

# 渔塘坝微地域高 Se 环境中土壤 Se 的分布规律及其影响因素\*

朱建明 郑宝山 王中良 朱广伟

(中国科学院贵阳地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

毛大均

(湖北省恩施州卫生防疫站, 恩施市 445000)

苏宏灿

(湖北省恩施州妇幼保健院, 恩施市 445000)

**摘要** 选取迄今世界上唯一发生过人群 Se 中毒的湖北恩施市双河乡渔塘坝为研究区. 在渔塘坝 0.01km<sup>2</sup> 的微地域内, 土壤 Se 的分布存在着显著的不均一性. 控制渔塘坝土壤 Se 分布的 3 个主要因素是地形, 土壤粒度和成土母质的含 Se 量及出露情况, 其中地形是最重要的控制因素. 土壤 Se 的分布规律表明, 在表生的中强化学风化环境中 Se 是一种极为活泼的元素, 易于积累. Se 的负地形是最易于 Se 中毒发生的地貌位置.

**关键词** 土壤 Se, 分布, 影响因素, 微地域, 微量元素.

## Distribution and Affecting Factors of Selenium in Soil in the High-Se Environment of Yutangba Mini-landscape

Zhu Jianming Zheng Baoshan Wang Zhongliang Zhu Guangwei

(State Key Lab. of Environ. Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Mao Dajun

(Sanitary and Antiepidemic Station of Enshi Prefecture)

Su Hongcan

(Maternity and Child-care Centre in Enshi Prefecture)

**Abstract** Yutangba was selected as the research area, which is located at Shuanghe of En'shi city in southwest of Hubei province, and is a well-known area for people suffered from selenosis. At Yutangba mini-landscape of 0.01km<sup>2</sup>, distribution of Se in soil is significantly uneven, and obviously controlled by three factors, which are topographic condition, soil grain-size and Se contents in soil-forming parent material and its outcrop condition. Of them, topographic condition is the most important factor. The distribution of Se in soil indicates that Se is an active element in the supergene moderate-strong chemical weathering environment, and that lower area where Se accumulates easily are such sites where selenosis is ready to occur.

**Keywords** selenium in soil, distribution, affecting factors, mini-landscape, trace element.

Se 是人体和动物必需的微量营养元素, 它在自然环境中的缺乏和过剩均可导致不同的生物、生态效应<sup>[1]</sup>. 湖北省恩施渔塘坝因 60 代末爆发人畜地方性 Se 中毒, 以世界上首次发现人的地方性 Se 中毒及世界上含 Se 最高的岩石而著称于世<sup>[2]</sup>. 本文通过对渔塘坝非原生高 Se 环境中土壤 Se 的研究, 确定了土壤 Se 的分布规律及其影响因素.

地理及地质概况参见文献[3, 4].

研究区地处渔塘坝上坝, 位于富 Se 岩层出露处以南 210m, 是渔塘坝环形洼地的北侧部分, 面积约 0.01km<sup>2</sup>. 其基岩是含硒量较低的三叠系大冶组石灰岩, 含 Se 量一般在 1mg · kg<sup>-1</sup> 以下, 土壤主要为黄壤, 主要农作物为玉米.

### 1.2 样品采集和分析

本项研究的采样控制面积约 0.01km<sup>2</sup>, 在

## 1 研究方法

### 1.1 渔塘坝地理及地质概况

\* 国家自然科学基金资助项目 (Project Supported by National Natural Science Foundation of China): 49373186  
朱建明: 男, 29 岁, 博士研究生  
收稿日期: 1998-03-22

此范围内布置了7条采样线,33个采样点.每条样线上布置3—7个采样点,样点间距一般为10—15m.以D01点为相对0点,沿各采样线分别测定样点间的直线距离、坡度、方位角等参数,绘出样区地形图及采样点位图(图1).为研究Se在土壤不同粒径中的分布,追加了S采样线,并布置了7个采样点(图中未标出).

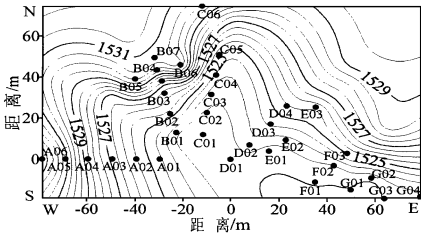


图1 渔塘坝上坝地形图及采样点位图

由于研究区土壤发育不甚充分,未能形成明显的土壤A、B、C层,故一般均采集耕作层0—30cm的混合样.样品经自然风干,剔除植物残根后,用四分法取100—200g土样,研磨至100目(0.15mm)以上.

用岛津RF-540荧光检测仪,并用GF-AAS法进行了部分样品的对照分析.方法的精密密度3.6%( $n=6$ ),样品中Se回收率基本保持在90.8%—100.6%.

