

# 土壤硒区域环境分异及安全 阈值的研究\*

布和敖斯尔

(中国科学院 地理研究所, 100101)  
(国家计划委员会)

张 东 威

(北京 中国环境监测总站, 100012)

刘 方

(长春东北师范大学地理系, 130024)

## 摘 要

影响土壤硒区域分异的因子很多。本文通过主因子分析法的计算, 在影响土壤硒的诸因子中提炼出四个主因子(即土壤类型、土壤母质、土地利用类型及植被类型), 并对我国 41 个土类中的硒进行了区划, 最后针对不同区域确定出土壤硒的安全阈值。这将为我国判定土壤硒的环境质量标准提供科学依据。

**关键词** 土壤硒, 区域分异, 安全阈值

硒以 0.05—0.09mg/kg 的丰度存在于地壳中, 其天然来源是与火山喷发和火成岩活动相关的金属硫化物; 其次来源于硒富集的生物体。我国火山喷发物母质含硒量最高, 平均浓度为 0.3668mg/kg; 各类沉积岩母质次之, 平均含硒浓度为 0.3460mg/kg; 风沙母质和黄土母质含硒量最低, 平均含硒浓度为 0.1079—0.1836mg/kg。土壤中的硒主要来自成土母质, 其次有少量来自于矿物燃料燃烧后产生的煤渣和空气气溶胶。

## 一、土壤硒的区域环境分异

### (一) 影响因素

影响土壤硒区域分异的因素很多, 诸如土壤中硒的理化特性(土壤硒的活性及稳定性、硒的形态、硒的食物链反应等)、土壤特性(土壤理化性质、土壤类型等)以及人类土地利用、生产生活活动和改造自然的都会影响土壤硒的区域分异。

图 1 说明了土壤中不同形态硒之间的相互转化动态反应。由图中可知, 硒以五种形

\* 本文承蒙李惠明教授和郑春江研究员的悉心指导。本课题为中国环境监测总站的基金项目。

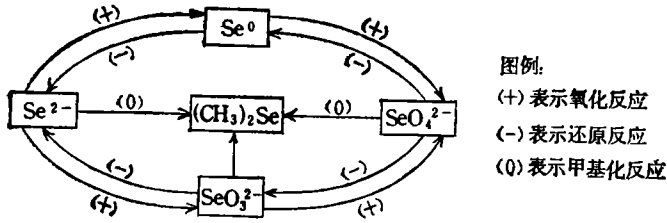


图1 土壤中不同形态硒间的相互转化

Fig. 1 The transformation among different selenium forms in soil

态存在于土壤中,它们是元素硒 ( $Se^0$ )、硒化物 ( $Se^{2-}$ ) 亚硒酸盐( $SeO_3^{2-}$ )、硒酸盐( $SeO_4^{2-}$ ) 及有机态硒[( $CH_3$ ) $_2$ Se]。其中有机态硒来源于腐烂的含硒植物;无机态硒以稳定的盐类或吸附络合物的形式存在。

在不同环境下土壤硒的活性及稳定性见图2 由图2可知,在降水丰沛、土质粘重的酸性条件下 ( $pH \leq 6.5$  时), 如在我国亚热带和热带土壤中,亚硒酸盐是主要活性无机态硒,它可吸附在氧化物上,植物直接吸收这种硒较困难;在干旱、半干旱地区,土质较轻的碱性条件下( $pH \geq 8.5$  时),亚硒酸盐即可氧化成硒酸盐,因此硒酸盐是其主要活性无机态硒,这种硒易被植物吸收利用而成为有效态。图2还说明了土壤硒的溶解度、氧化形态等活性受土壤 pH 值、氧化还原电位、与硒作用的离子及铁等的影响。

