

山东省土壤微量营养元素含量分布*

吴建明 高贤彪 高炳模

(山东省农科院土肥所)

摘 要

本文论述山东省土壤中 B、Mn、Zn、Cu、Fe 有效态含量及分布。有效硼含量 0.04—6.79 ppm, 平均 0.48 ppm; 易还原态锰 9—1345 ppm, 平均 169 ppm; 有效锰 1.5—175.9 ppm, 平均 17.1 ppm; 有效锌 0.04—14.56 ppm, 平均 0.54 ppm; 有效铜 0.03—20.64 ppm, 平均 1.08 ppm; 有效铁 1.6—162.0 ppm, 平均 12.6 ppm。

不同土壤类型微量元素含量有明显差异, 主要特征为: 棕壤、褐土缺硼, 潮土、砂姜黑土缺锌, 水稻土富铁、锰、铜, 盐土富硼。其分布呈明显的地域性, 可分为山地丘陵(鲁东和鲁中南)低硼、中锌、高锰区; 泛滥平原(鲁西北)低锌、中硼锰区。

硼、锰、锌、铜、铁是植物必需的微量营养元素, 在土壤中供应不足或过剩都可能引起植物、动物及人体生理功能失调, 诱发各种生理病害。研究土壤中微量元素的丰缺, 并据以进行微肥开发应用, 对提高作物产量, 改善农产品品质和维护人类及动物的正常代谢具有重要的意义。本文于 1983—1986 年对山东省土壤微量元素含量分布的调查研究结果报告如下。

山东省属华北地台一部分, 按其构造性质和地质发育情况, 分为鲁东地盾, 鲁中南台背斜和鲁西北凹陷三个二级单元, 依次为鲁东低山丘陵、鲁中南中低山丘陵和鲁西北泛滥平原三个地貌区。成土母质有残积物、坡积物、洪积物、湖积物、风积物和冲积物等。土壤类型以棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土 4 个土类为主, 还有水稻土、盐土和风砂土。棕壤集中分布在鲁东丘陵区鲁中南山地丘陵区的一部分, 褐土主要分布于鲁中南山地丘陵区的北部、西部, 潮土分布于运河以西、胶济线以北的黄泛区, 其背河低洼地和滨海有盐土, 砂姜黑土主要分布在胶莱平原和沂沭河谷平原的低平地带, 沿海岸带及黄泛平原分布有零星的风砂土。

一、土壤标本采集与分析

土壤标本的采集是按土壤类型、成土母质类型及各类土壤面积, 在 12 地(市) 83 县(市、区) 范围内采集耕层土壤样本 5138 个, 剖面标本(按发生层次分层) 285 个。

分析方法: 锰、锌、铁的全量分析用硝酸-高氯酸-氢氟酸高压罐消化, 有效锰、锌、铜、铁用 0.005

* 本项工作中, 承蒙刘铮、曹会璋、褚天铎、谢振翅、徐琪、周涛臣等教授、专家赐教, 参加本工作还有林日辉、谷明芝、翟承志、朱玉奎、韩瑞堂、房瑞士、冯田广、姜技法、李正英、谷昭川等。

mol/L 二乙三胺五乙酸 (DTPA) 浸提,易还原态锰用 1N 醋酸铵 +0.2% 氢氟提取,原子吸收分光光度计测定;有效硼用沸水提取,姜黄素比色测定。

二、结果与讨论

受成土母质和成土条件的影响,所形成的山东省不同土壤类型,决定着土壤硼、锌、锰、铜、铁有效含量水平。把棕壤、褐土和潮土三大土类的 13 个亚类和砂姜黑土、盐土、水稻土及风沙土组合为 17 组样本,视 5 种土壤有效微量元素为属性,进行 Q 型聚类分析,求得各组间距离,作出分枝图(图 1),在距离为 0.6 处划一垂直于横轴的直线,分为特点回异的棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土、盐土、风沙土、白浆化棕壤和水稻土 8 个组,同一组内各种微量元素的有效含量水平及分布状况较为相似,可用以作为微肥研究和应用的依据。

