

中国环境监测总站 编著

中国环境科学出版社

土壤元素的近代分析方法

土壤元素的近代分析方法

中国环境监测总站 编著

中国环境科学出版社

1992

(京)新登字089号

内 容 简 介

本书是在“中国土壤环境背景值”攻关课题的基础上总结编著的。全书共分十章,主要介绍土壤组成、监测分析、样品采集、质量保证与质量控制以及土壤样品的分解及测定方法等。这些方法可用于土壤环境保护的科学研究与监测,为土壤的环境规划、管理和防治土壤污染服务;可用于诊断土壤营养元素的丰缺,为合理施用宏量元素与微量元素肥料,提高农产品的质量和产量服务;还可用于地方病病因探讨与防治研究等诸多领域。

本书介绍的方法是经过多家实验室的验证与考核,经过大量实际样品和标准土样的分析检验,具有灵敏度高、精密度好、准确度高等优点,能保证土壤元素的高水平定量。

土壤元素的近代分析方法

中国环境监测总站 编著
责任编辑 吴淑岱 丁枚

*

中国环境科学出版社出版
北京崇文区北岗子街8号
北京昌平兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年11月第 一 版 开本 787×1092 1/16
1992年11月第一次印刷 印张 16 1/2
印数: 1—4 000 字数 401千字

ISBN 7-80093-243-5/X·658

定价: 12.50元

《土壤元素的近代分析方法》编委会

主 编 魏复盛

副主编 王惠琪

各章编写人员

第一章	魏复盛	
第二章	郑春江	
第三章	王惠琪	魏复盛
第四章	齐文启	
第五章	魏复盛	
第六章	刘 京	魏复盛
第七章	孙文舜	
第八章	刘廷良	魏复盛
第九章	黄衍初	
第十章	田伟之	

前 言

土壤是人类赖以生存的最重要的物质基础之一。如何开发利用土壤资源以及如何保护好土壤环境是我们面临着的重要任务。《中华人民共和国环境保护法》第十二条规定：

“各级人民政府应当加强对农业环境的保护，防治土壤污染、土地沙化、盐渍化、贫瘠化、沼泽化、地面沉降和防治植被破坏、水土流失、水源枯竭、种源灭绝以及其它生态失调现象的发生发展，推广植物病虫害的综合防治，合理施用化肥、农药及植物生长激素。”这是土地资源开发和土壤环境保护必须遵循的。

在我国第七个五年计划期间将“中国土壤环境背景值研究”列为国家重点环境保护科技攻关课题，现已胜利完成，取得了一系列重要的科研成果，已出版的“中国土壤元素背景值”和“中华人民共和国土壤环境背景值图集”就是其中的一部分。在对全国41个土类、1万多件土壤样品进行测试时采用了各种近代分析仪器和方法，如原子吸收法、原子荧光法、等离子体发射光谱法、离子色谱法、仪器中子活化法、X-荧光光谱法等，测定了土壤中60多个元素。这些方法经过多家实验室的验证与考核，经过大量实际样品和标准土样的分析检验，证明这些方法具有灵敏度高、精密度好、准确度高等优点，能保证土壤元素的高水平定量。这些方法可用于土壤环境保护的科学研究与监测，为土壤的环境规划、管理和防治土壤污染服务；可用于诊断土壤营养元素的丰缺，为合理施用宏量元素与微量元素肥料，提高农产品的质量和产量服务；还可用于地方病病因探讨与防治研究等诸多领域。为此我们组织参加该项课题研究的有关专业人员编著了这本《土壤元素的近代分析方法》，在相应的章节署了编著者姓名。此外在编写第五章、第六章的部分方法时还约请芮葵生、易江、王帼雄、齐文启、李海琼、韦利杭、刘伟、王维德、章安安、吕佩芹、陈赋杏、崔秀华、曹杰山、肖清书、张文、夏峰、方容、余小林、钟展环、张欣、池靖等同志编写了有关的测试方法，并在该方法的后面署上了供稿人的姓名，以便于读者和作者直接研讨有关技术问题。在书稿的整理、抄写、校对中，刘京、李海琼两同志作了大量工作，魏复盛对全书进行总编和审定。

