

硼污染与农业

高寿岩 编著

科学普及出版社

X5/35V

农业环境保护科普丛书

硼污染与农业

商寿岩 编著

科学普及出版社

内 容 提 要

本书为《农业环境保护科普丛书》之一，重点介绍 镉污染等 有关农业环境保护方面的知识，对农业环境保护的基本概念，农业环境污染的严重性和如何治理等作了适当介绍，此外，书中还论证了镉对农业生态系统的双重作用：在缺镉条件下是有益的过量，是有害的。

本书内容扼要，通俗易懂，可供农业环境保护工作者、农村基层干部和广大农民参考。

农业环境保护科普丛书

镉污染与农业

商寿岩 编著

责任编辑：张春荣

封面设计：范惠民

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京燕山印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：1.625 字数：35千字

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

印数：1—2000册 定价：0.70元

ISBN 7-110-00768-5/X·7

目 录

一、硼对农业环境污染危害的严重性.....	1
二、硼的污染源.....	4
三、硼对水体的污染.....	8
四、硼对土壤的污染.....	14
五、硼污染对农作物的危害.....	22
六、硼对人体健康的影响.....	36
七、环境中的硼标准.....	40
八、硼污染的防治.....	44

一、硼对农业环境污染危害的严重性

硼对农业生态系统的作 用表现出一种辩证关系。一方面，它是植物生长发育所必需的营养元素，缺少它就会出现缺硼的病害；另一方面，当环境中的硼太多，超过了植物本身的需要量时，就会和其它元素的过量一样，产生危害。在这种条件下，硼对植物的作用性质就由“营养元素”转化为“污染物”了。以北方一个硼污染区的实例来说明硼污染后果的严重性：该地区原来是一个水土条件很好的农业区，有丰富的浅层地下水作为灌溉水源，粮食、蔬菜产量较高。因水质优良，城市供水的水源地就设在这里。从1963年开始发现蔬菜生长不良，叶片上出现黄褐斑，叶子枯黄，严重时干枯死亡。最初以为是受旱，加强灌水，结果越灌症状越明显，加速了干枯死亡。因找不到原因，无法治理，致使受害范围不断扩大，受害程度逐渐加深，使一万亩面积的农作物受到影响，最严重时，曾使一个村的全部夏季蔬菜绝收。给该地区造成的经济损失超过100万元。经过为时3年的系统调查研究和分析化验，才确定是由于该地区的浅层地下水被大量含硼工业废料——硼泥污染所造成的。该地区浅层地下水的硼浓度，最高达到37.6毫克/升，用浓度这样高的含硼水灌溉农田，使农作物受害。当人畜饮用这种高浓度的含硼水后，出现“硼肠炎”，危及健康，严重时引起大牲畜的死亡。

硼对农业环境的污染严重后果表现在农作物的受害减产（甚至绝收）和人畜健康被损害。这种后果是在什么条件下

产生和通过什么途径进行的呢？研究表明，过量硼的来源是生产含硼化工产品化工厂大量排放的硼泥，硼泥中含有高浓度的水溶性硼，这些水溶性硼大量积累在水体和土壤中，远远超过了农作物的正常需要量；被农作物过量吸收后，产生危害作用。因为硼对人和家畜家禽并不是生活中必需的物质，当饮用水中硼浓度很高时，就必然干扰和破坏人畜的正常生理机能，危害健康了。在这种条件下，我们不再把硼称为微量营养元素了，而把它称为“污染物”。污染物的发源地，称为“污染源”。硼污染对农作物和人畜健康的危害途径是从污染源开始，通过地表水（如河流）——地下水——土壤——农作物等农业生态系统的各个环节，迁移和转化，最后在农作物体内和人畜体内积累而产生危害的（如图1）。

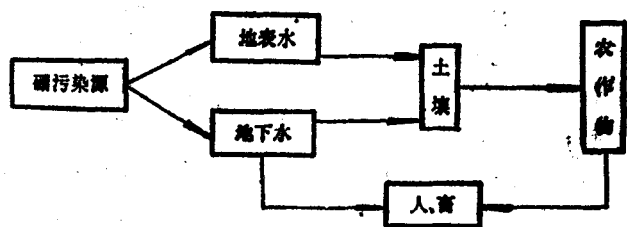


图 1 硼的污染途径

从硼污染给农业生产造成危害的严重后果中，给我们一个很重要的启示是，在农业生产的各个环节中，都要密切注意农业环境条件与农作物的相互影响，从这些影响中分析它们之间在什么条件下对农作物生长发育有利，然后通过一系列的农业技术措施，尽量创造这些条件，从而使农作物增产。哪些条件对农作物的生长发育不利，我们就在农业技术

