

黄河中游地区土壤背景值与八个城市土壤元素富集的研究*

余存祖 彭 琳 刘耀宏 戴鸣钧

(中国科学院西北水土保持研究所)

黄河中游是指太行山以西,青海湖以东,大青山以南,秦岭以北地区。包括陕、甘、宁、晋、蒙、青、豫 7 省区的一部或大部,面积约 $7 \times 10^5 \text{ km}^2$, 海拔多在 1000m 以上,且多属干旱、半干旱区,绝大部分地区为黄土或黄土冲积物所覆盖,是一个大的自然区域单元。这里工农业生产基础比较薄弱,常被视为落后地区而对其环境问题未予足够重视。随着本区能源的开发与工业的发展,以及化肥农药用量的增加,城乡环境问题日益引起人们的关注。本文依据我们的调查研究资料,对本区土壤若干元素的背景值以及八个城市土壤中元素富集程度进行分析讨论。

一、研究方法

根据本区主要土壤类型,采集 120 个剖面共 600 个层次,另采 500 个表层土样及 100 个黄土母质,从中挑选有代表性的作为测定背景值的基本样品。城市土样一般在周围 5km 范围内采集,最多不超过 10km。普通农田与工业区污灌农田分别采样。

土样用硝酸-氢氟酸-高氯酸消化,催化极谱法测 Mo; 王水-高氯酸消化,原子吸收法测 Zn、Cu、Mn、Fe, 姜黄素法测 B, 有效形态 Mo 用草酸-草酸铵液提取; 有效态 Zn、Cu、Mn、Fe 用螯合剂 DTPA 液提取; 有效态 B 用沸水提取。测定方法与总量同^[1]。

二、黄河中游地区土壤的背景值

土壤测定值经整理后,用 χ^2 检验法鉴定

土壤各元素测定值的分布类型,当机率 >0.05 时,即确认为属于该分布类型。正态分布以测定值的算术均值为背景值; 对数正态分布以几何均值为背景值; 正态偏态分布则以机率较大的分布类型来决定,或取中位数作为背景值^[2]。城市工业污灌区样品的测定值不参加背景值的统计。

表 1 列出了黄河中游地区土壤 6 种元素的背景水平。据有关资料推导^[3], 我国土壤 Zn、Cu、B、Mn、Fe、Mo 的平均含量分别为 100, 22, 64, 710, 30000 与 1.7ppm。与全国土壤均值相比较, 本区土壤 Zn、Mn 偏低, Mo 很低, Cu、B、Fe 中等。

土壤中有效形态元素是农作物可以吸收利用作为营养物的可溶部份, 其数量多寡对土壤环境、农作物产量及产品品质进而对人体健康有直接的影响。表 2 列出 6 种有效态元素的变幅及均值。从测定结果看, 本区土壤有效态 Zn、B、Mo 含量较低, Mn 偏低, Cu、Fe 中等。近年来, 在黄河中游各地适当施用 Zn、B、Mo 及 Mn 等微量元素肥料, 大多对农作物产生增产作用, 显然与土壤中缺乏这些元素有关。

据测定, 黄土母质中 Zn、Cu、B、Mn、Fe、Mo 的含量分别为 61.4、25.2、68.7、646、34000 与 0.55ppm, 与土壤中这些元素的背景值比较接近。

* 王志忠同志参加了 Mo 的测定。

表 1 黄河中游地区土壤六种元素的背景值

元 素	样品数	分布类型	背景值 (ppm)	标准差	变异系数	95%的置信域
Zn	450	正态	69.2	13.6	0.19	68—70.4
Cu	441	正偏	22.5	5.2	0.23	20.2—24.6
B	437	正态	61.8	17.3	0.23	60.1—63.4
Mn	435	正偏	525	109	0.20	515—535
Fe*	455	正偏	2.81	0.46	0.16	2.77—2.85
Mo	63	正态	0.57	0.13	0.28	0.53—0.60

* Fe 的单位为%

表 2 黄河中游地区土壤六种有效态元素的含量

元 素	样品数	全 距 (ppm)	均 值 (ppm)	标准差	变异系数	95%的置信域
Zn	651	0.04—2.97	0.47	0.34	0.64	0.44—0.50
Cu	654	0.01—3.00	0.92	0.38	0.41	0.89—0.95
B	485	0.04—1.46	0.34	0.26	0.63	0.31—0.37
Mn	694	1.4—32	7.6	3.7	0.46	7.3—7.9
Fe	718	1—32	5.5	3.2	0.54	5.2—5.8
Mo	214	0.007—0.32	0.046	0.037	0.72	0.035—0.055

三、八个城市土壤元素含量及富集程度

八个城市拥有钢铁、机械、电力、煤炭、化工、轻纺等工业项目。由于工业与生活三废的排放，使城郊农田特别是污灌区的农田受到不同程度的污染。纵观测定结果，城市普通农田各元素总量接近或略高于背景值，一般在背景值加减 1 个标准差的范围内。但工业污灌区农田各元素总量显著高于普通农田，其中尤以 Zn、Cu、B 增高的幅度最大。据八个城市污灌农田平均，总 Zn 比普通农田高 31.4ppm，总 Cu 高 23.7ppm，总 B 高 20.1ppm（表 3），增高幅度分别为 42.2%、100.8%、33.5%。