我们对本书的作者和支持、关心本书编写出版的各位同仁表示衷心感谢。

由于编著者的学识水平所限，书中难免有不当之处，万望读者批评指正。

魏 复 盛

1991年12月于北京

目 录

第一章 土壤组成和监测分析概述	(1)
1.1 土壤结构与组成	(1)
1.1.1 土壤矿物质	(1)
1.1.2 土壤生物	(2)
1.1.3 土壤有机质	(2)
1.2 土壤固相物质的化学成分	(3)
1.3 土壤的合理开发与污染防治	(5)
1.4 土壤环境分析	(8)
1.4.1 土壤环境监测分析的意义	(8)
1.4.2 数据的评价	(8)
第二章 土壤样品的采集	(10)
2.1 布点设计	(10)
2.1.1 布点设计的前期准备	(10)
2.1.2 布点方法	(13)
2.2 土壤样品的采集	(15)
2.2.1 土壤样品的类型	(15)
2.2.2 采样准备	(15)
2.2.3 采样	(22)
2.2.4 土壤野外理化性质的简易测定	(26)
2.3 土壤样品的加工与管理	(27)
2.3.1 样品加工处理	(27)
2.3.2 样品管理	(30)
第三章 质量保证与质量控制	(33)
3.1 概述	(33)
3.1.1 质量问题的重要性	(33)
3.1.2 质量保证	(33)
3.1.3 质量控制	(34)
3.2 实验室条件与协作实验	(35)
3.2.1 实验室条件	(35)
3.2.2 协作实验(包括考核)	(37)
3.3 测试方法的选择	(40)
3.3.1 测试方法选择的原则	(40)
3.3.2 原子吸收光谱法	(41)
3.3.3 原子荧光法	(41)
3.3.4 等离子体发射光谱法(ICP-AES)	(42)
3.3.5 X-射线荧光光谱法(XRF)	(42)
3.3.6 中子活化分析法(NAA)	(42)

3.3.7 离子色谱法(IC)	(43)
3.3.8 电化学分析方法	(43)
3.3.9 化学方法	(43)
3.4 质量控制方法	(43)
3.4.1 分析人员的自我控制	(44)
3.4.2 室内控制	(49)
3.4.3 实验室间控制	(50)
3.5 测试结果的审核与数据质量评价	(51)
3.5.1 有效数字	(51)
3.5.2 数据三级审核	(51)
3.5.3 数据离群值检验	(51)
3.5.4 分析结果表示	(56)
3.5.5 数据质量评价	(56)
3.6 土壤标样及其应用	(58)
3.6.1 土壤标准样品的研制及其特性	(58)
3.6.2 土壤标样的应用及评价	(62)
第四章 土壤的分解	(64)
4.1 概述	(64)
4.2 土壤全分解方法	(64)
4.2.1 普通酸分解法	(64)
4.2.2 高压釜密闭分解法	(65)
4.2.3 微波炉加热分解法	(66)
4.2.4 碱融法	(67)
4.3 土壤的酸浸方法	(69)
4.3.1 HCl-HNO ₃ 溶浸法	(69)
4.3.2 HNO ₃ -H ₂ SO ₄ -HClO ₄ 溶浸法	(69)
4.3.3 HNO ₃ 溶浸法	(69)
4.3.4 Cd、Cu、As等的0.1mol/LHCl提取	(69)
4.4 形态分析样品的处理方法	(70)
4.4.1 有效态的提取	(70)
4.4.2 碳酸盐结合态、铁-锰氧化物结合态等形态的提取	(71)
第五章 微量元素的测定	(74)
5.1 砷	(74)
5.1.1 二乙氨基二硫代甲酸银光度法	(74)
5.1.2 新银盐光度法	(76)
5.1.3 氢化物发生原子吸收光度法	(78)
5.1.4 氢化物-非色散原子荧光法	(79)
5.2 镉	(81)
5.2.1 火焰原子吸收法	(82)
5.2.2 萃取-石墨炉原子吸收法	(84)
5.2.3 涂层石墨炉原子吸收法	(86)