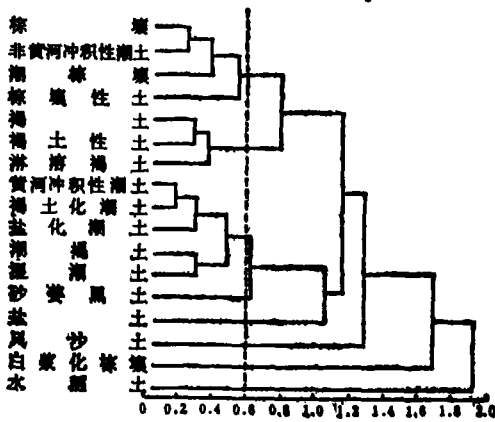


图 1 山东土壤微量元素含量聚类分析(类平均法)

Fig. 1 Cluster analysis of the trace element contents in soils of Shandong Province

异的棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土、盐土、风沙土、白浆化棕壤和水稻土 8 个组,同一组内各种微量元素的有效含量水平及分布状况较为相似,可用以作为微肥研究和应用的依据。

(一) 硼 山东省土壤有效硼含量为 0.04—6.79 ppm, 平均 0.48 ppm, <0.5 ppm 的样点 3462 个,占 65.1%(图 2), 可认为全省多数土壤硼素供应不足。

不同土壤类型有效硼含量有明显差异(表 1),发育在酸性火成岩母质上的棕壤有效硼含量较低,平均 0.31 ppm, <0.5 ppm 相对频率为 94.5%, 是主要的

的低硼土壤,潮土含量较高,平均 0.6 ppm; 盐土含量最高,平均 1.01 ppm。土体中有效硼(水稻土除外)随深度的增加而明显减少(图 3), 283 个土壤剖面中,有效硼在不同层次的含量可分为淋溶型、弱淋溶型、积聚型和弱积聚型 4 种分布型。棕壤以弱淋溶型和淋溶型为主,两者占 70.2%, 全部面中有效硼 <0.4 ppm 的相对频率占 90% 以上,属通体低硼土

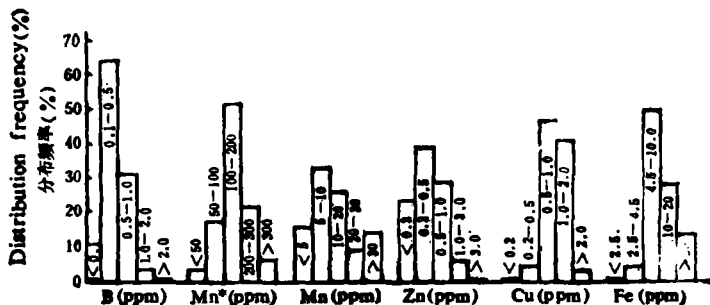


图 2 山东土壤微量元素有效含量的分布频率(%)

Fig. 2 Distribution frequency of available content of trace elements in soils of Shandong Province

类；潮土以积聚型和弱积聚型为主，两者占 75%，属通体含硼较高的土类，褐土介于棕壤和褐土之间；滨海盐土的表土层和心土层比底土层高，呈“1”形分布，属高硼土类。

土壤中有有效硼含量水平受多因素的综合影响，如棕壤和风沙土有效硼含量较低，可能与前者土壤呈非石灰性反应，后者质地较粗，从而使硼的活化部分易被淋洗损失有关，以 6 种土类土壤有效硼含量 (y) 和成土母质有效硼含量 (x)，建立直线回归方程： $\hat{y} = 0.121 + 1.034x$ ($r = 0.87^{**}$, $n = 285$)。所以，成土母质是决定土壤有效硼含量分布的主要因子。土壤中有有效硼主要以 HBO_3^- 形态存在，易于淋洗，据发育在鲁中南山地丘陵区褐土的 42 个县有效硼含量 (y) 与年均降雨量 (x) 统计，两者呈极显著负相关，回归方程 $\hat{y} = 0.739 - 4.53 \times 10^{-4}x$ ($r = -0.56^{**}$)。土壤有效硼含量还随有机质含量增加而增加，4 种土类均呈正相关，相关系数 r 值分别是：潮土 0.28^{**} ($n = 50$)，褐土 0.28^{**} ($n = 43$)，棕壤 0.28^{**} ($n = 50$)，水稻土 0.88^{**} ($n = 9$)，均达极显著水平 ($p < 0.01$)。

