

川西滇北地区森林土壤的微量元素

盛士骏 肖笃宁 张桂兰

(中国科学院林业土壤研究所)

在大范围的地区内研究土壤中微量元素的含量、累积和迁移状况及其地理分布规律,对农、林、牧业科研和生产以及环境科学、生态科学的发展都有极其重要意义。

本文主要是对我国有名的高山峡谷区——横断山系所在地的川西滇北地区,总面积约五十万平方公里范围内(北纬 25°30′—40°, 东经 97°—105°)的主要森林土壤类型作了锰、钼、铜、锌、钴、铬、硼、钒等十四个微量元素总量的分析。共分析了 32 个森林土壤剖面, 114 个土样。所有土壤剖面均按发生层次采集样品, 用 Q-24 型中型发射光谱仪作定量测定, 分析时每个样品均重复三次摄谱, 分析误差一般小于 10%。

一、主要成土母质中的微量元素

成土母质的性质不同对土壤中微量元素的含量的影响甚大。森林凋落物等的累积和分解、淋溶和淀积与潜育化、泥炭化等过程, 对微量元素在土层中的再分配也常起着重要的作用。

川西滇北地区地域广大, 地质、地貌复杂多变。我们限于当时的工作条件, 仅能对森林分布区内的一部分成土母质作了分析(表 1)。

总的来看, 本区大多数森林土壤的成土母质中, 钼、硼、锌、锰、钴、铅等, 都比较丰富, 一般均高于世界岩石圈或地壳的平均含量^[5]。其它微量元素如钒、铬、钒、铜、镍等接近于世界岩石圈的平均含量, 只有铈和钛多数低于岩石圈的平均含量。

在已作分析的成土母质中, 高含量的硼和钼是十分引人注目的。硼的平均含量为 168 ppm, 远远超出世界岩石圈的平均含量或地壳的平均含量, 并且还略高于以含硼量高的珠穆朗玛峰地区^[4,5]。本区各类岩石风化物母质中, 以花岗岩、砂岩、片岩和第三纪红色粘土风化物中含硼最高, 平均含量达 200ppm 以上。除个别岩石风化物的钼含量极高外, 本区主要成土母质中钼的平均含量 5.0ppm 以上, 仍比西藏珠峰地区高 10 倍^[4], 为世界岩石圈的 4—5 倍^[5]。

本区各类岩石风化物中除了砂岩和页岩风化物中含锰较低外, 多数大于地壳的平均含量, 其中第三纪红色粘土与石灰岩风化物母质锰的含量可达 3000ppm 以上。

本区的片麻岩和花岗岩风化物中, 微量元素总的含量水平比较低, 其中钼、锌、铬、钒、铅、镍、钛等均可列入本区母质中含量的最低等级。唯有硼, 花岗岩和片麻岩风化物母质中含量仍比较高, 达 120—290ppm。

本区页岩风化物中, 铜、钴、铬、钒、镍等元素含量丰富, 其中铜、钒和铬都超过 200

表 1 川西滇北地区主要成土母质的微量元素平均含量
 Table 1 Average contents of trace elements in main parent materials in Western Sichuan and Northern Yunnan

土壤母质类型 Type of parent materials	微 量 元 素 含 量 (ppm)										Contents of trace elements				
	Ba	Sr	Mo	Mn	Cu	B	Co	Zn	Ti	Cr	V	Ni	Pb	Sn	
页岩风化物 Shale weatherings	480	165	8.1	420	220	58	55	125	12000	260	240	140			
片岩风化物 Schist weatherings	710	176	4.0	993	19	193	22	87	9650	113	125	57	53	12	
硅质片岩风化物 Siliceous schist weatherings	1200	220	18		13	120	13	155	19000	38	76	37			
砾岩风化物 Conglomerate weatherings	540	205	4.0	1250	25	125	31	105	7200	140	140	64	57	11	
砂岩风化物 Arenaceous rock weatherings	428	206	9.0	374	27	218	29	115	6250	102	80	59	45	9	
石灰岩风化物 Limestone weatherings	1335	800	4.5	3600	123	166	39	130	6950	52	155	77			
花岗岩风化物 Granite weatherings	740	161	2.9	1366	45	291	20	89	5333	46	66	47	28	11	
片麻岩风化物 Gneiss weatherings	220	190	1.1	1350	39	120	18	27	1950	24	37	20			
第三纪红色粘土 Tertiary period red clay	500	180	7.6	5500	55	220	59	370	6700	74	120	92			
岩石圈平均含量 (A. П. 维诺格拉多夫, 1963)* Average content in lithosphere (according to Виноградов, A. П., 1963)	650	340	1.1	1000	47	12	18	83	4500	83	90	58	16	2.5	
地壳平均含量 (费尔曼, 1933—1939)* Average content in earth's crust (according to Ферман, A. E., 1933—1939)	500	350	10	1000	100	50	20	200	6100	300	200	100	16	80	
地壳平均含量 (泰勒, 1964)* Average content in earth's crust (according to Taylor 1964)	425	375	1.5	950	55	10	25	70	5700	100	135	75	12.5	2.0	