5.3 钴	(88)
5.3.1 火焰原子吸收法	(89)
5.3.2 5-Cl-PADAB光度法	(91)
5.3.3 5-Br-PADAP光度法	(93)
5.4 铬	(94)
5.4.1 火焰原子吸收法	(95)
5.4.2 二笨碳酰二肼光度法	(96)
5.4.3 差示脉冲导数极谱法	(97)
5.5 铜	(99)
5.5.1 原子吸收法	(100)
5.5.2 铜试剂光度法	(101)
5.6 汞	(102)
5.6.1 冷原子吸收法	(103)
5.6.2 冷原子荧光法	(105)
5.7 锰	(108)
5.7.1 原子吸收法	(108)
5.7.2 高碘酸钾光度法	(109)
5.8 镍	(111)
5.8.1 原子吸收法(见5.3.1)	(111)
5.8.2 镍试剂萃取光度法	(111)
5.8.3 5-Br-PADAP光度法	(113)
5.9 铅	(114)
5.9.1 火焰原子吸收法(同5.2.1)	(114)
5.9.2 萃取-石墨炉原子吸收法(同5.2.2)	(114)
5.9.3 涂层石墨炉原子吸收法(同5.2.3)	(114)
5.10 硒	(114)
5.10.1 DAN荧光光度法	(115)
5.10.2 原子荧光法	(117)
5.10.3 气相色谱法	(119)
5.10.4 催化波极谱法	(121)
5.11 钒	(122)
5.11.1 N-BPHA光度法	(123)
5.11.2 PAR光度法	(124)
5.12 锌	(126)
5.12.1 原子吸收法(见5.5.1)	(126)
5.13 氟	(126)
5.13.1 离子选择电极法	(127)
5.13.2 氟试剂(ALC)光度法	(130)
5.14 总稀土	(132)
5.14.1 马尿酸偶氮氯膦光度法	(133)
5.15 铀	(134)

5.15.1 5-Br-PADAP光度法	(134)
5.15.2 激光荧光法	(136)
5.16 钍	(138)
5.16.1 钍试剂Ⅲ光度法	(138)
5.17 银	(139)
5.17.1 石墨炉原子吸收法	(140)
5.18 钼钨锡	(142)
5.18.1 联合催化极谱法	(142)
5.19 铟和铊	(145)
5.19.1 石墨炉原子吸收法	(145)
5.20 铋和碲	(148)
5.20.1 氢化物发生-无色散原子荧光法	(148)
5.2.1 碘	(152)
5.21.1 离子色谱法	(152)
5.21.2 流动注射光度法	(154)
5.22 硼	(156)
5.22.1 全硼的测定(亚甲基蓝光度法)	(156)
5.22.2 水溶性硼的测定(亚甲基蓝光度法)	(158)
第六章 常量元素的测定	(161)
6.1 钾	(161)
6.1.1 全钾(原子吸收光度法)(包括钠)	(161)
6.1.2 全钾(火焰光度法)(包括钠)	(163)
6.1.3 速效态钾(原子吸收光度法)	(164)
6.1.4 速效性钾(四苯硼钠比浊法)	(165)
6.2 钠	(166)
6.2.1 全钠(原子吸收光度法)	(166)
6.2.2 全钠(火焰光度法)	(166)
6.3 钙	(167)
6.3.1 全钙(原子吸收光度法)(包括镁)	(167)
6.3.2 全钙(EDTA滴定法)	(168)
6.4 镁	(170)
6.4.1 全镁(原子吸收法)	(170)
6.4.2 全镁(EDTA滴定法)	(170)
6.5 铁	(171)
6.5.1 原子吸收光度法	(171)
6.5.2 邻菲罗啉光度法	(172)
6.6 钛	(174)
6.6.1 H_2O_2 光度法	(174)
6.6.2 变色酸光度法	(175)
6.7 铝	(176)
6.7.1 络合滴定法	(177)

