

天山山地土壤中微量元素的含量与分布*

孙继坤 胡志林
(新疆林科院) (八一农学院)

周鸿兴 党志正 杨震芳
(兵团勘测设计院) (林业勘察设计院)

摘 要

天山山地土壤中微量元素含量是比较丰富的。全量含量大多超过我国和世界土壤平均含量。有效态元素含量差异较大,但多数元素含量都超过已知临界值。在分布规律上全量元素垂直差异较明显,但水平上差异不明显,有效态元素的分布某些元素与有机质含量成正相关和全量元素之间无明显的相关性。镉元素在土壤的垂直分布中比较特殊。在动植物体中的生理作用尚需继续深入研究。

山地土壤中除锰、锌的有效态含量在剖面中受有机质影响使上下层变化较大之外,其它元素则与母质相似,但土壤类型、质地、pH以及氧化还原电位等因素的影响也是不可忽视的。

土壤中的某些微量元素,为动植物正常生长发育所不可缺少。一旦供给不足或过剩都可能引起动植物乃至人体生理功能失调,诱发出各种特殊的生理病变。因此研究土壤中微量元素的含量、分布规律及其有效性问题,有助于采取措施来调剂微量元素的供应水平,对农林牧生产以及维护人类和动物健康都具有特殊的重要意义。

本文是1982年天山北坡林区土壤普查和1984年对天山南坡的补充调查中,就微量元素的含量分布及其有效性的问题作一简要总结介绍。

一、样品与方法

(一) 土样的采集与制备 供试样品是从不同海拔高度发育的各种土壤的152个主剖面中,选择39个典型剖面192个土样。取样范围南坡从库东往西,北坡东起哈密,西至昭苏。按照土壤自然发生层次,使用竹杆挖取。样品经自然风干后,挑去植物根系和石砾,全部通过30目尼龙塑料筛,取其中少量在玛瑙研钵中磨细,过100目筛作全量分析。

(二) 测定方法 测定的Mn, Zn, Cu, Cr, Sr, Co和Ni 7种微量元素,其全量采用硝酸-高氯酸分解,经氢氟酸脱硅后溶于稀盐酸;有效态用DTPA作浸提剂。所有元素均用火焰原子吸收法测定。

* 本文承蒙袁子同、刘铮、常直海三位先生和徐志坤副研究员指导并提出宝贵意见。土样由八一农学院冯明、金俊香同志协助分析,在此谨表谢意。

表 1 天山山地各类土壤中微量元素全量、
Table 1 The total and the available content of trace

土 类 Soil type	Mn		Zn		Cr	
	全量 Total	有效态 Available	全量 Total	有效态 Available	全量 Total	有效态 Available
高山草甸土	904.1—1123 997.1(8)	3.69—19.76 12.52(8)	119.3—163.4 134.2(8)	0.76—4.97 2.24(8)	113.3—140.5 111.6(8)	0.01—0.08 0.03(8)
亚高山草甸土	620.0—2390 1069(25)	2.11—9.18 4.58(5)	75.0—213.7 118.0(25)	0.78—1.49 1.04(5)	66.7—133.3 110.8(25)	0.03—0.03 0.03(4)
山地灰褐森林土	437.1—2955 899.9—(123)	3.03—95.37 21.53(75)	62.5—355.0 108.2(123)	0.17—6.47 1.55(77)	41.0—168.3 92.7(123)	0.02—0.03 0.03(45)
山地黑钙土	650.0—1139 956.8(35)	2.73—237.2 12.27(15)	68.0—169.0 110.3(35)	0.46—7.44 1.82(18)	55.5—116.5 94.3(35)	0.01—0.32 0.02(14)
山地栗钙土	100.0—890.0 689.5(5)	3.14—7.16 5.58(4)	67.5—102.5 82.3(5)	0.28—1.78 0.49(4)	69.0—88.5 71.8(5)	痕迹 —
山地土壤平均 含量	100.0—2955 922.4(196)	2.11—237.2 11.30(107)	62.5—355.0 110.6(196)	0.17—7.44 1.43(112)	41.0—168.3 96.2(196)	0.01—0.32 0.03(71)
长白山区土壤 平均含量	250.0—2020 781.0	— —	48.0—284.0 142.5	— —	3.0—123.0 28.8	— —
世界土壤平均 含量	200.0—3000 500.0—1000	— —	10.0—300.0 50—100.0	— —	5.0—1000 100.0—300.0	— —