* 参考文献 [5]。

ppm, 比国内其他地区同类风化物中的含量要高得多。第三纪红色粘土母质中, 为生物生长所必需的微量元素如钼、铜、锰、硼、锌、钴等都十分丰富, 其中锌和锰的含量高于本区其它各类母质。

二、主要森林土壤(土类或亚类)的微量元素含量

首先, 由于本区森林类型多种多样, 林型组也十分复杂, 同时成土母质差异大, 致使同一大土类中的微量元素含量的变化范围可以相差很大。故不宜以一个大的土类来作为阐述微量元素含量情况的单元。

另外, 本区的森林绝大多数是天然林或者是自然次生林, 考虑到自然森林土壤具有地上部分与地下部分不能分割、浑然一体的特点, 为此, 我们在采集分析样品时尽可能选择具有代表性的林型组——土壤亚类的典型剖面, 并且最好要有更多量的土壤亚类剖面, 来作为分析测定的对象。而我们现有的分析数量显然是远远不够的。

本区主要森林土壤微量元素的含量列于表 2。

灰化灰棕色森林土(亚类) 是本区分布最高、面积较广的冷杉林林型组藓类—杜鹃—冷杉林下的代表性土壤, 主要发育于片岩、砂岩及砾岩冰碛风化物母质上。少数土壤剖面中 A_2 层比较明显的也有人命名为棕色灰化土。在强酸性条件下, A_2 层中(并不典型)除钛和锶以外, 钴、钼、铜、锰、锌、铅、镍等都有不同程度的淋失, 并在 B 层有所淀积。这种土壤的微量元素含量基本上接近于本区森林土壤的平均含量, 其中钛、铬、钒等稍高, 而锶和钡则稍低。除了锰和钛, 其它微量元素在 A_1 层中也无明显的富集, 说明土壤上层化学元素的淋失过程还是比较强烈的。如与西藏珠峰地区类似的森林土壤漂灰土相比较, 硼的含量两地相近^[1], 其余微量元素如钼、锰、铜、锌、钴、铬、钒等都明显高于漂灰土, 与东北北部地区发育于火山喷出物上的棕色泰加林土比较接近^[2]。

泥炭-潜育化灰棕色森林土(亚类)与森林泥炭-潜育土 前者为乔木状杜鹃—冷杉林或混生落叶松、红桦—冷杉林下的土壤; 后者则为局部地区箭竹—红桦—冷杉林下的土壤。它们都有一个共同的特点, 即原先林分较为稳定的冷杉林(杜鹃—冷杉或箭竹—冷杉林)屡遭严重破坏与森林火灾, 土壤剖面上下具有明显的 A_T 层与 B_G 层, 十分潮湿、渗水频频。

发育于花岗岩风化和发育于硅质片岩风化物母质上的泥炭-潜育化灰棕色森林土, 其某些微量元素含量的差异是比较大的, 特别是钼和锰, 前者锰的含量大于后者 10 倍而钼则正好相反。总的来看, 泥炭-潜育化灰棕色森林土微量元素的含量水平尚属中上, 其中钼、钡、锌、钛、钴的含量较高, 锶、锰、铬、钒低于世界正常土壤的平均含量。在 A_T 层中, 腐殖质含量虽高达 17—64%, 但除铬和锶外, 其它微量元素并无明显的富集。

森林泥炭-潜育土的情况比较特殊, 它只有 A_T 和 B_G 两层。母质为绢云母片岩风化物, 各种微量元素的含量均很低。土壤中大多数微量元素的含量也较低, 尤其是锰、铜和钴等, 低于世界正常土壤平均含量几倍到几十倍, 这显然是由于受母质的影响所致。唯一例外的情况是硼的含量突出地高, 平均值为 417ppm(在 A_T 层中高达 800ppm), 超过本区森林土壤中硼的平均含量一倍以上, 为世界正常土壤平均含量的 40 倍。

