

东北及内蒙古东部的土壤微量元素*

方肇倫 宋达泉 叶炳

(中国科学院林业土壤研究所)

土壤中的微量元素在动植物生活中所起的重要作用日益被人们所重视。了解土壤中的这一部分资源对指导微量元素肥料的施用,从而达到农业增产以及对消除由土壤微量元素缺乏或过剩引起的某些动植物病害均具有重要的意义。探讨土壤微量元素在土壤剖面中的累积和迁移及其地理分布规律,则可进一步阐明土壤发生过程与生物地球化学特性的关系。

本文对我国东北及内蒙古东部地区各类土壤中锰、铜、钼、锌、硼、钴、镍、铬、钨、锶、铅、锡、钛、钒等 14 个元素的含量以及它们在不同土类中的累积、迁移规律进行了初步论述;对锰、钼、锌、硼、钴、铜在本区的地理分布进行了较详细的讨论。

本工作中共分析了 111 个土壤剖面(360 个土样)。大部分的剖面是按发生层次采样的。所有的分析均用定量光谱测定法^[5]进行。分析时每个样品重复三次摄谱。分析误差一般小于 10%。

一、本区主要成土母质中的微量元素

土壤微量元素的含量水平与成土母质的性质有着较密切的关系^[2-3]。某些成土过程,如腐殖质的累积过程、淋溶淀积过程、潜育化过程等等时常会影响到个别土壤层次中一些微量元素的含量,但在多数情况下母质性质对土壤微量元素全量成分的影响仍极为显著。因此了解各不同母质中的微量元素平均含量,对判断土壤的微量元素含量水平颇具参考价值。本文对土壤微量元素含量水平的评价,除另加说明者外,均以维诺格拉多夫的

表 1 本区成土母质的微量元素平均含量

土壤母质类型	微量元素含量 (ppm)													
	Ba	Sn	Mo	Mn	Cu	B	Co	Zn	Ti	Cr	V	Ni	Pb	Sr
玄武岩风化物	870	560	10	1000	34	22	55	155	14000	250	140	300	11	6
花岗岩风化物	470	175	1.8	560	8	25	14	73	7800	42	62	42	15	4
石英岩风化物	560	200	1.0	800	13	29	16	90	5400	77	92	42	15	2
安山岩风化物	630	180	4	1100	23	30	34	240	6400	100	140	60	120	4
火山灰及凝灰岩风化物	130	76	5	1400	9	18	9	200	4100	13	14	12	23	8
页岩及粘板岩风化物	630	140	5	1200	24	—	35	110	6400	120	140	73	20	2
湖积及冲积粘土	600	250	3	1000	31	60	30	96	8500	130	140	58	39	8
黄土及黄土性物质	520	240	<0.5	590	19	41	19	60	5500	86	100	39	17	3
砂土	560	220	<0.5	160	6	22	9	27	2200	36	29	19	4	3

* 参加分析工作的尚有张桂兰、毛培元、王素春等同志。

世界正常土壤平均含量^[1]进行比较。本区主要成土母质的微量元素平均含量如表 1 所示。

本区的火成岩和变质岩风化物母质中,玄武岩风化物的微量元素含量除个别元素外(如硼、铅)最为丰富,其中铬、镍、钴、钼尤为突出。此与基性造岩矿物(如橄榄石、辉石等)中类质同象置换较为发育有关。花岗岩和流纹岩风化物中的微量元素含量为本区含微量元素最少的母质之一。关于石英岩、安山岩风化物的微量元素资料累积尚少,但可初步看出石英岩中微量元素的含量多接近花岗岩,而安山岩中的含量则多数介于酸性的花岗岩与基性的玄武岩之间。锌的含量则比较高。不同火山口的喷出物其组成差异较大,大兴安岭摩天岭及黑龙江省五大莲池等地为玄武岩喷出物,而长白山火山口附近分布的部分为酸性喷出物,表 1 中的数据仅为后者之平均值。此种火山灰的矿物组成尚未查明。其微量元素含量的特点为:大部分的元素含量很低,但锌、锰的含量很高,甚至超过玄武岩的。又如某些文献中记载的,在火山口处硼大量富集的现象^[1],在本区未有发现,相反的,却较低。

各类沉积岩风化物的有关资料累积尚少,但可初步认为:砂岩风化物的微量元素含量多数很低,接近砂土的水平,发育其上的土壤可能缺乏很多对作物生长具有重要意义元素。粘板岩、頁岩风化物中的含量则较高,接近粘土的水平。海相沉积岩的特点为含硼量较高,有时达 200ppm 以上。

冲积、湖积粘土为含微量元素较丰富之母质。这可能是因为在岩石风化物搬运的机械分异过程中,此种母质富集了较多的微量元素含量丰富的易风化矿物。另一方面,可能由于此种母质有较强的吸附能力,吸附了周围地区风化壳中淋洗出来的微量元素。

本区的黄土及黄土性物质分布面积颇大。部分微量元素的含量随分布地区不同而变异较大,如锰的含量范围为 150—1200ppm,硼为 18—61ppm。这种含量上极显著的差异可能与各地分布的黄土及黄土性母质不同的成因、来源及质地有关;后者则在很大程度上决定于搬运过程中的机械分异作用。辽宁省西部的建平县,北部的昌图、法库等县及吉林省西北部等靠近砂土分布地区的黄土其微量元素含量,比较接近砂土区的含量,属中等以下水平。距离砂土区较远的地区,如黑龙江省的明水县、哈尔滨市,吉林省的榆树县等地,多数元素的含量也较丰富。其中一些地区如榆树县附近的黄土性粘土,其微量元素含量更接近粘土的。总的看来,本区黄土及黄土性物质的微量元素含量还是比较低的。

砂性母质中有多种微量元素的含量均属本区最低水平,其中不少为植物正常生长所必需的元素。锰的平均含量仅 160 ppm,低于地壳及正常土壤(据维诺格拉多夫^[1],见表 2)平均含量约 6 倍,钼的平均含量低于 0.5 ppm,常较地壳之平均含量低 10 倍之多。砂性母质中微量元素的含量较低与其富含石英有关。另一方面,由于吸附性能差,在矿物风化过程中释放出来的元素大部被淋失所致。

