

硼污染对土壤和农作物的影响

郑泽群 边淑萍 郑建民

(西安市农业科学研究所)

商寿岩 李炳钧 刘秀兰

(陕西省环境保护研究所)(西安市未央区环境保护监测站)

硼广泛存在于自然界中,土壤和植物都含有少量硼。30年代以来,对土壤中的硼及其对植物生理的作用,国内外已有不少报道,说明硼是植物正常发育必不可少的微量元素。在缺硼土壤中合理施用硼肥对农作物产量的提高和质量的改善均有明显作用。虽然硼并非剧毒物质,也不属于国家《工业“三废”排放试行标准》中一、二类有毒物质,但是环境中过量的含硼物质会使土壤变劣,农作物受害。

1978年以来,我们研究了西安浐河地区硼污染及其治理措施,对该区的土壤、农作物、地下水和地面水进行了长期定位观测。本文着重报道硼污染对土壤的影响和过量硼对农作物的危害及其在植物体内的积累,并探讨硼污染参考标准的拟定。

一、硼污染对土壤的影响

污染区位于浐河河漫滩和一级阶地,土壤系在古河床上由淤积母质发育而成,一般为壤质或砂壤质的黑油沙或沙泥土,含中砂和粗砂,40厘米以上土层有机质含量在1.20%左右。由于长期利用含硼量高(1.0—37.4毫克/升)的浅层地下水灌溉,使耕层土壤水溶性硼大量累积,一般含量均大于2.50毫克/公斤,最高可达12.30毫克/公斤。

污染区土壤水溶性硼的垂直分布是:2米土层中硼含量为6.50—12.30毫克/公斤,

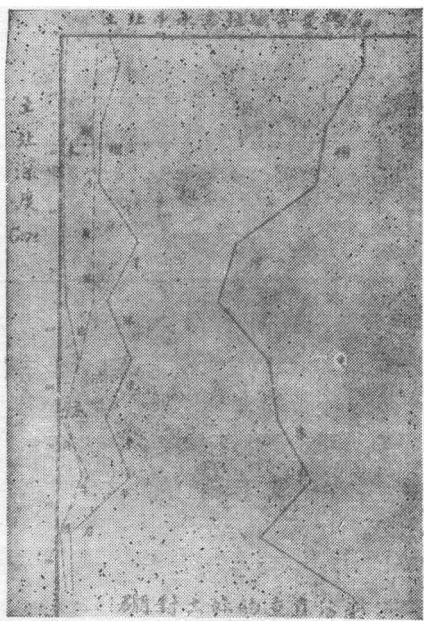


图1 硼对土壤的垂直污染

其中耕层和180—200厘米处硼含量最高,80—100厘米处含量最低。耕层由于长期灌溉含硼井水而累积硼,同时又可能因有机质较多对硼的吸附而使水溶性硼含量增高。180—200厘米处则可能因接近被污染的地下水,由于毛管作用而易于富集水溶性硼。80—100厘米处介于地面灌溉与地下水毛管作用范围中间,水溶性硼含量因而明显降低。经大量清水淋洗半年后,2米土层中硼含量降至0.60—3.20毫克/公斤,变幅明显缩小。再过一年后,硼含量又降至0.02—1.53毫克/公

斤,与浐河上游非污染区同种土壤 2 米土层中水溶性硼含量 0.09—1.00 毫克/公斤相近(图 1)。其原因可能是土壤溶液中的 BO_3^{3-} 、 $\text{B}_2\text{O}_4^{2-}$ 和 BO_2^- 等离子与带负电荷的土壤胶粒之间的吸附力极弱,很易被不含硼的水淋洗掉。为了验证这一结果,我们以含硼量为 5—30 毫克/升的 6 种浓度和 1—90 毫克/升的 11 种浓度的硼酸溶液分别对粉砂壤质的白善土和砂壤质的沙土作吸附试验,测定土壤对硼的吸附性能,结果每 100 克土壤对硼的吸附量分别仅为 0.06—0.23 毫克当量和 0.04—0.41 毫克当量。据 R. Levi-Minzi 等人试验^[1],对镉的吸附量 100 克土壤可达 12.09 毫克当量。土壤对硼的吸附量仅为对镉的吸附量的 0.3—3.4%。这些含硼阴离子不易被土壤、更不易被砂砾卵石层吸附,因此能随地下水流向迅速扩展。换言之,含硼阴离子和土壤颗粒之间吸附力极弱是硼对浅层地下水污染扩展的内在原因,透水性强的砂砾卵石层是硼污染扩展的外界条件。