按照地学上的标准，高于背景值加 2 个标准差的数值为“可能异常”；高于背景值加 3 个标准差的数值为“必然异常”^[4]，这与环境科学习惯上将高于背景值加 2 个标准差的数值视为污染起始值是一致的。按照这个标

准，属于“可能异常”的有宝鸡、西宁土壤中的 Zn；西安的 Cu；洛阳、西宁的 B。属于“必然异常”的有太原、洛阳土壤中的 Zn；包头、洛阳、兰州的 Cu。说明这些城市土壤可能或已经受到 Zn、Cu、B 的污染。

土壤中上述元素只有它们的有效形态能被农作物吸收而进入食物链，且这种形态易于转化与迁移，其数量更易受人类生产活动的制约。有时元素的总量并不高，但其有效形态的含量却很高，使农作物与饮用水中元素含量增加，对环境造成影响。所以，了解土壤中有效态元素的状况，其重要性往往超过总量，把有效态元素含量作为环境质量评价的一个指标更为灵敏而确切。据测定，8 个城市不论普通农田或工业污灌区农田，各元素有效态的均值都高于黄河中游地区土壤的平均含量，污灌农田尤甚。如仍以超过黄河中游土壤平均含量 2 与 3 个标准差的数值作为可能与必然异常的界限，8 个城市污灌农田有效态 Zn 含量全部超过“必然异常”的界

表 3 黄河中游八个城市土壤元素的总量* (ppm)

城市	样点数	Zn		Cu		B		Mn		Fe(%)	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
太原市	25	82.5	111.9	23.7	27.4	49	86.9	420	423	2.22	2.35
包头市	15	56.6	82.5	21.8	100	56	58.8	453	487	2.29	2.64
西安市	27	72.2	83.2	27.5	33.7	49.5	57.1	576	605	2.54	3.08
宝鸡市	23	83.5	108	25.7	32.2	56.2	74.2	582	619	2.30	3.36
洛阳市	15	78	188	23.4	90	59	106	514	572	3.32	3.22
兰州市	27	75.6	96.3	25	48	55	70.2	563	509	2.97	2.59
平凉市	13	64	80	22.2	26	63.4	86.2	545	520	2.64	2.47
西宁市	6	81	97	19.1	21	90	101.8	505	498	2.28	2.28
平 均	151	74.4	105.8	23.5	47.2	60	80.1	519	529	2.57	2.74

* A——城市普通农田 B——工业废水污灌农田

表 4 土壤中有效态元素的含量* (ppm)

城市	Zn		Cu		B		Mn		Fe		Mo	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
太原市	1.45	3.39	1.03	2.29	0.36	1.09	7.3	8.9	6.2	25.7	0.053	0.162
包头市	0.95	1.97	1.07	17.7	0.65	0.84	8.0	10.7	6.9	13.5	0.063	0.103
西安市	0.72	2.78	2.00	2.39	0.44	2.50	13.0	14.2	8.7	9.3	0.100	0.166
宝鸡市	1.31	6.85	1.98	5.52	0.44	0.58	9.7	13.9	7.0	10.4	0.081	0.104
洛阳市	0.63	6.58	1.17	25.00	0.38	0.44	6.6	8.1	4.6	6.3	0.058	0.126
兰州市	0.57	4.46	0.90	5.69	0.63	1.05	8.2	6.0	6.0	5.6	0.088	0.209
平凉市	0.34	2.45	0.97	2.74	0.40	1.61	8.6	10.2	3.9	18.0	0.054	0.098
西宁市	1.33	1.99	0.85	0.95	1.05	1.83	5.1	6.7	5.6	10.0	0.088	0.141
平 均	0.91	3.80	1.24	7.78	0.54	1.24	8.3	9.8	6.1	12.3	0.076	0.147

* A——城市普通农田 B——工业废水污灌农田

限; 7 个城市(除西宁外)土壤有效态 Cu 超过“必然异常”界限; 西安、平凉、西宁的有效态 B 超过“必然异常”, 太原、兰州则超过“可能异常”界限; 包头与太原、平凉土壤的有效态 Fe 已分别超过“可能异常”与“必然异常”的界限; 西宁与西安、兰州、太原土壤有效态 Mo 分别超过这两个界限(表 4)。

以上测定结果反映出, 土壤元素有效形态的富集远比其总量严重。如包头、西安、平凉土壤总 Zn 含量并未异常, 但有效态 Zn 都超过“必然异常”界限; 太原、宝鸡、平凉土壤中 Cu 富集的情况也是如此。8 个城市工业污灌区农田总 Zn 平均含量为背景值的 1.5 倍, 而有效态 Zn 为黄河中游地区土壤均值的 8.1 倍; 总 Cu 与有效态 Cu 比值分别为 2.1