注：表中数字为 $\frac{\text{剖面含量范围}}{\text{平均值}(n)}$ 括号内数字为样本数，各平均值参数用电算加权平均求得。

二、结果与讨论

(一) 天山山地土壤中微量元素的含量

1. 锰：全锰含量范围为 100—2995 ppm，平均 922.4 ppm，略高于我国土壤平均含量 (710 ppm)，接近世界上土壤平均含量 (1000 ppm)。其中以亚高山草甸土含量最高 (1068.6 ppm)，其它依次为高山草甸土 (997.1 ppm)，山地黑钙土 (956.8 ppm)，山地灰褐森林土 (899.9 ppm)；山地栗钙土含量最低 (689.5 ppm) (见表 1)。

有效锰含量范围 2.11—237.2 ppm，平均 11.30 ppm，其中以山地灰褐森林土最高，高山草甸土和山地黑钙土基本一致，亚高山草甸土和山地栗钙土最低，但都高于缺锰临界值 1 ppm¹⁾。

2. 锌：全锌含量为 62.5—355 ppm，平均 110.6 ppm，比我国土壤平均值 (100.0 ppm) 和世界土壤平均含量 (50—100 ppm) 略偏高。其中高山草甸土含量最高；亚高山草甸土、山地灰褐森林土和山地黑钙土相近，山地栗钙土含量最低。

有效锌含量 0.17—7.44 ppm，平均 1.43 ppm。其中高山草甸土含量最高，其它依次为山地黑钙土 > 山地灰褐森林土 > 亚高山草甸土 > 山地栗钙土。除山地栗钙土之外，都高于缺锌临界值 (0.5—1 ppm)。

1) 按 DTPA 浸提液缺锰临界值计算，见《土壤和植物中微量元素分析方法》p152。

有效态含量(剖面含量范围/平均值, ppm)
elements in the various soil of the Tianshan mountains

Ni		Co		Cu		Sr	
全量 Total	有效态 Available	全量 Total	有效态 Available	全量 Total	有效态 Available	全量 Total	有效态 Available
43.2—66.2 55.9(8)	0.39—2.49 1.41(8)	33.3—41.7 37.5(8)	0.06—0.35 0.41(8)	36.4—50.4 45.5(8)	1.27—6.07 3.33(8)	46.5—74.2 53.3(8)	2.61—3.97 2.92(8)
38.9—61.5 51.4(25)	0.09—1.32 0.43(5)	31.3—41.0 36.9(17)	0.09—0.44 0.12(5)	16.0—85.5 27.7(25)	0.30—1.61 0.86(5)	37.5—114.3 59.6(25)	0.43—1.58 1.01(5)
26.3—348.2 52.9(123)	0.19—3.18 1.20(78)	18.4—73.0 31.7(97)	0.03—0.87 0.13(78)	9.0—80.0 34.3(123)	0.45—3.72 1.83(78)	33.3—354.8 127.5(65)	1.53—9.90 3.87(75)
35.0—61.5 49.6(35)	0.09—2.03 0.95(18)	29.0—40.5 34.6(26)	0.07—0.19 0.14(18)	20.5—55.5 32.6(35)	0.98—2.44 1.35(18)	6.3—88.1 73.2(4)	2.55—20.90 4.53(18)
36.5—53.0 46.8(5)	0.14—0.35 0.27(4)	20.5—34.5 24.4(5)	0.03—0.04 0.04(4)	20.0—27.0 22.3(5)	0.73—0.83 0.79(4)	130.4—275.6 203.7(4)	3.75—11.17 8.13(4)
26.3—348.2 51.3(196)	0.09—3.18 0.85(113)	18.4—73.0 33.0(153)	0.03—0.87 0.17(113)	9.0—85.5 32.5(196)	0.30—3.72 1.46(113)	33.3—354.8 103.5(86)	0.43—20.90 4.10(110)
3.0—40.0 19.8	— —	5.0—41.0 22.4	— —	2.0—35.0 13.5	— —	3.0—90.0 29.4	— —
5.0—500.0 30.0—40.0	— —	1.0—40.0 10.0—15.0	— —	2.0—100.0 15.0—40.0	— —	50.0—1000 350.0	— —

