

# 北京市挂甲峪地区土壤全硒含量分布特征<sup>①</sup>

崔 萌<sup>1</sup>, 孙向阳<sup>1\*</sup>, 姜新福<sup>2</sup>, 李素艳<sup>1</sup>, 杨少斌<sup>1</sup>, 李 松<sup>1</sup>, 龚小强<sup>1</sup>, 张 乐<sup>1</sup>

(1 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2 北京市通州区林业种子苗木服务中心, 北京 101100)

**摘 要:** 为调查北京市挂甲峪地区土壤全硒含量分布特征, 探讨不同土地利用方式和海拔高度对土壤全硒含量的影响, 采集挂甲峪地区表层土壤(0~20 cm)样品 122 个, 采用 GIS 方法对土壤全硒含量进行了空间分布特征研究。结果表明: 挂甲峪地区土壤全硒含量变幅为 0.06~0.76 mg/kg, 平均值为 0.30 mg/kg。86.88% 的土壤全硒含量处于足硒及以上水平(> 0.175 mg/kg), 其中有 20.49% 的土壤属于富硒含量(0.40~0.30 mg/kg)。不同土地利用类型间以草地土壤全硒含量平均值最高(0.40 mg/kg), 其次是林地(0.37 mg/kg), 最低为园地(0.25 mg/kg)。表层土壤全硒含量随海拔高度的增加呈上升趋势。土壤硒元素的块金值为 0.001 4, 块金系数为 88.10%, 空间相关性弱。挂甲峪地区整体上呈北西向带状分布, 存在富硒土壤。

**关键词:** 挂甲峪; 空间相关性; 硒

**中图分类号:** S159.2; X53 **文献标识码:** A

硒(Se)是生物体必需的微量元素之一, 是环境中重要的生命元素<sup>[1-2]</sup>。土壤中的硒元素被植物吸收后通过食物链进入人体, 发挥增强免疫、抗氧化和重金属解毒等多种生物学作用<sup>[3]</sup>, 但其过量或缺乏都会导致人体产生多种病症<sup>[4-5]</sup>。研究表明, 贯穿我国从东北到西南的低硒带与我国克山病和大骨节病带的分布完全吻合<sup>[6-7]</sup>。自然土壤中的硒元素主要来源于土壤母质和岩石, 不同地区土壤中硒的含量分布极不均匀, 从世界范围来看, 全球地壳中硒的平均丰度为 0.13 mg/kg, 普遍缺乏<sup>[8]</sup>。我国是世界上公认的严重缺硒国家之一, 约有 72% 的地区处于缺硒和低硒状态, 其中约有 30% 以上为严重缺硒<sup>[9]</sup>。

在以往研究中, 北京地区土壤硒含量分布规律差异较大。戴昭华和黄衍初<sup>[10]</sup>调查发现, 北京地区表层土壤硒含量在 0.05~0.48 mg/kg, 平均值为 0.275 mg/kg。郭莉等<sup>[11]</sup>调查发现, 北京平原地区有高硒土壤, 沿平原区西部山前断续出现, 并在市区零星分布, 硒在土壤表层富集。邓厚培和陈庆中<sup>[12]</sup>对北京东郊顺义调查发现, 土壤硒含量在 0.041~0.133 mg/kg, 含量较低。黄淇等<sup>[13]</sup>对北京市房山平原区调查发现, 该区域存在富硒土壤, 土壤硒含量受山区成土母质的影响较大。李娜等<sup>[14]</sup>对北京周口店地区调查发现土壤环

境呈低硒状态, 且当地居民血清硒水平普遍处于缺乏状态。可见, 当前针对北京土壤硒的含量及分布已有较多相关研究, 北京地区土壤硒含量整体上属于缺乏水平, 局部地区硒含量差异较大。但对硒元素存在的地区空间分布特征及系统性深入调查还不够充分。

平谷是北京地区桃的主产区, 平谷挂甲峪具有“平谷大桃村”之称, 果品年总产量可达 150 万 kg, 是北京市重要的水果产出地区之一, “挂甲峪名果”等名牌享誉国内外<sup>[15]</sup>。本研究拟以北京挂甲峪地区为例, 采集该区域表层土壤(0~20 cm), 测定土壤全硒含量, 分析硒元素的空间分布特征, 为地方发展富硒农产品以及合理利用硒资源等提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

