

# 钒在土壤中的含量分布和影响因素

汪金舫 刘铮

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

## 摘 要

本文较系统地研究了我国一些主要类型土壤中的全钒和可溶态钒的含量, 剖面分布特征以及地带性分布规律, 并对影响其含量分布和化学变化过程的一些主要因素进行了分析, 结果表明, 土壤中的全钒含量平均为  $86\mu\text{g/g}$ , 南部地区土壤全钒含量多高于平均值, 北部地区土壤全钒量低于平均值, 中部地区土壤全钒量与平均值接近; 在剖面分布中, 有底层富集型、表层聚积型和均匀型三种类型。影响土壤全钒量和可溶态钒含量的主要因素是土壤全铁含量, 而决定全钒量多少的是土壤母质。土壤粘粒、全锰含量、有机质含量等对全钒和可溶态钒含量的影响相对较小。土壤 pH 值、无定形铁含量等对可溶态钒在土壤中的化学吸附和迁移转化过程等都有重要的影响。

**关键词** 钒含量, 分布, 可溶态钒

微量营养元素在动物和植物体中的作用和重要性已是众所周知。近年来, 随着科学技术的发展和分析方法的改进, 对许多种微量元素如钒、镍、钛等在动植物体内的含量和作用的研究也愈来愈受到重视。一些研究资料表明, 钒是动物的一种必需营养元素, 也很可能是高等植物的一种新的必需营养元素。钒在生物固氮和植物体内的多种酶促反应过程中都起着十分重要的作用<sup>[4,7,9]</sup>。当前, 国际上对钒在植物营养方面的研究资料较多, 而对于土壤中钒的含量和化学行为等方面的研究报道资料甚少, 国内至今没有公开发表的资料对我国土壤中的钒进行系统分析研究, 极少数的报道资料亦难反映出我国土壤中钒的资源状况和含量分布规律。本文对我国 16 种主要类型土壤中钒的含量与分布规律以及影响因素等方面进行了分析研究, 探讨了钒在土壤中的总体分布特征和在土壤剖面中迁移转化的规律, 为系统全面地了解我国土壤中钒的分布状况, 合理进行农牧业生产利用与环境质量评价等提供重要的科学依据。

## 一、试验材料和方法

### (一) 供试土样

样品取自全国各地多种母质类型上发育的 16 种主要土类, 并根据母质的复杂程度, 采集了数量相异的各土类耕层土样共 100 个, 主要土类土壤剖面样本 20 个。按分析项目要求制备成待测样; 土样的一些基本理化性状和全钒含量范围列于表 1 和表 2。

### (二) 测定方法

pH 测定: 用 1:1 的水土比, pHS-2 型酸度计分析。

表 1 土壤中的全钒含量

Table 1 Total vanadium contents of different soil types

编号 No.	土壤类型 Soil type	母质类型 Parent material	样品数 No. of samples	全钒含量 Total V ( $\mu\text{g/g}$ )	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV%
1	砖红壤	浅海沉积物 玄武岩 花岗岩等	10	9.15—259.95	93.39	129.2	138.3
2	红壤	花岗岩 Q <sub>2</sub> 红土 玄武岩等	21	29.23—239.96	111.94	66.2	59.1
3	黄壤	泥质岩等	8	86.26—252.66	150.08	85.6	57.1
4	黄棕壤	玄武岩 黄土冲积物等	8	72.38—112.16	92.41	13.4	14.5
5	棕壤	黄土冲积物等	8	12.05—95.00	67.27	35.4	52.5
6	褐土	黄土性物质	1	63.60	63.60		
7	垆土	黄土性物质	7	83.50—105.70	98.13	8.3	8.6
8	黑垆土	黄土性物质	2	86.40—97.80	92.10	8.1	8.8
9	黄绵土	黄土性物质	2	88.10—89.10	88.50	7.1	0.8
10	潮土	黄土冲积物	1	66.27	66.27		
11	黑土	黄土性物质	6	80.19—100.16	88.41	7.9	9.0
12	黑钙土	黄土性物质	5	77.70—143.23	98.10	27.7	28.3
13	栗钙土	黄土性物质	13	75.10—85.69	59.84	13.5	22.6
14	棕钙土	黄土性物质	4	41.11—64.76	54.99	5.3	9.7
15	灰钙土	冲积物	1	96.75	96.75		
16	草甸土	黄土性物质	3	45.95—55.46	50.83	4.9	9.6
合 计			100	9.15—259.95	85.79	25.1	29.3