二、本区主要土类的微量元素含量

如前所述,可见本区土壤分布于性质极不相同的母质上,故同一土类的土壤微量元素含量变动范围有时很大。为使各土类的含量平均值¹⁾更具参考价值,表 2 中各土类的含量

1) 平均值是由各剖面的平均含量计算出的。计算剖面的平均含量时考虑到每个数据所代表的土层厚度。

$$\text{剖面平均含量} = \frac{(A \text{层含量} \times A \text{层厚度}) + (B \text{层含量} \times B \text{层厚度}) + (C \text{层含量} \times C \text{层厚度})}{A, B, C \text{层厚度之和}}$$

表 2 本区各主要土类中微量元素含量

土 类	平均含量 与 含量范围	土壤微量元素 (ppm) (以 450°C 灼烧过土壤为基础)														剖面 系数
		Ba	Sr	Mo	Mn	Cu	B	Co	Zn	Ti	Cr	V	Ni	Pb	Sn	
暗棕色森林土	平均 570 范围 340—740	220	3.2	1350	16	46	26	106	9,000	76	104	46	27	5		
棕色森林土	平均 630 范围 480—700	200	2.4	770	23	61	26	90	7,500	113	112	60	21	5		
暗灰色森林土	平均 480 范围 380—640	260	2.4	1,000	22	50	21	102	7,000	90	102	46	31	5		
棕色泰加林土	平均 630 范围 200—1,100	250	1.6—5.3	650—1,460	16—32	40—62	16—26	78—120	5,500—7,900	80—122	86—120	36—55	9—44	2—8		
褐色土	平均 570 范围 440—680	280	1.4	730	22	41	22	59	6,900	92	106	46	32	7		
白浆土	平均 590 范围 450—690	220	0.2—3	1,400	28	63	31	89	8,900	126	131	57	38	8		
黑土	平均 610 范围 450—750	290	1.4	900	26	54	25	61	6,500	104	117	50	30	5		
草甸土	平均 620 范围 450—750	310	2.4	940	26	54	26	87	7,900	110	110	59	27	7		
暗栗钙土	平均 600 范围 500—640	450	0.7	580	20	42	19	57	4,800	51	65	36	25	4		
黑钙土	平均 700 范围 660—720	330	2.7	840	20	50	26	88	6,500	125	117	48	29	6		
盐土、碱土	平均 620 范围 500—680	510	1.2	630	21	49	20	64	6,700	88	94	43	25	5		
砂土	平均 540 范围 400—630	180	0.3	420—760	15—35	44—70	17—29	53—84	5,400—9,700	51—159	66—163	32—58	5—46	1—9		
本区各土类平均含量		300	2.3	850	22	47	22	79	6,700	90	96	45	26	6		
本区土壤平均含量		270	2.2	840	22	46	23	85	6,500	103	92	51	26	6		
世界正常土壤平均含量, 维诺格拉多夫(1949)		300	2	850	20	10	8	50	4,600	200	100	40	10	10		
岩石圈平均含量, 维诺格拉多夫(1949)		400	3	900	100	3	30	50	6,000	200	150	80	16	40		
地壳平均含量, 费尔斯特(1933—1939)		350	10	1,000	100	50	20	200	6,100	300	200	200	16	80		
地壳平均含量, 戈赫史密德		150	2.3	1,000	70	10	40	80	4,400	200	150	100	16	40		

平均值,是根据母质的情况在分类中做了如下的调整后计算出的:砂性母质上发育的土壤皆列入砂土类;暗棕色森林土的平均值不包括玄武岩上发育的土壤,因其含量过于突出,且分布面积较小;安山岩上发育的暗棕色森林土中的镓、铅含量由于超出平均值过多,也未计入。部分被长期开垦、耕种或侵蚀严重的暗棕色森林土及棕色森林土,植被变化较大,腐殖质累积过程有所改变,微量元素的含量也受到很大影响,由于差异较大,资料较少,表中未把此类土壤计入暗棕色森林土及棕色森林土的平均值内,也未分别计算。

棕色森林土及暗棕色森林土(灰棕壤) 在本区的山地森林土壤中,以发育在花岗岩上的棕色森林土及暗棕色森林土分布面积较大。也有一定面积的这两类土壤分布于玄武岩、安山岩及沉积岩的风化物和沉积物上。由于母质的性质差异较大,发育于不同母质的同一土类的土壤其微量元素含量可能有较大的差异。在暗棕色森林土中,玄武岩上发育的很多微量元素的含量都极为丰富。其中铬、镍、钴、铜、钒为本区土壤中含量最高者。硼的含量则较低。安山岩、页岩及粘板岩上发育的,含量一般稍低些,但仍较富足;硼的含量较玄武岩上发育者丰富,其中安山岩上发育者锰、锌、铅的含量常超过玄武岩上发育者,在表层中分别达 6,000ppm, 350ppm, 70ppm。花岗岩上发育者含量较低,但除已被开垦或侵蚀严重的外,由于其腐殖质含量较高,灰分元素在表层得以累积,又无显著淋失,故母质中虽有不少元素含量不很丰富,但整个土层中的含量水平与世界正常土壤平均含量相比则大部分元素仍然尚属富足。少数于砂岩风化物或砂层上发育的暗棕色森林土微量元素含量最低。表 2 中的平均值主要是以花岗岩上发育的暗棕色森林土计算的。不同母质对棕色森林土微量元素含量的影响与暗棕色森林土的情况相似,但相同母质上发育的棕色森林土及暗棕色森林土中,后者的含量一般要高些。表 2 中棕色森林土的某些微量元素平均含量高于暗棕色森林土是因前者包括了部分从页岩及其它沉积岩上发育的土壤。

