

# 我国土壤表层硒含量的地理分布及其 与人畜硒反应病的关系

(中国科学院地理研究所化学地理研究室环境与地方病组)

## 提 要

本文根据采自全国各地的236个土壤剖面表层样品的硒测定数据,讨论了我国土壤表层总硒的统计分布和地理分布特点及其与人畜硒反应病的关系。从土壤角度进一步论证了以棕褐土系列为中轴的低硒生态地理环境是我国克山病、大骨节病和动物白肌病的共同致病环境,而低硒土壤则是这一生态地理环境的基础。

硒是人和动物必需的微量营养元素<sup>[1]</sup>。研究认为硒营养缺乏是引起克山病的原因之一,也与大骨节病有密切关系。在此工作中,我们已经从全国外环境角度证实,低硒地理环境是导致克山病和大骨节病的基本外环境因素<sup>[1-4]</sup>;我国粮食含硒量的地理分布具有明显的带状区域分异特征,粮食低硒带与克山病分布带非常吻合<sup>[2]</sup>;作为人体内环境硒状况标志的居民头发含硒量的地理分布规律与粮食含硒量分布相一致,病带发硒含量显著低于非病带<sup>[3]</sup>;论述了我国粮食硒的营养背景特征及克山病区硒从外环境到人的生态传输链特征<sup>[4, 5]</sup>。作为上述研究的另一组成部分,本文将进一步分析作为低硒地理环境基础的土壤表层总硒含量特征及其与人畜硒反应病的关系。

## 一、样品的采集、处理和测定

在全国119个县同时采集了不同自然带不同类型土壤236个剖面的样品,采样点的选择、采样的时间和方法与文献<sup>[2]</sup>相同。自然土壤按发生层次采集,农业土壤按耕作层、犁底层和心土采集。样品在室内风干,碾碎后过16目筛,然后于玛瑙研钵中磨碎,过100目筛。称样0.200克,用硝酸—高氯酸消化液消化,用2,3-二氨基萘荧光分光光度法测定含硒量。样品大部分为农业土壤,部分为自然土壤,绝大部分远离大城市,受工业污染的影响较小,基本上可以代表我国不同自然带土壤的本底含硒量。本文仅讨论表层土壤(一般为0—20cm)硒的测定结果。

本文1983年7月20日收到,1984年8月2日收到修改稿。

- 1) 本研究组:硒的某些化学地理和生物积累特点及其与克山病的关系,《化学地理与环境研究》第3期,1975年。
- 2) 本研究组:克山病与硒—地理环境,1976年。
- 3) 本研究组:克山病和低硒地理环境,在亚硒酸钠预防克山病鉴定会上的报告,1979年。
- 4) 本研究组:我国克山病、动物白肌病的地理分布特点及其与环境硒的关系,1980年。