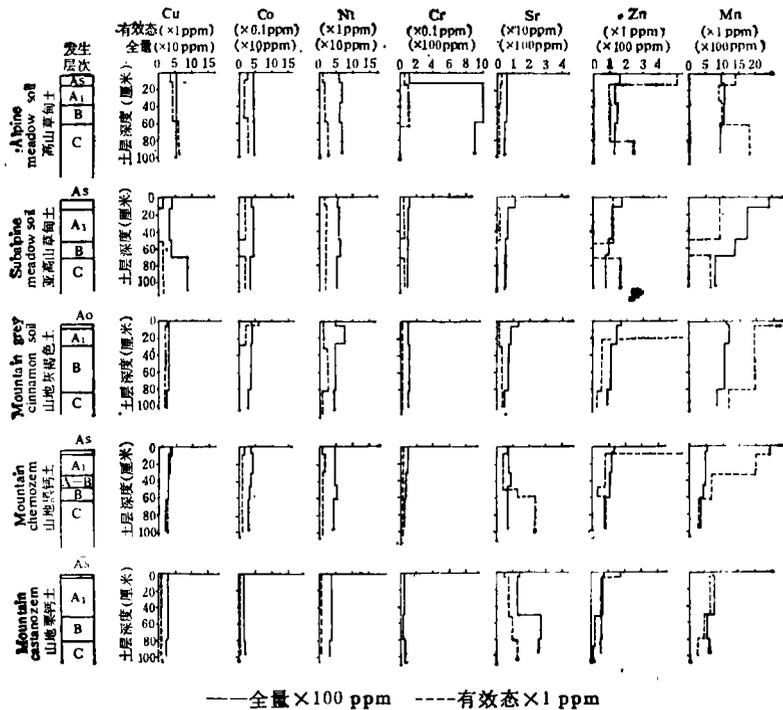


图 1 天山山地主要土壤类型的微量元素剖面分布图

Fig. 1 Profile patterns of trace element distribution of soils in the Tianshan mountains

3. 铜: 全铜含量为 9.00—85.5 ppm, 平均 32.5 ppm, 高于我国土壤平均含量 (22 ppm), 接近世界土壤平均含量 (15—40 ppm) 的上限。其中以高山草甸土含量最高, 依次为山地灰褐森林土>山地黑钙土>亚高山草甸土>山地栗钙土。

有效铜含量 0.3—3.72 ppm, 平均 1.46 ppm。以高山草甸土含量最高, 山地灰褐森林土次之, 以下依次为山地黑钙土>亚高山草甸土>山地栗钙土, 都高于缺铜临界值 0.2 ppm。

4. 钴: 全钴含量为 18.40—73.00 ppm, 平均 33.0 ppm, 高于我国一些地区土壤平均含量 (8—21 ppm) 和世界土壤平均含量 (10—15 ppm)。其中以高山草甸土含量最高, 依次为亚高山草甸土>山地黑钙土>山地灰褐色森林土>山地栗钙土。