土壤有效硼呈明显的地域性分布 (表 2)，鲁西北泛滥平原土壤有效硼含量平均 0.67 ppm， < 0.5 ppm 相对频率为 26.18%，属中硼区；鲁东丘陵和鲁中南山地丘陵土壤有效硼含量平均为 0.39 ppm， < 0.5 ppm 相对频率分别为 83.5% 和 82.2%，是山东省低硼区，某些作物表现缺硼症，一些果树、蔬菜及豆科作物硼肥效果明显，因此，生产上应注意硼肥的研究和应用。

(二) 锰 山东省土壤全锰量 228—1042 ppm，平均 521 ppm，低于我国平均含量和世界土壤平均含量 (600 ppm; 850 ppm)^[1]。有效锰 (DTPA 浸提) 1.5—175.9 ppm，平均 17.1 ppm，是有效锰临界值 (7 ppm) 的 2.5 倍；易还原态锰 9—1345 ppm，平均 169 ppm，为易还原态锰临界值的 1.7 倍。

表 1 可见，不同土类之间两种形态锰丰缺有所不同。有效锰平均含量以水稻土含量最高，平均 39.4 ppm，是全省平均值的 2.3 倍，这是由于水稻土经常处于渍水条件下，还原势增强之故。已有报道，土壤样品的长期风干、放置，会使水溶态和有效态锰含量增加^[8]。棕壤有效锰与水稻土含量相近，平均 32.2 ppm，其它土类均在 15 ppm 以下，不同土类之间差异明显。而易还原态锰以风砂土最低 (67 ppm)，盐土、潮土、水稻土平均 100—150 ppm，其它土类平均 150—200 ppm。

各土类剖面中，土壤有效锰含量自上而下明显降低，易还原态锰在剖面中含量较为稳

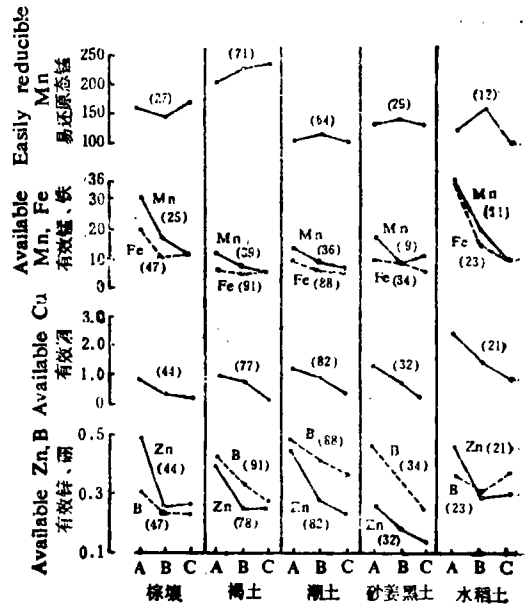


图 3 不同土类中有有效微量元素分布

Fig. 3 The distribution of available trace elements in different soil profiles

表 1 山东省土壤中有效态微量元素含量 (ppm)

