取 0.250 0~0.251 0 g 土壤样品,通过王水(HCl:HNO₃=3:1)浸泡过夜,微波消解(美国 CEM 公司, MARS5)。消解液加 6 mol·L⁻¹ 盐酸后,经水浴将六价硒还原为四价硒进行测定^[16]。再使用双道原子荧光光度计(北京吉天, AFS-920)测定土壤中全硒含量。样品消解及水浴过程中使用的各种酸均为优级纯,分析过程加入空白及国家土壤标准样品 GSBZ 50011—88(ESS-1)进行分析质量

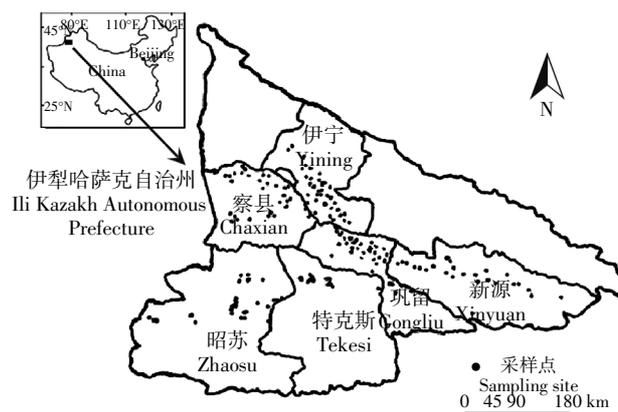


图 1 新疆伊犁州土壤采样点分布示意图

Figure 1 Distribution of the sampling sites in Ili district

控制,分析过程中硒的回收率达到(109±6)%。测定过程中使用的硒标准贮备液(100 mg·L⁻¹)购于国家环保部标准样品研究所。

1.3 数据处理与统计分析

试验数据用 Microsoft Excel 2003 计算平均值和标准误差,应用 Sigmaplot 10.0 软件绘制盒装图,使用 SPSS 17.0 进行 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

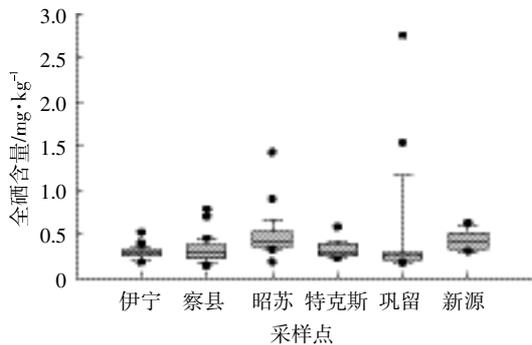
2.1 伊犁州各县土壤的全硒含量分析

伊犁州 6 个县的海拔、气候、植被等自然环境都有各自的特点,土壤的性质受各种因素的影响也有所差异,土壤中的硒元素的含量分布也有所不同。表 1 为伊犁州 6 县农田土壤全硒含量统计结果,总体来说,伊犁州土壤硒含量变幅在 0.14~2.75 mg·kg⁻¹,呈现偏态分布,几何均值为 0.33 mg·kg⁻¹,高于全国土壤全硒含量的均值 0.29 mg·kg⁻¹。其中,6 县的农田土壤全硒含量的几何均值的高低顺序为:昭苏>新源>特克斯>巩留>察县>伊宁。其中,土壤全硒含量均值的最高值(昭苏县)是最低值(伊宁县)的 1.61 倍。巩留县土壤硒含量均值的变化范围最大,为 0.17~2.75 mg·kg⁻¹,同时从变异系数来看,该县的变异系数也比其他各县高。这能在一定程度上反映出,巩留县土壤全硒含量呈不均匀分布状,其土壤全硒含量在一定程度上受到人为活动的影响。

对伊犁州土壤全硒的含量进行分析,用 Sigmaplot 作图软件绘制 Se 含量分布图,如图 2 所示。从图中可以看出各县土壤全硒含量的集中分布范围。除个别土壤样品的硒含量偏低(<0.15 mg·kg⁻¹)或偏高(>0.5 mg·