西安地区土壤水溶性硼背景值在 0.02—2.48 毫克/公斤之间,平均约为 0.49 毫克/公斤,较陕西关中地区黄土母质发育的塬土、黑垆土水溶性硼含量 (0.10—0.40 毫克/公斤,平均约为 0.29 毫克/公斤)^[2]明显增高,变幅增大。这可能与几千年来耕作、施肥和近 30 年来污水灌溉面积逐年扩大有关。

河漫滩或一级阶地一带的沙质土壤和山地砾质土壤以及塬坡土壤一般水溶性硼缺乏,可能与土壤质地和地形地势有关。在试验推广硼素微量元素肥料时应优先考虑在这些土壤上进行。

据有关资料报道,土壤水溶性硼含量与有机质含量有关^[3]。西安城郊蔬菜区和北郊污灌区,长期施用人粪尿等有机肥料或用污水灌溉农田,一般土壤有机质含量较丰富。例如种菜近百年的何家村菜园土和污灌近 30 年的汉城黑油土,耕层土壤有机质含量分别为 2.51% 和 1.94%,水溶性硼分别高达 1.23

毫克/公斤和 2.48 毫克/公斤。然而,并非在任何情况下,土壤水溶性硼含量与有机质含量均成正相关。例如黄泥和黑泥耕层土壤有机质含量分别为 2.16% 和 1.74%,水溶性硼含量竟都低于 0.02 毫克/公斤。这是因为黄泥和黑泥分别属草甸水稻土和沼泽水稻土,地下水埋深 1 米左右,长期由于灌、排而处于干湿交替状态中,各种水溶性硼酸盐随水流失和淋失。所以耕层土壤中水溶性硼含量很低。因此,判断土壤中有机质含量与水溶性硼含量的关系,应充分考虑其耕作条件和水文条件等因素的影响。

土壤 pH 值与水溶性硼含量尚未发现明显相关。这可能是因成土母质和土壤种类不同之故。

二、硼污染对农作物的危害 及其在植物体内的积累

硼污染区的农作物因长期利用高含硼量的浅井水灌溉而受到不同程度的危害,严重时则绝收。例如用含硼量 5.4—11.1 毫克/升的井水灌溉番茄 5 次,每次每亩约 40 立方,番茄从中部小叶尖端开始枯黄,逐渐发展至整个叶缘变黄,最后全株萎蔫。此时耕层土壤中水溶性硼已达 11.30 毫克/公斤。

硼污染区农作物植株中硼含量远高于非污染区。不同作物或不同受害程度植株含硼量相差较大。例如轻度受害的大青菜含硼量为 18.1 毫克/公斤,严重受害的增至 52.0 毫克/公斤,而非污染区正常生长的大青菜含硼量只有 1.8 毫克/公斤。番薯和梅豆茎叶中含硼量分别达到 56.7 毫克/公斤和 103.3 毫克/公斤时则绝收。

为了探索硼对农作物有益与有害的临界值,我们进行了梅豆的盆栽土培试验,设 10 个处理,重复 5 次,生育期间以不同含硼量的水灌溉 7 次,每盆总量为 6.2 升。从图 2 和表 1 可看出,灌溉水中含硼 0.1—1.0 毫克/升对