土壤有机质用重铬酸钾法分析。全铁含量采用邻啡罗啉比色法。全锰分析用高碘酸钾法。土壤粘粒分析用吸管法。

无定形铁采用 0.2mol/L  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  + 0.2mol/L  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液避光提取土样 4 小时后,立即离心过滤,清液用邻啡罗啉比色法分析。

可溶态钒采用 pH7.0, 0.05mol/L EDTA- $\text{Na}_2$  在  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  条件下恒温振荡 1 小时后离心过滤。

全量样品采用  $\text{HF-HClO}_4$  消化,制成待测液。全钒和可溶态钒含量用电感耦合等离子发射光谱仪分析测定。

## 二、结果与讨论

### (一) 土壤中钒的含量与分布

根据现有报道资料,土壤中全钒含量范围由痕迹(原苏联的砂质土和一些热带土壤)

表 2 土样的基本理化性状

Table 2 Some properties of the soil samples

编号 No.	土壤类型 Soil type	母质类型 Parent material	无定形铁 ( $\mu\text{g/g}$ )	全铁含量 (%)	粘粒含量 (%)	全锰含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	pH	有机质 (%)	全钒含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	可溶态钒 ( $\mu\text{g/g}$ )
1	砖红壤	浅海沉积物	0.25	0.38	4.47	101	5.22	0.91	11.53	0.05
2	砖红壤	玄武岩	1.28	14.14	60.03	1790	5.21	2.58	259.95	0.57
3	红壤	花岗岩	0.78	4.67	25.92	629	4.65	1.55	115.83	0.02
4	红壤	Q <sub>2</sub> 红土	0.75	4.60	51.38	555	5.20	0.45	121.21	0.68
5	红壤	玄武岩	0.79	14.06	67.37	625	5.40	0.80	213.94	2.07
6	黄壤	泥质岩	1.21	7.34	33.45	843	5.25	2.09	252.66	0.10
7	黄棕壤	玄武岩	2.58	3.50	23.91	996	5.93	1.95	94.02	0.08
8	黄棕壤	黄土冲积物	1.36	4.37	35.45	865	5.33	0.68	112.16	0.30
9	棕壤	黄土冲积物	1.13	3.84	29.01	721	5.25	0.60	86.97	0.32
10	黑土	黄土性物质	1.05	3.33	22.77	832	5.91	2.51	80.18	0.45
11	栗钙土	黄土性物质	0.73	3.22	17.66	736	7.33	2.16	78.03	0.35
12	草甸土	黄土性物质	0.34	2.24	5.50	438	7.52	0.83	45.75	0.76

到  $400 \mu\text{g/g}$  (马达加斯加的黑色石灰土), 平均含量约为  $100 \mu\text{g/g}$ <sup>[1]</sup>。也有资料报道土壤全钒含量为  $90 \mu\text{g/g}$ <sup>[6]</sup>。亚洲热带地区水稻土的含钒量较高, 全钒含量平均为  $166 \mu\text{g/g}$ <sup>[8]</sup>。从我国已发表的一些资料统计结果来看, 土壤全钒含量从  $16 \mu\text{g/g}$  到  $270 \mu\text{g/g}$ <sup>[2]</sup>, 东北及内蒙东部各土类平均全钒含量为  $96 \mu\text{g/g}$ ; 西北马兰黄土区平均为  $93 \mu\text{g/g}$ ; 各种森林土壤的全钒量从  $43 \mu\text{g/g}$  (森林泥炭潜育土) 到  $187 \mu\text{g/g}$ <sup>[3]</sup> (红色森林土)。表 1 中所列的 100 个土样的分析结果, 基本上包括了我国主要的土壤类型和成土母质, 在这 16 种主要类型的土壤中, 全钒含量从 9.15 到  $259.95 \mu\text{g/g}$ , 平均为  $86 \mu\text{g/g}$ 。略低于世界范围的全钒平均含量。若以各土类的平均全钒含量来分析比较, 土壤全钒量的分布有东南部较高, 西北部较低, 中部地区土壤全钒量接近平均值的总体分布趋势。