措施上尽量避免这些条件，使农作物免受不利因素的损害。尤其在现代工业发展的情况下，大量的工业“三废”排放到环境中去，其中有相当一部分有害物质在农业环境中积累，对农业生态系统产生危害。在这种情况下，如果我们缺乏环境保护的科学知识，仅仅从传统的农业措施上找受害原因，往往效果不佳。硼，在传统的农业科学技术上，早已证明它是农作物必需的微量营养元素，施硼肥可以对多种农作物起增产作用。一般情况下，不会认为硼是污染物的；因此，当硼污染发生后，人们曾误认为硼危害症状是“受旱”，结果越强灌溉，进入土壤和农作物中的硼越多，受害程度越加严重。70年代后期，农业科研部门 and 环境保护科研部门的科学工作者互相协作，从农作物与环境的作用中调查、试验，经过几年的研究，查清硼不仅是农作物必需的营养元素，而且可能在环境中积累，污染农业环境，它给农业生产造成的损失并不亚于其它污染物。

二、硼 的 污 染 源

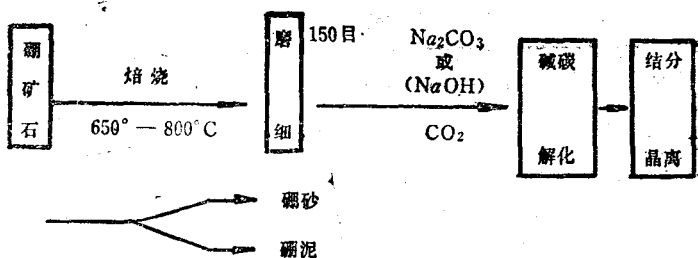
我们在日常生活中对硼并不十分生疏，在工农业生产中经常要接触到含硼的化合物，如硼酸和硼砂是用途广泛的含硼物质。钢铁中加入微量的硼可以制造合金钢，改善金属材料的机械性能；搪瓷工业中将硼加入釉药中可以降低熔点；玻璃中加入硼可提高耐热性；医药卫生方面用硼酸作消毒剂；国防工业上用硼制造高能燃料等。

在制造这些含硼物质的过程中，不可能把原料用的十分完全，总会有一部分含硼物质随废物排放掉。工业生产是连续进行的，每天都在生产，每天都在排放废物，日积月累，这些废物的排放数量是很大的，而且集中排放在一定的地方，使这个地区的硼过量的积累，成为硼的污染源。现以用量最多的硼化合物——硼砂和硼酸的生产为例来说明硼污染源。

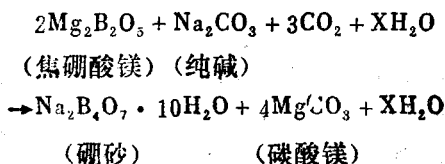
硼砂，化学名称为四硼酸钠，分子式 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，硼酸，分子式 H_3BO_3 ，它们都是易溶于水的晶体。制造硼酸和硼砂的原料是各种含硼的矿石。我国是富有硼的国家，西藏就有天然硼砂矿，是生产硼酸和硼砂的优质原料。含硼化合物和硼矿石中硼含量是折合成三氧化二硼（ B_2O_3 ）计算的。如硼砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，它的分子量是381，纯硼砂中含 B_2O_3 为36.5%。目前已知含硼矿石有一百多种，用于生产的主要含硼矿物和它们的含硼量见下页。

硼矿石名称	含 B_2O_3 %
硼镁石 ($Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$)	40.4%
水方镁石 ($CaMgB_4O_{11} \cdot 6H_2O$)	50.5%
钠硼解石 ($NaCaB_3O_6 \cdot 8H_2O$)	43.0%
硼镁铁矿 ($(MgFe)_2 \cdot Fe(BO_3)_2$)	16.0%
硼钾镁石 ($KMg_2B_{11}O_{19} \cdot 9H_2O$)	59.9%
硅钙硼石 ($CaBSiO_4(OH)$)	21.8%

