声明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街１８号楼

邮编：100026

电话：010-64194921　010-65005894

E-mail：lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

土壤污染及其鉴别监测方法

史崇文　王久志　主编



农业出版社

内 容 简 介

本书系统、扼要地介绍了土壤的基本理化性质，土壤主要污染物质及其迁移转化规律，以及污染物对农作物的危害。详细地介绍了土壤污染物的各种鉴别方法，其中包括植物诊断方法（叶片诊断、组织液诊断和可食部分诊断）和土壤鉴别方法（根据土壤外部特征、土壤标准和土壤临界浓度鉴别）。为了便于土壤污染鉴别的监测分析工作，本书还介绍了有关土壤分析和植物分析方法。这些方法都有一定的实用性。

本书可作为环境、土壤、农业、环境卫生等科技工作者的实用书籍，也可供有关院校师生阅读和科技管理人员参考。

土壤污染及其鉴别监测方法

主　　编　　史崇文　王久志
编　　者　　郭郁兰　马玉珍　张永平
　　杜丽星　宋健民

农 业 出 版 社

前　言

土壤是重要的环境要素之一，是生态系统物质交换和能量循环的中心环节，它与人类的生存息息相关；同时土壤又常常受到各种废弃物和化学物质的侵扰而成为污染物结集的场所。当进入土壤中的各类污染物质超过土壤自净能力或土壤容量时，土壤则失去了它本来的功能而成为污染物的贮库，此时土壤便受到污染。

随着现代工农业生产的发展，废水、废气、废渣的不断排入，使土壤污染的面积逐渐扩大，污染程度也日益加重。例如：美国每年约有1.3亿t废弃物排入农地，致使当地土壤受到严重污染；德国在一些金属冶炼厂附近的土壤中，铅、锌含量分别达到300—2900mg/kg和1800—14300mg/kg，生长在这种土壤上的植物铅、锌含量分别为正常植物的80—260倍和26—800倍，从而造成对人畜的危害；日本由于工业废水灌溉农田，造成18.8万公顷土壤污染，被污染土壤上生产的大米含镉甚高，有的高达1mg/kg以上，人们食用这种高含镉的“镉米”而罹患骇人听闻的“痛痛病”。在我国，据对11个省市的调查，土壤镉污染面积至少有16万亩，汞污染面积已达48万亩，其它如砷、铅、铬污染也有发现，但面积较小。

众所周知，土壤一旦遭到污染，其治理是十分困难的。这是因为：一方面土壤中的某些污染物能够通过大气扩散、植物迁移和随水下渗而导致大气、食物和地下水的次生污染，从而给人体健康带来危害；另一方面某些污染物（如重金属）由于与土壤的复杂作用可能会长期残留而难以消除。对我国这样一个人均耕地面积很少（为美国的1/8、前苏联的1/7和印度的2/3）的国家来

讲，土壤资源更为宝贵。保护有限的土壤使其免受污染，是造福子孙的百年大计。

然而，土壤污染不像大气和水体污染那样易于识别和治理。当土壤已经遭受污染，特别是轻度污染时，往往不易引起人们的察觉，即使土壤已经受到严重污染（作物生长受阻、甚至死亡），也很难从土壤外观上作出正确的判断。土壤污染的不易察觉和鉴别，也许是污染程度日益加重的原因之一。

至今，尚无系统介绍有关土壤污染与鉴别的书籍出版，但是，我国许多环境和土壤研究者在土壤污染方面做了大量研究工作，并积累了丰富的资料。将现有资料总结成册，即《土壤污染及其鉴别监测方法》，试图对土壤污染调查与评价、土壤污染与防治、土壤污染监测和土壤污染事故仲裁等项工作会有所帮助。出于这一目的，笔者编著了这本册子。编写本书的另一目的是使此书起到抛砖引玉的作用，期待有更加完善的此类书籍问世，一方面弥补本书之不足，另一方面使土壤污染与防治的研究更加活跃和深入。

