

## 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

---

# 微量元素农业化学

---

刘 铮等编著

农业出版社

## 内 容 简 介

本书系统的介绍植物的微量元素营养，土壤微量元素的含量、分布、形态和我国土壤中微量元素的供给情况，植物的微量元素营养诊断，植物和土壤的化学分析，微量元素肥料及有关的应用技术等，并附有我国土壤中的微量元素含量图。由中国科学院南京土壤研究所和中国科学院沈阳应用生态研究所从事微量研究的人员共同编写。除了介绍硼、钼、锌、锰、铜、钴、铁等植物必需的微量营养元素以外，还介绍了可能对植物有益的微量元素钛和稀土元素，以及与动物健康有关的硒、碘等。

本书可供农业科学工作者，特别是植物生理工作者和土壤农化工作者和有关的高等院校的师生的参考。

## 微量元素的农业化学

刘 铮等编著

\* \* \*

责任编辑 徐涌生

农业出版社出版（北京市朝阳区农展馆北路2号）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

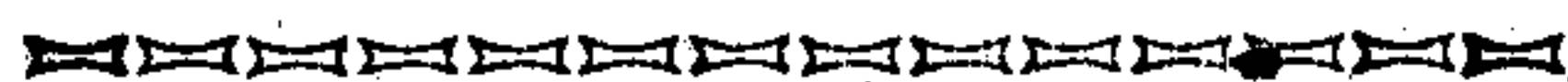
787×1092mm16开本 27印张 2插页 580千字

1991年8月第1版 1991年8月北京第1次印刷

印数 1—1,020册 定价 22.00元

ISBN 7-109-01379-0/S·973

## 前 言



微量元素研究已有五十年以上的历史。科学研究和生产实践证实微量元素为有机体正常生命活动所必需，在有机体的生活中起着重要的作用。微量元素不仅在农业生产中有重要意义，不仅是土壤学中的一个新的生长点，已经成为许多科学领域中的重要内容，植物生理学、生物化学、地球化学、环境化学、生态学、畜牧学、医学等无不与微量元素有关，引起了不同科学领域中的工作者的重视。在农业生产中则广泛的引用了微量元素肥料，成为提高单位面积产量和产品质量的有效而且简便节省费用的措施。在土壤中微量元素供给不足的时候，则会成为限制产量进一步提高的障碍因素，微量元素肥料的应用便是克服这些障碍的必要措施，是不容忽视的。这一点已在国内外的许多工作中得到证实。

在这五十多年的研究过程中，对于土壤、植物和动物中的微量元素的研究，不仅在实验室和田间证实了这些元素的重要性和必需性，并且对它们在植物和动物体中的功能以及它们在土壤中性状和行为，进行了化学的、生物化学的和物理化学的基础研究，同时进而对土壤-植物-动物体系中的微量元素加以考虑。关于微量元素的知识因而包括了岩石和土壤中的存在状态和行为及有关的化学和生物化学反应，植物对微量元素的吸收、运转和在代谢作用中的功能，连同通过食物链进入动物体以后，在动物体内的运转、吸收和代谢过程等内容，当然还包括有关的研究技术和在生产中的应用技术，还包括供给不足和过量时所发生的种种不正常现象及有关的诊断技术和评价指标等等。虽然目前关于微量元素的许多基础知识还不够完备，但是所涉及的问题的广度和深度以及所积累的极为丰富的资料，已充分的说明微量元素研究工作的意义和重要性，同时也反映出这项工作的广阔的前景。

我国的微量元素研究始于1940年，当时主要是从理论上探讨微量元素在植物生理方面的作用，而土壤中的微量元素研究，在解放前则完全是个空白，在1954年才开始了这方面的研究。1956年微量元素研究正式列入国家规划，中国科学院有关的研究所根据规划展开了研究工作。1962年中国科学院召开了微量元素研究工作会议，交流和讨论国内外的微量元素研究工作情况，并制定了规划和协作计划；1977年召开了微量元素研究工作学术交流会，交流了工作进展情况。这两次会议都出版了汇刊。近年来农业科研部门组织了协作，推动了微量元素的研究和试验工作。

我国的微量元素研究工作大致是从两个方面展开的，即微量元素在植物生理中的作用和在农业中的增产效果，以及土壤中微量元素含量、分布规律和可给性（有效性）的研究。这两方面的工作不是孤立的，而是互相交叉和渗透、相辅相成的。土壤是植物所需要的微量元素的主要给源，土壤中微量元素的供给情况包括含量、分布、可给性等等是施用微量元素肥料的科学依据。在明确我国具体条件下微量元素对植物生长的作用的同时，还

要对土壤中微量元素供给情况进行研究，才能够区分出需要微量元素肥料的植物和需要微量元素肥料的土壤，才能够按土壤（地区）分别的应用微量元素肥料来使有关的农作物增产。农作物对微量元素肥料的反应是这些元素的生理功能的具体表现和反映，施用微量元素肥料的增产效果又是对土壤和植物中的微量元素研究所总结出的种种规律性的验证。多年来我国的微量元素研究工作便是循着这样的方向进行的。此外，对于动物和人的微量元素的研究，近年来也取得一定的进展，证实在我国的具体条件下，微量元素供给是否充足，与动物和人的健康有密切关系，有的地方病便是微量元素供给不足或过量所引起的。