挂甲峪地区(117°05'27.90" ~ 117°06'32.50"E, 40°15'08.15" ~ 40°16'15.11"N)位于北京市平谷区北部, 属于暖温带半湿润大陆性季风气候, 海拔 123.18~371.62 m, 年均气温 10~20 °C, 年均降水量 644 mm, 面积 2.411 km<sup>2</sup><sup>[15]</sup>。该区域北、东、南三面环山, 中间为一狭小的丘陵盆地。土壤岩性以砂岩、砂质砾岩、砂质及粉砂质页岩、碳酸盐岩、黏土质岩石等沉积岩

基金项目: 中国工程院咨询研究项目(2014-XZ-11-02)和北京市科技计划项目(Z161100001116061)资助。

\* 通讯作者(sunxy@bjfu.edu.cn)

作者简介: 崔萌(1993—), 女, 河北万全人, 硕士研究生, 研究方向为土壤修复与健康。E-mail: 974538322@qq.com

为主。土壤母质为洪积冲积物、残积物和坡积物,土壤类型为褐土。土地利用方式主要为林地、园地和草地,林地大部分位于中低山区,园地主要分布在浅山区,草地分布以山前区、川谷及地势较平缓的岗台地带为主。区内林果业发达,林木覆盖率达到 70% 以上。

### 1.2 样品采集与测定

2016 年 8 月对调查区 0~20 cm 土壤进行样品采集,采用 100 m × 100 m 的网格,避开房屋及道路等设施,共采集样品 122 个。采样点分布如图 1 所示。采用 GPS 定位记录取样点空间坐标。土壤样品经风

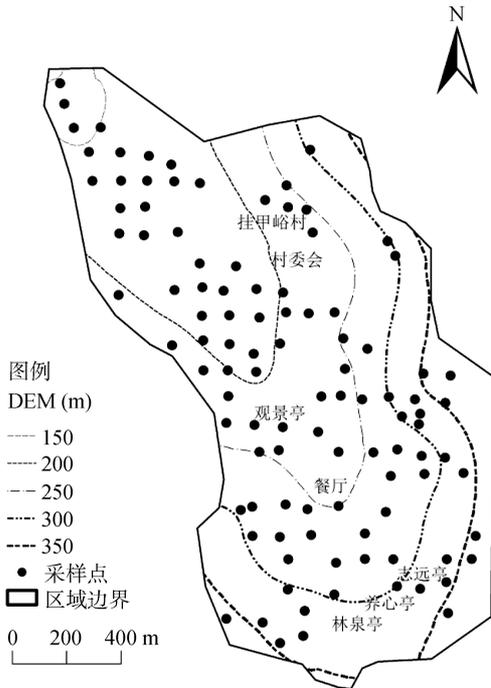


图 1 研究区采样点分布

干、磨碎后过 100 目筛,土壤全硒含量测定采用 NY/T1104—2006 氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS)。

### 1.3 数据处理

数据采用 SPSS 21.0 和 Excel 2007 进行整理与统计分析,采用 GS+7.0 对硒元素进行空间结构性分析。采用单样本非参数检验法(One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)对样本数据进行正态分布检验( $P < 0.05$ , 2-tailed = [16]),硒元素服从 K-S 正态分布。以残差(RSS)最小和决定系数( $R^2$ )最大为原则,选择最佳的半变异函数拟合模型[17]。其中,块金值( $C_0$ )通常由测量误差和取样引起的随机变异组成;块金系数( $C_0/(C_0+C)$ )表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比例[18]。利用 ArcGIS 10.2.2 软件对土壤硒元素进行克里金空间插值。

## 2 结果与分析

### 2.1 挂甲峪地区不同土地利用方式土壤全硒含量比较

不同土地利用方式的土壤全硒含量见表 1,林地土壤全硒含量变化范围为 0.10~0.76 mg/kg,均值为 0.37 mg/kg;园地变化范围为 0.06~0.56 mg/kg,均值为 0.25 mg/kg;草地变化范围为 0.11~0.57 mg/kg,均值为 0.40 mg/kg。不同土地利用方式中草地全硒含量平均值最高,其次是林地,最低为园地。全硒含量最高值出现在林地,最低值出现在园地。全硒含量变异系数为草地(0.40)>林地(0.35)>园地(0.33),分布较均匀。