由于编者水平所限，参考资料又不够全面，书中定有不妥甚至错误之处，恳请读者批评指正。

编　者

1993年9月于太原

目　　录

第一章　土壤的组成与性质…… …（1）

一、土壤的组成……（1）

1.土壤矿物质…… …（1）

2.土壤有机质…… …（3）

3.土壤水分与空气…… …（4）

4.土壤的化学元素组成…… …（5）

二、土壤的性质……（10）

1.土壤的物理性质…… …（10）

2.土壤的化学性质……（12）

3.土壤的物理—化学性质…… …（17）

4.土壤生态系统…… ……（19）

第二章　土壤污染…… …（21）

一、土壤污染类型……（21）

1.水污染型…… …（21）

2.大气污染型…… …（22）

3.固体废弃物污染型…… …（22）

4.农业污染型…… …（23）

二、土壤中污染物的迁移与转化……（23）

1.重金属在土壤中的迁移与转化…… …（23）

2.化学农药在土壤中的迁移与转化…… …（27）

三、土壤主要污染物质…… …（31）

1.汞污染…… …（31）

2.镉污染…… …（35）

3.铬污染…… …（39）

4.铅污染…… …（41）

5.砷污染……（44）
6.铜、锌、镍、钴、钼、锰、钒、氟、硒、硼污染……（47）
7.酚类、氰化物、石油、三氯乙醛污染……（54）
8.氮污染……（58）
9.硫污染……（61）
10.盐类（全盐量、碳酸盐、氯化物）污染……（64）
11.农药污染……（68）
第三章　土壤污染的鉴别方法……（70）
一、土壤污染的植物诊断……（71）
1.植物吸收过程……（71）
2.植物诊断方法……（75）
二、土壤污染的土壤鉴别……（88）
1.土壤污染与植物生长的关系……（88）
2.土壤鉴别方法……（91）
三、污染源分析……（97）
1.污染源调查……（97）
2.污染源监测……（99）
四、土壤环境质量评价……（101）
1.单种污染物单一污染指数计算法……（101）
2.多种污染物综合污染指数计算法……（102）
第四章　用于土壤污染鉴别的分析方法……（103）
一、土壤分析……（103）
1.土壤分析样品的采集与制备……（103）
2.土壤pH值的测定……（107）
3.土壤中铜、锌、镍、铅、镉的测定……（108）
4.土壤中铬、汞、砷、锰、硒的测定……（111）
5.土壤中挥发酚、氰化物、硫化物、氟化物和硼的测定……（119）
6.土壤中铵态氮和硝态氮的测定……（130）
7.土壤中全盐量和氯化物的测定……（134）
8.土壤中石油类、六六六和DDT的测定……（136）
二、植物分析……（140）

1.植物分析样品的采集与制备……(140)
2.植物样品水分测定……(144)
3.植物中铜、锌、铅、镉的测定……(146)
4.植物中铬、汞、砷的测定……(148)
5.植物中挥发酚、氰化物和氟化物的测定……(153)
6.植物中六六六和DDT的测定……(157)
附录1 土壤中主要污染物的污染源……(160)
附录2 中国土壤元素背景值……(161)
附录3 中国主要土壤类型某些元素背景值……(162)
附录4 植物中常见元素的一般含量……(164)
附录5 某些土壤和作物中的酚、氰含量……(165)
附录6 常用元素原子量表……(166)
附录7 标准筛孔对照表……(167)
参考文献……(169)

第一章　土壤的组成与性质

一、土壤的组成

土壤是陆地表面能够生长植物的疏松层，它由固体、液体和气体三相所组成。土壤固相的主要组成部分是土壤矿物质和土壤有机质，其中土壤矿物质是岩石风化后的产物，是土壤的骨架；土壤有机质包括土壤中的动植物残体、泥炭、腐殖质和各种简单有机化合物。土壤液相是指土壤水分，当水分进入土壤后，从土壤中浸出各种可溶性物质而转变为土壤溶液。土壤气相是指土壤空气，土壤空气的主要成分是氧气和二氧化碳。