二、结 果

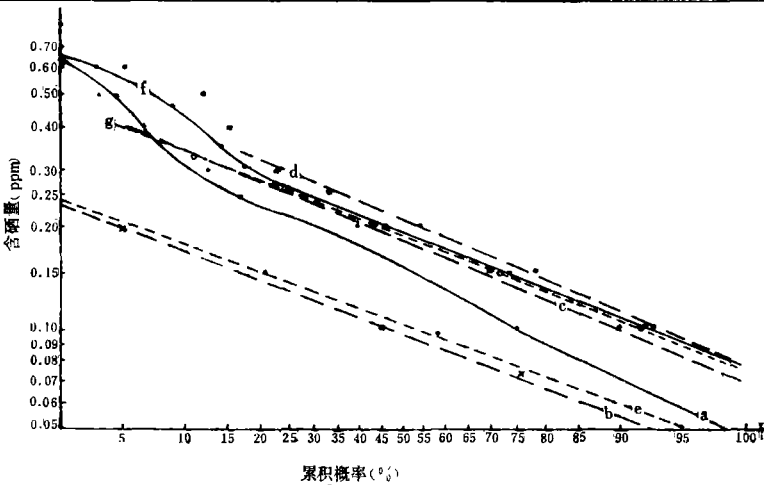
(一) 我国表层土壤硒含量的统计分布

表 1 是 236 个剖面表层土壤含硒量的分级统计。结果表明,我国土壤表层硒测定数据的密度分布具有明显的正偏斜分布特征,这与环境中微量元素含量的一般分布特征是一致的。在对数概率图上其分布呈现一条多峰型曲线(图 1 a),表明这些数据可能是由多个对数正态 总体复合构成的。为此,我们把这些数据按环境、土壤类型及其与病的关系分成三大组——(1) 东南热带亚热带红黄壤组、(2) 西北干旱半干旱带土壤组和 (3) 这两带中间的以棕褐土系列为中轴的土壤类型组,并绘于对数概率图上 (图 1 b、c、d、)。可以看出,第三组土壤含硒量在图上呈现一条直线,而西北干旱半干旱带土壤和东南红黄壤两带 在积累 概率 15—100% 区间(含量 0.30ppm 以下部分)也近似于直线。第三组土壤表层含硒 量的实际对数 概率

表 1 我国土壤表层含硒量的分级统计

Tab. 1 The frequency distribution of the Se contents in the topsoils in China

含量范围 (ppm)	0.00—0.05	—0.10	—0.15	—0.20	—0.25	—0.30	—0.35	—0.40	—0.45	—0.50	—0.55	—0.60	—0.65	>0.65
频数	6	51	52	50	32	14	8	3	2	2	7	1	3	5
(%)	2.5	21.6	22.0	21.2	13.6	5.9	3.4	1.3	0.8	0.8	3.0	0.4	1.3	2.1



a. 全部样品的概率分布线, b. 第三组土壤的概率分布线, c. 第二组土壤的概率分布线, d. 第一组土壤的概率分布线, e. 曲线a下段筛分的理论线, f. 第一、二组土壤的概率分布线, g. 曲线f下段筛分的理论线。

图 1 我国土壤表层硒含量对数概率图

Fig. 1 The test of logarithmic normality for the Se contents in the topsoils in China

分布线b和曲线a的下部筛分的理论线e相近;红黄壤和西北干旱半干旱地带土壤表层含 硒量分布呈现双峰型曲线(图 1 f),其下部筛分的理论线g 与西北土壤表层含硒量的实际分布 线c 相近。东南红黄壤带土壤表层硒的实际概率分布线也接近于c和f而稍高,考虑到其环境特征与西北干旱半干旱带完全不同,两带中间又隔了一个完整的低含量带,故我们把西北干旱半干旱带土壤和红黄壤看做两个独立的整体。因此,我们把全国土壤表层硒初步划分为三个近似于对数正态分布的整体。

由于土壤表层硒含量近似于对数正态分布,因而在统计上采用几何平均值。用卡方测验来检验不同环境土壤表层硒含量的差异。

(二) 我国土壤表层含硒量的地理分布

1. 我国不同类型土壤表土含硒量有明显的差异,最高的是砖红壤、红壤、黄壤和西北内陆盐土和盐化草甸土,最低的是以棕褐土系列为中轴的土壤(表 2)。在地理分布上我国土壤表层含硒量呈现明显的地带状区域性分异特征。从我国东北的暗棕壤、黑土向西南方向经黄土高原的褐土、黑垆土到川滇的棕壤性紫色土、红褐土、红棕壤、褐红壤直至西藏高原东部和南部的亚高山草甸土(黑毡土),构成一条完整的低硒带。硒平均含量(指几何平均,下同)

表 2 我国主要土壤类型表层硒含量 (ppm)

Tab. 2 The Se contents in the topsoil of the main soil great groups in China

土 壤 类 型	样 品 数	几何平均值	偏 差
砖红壤	4	0.32	1.77
红 壤	7	0.27	1.77
黄 壤	14	0.28	2.07
红壤和黄壤区水稻土	34	0.22	1.78
东南滨海平原水稻土	5	0.15	1.29
长江中下游平原水稻土	6	0.22	1.20
黄淮平原潮土	7	0.15	1.40
红棕壤、红褐土	11	0.09	1.61
紫色土和紫色土区水稻土	10	0.06	2.15
褐土、黑垆土	19	0.08	1.42
暗棕壤、白浆土	19	0.12	1.44
黑 土	6	0.11	1.68
亚高山草甸土	15	0.10	1.49
黑钙土	7	0.18	1.45
栗钙土、灰钙土和棕钙土	17	0.17	1.47
灰漠土、灰棕漠土和棕漠土	8	0.21	1.34
荒漠带灌溉绿洲土	29	0.22	1.61
荒漠带盐土和盐化草甸土	4	0.32	1.36
荒漠土型砂土和栗钙土型砂土	14	0.11	1.43
总 计	236	0.16	1.88