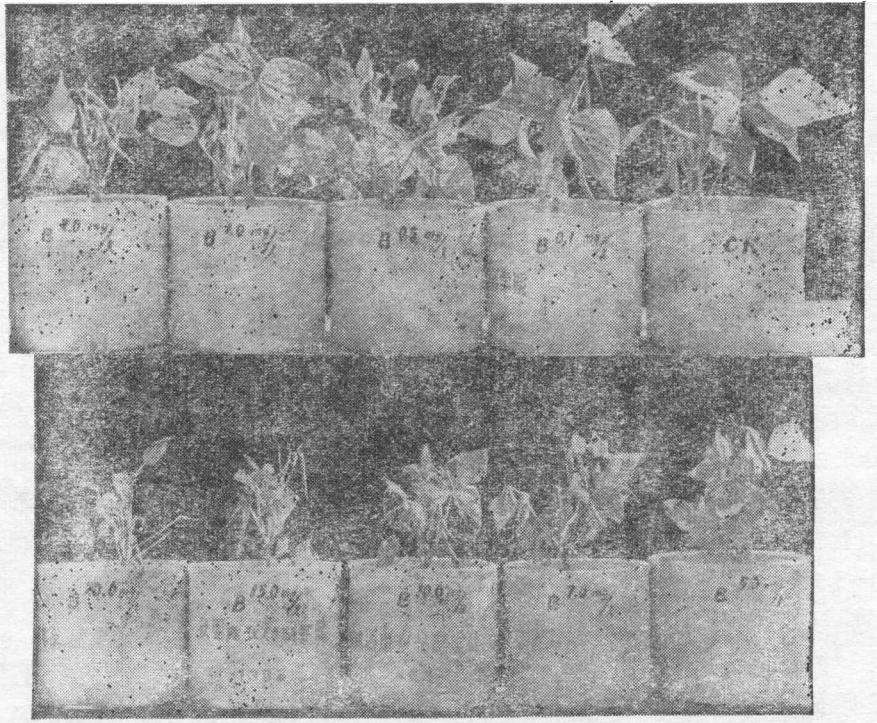


图 2 硼对梅豆的影响

表 1 硼对梅豆的影响

灌溉水中硼含量 (mg/l)	0.1 (CK*)	0.5	1.0	2.0	5.0	7.0	10.0	15.0	20.0
梅豆荚平均产量 (g/盆)	11.34	11.70	13.48	11.56	10.54	9.86	6.38	6.28	5.58
±(g)		+0.36	+2.14	+0.32	-0.80	-1.48	-4.96	-5.06	-5.76
%	100.0	103.2	118.9	102.0	93.0	86.9	56.3	55.4	49.3
梅豆荚中硼含量 (mg/kg)	1.71	2.54	2.44	2.59	4.06	3.95	4.82	9.33	
±mg/kg		+0.83	+0.73	+0.88	+2.35	+2.14	+3.11	+7.62	
%	100.0	148.5	142.7	151.5	237.4	225.1	281.9	555.6	

* CK 为不浇含硼灌溉水处理,梅豆荚每盆平均产量为 8.96 克。

梅豆生长有不同促进作用,叶宽且深绿;10—20毫克/升则有明显的抑制作用和毒害作用,主要表现为从老叶边缘开始呈现较规则的黄褐色,整个叶片伴有黄褐色斑,逐渐扩展以至全株除少数嫩叶外均干枯,与田间观测的现象相同。灌溉水硼含量 0.5—2.0 毫克/升,梅

豆荚中硼含量较对照增加 0.5 倍左右,表现出一定的增产作用;灌溉水硼含量 5—15 毫克/升,梅豆荚中硼含量较对照增加 1.3—4.6 倍,已明显出现受害症状,产量显著下降。这说明硼在植株体内的富集作用是相当强的。小麦、黄瓜、番茄的盆栽试验表现出同一趋

势：随灌溉水中硼含量的增加，植株中或植株各器官内硼的含量也相应增高。

过量硼危害农作物的症状，一般是从叶尖开始变黄，逐渐延及叶缘，最后扩展至整个叶片，老叶和功能叶表现尤为明显。

植株不同器官中硼的累积量有较大差异，叶片中硼的累积量远大于其它器官。根、茎和成熟果中硼的累积量相差不大，幼果中硼的累积量明显高于成熟果。例如以 10 毫克/升的水灌溉番茄，番茄老叶含硼量高达 722.5 毫克/公斤，根、茎和成熟果分别为 77.6、50.8 和 49.0 毫克/公斤，而幼果则为 128.6 毫克/公斤。此时，土壤中水溶性硼含量达 6.10 毫克/公斤。

硼在叶片中的累积量随叶龄增长而相应增高，一般为老叶 > 功能叶 > 幼叶（图 3、图 4）

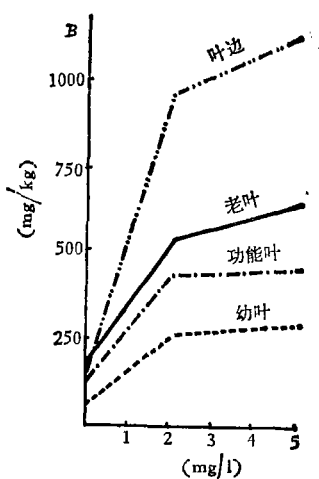


图 3 黄瓜叶片中硼的累积

硼在叶片中的分布是很不均匀的，叶边明显高于叶心。叶边是过量硼对植株危害症状出现最早的部位，也是硼积累最多的部位。例如以 5 毫克/升的水灌溉黄瓜，黄瓜叶边含硼量高达 1145.0 毫克/公斤，叶心则为 384.0 毫克/公斤。叶边与叶心硼含量之比为 3.0。此时土壤中水溶性硼含量为 3.05 毫克/公斤，而对照黄瓜叶边和叶心硼含量分别为 144.2