未经开垦的棕色森林土及暗棕色森林土的表层土壤中,视腐殖质的累积程度,均有不同程度的微量元素聚集。多数情况下锰、铜、硼、锌、铅的聚集表现得很明显,其中锰最为突出,常较母质的含量大一两倍,有时甚至近 10 倍。与黑土、草甸土、黑钙土等富含腐殖质的土壤不同,这二种土壤在腐殖质层时常出现钼、锆的富集,此似和植被的残落物性质有关。仅在剖面中粘粒下移不甚明显时方可见到铬、钴、镍在表层中聚集;而当粘粒在 B 层中增加较明显时,它们则常与钒一起在 B 层淀积。暗棕色森林土与棕色森林土剖面中微量元素分布方面最明显的区别在于表层聚集程度的差异。在这两个土类中,前者在其所处的气候条件下,有机质因分解较慢,且土壤冻结时间较长,得以累积,矿质元素被有机质束缚,也免于流失,可能因此而使很多在植物残体中含量较高的微量元素得以在表层显著地积累。后者在其所处的更为温和的气候条件下,矿质元素在有机质分解过程中较快地被释放出来,处于较活动的状态,易遭淋失,且土壤表层的侵蚀也比较明显,故不易在表层有较多的积累。以上二类土壤中森林植被久遭破坏及侵蚀严重者,生物累积过程有很大改变,一般见不到微量元素在表层富集,有时其含量反低于母质。辽宁省东部及中部被开垦的棕色森林土中常有此现象,如锰的含量常仅达 200—300ppm。

暗灰色森林土 本区暗灰色森林土多分布于大兴安岭西麓的石英岩地区。微量元

素的含量一般近中等水平,与本区的土壤平均含量颇为近似(表2)。石英岩本非含微量元素很丰富的母质,其含量与花岗岩近似,但暗灰色森林土剖面中的生物富集较强,一般具有比棕色森林土较厚的腐殖质层,故微量元素含量一般尚丰富。

在森林草原地带分布的暗灰色森林土剖面中微量元素的分配情况,也显示出某种过渡性。在暗棕色森林土 A₁ 层中经常出现的较强的微量元素富集,在灰色森林土中明显地被削弱,但后者被富集的土层一般稍厚些,此则与植被性质、气候条件有关。由于森林植被常与草本植被相互演替,致使进入土壤表层的枯枝落叶分解产物、包括灰分元素,较暗棕色森林土为少,且在气候较干、有机质分解也较快的条件下,灰分元素也因而易于迁移,以致不能在表层大量累积。但另一方面,由于草原植被的侵入,进入较深土层的植物根系量增大,分解后形成了深厚的腐殖质层,因而被植物体富集的微量元素也同时形成了较深厚的富集层,与黑钙土剖面中微量元素的富集情况颇为近似。

棕色泰加林土 棕色泰加林土多分布在海拔较高的山地,其母质多为各种类型的火山喷出物,其中有长白山地区的喷出物,大兴安岭摩天岭一带的基性喷出物。此外,大兴安岭北部尚有花岗岩,安山岩母质的。从前述成土母质的微量元素情况可见:不同母质上发育的棕色泰加林土的微量元素含量差异较为悬殊是由于母质性质差异较大。棕色泰加林土的微量元素平均含量多数都很丰富,锰、锌、铜、钼均为本区土类中最高者。这一方面是由于约有半数的土样采自基性岩分布区,另一方面也可能由于土壤中冻层的存在,因而 pH 虽较低而元素的淋失仍然受到了显著的抑制。

在棕色泰加林土的剖面中,由于其表层进行着较强的生物成因的堆积过程,故一般在表层 0—10 厘米中,具重要生物作用的元素多数都有明显的富集,其中锰、锌较为明显。当由于冻层的影响使灰化过程受到抑制时,这种富集颇似暗棕色森林土的表层。当灰化过程进行较为顺利时,表层中很多在酸性条件下溶解度增高的元素有明显的淋失(如锰、锌、铜等),其结果是降低了表层富集的程度(如在灰化棕色泰加林土中),更强烈的淋失可以使表层无明显的富集。

褐色土 褐色土中多数微量元素的含量属中等或中下水平,仅硼、钴、铅的含量稍高些。

由于本区褐色土的自然植被多已遭受破坏,腐殖质的含量不高,故几乎见不到微量元素在表层的生物富集。褐色土中有明显的粘化现象时,很多微量元素即在粘化层中富集。在淋溶褐色土中,一些溶解度稍大的微量元素则有时被淋洗至更深的土层中。

白浆土 本区的土壤中,除在基性岩上发育的暗棕色森林土及棕色泰加林土外,白浆土中的微量元素一般均最为丰富(表2)。其较高的微量元素含量水平主要是由粘重的母质决定的。白浆土分布区中质地粘重的母质有较大面积可能是玄武岩风化后经搬运而再度沉积的,其微量元素含量比其他来源的粘重母质更为丰富,其上发育的白浆土的微量元素含量也因而比其他来源的粘重母质上发育的要高些。

从白浆土剖面中可以观察到 A₂G “白浆层”中多数微量元素被淋洗出去,随侧渗水流流失,或部分随粘粒淀积于粘重不透水层之上,使 B 层含量增加,这里元素的迁移是物理及化学淋溶共同作用的结果。从白浆层中淋失的量常达到母质的 50%。白浆土 A₁ 层中由于草甸过程积累腐殖质,一些在植物残体中含量稍多的微量元素如锰、锌、硼等在 A₁ 层

有一定富集,其明显程度决定于表层淋失及腐殖质累积两个对立过程的相对强度和植物富集不同元素的能力,以及还原条件对不同微量元素有效性的影响。锰是对植物生长有重要作用的元素,且在还原条件下其有效态部分可能较多,故锰在 A₁ 层的富集常最为明显,一般不但都能抵消其自 A₁ 层的淋失,并且在多数情况下自白浆层的淋失也得到补偿,而出现高于母质中的含量。锰在 B 层的淀积也变得很不明显。对其他的微量元素来讲,白浆土表层的生物富集一般均未能抵消这些元素自白浆层的淋失,但多数元素在 A₁ 层均出现相对于白浆层的富集,由于微量元素在粘粒较多的淀积层聚积常较明显,故这种富集一般不能使 A₁ 层的含量超过 B 层。在草甸白浆土中由于腐殖质累积过程较强,微量元素的生物富集也更加明显。各元素自白浆层的淋失均得到一定的补偿,在草甸过程较强时甚至可完全抵消元素的淋失。