从所分析的土样来看, 在母质类型复杂的砖红壤、红壤、黄壤和棕壤这 4 类土壤中, 全钒量的变化幅度很大, 其变异系数都高于 50%, 其中又以砖红壤的全钒含量变异程度最大, 变异系数为 138%, 最低和最高的土壤全钒量都出现在该土类中, 极差值达到  $250 \mu\text{g/g}$ 。而母质类型为黄土性物质发育的栗土, 黑垆土等土壤中, 全钒含量的变异系数小于 10%。

土壤剖面中全钒和可溶态钒含量的分析结果, 清楚地反映了成土过程等方面的影响以及土壤全钒和可溶态钒含量的垂直分布规律与特征。在淋溶过程为主导成土过程发育的砖红壤、红壤、黄壤、黄棕壤和棕壤中, 全钒量有表层淋失现象, 出现底层富集特征。在红壤和黄棕壤以及棕壤中, 可溶态钒含量也产生底层富集; 而砖红壤和黄壤剖面中, 由于有强烈的生物富集作用的影响, 可溶态钒含量却呈表层聚积型。在钙积过程为主的黑钙土和栗钙土剖面中, 全钒量也有明显的表层聚积特征, 而可溶态钒含量却呈底层富集型。黑土剖面中全钒和可溶态钒含量都呈均匀型。(图 1) 总之, 土壤全钒量和可溶态钒含量的剖面分布与成土过程密切相关。若是淋溶过程为主的土壤, 其全钒量常在底层富集, 若是钙积过程为主的土壤, 多是表层聚积。而可溶态钒含量的剖面分布, 则是在生物富集作用强的层次中呈富集型。