有效钴含量范围 0.03—0.87 ppm, 平均 0.17 ppm, 其中以高山草甸土含量最高, 亚高山草甸土、山地灰褐森林土、山地黑钙土含量相近; 山地栗钙土含量最低。有人认为土壤有效钴的临界值为 0.02 ppm, 如按这一标准, 天山土壤含钴量也是较高的。

5. 镍: 全镍含量为 26.3—348.2 ppm, 平均 51.3 ppm, 高于世界土壤平均含镍量 (40 ppm), 5 种山地土壤含镍量相差不大, 含量最高的高山草甸土与含量最低的山地栗钙土相差仅 9 ppm, 为所有元素中含量最均匀的一种元素。

有效镍含量在 0.09—3.18 ppm 范围, 平均 0.85 ppm, 其中高山草甸土含量最高, 其它依次为山地灰褐森林土>山地黑钙土>亚高山草甸土>山地栗钙土。

6. 铬: 全铬含量范围 41.00—168.3 ppm, 平均 96.2 ppm, 低于世界土壤平均含量 (180 ppm)。高山草甸土和亚高山草甸土含量较高, 山地灰褐森林土和山地黑钙土含量基本一致, 山地栗钙土较低。

有效铬含量范围 0.01—0.32 ppm, 平均 0.03 ppm, 5 种山地土壤中有效铬含量无明显差别。

7. 镉: 全镉含量范围 33.3—354.8 ppm, 平均 103.5 ppm, 低于世界土壤平均含量 (350 ppm), 其中山地栗钙土含量最高 (203.7 ppm), 其他依次为山地灰褐色森林土>山地黑钙土>亚高山草甸土>高山草甸土。

有效镉含量范围 0.43—20.9 ppm, 平均 4.1 ppm。其中含量最高为山地栗钙土, 其他依次为山地黑钙土>山地灰褐森林土>高山草甸土>亚高山草甸土。

综上所述, 可知天山山地各类土壤中全量元素含量一般比较接近, 除个别元素(如镉)之外, 各土类平均最高与最低含量之间, 相差不到 1 倍。而有效态元素的变化较大, 最高与最低含量之间相差 4 倍以上, 高者可达 10 余倍。这主要是由于该地区土壤母质比较一致, 多为黄土或黄土状物质, 全量元素含量主要受母质影响。而影响有效态元素含量除母质因素之外, 土壤有机质、环境条件 (pH 值、Eh 值等) 起着重要作用。因此, 有效态养料在土壤中的变化远比全量元素复杂得多。

(二) 天山山地中微量元素的分布及其特点

从表 1、2 中可清楚看到, 天山土壤中微量元素的分布在垂直方向上随着海拔高度的变化和剖面深度的变化, 各种元素都有其相应的变化规律; 其中全量元素变化较缓, 有效态元素变化较大。但在水平方向上, 虽然天山东西绵延 1700 余公里, 但同一土类中大多数元素含量却相接近; 天山南北坡虽分属两个不同的生物气候带 (北坡属温带, 南坡属暖温带), 但在相同海拔高度土壤中元素含量差异不大(表 2)。

表 2 天山北坡东、中、西及天山南坡土壤微量元素含量(全量)比较(单位: ppm)

Table 2 Total trace element contents in soils of various areas of the Tianshan Mts.

土壤类型 Soil	地区 Areas	Mn	Co	Cu	Zn	Cr	Ni
亚高山草甸土	天山北坡东	940.4	37.73	29.00	115.8	105.2	57.72
	天山北坡中	862.3	35.07	21.31	100.3	98.31	47.75
	天山北坡西	921.2	37.15	27.88	122.7	119.5	55.03
山地灰褐森林土	天山北坡东	725.5	36.75	28.09	95.2	62.23	51.25
	天山北坡中	1007	34.44	27.06	95.1	80.31	47.51
	天山北坡西	1014.6	34.02	27.36	110.9	108.8	51.39
	天山南坡	840.1	27.22	47.50	100.9	83.84	51.64
山地黑钙土	天山北坡东	930.9	33.91	29.98	97.79	99.97	57.23
	天山北坡中	856.4	33.28	27.40	94.13	72.49	42.65
	天山北坡西	999.9	33.16	28.92	116.7	107.0	49.58