虽然白浆土的微量元素含量水平是高的,但在农业利用上最为重要的表层和亚表层土壤中,由于淋失较多,一般可给态的微量元素仍可能较少,未必都能满足作物的需要。在还原条件下迁移力降低的某些元素(如钼)其缺乏的可能性则似乎更大些。我所朱淇等的工作已证实白浆土上施钼对大豆增产有显著效果。

黑土及草甸土 本区黑土及草甸土均为含微量元素较丰富的土壤,二者微量元素平均含量和剖面分布规律非常近似,故合并讨论。与世界正常土壤平均含量相比,这两类土壤中一些有重要生物作用的元素含量几乎都高些,仅黑土的钼含量较低。在黑土的各亚类中以深厚及中厚腐殖质层的黑土微量元素含量最为丰富。草甸黑土稍差些。草甸土中微量元素的含量也与腐殖质的积累有明显关系,具有深厚腐殖质层的草甸土中含量较高,薄层的次之。盐渍化草甸土中含量最低,一般更接近盐土的含量水平。

在黑土及草甸土的腐殖质层中,经常可观察到硼、锰、锌、铜、钴、镍、铅等元素的聚集。其中包括了大多数在生物代谢中起重要作用的元素。钼在剖面中的分布比较特殊,缺乏规律性,在腐殖质层聚集的情况不多。黑钙土中也有类似情况。

在黑土及草甸土中有时也可观察到某些元素随粘粒沿剖面下移,其中镍、钴、铬、钒等表现较明显。在粘粒下移较显著时,上述元素在表层的聚积不及机械组成均匀时明显。

暗栗钙土 暗栗钙土的微量元素含量在本区属中下水平。与世界土壤平均含量相比,除硼、锶、钴、铅含量较高外,其他被研究的元素均接近或低于这一含量。钼、铬的低含量比较突出。其他不少元素的平均含量也仅多于砂土的含量,如锰、铜、钴、锌、钒、镍等。在内蒙古呼伦贝尔盟及昭乌达盟发育于砂土上的暗栗钙土多种微量元素的含量颇低,可能引起动植物的某些微量元素缺乏症。且缺钼的可能性似乎最大。其他暗栗钙土中钼的含量也很少超过 1ppm,在不少情况下低于 0.5ppm,低于光谱分析灵敏度的下限。由于暗栗钙土常呈碱性反应,故一些在碱性条件下有效性会显著降低的元素如锰、铜、锌、钴等虽总量有时并不很低,但仍可能缺乏植物需要的有效态部分。在暗栗钙土地区补给一定量的锰、铜、钼、锌、钴等元素对农业生产可能是有益的。在内蒙古的一些暗栗钙土畜牧区似乎还应估计到牲畜因缺钴、铜而引起某些病症的可能性。

与其他有重要生物作用的微量元素不同,硼在暗栗钙土中的含量并不低,高者可达 50ppm 以上,这一含量在本区虽也仅属中等水平,但却超过世界正常土壤含量 4 倍。其聚

积可能和盐分的积累有关。

在暗栗鈣土的剖面中,当各土层的机械組成尚均匀时,可以观察到具重要生物作用的微量元素:在 A_1 层中有少量的聚集,但时常由于层次間机械組成上的差异这种聚积会变得无法辨别。受机械組成变异影响的元素主要是鉻、鈳、鈷、鎳等。在剖面中还常常可以见到錳在碳酸鈣淀积层中同时淀积。

黑鈣土 本区黑鈣土中的微量元素含量接近黑土的水平。鉬的含量更丰富些,接近深厚黑土的含量。鋇、錳的含量均較高。

黑鈣土剖面中多数微量元素的分布規律与黑土很相似。由于腐殖質的积累,多数具重要生物作用的元素在表层聚积。但是鈷、鎳、鈳、鉻則受机械組成变化的影响甚于腐殖質的累积作用。与栗鈣土相似,黑鈣土的碳酸鈣及石膏淀积层中也可見到錳的聚积。

在砂性母質上发育的黑鈣土,不仅微量元素含量低,且各元素在腐殖質层的积累也极少見到。此則可能由于可給态微量元素过于貧乏所致。此种土壤缺乏微量元素的可能性較大。錳的含量常仅 200ppm, 鋅 20ppm。在吉林省白城子地区此类土壤上发生的果树失綠病即可能由于微量元素缺乏引起。

盐土及碱土 本区盐土及碱土中各微量元素的平均含量很接近暗栗鈣土而偏高些,含量仍屬中等或中等以下水平。从土壤母質来看,其微量元素含量一般高于暗栗鈣土的母質,但因土壤中盐分的累积对生物循环的不良影响,表层的生物富集很不明显,含量并不富裕,在一些碱土中,表层的含量甚至低于母質含量。还应注意的是,土壤的碱性反应常会进一步降低很多元素的有效性。盐碱土中硼和錳的含量均較高。錳含量为本区最高者,估計是由周围地势較高地区的风化壳中淋洗出来而淀积于此的。与錳相比,硼的淀积稍差些,其含量也超出世界土壤平均含量約 4—5 倍,但并非本区最高者。在滨海盐土中硼聚积的程度也未超过内陆盐土的水平。

当盐土剖面中各层土壤的机械組成比較均匀时,多数元素在剖面中的分布也比較均匀,盐結皮层由于机械組成較輕,除硼外,其他元素含量均較低。硼則明显地和可溶性鈉盐淀积在同一层次中,因一般表层含盐量高,故多在表层富集。錳在較深些的层次中同鈣盐一起淀积。当剖面的机械組成变化較大时,除硼、錳外其他各元素大都同机械組成有相应的变化。