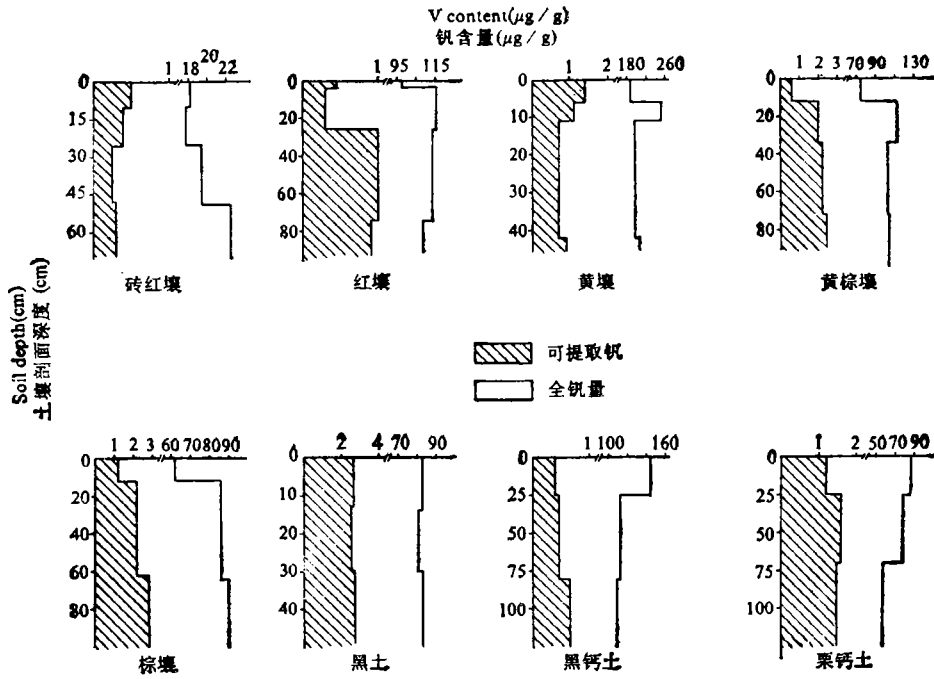


图1 土壤剖面全钒的含量分布

Fig. 1 Distribution of vanadium contents in the soil profiles

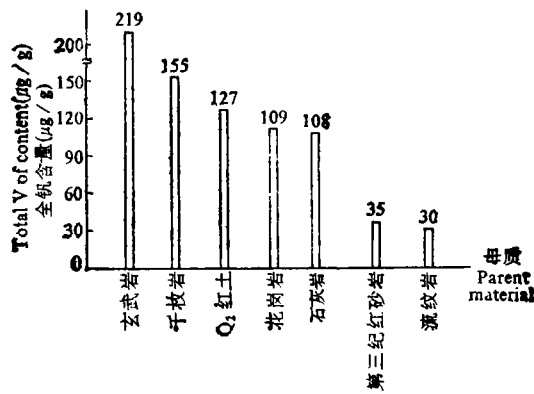


图2 不同母质的红壤中全钒含量

Fig. 2 Total vanadium contents of red earths derived from different parent materials

(二) 影响土壤钒含量的因素

1. 成土母质和成土过程

成土母质是土壤中各种元素的物质基础，成土过程在一定程度上加速或延缓了土壤中某些理化性状的变化，引起元素的富集或淋失。研究资料表明<sup>[10]</sup>，在钒含量高的母岩上发育的土壤，其全钒含量相应也较高。由页岩和橄榄辉长岩发育的土壤，全钒含量可高达 200 μg/g；在蛇纹岩、砂岩和花岗岩发育的土壤中，全钒量分别为 100, 60 和 20 μg/g。一般而言，基性和超基性岩中的钒含量较高，而在酸性岩中的钒

表 3 土壤性状间的相关关系

Table 3 Correlation matrix of soil properties ( $r = 0.576^*$ ,  $r = 0.708^{**}$ )

项目 Item	全钒含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	可溶态钒 ( $\mu\text{g/g}$ )	全铁含量 (%)	全锰含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	粘粒含量 (%)	有机质 (%)	无定形铁 ( $\mu\text{g/g}$ )	pH
全钒含量	1							
可溶态钒	0.4016	1						
全铁含量	0.8914**	0.6687*	1					
全锰含量	0.6651*	0.1006	0.5744	1				
粘粒含量	0.8009**	0.6852*	0.8824**	0.5298	1			
有机质	0.2892	0.2344	0.2194	0.6230*	-0.01952	1		
无定形铁	0.2656	0.8318**	0.144	0.5804*	0.2064	0.3599	1	
pH	-0.3934	0.0476	-0.3155	-0.1349	-0.4739	0.1344	0.1557	1

含量相对较少。母质的类型对全钒量的高低具有决定性的影响。图 2 清楚说明,在我国各种类型母质发育的红壤中,尽管成土过程都是脱硅富铁铝,但其全钒含量的差异极大,一般玄武岩 > 千枚岩 >  $Q_2$  红土 > 花岗岩 > 石灰岩 > 第三纪红色砂岩 > 流纹岩。

此外,成土过程对土壤全钒含量的影响也较大。例如,同为花岗岩母质发育的砖红壤和栗钙土,前者的全钒含量为  $19\mu\text{g/g}$ , 后者的全钒含量为  $74\mu\text{g/g}$ ; 图 1 的结果十分明显地说明了不同的成土过程对土壤剖面中全钒含量的影响很大。