为0.10ppm, 76.3%的样品含量在0.05—0.15ppm之间。此带西北的黑钙土、栗钙土、灰钙土到荒漠土, 含量逐渐上升至0.30ppm左右。此带东南的黄壤、红壤、砖红壤及其相应的水稻土, 其含量也逐渐上升至0.30ppm左右。全国形成了东南和西北两侧高、中间低的马鞍形趋势面。

2. 在西北干旱、半干旱带, 土壤表层总硒含量呈现由山地和丘陵台地自成景观向洪积扇和内陆盆地水成景观积累的趋势。例如, 祁连山山地和坡地8个土壤表层平均含硒0.16ppm, 而河西走廊洪积扇和绿洲8个样品平均含硒0.19ppm; 天山和阿尔泰山地11个样品平均含硒0.17ppm, 而哈密、吐鲁番、焉耆和准噶尔等盆地39个样品平均含硒0.23ppm, 其中焉耆盆地的几个盐化草甸土和盐土样品含硒量高达0.70—0.80ppm。

3. 湿润热带亚热带土壤表层硒呈现与西北干旱带相反的地理分异特征——山地、丘陵台地天然和旱作土壤表层含硒量较高而相应的山间盆地和河谷平原水稻土含硒量较低。如东南红黄壤带25个山地自然土壤和旱作土壤样品平均含硒0.30ppm, 而相应地区34个河谷平原水稻土平均含硒0.22ppm; 天目山3个山地黄壤样品平均含硒0.35ppm, 而相邻的山麓和河谷阶地4个水稻土平均含硒0.14ppm; 南雄盆地浈水河上游发育于紫色砂岩风化壳上的土壤含硒0.23ppm, 而中游冲积平原水稻土含硒0.16ppm。

4. 在以棕褐土系列为中轴的地带内, 发育于黄土母质的褐土、黑垆土和由川滇中生代紫色岩层发育的紫色土含硒量最低, 黑土和暗棕壤含硒量稍高。

### (三) 我国土壤表层硒的分布与人畜硒反应病地域分布的关系

硒营养缺乏是动物白肌病等硒反应病的主要原因, 也与人的克山病和大骨节病有密切关系。从生态营养链角度看, 粮食和饲料含硒量低是人畜硒营养缺乏的直接原因, 而土壤则是影响粮食和饲料硒含量的基础条件。影响作物含硒量的因素很多, 包括土壤中硒的总贮备量(土壤总硒)、土壤中硒的形态和溶解、土壤理化性质和植物本身的生物学特性等。关于土壤总硒与硒反应病的关系, 不同研究者由于受其研究的条件和范围所限, 看法很不一致。我们比较广泛地采集了全国不同自然带的土壤样品, 因而利于从大量样品的测定和统计中来分析土壤总硒与硒反应病的关系, 其结果是:

1. 从总体上看, 我国土壤表层含硒量、粮食含硒量及居民发硒含量都具有明显的带状区域分异特征, 而且三者的区域分异趋势一致<sup>[3,4]</sup>。其特点是: 以棕褐土系列为中轴的自然带内其土壤表层总硒、粮食含硒量及居民发硒含量都非常低。而这一区带正是我国克山病、大骨节病和动物白肌病的集中分布区。这表明, 除了其他因子外, 土壤表层总硒对作物含硒量有一定的直接影响, 对人和动物的硒营养有重要的间接影响。因而对这些人畜硒反应病的地理分布有不可忽视的作用。