在碱土剖面中,粘粒及三价氧化物淀积的柱状层或其下更粘重的土层,除极不易在风化过程中被释放的元素如鈉外,几乎所有的微量元素都有一定聚集。表层的生物富集則极少出現。

泥炭潛育土及沼泽土 对分布在本区低洼地区的泥炭潛育土及沼泽土中微量元素的含量研究得还不够,故未計算其平均值。

由于潛育化作用将很多元素还原为低价状态,有些元素,如鉄、錳,受到較強烈的淋失,故潛育化土壤的表土中含量一般較低,錳的含量常仅 200ppm。由于表层泥炭的大量堆积,大量可給态的微量元素被植物吸收后集中在有机質內,在其分解受到抑制的条件下,微量元素的生物循环也受到阻碍,故虽在表土中某些重要营养元素如硼、銅的含量并不低,但易于被植物吸收的部分可能为数不多。

对这类土壤在排水后进行农业利用时,适当补给锰可能是必要的。在开垦初期,由于一些元素集中在泥炭中而不能马上被利用,可能也应适当的补足这些元素。

砂土 流动及固定砂丘及在砂土上发育成的各地带性土壤(主要为暗栗钙土及黑钙土)均为本区含微量元素最贫乏的土壤。砂土母质中的微量元素较贫乏,且由稳定性较高的矿物组成,故成土过程中的一些作用对微量元素迁移和集中的影响很微弱。剖面中微量元素的分布一般都较均匀,仅在表层腐殖质累积较多时方出现某些元素在表层的少量聚集。因此,剖面的微量元素含量基本维持在母质的含量水平。在砂土中不少微量元素的含量都显著的低于世界正常土壤平均含量,值得指出的是:某些如锰、铜、钼等对植物的正常生长具有极重要意义的元素竟低四、五倍。唯一尚丰富的元素是硼,但其含量在本区土壤中也属低者,而其中可被植物直接利用的部分比例如何,也仍需进一步探讨。此类地区在开发后进行农业利用时可能一般需补给铜、锰、钼、锌,视情况可能也需补给硼及钴。

*

*

*

无论是本区各土类的平均微量元素含量,或是由本区 111 个剖面(360 个土样)计算出的本区土壤平均含量(包括土类中未计入的土壤剖面)多数元素都很接近世界正常土壤平均值。硼、钴、铅较为丰富,而铬则约低 1 倍。硼、钴与费尔曼的地壳克拉克值却比较接近。由此可见,从总量来看,本区大部土壤是不缺乏微量元素的。但如果将其与植物的需求相联系,能对农业生产有更大的指导意义,则必须进一步研究土壤中的有效态微量元素含量,并进行微量元素肥料等的农化试验。至于本节所提有关微量元素施肥的意见仅是带有推测性的很初步的意见。

三、锰、锌、铜、钴、钼、硼等土壤微量元素在本区的地理分布¹⁾

锰 本区土壤中锰的地理分布极不均衡(图 1);砂土地区含量有时低至 100ppm 以下,某些森林土壤表层则超过 2,000ppm,有时竟达 5,000ppm。内蒙古东部海拉尔以西、以南的砂丘分布区,辽东发育于砂岩风化物上的部分土壤及辽宁、吉林两省西部的砂土区均为本区含量最低地区。由后者向四方延伸则含量递增。与砂土地区毗邻的,于黄土上发育的暗栗钙土、褐色土等,锰的含量稍高些,但仍感缺乏。相邻的于稍粘重的母质上发育的盐土、碱土、褐色土中锰的含量属中下水平,部分土壤仍有缺锰可能。呼伦贝尔、海拉尔以西的广大地区,除已提及的砂土区外,也多为此含量水平。含量更高的分布区依次为:黑钙土、棕色森林土分布区;黑土、草甸土及吉林省、辽宁省东部部分暗棕色森林土分布区;大小兴安岭地区的暗棕色森林土、白浆土分布区。上述三个地区锰的含量均属中等以上水平。吉林省东部白浆土及部分于玄武岩、安山岩上发育的暗棕色森林土中,锰的含量为本区最高者。冲积性土壤(除砂质的外)中锰的含量多属中上水平,故多数低含量地区的河谷中往往含量尚高(除锰外,其他元素也大都如此)。由于分布图比例尺很小,未能把此种状况在图中一一绘出。