硼矿石制取硼砂的工艺过程主要经过以下几道工序：



硼矿石以硼镁石为主，除含有硼外，同时含有大量的镁和铁等其它元素。在制取硼砂时，要将其中的硼提取出来。但硼矿石中的硼不溶于水，先将硼矿石在650—800℃的温度下进行焙烧。焙烧后使硼矿石中的氧化硼和氧化镁变成焦硼酸镁，分子式为 $Mg_2B_2O_5$ ，将焦硼酸镁磨成细粉，其中的硼就可以和碱溶液起化学反应，这个反应过程称为碱解。碱解后生成的产物是偏硼酸钠，分子式为 $NaBO_2$ ，再通入二氧化碳，这个反应过程称为碳化。经过碳化使偏硼酸钠转化为四硼酸钠，即硼砂。总的化学反应方程式为：



经过结晶分离，成品是结晶的硼砂（四硼酸钠）含有10个分子的结晶水。分离后剩余的其它物质都以泥浆状态作为废料排放掉，这就是硼泥。

硼泥中主要成分 是大量的碳酸 镁和氧化铁、二氧化硅等。没有完全结晶出的硼砂和矿石中没有反应完全的三氧化二硼也含在硼泥中。

硼泥中各种成分和含量如表1。

硼泥中主要成分含量表

表 1

成分	硼砂	碳酸镁	氧化铁	二氧化硅	不溶性 三氧化二硼	碳酸钙	氧化铝
含量%	1	60	10	20	2	5	1

硼泥中占绝大部分的碳酸镁、二氧化硅、氧化铁、碳酸钙和氧化铝等是难溶于水的固体物质，一般不会对农业环境产生很大的危害作用，而只占1%的硼砂易溶于水，是产生硼污染的主要物质。对于硼泥来说，水溶性的硼砂只占1%左右，数量是很小的，但工厂大量生产硼砂后所排出的硼泥的数量很大，据不完全统计，我国硼砂的年产量约为70000吨，每生产一吨硼砂要排放4.5吨硼泥，每年要排放31.5万吨硼泥，其中含有3150吨硼砂。硼泥中约占2%的三氧化二硼并不是完全不溶解，只是在水中的溶解度较硼砂低，但在碱性条件下溶解度增加。将这么多的水溶性硼排入环境中，对水体、农作物和人体健康的影响是相当严重的。

需要说明的是，工厂排放硼泥，其中成分的数量是以百分数计算的，但对于环境影响的效果，如对环境的影响，其含量是以ppm计算的，1ppm表示百万分之一，两者相差一万倍。硼泥中1%的硼砂等于10000ppm，其中含纯硼2150ppm。

如果将这样的硼泥排入水中，稀释 100 倍以后，水的含硼浓度仍达 21.5ppm，这样的水如用于农田灌溉，或作为饮用水，都将产生明显的危害作用。

硼泥是一种微碱性的赭红色泥状物质，湿容重 2100 公斤/米³，干容重 1600 公斤/米³。排放时加压从管道排入河流或地面堆放。由于硼矿石含硼量的不同和工艺过程中操作技术和管理水平的不同，硼泥中成分有一定幅度的变化。通过企业的挖潜革新和加强管理可以有效地提高原材料的利用率，减少资源的浪费。

三、硼对水体的污染

水在人们生活中的重要性，大家早已熟知，对于农业生产更是如此。一切农业生物都离不开水，不但需要充足的数量供应，还要求良好的质量标准，这样才能保证生物体生命活动的正常进行，保持农业生态的平衡。

河水、湖水和地下水等水体如果作为灌溉水源，污染物质超过一定量时，将妨碍农作物的生长发育和影响农产品的品质，如含有高浓度三氯乙醛的污水灌田后，可使大面积的小麦颗粒无收；被重金属镉污染水灌田后可产生“镉米”，经常食用这种米可使人患“骨痛病”；被硼污染的水灌田后可使多种农作物受害减产，严重时颗粒无收。