关于微量元素的试验和研究，积累了大量的资料，对这些宝贵的资料作进一步的整理，工作量是非常巨大的。在中国科学院召开的两次会议的汇刊中虽然都编入了有关的综述，后来又选译一些总结性的文章出版了《土壤微量元素译文集》，不过从深度和广度而论，仍然感到不足，仍然不能满足目前对土壤和植物中的微量元素的性状以及在农业中的应用等多方面的知识的需要。本书便是为了满足这些需要，从农业化学的角度来编写的。其内容除了植物的微量元素营养和土壤中微量元素的供给情况以及有关的土壤化学问题以外，还介绍了微量元素肥料及其应用技术、植物的微量元素营养诊断等内容。由于土壤分析和植物分析在微量元素研究中的重要意义，因而将这两部分内容单独讨论。此外，除了微量元素与植物的关系还介绍了与动物（家畜）健康的关系。希望上述内容对我国的微量元素研究和试验工作以及实际应用能够起一些参考作用。近年来国外的微量元素研究和应用发展得非常迅速，“他山之石，可以攻玉”，在本书中也作简短的介绍，以供参考。本书所涉及的微量元素除了硼、钼、锰、锌、铜、钴，还包括铁，当然，在土壤中铁并不是微量元素，但在植物中却属于微量元素，所以仍然列入，并各自成为一章。对于一些其他元素例如硒、碘、钛、稀土等，或者是对动物为不可缺少的，或者是对植物生长有益的，也作为一章加以介绍。目前有关微量元素的论文报告等的数量可曰浩如烟海，本书只能就所引用的部分作为参考文献列于每章的后面，供读者作进一步阅读时的参考，所包括的并不是有关的文献的全貌，这是不言而喻的。由于编写本书的工作量很大，疏漏和错误之处一定很多，尚希读者指正以便修改。

# 目 录



## 前 言

第一章 微量元素在农业生产中的意义 .....	刘 铮 (1)
第二章 土壤中的微量元素 .....	刘 铮 (13)
2.1 土壤中微量元素的来源 .....	(13)
2.2 土壤中微量元素的含量形态 .....	(19)
2.3 土壤中微量元素的转化和移动 .....	(32)
2.4 土壤中微量元素的可给性 .....	(36)
2.5 土壤中微量元素的循环 .....	(44)
第三章 植物的微量元素营养 .....	邹邦基 (48)
3.1 植物中微量元素的含量与分布 .....	(48)
3.2 植物中微量元素的化学形态 .....	(57)
3.3 微量元素在植物呼吸作用和光合作用中的功能 .....	(62)
3.4 微量元素在氮素同化及蛋白质与核酸代谢中的功能 .....	(71)
3.5 微量元素对其它物质代谢及植物发育与抗性的影响 .....	(77)
第四章 微量元素与动物健康 .....	刘 铮 (98)
4.1 锌与动物健康 .....	(100)
4.2 铜与动物健康 .....	(102)
4.3 钼与动物健康 .....	(103)
4.4 钴与动物健康 .....	(103)
4.5 铁与动物健康 .....	(104)
4.6 锰与动物健康 .....	(105)
4.7 硒与动物健康 .....	(105)
4.8 碘与动物健康 .....	(106)
第五章 硼 .....	刘 铮 (108)
5.1 土壤中的硼 .....	(108)
5.1.1 土壤中硼的来源 .....	(108)
5.1.2 土壤中硼的含量 .....	(109)
5.1.3 土壤中硼的形态 .....	(110)
5.1.4 硼的可给性及其影响因子 .....	(112)
5.1.5 我国土壤中硼的供给情况 .....	(118)
5.2 植物中的硼 .....	(129)
5.2.1 植物中硼的含量 .....	(129)
5.2.2 硼与其他元素的关系 .....	(130)
5.3 自然界中硼的循环 .....	(133)
5.4 硼与农业生产 .....	(134)

<b>第六章 钼</b> .....	<b>刘 铮</b> (142)
6.1 土壤中的钼 .....	(143)
6.1.1 土壤中钼的来源 .....	(143)
6.1.2 土壤中钼的含量 .....	(144)
6.1.3 土壤中钼的形态 .....	(145)
6.1.4 土壤中钼的可给性及其影响因子 .....	(147)
6.1.5 我国土壤中钼的供给情况 .....	(153)
6.2 植物中的钼 .....	(160)
6.2.1 植物中钼的含量 .....	(160)
6.2.2 钼与其他元素的关系 .....	(161)
6.3 钼与农业生产 .....	(163)
<b>第七章 锰</b> .....	<b>刘 铮</b> (171)
7.1 土壤中的锰 .....	(171)
7.1.1 土壤中锰的来源 .....	(171)
7.1.2 土壤中锰的含量 .....	(172)
7.1.3 土壤中锰的形态 .....	(173)
7.1.4 土壤中锰的可给性及其影响因子 .....	(177)
7.1.5 我国土壤中锰的供给情况 .....	(180)
7.2 植物中的锰 .....	(184)
7.2.1 植物中锰的含量 .....	(184)
7.2.2 锰与其他元素的关系 .....	(185)
7.3 锰与农业生产 .....	(186)
<b>第八章 锌</b> .....	<b>朱其清</b> (193)
8.1 土壤中的锌 .....	(194)
8.1.1 土壤中锌的来源 .....	(194)
8.1.2 土壤中锌的含量 .....	(197)
8.1.3 土壤中锌的形态 .....	(200)
8.1.4 土壤中锌的有效性及其影响因子 .....	(202)
8.1.5 我国土壤中锌的供给情况 .....	(206)
8.2 植物中的锌 .....	(215)
8.2.1 植物中锌的含量 .....	(215)
8.2.2 锌与其他元素间的关系 .....	(216)
8.3 锌在农业中的意义 .....	(218)
<b>第九章 铜</b> .....	<b>刘 铮</b> (233)
9.1 土壤中的铜 .....	(233)
9.1.1 土壤中铜的来源 .....	(233)
9.1.2 土壤中铜的含量 .....	(234)
9.1.3 土壤中铜的形态 .....	(234)
9.1.4 土壤中铜的可给性及其影响因子 .....	(237)
9.1.5 我国土壤中铜的供给情况 .....	(242)
9.2 植物中的铜 .....	(250)
9.2.1 植物中铜的含量 .....	(250)
9.2.2 铜与其他元素的关系 .....	(251)