6.8 硅	(178)
6.8.1 重量法	(179)
6.9 有机质	(180)
6.9.1 油浴外加热-重铬酸钾容量法	(180)
6.10 pH值	(184)
6.10.1 pH值测定(电极法)	(184)
第七章 电感耦合等离子体原子发射光谱法	(186)
7.1 ICP-AES法的发展概况	(186)
7.2 ICP-AES法的工作原理	(187)
7.3 ICP-AES法的分析特征	(187)
7.3.1 检出限低	(188)
7.3.2 精密度高	(188)
7.3.3 准确度高	(188)
7.3.4 线性分析范围宽	(189)
7.3.5 干扰效应小	(189)
7.3.6 可同时或顺序测定多元素	(190)
7.4 ICP-AES法仪器装置	(191)
7.4.1 高频发生器	(191)
7.4.2 炬管	(192)
7.4.3 进样系统	(192)
7.4.4 光学系统	(193)
7.5 ICP光源与其它分析技术的联用	(195)
7.5.1 ICP与色谱的联用	(195)
7.5.2 ICP与原子荧光光谱的联用	(195)
7.5.3 ICP与质谱的联用	(195)
7.6 ICP-AES法的主要工作参数	(196)
7.6.1 高频功率	(196)
7.6.2 载气流量	(196)
7.6.3 观测高度	(197)
7.7 ICP-AES法同时测定土壤中的多种元素	(197)
7.7.1 仪器最佳工作参数的选择	(197)
7.7.2 无机酸的影响	(198)
7.7.3 标准溶液的配制	(198)
7.7.4 样品的分解	(200)
7.7.5 基体元素的干扰及修正	(200)
7.7.6 元素的谱线及检出限	(201)
7.7.7 操作手续	(201)
7.7.8 方法的准确度与精密度	(201)
7.8 注意事项	(201)
第八章 稀土分量的ICP-AES测定	(205)
8.1 稀土元素分离分析方法概述	(205)

8.1.1 分离方法	(205)
8.1.2 测定方法	(207)
8.2 土壤样品的分解方法	(207)
8.2.1 酸溶法	(207)
8.2.2 碱熔法	(208)
8.3 推荐的分离分析方法	(208)
第九章 X-射线荧光光谱分析	(213)
9.1 基本原理	(213)
9.1.1 波长色散光谱仪	(213)
9.1.2 能量色散谱仪	(214)
9.2 土壤分析	(214)
9.2.1 样品制备	(214)
9.2.2 基体校正	(215)
9.2.3 分析条件	(218)
9.2.4 土壤样品分析	(218)
9.3 沉积物分析	(221)
9.4 其它环境样品分析	(222)
9.4.1 大气颗粒物分析	(222)
9.4.2 水污染分析	(225)
9.4.3 生物样品分析	(227)
第十章 反应堆中子活化分析	(231)
10.1 反应堆中子活化分析简介	(231)
10.1.1 反应堆中子活化分析基本原理	(231)
10.1.2 反应堆中子活化分析的优缺点	(233)
10.1.3 堆中子活化分析发展简史	(235)
10.2 堆中子活化分析在环境科学(特别是土壤圈)中的应用	(236)
10.3 堆中子活化分析的基本步骤	(237)
10.3.1 样品制备	(237)
10.3.2 标准制备	(238)
10.3.3 样品辐照和衰变(冷却)	(240)
10.3.4 测量	(242)
10.4 数据处理、误差分析和探测极限	(246)
10.4.1 数据处理	(246)
10.4.2 误差分析	(247)
10.4.3 探测极限	(249)

第一章 土壤组成和监测分析概述

1.1 土壤结构与组成

土壤是客观存在于自然界的自然体，是地球陆地表面生长植物的疏松层，是人类赖以生产、生活和生存的物质基础。土壤的本质特性是土壤肥力，即土壤具有培育植物的能力，是植物生长的基地。在环境中土壤圈处于大气圈、生物圈、水圈和岩石圈之间的过渡地带，是联系有机界和无机界的中心环节，是结合各环境要素的枢纽，如图 1-1 所示。