锌 本区土壤中锌的地理分布规律与锰颇为近似(图 2)。砂土地区仍为低含量中

1) 本节所附的元素分布图中的含量均为表层(A层)土壤的含量,故可能与整个土层的含量有一定出入。

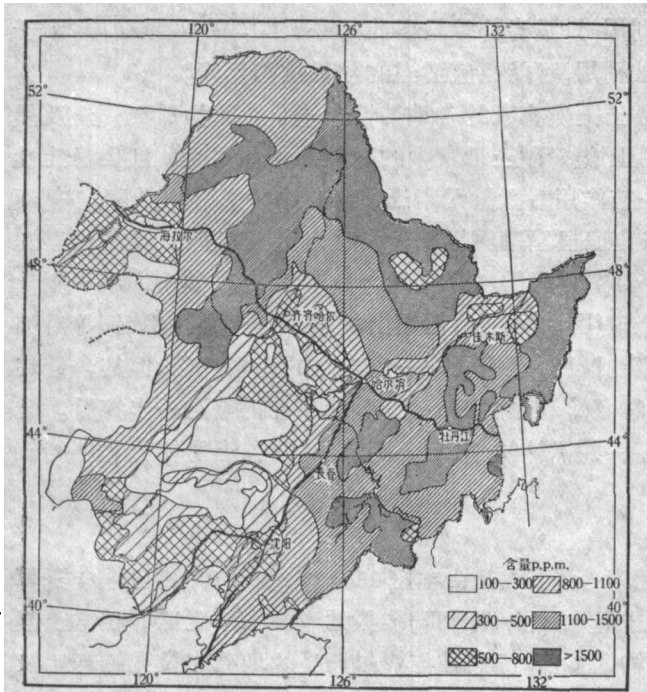


图1 东北及内蒙古东部土壤表层中锰含量分布图

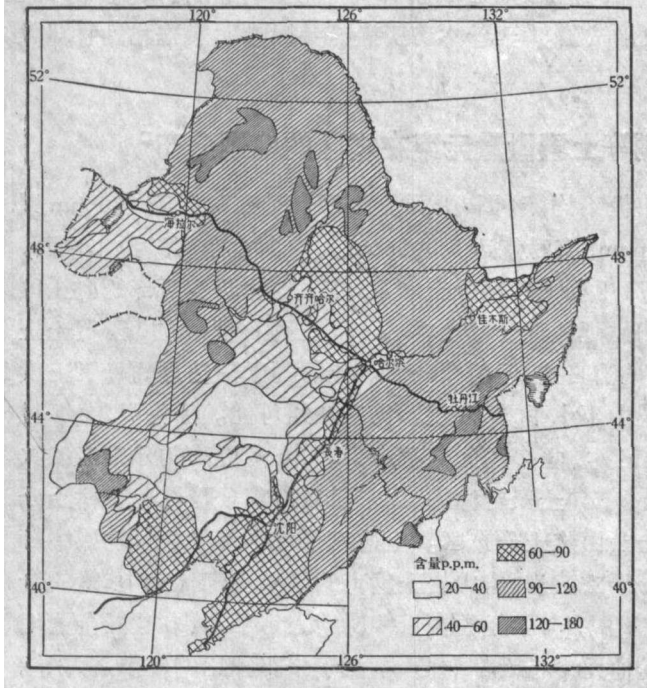


图2 东北及内蒙古东部土壤表层中锌含量分布图

心。毗邻的暗栗钙土、盐碱土分布区, 锌的含量多属中等。黑土、黑钙土、草甸土, 辽宁东部的棕色森林土、辽宁西部的褐色土南北向构成一个几乎为半圆形的、含锌较为丰富的地区。另一个与此地区相邻的、包括大小兴安岭及吉林东部山地的各种山地森林土及白浆土在内的马蹄形区域为本区土壤中含锌最高者; 锌含量一般都在 100ppm 以上, 即超过世界正常土壤的平均含量 1 倍。在上述区域的玄武岩、安山岩分布区, 锌的含量更为突出, 常达 200ppm 以上。

铜 前述砂土区铜含量最低(图 3)。相邻的暗栗钙土及部分被开垦的棕色森林土、褐色土分布区铜的含量也较低。此外, 与此含量水平相近的尚有一些高山苔原土壤及滨海盐土。黑土、白浆土、玄武岩风化物上发育的土壤及部分泛滥地土壤中铜的含量最为丰富, 其含量常达世界正常土壤平均含量的 2 倍。除上述地区外, 其他地区铜的含量均属中等。

钴 本区土壤中钴的地理分布规律与锰大致相同(图 4), 仅钴的含量变化范围较小, 故图中分级也较少。钴的含量除砂土地区外的各土类中都超过了世界正常土壤平均含量, 一般是比较丰富的。但除少数基性岩分布区外, 钴的含量并未超出地壳或岩石圈中的平均含量。

钼 在本区的广大平原地区

土壤中钼的含量均低(图 5)。黑龙江省东部的三江平原含量稍高些, 但也仅属中等水平。砂土及黄土分布区钼的含量最低, 估计不能满足植物正常生长的需要, 暗栗钙土、黑土及盐碱土的大部分地区含量均属中下水平, 部分地区也可能缺钼。白浆土及暗棕色森林土

分布区铜的含量最丰富,但后者主要是表土的铜含量较高,而前者主要是心土中具有较高的含量。本区土壤中铜含量较高者首推玄武岩风化物上发育的土壤及棕色泰加林土。后者较丰富的含量可能与土壤中冻层的存在及土壤的酸性条件有关。铜的活动在酸性条件下受到抑制,使铜的淋失大大减弱,但由于同一原因可给态铜在全量中占的比例也不会很大,故土壤中较丰富的总储量未必能说明真正可被植物利用的铜的丰富程度。

硼 硼在本区土壤中的平均含量与费尔斯曼计算的地壳平均含量比较接近,但却为世界正常土壤平均含量的4倍,因此在大部分地区的蕴藏量是很丰富的。此则可能与本区平原在古代曾受海侵有关。沿海地区的一些海相沉积物中,硼的含量有时可超过200ppm;在水溶性硼较多的情况下,可能对某些植物有毒害的危险。其他地区虽也可能有较高的含量,但估计尚不至引起毒害。

本区盐渍土中硼的聚集并不比周围其他土壤更为突出。盐渍土中的平均含量为52ppm,低于苏联南部盐渍土中的含量(73ppm)^[4]。

含硼量最少的为砂土及玄武岩风化物分布区(图6)。一些固定及流动砂丘中硼的含量多在20ppm以下,有时还低于10ppm,但已发育成地带性土壤的砂土地区,则因有一定的腐殖质累积而硼含量稍高些,可达30ppm。显然由于腐殖质与硼的结合使得硼的淋失受到了一定的抑制。