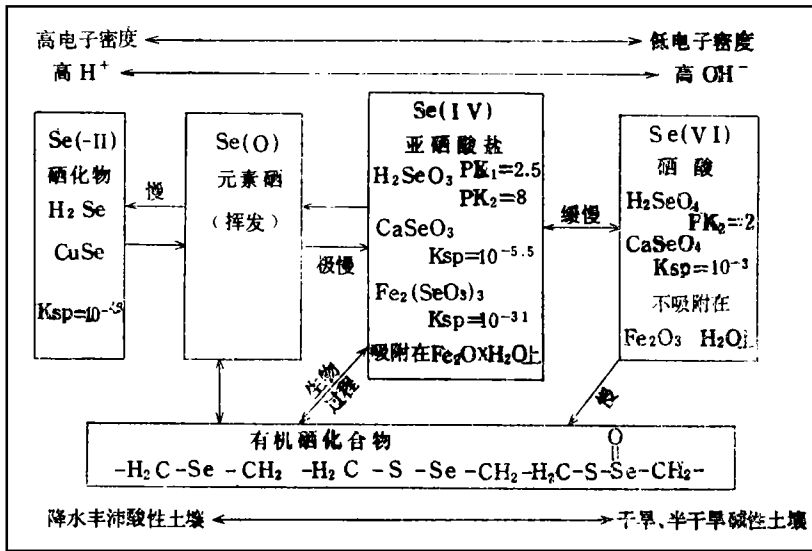


图2 不同环境下硒的活性及稳定性

Fig. 2 The activity and stability of selenium in different environments

土壤硒的第一“消费者”是植物。硒以有机态、无机态及挥发态形式被植物吸收,其中硒酸盐可直接通过植物的新陈代谢过程被植物吸收;而亚硒酸盐的大部分以间接形式被植物吸收。植物吸收土壤硒的能力与以下三个因素有关:一是植物种类,不同类植物间累积硒的能力可相差8倍或更大;二是植物生长介质中硒的形态,如水溶态硒和交换态硒

(硒酸盐、亚硒酸盐及元素硒等)能被植物吸收而成为有效态硒,这种硒占土壤总硒的4%左右;三是土壤中竞争离子的存在,如土壤中硫酸盐及磷酸盐的存在影响了硒的活性。在植物的新陈代谢中硒与硫之间存在着相互取代关系。以上因素都不同程度上影响着土壤中的硒含量,这说明土壤中的硒含量的分布也存在着一定的规律。

### (二) 土壤硒的区域环境分异

我们应用主因子分析法,对影响土壤硒的诸因素进行主次排序。它们从大到小为:土壤类型>土壤母质>土地利用类型>植被类型>土壤质地>地形>土壤腐殖质>土壤颗粒度。此外,土壤pH值与土壤总硒含量呈负相关。这也符合我国土壤硒的区域分异,我国pH值小的酸性土壤硒含量高而pH值大的碱性土壤硒含量低。主因子分析结果说明了土壤类型、土壤母质、土地利用类型和植被类型等前四个因子得分为0.9208,即占因子得分的92.08%。并且土壤类型这一单因子的得分就占了总因子得分的88.126%为最高。基于此,我们利用土壤总硒含量和土壤类型间的“亲密”关系,对我国41个土类进行了土壤总硒分类,结果如图3。

根据主因子和聚类分析结果,我们把我国41个土类划为三个类型区域。

1. 低硒土类区 本区共包括了31个土类,占全部土类的75.6%。在自然景观上本区包含了半干旱、半湿润的东北平原、黄土高原及干旱的塔里木盆地和准噶尔盆地的边缘地区,说明我国大多数土类含硒量都较低,缺硒比硒中毒更能威胁我国人民的生命财产,举世闻名的“克山病”和“大骨节病”等硒缺乏症都发生在该区。该区土壤的含硒量变化在0.09—0.268mg/kg之间。各类土壤含硒量统计值列于表1。土壤总硒含量(y)与水溶性硒含量(x)之间有如下相关关系:

$$y = 0.479 + 0.0201x \quad (R = 0.80, F = 139.2)$$

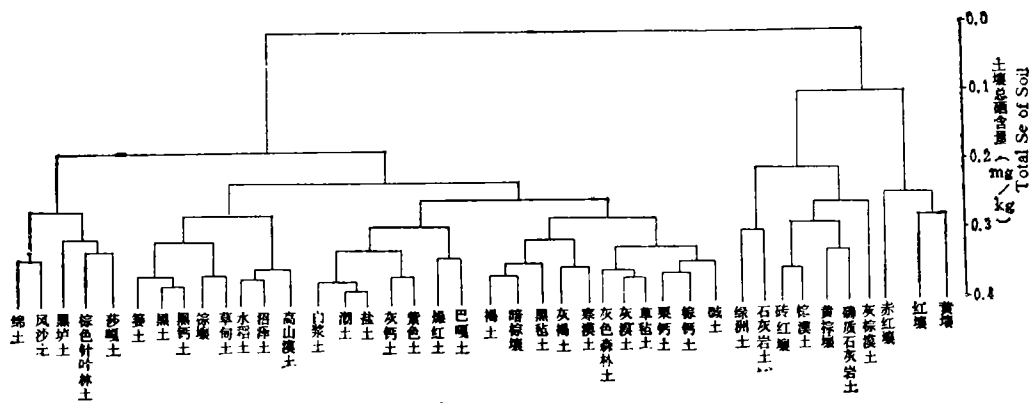


图3 我国41个土类含硒量聚类分析谱系图

Fig. 3 The pedigree of selenium contents of 41 soil types in China by cluster analysis

为此,我们得出结论,本区不仅表土总硒含量低,而且土壤中能被子植物吸收的水溶性硒含量也很低。再说,本区土壤以农田(主要为旱田)为主,作物生长期短,因此人会感到严重缺硒。

2. 含硒量适中土类地区 本区共有7个土类,土壤总硒含量变化在0.287—0.449 mg/kg之间,是低硒区和高硒区间的过渡带。自然景观上本区包含了半湿润和湿润的北

表 1 低硒土类含硒量统计表\*(单位: mg/kg)

Table 1 The statistics of selenium contents of low-selenium soil types (Unit:mg/kg)

土 壤 Soil	项 目 Item				
	算术平均值 Arithmetic mean	几何平均值 Geometrical mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	几何标准差 Standard geometrical deviation
锦土(18)	0.094	0.088	0.054	0.185	1.423
风沙土(33)	0.0901	0.0765	0.007	0.317	1.9316
瘠土(7)	0.184	0.155	0.052	0.415	1.9192
黑垆土(15)	0.133	0.097	0.019	0.466	2.2646
白浆土(54)	0.207	0.1785	0.020	0.452	1.7662
潮土(183)	0.163	0.1449	0.014	9.135	1.5871
褐土(99)	0.166	0.1456	0.024	0.540	1.6570
灰褐土(13)	0.142	0.125	0.047	0.283	1.6761
暗棕壤(109)	0.190	0.1760	0.047	0.482	1.4847
灰色森林土(6)	0.151	0.143	0.077	0.228	1.4437
棕色针叶林土(29)	0.146	0.1297	0.060	0.350	1.6442
棕钙土(36)	0.120	0.0934	0.006	0.612	2.0905
灰钙土(13)	0.204	0.199	0.053	0.328	1.2811
灰漠土(8)	0.104	0.083	0.018	0.195	2.2250
盐土(77)	0.149	0.1371	0.012	0.366	1.5132
碱土(3)	0.228	0.217	0.143	0.313	1.4826
紫色土(70)	0.191	0.1404	0.025	0.680	2.2723
黑毡土(37)	0.135	0.1186	0.036	0.440	1.6544
草毡土(45)	0.143	0.1292	0.033	0.331	1.6311
巴嘎土(37)	0.188	0.1616	0.047	0.540	1.7612
莎嘎土(68)	0.120	0.1053	0.037	0.547	1.6334
寒漠土(4)	0.212	0.212	0.127	0.224	1.0557
燥红土(8)	0.215	0.207	0.123	0.270	1.3453
栗钙土(69)	0.114	0.0929	0.014	0.352	1.9885
黑土(48)	0.240	0.2161	0.037	0.479	1.6513
黑钙土(45)	0.202	0.1897	0.018	0.598	1.4127
水稻土(337)	0.267	0.2356	0.008	1.000	1.6522
棕壤(199)	0.243	0.2126	0.030	1.940	1.6946
草甸土(120)	0.232	0.2050	0.031	1.010	1.6435
沼泽土(38)	0.241	0.1865	0.028	1.160	2.0598
高山漠土(7)	0.122	0.117	0.075	0.172	1.3639