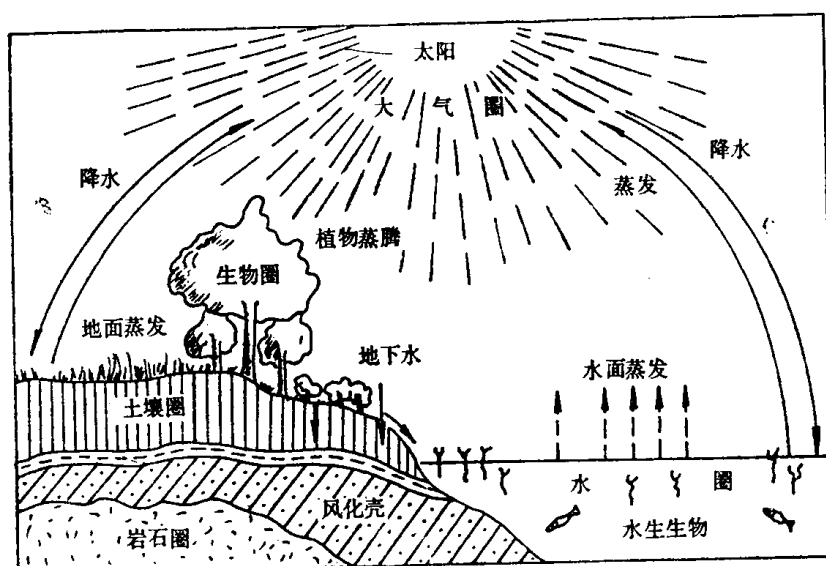


图1-1 土壤在地理环境中的地位和作用

土壤是由固相、液相、气相组成的疏松多孔体，固相物质包括土壤矿物质、有机质和土壤生物。在固相物质之间存在大小不同的孔隙，在孔隙中存在土壤水份(土壤溶液)和空气。

1.1.1 土壤矿物质

土壤矿物质主要来源于成土母岩母质，它构成了土壤的基本骨架，经过物理的、化学的和生物的风化作用，不断地向植物提供所需的各种常量和微量元素养分。成土矿物有原生矿物和次生矿物两类。

原生矿物是母岩经物理风化作用而成，未改变原母岩的结构和化学组成，仅改变其形状为沙粒和粉沙粒。主要的原生矿物有：

- (1) 石英 (SiO_2)。
- (2) 长石-钾长石 [KAlSi_3O_8]、钠长石 [$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$] 和钙长石 [$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$]。长石

经化学风化形成次生矿物高岭土是土壤粘粒的主要成分。钾长石是土壤钾素肥料的主要来源。

(3) 云母-是铝硅酸盐类矿物, 如黑云母 $[\text{KH}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{12}]$ 和白云母 $[\text{KH}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}]$, 它们容易风化, 生成伊利石或混层矿物。

(4) 角闪石 $[\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_4(\text{Al} \cdot \text{Fe})(\text{Si} \cdot \text{Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ 和辉石 $[\text{Ca}(\text{Mg} \cdot \text{Fe} \cdot \text{Al})(\text{Si} \cdot \text{Al})_2\text{O}_6]$ 均属易风化物, 分解中易生成绿泥石、方解石等次生矿物, 是土壤粘粒和有效养分来源之一。

(5) 方解石 (CaCO_3) 和白云石 ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), 易被含碳酸的水份所溶解, 是土壤钙镁营养元素的来源。

(6) 铁矿类有赤铁矿 (Fe_2O_3)、褐铁矿 ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、磁铁矿 (Fe_3O_4)、菱铁矿 (FeCO_3) 等, 是土壤铁素养分的主要来源。

(7) 磷灰石 $[\text{Ca}_5\text{FCl}(\text{PO}_4)_3]$, 经化学风化游离出可被植物吸收利用的磷素养分。

次生矿物主要是粘土矿物。原生矿物经风化作用而形成的次生矿物, 其结构和化学组成已不同于原生矿物了。原生矿物风化作用后新生成的铝硅酸盐类称作粘土矿物, 主要有: 高岭土 $[\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})]$ 、蒙脱土 $[(\text{AlFe})_2(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{OH})]$ 、伊利石 $[(\text{OH})_4\text{K}_y(\text{Al}_4 \cdot \text{Fe}_4 \cdot \text{Mg}_4 \cdot \text{Mg}_6)(\text{Si}_{8-y} \cdot \text{Al}_y)\text{O}_{20}]$ 和绿泥石。这些粘土矿物表现出各种胶体行为, 对土壤的物理、化学和物理化学过程有深刻影响, 对土壤肥力有重要意义。

1.1.2 土壤生物

土壤与岩石显著不同的特点之一, 就是在土壤中生活着一个生物群体。土壤生物是土壤的主要组成部分, 是土壤物质能量转化的重要因素, 它既能将土壤的养料不断释放出来供植物生长的需要, 又能分解净化土壤中的有机污染物。