表 1 伊犁州 6 县土壤全硒含量统计表($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 1 Statistical analysis of total Se content in soils of six counties ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

采样点	分布类型	几何均值	变异系数 /%	最小值	最大值	10%值	25%值	50%值	75%值	90%值
伊宁	偏态	0.28	23.79	0.18	0.52	0.20	0.25	0.28	0.32	0.36
察县	偏态	0.29	44.47	0.14	0.79	0.15	0.23	0.28	0.37	0.41
昭苏	偏态	0.45	46.93	0.19	1.43	0.33	0.35	0.41	0.53	0.58
特克斯	偏态	0.32	32.29	0.23	0.58	0.24	0.26	0.30	0.39	0.42
巩留	偏态	0.30	130.38	0.17	2.75	0.18	0.21	0.25	0.29	0.37
新源	偏态	0.42	24.18	0.31	0.63	0.31	0.32	0.43	0.51	0.59
总计	偏态	0.33	70.13	0.14	2.75	0.21	0.25	0.32	0.41	0.54



盒状图中盒的下线为 25% 的含量线,中间线为中位值,上线为 75% 的含量值;误差线分别代表 10%、90% 含量;点图代表位于 10% 和 90% 含量值以外的点
Lower, middle and upper lines in the box represent 25%, 50% and 75% value, respectively; error lines represent 10% and 90% value; dots represent the values out of 10% and 90% value

图 2 伊犁州土壤 Se 含量分布

Figure 2 Distribution of Se content in soils of Ili district

kg^{-1})外,6 个县土壤全硒含量约有 86% 的样品集中在 $0.1\sim 0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。图 2 与表 1 的结果均表明,巩留的土壤硒含量的变幅最大,最高值为 $2.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,最低值仅为 $0.17\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。昭苏县的土壤全硒含量的整体水平比其他 5 县略高。巩留县土壤硒含量的分布呈明显的地带性,高硒地区也存在低硒的土壤。从表 1 和图 2 中看出,巩留县个别土壤样品中全硒含量高,最高达 $2.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,但同时该县也存在着低硒含量地区($0.17\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。这种分布情况与林年丰^[17]的观点一致,其指出缺硒带存在“安全岛”、硒毒区有“低硒区”。

2.2 对伊犁州土壤全硒含量的评价

国内外研究学者对土壤硒含量已经作了很多研究报告,但对富硒土壤含量的界定尚没有统一的标准。谭见安^[18]从我国克山病带和低硒环境的研究划分出我国硒元素生态景观的界限值,即 $<0.125\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为缺硒土壤, $0.125\sim 0.175\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为少硒土壤, $0.175\sim 0.450\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为足硒土壤, $0.450\sim 3.000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为高

硒土壤。对所调查的伊犁州 6 县的农田土壤进行了硒全量分布的频度分析,如图 3 所示,其结果表明,所采集的 168 个土壤样品中没有检测出缺硒土壤,2.38% 属于少硒土壤,78.57% 属于足硒土壤 ($0.175\sim 0.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),19.05% 属于高硒土壤 ($0.45\sim 3.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。从各个县的检测分析结果来看,伊犁州 6 县约 98% 土壤样本中硒的含量为足硒或富硒水平,且均没有超过我国硒元素生态景观的界限值中规定硒毒土壤的限值,可以考虑富硒农产品的开发与推广。