\* 表中(18)括号中的数字为采样点数。

亚热带东段的森林景观、中亚热带景观、亚热带冲积平原景观及半干旱暖温带干草原景观和干旱荒漠草原景观。土地利用上仍以农田为主,其中水田与旱田交错地比重大。这7个土类含硒量统计列于表 2<sup>[1]</sup>。

3. 高硒土类区 本区共有红壤、黄壤和赤红壤等三个土类,平均含硒量为 0.526 mg/kg,为各区之冠。在自然景观上本区三个土类都处于湿润南亚热带及热带的森林景观。土壤呈酸性,质地较紧密。土地利用上,除了水田外,人工林、经济林占很大比重,表 3<sup>[1]</sup>列出了本区三个土类的含硒统计值。

表 2 含硒量适中土类区土壤含硒量统计表\*(单位: mg/kg)

Table 2 The statistics of selenium amount of medium selenium soil types  
(Unit: mg/kg)

土壤 Soil	项 目 Item				
	算术平均值 Arithmetic mean	几何平均值 Geometrical mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	几何标准差 standard Geometrical deviation
砖红壤(37)	0.313	0.2499	0.061	1.235	1.9599
黄棕壤(126)	0.287	0.227	0.034	1.840	2.410
灰棕漠土(14)	0.349	0.189	0.031	3.203	1.646
棕漠土(8)	0.313	0.270	0.089	1.542	1.465
磷质石灰岩土(9)	0.313	0.174	0.027	1.170	3.405
绿洲土(12)	0.416	0.233	0.021	8.048	2.316
石灰(岩)土(93)	0.449	0.3612	0.052	2.229	2.0134

\* 表中(37)括号内的数字为采样点数。

表 3 高硒区土类含硒量统计表\*(单位: mg/kg)

Table 3 The statistics of selenium amount of high selenium soil types  
(Unit: mg/kg)

土壤 Soil	项 目 Item				
	算术平均值 Arithmetic mean	几何平均值 Geometrical mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	几何标准差 standard Geometrical deviation
红壤(452)	0.520	0.414	0.060	9.001	1.8365
黄壤(183)	0.488	0.331	0.019	4.220	2.378
赤红壤(170)	0.571	0.414	0.048	5.442	2.156

\* 表中(452)括号内数字为采样点数。

人类不同的土地利用也能改变土壤中的硒含量。表 4 列出不同土地利用类型区土壤含硒量。

表 4 不同土地利用类型区土壤含硒量(单位: mg/kg)

Table 4 The contents of selenium in soils of different land use types

项目 Item	土地类型 Land use types			
	草场 Grassland	农田* Farmland	天然林及荒地 Natural forest and waste land	人工林及经济林 Artificial economic forests
土壤含硒量均值	0.260	0.2435	0.3143	0.1409

\* 农田包括水、旱田。

## 二、土壤硒安全阈值的确定

我们主要根据土壤背景含硒量的差异及不同土地利用区域对土壤含硒量的要求, 应

用地球化学法和生态效应法,针对五个不同土地利用功能区制定土壤硒安全阈值。

### (一) 0 级区

本区为缺硒景观区,相当于我国“克山病”、“大骨节病”的发病区。在自然景观上包括了温带、暖温带及垂直带的森林景观;温带和暖温带森林的草原景观;亚高山草甸草原景观;北亚热带西段森林景观;棕壤紫色土景观。土类包括暗棕壤、棕色森林土、棕壤褐土、黑土、黑钙土、灰褐土、棕色针叶林土、草甸土、紫色土等几十个土类。本区土壤背景含硒量平均为 0.125mg/kg,水溶性硒为表土总硒的 2.4% 左右。

### (二) 一级区

本区相当于自然保护区和农村饮用水源保护区的土壤。联合国规定的饮用水含硒浓度允许标准为 0.05mg/kg,我国也采用了此数。本区土壤背景含硒量为 0.20—0.45mg/kg,水溶性硒含量为 0.0048—0.008mg/kg。

### (三) 二级区

本区相当于缺硒边缘的广大农牧业用地区的土壤。土壤中的硒通过食物链进入生物体内,从而对人和牲畜产生影响。目前我国农牧业用地,其土壤含硒量平均为 0.234mg/kg 左右。