1.土壤矿物质

土壤的矿物部分主要由原生矿物和次生矿物所组成，土壤矿物部分一般占土壤干重的95%左右。

（1）*原生矿物*　在岩石风化过程中，只遭受到机械破碎而未改变其成分和结构的矿物称为原生矿物。土壤中的原生矿物主要有以下各类：

氧化物类　主要是硅和铁的氧化物，如石英(SiO_2)、赤铁矿(Fe_2O_3)、褐铁矿($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)、磁铁矿(Fe_3O_4或$Fe_2O_3 \cdot FeO$)、针铁矿($Fe_2O_3 \cdot H_2O$)、多水针铁矿($3Fe_2O_3 \cdot 4H_2O$)、水铝石($Al_2O_3 \cdot H_2O$)、水铝矿或水碧土($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$)等。

碳酸盐类　主要有方解石($CaCO_3$)、菱铁矿($FeCO_3$)、白云石($CaCO_3 \cdot MgCO_3$)等。

磷酸盐类　主要有磷灰石[$Ca_5(Fe \cdot Cl)(PO_4)_3$]、蓝铁矿

〔$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$〕等。

硅酸盐类　主要有辉石〔$Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$〕、角闪石〔$Ca_2Na(Mg,Fe)_4(AlFe)(SiAl)_8O_{22}(OH)_2$〕、橄榄石（$Mg_2SiO_4$）、蛇纹石（$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$）、滑石（$H_2Mg_3Si_4O_{12}$）等。

铝硅酸盐类　主要有正长石（$KAlSi_3O_8$）、斜长石（$nNaAlSi_3O_8 \cdot mCaAl_2Si_2O_8$）、白云母〔$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$〕、黑云母〔$K(MgFe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$〕等。

硫化物和硫酸盐类　主要有黄铁矿(FeS)、石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）、硬石膏（$CaSO_4$）、芒硝（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$）等。

(2) *次生矿物*　在岩石风化过程中所产生的一些新的矿物，这些矿物是原生岩中所没有的，这种矿物称之为次生矿物或粘土矿物。土壤次生矿物主要有以下各类：

硅土类（SiO_2）　包括蛋白石、美蛋白石、玉髓、次生石英等，是铝硅酸盐与硅酸盐矿物在风化过程中游离出来的硅酸，经凝聚作用和固化作用而形成的。

次生铝硅酸盐类　此类矿物是由长石、云母、角闪石等原生矿物风化后形成的，主要有蒙脱石类、高岭石类和云泰石类（水化云母、伊利石）。此类矿物的共同特点是颗粒细微（$<0.001mm$），呈薄片层状结晶，在土壤中相当稳定，具有较强的吸附阳离子的能力，其吸附量为：蒙脱石类80—100m·e/100g，云泰石类20—40m·e/100g，高岭石类5—15m·e/100g。

三氧化物类　主要铁铝氧化物如Al_2O_3、Fe_2O_3等，是铝硅酸盐和硅酸盐矿物彻底风化后的产物。

(3) *土壤矿物的化学组成*　土壤矿物的化学组成，以SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、FeO、CaO、MgO、K_2O、Na_2O、P_2O_5、SO_2为主，其中SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3的成分最高，在一般土壤中可占到土壤干重的90%以上。土壤矿物中所含的各种化学元素约有数十种之多，其中以Si、O、Al、Fe、Mg、Ca、Na、

K、P、S等十种元素的含量最高，约占99%以上，其余元素含量甚微，其总和还不及1%。

2.土壤有机质

除土壤矿物质外，土壤有机质也是土壤固相的重要组成部分。土壤有机物主要是指：

新鲜有机质　主要是植物的根、茎、叶等残体在土壤中的残留物，以及施入土壤中的新鲜畜粪等。

泥炭　有机残体在缺氧的条件下，经微生物作用所形成的黑色或黑褐色物质，已经改变了原残体的形态。

腐殖质　有机物质经微生物的彻底转化后所形成的黑色和黑褐色的胶体物质，其与矿物质土粒紧密结合，不能用机械方法使之分离。腐殖质是改良土壤性质、供给植物营养的主要物质。土壤腐殖质的含量约占有机质的46—90%。