表 1 挂甲峪地区不同土地利用方式土壤全硒含量比较

土地利用	样本数	极小值(mg/kg)	极大值(mg/kg)	均值(mg/kg)	标准差	偏度	峰度	变异系数
林地	38	0.10	0.76	0.37	0.13	0.37	1.46	0.35
园地	73	0.06	0.56	0.25	0.08	1.18	2.77	0.33
草地	11	0.11	0.57	0.40	0.16	-0.66	-0.47	0.40

注:本研究参照土地利用现状分类标准 GB/T21010—2007[19]对土壤样品进行分类。

### 2.2 挂甲峪地区不同海拔土壤全硒含量比较

不同海拔土壤全硒含量统计分析结果见表 2,海拔在 100~200 m 的土壤全硒含量变化范围为 0.11~0.39 mg/kg,均值为 0.23 mg/kg;海拔在 200~300 m 的土壤全硒含量变化范围为 0.06~0.76 mg/kg,均值为 0.30 mg/kg;海拔在 300~400 m 的土壤全硒含量变化范围为 0.10~0.57 mg/kg,均值为 0.37 mg/kg。土壤全硒平均含量表现为海拔 300~400 m > 海拔 200~300 m > 海拔 100~200 m。

对挂甲峪地区土壤全硒含量与海拔做相关性分析(图

2),结果表明,土壤全硒含量与海拔高度呈显著正相关关系( $P < 0.01$ ),即土壤全硒含量随着海拔增高有增加趋势。

### 2.3 挂甲峪地区土壤全硒含量总体特征

由挂甲峪地区与其他地区表层土壤硒含量比较(表 3)可知,该地区土壤全硒含量平均值为 0.30 mg/kg,变幅为 0.06~0.76 mg/kg,平均值高于北京市平原区[11]、内蒙古武川县[20]、黑龙江[21]、广东[22]和三峡区(重庆段)[23]等地区,同时高于我国土壤背景值[24]和世界土壤平均硒含量[28],但低于我国江西省丰城市[24]及香港等富硒地区[25]。

表 2 挂甲峪地区不同海拔土壤全硒含量比较

海拔(m)	样本数	极小值(mg/kg)	极大值(mg/kg)	均值(mg/kg)	标准差	偏度	峰度	变异系数
100 ~ 200	32	0.11	0.39	0.23	0.07	0.74	0.04	0.30
200 ~ 300	59	0.06	0.76	0.30	0.12	1.13	2.39	0.40
300 ~ 400	31	0.10	0.57	0.37	0.12	-0.19	-0.61	0.34

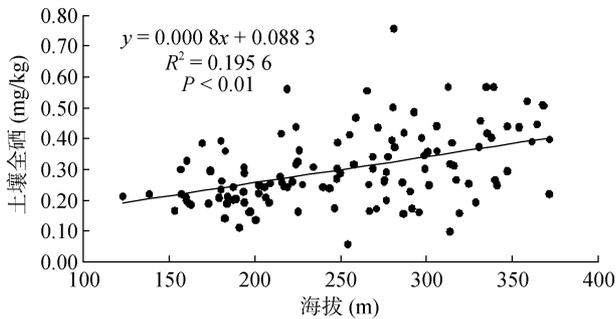


图 2 表层土壤全硒含量与海拔的相关关系

表 3 挂甲峪地区与其他地区表层土壤硒含量比较(mg/kg)

地区	样本数	极小值	极大值	均值	参考文献
挂甲峪地区	122	0.06	0.76	0.30	本文
北京市平原区	1700	0.04	5.26	0.2	[11]
内蒙古武川县	237	0.2	0.711	0.157	[20]
黑龙江	370	0.008	0.66	0.147	[21]
广东省	260	0.13	0.41	0.23	[22]
三峡区(重庆段)	3085	0.006	5.79	0.16	[23]
香港	44	0.07	2.26	0.76	[25]
江西丰城市	96	0.4	0.99	0.538	[24]
全国	2939	0.006	9.13	0.29	[24]
世界				0.200	[26]