土壤生物群体包括:

(1) 土壤微生物: 土壤微生物种类繁多, 数量大, 繁殖快。一般每克表层土壤中含有细菌数为 $10^8 \sim 10^9$ 个。细菌类中又有糖类分解细菌、氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌、硫细菌和硫酸盐还原菌、铁细菌、固氮菌类等。每克土壤中还有放线菌 $10^7 \sim 10^8$ 个, 真菌 $10^5 \sim 10^6$ 个, 藻类 $10^4 \sim 10^5$ 个。

这些土壤微生物能分解土壤中动植物残体, 把它们转化成土壤有机质和土壤腐殖质, 使土壤增加肥力, 并能使含氮化合物氧化或还原, 使某些矿物质转化成可以被植物吸收利用的状态, 或能将某些营养元素吸收贮存下来, 以供作物生长的需要。

(2) 土壤动物: 土壤动物包括无脊椎动物 (如原生动物、蚯蚓、螨类、线虫、昆虫的幼虫等) 和脊椎动物 (如两栖类、爬行类、哺乳类动物), 那些掘土动物对土壤影响很大, 它们以植物或小动物为食物, 粉碎的动植物残体及它们的粪便进入土壤, 为微生物活动分解创造了良好条件; 它们对于土壤结构、孔隙、通透性有重要影响, 并能增加土壤肥力。

1.1.3 土壤有机质

土壤有机质主要来源于动植物和微生物的残体, 经生物分解形成各种有机化合物。

(1) 糖类化合物：如土壤多糖是土壤结构的良好胶结剂，也是土壤微生物的主要能源，它们常被土壤粘粒矿物吸附或与K、Mg、Al、Cu、Zn、Fe、Mn等金属形成络合物。

(2) 含氮化合物：土壤中有95%以上的氮素是以有机氮存在，这些有机氮可分为水合性氮和非水合性氮，水合性氮由 NH_4^+-N 、 α -氨基氮和氨基酸组成。

(3) 有机磷和有机硫化合物：有机磷如核酸、肌醇磷、磷脂等。有机硫如胱氨酸、蛋氨酸、硫胺素、生物素等。

以上所述化合物属于非腐殖质类化合物。

这部分有机质经进一步的生物化学分解形成土壤腐殖质。土壤腐殖质是复杂的高分子有机化合物，主要由胡敏素、胡敏酸和富里酸组成，腐殖质含有羧基 ($-\text{COOH}$)、酚羟基 ($-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$)、羰基 ($-\text{C}=\text{O}$)、氨基 ($-\text{NH}_2$)、甲氧基 ($-\text{OCH}_3$)、以及醌基 ($-\text{C}_6\text{H}_4=\text{O}$) 和醇羟基 ($-\text{OH}$)。由于有这些活性基团，使腐殖质具有表面吸附、离子交换、络合作用、缓冲作用、氧化还原作用和生理活性等。

1.2 土壤固相物质的化学成分

土壤的主体元素是O、Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na、Ti等九种元素，平均约占土壤总重量的97%。见表1-1。

表1-1 元素在岩石圈与土壤中含量的比较

元 素	岩石圈 (%)	土壤 (%)
O	47.2	49.0
Si	27.6	33.0
Al	8.8	7.13
Fe	5.1	3.8
Ca	3.6	1.37
Na	2.64	0.63
K	2.6	1.36
Mg	2.1	0.6
Ti	0.6	0.46
C	0.1	2.0
N	0.01	0.1

土壤与岩石圈相比，O、Si的含量增加了，C、N的含量也增加了，这主要是土壤含有1~5%的有机质。相反易从土壤中淋失元素Na、Mg、K、Ca比岩石圈含量明显偏低。

土壤中其多数元素含量多在0.1%以下，甚至低至十亿分之几 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 级)，属痕量元素。表1-2列出了中国土壤元素背景值数据及95%置信度的范围值。