表2 川西滇北地区主要森林

Table 2 Contents of trace elements in main forest soil

土类或亚类 Great group or Sub-group	主要林型组 Forest types	平均值与含量范围 Average content and range
灰化灰棕色森林土(亚类) Podzolic grey-brown forest soil (Sub-group)	藓类—冷杉林为主 <i>Ptilium cristocostrensis Polytrichum</i> sp.— <i>Abies</i> sp. <i>Mium</i> sp.	平均值 含量范围
灰棕色森林土(亚类) Grey-brown forest soil (Sub-group)	杜鹃—冷杉, 块状—落叶松, 杜鹃—云杉 <i>Rhododendron</i> sp.— <i>Abies</i> sp. <i>Larix</i> sp. <i>Rhododendron</i> sp.— <i>Picea</i> sp.	平均值 含量范围
泥炭—潜育化灰棕色森林土(亚类) Peaty gleyed grey-brown forest soil (Sub-group)	混生红桦、落叶松的杜鹃—冷杉林 <i>Rhododendron</i> sp.— <i>Abies</i> sp. (mixed <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Larix</i> sp.)	平均值 含量范围
潜育化灰棕色森林土(亚类) Gleyed grey-brown forest soil (Sub-group)	箭竹—冷杉林 <i>Sinarundinaria</i> sp.— <i>Abies</i> sp.	平均值 含量范围
森林泥炭—潜育土 Forest peaty gleyed soil	箭竹—红桦—冷杉林 <i>Sinarundinaria</i> sp.— <i>Abies</i> sp. <i>Betula</i> <i>albo-sinensis-Abies</i> sp.	平均值 含量范围
潜育化棕色森林土(亚类) Gleyed brown forest soil (Sub-group)	块状—冷杉(高原)与铁杉林 <i>Abies</i> sp. mixed <i>Tsuga chinensis</i> (platuca)	平均值 含量范围
棕色森林土(亚类) Brown forest soil (Sub-group)	箭竹—云杉林 <i>Sinarundinaria</i> sp. <i>Picea</i> sp.	平均值 含量范围
棕色森林土(亚类) Brown forest soil (Sub-group)	栎山松、高山栎等 <i>Pinus armandi</i> , <i>Quercus semicarpifolia</i>	平均值 含量范围
生草棕色森林土(亚类) Soddy brown forest soil (Sub-group)	高原块状云杉林 <i>Platuea picea</i> sp.	平均值 含量范围
腐殖质棕色森林土(亚类) Humus brown forest soil (Sub-group)	滇西北以青冈为主的常绿阔叶林 Evergreen broadleaved forests (<i>Quercus oxyodon</i> and <i>Quercus</i> spp.)	平均值 含量范围
棕褐色森林土 Brown cinnamon forest soil	油松, 块状—云杉林 <i>Pinus tabulaeformis</i> — <i>Pinus yunnanensis</i>	平均值 含量范围
红棕色森林土 Red-brown forest soil	杜鹃—云南松林 <i>Rhododendron</i> sp.— <i>Pinus yunnanensis</i>	平均值 含量范围
黄棕色森林土(土类) Yellow-brown forest soil (Great group)	白栎—云南松次生赤杨林 <i>Quercus fabria</i> - <i>Pinus yunnanensis</i> , <i>Alnus ferdinandi-Coburgii</i> (Secondary Forests)	平均值 含量范围
森林黄壤(土类) Forest yellow soil (Great group)	三月竹—木荷—丝栗为主的常绿阔叶林 Evergreen broadleaved forests (<i>Castanopsis</i> <i>platyacantha</i> and <i>schima crenata</i>)	平均值 含量范围
红黄壤(亚类) Red-yellow soil (Sub-group)	草类—灌木—云南松林 Bush- <i>pinus yunnanensis</i>	平均值 含量范围
红壤(黄红壤亚类) Red soil (Yellow-red soil sub-group)	禾草—云南松林 Standing grass- <i>pinus yunnanensis</i>	平均值 含量范围
腐殖质—碳酸盐土 Humus carbonate soil	次生白桦林(石灰岩地区) <i>Betula platyphyna</i> secondary forests (Limestone regions)	平均值 含量范围

川西滇北地区各类森林土壤微量元素总的平均含量
Average total content of trace elements in various forest soils in Western Sichuan and Northern Yunnan

西藏珠峰地区各土类微量元素总的平均含量^[1]
Average total content of trace elements in various soils in Qumulongma of Tibet

东北及内蒙东部地区各土类微量元素总的平均含量^[2]
Average total content of trace elements in various soils in Northeastern China and eastern part of Inner Mongolia

西北马兰黄土区土壤中微量元素总的平均含量^[1]
Average total content of trace elements in soils of Malan loess region of Northwestern China