表 4 挂甲峪地区土壤硒含量分级

含量分级	含量范围(mg/kg)	硒效应	样品数	占样品总数百分比(%)	平均值(mg/kg)
过剩	> 3.0	硒中毒	0	0.00	0
高	0.400 ~ 3.0	富硒	25	20.49	0.48
中等	0.175 ~ 0.400	足硒	81	66.39	0.27
边缘	0.125 ~ 0.175	潜在硒不足	13	10.66	0.16
缺乏	< 0.125	硒不足	3	2.46	0.09

表 5 硒元素不同模型拟合参数结果

拟合模型	块金值(C <sub>0</sub> )	基台值(C <sub>0</sub> +C)	块金系数(C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C))(%)	变程(m)	决定系数 R <sup>2</sup>	残差值 RSS
线性模型	0.007 4	0.013 1	44.20	1137.31	0.565	4.06×10 <sup>-5</sup>
球状模型	0.003 3	0.011 7	71.40	502.00	0.908	8.59×10 <sup>-5</sup>
指数模型	0.001 4	0.011 8	88.10	513.00	0.912	8.15×10 <sup>-6</sup>
高斯模型	0.004 6	0.011 7	60.70	426.08	0.879	9.63×10 <sup>-6</sup>

根据谭见安<sup>[27]</sup>的土壤硒含量分级方法，对采集的土壤样品全硒含量划分为 5 个等级(表 4)，调查样点中有 20.49% 的土壤样品全硒含量处于富硒水平，有 66.39% 的土壤样品处于足硒水平，10.66% 的土壤样品处于潜在硒不足，2.46% 的土壤样品处于硒含量缺乏水平，所采集样品中未发现硒含量过剩土壤。可见，挂甲峪地区存在大面积足硒土壤和富硒土壤。

### 2.4 挂甲峪地区土壤硒元素的空间变异特征

利用 GS+7.0 对硒元素进行空间结构性分析，不同模型拟合参数见表 5。不同模型中残差(RSS)最小为 0.000 008 15，决定系数(R<sup>2</sup>)最大为 0.912，即指数模型为硒元素的最佳半变异函数拟合模型。该模型中，块金值为 0.001 4，块金值较小，表明采样方案可以较好地反映土壤全硒元素的变异程度；块金系数大于 75%，表明硒元素空间相关性弱，其原有的空间分布格局受到人为因素的干扰。

采用 ArcGis10.2.2 软件克里金插值方法绘制土壤全硒含量分布图(图 3)。由图 3 可知，挂甲峪地区土壤硒含量分布不均匀，整体上呈北西向带状分布。高硒土壤主要分布在区域西南角(林全亭的西北方向)、北侧山坡上和东侧山坡上，空间分布比较集中。

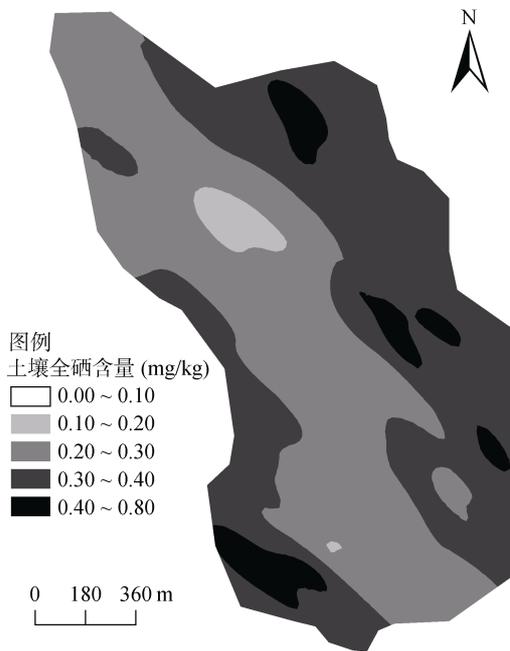


图 3 挂甲峪地区土壤全硒空间分布图

### 3 讨论

挂甲峪地区土壤全硒含量范围为 0.06~0.76 mg/kg, 硒含量高的区域岩性以灰岩、泥岩、泥灰岩互层和砂岩等沉积岩为主, 这些沉积岩中含有丰富的黏土矿物, 有利于硒元素在土壤中吸附固定。土壤母质影响土壤硒元素的含量与分布, 这与前人调查一致。王美珠和章明奎<sup>[28]</sup>及陈俊坚等<sup>[22]</sup>调查发现, 土壤母质是造成自然土壤中硒含量高低的因素, 土壤硒元素的含量和分布在很大程度上取决于成土母质的组成和性质。迟凤琴等<sup>[21]</sup>对黑龙江省土壤硒的调查发现, 土壤中丰富的黏土矿物和有机质有利于硒酸盐等的累积。