### (四) 三级区

本区指天然林、人工林、经济林、荒地等土地利用类型区的土壤。土壤的背景含硒量较高,平均为 0.364mg/kg 左右。是各种土地利用类型区土壤中最高。

### (五) 四级区

本区特指石煤矿等硒的富集区。硒与石煤矿共生,在石煤矿中得到富集。石煤经燃烧后在煤渣中含有大量硒,并且这种硒易被植物吸收利用,从而导致人和畜的硒中毒。我国鄂西地区的宣恩、巴东、恩施等县的大气、水及土壤中含过量的硒,时常会引起硒中毒。

各级区中土壤总硒及水溶性硒的安全阈值列于表 5

表 5 各功能区土壤安全阈值(mg/kg)

Table 5 The safe threshold of soil selenium in various functional regions

土壤硒 Soil selenium	功能区 Functional region				
	0 级区 Grade 0	一级区 Grade 1	二级区 Grade 2	三级区 Grade 3	四级区 Grade 4
表土土壤总硒	≥0.12	[0.125 0.45]	[0.1 1.0]	<3.0	<3.0
土壤水溶性硒	≤0.0025	[0.0048 0.025]	[0.0005 0.05]	<0.12	<0.12

注: 0 级区—缺硒区,一级区—农牧业区,二级区—适中区,三级区—林区,四级区—硒中毒区。

## 三、结果与讨论

给土壤硒制定安全阈值的工作虽十分艰难,但我国因有举世瞩目的“克山病”和“硒中毒”地区,所以开展此项工作,具有很大的现实和理论意义。下面简单介绍一下缺硒及硒中毒后的“解脱”措施:

1. 缺硒的土壤中施用草木灰。在土壤中施用草木灰,既可以提高作物的硒含量,又不会影响作物的产量,实践证明,草木灰的施用标准为 112 吨/公顷。
2. 低硒、缺硒土壤中,可施用煤烟渣,它会直接提高土壤及粮食中硒含量。
3. 农田土壤中,可施用磷钾肥,这样既可增加土壤肥力,又可提高对硒的吸收量。
4. 对于生长期中的作物来说,喷施硒可提高作物对硒的吸收。如大麦在 5—6 叶阶段进行喷硒,其标准为 5—6gSe/100L 水,这样可提高麦粒中的硒高达 50—60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。
5. 对于已患缺硒的人、畜要注射硒,对牲畜还可灌喂  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  溶液或在吃的饲料中直接加  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ 。
6. 至于高硒或中毒区,除了集中处理煤渣外,还可采取农作物秸秆不还田、施用酸性肥料等措施来减少土壤硒或抑制土壤硒的活性。硒的水迁移系数为  $K_\beta = 12.14^{[2],1}$ ,因此水洗也是减少土壤的另一种方法。

### 参 考 文 献

1. 土壤背景值课题组,1990:“中国土壤元素背景值”。134—137 页,中国环境科学出版社。
2. B. B 多布罗沃利斯基著,1987:“微量元素地理学”,84—85 页,科学出版社。
3. D. C. Adriano, 1986: Trace Elements in the Terrestrial Environment, Springer-Verlage New York Berlin Heidelberg Tokyo, 391—419 pp.

1) 元素的水迁移系数是用元素在水中和出水岩石中浓度的比值来计算的。

$$K_\beta = \frac{\text{元素在水中浓度}}{\text{元素在岩石中浓度}}$$

## REGIONAL ENVIRONMENTAL DIFFERENTIATION AND REGIONAL SAFETY THRESHOLD OF SOIL SELENIUM

Buber Aoseer

*(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State Planning Commission, 100101)*

Zhang Dongwei

*(National Environment Monitoring Centre of China, 100012)*

Liu Li

*(Department of Geography, North-East Normal University, Chang Chun, 130024)*

### Summary

Many factors can affect the regional differentiation of soil selenium. Among them, soil type, soil texture, land use type and vegetation type are four main factors by principal component calculation. 41 Soil types were regionalized in China according to the study, and the safety threshold of soil selenium contents in different regions was determined. The results would provide scientific basis for formulating the environmental quality standard of soil selenium in China.

**Key words** soil selenium, regional differentiation, safety threshold