世界正常土壤平均含量(维诺格拉多夫, 1957)^[3]
Average content in normal soils in the world (according to Виноградов, А. П., 1957)

* 平均值是由各剖面的平均含量计算出的。计算时考虑了土层的厚度(各发生层次),

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

1) 刁桂仪、文启忠、余素华、孙福庆, 1979; 马兰黄土中的微量元素。参加第三届第四纪学术会议论文集(资料)。

土壤中微量元素含量*

in Western Sichuan and Northern Yunnan

土壤微量元素 (ppm) Trace elements in soils

Ba	Sr	Mo	Mn	Cu	B	Co	Zn	Ti	Cr	V	Ni	Pb	Sn
521 410-700	162 85-260	4.3 1.0-10	1052 280-3400	22 12-37	151 105-210	27 11-46	113 32-270	10776 3500-17000	146 110-210	166 135-210	53 33-90	54 35-70	13 9-16
505 330-700	158 94-470	4.1 0.5-10	1005 290-3200	26 15-45	112 64-195	26 15-37	148 58-420	8227 5100-11000	132 68-170	140 85-195	52 31-87	52 28-70	11 9-14
1133 730-1900	183 88-350	14 1.0-32	770	61 13-160	205 110-270	35 13-61	199 95-300	10299 1000-19000	53 35-92	74 59-105	71 25-110	-	-
379 190-470	136 115-210	6.4 5.5-9.5	13 7-20	12 6-22	120 95-180	6 3-15	72 38-150	3514 3200-4200	34 30-48	39 34-51	10 7-15	-	-
459 370-580	168 125-190	2.2 1.6-2.5	21 6-62	9 5-23	417 92-800	<1 <1	35 10-115	10810 2000-16000	33 13-39	43 26-57	10 7-14	-	-
589 350-2050	187 150-600	2.9 2.0-4.0	2211 740-3900	15 6-47	189 110-250	21 15-28	94 75-165	7216 4800-10500	71 21-135	116 42-130	43 29-58	48 41-52	10 7-12
496 360-720	204 77-355	10 2.0-20	1274 300-2300	65 28-225	203 70-410	32 21-42	92 47-135	10297 7500-11500	168 49-300	151 72-250	116 62-160	-	-
822 260-1700	240 120-460	5.9 2.0-13	1056 460-3100	26 5-69	288 150-460	34 24-50	186 84-360	7263 5200-10000	78 38-130	82 62-125	64 42-80	49 35-57	10 9-10
346 280-470	148 110-240	2.1 2.0-3.0	647 340-2300	28 25-34	118 110-150	21 18-23	77 67-87	7840 6400-9800	131 130-150	133 125-140	54 50-57	58 50-66	10 9-11
1256 220-4900	219 120-360	2.5 3.0-5.0	601 210-1350	29 9-59	153 75-300	24 12-39	91 27-170	5676 1950-8700	36 24-73	48 31-79	39 20-100	-	-
528 450-630	175 140-290	4.9 1.0-9.0	824 380-2000	26 15-36	100 30-185	30 19-38	76 40-95	8568 2000-15000	133 87-175	141 85-215	63 42-86	16 29-57	11 7-14
231 115-410	193 130-310	14 9-18	1065 810-1400	99 69-205	35 7-66	23 13-26	90 43-135	10683 9300-11700	239 180-300	187 145-250	129 100-185	-	-
804 440-1270	213 32-290	5.3 3.0-8.1	1042 330-1750	89 11-220	205 20-410	36 15-55	93 33-125	8713 6500-13000	137 32-260	135 52-240	94 38-140	-	-
765 720-800	209 150-230	11 10-11	264 90-430	13 10-14	219 170-260	32 18-41	191 95-230	6901 5900-7200	138 84-190	95 93-96	58 34-75	-	-
2245 1900-3350	463 250-950	3.0 3.0	337 220-440	53 21-85	829 630-930	24 16-32	75 42-110	6387 4800-7100	51 30-60	73 49-83	71 41-88	-	-
1469 300-3250	62 32-105	2.3 1.0-3.0	662 190-1000	71 12-115	84 65-100	26 13-35	33 10-60	13204 3600-15000	31 22-39	67 40-84	57 13-79	-	-
2119 1570-3200	836 650-1050	6.9 6.0-9.0	1699 1350-2300	122 115-145	334 320-410	41 32-50	-	7084 6400-8500	51 49-60	152 140-160	102 100-105	-	-
755	213	4.3	931	42	194	26	111	8488	106	113	64	52	11
-	-	<0.6	423	13	154	5	60	-	27	50	17	-	-
600	300	2.3	850	22	47	22	79	6700	90	96	45	26	6
630	460	2.0	850	20	10	10	58	4200	82	93	30	30	-
500	300	2.0	850	20	10	8	50	4600	200	100	40	10	10