本区西部黄土性母质上发育的暗栗钙土、褐色土及辽宁中部一些被开垦的棕色森林土是本区含硼较少的区域。无论表土或底土均很少超过40ppm,即低于本区的平均含

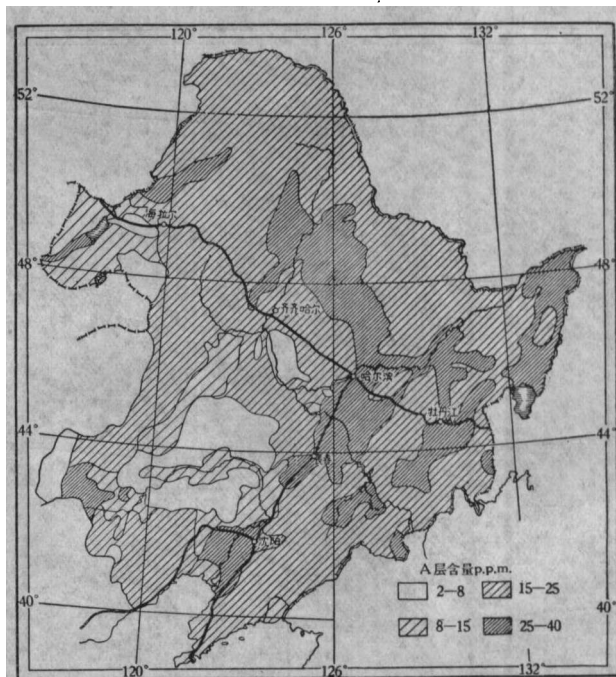


图3 东北及内蒙古东部土壤表层中铜含量分布图

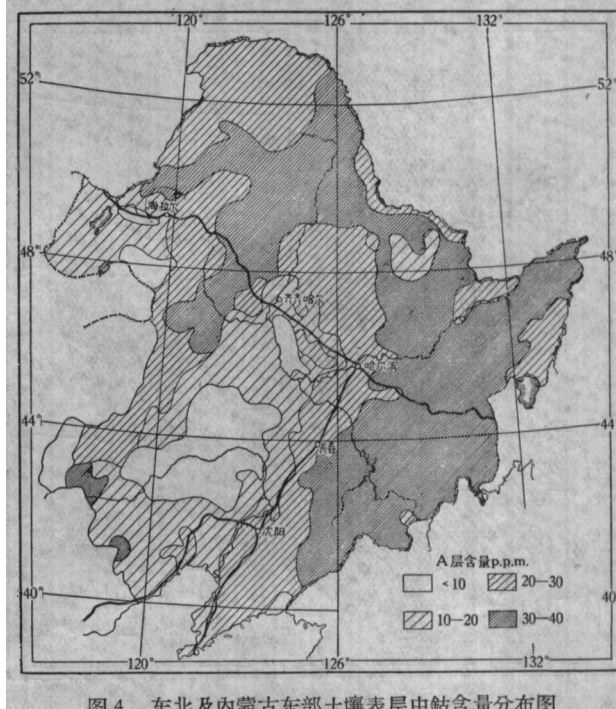


图4 东北及内蒙古东部土壤表层中硼含量分布图

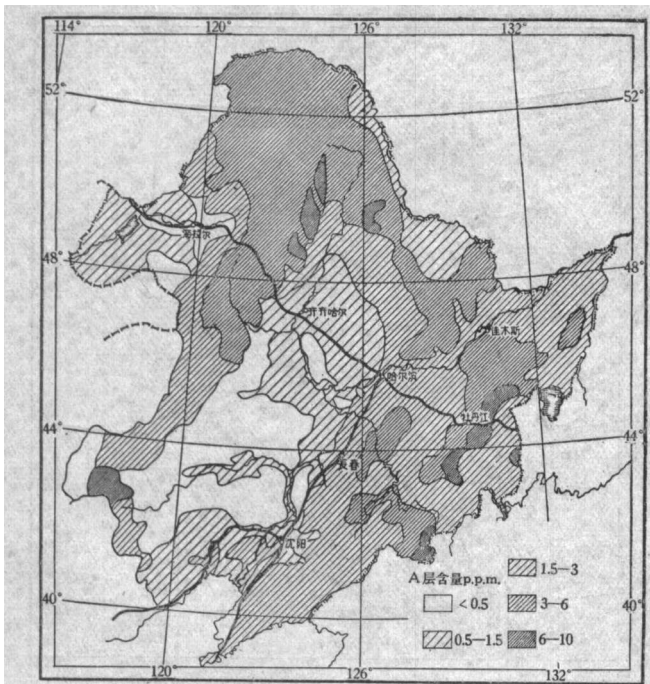


图5 东北及内蒙古东部土壤表层中铅含量分布图

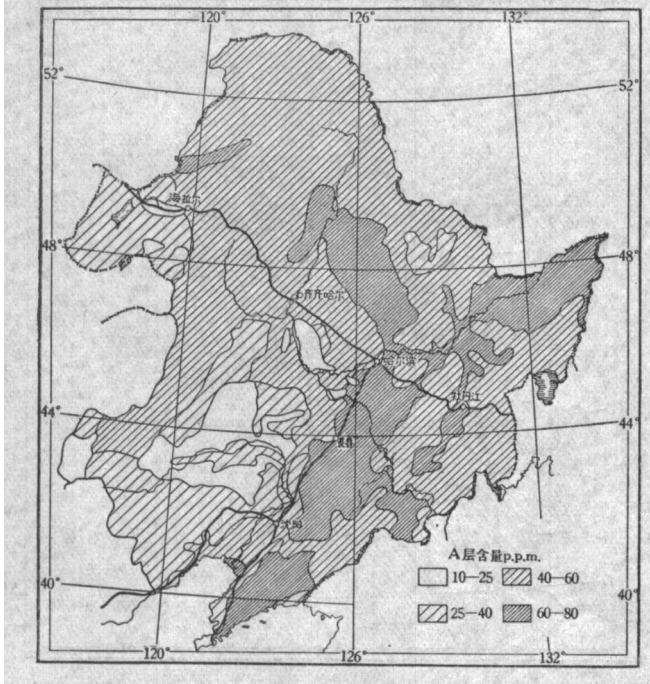


图6 东北及内蒙古东部土壤表层中硼含量分布图

量。

广大山区的花岗岩母质含硼量在本区并不很高(平均为 25ppm),但在很多森林土壤较强的生物累积作用下,表层含量仍比较高,多数情况下超过本区的平均含量。

发育于吉林、黑龙江省东部的湖积冲积粘土母质上的白浆土、草甸土及两省中部黄土性粘土母质上的黑土为本区含硼量较高者,其含量常超过 60ppm。

四、若干初步结论

1. 本区的成土母质中玄武岩、页岩、粘板岩的风化物及湖积、冲积粘土具有很丰富的微量元素,其中玄武岩最为突出(唯硼含量较低)。花岗岩、石英岩风化物的含量则较低。砂土母质中微量元素最感贫乏。部分黄土母质中的微量元素含量接近砂土的水平,另一部分则接近粘土的含量,其区别主要决定于机械组成。