在以往很长的时间里，人们曾经把水认为是自然界中取之不尽、用之不竭的。随着环境污染问题的出现，严重的事实说明，水源和其它物质资源一样，是一种十分可贵的物质财富，也是有限的。在人们生产和生活中应该珍惜它，保护它。我国目前在水资源方面，一方面出现水源不足，如北京、天津、上海等大城市已出现供水不足，淡水资源短缺，地下水位下降，工农业和生活用水紧张；另一方面水体污染严重，全国每天各种污水排放量达1亿吨，绝大部分未经任何处理排入江、河、湖、海，其中含有汞、镉、铬、铅、砷等重金属，酚、氰、氟化物、氯化物、多氯联苯、多环芳烃、油类、酸、碱等多种有毒和有害物质，使很多河流、湖泊等受到程度不同的污染。有的河流已变成臭水沟和下水

道，如上海的苏州河、黄浦江，西安的皂河，已成为名符其实的排污渠。

农业环境中水的来源主要是河水，湖水和地下水（井水）。海水是海产品的主要生长环境，一般不能作为灌溉水源。水中硼的含量对农作物和水产品的影响是很大的。灌溉水中含有微量的硼对于农作物吸收硼营养是有利的，但浓度过高就会使农作物受害，所以对于灌溉水要控制一定的含硼浓度，才能保证农作物的正常生长发育。有人研究，如果能使灌溉水经常有0.01ppm的硼，就可以满足大多数农作物的需要，如果硼浓度高于0.75ppm（毫克/升）就有可能对一些敏感的作物带来危害。目前研究资料还没有证明动物的生长发育过程中必需硼。海水中硼含量较高，可达4.5毫克/升。并不影响水生生物的生长发育。河水，湖水硼含量较低（盐湖硼含量要比淡水湖高）。

水具有很强的流动性，可以水平运动如黄河、长江，可以流经数千公里。河流，湖泊和降水又可垂直渗透，渗入地下，补给地下水。河流，湖泊等统称地表水，井水、泉水等埋于地下的水统称地下水。

由于地层结构的不同，地下水埋藏的深度在不同地区变化幅度很大，而且可以分成若干层次。距地面最近的，埋深较浅的地下水称为浅层水，浅层水以下的为深层水（又称承压水）。地表水和地下水都是农业灌溉的重要水源（图2）。

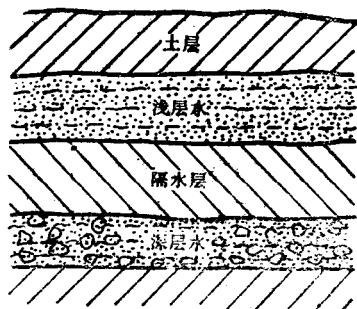


图2 地下水状况示意图

水具有良好的溶解性，可以溶解多种物质，被溶解的物质随着水的运动而迁移转化。在运动的历程中一旦遇到污染物质，就可将这些物质溶解在水中，随着水的运动，使污染范围不断扩大。当硼泥排入河流中时，它所含的硼就会随即溶解在河水中，使河水硼浓度增高，随水流动，污染下游。引入农田灌溉后，使农作物受害。河水下渗后补给浅层地下水，进而使浅层地下水也受到污染。硼泥中大量的钙、镁的盐类排入河流，使河水硬度增高，固体物质增加，淤塞河道（图3）。

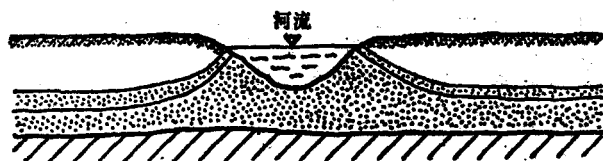


图 3 河流对地下水补给示意图

溶解在水中的硼，大部分是以硼酸盐、四硼酸盐和偏硼酸盐的形式存在的。硼存在于这些盐类的酸根中，它们的化学符号分别为 BO_3^{3-} 、 $\text{B}_4\text{O}_7^{4-}$ 、 BO_2^- ，这些含硼的酸根都是带负电的阴离子，当将硼泥直接埋入地下与浅层地下水接触后，一方面很容易溶解在水中，同时，土壤颗粒对硼的吸附力很弱，容易通过土层，随着地下水的流动，把污染范围不断地扩大。