1. 不同海拔高度内土壤微量元素分布规律 天山土壤的垂直带在北坡表现得十分明显, 3000 米以上为高山带, 分布着高山草甸土; 3000—2700 米为亚高山带。分布着亚高山草甸土; 2700—1700 米为山地森林草原带, 分布着山地灰褐色森林土(阴坡)和山地黑钙土(阳坡); 1700—1100 米为山地草原带, 分布着山地栗钙土。而天山南坡垂直带则不完整, 一些地段缺乏黑钙土带和森林土带, 有的地段亚高山草甸土为亚高山草甸草原土所代替。

随着海拔高度的变化, 土壤中的微量元素也有着相应的变化规律, 从表 1 可看到, 锰、锌、铬、镍、钴、铜 6 种元素含量自上而下逐渐减少, 其中全量元素差异较小, 有效态元素变化较大, 有效态锌、铜、钴、镍 4 种元素自上而下呈明显递减, 而锰无一定规律, 有效态铬在所有土壤中含量基本一致。在所测定的元素中, 锶的变化同其他元素正相反, 随着海拔高度的降低, 全量及有效态含量都逐渐增高。

2. 微量元素在土壤剖面中的分布规律 从图 1 和表 1 可看到, 天山土壤微量元素在剖面上大体按自上而下递减的规律分布, 但不同的元素其变化有所不同, 其中锌、锰自上而下递减规律较明显, 钴、镍、铬在剖面中分布比较均匀; 铜和锶无一定规律。

(三) 影响山地土壤中微量元素含量与分布的因素

土壤中微量元素的含量与分布, 从宏观上来讲, 大的生物气候带, 不同的地貌类型、地质构造、植被类型和不同成土过程所形成的显(隐)域性土壤, 是决定土壤中微量元素含量分布的主要因素。新疆山地土壤隶属山地垂直地带分布之范畴。而山地垂直地带土壤的地理分布又与它所处的地理位置、地势起伏、山体大小、坡向坡度的变化密切相关。因而它的类型和结构是复杂多变的; 从微观上来讲, 土壤剖面中的矿物成份和元素组成(特别是母质的矿物元素)是微量元素含量分布的物质基础。此外剖面中有机质(腐殖质)的含量与分布、土壤质地的粗细、pH 值以及氧化还原电位等因素对山地土壤中微量元素都会产生一定的影响, 因而影响山地土壤中微量元素的主要因素是:

1. 不同地貌类型与成土过程对土壤中微量元素的影响 天山山系是在古生代地槽褶皱基础上经历了复杂的地质演变过程而产生的, 特别是新生代构造运动形成了今日隆

起的山地地形。特点是：切割强烈，高差悬殊，岩性复杂。随着海拔高度和生物气候条件的变化，土壤经历着不同的成土过程，例如高山和亚高山草甸土是在高山、亚高山带气候寒冷、降水和生物积累较大的环境下形成的；灰褐色森林土则是在中山带云杉针叶林下，较强烈的生物聚积和明显的淋溶、淀积条件下形成的；山地栗钙土则是在低山草原带疏林、灌丛和大量草本植被覆盖下，表层土壤有着较强的生物积累条件下形成。这些不同地貌对成土过程产生的影响，也必然会影响着微量元素在土壤中的累积和再分配。