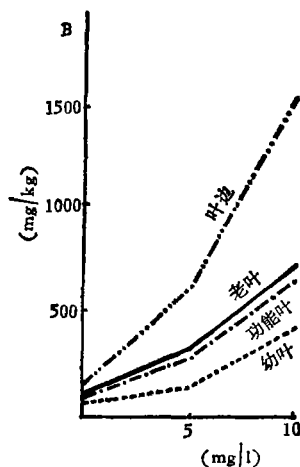


图 4 番茄叶片中硼的累积

毫克/公斤和 92.8 毫克/公斤，叶边与叶心硼含量之比为 1.6。土壤中水溶性硼含量则为 1.80 毫克/公斤。

三、硼污染参考标准的拟定

对于灌溉水中硼含量，目前国内尚无统一标准。根据有关资料^[4]，暂定低于 1 毫克/升为合格的农田灌溉水。在污染区实地调查、定位观测和盆栽试验表明，19 年来用含硼量低于 1 毫克/升的水灌溉的农田，耕层土壤水溶性硼含量在 0.55—1.28 毫克/公斤之间，农作物并未发现受害症状。因此我们认为这一标准是适宜的。

根据不同作物对硼敏感程度的差异，又可制定不同作物的灌溉水硼标准。美国灌溉水水质标准和我国某些水质参考标准中都曾根据不同作物规定硼含量的允许浓度^[5]。如美国灌溉水硼标准中，将农作物分为三大类，硼浓度分为五个等级；我国有关资料中，也将硼标准分为三类：果树 1.0 毫克/升，谷物 2.0 毫克/升，蔬菜 3.0 毫克/升。这些硼标准中，对蔬菜的允许浓度均高于谷类作物。我们根据污染区的调查观测和盆栽试验认为，蔬菜灌溉水硼的允许浓度应低于谷类作物，其根据是蔬菜在整个生育期内比谷类作物的需水

量大、灌溉次数多,由灌溉水进入土壤和植株的硼的总量就大。如小麦生育期为 240 天左右,一般灌水 3—4 次,每次每亩约 30 立方,总灌水量约为 100 立方;番茄生育期为 210 天左右,一般定植后灌水约 17 次,每次每亩约 40 立方,总灌水量约为 680 立方,较小麦大 5 倍多。污染区中多年灌溉高含硼量的井水后,小麦地和番茄地耕层土壤中水溶性硼含量,前者为 5.20—8.90 毫克/公斤,后者为 10.90—11.30 毫克/公斤。小麦受硼害症状轻微;番茄则明显受害以至绝收。所以,在制定灌溉水含硼标准时,蔬菜的允许浓度应低于谷类作物,最高不能大于 2 毫克/升。

根据实地调查和定位观测,并分析西安地区的各种土壤水溶性硼含量和作物生长情况,参照有关资料^[6],暂定耕层土壤水溶性硼含量大于 4.50 毫克/公斤者为毒害级;2.50—

4.50 毫克/公斤者为过量级;0.50—2.50 毫克/公斤者为一般级;小于 0.50 毫克/公斤者为缺乏级^[7]。这是一种概略性划分,尚有待于进一步根据作物种类及其对硼的反应,并且连同土壤条件尤其是其它营养元素的供应水平,综合地加以考虑并逐步完善。

参 考 文 献

- [1] R. Levi-Minzi 等,土壤学进展,2,36(1979).
- [2] 中国科学院南京土壤研究所,中国土壤,408 页,科学出版社,1978 年.
- [3] 刘铮,土壤中的硼,中国科学院微量元素研究工作会议汇刊,92 页,科学出版社,1964 年.
- [4] 西安市环境保护研究所,标准资料汇编,61 页,1963 年.
- [5] 《公害与农业》编译组:公害与农业,111 页,石油化学工业出版社,1976 年.
- [6] 刘铮,同 [3],90 页.
- [7] 郑泽群等,土壤通报,6,40(1980).

土壤背景值的频数分布与统计方法*

杨 国 治 杨 学 义

(中国科学院南京土壤研究所)

统计土壤环境背景值的目的是,为了推断一个地区或某种类型土壤背景值的正常范围。近年来,由于环境科学的迅速发展,已经取得了不少环境背景值数据,但现在尚无统计数据的统一方法。目前统计背景值常用的方法是“算术平均值±标准差”,这个方法用于统计正态分布或接近正态分布的数值时,是一个很好的方法。但是不顾背景数值属哪一种分布类型,一律用只适于正态分布的统计方法去计算是不合理的。土壤环境背景数值除了正态分布或近似正态分布外,还有大量偏态分布。因此,应该根据数值的分布类型进行统计,才能得出反映客观实际的背景

值。为此需要探讨分布类型的鉴别方法和适用于不同分布类型的统计方法。本文是在总结中国科学院土壤背景值协作组近几年工作经验的基础上完成的。

一、频数分布类型的鉴别

关于鉴别分布类型的方法,若月利之^[1]及唐诵六^[2]等已有报道。主要有 χ^2 法,偏度、峰度法和图示法等。前两种方法的优点是经过计算有量的概念,但是,计算过程比较繁杂。图示法缺少量的概念,可是有简便易行

* 本文蒙唐诵六同志指导,特致谢意。