简单有机化合物　包括简单的糖类、氨基酸、脂肪等，数量很少。

以上各类有机物质，在耕作土壤中的一般含量为1—2%左右，自然土壤以及我国东北黑土中有机质含量要高的多。

有机质的组成成分主要是　①糖类与有机酸，包括有机残体中的单糖（果糖、葡萄糖）、双糖类（蔗糖等）和简单有机酸（草酸、柠檬酸等）。这些物质一般可溶于水，易被微生物分解为二氧化碳、氢和甲烷（CH_4）等。这些物质常会被水淋洗或散失，不易在土壤中积累。②淀粉、纤维素和半纤维素，这类物质属多糖类，后二者为植物有机体的主要部分，不溶于水，是土壤微生物的重要能源（土壤微生物利用分解有机质所释放出的能量维持自身的生命活动）和碳素来源。③木质素，是木本植物中含量最多的复杂物质，在化学组成上的主要特点是含有苯环，其抗化学分解和抗微生物分解的能力很强，比较稳定。④单宁、树脂、脂肪、蜡质，这类物质组成比较复杂，性质稳定，不溶于水。在土壤中可被微生物缓慢分解，其分解产物（芳香族化合物）进一步

参与腐殖质的形成。⑤含氮化合物，主要是蛋白质及其衍生物。这类物质易被土壤微生物所分解，分解后的产物是N、S、P、C、H、O、Fe等，与植物营养关系密切。⑥灰分物质，是有机质经灼烧后的残留物质。植物残体中灰分的平均含量约为5%左右，其中以K、Na、Ca、Mg、Si、P、S、Fe、Al、Mn、Cl等含量最多，其次为I、Zn、B、F以及几十种其它微量元素。

在土壤固相组成中，除了土壤矿物质和土壤有机质外，还有土壤微生物（细菌、真菌、放线菌、原生动物）。土壤微生物可以看作是土壤中的活的有机物，其数量庞大、繁殖极快。据计算，在1g土壤中微生物的数目可达数千万至数十亿个。如此庞大的微生物区系在土壤中进行着有机质的分解与合成，从而使土壤中复杂的有机化合物转化成简单的有机物和各种盐类，以供植物吸收利用。

3.土壤水分与空气

（1）土壤水分　土壤水分是土壤液相的组成部分，土壤水分含量随土壤的干湿程度而异，其范围一般为5—20%。土壤水分可分为如下几种类型：

①吸湿水　是土粒表面所吸附的一层很薄的水膜，土粒对这层水分的吸附力很强，可达10000大气压以上。吸湿水不能被植物吸收利用，通常在105℃的温度下才能从土粒表面脱离。土壤吸湿水的含量与土壤质地有关，砂土较低，粘土较高，一般占土壤干重的1—3%。

②膜状水　是在吸湿水外面的一层吸着水，土粒对膜状水的吸附力不如吸湿水大。膜状水可在土粒间移动，被植物根系缓慢吸收。植物在膜状水消耗完之前就呈现凋萎现象。

③毛管水　当土壤中的水分含量增加至使膜状水层加厚，以致部分水分能在毛细管孔隙内移动，这种状态的水分叫做毛管水。毛管水可分两种，一种是毛管上升水，是地下水沿毛细管上升并

充满毛细管的水分；一种是毛管悬着水，这种水分不与地下水连接，是靠毛细管的吸力所充满的水分。无论是毛管上升水还是毛管悬着水，都是植物能够吸收利用的主要水分状态。

④重力水　当土壤中的水分已经充满了全部毛细管孔隙，剩余的水分就会受重力作用而沿非毛细管孔隙向下渗漏，这种向下渗漏的水分即是重力水。重力水可被植物利用，但这种水分若长期存在，就会使土壤空气缺乏，对植物生长不利。