表 3 的分析结果表明,可溶态钒含量与全钒含量间有一定的正相关关系,但相关系数达不到显著水平。通常,全钒含量较高的土壤中,可溶态钒的含量也相应较高。成土过程对可溶态钒含量的影响比对全钒含量的影响更大,如图 1 中结果表明,不同成土过程形成的土壤,其土壤剖面中全钒含量的变化幅度不足 1 倍,而可溶态钒含量在上下层次间变化的幅度可达到数倍之多。

2. 铁锰氧化物 早期的研究资料表明,钒在土壤中与铁锰氧化物紧密相结合,在含铁氧化物较多的土壤中,一般钒含量也较高。对 12 种土壤进行分析研究说明(表 2 和表 3),全钒和可溶态钒含量都与全铁含量间呈极显著和显著的正相关,相关系数分别为  $0.8914^{**}$  和  $0.6687^*$ 。全钒含量与无定形铁含量间没有显著的正相关,而可溶态钒含量与无定形铁含量间呈极显著的正相关,相关系数为  $0.8318^{**}$ ,这充分说明,土壤中的钒可能大部分与除无定形铁以外的其它形态的铁氧化物相结合;而可溶态钒则较多的与无定形铁相结合,这种特征对钒在土壤中的迁移转化可能具有重要影响。

此外,全钒含量与全锰含量之间也有显著正相关,相关系数为  $0.6651^*$ 。但可溶态钒含量与全锰量间没有显著的相关关系。综合分析得出,我国土壤中钒的含量分布规律与铁锰氧化物的含量分布状况相符合,在南方地区土壤中,因为富含铁锰氧化物,所以一般全钒含量相应较高;北方地区土壤中,铁锰氧化物含量较少,故全钒含量相应也较低。

3. 土壤质地 据 Berrow 等人(1978 年)报道<sup>[9]</sup>,在苏格兰的灰壤中,以粘粒部分的钒含量最高,细砂、粉砂和粗砂粒的钒含量则相对低得多;也有资料指出,钒很可能在粘粒结构中产生同晶替换作用,而取代晶格中的 Fe、Ti 和 Al。从而使得粘粒部分的钒含量较高。表 3 中的分析数据表明了土壤全钒和可溶态钒含量与粘粒含量间有极显著和显著的正相关关系。为了进一步探讨各个因素对全钒和可溶态钒含量的影响程度和作用大小,

将全钒含量、可溶态钒含量、全铁含量和粘粒含量等之间进行了偏相关分析,此时,全钒含量与粘粒含量间的偏相关系数仅为 0.0672,远远低于显著水平时的相关系数 ( $r = 0.602^*$ )。而全钒含量与全铁含量间的偏相关系数为  $0.6555^*$ ,达到显著正相关。可溶态钒含量与粘粒含量间的偏相关系数为 0.3658,也达不到显著水平。因此,可以认为在全钒和可溶态钒含量与粘粒含量间呈显著正相关这个结论中,隐含有土壤全铁含量的影响,偏相关分析的结果,确证了全铁含量是影响全钒和可溶态钒含量的最主要的因素,粘粒含量的影响相对较小。