9.3 铜与农业生产 .....	(252)
<b>第十章 铁 .....</b>	<b>刘 铮 (258)</b>
10.1 土壤中的铁 .....	(258)
10.1.1 土壤中鉄的来源 .....	(258)
10.1.2 土壤中鉄的形态 .....	(258)
10.1.3 土壤中鉄的可给性及其影响因子 .....	(260)
10.1.4 土壤中有效态鉄的提取 .....	(264)
10.1.5 我国土壤中鉄的供给情况 .....	(265)
10.2 植物中的鉄 .....	(266)
10.2.1 植物中鉄的含量 .....	(266)
10.2.2 植物中的鉄与其他元素的关系 .....	(266)
10.3 鉄与农业生产 .....	(268)
<b>第十一章 钴 .....</b>	<b>蔡祖聰 (273)</b>
11.1 土壤中的钴 .....	(273)
11.1.1 土壤中钴的来源 .....	(273)
11.1.2 土壤中钴的含量 .....	(275)
11.1.3 影响土壤中钴含量的因素 .....	(276)
11.1.4 钴在土壤剖面中的分布 .....	(278)
11.1.5 土壤中钴的形态 .....	(278)
11.1.6 土壤中钴的可给性及其影响因子 .....	(280)
11.1.7 我国土壤中钴的供给情况 .....	(286)
11.2 植物中的钴 .....	(289)
11.2.1 植物中钴的含量 .....	(289)
11.2.2 钴与其它元素的关系 .....	(290)
11.3 钴在农业生产中的意义 .....	(292)
11.3.1 钴在畜牧业中的意义 .....	(292)
11.3.2 钴在农业中的意义 .....	(293)
<b>第十二章 其他微量元素 .....</b>	<b>刘 铮 (306)</b>
12.1 硒 .....	(306)
12.1.1 土壤中的硒 .....	(307)
12.1.2 植物中的硒 .....	(312)
12.1.3 硒的循环 .....	(315)
12.1.4 硒与人和动物健康的关系 .....	(316)
12.2 碘 .....	(318)
12.2.1 土壤中的碘 .....	(318)
12.2.2 植物中的碘 .....	(324)
12.2.3 碘的循环 .....	(325)
12.2.4 碘与人和动物健康 .....	(325)
12.3 钛 .....	(328)
12.3.1 土壤中的钛 .....	(328)
12.3.2 植物中的钛 .....	(331)
12.3.3 钛与植物生长 .....	(332)
12.4 稀土元素 .....	(336)

12.4.1	土壤中的稀土元素 .....	(336)
12.4.2	植物中的稀土元素 .....	(341)
12.4.3	稀土元素与植物生长 .....	(343)
<b>第十三章 微量元素营养诊断</b> .....		<b>刘 铮 (358)</b>
13.1	目视诊断 .....	(358)
13.2	叶片诊断 .....	(361)
13.3	植物的化学分析 .....	(362)
13.4	土壤的化学分析 .....	(363)
13.5	栽培试验 .....	(363)
13.6	硼的营养诊断 .....	(363)
13.7	缺铝的诊断 .....	(366)
13.8	缺锌的诊断 .....	(368)
13.9	缺锰的诊断 .....	(369)
13.10	缺铜的诊断 .....	(371)
13.11	缺铁的诊断 .....	(372)
<b>第十四章 土壤微量元素分析</b> .....		<b>刘 铮 (374)</b>
14.1	土壤微量元素分析的基本概念 .....	(374)
14.2	提取剂的选择 .....	(376)
14.3	提取剂的类型 .....	(376)
14.4	化学分离与浓缩 .....	(377)
14.5	分析方法和仪器 .....	(378)
14.6	分析结果的校准 .....	(378)
14.7	微量元素的提取、分析及评价 .....	(381)
<b>第十五章 植物的化学分析</b> .....		<b>刘 铮 (391)</b>
15.1	植物化学分析的基本概念 .....	(391)
15.2	植物化学分析的技术问题 .....	(392)
15.2.1	取样技术 .....	(392)
15.2.2	分析试样的制备 .....	(394)
15.2.3	污染问题 .....	(395)
15.3	植物试样的灰化 .....	(397)
15.4	分析方法的选择 .....	(398)
15.5	分析结果的评价 .....	(398)
<b>第十六章 微量元素肥料及其施用</b> .....		<b>刘 铮 (402)</b>
16.1	微量元素肥料的种类 .....	(402)
16.2	硼肥 .....	(405)
16.3	铝肥 .....	(406)
16.4	锰肥 .....	(407)
16.5	锌肥 .....	(408)
16.6	铜肥 .....	(409)
16.7	铁肥 .....	(410)
16.8	钴肥 .....	(410)
16.9	施用微量元素肥料的一些技术问题 .....	(411)