我们已经证明克山病的分布与土壤类型或以土壤类型为标志的综合自然环境的关系较之与其他因子(如地质、地貌)的关系更为密切<sup>[6]</sup>, 并据以划分三个带——以棕、褐土系列为中轴的病带和东南、西北两个非病带。上述土壤表层硒测定数据的对数概率图分析也表明, 可以把这三个带土壤表层硒看做三个呈对数正态分布的总体。现按三个带分别统计, 并进行卡方测验, 结果表明病带土壤表层总硒含量与两侧非病带表层土壤总硒含量之间具有非常显著的差异(表3)。结合粮食和居民发硒的地理分布趋势及硒在人体中的作用, 可以认为, 正是硒的缺乏构成以棕褐土系列为中轴的地带和克山病、大骨节病及动物白肌病的区域分布

之间紧密联系的基础。

表 3 我国人畜硒反应病分布带和非病带土壤表层含硒量 (ppm)  
Tab. 3 The Se contents in the topsoils on the Se-response  
disease belt and Se non-response belt

带 别	样 品 数	几 何 平 均 值	偏 差	卡 方 测 验
东南非病带	77	0.23	1.82	$>X^2 = 58.98 \quad P < 0.001$ $>X^2 = 46.77 \quad P < 0.001$
病 带	80	0.13	1.58	
西北非病带	79	0.19	1.62	

2. 我国克山病、大骨节病和动物白肌病的分布区大部分是重叠的，但也有部分地区是分离的，即只有其中的一种病或两种病。按三种病的复合区和各自的分布区分别统计表明，各病区土壤表层含硒量之间没有显著差异，三种病都同样处于低硒土壤区范围之内（表 4），因此可以认为，低硒土壤是这三种病的共同环境基础。但为什么有的地方三种病共存，而有的地方仅有其中的一种病或两种病？其他的致病因子需要进一步探索。

3. 虽然总的看来，低硒土壤是影响人畜硒反应病分布的基础，但是，在这基础上，还有许多其他因素影响作物对硒的吸收以及人和动物对硒的反应，而且，植物对土壤中营养的吸收也远远超过20cm土层，所以，土壤表层含硒量的地理分布和人畜硒反应病的地理分布之

表 4 低硒带内三种病病点和非病点土壤表层含硒量 (ppm)  
Tab. 4 The Se contents of the topsoils in the regions where the Keshan disease,  
Kaschin-Beck's disease or White Muscle disease occur together or respectively

病 情	样 品 数	几 何 平 均 值	偏 差
三种病复合病点	21	0.12	1.55
克山病大骨节病复合病点	5	0.17	1.39
纯克山病病点	16	0.09	1.74
纯大骨节病病点	15	0.09	1.36
纯动物白肌病病点*	18	0.13	1.38
非病点	23	0.09	1.58

\*因测定较迟，纯动物白肌病病点数据未加本文其他部分统计

间还有不一致的地方。如在低硒带内部，病点与非病点之间粮食含硒量统计上还有明显差异，但土壤表层含硒量没有明显差异（表 4）；在两个非病带，尚有25%左右的土壤样品表层含硒量低于0.15ppm，处于病带土壤的水平。尤其是西北干旱地区的一些砂质土壤，平均含硒量也仅有0.11ppm，但这些地区粮食含硒量是高于病区的；从低硒带向东南和西北两个方向

粮食含硒量和土壤含硒量增加的趋势是一样的,但其增加的幅度不一样,粮食硒含量从0.023ppm增加到0.10 ppm左右,约增加4倍,而土壤硒含量则从0.10ppm左右增加到0.30ppm左右,约增加2倍。所有这些都说明,土壤硒与病的关系是比较复杂的,除了土壤表层硒含量外,全剖面的硒含量,硒的形态、有效性、土壤其他元素对植物吸收硒的促进和抑制效应以及土壤其他性质通过影响植物体的化学构成进而影响动物对食物中硒的吸收率等等,都是必须深入探索的。

### 三、小结与讨论

在化学地理和景观地球化学研究中,人们发现,湿热环境和干旱环境是地理环境中化学元素迁移和积累的两个极端条件,有些元素(如碱金属和卤族元素)在干旱环境中大量富集,在湿热环境中淋溶殆尽,而另一些元素(如铁、铝等)则在湿热环境中相对富集。硒的含量由热带亚热带红黄壤向温带湿润、半湿润棕褐土系逐渐下降,然后又向干旱半干旱草原和荒漠环境逐渐上升。这一地理分布规律在以往的文献中未见报道。这在土壤微量元素的地理分布上也具有一定的独特性。