埋入地下的硼泥对地下水的污染危害程度一般比直接排入河流对地表水的污染严重。河流的水量较大，流动的速度较

快，可把排入的硼泥稀释，但地下水水量和流速比河流要小得多，大量的硼泥浸泡在地下水中，持续不断地溶解出硼，随地下水扩散，结果使被污染的地下水硼浓度大为增高，距污染源较近的地下水浓度可超过100毫克/升，用这样的水作为灌溉水源，任何农作物也无法生长，人畜更不能饮用了。由于大量的硼泥不易清除，同时地下水的稀释自净能力很弱，污染危害的时间可持续几十年，甚至上百。采取地面堆放方式排放的硼泥，不但要占用大面积土地，长期的仍可使硼随降水淋溶下渗污染地下水（图4）。

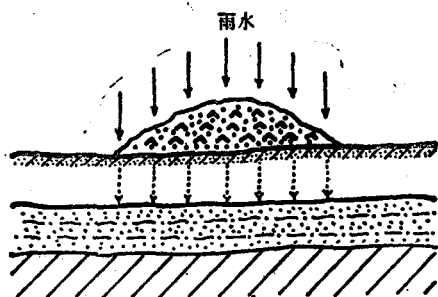


图4 地面堆放硼泥对地下水的影响示意图

地下水和河流一样，也从一个方向流向另一个方向，称为流向；也有一定的速度称为地下水的流速，但它的流速比河水的流速要低得多。被污染的地下水随着流动方向把污染物带到下游，使污染范围不断扩大。地下水流动的速度快时，污染范围蔓延就广；反之，污染范围就比较小。大家都知道，河流是从高处往低处流的，地下水也是从高处往低处流的。高差越大，地下水流动的速度也就越高。如果一定距离内地势比较平缓，高差较小，流动的速度就比较低。地下

水流动与地表水流动时一个显著区别是：河流等地表水流动时可以自由流动，一般不受很大的阻力，但埋在地下的地下水是在土壤、砂石和岩石的空隙中流动的，河流附近的浅层地下水，因地层多为砂砾卵石层，间隙大，透水性强，可使地下水流动的畅快；如遇到粘土层，质地很细，水流不易通过，就使地下水流速大为降低。

在硼污染区内我们还观察到这样的现象：抽取被硼污染的浅层地下水灌溉农田时，如果很长时间没有抽水，开始抽水的前几小时井水含硼浓度并不很高，随着抽水时间的延长，硼浓度逐渐增加，增加到一定浓度以后才逐渐稳定下来。夏天农田用水量大，抽取时间长，硼浓度上升的快，秋天以后，随农田用水量的减少，浅层地下水硼浓度也就相应降低了。出现这种现象的原因是因为当用水量少时，浅层地下水的水位较高，储水量较大，流动速度较小，含硼浓度就较低；当用水量加大后，许多井都在抽水，使地下水流速加大，由污染源来的硼的数量也随之增加，速度也加快，结果使含硼浓度增高。在这种情况下，如果我们没有关于地下水污染的知识，可能误认为作物受害是干旱造成的，试图以多灌水的措施来改变受害面貌，结果越灌受害越严重，造成了恶性循环的局面。

浅层地下水被污染以后，可能继续污染深层水。浅层地下水如果与深层水之间没有很好的隔水层，被污染的浅层水就会通过空隙渗入深层水，但一般情况下浅水层与深层水之间距离较大，如再有较好的隔水层（如质地细小的粘土层）不会大量渗入深层水而继续污染深层水。

地下水是十分宝贵的资源。饮用水、农业灌溉用水和工业用水等多方面的水源都取之于地下水。地下水埋藏在地

下，水质比较好，但一旦被污染后，因它的净化能力很弱，在很长时间里不能得到恢复，给工农业生产和人民生活带来很大损害。值得注意的是，目前农村乡镇企业发展后，很多企业没有良好的排水条件，把废水排入溶洞、地裂隙和渗坑渗井中。这样会直接造成地下水的污染，后果是很严重的。所以我国环境保护法明确规定“严禁使用渗坑、裂隙溶洞或稀释办法排放有害废水，防止工业污水渗漏，确保地下水不受污染。”