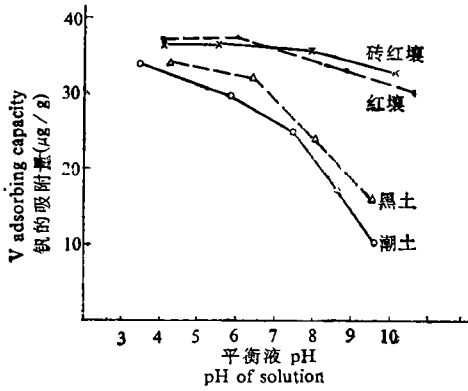


图3 不同 pH 条件下土壤吸附钒量

Fig. 3 Amounts of vanadium adsorbed by soils under different pH conditions

中的吸附有很大的影响。图3是在不同的平衡 pH 条件下,外加  $37.5 \mu\text{g}$  的可溶态钒后,土壤对钒的吸附情况(以偏钒酸钠的形式加入)。在酸性的砖红壤和红壤中,各平衡 pH 条件下,均对可溶态钒有很大的吸附量,随 pH 值的上升,吸附的钒量有所减少。在中性和弱碱性的黑土和潮土中,随着平衡 pH 值的上升,土壤对可溶态钒的吸附量急剧减少。因此,土壤 pH 值的变化,不仅表现在影响土壤中钒的含量,更主要的影响到可溶态钒在土壤中的吸附,从而进一步影响到钒在土壤中的分布和迁移转化的特征。

### 三、结 论

我国土壤中的全钒含量具有明显的分布规律,总体分布格局是从东到西,由南至北含量逐渐降低。平均全钒含量为  $86 \mu\text{g/g}$ 。全钒和可溶态钒在土壤剖面中的分布受到成土过程,生物气候条件等方面的综合影响,呈现表层相对聚积型,底层相对富集型和均匀分布型。

土壤母质是决定全钒含量高低的基础和主要因素,全铁含量则是影响全钒和可溶态含量的主要因素。

土壤中的钒大部分与除无定形铁外的铁氧化物相结合;可溶态钒与无定形铁结合较紧密。

### 参 考 文 献

1. 刘铮等译(H. 奥贝尔 M. 潘塔著)1982: 土壤中的微量元素。89页,科学出版社。
2. 陈志诚等,1985: 华南热带地区主要土壤中微量元素的丰度、分布及迁移累积。引自“土壤地球化学的进展和应用”,142页,科学出版社。
3. 盛士骏等,1983: 川西滇北地区森林土壤的微量元素。土壤学报,第20卷3期,303-311页。

4. Arnon, D. I., and Wessel, G., 1953: Vanadium as an essential element for green plants. *Nature*. 172:1039—1040.
5. Berrow, M. J., et al., 1978: Origin of extractable titanium and vanadium in the A horizons of Scottish podzols. *Geoderma*. 21:89—103.
6. Bowen, H. J. M., 1979: *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, New York, pp333.
7. Cammack, R., 1986: A role for vanadium at last. *Nature*. 322:312.
8. Domingo, L. E., and Kyuma, K., 1983: Trace elements in tropical Asian paddy soils. *Soil Sci Plant Nutr*. 29:439—452.
9. Eady, R., et al., 1987: Vanadium puts nitrogen in a fix. *New Scientist*. 114:59.
10. Thornton, I., and Webb, J. S., 1980: *Applied Soil Trace Elements*(Davies, B. E., ed.) Wiley, New York. pp381—439.

## VANADIUM DISTRIBUTION AND ITS AFFECTING FACTORS IN SOILS OF CHINA

Wang Jinfang and Liu Zheng

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

### Summary

The present paper deals with a systematical investigation of vanadium contents in main soil types of China. The results are summarized as follows:

1. The total vanadium content of the main soils in China ranged from 9 to 266  $\mu\text{g/g}$ , averaging 86  $\mu\text{g/g}$ . Parent materials was the decisive factor affecting the total vanadium contents. For instance, in red earths different in the parent materials, the total vanadium content was in the sequence of the red earth derived from basalt > that from phyllite > that from  $Q_2$  red clay > that from granite > that from limestone > that from Tertiary red sandstone > that from rhyolite.

2. In general, total vanadium contents and soluble vanadium contents of soil profiles were not consistent. It is revealed that they could be accumulated or enriched in surface soil or subsoil, and in some conditions, they could be distributed in homogeneous state.

3. Total iron content of soil was one of the most important factors affecting distribution and mobilization of vanadium in soils. Vanadium in soils as largely combined closely with iron oxides, except amorphous iron oxides. The soluble vanadium as combined with amorphous iron oxides in soils.

**Key words** Vanadium content, Distribution, Soluble vanadium