2 结果与讨论

2.1 渔塘坝土壤中Se的分布

世界高Se地区土壤平均Se含量的最低值是 $3.1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [1],国内有人以土壤Se $3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为划分Se过剩区的标准[2],Se含量大于 $1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的土壤存在引起Se中毒的危险[5].美国为西部各州确定的土壤Se最大上限是 $1.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [6].渔塘坝土壤Se平均含量为 $4.06\pm 1.24\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表1),属于高Se区.在样点间最大间距为150m的范围内,成土母质基本相同的条件下,土壤Se含量上下相差近5倍,造成这一差异的原因及其在生态环境上的意义,值得进一步研究.

由表1中可以看出,渔塘坝A、B、C、D、E、F采样线上所布样点土壤Se都有着相似的变

表1 渔塘坝土壤Se含量( $n=28$ )/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

| 样品号  | 土壤Se含量 | 样品号  | 土壤Se含量 |
|------|--------|------|--------|
| A01  | 6.54   | C02  | 4.47   |
| A02  | 5.87   | C03  | 4.03   |
| A03  | 3.94   | C04  | 3.44   |
| A04  | 4.70   | D01  | 4.37   |
| A05  | 3.82   | D02  | 3.51   |
| A06  | 3.47   | D03  | 3.26   |
| B01  | 4.62   | D04  | 1.40   |
| B02  | 4.02   | E01  | 4.49   |
| B03  | 3.13   | E02  | 4.23   |
| B04  | 4.03   | E03  | 2.59   |
| B05  | 3.65   | F01  | 4.67   |
| B06  | 3.88   | F02  | 3.74   |
| B07  | 3.14   | E03  | 1.67   |
| C01  | 5.99   | G01  | 6.91   |
| 算术均值 | 4.06   | 标准偏差 | 1.24   |
| 几何均值 | 3.85   | 几何偏差 | 1.41   |

化规律,即从地势较低的采样起点(X01)至地势较高的采样终点(X0x),土壤Se含量逐渐降低,其中C、D、E、F采样线上样点土壤Se含量的这一趋势特别明显.大致以渔塘坝土壤Se平均值加减1倍标准偏差的值 $3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为界限值,划分出相对的低、中、高土壤Se分布区(图2).

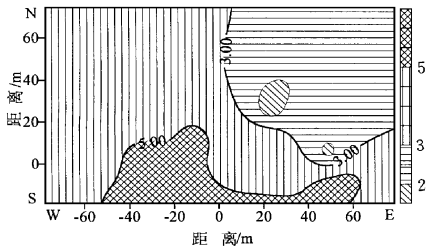


图2 渔塘坝上坝土壤Se水平分布图

由图2中可以看出,渔塘坝中相对较低的土壤Se分布在渔塘坝的东北角,相对较高的土壤Se则主要分布在渔塘坝的南部,相对中等的土壤Se分布区明显大于相对低Se、高Se的分布区.渔塘坝土壤Se分布的总趋势是东北低,西南和南部较高,基本与地形变化的趋势相反,而且距离富Se岩层出露区越远的土壤Se含量越高.

2.2 渔塘坝土壤Se分布的影响因素

(1) 渔塘坝土壤Se含量与地形高度、坡度的关系 由图3知,采样线A上样点相对高度

的增加与对应点土壤 Se 含量的降低基本一致. 2 者的线性拟合方程  $Y_{\text{硒值}} = 6.268 - 0.287x_{\text{高度}}$ ,  $r = -0.824$  ( $P < 0.05$ ), 是显著的负相关关系 (表 2), 这说明在采样线 A 上地形相对高度的变化影响了土壤 Se 含量的分布, 并且与采样线 A 上土壤 Se 含量的变化趋势相反. 图 3 的 B、C、D、E、F 采样线上, 样点相对高度的增加与对应点土壤 Se 含量变化的关系与样线 A 相同, 表明地形高低的变化影响着土壤 Se 含量的分布.

对每条采样线上各样点土壤 Se 含量与样点相对标高进行了线性回归分析 (表 2), 在回归方程中, 斜率的实际含义是采样点相对高度每增加 1m, 土壤 Se 含量减少的数量. 可以发现, 坡度越大, 斜率越大. 二者的线性回归方程为:  $Y_{\text{斜率}} = -2.343 + 0.177x_{\text{坡度}}$  ( $r = 0.882$ ,  $P < 0.05$ ). 这表明在坡度较陡的区域, 土壤 Se 含量的增加量要低于坡度平缓的区域, 即坡度平缓有利于硒的再分配, 再分配越充分, 越有利于土壤的 Se 含量达到更高的水平.