土壤中元素含量特征和地理分布取决于多种因素,如母质、地形、生物气候条件和土壤发育年龄、以及元素本身的性质等。也受到人类活动的一定影响。土壤表层硒含量明显的带状区域分异特征表明,生物气候条件可能对土壤硒的地理分布有着决定性的影响。热带、亚热带地区的土壤,特别是其代表性土壤——砖红壤、红壤和黄壤含硒量较高。我们初步测定结果表明,砖红壤、红壤和黄壤的含硒量都高于形成风化壳和土壤的母岩,如琼雷地区第三纪和第四纪喷出的玄武岩含硒0.01ppm,而在它上面发育的砖红壤通剖面含硒量高达0.60ppm。这说明,在热带亚热带条件下,岩石风化成土过程中随着富铝化作用和红壤化、砖红壤化过程的进展,随着铁铝的积蓄,硒也相应的富集,而不是相对的淋溶。这可能与以高岭土和三氧化物为主的砖红壤和红黄壤的等电点较高,在酸性条件下对阴离子有一定的吸附能力及硒与三氧化物形成的络合物有较高的稳定性等有关。干旱地区土壤硒的富集则不在于干旱条件下硒的地球化学活动性低。相反,无论从硒的化学地理特征看,或从土壤硒含量从自成景观向水成景观增加的事实看,都表明干旱碱性条件下硒有较强的活动性。这一地带土壤硒含量较高的原因似乎在于较低的降水量和强烈的蒸发作用不仅使硒元素的淋溶强度较低,而且元素的迁移有自下而上的趋势,因此,在内流环境促使硒在堆积盆地富集。

在土壤发育时间较短或某种岩石含硒量异常高的条件下,母岩对土壤含硒量的影响是比较强烈的。风成黄土发育的土壤,特别是受到强烈侵蚀的土壤和幼年性紫色土含硒量特别低是与母质有关的。我们测定了四川省几个紫色砂岩含硒量都在0.05ppm以下,而紫色土的含硒量也仅0.06ppm。相反,湖北省恩施县硒中毒地区页岩含硒量高达2.31ppm,煤层含硒量为61.31ppm,在其上发育或受其影响的土壤含硒高达1.70ppm,显然母质的影响是很大的。但这种特别高硒的环境对全国范围来说仅是局部的异常情况。

由于土壤硒对作物含硒量有直接的影响,因而,从土壤硒入手,研究改造低硒环境是解决硒反应病的根本途径。根据土壤的含硒量,我们可以估算,即使含硒量非常低的土壤,例如

含硒量0.05ppm,每亩60cm厚土层的总硒贮量也达26克(假定土壤容重1.3)。假定每亩作物年产量1000斤,作物含硒量达到足以保证动物健康的0.04ppm,包括作物秸秆在内每年约从土壤中取走0.06克硒,仅占60cm厚土层硒总贮量的0.23%。因此,如果能充分发挥低硒土壤中硒的作用,提高土壤硒的有效性以增加作物含硒量,近期并不会严重影响土壤硒的平衡。事实上,同样低硒的土壤,由于土壤硒价态不同、有效性高低不一,在西北干旱偏碱条件下则生长出含硒较高的植物。所以,改变土壤环境提高低硒带作物的含硒量是可能的。

我国土壤总硒含量在世界上是较低的,而且低硒土壤分布非常广泛。这种情况不但在当前严重地威胁着我国广大地区人民的健康,而且随着我国农牧业结构的改变,畜牧业比重的提高,特别是家畜饲养业的发展,动物硒反应病问题将越来越突出。我们现在就应预料到这种情况,根据环境中硒的分布规律预测可能出现硒反应病的地区,研究并提出相应的预防措施。