2. 母质类型对土壤微量元素的影响 成土母质的矿物成分和元素组成是形成各类土壤的物质基础。尽管影响土壤中微量元素含量分布的因素很多，然而调查分析表明母质仍与土壤中微量元素含量分布密切关联。应当指出的是，天山南北坡大多是黄土状物质，这类母质在土壤剖面中只混有少量的岩石，有的完全没有，剖面质地比较均匀。因此，这些土壤中全量元素含量没有太大差异；而发育在高山和亚高山带的草甸土，因其母质大多是属酸性岩浆岩、基性变质岩系的花岗岩、片岩、干枚岩、石英岩、角砾岩等风化残积一坡积物，它们所含的微量元素相对也较高。但在同一剖面中的分布，除锰、锌之外，其他元素还是比较均匀的；锰、锌在上层的富集，除了母质影响之外，其它因素如植被、有机质等也有一定影响。新疆气候干燥，虽然山区降雨量较高，但由于地形坡度较大，雨水在剖面中的淋洗作用仅限表层数十厘米，这对表层碳酸盐和其他易溶盐有一定程度的淋洗，而对矿物中的元素没有明显的作用。

3. 植被类型对土壤微量元素的影响 植被具有从岩石、土壤中选择吸取某些矿物质元素维持其生命活动的的能力，所以活的有机体是地表化学元素迁移的强大动力。当植物死亡后，在温湿度适宜的环境下通过微生物分解成土壤有机质(腐殖质)；若在干旱条件下，有机残体可通过矿质化作用又将某些元素归还给土壤。所以土壤中矿质元素既有从上往下淋洗的过程，又有被根系从下层吸取到上层富集的可能。由于矿物元素存在的形态不同，各种植物选择吸收能力各异，这就造成各种植物种群中微量元素含量不等而影响着微量元素在土壤中的分布。根据对天山不同地带的植物成分分析资料，将表 3 和表 1 对照，可看到多数元素在土壤中的含量和植被中的含量成正相关。这一规律在有效态元素中更为明显。

表 3 天山山地不同类型土壤植被中微量元素含量*

Table 3 Trace element contents in different vegetation covers in the Tianshan Mts.

植被类型 Vegetation	Mn	Co	Cu	Zn	Cr	Ni	Sr
亚高山草甸植被	64.41	0.74	9.02	44.53	0.03	1.66	59.61
云杉针叶	94.06	1.06	4.85	36.43	痕迹	0.03	25.85
山地草甸草原植被	60.75	0.73	9.18	39.66	痕迹	1.06	46.25
干草原植被	30.15	0.73	11.79	24.17	痕迹	1.06	136.0

* 按在 60°C 下烘干 24 小时样品含量计算；单位：ppm。

4. 土壤有机质对土壤微量元素的影响 土壤有机质中含有一定量的微量元素，这对土壤中微量元素的含量和分布也产生一定的影响。据笔者对天山土壤腐殖质中所含微量元素的初步分析，腐殖质中含锰约 10—19 ppm，锌 1—2 ppm，铜 3.8—7.5 ppm，此外，

尚有痕量的钴、铬、镍。从图 1 可以看出, 锰、锌、铜在剖面中的分布与有机质的分布大体呈正相关, 尤其是有效态元素相关性更为明显。有机质对土壤微量元素的影响, 一方面是有机质组成中含有一定量的元素, 另一方面是有机胶体所吸附的元素。前者影响全量元素的含量, 后者影响有效态元素的含量。