表1-2 中国土壤元素环境背景值

元素	全 距	中 值	AM	GM	95%置信度范围值
As	0.01~626	9.6	11.2	9.2	2.5~33.5
Cd	0.001~13.4	0.079	0.097	0.074	0.017~0.33
Co	0.01~93.9	11.6	12.7	11.2	4.0~31.2
Cr	2.20~1209	57.3	61.0	53.9	19.3~150
Cu	0.33~272	20.7	22.6	20.0	7.3~55.1
F	50~3467	453	478	440	191~1011
Hg	0.001~45.9	0.038	0.065	0.040	0.006~0.272
Mn	1~5888	540	583	482	130~1786
Ni	0.06~627	24.9	26.9	23.4	7.7~71.0
Pb	0.68~1143	23.5	26.0	23.6	10.0~56.1
Se	0.006~9.13	0.207	0.290	0.216	0.047~0.993
V	0.46~1264	76.8	82.4	76.4	34.8~168
Zn	2.6~593	68.0	74.2	67.7	28.4~161
Li	2.0~22.5	30.6	32.5	29.1	11.1~76.4
Na*	0.01~6.07	11.1	1.02	0.68	0.01~2.29
K*	0.03~4.87	1.88	1.86	1.79	0.94~2.79
Rb	1~435	106	111	107	63~184
Cs	0.001~195	7.02	8.24	7.21	2.6~20.0
Ag	0.001~0.84	0.10	0.13	0.11	0.027~0.41
Be	0.001~10.0	1.90	1.95	1.82	0.85~3.91
Mg*	0.02~4.00	0.74	0.78	0.63	0.062~1.64
Ca*	0.01~47.9	0.93	1.54	0.71	0.01~4.80
Sr	6~5957	147	167	121	21~690
Ba	5~1675	454	469	450	251~809
B	1.0~768	41.0	47.8	38.7	9.9~151
Al*	0.005~27.3	6.65	6.62	6.41	3.37~9.87
Ga	1.7~46.0	17.0	17.5	15.8	6.0~41.7
In	0.001~0.25	0.064	0.068	0.061	0.022~0.167
Tl	0.036~2.38	0.58	0.62	0.58	0.29~1.17
Sc	0.03~61.7	10.8	11.1	10.6	5.5~20.2
Y	0.50~130	22.1	22.9	21.8	11.4~41.6
La	0.26~242	36.8	39.7	37.4	18.5~75.3
Ce	0.02~265	65.2	68.4	64.7	33.0~127
Pr	0.10~40.5	6.17	7.17	6.67	3.1~14.3
Nd	0.05~100	25.2	26.4	25.1	13.0~48.4
Sm	0.004~20.1	4.99	5.22	4.94	2.53~9.65
Eu	0.01~5.15	1.00	1.03	0.98	0.52~1.86
Gd	0.19~16.8	4.44	4.60	4.38	2.31~8.30
Tb	0.005~3.10	0.59	0.63	0.58	0.25~1.33
Dy	0.07~14.4	4.03	4.13	3.93	2.08~7.43
Ho	0.04~3.04	0.84	0.87	0.83	0.44~1.56

续表

元素	全 距	中 值	AM	GM	95%置信度范围值
Er	0.13~9.37	2.47	2.54	2.42	1.29~4.55
Tm	0.04~1.40	0.36	0.37	0.35	0.19~0.65
Yb	0.02~7.68	2.35	2.44	2.32	1.25~4.32
Lu	0.002~1.90	0.35	0.36	0.35	0.19~0.62
Ce组	15.4~492	142.8	143.2	136.9	74.0~253.3
Y组	2.6~185	37.9	37.2	35.6	19.8~65.8
TR	18.0~582	181.1	187.6	179.1	97.1~330.2
Th	0.003~100	12.4	13.8	12.8	6.1~26.9
U	0.42~21.1	2.72	3.03	2.79	1.24~6.24
Ge	0.50~7.6	1.7	1.7	1.7	1.2~2.4
Sn	0.10~27.6	2.3	2.6	2.3	0.8~6.7
Ti*	0.05~8.22	0.381	0.380	0.363	0.15~0.60
Zr	1~871	228	256	237	109~517
Hf	0.002~62.5	7.36	7.72	7.34	3.89~13.8
Sb	0.002~87.6	1.07	1.21	1.06	0.38~2.98
Bi	0.06~12.1	0.31	0.37	0.32	0.12~0.88
Ta	0.002~9.91	1.09	1.15	1.09	0.55~2.14
Tc	0.004~1.02	0.029	0.035	0.027	0.007~0.113
Mo	0.10~75.1	1.1	2.0	1.2	0.14~9.6
W	0.10~146	2.27	2.48	2.22	0.86~5.77
Br	0.13~126	3.63	5.40	3.40	0.46~25.3
I	0.13~33.1	2.20	3.76	2.38	0.39~14.7
Fe*	0.12~12.5	2.97	2.94	2.73	1.05~4.84