由表 2 还可看出, 地形越平缓, Se 的再分配就越充分, 相同背景条件下, 土壤 Se 含量也越稳定; 而在地形较陡区域, Se 的再分配不充分, 成土过程中随机地混入上部富 Se 或就地低 Se 原岩风化产物的机会更多, 由此土壤中 Se 含量的分布差异不明显且变化剧烈.

## (2) 渔塘坝土壤 Se 含量与土壤粒度的关系

在 S 采样线 6 个混合土壤样中, 用 40 目筛 (0.45mm) 分选出 2 类粒度样品. 测定发现, 同

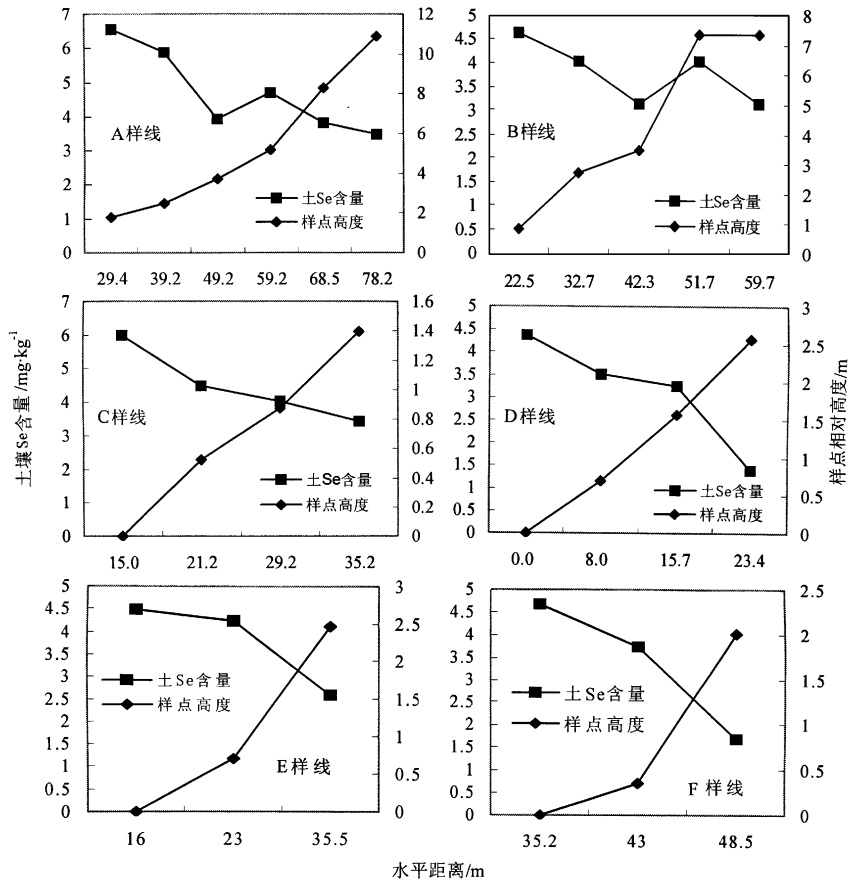


图 3 渔塘坝各样线样点土壤 Se 含量与相对高度关系

一点位样品中, 粒度较细土壤样比较粗土壤样富硒. 均值分别为  $3.33 \pm 1.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $n=6$ )、 $3.53 \pm 0.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $n=6$ ), 并且粗粒土壤 Se 含量有较高的变异系数 (38.1%), 明显受样品中富 Se 炭质岩石碎块、碎屑的扰动和影响, 而细粒土壤 Se 含量相对稳定, 可能是地势低洼处淤积土壤 (粒度很细) 富 Se 的原因之一.

(3) 渔塘坝土壤 Se 含量与成土母质的关系 图 2 中已指出, 渔塘坝东北角土壤 Se 含量较低, 这实际上与东北角出露含 Se 极低的三叠系大冶组石灰岩有关. 恩施地区土壤 Se 含量因不同母岩出露区而变化<sup>[7]</sup>. 灰岩和沙岩出露区耕作层 Se 含量变化范围分别在  $0.42-0.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $n=19$ )、 $0.06-0.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $n=10$ ), 石煤出露区耕作层 Se 含量  $1.00-37.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $n=186$ ), 远高于其它岩石出

露区耕作层硒含量. 在渔塘坝, 高 Se 岩层风化产物直接补给采样区西北部、北部的土壤, 而不易补给采样区东北部的土壤. 采样区东北部的土壤受着东北部、东部出露的大冶组低 Se 石灰岩的影响. 因此, 渔塘坝东北部石灰岩的出露可能是造成此区土壤低 Se 的最直接原因.