灰棕色森林土(亚类) 分布比较广泛,其上生长的森林类型也多种多样,以杜鹃—冷杉林、块状落叶松与冷杉混交林和高海拔区的杜鹃—云杉林等林型组为主。土壤中微量元素含量水平大致与灰化灰棕色森林土相近。除了锰、锌、和铬以外,其它微量元素稍低于本区森林土壤的平均含量,但多数仍比世界正常土壤的含量水平要高。在云杉和落叶松林下,基于生物的富集作用,土壤中锰和锌在表层的累积是比较明显的。

潜育化灰棕色森林土(亚类) 为箭竹—冷杉林林型组下的代表性土壤,分布面积很广。发育于花岗岩风化物母质上的潜育化灰棕色森林土,除了钼和硼以外,各种微量元素的含量均较低,尤其是锰、钴和铜,与森林泥炭—潜育土一样,可列入异常低的水平。钒和镍的含量也属本区森林土壤中最低的。

棕色森林土(亚类) 为本区一种很主要的森林土壤亚类,发育于多种岩石风化物母质上。较大面积的棕色森林土上生长着地位级较高的箭竹—云杉林,其它棕色森林土上则生长桦山松、高山栎、地盘松等森林植被。由于土壤母质与其上林被的不同,导致同类棕色森林土中微量元素的含量有较大的差异。

箭竹—云杉林下的棕色森林土中微量元素的含量十分丰富,其中钼、锰、铜、钴、铬、钒和镍等,都明显高于世界正常土壤和本区森林土壤的平均含量,特别是在石灰岩风化物母质上发育的棕色森林土,钼的含量高达 18ppm,铬高达 284ppm。硼的平均含量也在 200ppm 以上,只有镉才低于世界正常土壤的平均含量。

目前生长桦山松、高山栎的棕色森林土中微量元素的含量,属于中上水平,它含有丰富的硼,平均含量达 288ppm,含量最低的土层也有 150ppm,为世界正常土壤的 15—30 倍。另外,钴和锌也比较丰富。

如与东北地区的棕色森林土作比较,本区棕色森林土中的锰、钼、硼和铜的含量显然见高,尤其是硼和钼,为东北地区棕色森林土的 3—5 倍,其它元素比较相近^[2]。

本区棕色森林土土表的 A_0 层中(分解不完全的粗有机质层),粗腐殖质含量达 47%,其生物富集作用是较为明显的,钒、镉、锰、钼、铜、锌等微量元素都比其下的 A_1 层要高一倍以上。然而,微量元素在 A_1 层中的富集则是不明显的。

潜育化棕色森林土(亚类) 在本区川西的高原面上有部分山原块状—冷杉林分布;另在滇西的怒山中段与老君山一带,还出现成带的阔叶树—铁杉混交林^[3]。林下较有代表性的土壤为潜育化棕色森林土。土壤中微量元素的含量属于中等水平,普遍低于棕色森林土和灰棕色森林土,但比潜育化灰棕色森林土要高。值得注意的是锰的含量是全区各类森林土壤中最高,平均值为 2211ppm,几乎等于世界正常土壤平均含量的 3 倍,尤其在阔叶树—铁杉林下,全剖面含锰超过 3000ppm,许多微量元素如钒、镉、锰、铜、锌、钼、铬等在表层可见明显的富集。

生草棕色森林土(亚类) 为高原块状云杉下的代表性土壤。土壤中微量元素含量属于中等以下水平,除了硼、钴、锌、铜以外,均低于世界正常土壤的平均含量;除了铬和钒以外,其它微量元素又均低于本区森林土壤的平均含量。

腐殖质棕色森林土(亚类) 在本区滇西北一带(怒山、高黎贡山),气候常年湿润又温暖、多雨的地方生长有成带成片的湿性常绿阔叶林,树种以青岗、滇楠、香樟、木荷等为主,林下土壤发育成川西滇北地区所特有的腐殖质棕色森林土^[4]。怒山山脉南部深厚土

层的腐殖质棕色森林土其 A₁ 层可厚达 60 厘米以上, 是当地宝贵的森林土壤资源之一^[4]。土壤多数发育于花岗岩和片麻岩风化物母质上, 可能是因受母质的影响, 土壤中微量元素的含量并不如想象中丰富, 相反是处于一个中等偏低水平, 其中铬、钒、镍、钼、钛等比棕色森林土亚类要低得多, 而个别层次中钡和锰的含量骤然增高, 显然也是因母质中含量较高的缘故。