Table 1 Contents of available trace elements in the soil of Shandong Province

土壤类型 Soil type		B	Mn*	Mn	Zn	Cu	Fe
棕壤	棕壤性土	0.28(344)①	154(305)	35.3(212)	0.55(333)	0.72(332)	21.9(334)
		0.09—1.00②	9—1252	3.3—155.4	0.12—2.34	0.10—5.39	4.0—88.4
	白浆化棕壤	0.28(15)	298(2)	45.1(14)	0.54(15)	0.76(15)	28.6(15)
		0.13—0.49	258—339	5.5—118.6	0.29—0.92	0.44—1.21	6.9—51.8
	棕壤	0.31(511)	194(461)	30.2(339)	0.55(477)	0.99(472)	19.5(475)
		0.11—0.89	18—675	3.2—175.9	0.09—4.90	0.23—20.64	2.9—71.5
	潮棕壤	0.35(214)	200(163)	30.7(148)	0.69(197)	0.98(197)	22.0(197)
合计	0.07—1.61	182(931)	32.2(716)	0.58(1025)	0.90—(1019)	20.9(1024)	
	0.07—1.61	9—1252	3.3—14.2	0.09—14.56	0.10—20.64	2.9—88.4	
褐土	褐土性土	0.35(116)	204(61)	15.5(103)	0.56(115)	0.95(115)	11.4(116)
		0.16—1.13	81—410	2.6—120.8	0.12—2.12	0.10—7.72	3.0—57.6
	淋溶褐土	0.41(352)	239(316)	15.5(103)	0.60(354)	0.98(354)	10.9(355)
		0.16—1.11	71—74	2.6—120.8	0.08—10.80	0.22—6.47	3.4—35.3
	褐土	0.41(681)	193(653)	8.6(546)	0.60(670)	0.98(670)	8.7(680)
		0.08—1.78	22—920	1.5—49.1	0.09—10.00	0.27—7.07	2.0—40.5
	潮褐土	0.51(523)	175(481)	10.0(327)	0.49(529)	1.10(522)	8.7(523)
合计	0.07—5.56	15—107	1.7—48.9	0.07—7.14	0.31—10.00	1.3—35.2	
	0.43(1679)	198(1517)	11.2(1286)	0.56(1674)	1.02(1667)	9.3(1681)	
	0.07—5.56	15—1077	1.5—120.8	0.07—10.80	0.10—10.00	1.3—57.6	
潮土	褐土化潮土	0.60(119)	117(100)	9.5(33)	0.48(114)	1.06(117)	9.1(118)
		0.20—1.28	34—226	3.08—23.4	0.14—1.43	0.41—3.61	3.2—37.2
	潮土	0.54(900)	142(653)	15.5(483)	0.52(921)	1.10(897)	12.4(901)
		0.10—2.68	23—711	1.7—149.7	0.07—7.28	0.03—5.78	2.5—106.0
	盐化潮土	0.73(319)	115(280)	7.8(78)	0.50(308)	1.28(322)	9.1(324)
		0.18—5.00	16—336	2.3—60.8	0.11—3.97	0.22—9.22	1.6—61.8
	湿潮土	0.55(122)	145(87)	12.3(80)	0.47(127)	1.36(122)	13.0(122)
0.16—2.00		16—389	2.1—52.1	0.12—2.21	0.56—5.21	3.1—73.4	
合计	0.60(1679)	133(1328)	14.3(689)	0.51(1654)	1.19(1675)	11.3(1682)	
	0.1—5.00	16—711	1.7—149.7	0.07—7.28	0.03—9.22	1.6—106.0	
砂姜黑土		0.50(323)	153(346)	9.2(154)	0.43(330)	0.99(321)	7.5(323)
		0.17—1.37	16—537	2.0—75.6	0.09—4.82	0.21—9.16	2.2—41.9
水稻土		0.38(56)	145(16)	39.4(29)	0.52(94)	2.17(52)	43.9(55)
		0.14—0.92	22—440	6.5—131.4	0.19—3.86	0.73—5.20	12.8—162.0
盐土		1.01(84)	104(72)	12.3(32)	0.51(80)	1.23(84)	9.6(84)
		0.15—6.79	31—216	2.5—66.3	0.41—8.74	0.23—2.83	3.3—29.3
风沙土		0.27(17)	67(15)	6.8(6)	0.32(17)	0.49(17)	7.2(17)
		0.04—0.72	14—107	3.3—14.2	0.15—0.91	0.09—1.66	3.0—19.9