表 2 土壤 Se 含量与样点相对高度的线性回归方程

| 采样线  | 拟合方程                           | 斜率      | 坡度    | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>n</i> |
|------|--------------------------------|---------|-------|----------|----------|----------|
| A    | $Y_{Se}= 6.268- 0.287X_{高度}$   | - 0.278 | 10.5° | - 0.824  | 0.04     | 6        |
| B    | $Y_{Se}= 4.294- 0.116X_{高度}$   | - 0.116 | 12.6° | - 0.529  | 0.36     | 5        |
| C    | $Y_{Se}= 5.738- 1.797X_{高度}$   | - 1.797 | 3.4°  | - 0.967  | 0.033    | 4        |
| D    | $Y_{Se}= 4.438- 1.079X_{高度}$   | - 1.079 | 6.3°  | - 0.959  | 0.041    | 4        |
| E    | $Y_{Se}= 4.613- 0.798X_{高度}$   | - 0.798 | 7.2°  | - 0.988  | 0.098    | 3        |
| F    | $Y_{Se}= 4.472- 1.412X_{高度}$   | - 1.412 | 8.5°  | - 0.989  | 0.093    | 3        |
| 斜率排序 | $K_B> K_A> K_E> K_D> K_F> K_C$ |         |       |          |          |          |

2.3 讨论

许多研究者都曾在鄂西南高 Se 区采到含 Se 甚高的土壤<sup>[3,7]</sup>, 样品采自富 Se 岩层的残积剖面, 是直接从富 Se 层上发育而成的土壤. 如前所述, 富 Se 岩层的厚度是 13m 左右, 患病居民不可能固定长期食用在如此狭窄范围内的植物而患 Se 中毒. 另外, 富 Se 岩层多出露在山区, 地貌上多形成山坡上的凹沟, 不适合种植粮食作物. 因此, 关于原生富 Se 岩层、土壤与 Se 中毒发生间的直接联系问题一直未能解决.

在恩施地区, 尽管富 Se 岩层一直存在, 但半个世纪以来只有 470 余人发生 Se 中毒, 且只有在 1963 年发生 Se 中毒的爆发性流行. 因此, 本项研究表明:

(1) 富 Se 岩层的风化产物经搬运后在渔塘坝内堆积, 形成土壤的含 Se 量尽管低于原生富 Se 岩层上发育的土壤 Se 含量, 但也远远高于正常土壤 Se 含量, 并且又发生了 Se 的再分配. 在 Se 含量相对稳定的区域内, 当地居民稳定地通过高 Se 土壤上生长的植物摄取过量的 Se, 并因此导致 Se 中毒.

(2) 在渔塘坝 0.01km<sup>2</sup> 的微域内, 土壤 Se 含量上下差别 5 倍, 这种情况说明在表生的中-强化学风化环境中, Se 是一个相当活泼的元素, 自然条件的微小变化即可导致土壤 Se 含量的明显变化. 因此, 不同年份的气温、降雨及富 Se 岩层风化、淋溶等条件的变化, 导致土壤 Se 含量的重大变化, 这种情况可能是导致 Se 中毒爆发性流行的原因.

(3) 在 150m 采样距离内, 在相对稳定的成土母质情况下, 土壤 Se 含量上下相差 5 倍, 这一情况也有可能在低 Se 地区存在. 土壤中 Se 的淋失条件影响着土壤 Se 含量, 而这明显地受着地形的控制, 并且这一规律在陕北大骨节病区的研究中也得到了证明<sup>[8]</sup>. 渔塘坝微地域中土壤 Se 的分布规律表明, 在表生的中-强化学风化环境中, Se 是一个相当活泼的元素. 在有富 Se 物质来源的情况下, 易于积累 Se 的负地形( 封闭半封闭凹地) 是最易于 Se 中毒发生的地貌位置.

参 考 文 献

1 谭见安编译. 环境硒与健康. 北京: 人民卫生出版社, 1989. 219—224

2 杨光圻等. 湖北恩施地区原因不明脱发脱甲症病因的研究. 中国医学科学院学报, 1981, 3( 增刊 2): 1—6

3 郑宝山, 洪业汤, 赵伟等. 鄂西的富硒碳质硅质岩与地方性硒中毒. 科学通报, 1992, 37( 11): 1027—1029

4 宋成祖. 鄂西南渔塘坝沉积性硒矿化区概况. 矿床地质, 1989, 8( 3): 83—88

5 彭安, 王子健, Whanger P D 等著. 硒的环境生物无机化学. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 40—43

6 Presser T S, Marc A S and Walton H L. Bioaccumulation of selenium from nature geologic sources in western states and its potential consequences. Environmental Management, 1994, 18(3): 423—436

7 刘培棣主编. 硒资源及其综合利用. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 278—289

8 李继云, 陈代中, 任尚学等. 影响人体硒低的环境因素——陕西渭北高原大骨节病区的调查. 环境科学, 1992, 13( 6): 16—22