棕褐色森林土 基本上属于褐土中的淋溶褐土类型, 其上生长油松林及块状云杉林(本区北部高原面上)。土壤中微量元素含量稍高于生草棕色森林土, 除铬、钒、钛、钼以外, 其它微量元素低于本区森林土壤的平均含量。

红棕色森林土 位于本区川滇接壤地区, 属中亚热带较干热的生物气候水平带垂直谱系中所特有的森林土壤类型(过渡性质的土壤), 介于棕色森林土和褐红壤之间, 为杜鹃—云南松林下的代表性土壤, 分布有一定的面积。主要发育于砂页岩和云母片岩等风化物上。土壤微量元素中硼和钡的含量相当低, 分别仅为 35ppm 和 231ppm, 是本区森林土壤中含量最低的; 但钼、铜、铬、钛、钒、镍等元素的含量都比较高, 明显超出世界正常土壤和本区森林土壤的平均含量水平。

黄棕色森林土(土类) 在海拔 1800—2800 米的山地谷坡下缘, 这里光照不足, 土壤和空气比较湿润, 生长以云南松为优势种而混交赤杨、白栎的赤杨—云南松林, 也有小部分纯赤杨林, 林下土壤发育为黄棕色森林土, 母质多为页岩风化物。土壤中微量元素含量基本上反映了本区森林土壤的平均含量水平, 其中铜和钴比较高。在紫色片页岩风化物上发育的黄棕色森林土含有更高的硼和钡, 而钼相对见低。如与西藏珠峰地区的黄棕壤相比较^[4], 除锰和硼比较相近外, 其它元素如钼、铜、钴、铬、钒、镍等含量都较高, 说明淋溶作用较轻。

森林黄壤(土类) 本区内的大、小凉山地区常年湿润, 热量充足, 十分适宜常绿阔叶林生长, 分布有较大面积的罗汉竹—丝栗、刺竹—丝栗和三月竹—木荷—丝栗常绿阔叶林, 林下代表性土壤为森林黄壤(细分有森林黄壤、潜育化黄壤和腐殖质黄壤等亚类)^[3]。此类土壤上层的水解性酸高达 50—60 毫克当量/100 克土, 腐殖质含量在 12—25% 之间, 但 A₁ 层中小于 0.001 毫米粒径的物理性粘粒仅为 B 层的五分之一。所以, 在较强的酸性条件下, 大大降低了微量元素在表层富集的程度。一些对生物有重要作用的元素如钼、锌、钴、硼等, 在森林黄壤中还是比较丰富的, 如钼高达 191ppm, 钼为 11ppm; 而锰和铜的含量显然是比较低的, 锰的含量尚不到世界正常土壤平均值的三分之一。

红黄壤(亚类) 为高地位级的草类—灌木—云南松林下的代表性土壤。在红黄壤上生长的云南松林其年生长高度可达 140 厘米以上, 为国内所罕见^[3]。发育于花岗岩风化物母质上的红黄壤, 其硼和钡的含量特别高, 含硼高达 829ppm, 为本区各类森林土壤中的最高值, 是世界正常土壤平均含量的 80 倍; 钡的含量超过 2000ppm, 为本区土壤平均含量的 3 倍。另外, 土壤中锶的含量也比较高。

红壤(黄红壤亚类) 为森林地位级较低的禾草—云南松林下的代表性土壤, 土壤中微量元素的含量在本区属于中等以下水平, 其中锶、钼、硼、锌和铬明显较低, 仅钛、钡和铜的含量比较高。突出的是钛, 超过 13000ppm, 为世界正常土壤平均含量的 3 倍。

腐殖质碳酸盐土 此类土壤分布面积有限, 为发育于石灰岩母质上和次生白桦林

下的一种性质特殊的土壤。其特点是很多种微量元素含量相当丰富,锰、铜、硼、钴、钼以及铈、钡、钒、镍等都明显高于本区森林土壤的平均含量,其中锰的含量接近 1700ppm,铜超过 120ppm,钴大于 40ppm。在次生白桦落叶林的影响下, A₁ 层的腐殖质含量达 26% 以上,微量元素在此层的富集亦是明显可见的。

总的来看,本区森林土壤中微量元素的含量是相当丰富的,其平均含量比国内东北地区、西藏珠峰地区和西北马兰黄土分布地区都高。除少数元素如铈和钨以外,其它 12 种元素(指已作分析的 14 种微量元素)的平均含量都远超过世界正常土壤的平均含量,尤其是硼、铜、锌、钴、钼等元素更为显著。但土壤中有效态微量元素的含量究竟怎样? 则需今后进一步进行研究。