挂甲峪地区林地土壤全硒含量平均值为 0.37 mg/kg, 是园地平均值的 1.48 倍。草地土壤全硒含量平均值为 0.40 mg/kg, 是园地平均含量的 1.60 倍。说明不同土地利用方式和人类活动强弱会影响硒元素分布的不均一性和多变性<sup>[29]</sup>。林地和草地分别位于海拔较高的中低山区和地势较平缓的地区, 硒含量受人类干扰较少, 生态系统中的硒通过山地侵蚀、风化、腐殖化、有机物矿化等作用向表层土壤富集, 其中少量硒元素被植物吸收利用<sup>[16]</sup>, 这可能是引起林地和草地土壤富集硒元素的原因。园地土壤中有有机肥和化肥的定期施用会增加土壤中硒元素向水溶态转化的速度, 使得土壤中的硒元素易于向植物体迁移转化, 这可能是引起该类型土壤硒元素较低的原因。

挂甲峪地区土壤硒含量随海拔的升高有增加趋势, 这与王晓杰等<sup>[20]</sup>、章海波等<sup>[25]</sup>、张晓平和张玉霞<sup>[30]</sup>、武少兴等<sup>[31]</sup>调查结果一致。原因可能是: 该地区气候属大陆性季风气候, 降水较少, 淋溶作用较弱, 硒元素的迁移作用减弱, 且北、东、南三面环山, 随着海拔的增加温度降低, 有机质分解减慢, 有机复合态的硒与有机质结合减少, 导致植物吸收的水溶态硒和土壤中被淋溶的硒含量减少, 使得硒元素在高海拔地区更易于富集。

### 4 结论

挂甲峪地区表层土壤硒含量高于我国和世界土壤硒含量平均值, 调查点有 20.49% 的土壤处于富硒水平(0.40~3.00 mg/kg), 有 66.39% 的土壤处于足硒状态(0.175~0.400 mg/kg), 仅 2.46% 的土壤处于硒含量缺乏水平(<0.125 mg/kg), 未发现硒含量过剩土壤, 即该地区存在大面积足硒土壤和富硒土壤。不同的土地利用方式表层土壤硒含量存在差异, 草地土壤硒水平最高, 林地次之, 园地最低。表层土壤全硒含量随海拔的增加而增加。挂甲峪地区硒元素整体上呈北西向带状分布, 高硒土壤的空间分布较集中。土壤母质对全硒含量及分布的影响最大, 硒元素空间变异受人为因素、土地利用方式、地形条件和人为管理方式的影响。

### 参考文献:

- [1] Mao J, Pop V J, Bath S C, et al. Effect of low-dose selenium on thyroid autoimmunity and thyroid function in UK pregnant women with mild-to-moderate iodine deficiency[J]. *European Journal of Nutrition*, 2014, 55(1): 1-7
- [2] Lenz M, Lens P N. The essential toxin: The changing perception of selenium in environmental sciences[J]. *Sci. Total Environ.*, 2009, 407(12): 3620-3633
- [3] 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, 62(7): 1551-1560
- [4] Wedepohl K H. The Composition of the continental crust[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(7): 1217-1232
- [5] 张宝军, 钟松臻, 龚如雨, 等. 赣南低丘红壤水稻土硒及其生物有效形态的组成与分布[J]. *土壤*, 2017, 49(1): 150-154
- [6] 廖金凤. 土壤环境中的硒对人和动物健康的影响[J]. *广东微量元素科学*, 2002, 9(3): 20-23
- [7] 周鑫斌, 赖凡, 张城铭, 等. 不同形态硒向水稻籽粒转运途径及品种差异[J]. *土壤学报*, 2017, 54(5): 1251-1258