注：带*者Na、K、Mg、Ca、Al、Fe、Ti含量为百分数，其它元素为mg/kg。

AM：算术平均值；GM：几何均值。

Ce组：La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu之和。

Y组：Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y之和。

TR：总稀土，为Ce组、Y组之和。

1.3 土壤的合理开发与污染防治

一般说来，土壤有三个重要功能：

(1) 土壤肥力：土壤在天然植物或栽培植物的生成发育过程中，能够同时地和不断地供应和协调水份、养份、空气和热量，即具有土壤肥力。

(2) 土壤净化力：土壤有同化和代谢外界环境进入土体的物质的能力，能将许多有毒有害的污染物质分解转变为无毒物质，以保持土壤生态系统的平衡。

(3) 土壤自动调节能力：土壤的缓冲性、多孔性和吸附性是它们综合协调作用的反映，调节的结果使土壤生态系统达到一个动态平衡。

土壤是保护环境的重要净化体，例如大气沉降物质、动植物残体进入土壤，污水灌

溉、污泥的土地处理，固体废弃物的土地利用以及农药、化肥的使用等，在土壤环境容量的范围内，这些污染物质能被土壤稀释、分解转化或被土壤吸附固定从而达到净化的目的。但是污染物质进入土壤的数量超过了土壤的环境容量，超过了土壤的自净能力，这就破坏了土壤系统原来的平衡，引起土壤系统的成分结构和功能的变化，导致土壤污染。这不仅使土壤肥力下降，而且还可能成为二次污染源污染大气、水体、生物，进而通过食物链危害人体健康。虽然污水灌溉能增加土壤的氮、磷、钾，使作物增产，但是，污水必须经过适当处理去除有毒重金属及其它难分解的有害物质，使之达到农田灌溉水质标准（见表1-3）。污泥的土地处理也一样，必须符合表1-4规定的标准，而且每

表1-3 农田灌溉水质标准 (GB5084-85)

项 目	标 准		值	
	一 类		二 类	
水温 (°C) ≤	35		35	
pH值	5.5~8.5		5.5~8.5	
全盐量*(mg/L)	1000 (非盐碱土地区)		1500 (非盐碱土地区)	
≤	2000 (盐碱土地区)		2000 (盐碱土地区)	
	有条件的地区可适当放宽		有条件的地区可以适当放宽	
氯化物(mg/L)	200		300	
≤				
硫化物(mg/L)	1		1	
≤				
汞及其化合物, (mg/L) ≤	0.001		0.001	
			0.005 (绿化地)	
镉及其化合物, (mg/L) ≤	0.002 (轻度污染灌区) **		0.003 (轻度污染灌区) **	
	0.005		0.01	
			0.05 (绿化物)	
砷及其化合物 (mg/L) ≤	0.05 (水田)		0.1 (水田)	
	0.1 (旱田)		0.5 (旱田及绿化地)	
六价铬化合物 (mg/L) ≤	0.1		0.5	
铅及其化合物 (mg/L) ≤	0.5		1.0	
铜及其化合物 (mg/L) ≤	1.0		1.0 (土壤pH<6.5)	
			3.0 (土壤pH>6.5)	
锌及其化合物 (mg/L) ≤	2.0		3.0 (土壤pH<6.5)	
			5.0 (土壤pH>6.5)	
硒及其化合物 (mg/L) ≤	0.02		0.02	
氰化物 (mg/L) ≤	0.5 (土层小于1m地区)		0.5 (土层小于1m地区)	
	1.0 (一般地区)		1.0 (一般地区)	
氟化物 (mg/L) ≤	2.0 (高氟区)		3.0 (高氟区)	
	3.0 (一般地区)		4.0 (一般地区)	