注: * 易还原态锰; ① 平均含量; ② 范围值; 括号内为标本数。

定,且心土层略高于表土层和底土层(图 3)。

土壤 pH 及碳酸钙、粘粒含量是影响土壤锰有效化的重要条件,据 255 个土壤标本的

表 2 不同地貌区土壤微量元素含量 (ppm)

Table 2 The contents of trace elements in soils of different geomorphological regions

地貌分区 Geomorphological region	B	Mn*	Mn	Zn	Cu	Fe
鲁西北泛滥平原区	$\frac{0.67(1249)}{0.09-5.00}$	$\frac{115(1000)}{16-306}$	$\frac{6.9(367)}{1.7-18.0}$	$\frac{0.49(1206)}{0.07-8.94}$	$\frac{1.23(1201)}{0.19-9.22}$	$\frac{8.54(1261)}{1.6-95.5}$
鲁中南中低山丘陵区	$\frac{0.39(2761)}{0.07-3.55}$	$\frac{200(2232)}{15-1345}$	$\frac{14.1(2132)}{1.5-128.5}$	$\frac{0.55(2793)}{0.04-14.56}$	$\frac{1.02(2712)}{0.10-10.00}$	$\frac{12.3(2741)}{2.1-103.9}$
鲁东低山丘陵区	$\frac{0.39(794)}{0.04-6.79}$	$\frac{169(824)}{9-1252}$	$\frac{50.2(346)}{3.3-175.9}$	$\frac{0.62(763)}{0.12-3.73}$	$\frac{0.99(749)}{0.03-20.64}$	$\frac{23.0(751)}{3.0-162.0}$
全省	$\frac{0.48(5138)}{0.04-6.79}$	$\frac{169(824)}{9-1345}$	$\frac{17.1(2965)}{1.5-175.9}$	$\frac{0.54(5096)}{0.04-14.56}$	$\frac{1.08(5057)}{0.03-20.64}$	$\frac{12.5(5088)}{1.3-162.0}$

* 易还原态锰; 括号内为标本数; 分子为平均值; 分母为范围值。

通径分析, 易还原态锰与碳酸钙含量呈负相关, 与 <0.01 mm 粘粒呈正相关, 其通径系数分别为 -0.496^{**} 和 0.499^{**} 。有效锰与土壤 pH 呈负相关, 通径系数为 -0.471^{**} 。

全省土壤中两种形态锰含量分布, 均有自西而东、自北而南逐渐增加的趋势 (表 2)。黄泛平原含量较低, 有效锰 < 10 ppm 为 89.1%, 其中 < 5 ppm 为 23.98%; 易还原态锰 < 100 ppm 为 40.2%。零星分布在湖积涝洼区土壤有效锰含量和易还原态锰含量最低, 黄泛冲积平原上地势高亢、质地较粗、地下水位低的潮土也较缺锰, 是山东省的主要低锰区, 鲁东及鲁中南山地丘陵区土壤有效锰及易还原态锰含量比较高, 属中锰区。

(三) 锌 山东省土壤全锌含量为 16.7—167.7 ppm, 平均为 55.5 ppm, 明显低于我国土壤平均含量 (100 ppm), 接近于世界土壤平均含量 (50 ppm, 50—100 ppm)^[3]。不同母质发育的土壤锌的含量以发育在湖相沉积物上的水稻土和黄河冲积物的潮土含量较高, 平均分别为 68.7 和 68.1 ppm, 风沙土最低, 平均 35.4 ppm, 中性钙质及酸性母质上发育的褐土、棕壤介于两者之间。土壤有效锌含量 0.04—14.56 ppm, 平均 0.54 ppm, < 0.5 ppm 的土壤样点占 63.5%, 其中 < 0.3 ppm 的土壤样点占 23.8%, 全省约有 7000 万亩耕地有效锌含量低于 0.5 ppm, 低于 1979 年中国农科院土肥所的普查结果^[4]。