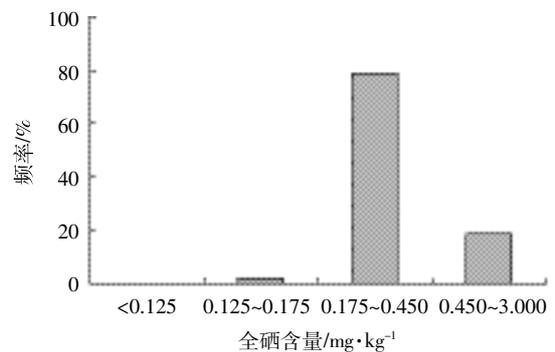


图 3 伊犁州 6 县土壤的全硒含量频率图

Figure 3 Frequency distribution of total Se content in soils of Ili district

2.3 土壤理化性质与全硒量相关性分析

土壤中硒元素的全量值不仅代表土壤中硒的储量,而且还是土壤有效硒的基础和来源^[19],而土壤理化性状是影响硒的有效性的主要因素之一。表 2 为土壤全硒量与其他理化性质的相关性分析。结果表明,所选取土壤样品的硒全量与有机质、速效钾、碱解氮含量存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$),与 pH 值呈极显著的负相关关系 ($P<0.01$),与速效磷含量不存在显著的相关关系。表 2 中数据显示,所测样品的有机质含量较高 ($17.15\sim 56.30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),算术均值为 $29.05\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表 2 土壤全硒量与其他理化性质的相关性分析
Table 2 Correlation between total Se content and soil physicochemical properties

指标	含量范围	相关性系数 r
pH 值	7.18~8.65	-0.627**
有机质 /g·kg ⁻¹	17.15~56.30	0.720**
速效磷 /mg·kg ⁻¹	2.00~87.00	—
速效钾 /mg·kg ⁻¹	92.44~367.17	0.556**
碱解氮 /mg·kg ⁻¹	75.26~298.37	0.561**

注：“**”在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: ‘**’ denotes significant correlation at the 0.01 level (2-tailed).

3 讨论

硒在土壤中按价态可划分为元素态硒、硒化物、亚硒酸盐、硒酸盐、有机态硒及挥发态硒。其中,亚硒酸盐、硒酸盐及部分有机态硒被统称为有效态硒。土壤中的有效态硒是植物体的主要硒源。土壤中有有效态硒的含量受多种因素的影响,例如土壤 pH 值、成土母质、氧化还原状况、有机质含量等,但在很大程度上取决于成土母质的组成和性质,发育程度低的土壤尤为如此^[20]。从表 1 和图 2 中数据分析得出,伊犁州 6 县中昭苏县的土壤硒含量明显高于其他 5 县的含量,该结果可以从成土母质的形成过程来解释其原因。张军民^[21]指出昭苏盆地属冷偏干半湿润区,土壤多为黑钙土类型。黑钙土的形成过程中有明显的腐殖质积累,其土壤母质多为黄土状物质,富含硫酸钙。成土过程常常改变成土母质中硒的最初含量、结合特性及其在土壤剖面中的分布。由于硫与硒为同族元素,其化学性质相似,可以推测土壤发育过程中形成硫酸钙的同时可能也产生了硒酸盐,从而形成高硒土壤。

土壤 pH 值也是影响土壤中硒含量的一个重要因素,pH 值的高低很大程度上决定了土壤中硒的存在形态及其有效性。前人的研究表明,中性和酸性土壤(pH=3~7)中硒的有效度明显低于碱性土壤(pH=8~12),认为在中性和酸性土壤中硒和铁形成了溶解性极低的氧化物或水合氧化物,而在碱性土壤中硒主要是以溶解性高的硒酸盐形式存在的^[19,22]。表 2 中数据表明,所检测土壤样品的 pH 值偏高,算术均值为 8.17。因此,伊犁州 6 县的土壤普遍为碱性土壤,在这种碱性环境中硒酸盐为主要的存在形态。所取样本土壤的硒全量与 pH 值呈负相关关系,硒元素的含量随着 pH 值的增加而减少,这是因为随着土壤 pH 值的增加,被土壤颗粒吸附的亚硒酸盐逐渐向硒酸盐形态