### 参 考 文 献

- (1) Eric. J. underwood; 《Trace elements in human and animal nutrition》Fourth Edition, 1977.
- (2) 中国科学院地理研究所环境与地方病组: 我国克山病分布和以粮食低硒为表征的地理环境的关系, 地理学报, 36(4), 1981年。
- (3) 中国科学院地理研究所环境与地方病组: 我国克山病带与非病发硒分布的地理规律, 地理学报, 37(2), 1982年。
- (4) 中国科学院地理研究所环境与地方病组: 我国粮食硒的营养背景与克山病, 营养学报, 4(3), 1982年。
- (5) 中国科学院地理研究所环境与地方病组: 我国克山病区硒由外环境到人的传输, 营养学报, 4(3), 1982年。
- (6) 中国科学院地理研究所化学地理研究室环境与地方病组: 我国克山病的地理流行病学规律。地理学报, 34(2), 1979年。

# GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF SELENIUM CONTENT IN THE TOPSOILS IN CHINA AND ITS ASSOCIATION WITH SELENIUM-RESPONSIVE DISEASES IN MAN AND ANIMAL

(Environment and Endemic Diseases Section, Institute of Geography, Academic Sinica)

## Abstract

As a part of the study of Keshan disease and Kaschin-Beck's disease are associated with geographical environment, we have collected 236 soil samples from various natural zones in China and analysed their selenium content by fluorescence spectrophotometry.

The frequency of Se-content in the soils mainly shows a logarithmic-normal distributions, so geometric average is adopted in this research work. The results obtained are as follows.

1. The average Se-content in the soils in China is 0.16 ppm, that is, lower than the mean Se level in the soil of the world.
2. The geographical distribution of the Se content in the soils shows a belt-formal regional differentiation. The belt, that consists of dark-brown forest soil, black soil, drab soil, dark Loessial Soil, purple soil, Alpine and Sub-alpine meadow soil, is a low selenium zone of soil running from northeast to southwest in China. The average Se contents in the soils in this belt range from 0.06 to 0.12 ppm. So there are other two belts in the Northwest and the Southeast on both sides of the low selenium zone, and their average Se contents in the soils range from 0.11 ppm to 0.32 ppm. This situation of the soil Se geographical distribution is similar to that for the grains and also for the human hairs.
3. In the Northwest belt with arid and semiarid features, the Se contents of soils in the eluvial landscape in the mountains are lower than that in the subordinate landscape in the basins and the flood-fan deltas. It indicates that the activity of selenium in alkaline environment is higher. In the red-Yellow soil zone in the Southeast, on the contrary, the Se contents of soils on mountains and hills are higher than in the fluvial plains. It indicates the Se-accumulation in the red-yellow soil.
4. Within the low selenium zone, the Se contents in the Black soil and



Dark-brown forest soil are higher than in the drab soil, dark loessial soil and purple soil. The Se contents in the soils on the mountains, hills and high plains are lower than the Se contents in the cultivated fluvio-genic soil on the plains and fluvial terraces.

5. The low selenium soil zone corresponds to the regions where the keshan disease and Kaschin-Beck's disease in man and white Muscle disease in animal occur. The difference of the soil Se contents between the disease region and the nondisease region is significant statistically. It Shows that the low selenium content in the soils is the one of the basic factors leading to low Se content in the grains and therefore the occurrence of the disease in low selenium regions.

Finally, the paper also discussed the factors, which influence the distribution of Se in soils, and the possibility of increasing the Se content in the grain by improving the soil to prevent the disease.

#### 《地理研究》下期要目预告

董光荣等：鄂尔多斯高原晚更新世以来的古冰缘现象及其气候地层学意义

陈永申等：西北太平洋海面总加热强度的时空特征

俞锦标：贵州普定喀斯特发育特征

左大康等：河北省低平原地区主要作物农田水分盈亏分析

李日邦等：我国不同地理条件下耕作土中氟及其与地方性氟中毒的关系

耿宽宏：玉门镇西戈壁铁路防沙林带林沿积沙及其防治试验

高善明：滦河冲积扇结构和沉积环境

林之光等：天山天池山谷风的气候研究

王 菱：横断山脉的地形气候利用与橡胶树北移

孙育秋：七十年代以来美国土地调查遥感应用的发展

高泳源：中国地理所（1940—1949年）纪略

“南水北调对自然环境影响”讨论