三、几种主要微量元素在本区的地理分布特点

硼 本区森林土壤中富含微量元素硼是十分引人注目的,平均含量高达 194ppm,几乎为世界正常土壤和根据泰勒 1964 年计算的地壳平均含量的二十倍^[1],比富含硼的西藏珠峰地区还要高^[1]。所不同的是在花岗岩和片麻岩母质上发育的土壤中,硼的含量仍相当丰富。在各类森林土壤中。以箭竹—冷杉林下的森林泥炭-潜育土、石灰岩上发育的腐殖质碳酸盐土、红黄壤和棕色森林土含硼较高,平均值范围为 200—400ppm,个别最高的可达 800ppm 以上;生长杜鹃—云南松林为主的红棕色森林土和红壤(黄红壤)中,硼的含量相对较低,平均为 35—80ppm,但仍略超过东北地区土壤含硼的平均水平^[2]。一般来说,在腐殖质含量比较高的土层中,硼的富集也较明显。可以认为,红桦、白桦、赤杨以及云南松林下的杂草灌木等分解物,对硼的积累是有利的。

锰 本区各类森林土壤中锰的地理分布极不均一,高低可相差几百倍。在四川米易县白炮山与云南维西县碧罗雪山一带的潜育化灰棕色森林土和森林泥炭-潜育土中(以生长箭竹—冷杉林为主),锰的含量竟然低至 20ppm 以下;大多数森林土壤如棕色森林土、潜育化棕色森林土、灰化灰棕色森林土、红棕色森林土、黄棕色森林土等,锰的含量大于 1000ppm,表层超过 2000ppm 的也不乏其数,个别含锰特高的层次可达 5200ppm。在土壤剖面上层,随腐殖质累积的同时,锰在 A₁ 层的富集也是很突出的,常较以下的层次高出几倍甚至几十倍。总观全区,森林土壤中锰的平均含量为 931ppm,略高于世界正常土壤和东北地区土壤锰的平均含量,而比西藏珠峰地区要高出一倍左右^[1,2]。

锌 本区各类森林土壤中锌的含量比较稳定,地理分布也比较均一,平均含量为 111ppm,就全国来看(尤其是作为一个大的地域范围),当属于含锌水平高的地区。本区大多数森林土壤锌的平均含量大于 90ppm,比世界正常土壤将近高一倍。在云南兰坪、维西县的老君山和碧罗雪山(怒山山脉)一带的冷杉林下的泥炭-潜育化灰棕色森林土和四川大小凉山地区常绿阔叶林下森林黄壤分布区,土壤中锌含量比较高,接近 200ppm;而在绢云母片岩、花岗岩风化物母质上发育的红壤(黄红壤)和森林泥炭-潜育土等,锌的含量显著降低,平均含量小于 35ppm,虽然在腐殖质含量较高的表层锌的含量仍可达到 60—100ppm 的水平。

铜 本区森林土壤中铜的平均含量为 42ppm,接近岩石圈的平均含量,高出世界

正常土壤平均含量一倍左右^[5]。以冷杉和铁杉林分布区为主的潜育化灰棕色森林土、潜育化棕色森林土和大小凉山森林黄壤分布区,铜的含量较低,平均为9—15ppm;石灰岩母质上发育的腐殖质碳酸盐土和红棕色森林土、黄棕色森林土以及生长箭竹—云杉林的棕色森林土等,铜的含量比较丰富,平均为60—120ppm,个别土层(AB层或BC层)铜的含量高达200ppm,但显然与腐殖质或粘粒的含量无直接的联系。

钼 作为地区性特点之一,本区森林土壤中含有较高量的钼,它与硼、锌、钴、铜等微量元素一样,可列入较高的含量水平。在世界正常土壤中,钼的含量为2.0ppm,东北地区为2.3ppm^[2],西北马兰黄土的平均含量为2.0ppm^[3],西藏珠峰地区则小于0.6ppm^[3],而本区森林土壤中钼的平均含量为4.3ppm。区内分布面积较广的棕色森林土、泥炭-潜育化灰棕色森林土、红棕色森林土和森林黄壤等,含钼最为丰富,均超过10ppm以上;分布面积有限的生草棕色森林土、森林泥炭-潜育土和滇西常绿阔叶林下的腐殖质棕色森林土等,含钼量较低,一般不超过2.5ppm。