转化,提高土壤中硒元素的有效性,而硒酸盐极易被植物吸收,加速了硒在土壤-植物系统中的迁移转化过程,最终导致土壤中全硒含量的降低。

有机质也是影响土壤硒全量及其有效性的重要因素,但是研究学者们就有机质与土壤硒全量的相关关系的观点未达到统一认识。王莹^[9]指出土壤硒的含量与有机质含量也具有显著的正相关性,反映到土壤中硒的含量上,即为富有机质土>细质土>粗质土。有机质对硒的生态效应的影响具有二重性,一方面有机质矿化过程会释放出硒而增加其有效性,另一方面有机质对土壤溶液中硒有较强的固定能力,从而影响硒的传输^[23]。Johnsona 等^[24]对张家口克山病发病地区的土壤调查分析结果显示,土壤有机质含量与硒含量为正相关关系,且与硒的有效性成负相关关系。本文的观点与 Johnsona 等的研究结果相同。由于伊犁地区海拔相对较低,气候温暖湿润多雨,因此有机质积累丰富,土壤中有有机质含量相对较高^[25]。温暖湿润的气候促进土壤中有有机质的矿化,大大降低有机质对有效态硒的固定作用,使有机质的矿化作用大于固定作用。加之伊犁州关于克山病的报道较少,这说明土壤中的有机质含量的增加有利于硒元素的循环,但此推论仍需相关的研究来进行验证。

4 结论

(1)伊犁州土壤中硒含量较充足,高于全国平均值,大多数地区的土壤硒含量在 0.175~0.45 mg·kg⁻¹ 范围内,属于足硒土壤。

(2)昭苏县土壤全硒含量均值最高,伊宁县最低,巩留县个别地区的硒含量较高,可以考虑充分合理地运用当地的硒资源,使硒资源作为发展绿色农业的有利条件。

(3)伊犁州土壤有机质、速效钾、碱解氮含量与全硒含量成显著正相关关系,与 pH 值成显著负相关关系。

参考文献:

- [1] 杨光圻,殷太安,刘胜杰,等. 补充硒预防克山病的途径和方法[J]. 营养学报, 1982, 4(1): 1-8.
YANG Guang-qi, YIN Tai-an, LIU Sheng-jie, et al. Approaches to the supplementation of selenium in the prevention of Keshan disease[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 1982, 4(1): 1-8. (in Chinese)
- [2] Fordyce F. Selenium deficiency and toxicity in the environment[M]. *Essentials of Medical Geology Netherlands: Springer*, 2013: 375-416.
- [3] Lisk D.J. Trace metals in soils, plants and animals[J]. *Advances in Agron-*