16.9.1	土壤施肥 .....	(411)
16.9.2	种子处理 .....	(411)
16.9.3	沾根 .....	(412)
16.9.4	喷施 .....	(412)
16.9.5	与常量肥料同时施用 .....	(412)
16.9.6	后效问题 .....	(412)

# AGRICULTURAL CHEMISTRY OF MICROELEMENTS

Liu Zheng et al.

## CONTENTS

### Preface

Chapter 1	Role of microelements in agriculture .....	Liu Zheng (1)
Chapter 2	Microelements in soils .....	Liu Zheng (13)
2.1	Origin of microelements in soils .....	(13)
2.2	Content and forms of microelements in soils .....	(19)
2.3	Transformation and movement of microelements in soils .....	(32)
2.4	Availability of microelements .....	(36)
2.5	Cycle of microelements in soils .....	(44)
Chapter 3	Microelement nutrition of plants.....	Zhou Bang-ji (48)
3.1	Content and distribution of microelements in plants.....	(48)
3.2	Chemical forms of microelements in plants .....	(57)
3.3	Role of microelements in respiration and photosynthesis .....	(62)
3.4	Role of microelements in assimilation of nitrogen, and protein and nucleic acid metabolism .....	(71)
3.5	Role of microelements in other metabolisms and development of plants .....	(77)
Chapter 4	Microelements and health of animals.....	Liu Zheng (98)
4.1	Zinc and animal health.....	(100)
4.2	Copper and animal health .....	(102)
4.3	Molybdenum and animal health.....	(103)
4.4	Cobalt and animal health.....	(103)
4.5	Iron and animal health.....	(104)
4.6	Manganese and animal health .....	(105)
4.7	Selenium and animal health .....	(105)
4.8	Iodine and health of human and animals.....	(106)
Chapter 5	Boron .....	Liu Zheng(108)
5.1	Boron in soils.....	(108)
5.1.1	Origin of boron in soils .....	(108)
5.1.2	Content of boron in soils.....	(109)
5.1.3	Forms of boron in soils .....	(110)
5.1.4	Availability of boron .....	(112)
5.1.5	Status of boron in soils of China .....	(118)

5.2	Boron in plants .....	(129)
5.2.1	Content of boron in plants .....	(129)
5.2.2	Relation of boron with other elements .....	(130)
5.3	Cycle of boron .....	(133)
5.4	Boron and agriculture production .....	(134)
Chapter 6 Molybdenum.....		Liu Zheng (142)
6.1	Molybdenum in soils .....	(143)
6.1.1	Origin of molybdenum in soils .....	(143)
6.1.2	Content of molybdenum in soils .....	(144)
6.1.3	Forms of molybdenum in soils .....	(145)
6.1.4	Availability of molybdenum .....	(147)
6.1.5	Status of molybdenum in soils of China .....	(153)
6.2	Molybdenum in plants .....	(160)
6.2.1	Content of molybdenum in plants .....	(160)
6.2.2	Relation of molybdenum with other elements .....	(161)
6.3	Molybdenum and agriculture production .....	(163)
Chapter 7 Manganese.....		Liu Zheng (171)
7.1	Manganese in soils .....	(171)
7.1.1	Origin of manganese in soils .....	(171)
7.1.2	Content of manganese in soils .....	(172)
7.1.3	Forms of manganese in soils .....	(173)
7.1.4	Availability of manganese .....	(177)
7.1.5	Status of manganese in soils of China.....	(180)
7.2	Manganese in plants .....	(184)
7.2.1	Content of manganese in plants .....	(184)
7.2.2	Relation of manganese with other elements .....	(185)
7.3	Manganese and agriculture production .....	(186)
Chapter 8 Zinc.....		Zhu Qi-qing (193)
8.1	Zinc in soils .....	(194)
8.1.1	Origin of zinc in soils .....	(194)
8.1.2	Content of zinc in soils .....	(197)
8.1.3	Forms of zinc in soils.....	(200)
8.1.4	Availability of zinc .....	(202)
8.1.5	Status of zinc in soils of China .....	(206)
8.2	Zinc in plants.....	(215)
8.2.1	Content of zinc in plants .....	(215)
8.2.2	Relation of zinc with other elements.....	(216)
8.3	Zinc and agriculture production .....	(218)
Chapter 9 Copper.....		Liu Zheng (233)
9.1	Copper in soils .....	(233)
9.1.1	Origin of copper in soils.....	(233)
9.1.2	Content of copper in soils .....	(234)