2. 本区土壤中多数微量元素如钼、锶、锰、钨、铜、钒、镍、锡,其平均含量接近世界正常土壤的平均含量。硼、钴、锌、钛、铅的含量则超过,而铬约低 1 倍。

3. 本区多数森林土壤含微量元素均较丰富,但一些被长期开垦的及侵蚀严重的森林土壤,如母质含量也不很丰富时,则含量较低。黑土、白浆土、草甸土、黑钙土中微量元素含量也多较丰富,但砂性母质上发育的黑钙土含量较低。暗栗钙

土、盐土、碱土及褐色土中微量元素多为中等以下水平,砂土上发育的暗栗钙土则含量更低些。流动及固定砂丘及砂土或砂岩风化物上发育的各地带性土壤含量最为贫乏。

4. 在本区各类土壤中影响各元素在剖面中迁移的因素主要有以下五方面。

(1) 表层土壤中腐殖质的累积: 这种作用明显时常使大多数微量元素(对植物有意义的元素)在腐殖质层富集。比较经常被富集的有: 锰、锌、硼、铜、铅、钴、镍。至于钴、镍的富集仅当剖面机械组成较均匀时才能观察到。

(2) 物理及化学的淋溶和淀积: 无论是物理的还是化学的淋溶, 其结果都使易风化矿物中含量较丰富的微量元素遭到最显著的迁移, 往往在铁、铝或粘粒淀积的层次淀积, 在被淋溶的层次中则含量下降。铬、钴、镍、钒、钽的含量常与剖面层次中机械组成的变化有明显的联系。铬、钴、镍、钒的含量在粘粒含量较高的层次增高, 钽则降低。

(3) 潜育化过程: 迁移力较强的低价态元素, 被强烈地自潜育层淋失, 其中锰较为突出。

(4) 钙积层的形成: 黑钙土、暗栗钙土及盐碱土的碳酸钙淀积层中经常出现锶的淀积。

(5) 盐渍化过程: 盐渍化土壤中硼随钠盐在同一层次聚积。

在多数情况下微量元素在剖面中的分布规律主要系由前两种作用决定的。

参 考 文 献

- [1] Виноградов, А. П.: Геохимия редких и рассеянных химических элементов в Почвах. (1957) изд-во АН СССР.
- [2] Mitchell, R. L.: Chemistry of the soil (1955). Chapter 9, Trace elements, Editor F. E. Bear.
- [3] Ковда, В. А. и др.: Микроэлементы в почвах Советского Союза (1959). Изд-во Московского университета.
- [4] Цейтлин, С. Г.: Труды Биогеохим. лаб. АН СССР, 5, 161—169.
- [5] 方肇伦: 土壤微量元素的光谱定量测定法。中国科学院微量元素研究工作会议汇刊, 科学出版社。(即将出版)

TRACE ELEMENTS IN THE SOILS OF NORTH-EASTERN CHINA AND EASTERN INNER MONGOLIA

FANG CHAO-LUEN, SUNG TA-CHUAN AND YEH BING

(Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica)

(SUMMARY)

Present paper gives the content and distribution of trace elements, including Mn, Ti, Cu, B, Cr, Zn, Mo, Co, Ni, V, Sr, Ba, Pb and Sn, in soil profiles and parent materials of north-eastern China and eastern Inner Mongolia. Geographical distribution of Cu, Mn, Mo, Zn, B and Co in this region has also been studied. 111 soil profiles (360 soil samples) were examined for the above purposes. The average content of total trace elements in various soil types are given below: Mn 840 ppm, Ti 6,500 ppm, Cu 22 ppm, B 46 ppm, Cr 103 ppm, Zn 85 ppm, Mo 2.2 ppm, Co 23 ppm, Ni 51 ppm, V 92 ppm, Sr 270 ppm, Ba 570 ppm, Pb 26 ppm, Sn 6 ppm.

Among the soil-forming materials of this region, basalts, shales and clay deposits are rich in most trace elements while granites, quartzites and sandy materials have a much lower amount. The content of trace elements in Loesses varies with their mechanical

composition.

Brown forest soils, dark brown forest soils, dark gray forest soils, and the brown taiga-forest soils especially those developed from basalts, hold the highest amounts of trace elements, far exceeding the average figures in soils of North America and Europe according to Vinogradov's compilation. Accumulations of Mn, Cu, B, Zn, Pb, Co, Ni and other trace elements usually found in the A-horizon rich in humus content. Gleyed forest soils had low manganese contents in their leached horizons. Eroded forest soils induced by cultivation are much lower in trace elements in upper soil layers.

The paichiang soils developed on clay deposit are high in trace elements. In their gleyed layer or A₂G horizon, owing to the intensive leaching under a reduced condition, trace elements have been depleted to a considerable degree (sometimes amounts only about 50% of the parent materials).

Most of the trace elements in chernozems, black soils and meadow soils are also above the average of Vinogradov's Compilation. In these soil profiles, accumulation of Mn, B, Zn, Cu, Co, Ni and Pb also appear in the surface layer. The humus-rich surface horizon in these soils extends far deeper than in the case of forest soils, but the amount of humus content as well as microelements and comparably low in the former soils.

Majority of trace elements of dark chestnut soils, korichnevie soils and saline soils are about average or below average. But the contents of Sr and B are quite high in saline and dark chestnut soils. In calcareous soils, enrichment of Sr is definitely associated with lime accumulation layer. Accumulation of boron in soil profile follows the distribution of sodium salts in saline soils. Trace elements in sand dunes and soils developed on sandy parent materials are usually low and they distribute rather uniformly throughout the profile.

Geographical distribution of Co, Ni, Mn, Mo, Cu and Zn of the said region is appended in separated charts in the text.