倍与 8.4 倍; B 则分别为 1.2 倍与 3.6 倍。

城市周围农田有机物质富集状况也很显著。据大量样点测定, 黄河中游地区土壤有机质平均为 0.8%, 8 城市普通农田有机质平均为 1.33%, 污灌区农田为 2.48%, 分别比本区平均值增高 66% 与 211%。

四、讨论与建议

城市周围农田中化学元素富集的影响有两个方面。一方面, 在富集的有机物质及化学元素中, 有些可作为农作物的营养料, 在适宜的水平下, 有利于农作物产量的提高; 另一方面, 有些重金属元素或非金属元素并非农作物与人体所需, 或者需要量很微, 稍微过量即会引起毒害作用。我们曾做过土培试验,

表 5 大剂量施用 Zn、Cu、B 对农作物产量与元素浓度的影响

Zn				Cu				B			
施 Zn 量 (mg/kg)	土壤有效 Zn (ppm)	小麦产量 (g/盆)	小麦种子含 Zn (ppm)	施 Cu 量 (mg/kg)	土壤有效 Cu (ppm)	谷子产量 (g/盆)	谷子种子含 Cu (ppm)	施 B 量 (mg/kg)	土壤有效 B (ppm)	小麦产量 (g/盆)	小麦种子含 B (ppm)
0	1.1	7.7	27.5	0	0.57	22.2	4.9	0	0.47	11.4	2.7
10	4.7	2.3	44.3	1	0.85	24.2	6.1	0.1	0.65	11.6	3.1
100	21.0	6.7	82.5	10	3.27	26.2	7.8	1	0.83	13.2	3.5
1000	182.0	3.1	94.9	30	9.43	19.3	8.3	10	2.36	10.2	6.0

向土壤施入不同剂量的 Zn(ZnSO_4)、Cu(CuSO_4)、B($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 后,土壤与作物中这些元素浓度相应提高,表明已被作物吸收。在低剂量施用情况下,作物籽实产量有所增加,但超过一定剂量,即引起减产,农产品中化学元素浓度大幅度提高(表 5),Zn、Cu、B 含量比对照种子分别增高 200%、69% 与 122%。食用含高浓度化学元素的食物对人体健康带来的影响,是一个需要重视与值得研究的问题。西安市浐河地区由于工厂排放含 B 废物,使 7000 多亩农田受到污染,土壤含有效态 B 在 2.5ppm 以上,为正常土壤含量的 5—8 倍,最高达 12.3ppm。玉米茎叶含 B 56ppm,为正常玉米的 5 倍多。B 污染使蔬菜、粮食减产 20% 以上,严重的甚至绝收。阎家滩等两个村子农民饮用了含高 B 的水与食物,常年发生腹泻^[5],就是一个突出的例证。我们在调查中发现,黄河中游一些城市,其周围农田污染已达相当程度。如洛阳市涧西区农田有效态 Cu 达 25ppm;兰州市白银区农田有效态 Cu 达 24.5ppm,有效态 Zn 达 5.8ppm,兰州西固区农田有效态 Zn 达 5.22ppm;宝鸡市四季青灌区农田有效态 Zn 高达 7.8ppm,均超过正常土壤含量十几倍至数十倍。元素总量亦有显著增高。其它重金属如 Cd、Cr、Pb、Hg 以及 As、F 等亦有可能富集,其富集程度尚待作进一步的调查测定。总之,

土壤有效态元素的高度富集,必然会使农产品中该元素浓度增大,通过食物链影响人体健康,这是工业污灌区一个不可忽视的环境问题。

本区环境工作起步较晚,基础工作尤为薄弱。由于缺乏土、水、气背景值等基础资料及参数,中心城市及区域性环境质量评价工作不能不受到影响。建议今后加强这方面的工作,并对中心城市的环境质量作全面调查与评价,以便提出相应的对策。鉴于城郊农田有机物质与一些微量元素富集,在施用微量元素肥料时,应该对土壤与作物内元素含量进行监测,既要其增产效果,也要考虑到土壤和农产品中元素的富集与积累所引起的生态环境问题,避免盲目使用。根据我们的试验研究资料,我们初步认为,土壤中含有效态的 $\text{Zn} > 1.3\text{ppm}$, $\text{Cu} > 1\text{ppm}$, $\text{B} > 0.8\text{ppm}$, $\text{Mn} > 10\text{ppm}$, $\text{Fe} > 5\text{ppm}$, $\text{Mo} > 0.12\text{ppm}$, 即不应再施用相应的微量元素肥料,以免浪费肥料,污染土壤。

参 考 文 献

- [1] 余存祖等,土壤通报,15(5),227—230(1984).
- [2] 余存祖等,陕西农业科学,(1),29—31(1983).
- [3] 刘铮等,土壤学报,19(3),209—223(1982).
- [4] 中国科学院土壤背景值协作组,土壤学报,16(4),319—328(1979).
- [5] 郑泽群等,土壤通报,11(6),38—40(1980).