9.1.3	Forms of copper in soils	(234)
9.1.4	Availability of copper	(237)
9.1.5	Status of copper in soils of China	(242)
9.2	Copper in plants	(250)
9.2.1	Content of copper in plants	(250)
9.2.2	Relation of copper with other elements	(251)
9.3	Copper and agriculture production	(252)
Chapter 10 Iron		Liu Zheng (258)
10.1	Iron in soils	(258)
10.1.1	Origin of iron in soils	(258)
10.1.2	Forms of iron in soils	(258)
10.1.3	Availability of iron in soils	(260)
10.1.4	Extraction of available iron in soils	(264)
10.1.5	Status of iron in soils of China	(265)
10.2	Iron in plants	(266)
10.2.1	Content of iron in plants	(266)
10.2.2	Relation of iron with other elements	(266)
10.3	Iron and agriculture production	(268)
Chapter 11 Cobalt		Cai Zu-cong (273)
11.1	Cobalt in soils	(273)
11.1.1	Origin of cobalt in soils	(273)
11.1.2	Content of cobalt in soils	(275)
11.1.3	Factors of affecting content of cobalt in Soils	(276)
11.1.4	Distribution of cobalt in Soil profile	(278)
11.1.5	Forms of cobalt in soils	(278)
11.1.6	Availability of cobalt	(280)
11.1.7	Status of cobalt in soils of China	(286)
11.2	Cobalt in plants	(289)
11.2.1	Content of cobalt in plants	(289)
11.2.2	Relation of cobalt with other elements	(290)
11.3	Cobalt and agriculture production	(292)
11.3.1	Cobalt and animal husbandry	(292)
11.3.2	Cobalt and agriculture	(293)
Chapter 12 Other microelements		Liu Zheng (306)
12.1	Selenium	(306)
12.1.1	Selenium in soils	(307)
12.1.2	Selenium in plants	(312)
12.1.3	Cycle of selenium	(315)
12.1.4	Selenium and animal health	(316)
12.2	Iodine	(318)
12.2.1	Iodine in soils	(318)
12.2.2	Iodine in plants	(324)
12.2.3	Cycle of iodine	(325)

12.2.4	Iodine and health of human and animals .....	(325)
12.3	Titanium .....	(328)
12.3.1	Titanium in soils .....	(328)
12.3.2	Titanium in plants .....	(331)
12.3.3	Titanium and growth of plants .....	(332)
12.4	Rare earth elements .....	(336)
12.4.1	Rare earth elements in soils .....	(336)
12.4.2	Rare earth elements in plants .....	(341)
12.4.3	Rare earth elements and growth of plants .....	(343)
Chapter 13	Nutrition diagnosis of plants.....	Liu Zheng (358)
13.1	Visual diagnosis.....	(358)
13.2	Foliar diagnosis.....	(361)
13.3	Chemical analysis of plants .....	(362)
13.4	Chemical analysis of soils .....	(363)
13.5	Culture experiment .....	(363)
13.6	Diagnosis of boron deficiency .....	(363)
13.7	Diagnosis of molybdenum deficiency .....	(366)
13.8	Diagnosis of zinc deficiency .....	(368)
13.9	Diagnosis of manganese deficiency.....	(369)
13.10	Diagnosis of copper deficiency .....	(371)
13.11	Diagnosis of iron deficiency .....	(372)
Chapter 14	Chemical analysis of soils .....	Liu Zheng (374)
14.1	Basic conception of chemical analysis of soils .....	(374)
14.2	Selection of extractants .....	(376)
14.3	Types of extractants .....	(376)
14.4	Chemical separation and concentration .....	(377)
14.5	Instrumentation .....	(378)
14.6	Calibration of analytical results .....	(378)
14.7	Extraction, analysis and evaluation of microelements .....	(381)
Chapter 15	Chemical analysis of plants.....	Liu Zheng (391)
15.1	Basic conception of chemical analysis of plants .....	(391)
15.2	Several technical problems of chemical analysis of plants .....	(392)
15.2.1	Sampling.....	(392)
15.2.2	Preparation of samples .....	(394)
15.2.3	Contamination problems.....	(395)
15.3	Ashing of plant samples .....	(397)
15.4	Selection of analytical methods .....	(398)
15.5	Evaluation of analytical results.....	(398)
Chapter 16	Microelement fertilizers and their application .....	
.....	.....	Liu Zheng (402)
16.1	Kinds and types of microelement fertilizers .....	(402)
16.2	Boron fertilizers .....	(405)

16.3	Molybdenum fertilizers.....	(406)
16.4	Manganese fertilizers .....	(407)
16.5	Zinc fertilizers .....	(408)
16.6	Copper fertilizers .....	(409)
16.7	Iron fertilizers .....	(410)
16.8	Cobalt fertilizers .....	(410)
16.9	Several technical problems of application of microelement fertilizers .....	(411)
16.9.1	Soil application.....	(411)
16.9.2	Seed treatment.....	(411)
16.9.3	Dipping roots .....	(412)
16.9.4	Foliar spray .....	(412)
16.9.5	Spontaneous application with macroelement fertilizers.....	(412)
16.9.6	Residual effects .....	(412)