值得指出的是锶元素在土壤中分布规律与其他几种元素都不相同, 随着海拔高度的变化, 锶元素自上而下逐渐增加, 与其他元素的分布正好相反。根据锶在周期表中的位置, 其性质与钙十分相近, 在土壤中随着钙的淋洗, 锶也从土层中被淋洗, 海拔越高, 淋洗作用也越强。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。405—416 页, 科学出版社。
- [2] 南京农学院土化系等译, 1982: 土壤的本质等性状。296—305 页, 科学出版社。
- [3] 刘 铮、唐丽华、朱其清, 1983: 红壤地区土壤微量元素[见中国红壤(李庆远主编)]。171—193 页, 科学出版社。
- [4] H. 奥贝尔等著(刘铮等译), 1982: 土壤中的微量元素, 26—82 页, 科学出版社。
- [5] K. A. 阿姆森著(林伯群译), 1984: 森林土壤。76 页(性质和作用), 科学出版社。
- [6] 余大富, 1984: 贡嘎山土壤中一些元素的背景值。生态学报, 第 4 卷 3 期, 201—206 页。
- [7] 吴镇麒、邝安琪、姚乃华、杨永清、卞以洁, 1982: 上海土壤中微量元素的含量与分布的研究。土壤学报, 第 19 卷 2 期, 173—183 页。
- [8] Bradford G. R., 1973: Boron. in "Diagnosic Criteria for Plants and Soils" 33—35 univ. Calif Riverside. Calif. U. S. A.
- [9] Heinrich E. W., 1966: The Geology of Carbonatites Rand McNally and Company Chicago.
- [10] Wedepohl K. H., et al., 1978: Handbook of Geochemistry. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.
- [11] Swaine D. J., 1955: The Trace-Element Content of Soil. Common Wealth Agri. Bureau. England.

CONTENT AND DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS IN THE SOILS OF THE TIANSHAN MTS.

Sun Jikun, Hu Zhilin, Zhou Hongxing,

Dang Zhizheng and Yang Zhenfan

(Xinjiang Academy of Forestry Science)

Summary

The Tianshan Mts. lie across Junggar and Tarim basins, spanning 1700 km from the west to the east. The main soils on the mountain lands include mountain chernozem(1100—1700 m), mountain gray cinnamon forest soil(1700—2800 m), subalpine meadow soil(2800—3000 m) and alpine meadow soil(3000—3500 m). The contents of total and available Mn, Zn, Cr, Ni, Co, Cu and Sr in the soils were determined.

The results showed that the total contents of all the trace elements determined were more than the mean values of soils in China and of the world. The available contents were mostly more than the critical values. The contents of total trace elements except Sr tended increased with the increase of elevation on which the soil was located, but no horizontal variation was found. Sr content in soil and plant was higher. The distribution of the trace elements was mainly related with parent materials and organic matter content of the soils.

· 新书预告 · 土壤系统分类概念的理论基础

“土壤系统分类概念的理论基础”(The Guy Smibh Interviews: Rationale for Concepts in Soil Taxonomy)一书是一本以问答形式编辑的巨著。提问者皆为当代世界土壤学界名流,回答并解释问题者是从事并领导美国农业部土壤调查分类工作近30年之久,欧美土壤学界称之为“土壤系统分类之父”的史密斯(G. D. Smith)博士。他是1975年出版的“土壤系统分类”(Soil Taxonomy)一书的主要执笔人。

“土壤系统分类”一书的出版,其意义与影响之大自不待说。但其中的许多新分类思想概念的产生不可能面面俱到地得到披露。因此,有很多土壤学者以信访或当面交谈方式与史密斯博士进行思想交换,得到史密斯教授详尽而确切的回答与解释。美国农业部为推进新土壤系统分类思想的传播,将这些谈话内容整理出版。

本书对于土壤分类的指导思想,对分类阶层设立与划分的标准,对诊断层与诊断特性的选择与应用,以及对各分类单元的划分和各个土纲的中心概念与界限,进行了辩证的论述,使我们了解到美国土壤系统分类发展过程的内幕,是一个较长期的艰苦的学术思想斗争的过程,并非如“繁琐哲学”的评论。翻译此书的目的,是为了吸取其中的经验与理论,推进我国土壤学界的学术思想变革,在不断攻玉求真的劳动中,创立适合科学理论及我国实际的土壤分类学。

本书由李连捷、张凤荣、郝晋民、陈焕伟翻译,李连捷统校全书。

本书预定于1987年12月由北京农业大学出版社出版,全国各地新华书店发行。预购者可与北京农业大学出版社预订。