- [8] 谭见安. 生命元素硒的地域分异与健康[J]. 中国地方病学杂志, 1996(2): 67
- [9] 王海军. 北京市大骨节病病区32年监测报告[J]. 中国民康医学, 2011, 23(12): 1481-1482
- [10] 戴昭华, 黄衍初. 北京、南京地区土壤中硒和铍的分布[J]. 环境科学, 1984, 5(3): 26-28
- [11] 郭莉, 杨忠芳, 阮起和, 等. 北京市平原区土壤中硒的含量和分布[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 859-864
- [12] 邓厚培, 陈庆中. 北京郊区环境中的硒、钙、氟与碘缺乏病关系初探[J]. 地方病通报, 1995, 10(1): 17-18
- [13] 黄淇, 成杭新, 陈出新, 等. 北京市房山区富硒土壤调查与评价[J]. 物探与化探, 2013, 37(5): 889-894
- [14] 李娜, 高志东, 罗德刚, 等. 北京周口店地区环境硒含量及居民血清硒水平分析[J]. 首都公共卫生, 2007, 1(1): 13-17
- [15] 牛然. 不同资源类型的乡村旅游规划研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2008
- [16] 郑袁明, 陈煌, 陈同斌, 等. 北京市土壤中Cr、Ni含量的空间结构与分布特征[J]. 第四纪研究, 2003, 23(4): 436-445
- [17] 王幼奇, 白一茹, 王建宇. 基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征[J]. 环境科学, 2016, 37(2): 710-716
- [18] 郭旭东, 傅伯杰. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征: 变异函数与Kriging插值分析[J]. 地理学报, 2000, 1(5): 555-566
- [19] 国土资源部. 土地利用现状分类(GB/T 21010—2007)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007
- [20] 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
- [21] 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
- [22] 陈俊坚, 张会化, 余炜敏, 等. 广东省土壤硒空间分布及潜在环境风险分析[J]. 生态环境学报, 2012, 21(6): 1115-1120
- [23] 罗友进, 韩国辉, 孙协平, 等. 三峡库区(重庆段)土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤, 2018, 50(1): 131-138
- [24] 魏复盛, 陈静生. 中国土壤环境背景值研究[J]. 环境科学, 1991, 12(4): 12-19
- [25] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究. 土壤硒的含量、分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 404-410
- [26] Lisk D J. Trace metals in soils, plants, and animals[J]. Advances in Agronomy, 1972, 24: 267-325
- [27] 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
- [28] 王美珠, 章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J]. 浙江农业大学学报, 1996, 22(1): 89-93
- [29] 戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1356-1364
- [30] 张晓平, 张玉霞. 西藏土壤中硒的含量及分布[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 558-562
- [31] 武少兴, 龚子同, 黄标. 我国土壤中的溶态硒含量及其与土壤理化性质的关系[J]. 中国环境科学, 1997, 17(6): 43-46

## Distribution Pattern of Soil Total Selenium in Guajiyu Area of Beijing

CUI Meng<sup>1</sup>, SUN Xiangyang<sup>1\*</sup>, JIANG Xinfu<sup>2</sup>, LI Suyan<sup>1</sup>, YANG Shaobin<sup>1</sup>,  
LI Song<sup>1</sup>, GONG Xiaoqiang<sup>1</sup>, ZHANG Le<sup>1</sup>

(1 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 Forest Seed and Seedling Service Center of Tongzhou District in Beijing, Beijing 101100, China)

**Abstract:** To illustrate the distribution characteristics of soil total selenium (Se), 122 samples of topsoils (0–20 cm) were collected from Guajiyu area in Beijing to analyze the spatial distribution characteristics of soil total Se content with GIS and its relationship with altitude and land use type. The results showed that total Se content ranged from 0.06 to 0.76 mg/kg with the average value of 0.30 mg/kg. 86.88% of soil samples belonged to Se-sufficient and above levels (>0.175 mg/kg), among of which 20.49% of soil samples belonged to Se-enriched level (0.40 – 0.30 mg/kg). Grassland had the highest total Se content (0.40 mg/kg), followed by woodland (0.37 mg/kg), and the lowest was orchard (0.25 mg/kg). Soil total Se content had a significant positive correlation with altitude. Furthermore, spatial variability indicated that spatial correlation of Se element was weak, with the nugget ( $C_0$ ) and the coefficient of nugget ( $C_0/(C_0+C)$ ) were 0.001 4 and 88.10%, respectively. The distribution of soil total Se generally showed a northwest zonal distribution trend, and Se-rich soils are obviously existed in the area.

**Key words:** Guajiyu; Spatial correlation; Selenium(Se)