# 第一章 微量元素在农业生产中的意义

刘 铮

微量元素指自然界中广泛存在的含量很低的化学元素。岩石、土壤、水、植物和动物中都含有微量元素。在地壳中碳、氢、氧、氮、硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、硫、磷、钛等十四种元素共占99%以上，其他元素的含量都很低，可以称为微量元素或痕量元素，微量极低的则被称为超微量元素。在土壤中也是这样。土壤的无机部分中已发现的元素共有九十种，除了十种元素的含量较高以外，其余元素的含量范围一般介于 $n \times 10^{-4}$ — $n \times 10^{-3}$ %之间，最多不超过0.01%。大多数植物若按干物质计算，大约有95%是由碳、氢、氧、氮四种元素组成，钾、钠、钙、镁、硫、磷、氯、硅和铝共占4%，其余的所有元素约占1%。岩石圈、土壤和动植物中一些微量元素的含量见表1—1，含量范围见图1—1、图1—2、图1—3。

表 1—1 自然界中微量元素的含量 (%) \*

元 素	地 壳	岩 石 圈	土 壤	植 物	动 物
B	$5 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$
Mo	$1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-5}$	
Mn	0.10	$9 \times 10^{-2}$	$8.5 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3}$	$n \times 10^{-4}$
Zn	0.02	$5 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-5}$
Cu	0.01	$1 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-4}$
Co	$2 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-5}$	
Ni	0.02	$8 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$	
Cr	0.03	$2 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-4}$	
V	0.02	$1.5 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4}$	
Ba	0.05	$5 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-4}$	
Sr	0.035	$4 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-4}$	
F	0.08	$2.7 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-4}$
Cl	0.20	$4.5 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-4}$
Br	$1 \times 10^{-3}$	$1.6 \times 10^{-4}$	--	$3 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-4}$
I	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	
Se	$8 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$n \times 10^{-7}$	
As	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$
Hg	$5 \times 10^{-6}$	$7 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$n \times 10^{-7}$	
Cd	$5 \times 10^{-4}$	$(5 \times 10^{-5})$	$5 \times 10^{-5}$	$(n \times 10^{-6})$	
Ti	0.61	$6 \times 10^{-1}$	$4.6 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-6} - n \times 10^{-5}$
(Fe)	4.20	$5 \times 10$		$2 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-2}$

\* 引自 Goldschmidt, Vinogradov 及 Ковда<sup>(1-3)</sup>。

微量元素的含量虽然很低，但是有的元素有重要的生物学意义，为动植物正常生活和生长所不可缺少。这些不可缺少的微量元素称为必需的微量元素，也有人称为微量养分的。对于未证实为必需的元素则称为非必需元素。但是二者之间并没有严格的界线，随着科学研究的深入，会发现更多的必需元素，这是不言而喻的。有一些微量元素虽然在目前还没有被证实是必需元素，但已发现对动植物的生活和生长有一定的作用，称为有益元素。