钴 本区森林土壤中平均含钴26ppm,与泰勒(1964)所计算的地壳平均含量相等^[5],为世界正常土壤平均值的三倍。钴在本区森林土壤中的含量变化范围比较稳定,大多在20—35ppm之间,仅面积极其有限的森林泥炭-潜育土中,钴的含量极度贫乏。

铬 七十年代以来,国际上对微量元素铬引起重视。据已有资料:国内土壤中铬的含量大约处于80—110ppm的水平^[1,2,3],比世界正常土壤的平均含量约低一倍左右。本区森林土壤铬的平均含量为106ppm,其中将近有一半的土壤铬的含量低于80ppm,只有箭竹—云杉林下的棕色森林土和杜鹃—云南松林下的红棕色森林土分布区,铬的含量比较高,达230—330ppm,高于世界正常土壤的平均含量。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所珠峰组, 1975: 珠穆朗玛峰地区土壤的微量元素, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 71—82 页, 科学出版社。
- [2] 中国科学院林业土壤研究所编著, 1980: 中国东北土壤。387—407 页, 科学出版社。
- [3] 中国科学院西部地区南水北调综合考察队、中国科学院林业土壤研究所, 1966: 川西滇北地区的森林。130—131 页间表 20、166—169 页、189—201 页, 科学出版社。
- [4] 盛士骏、肖笃宁, 1965: 怒山山脉的土壤垂直分布规律及主要森林土壤的发生特性。土壤通报, 5 期, 31—36 页。
- [5] 中国科学院贵阳地球化学研究所编译, 1977: 简明地球化学手册。62—64 页, 科学出版社。

1) 刁桂仪、文启忠、余素华、孙福庆, 1979: 马兰黄土中的微量元素。参加第三届第四纪学术会议论文集(资料)。

TRACE ELEMENTS IN FOREST SOILS OF WESTERN SICHUAN AND NORTHERN YUNNAN IN CHINA

Sheng Shijun, Xiao Duening and Zhan Cuilan

(Institute of Forestry and Soil Sciences, Academia Sinica)

Summary

Present paper deals with the total contents of trace elements in forest soils (great groups or sub-groups) developed from different parent materials in Western Sichuan and Northern Yunnan. This region, including the Hengduan mountains, is one of the most famous regions of high mountains and deep gorges in the world.

The total contents of Sr, Ba, Mo, Cu, Mn, B, Co, Zn, Ti, Cr, V, Ni, Pb and Sn in parent materials were determined. Such trace elements as B, Mo, Mn, Zn and Co in parent materials of the majority of forest soils in this region are more abundant. In general, the contents in the parent materials are higher than the average contents in lithosphere (or earth's crust) with the exception of Si and Ti. The average content of B in parent materials of this region is up to 168 ppm, and Mo is more than 5 ppm. The average contents of both B and Mo in the parent materials are many times as much as those in lithosphere. It is a determinative factor for the enrichment of B and Mo in various forest soils of this region.

Thirty two main forest soils (114 samples) were analysed by spectrographical method. The average contents of trace elements of various forest soils in this region, to sum up, are higher than those of such regions as North eastern China, eastern Inner Mongolia, region of Mt. Qumolongma on Tibet and Loess plateau in Northwestern China, etc.

The average total contents of 12 trace elements except Sr and Cr in the soils of this region exceed those of the normal soils in the world, and among them, B, Cu, Zn, Co and Mo are especially conspicuous. In general, it has been found that the brown forest soils, grey brown forest soils, yellow brown forest soils, red-brown forest soils, peaty gleyed grey-brown forest soils, red-yellow soils and humus carbonate soils in this region have a higher level of trace element contents. On the other hand, peaty gleyed forest soils, humus brown forest soils, red soils and soddy brown forest soils have a lower level of trace elements. As for grey-brown forest soils, yellow soils podzolic grey brown forest soils and brown cinnamon soils, their levels are medium in this region.

In addition, the geographical distribution of some main trace elements such as B, Mn, Zn, Mo, Co, etc. in soils of this region is discussed briefly.

It is noteworthy that the average content of B in forest soils of this regions is 20 times as high as that of normal soils in the world. The maximum value is up to 800 ppm. The distribution of Mn is not uniform, most of them vary from 1000 ppm to 2000 ppm, only a tiny minority is up to 5200 ppm. It can be seen that there are a hundred-fold differences between the maximum and the minimum. The distribution of Zn in soils is more homogenous. It is found that this region has a high level of Zn content in soils of China. In addition, the contents of Cu and Mo in soils of this region are usually approximate to or more than those of normal soils in the world.