此外，经常扩散在土壤孔隙间的水蒸气，可称作土壤气态水。这种水分在土壤中的含量很低，一般不会超过土壤重量的0.001%。

(2) 土壤空气　土壤空气是土壤的重要组成部分，它与土壤水分同时存在于土壤孔隙中。在一般土壤空气中，N_2的含量为79.00%，O_2的含量为20.30%，CO_2的含量为0.15—0.65%（有时甚至会超过2%）。与大气的组成（N_2为79.01%，O_2为20.96%，CO_2为0.03%）相比，土壤空气的显著特点是CO_2的含量很高，可超过大气中CO_2含量的数十倍甚至数百倍；N_2的含量与大气接近，O_2的含量低于大气。造成土壤空气污浊（CO_2含量高）的主要原因是，土壤中植物根系与微生物的呼吸作用及有机质的分解过程中消耗了土壤中大量的氧气，在此过程中所放出的二氧化碳又不能及时更新所致。

4.土壤的化学元素组成

土壤中的化学元素来自于土壤母质，土壤母质是地球表面岩石矿物风化的产物。岩石矿物中含有元素周期表中绝大部分元素，所以土壤中化学元素的种类也十分繁多。到目前为止，能够定量检测的土壤化学元素已达60余种，它们是：

①造岩元素　K、Na、Ca、Mg、Al共5种。

②铁族元素　Fe、Co、Ni、Ti、Cr、Mn、V共7种。

③亲铜元素　Cu、Pb、Zn、As、Hg、Ag、Sb共7种。

④稀土元素　La(镧)、Ce（铈）、Pr（镨）、Nd（钕）、

表1—1　中国土壤元素组成及其含量*

元素		平均值	范围值
常见微量元素	Hg	0.040	0.006—0.272
	Cd	0.074	0.017—0.333
	Se	0.215	0.047—0.993
	As	9.2	2.5—33.5
	Co	11.2	4.0—31.2
	Cu	20.0	7.3—55.1
	Ni	23.4	7.7—71.0
	Pb	23.6	10.0—56.1
	Cr	53.9	19.3—150.2
	Zn	67.7	28.4—161.1
	V	76.4	34.8—168.2
	F	440	191—1012
	Mn	482	130—1786
稀土元素	Lu(镥)	0.35	0.19—0.62
	Tm(铥)	0.35	0.19—0.65
	Tb(铽)	0.58	0.25—1.33

（续1）

元素		平均值	范围值
稀土元素	Ho(钬)	0.83	0.44—1.56
	Eu(铕)	0.98	0.52—1.86
	Yb(镱)	2.32	1.25—4.32
	Er(铒)	2.42	1.29—4.55
	Dy(镝)	3.93	2.08—7.43
	Gd(钆)	4.38	2.31—8.30
	Sm(钐)	4.94	2.53—9.65
	Pr(镨)	6.67	3.11—14.30
	Y(钇)	21.8	11.4—41.6
	Nd(钕)	25.1	13.0—48.4
	La(镧)	37.4	18.5—75.3
	Ce(铈)	64.7	33.0—126.6
	总稀土	179.1	97.1—330.2
	铈组稀土	136.9	74.0—253.3
	钇组稀土	35.6	19.8—65.8

（续2）

元素		平均值	范围值
放射元素	U(铀)	2.79	1.24—6.24
	Th(钍)	12.80	6.08—26.93
稀有元素	Ta(钽)	1.09	0.551—2.14
	Be(铍)	1.82	0.85—3.91
	Cs(铯)	7.21	2.60—19.95
	Hf(铪)	7.34	3.89—13.84
	Sc(钪)	10.55	5.52—20.17
	Li(锂)	29.1	11.1—76.4
	Rb(铷)	107	63—184
	Zr(锆)	237	109—517
分散元素	Te(碲)	0.027	0.007—0.11
	In(铟)	0.060	0.022—0.167
	Tl(铊)	0.584	0.292—1.172
	Ge(锗)	1.7	1.2—2.4
	Ga(镓)	15.8	6.0—41.7
	Sr(锶)	121	21—690
	Ba(钡)	450	251—809