从表 1 看, 7 种土壤类型中土壤有效锌含量以分布在山地丘陵区酸性母岩风化物上的棕壤含量最高, 这与该地区气候湿润、淋溶较强、盐基不饱以及生物富集有关。分布于湖、沼相及河、海相冲积物上的砂姜黑土及风沙土有效锌含量较低, < 0.5 ppm 的土壤样点占 80% 以上, 属低锌土壤, 许多地区多种作物广泛应用锌肥效果显著。

5 种土类 257 个土壤剖面中土壤有效锌含量以棕壤最高, 砂姜黑土最低, 褐土、潮土、水稻土介于两者之间, 并均随深度增加而明显降低 (图 3)。

土壤锌的有效性成土母质, 有效锌含量、全锌量和有机质含量等多种因素均呈正相关, 其相关系数 r 值, 母质有效锌含量为 0.87^{**} ($n = 257$), 全锌量为 0.27^{**} ($n = 255$), 有机质含量为 0.46^{**} ($n = 255$)。土壤有效锌含量 (y) 在 $\text{pH} < 7.5$, 随 pH (x) 升高而降低, 呈显著负相关, 回归方程为 $y = 5.25 - 0.64x$ ($r = -0.42^*$), 因此, 作物缺锌症大多发生在 $\text{pH} 6$ 以上的石灰性土壤上^[4]。

山东省缺锌土壤及其区域分布与有效硼相反, 与有效锰相近。鲁中南及鲁东的山地

丘陵区土壤有效锌含量相对较高(表 2), ≥ 0.5 ppm 和 < 0.5 ppm 的样本分别占 52.8% 和 47.2%, 两者近乎相等, 可拟划为土壤有效锌潜在缺乏区; 山地丘陵区边缘及鲁西北的山前倾斜平原, 成土母质为山麓洪积、河流冲积和海相沉积的缓平地区, 土壤有效锌含量较低, < 0.5 ppm 的土壤样点占 71.8%, 是主要低锌区, 其中尤以低洼湖积地区为甚。

(四) 铜 山东省土壤有效铜含量 0.03—20.64 ppm, 平均 1.08 ppm, < 0.5 ppm 的样点占 6.1%, 可认为山东省土壤有效铜供应充足。不同土类间以水稻土有效铜含量最高, 平均 2.17 ppm, 风沙土含量最低, 平均 0.49 ppm, 棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土及盐土有效铜平均 0.90—1.23 ppm (表 1)。土壤剖面中有效铜分布较均匀, 而未发现有明显的迁移。

土壤中有有效铜含量与土壤有机质和物理性粘粒含量呈正相关, 相关系数 r 值, 有机质为 $0.25^{**}(n=255)$, 物理性粘粒为 $0.22^{**}(n=255)$ 。

土壤有效铜分布规律与有效硼相似, 自西而东, 自北而南随地势升高而降低, 鲁西北泛滥平原含量丰富, 鲁中南中低山丘陵区 and 鲁东低山丘陵区相对较低。

(五) 铁 山东省土壤中铁含量为 1.04—3.86%, 平均为 2.34%。有效铁含量 13—162 ppm, 平均 12.6 ppm, < 2.5 ppm 的土壤样点占 0.2%, 2.5—4.5 ppm 的土壤样点占 5.2%, 可见土壤有效铁供应较为丰富。不同土类有效铁含量(表 1), 以水稻土最高, 平均 43.9 ppm; 棕壤次之, 平均 20.9 ppm; 褐土、潮土及盐土为 9.3—11.3 ppm, 砂姜黑土、风沙土较低, 分别为 9.5, 7.2 ppm。