- omy, 1972, 24: 267-325.
- [4] Combs G F. Selenium in global food systems[J]. *British Journal of Nutrition*, 2001, 85(5): 517-547.
- [5] 程伯容. 环境中若干元素的自然背景值及研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 159-164.
CHENG Bo-rong. Natural background values and research methods of certain elements in the environment[M]. Beijing: Sciences Press, 1983: 159-164.(in Chinese)
- [6] 郑达贤, 李日邦, 王五一. 初论世界低硒带[J]. 环境科学学报, 1982(3): 241-250.
ZHENG Da-xian, LI Ri-bang, WANG Wu-yi. The early study on low selenium area[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1982(3): 241-250.(in Chinese)
- [7] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 102-106.
LIAO Zi-ji. Environmental chemistry and the biological effect of trace elements[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 102-106.(in Chinese)
- [8] 何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 345.
HE Zhen-li, ZHOU Qi-xing, XIE Zheng-miao. Soil-chemical balance of pollution and beneficial elements[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 345.(in Chinese)
- [9] 王 莹. 硒的土壤地球化学特征[J]. 现代农业科技, 2008(17): 233-236.
WANG Ying. Soil geochemistry characteristics of selenium[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008(17): 233-236.(in Chinese)
- [10] 朱建明, 郑宝山, 毛大均, 等. 鱼塘坝微地域硒分布的景观地球化学研究[J]. 地球化学, 2000, 29(1): 43-49.
ZHU Jian-ming, ZHENG Bao-shan, MAO Da-jun, et al. Landscape geochemical study of distribution of selenium in Yutangba mini-landscape, Enshi, Hubei Province, China[J]. *Geochimica*, 2000, 29(1): 43-49.(in Chinese)
- [11] 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.
ZHAO Cheng-yi, REN Jing-hua, XUE Cheng-ze. Selenium in soils of selenium-rich areas in Ziyang county[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(3): 253-259.(in Chinese)
- [12] 李 杰, 杨志强, 刘枝刚, 等. 南宁市土壤硒分布特征及其影响因素初探[J]. 土壤学报, 2012, 49(5): 1012-1020.
LI Jie, YANG Zhi-qiang, LIU Zhi-gang, et al. Distribution of selenium in soils of Nanning and its influencing factors[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(5): 1012-1020.(in Chinese)
- [13] 胡艳华, 王加恩, 蔡子华, 等. 浙北嘉善地区土壤硒的含量、分布及其影响因素初探[J]. 地质科技情报, 2010(6): 84-88.
HU Yan-hua, WANG Jia-en, CAI Zi-hua, et al. Content, distribution and influencing factors of selenium in soil of Jiashan Area, Northern Zhejiang Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2010(6): 84-88.(in Chinese)
- [14] 新疆石河子北部地区发现大面积富硒土壤公示[EB/OL]. http://www.ml.gov.cn/kczygl/kckc/201208/t20120806_1128790.htm
- [15] 李花粉, 罗新湖, 孟凡乔, 等. 伊犁地区绿色和有机农产品产地环境监测与评价方法[J]. 新疆农业科学, 2008(S3): 77-82.
LI Hua-fen, LUO Xin-hu, MENG Fan-qiao, et al. The environment monitoring and evaluation method of green and organic agricultural products in Ili area[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008(S3): 77-82.(in Chinese)
- [16] Fujii R, Deverel S J, Hatfield D B. Distribution of selenium in soils of agricultural fields, western San Joaquin Valley, California[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52(5): 1274-1283.
- [17] 林年丰. 医学环境地球化学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.
LIN Nian-feng. Environmental geochemistry of medicine[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1991.(in Chinese)
- [18] 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.
TAN Jian-an. Chronic Keshan disease and environmental elements of life[M]. Beijing: Chinese Medicine Science and Technology Press, 1996.(in Chinese)
- [19] 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.
ZHAO Yan, ZONG Liang-gang, CAO Dan, et al. Distribution and availability of selenium in typical tea garden of Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011(12): 2467-2474.(in Chinese)
- [20] 王美珠, 章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J]. 浙江大学学报, 1996(1): 89-93.
WANG Mei-zhu, ZHANG Ming-kui. A discussion on the cause of high-Se and low-Se soil formation[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996(1): 89-93.(in Chinese)
- [21] 张军民. 伊犁河流域土壤发育规律研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2005(5): 583-586.
ZHANG Jun-min. Study on the soil development rule in Yili River basin[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2005(5): 583-586.(in Chinese)
- [22] Elrashidi M A, Adriano D C, Workman S M, et al. Chemical equilibria of selenium in soils: a theoretical development[J]. *Soil Science*, 1987, 144(2): 141-152.
- [23] 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.
- [24] Johnsona C C, Geb X, Greena K A, et al. Selenium distribution in the local environment of selected villages of the Keshan disease belt, Zhangjiakou District, Hebei Province, People's Republic of China[J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15: 385-401.
- [25] 张 丹, 罗格平, 许文强, 等. 新疆耕地土壤养分时空变化[J]. 干旱区地理, 2008(2): 254-263.
ZHANG Dan, LUO Ge-ping, XU Wen-qiang, et al. Spatial temporal change of soil nutrients of cultivated land in Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*, 2008(2): 254-263.(in Chinese)