土壤剖面中有效铁的分布有两种类型(图 3), 一是水分条件好, 生物作用强烈, 有机质含量较高或 pH 低的土壤, 有效铁在耕层富集, 由上而下明显降低, 如棕壤和水稻土; 二是水分状况较差或中性—微碱性的土壤, 如砂姜黑土、褐土、潮土, 有效铁在整个剖面中的分布均匀, 上下层差异不大。

土壤有效铁含量受多种因素的制约。铁的溶解度随 pH 升高显著下降, 当 $pH > 7$ 时, 缺铁的可能性就存在^[5]。255 个土样标本分析结果表明, 土壤有效铁与 pH、碳酸钙含量呈极显著负相关, 相关系数分别 -0.563^{**} 和 -0.232^{**} , 与土壤有机质含量呈极显著正相关 ($r = 0.22^{**}$)。

山东省有效铁分布规律与有效锰相似, 其含量自西而东、自北而南逐渐增高(表 2), 鲁东低山丘陵区含量最高, 平均 23.0 ppm, 其次是鲁中南中低山丘陵区, 平均 12.3 ppm, 鲁西北泛滥平原区土壤 $pH > 7$, 有机质含量低、碳酸钙含量高, 土壤有效铁含量低, 平均 8 ppm, 因而在林木、果树常观察到缺铁黄叶症状。

参 考 文 献

- [1] 刘铮等, 1980: 土壤中的锰与锰肥的应用。中国科学院微量元素学术交流汇刊, 136—145 页, 科学出版社。
- [2] 余存祖等, 1984: 土壤有效锰(DTPA-Mn)的应用评价与临界值的探讨。土壤学报, 第 21 卷 3 期, 277—283 页。
- [3] 刘铮, 1964: 土壤中的锌。中国科学院微量元素研究工作会议汇刊, 科学出版社。
- [4] 张乃凤等, 1980: 山东省土壤速效锌普查和锌肥肥效试验。土壤肥料, 第 2 期。
- [5] 张淑民, 1982: 肥料。94—95 页, 科学普及出版社。
- [6] 刘铮、朱其清等, 1982: 我国缺乏微量元素土壤及区域分布。土壤学报, 第 19 卷 3 期, 209—223 页。
- [7] 刘铮、唐丽华、朱其清等, 1978: 我国主要土壤中微量元素的含量与分布初步总结。土壤学报, 第 15 卷 2 期。

138—150 页。

- [8] Sherman, G. D. and Harmer, P. M. 1942: The manganese—manganic equilibrium of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 7: 398—405.
- [9] Lindsay, W. L., 1979: *Chemical equilibria in soils*. p. 98. New York, John Wiley and Sons.

CONTENT AND DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS IN THE SOILS OF SHANDONG PROVINCE

Wu Jianming, Gao Xianbiao and Gao Bimo

(The Soil and Fertilizer Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences)

Summary

This paper deals with the distribution and available contents of B, Mn, Zn, Cu and Fe in soils of Shandong Province. The range and mean value of the available contents of B, Mn, Zn, Cu and Fe in the soils are 0.04—6.79 ppm with an average of 0.48, 1.5—175.9 ppm with an average of 17.1 ppm, 0.04—14.56 ppm with an average of 0.54 ppm, 0.03—20.64 ppm with an average of 1.08 ppm and 1.6—162.0 ppm with an average of 12.6 ppm respectively. The range and mean value of easily reducible Mn is 9—1345 ppm with an average of 169 ppm. The content of available trace elements in different soil types varies greatly. It has been found that the Brown earth and Cinnamon soil in Shajia Shandong are severely deficient in B, the Fluvio-aquic soil and Shajiang black soil are deficient in Zn, the paddy soil is rich in Fe, Mn and Cu, and the Saline soil is rich in B. The availability of trace elements in soils are influenced by many factors. The available trace element contents in the soils are often increased with lowering of soil pH and increasing of organic materials. The contents of available trace elements soils of Shandong have a regional distribution obviously. The soil in hilly region have a lower B content, moderated Zn content, and higher Mn content. The flood plain has a lower Zn content, moderate B content and moderate Mn content.