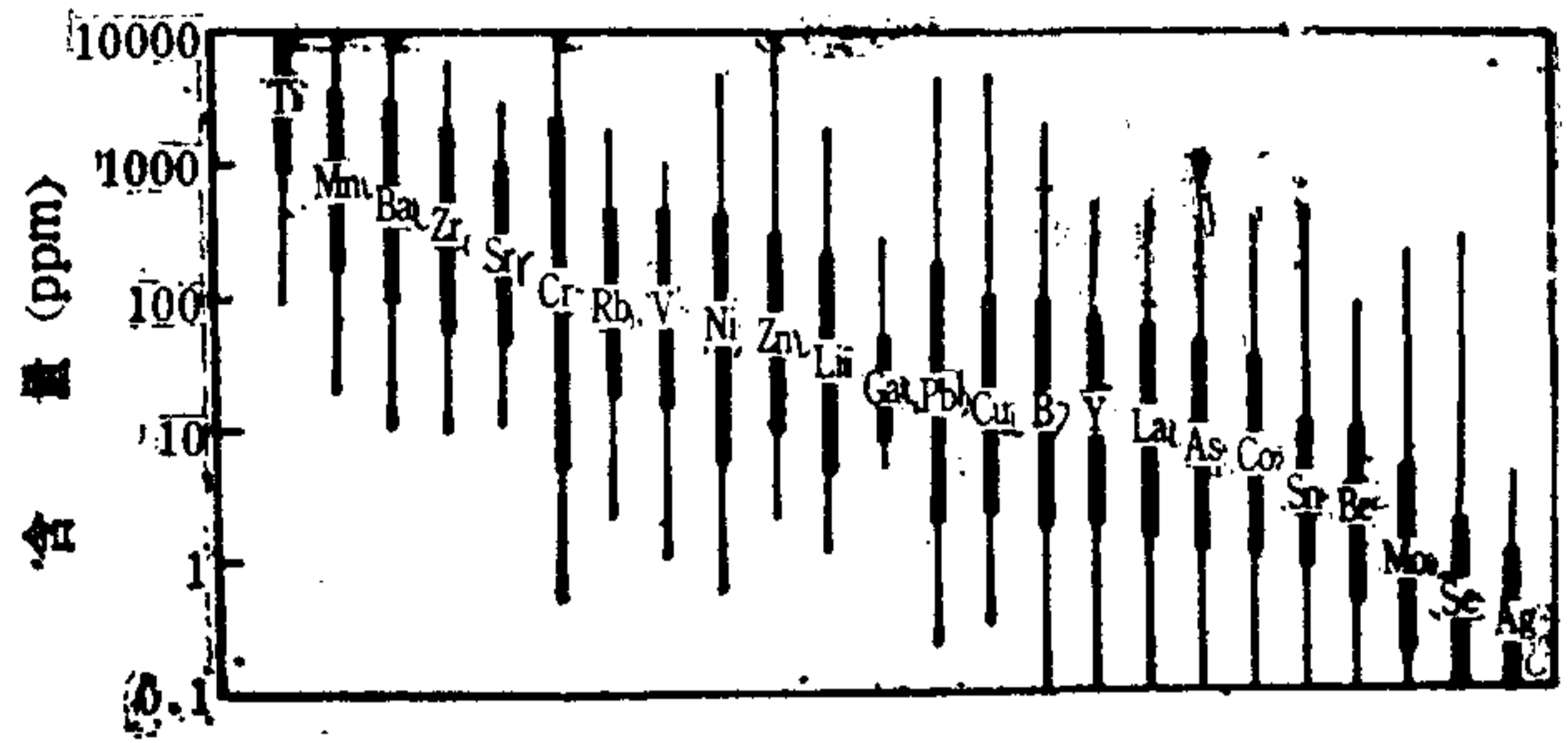


图 1—1 土壤中微量元素的含量  
注：粗线代表一般含量，细线代表极端含量

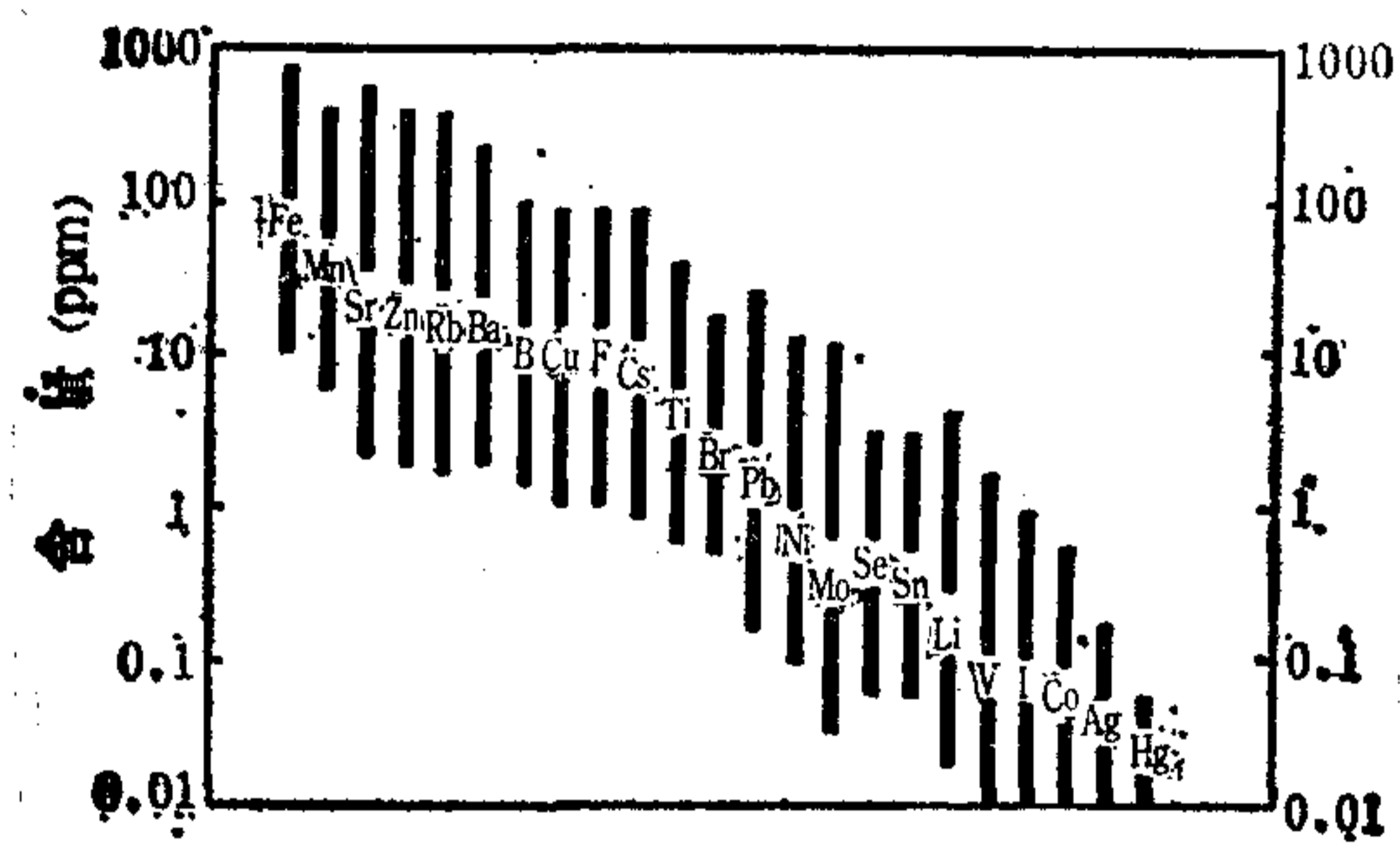


图 1—2 植物中微量元素的含量

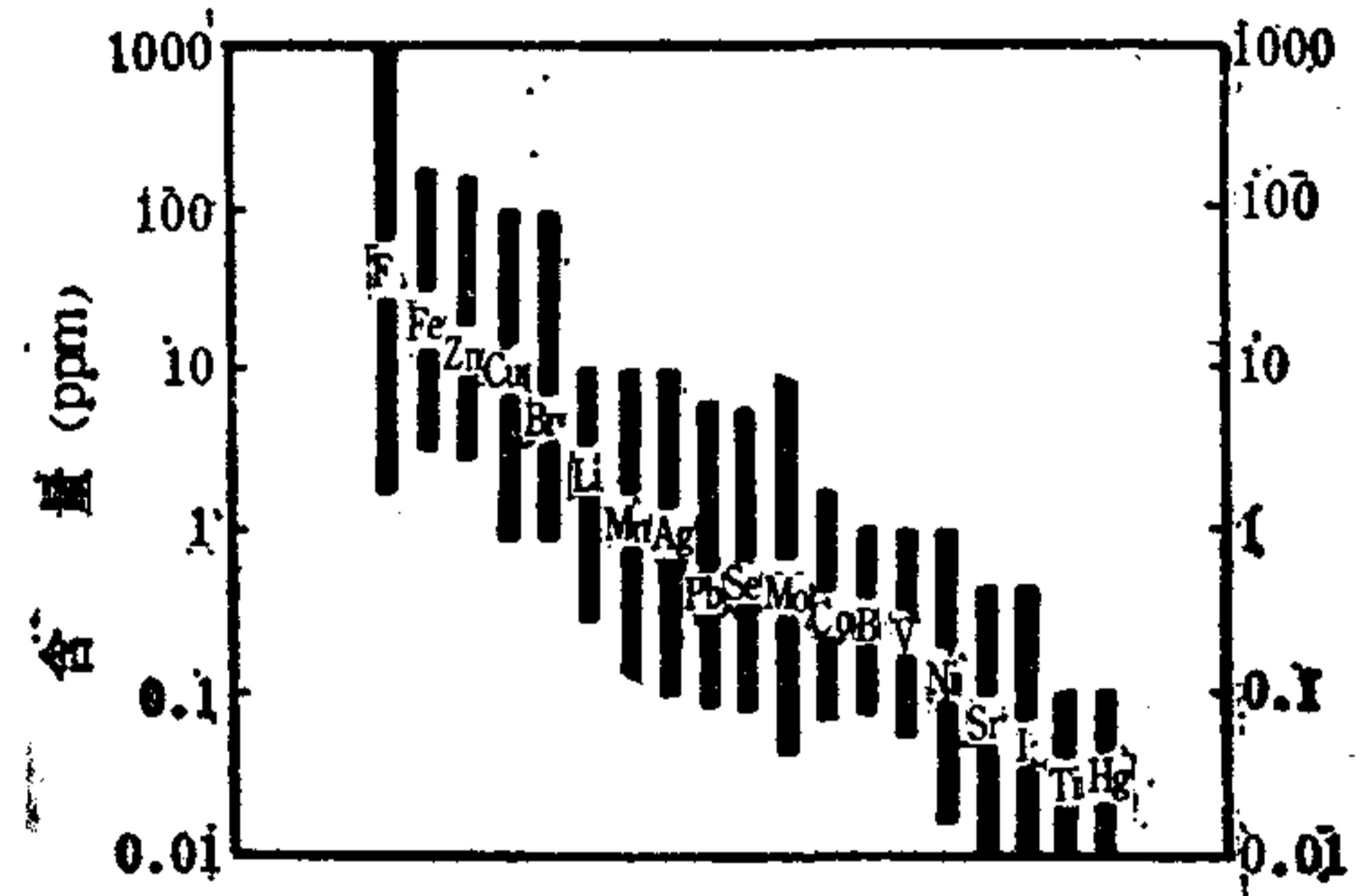


图 1—3 动物中微量元素的含量

有的微量元素虽然属于非必需元素，没有被证实具有生物学意义，但在成土过程中它们的含量、分布、形态、转化和移动有一定的规律性，对于土壤学的研究，尤其是成土过程的阐明和环境质量的评价有一定的意义。

由于上述原因，近年来土壤中微量元素的研究日益广泛和深入，在农林、畜牧、医学和环境科学等领域中都展开了微量元素研究工作，在农业生产实践中微量元素肥料获得了广泛的应用。土壤中的微量元素的研究则被视为土壤学的新的生长点之一。

动物和植物所必需的微量元素不完全相同，如表1—2所示。植物所必需的微量元素有硼、钼、锰、锌、铜、铁和氯，近年来证实钴和钒对一些植物生长有益，但是还没有被证实是所有植物所不可缺少的。动物则除了铁、锰、铜、锌以外，还需要碘、硒、钒和铬，但硼则没有被证实是动物所必需。铁在土壤中属于大量元素，而在植物中由于含量低而属于微量元素，应区别对待。氯虽然是必需的微量元素，但是在自然界中并未发现植物有缺氯现象，目前研究得较少。

就植物而论，目前在植物体中已发现的化学元素有70多种，大多数属于微量元素。有的元素含量极低，有人称为超微量元素。微量元素在植物体中所占的比例很小，可以由下列的数字反映出来，按植物体（干物重）的平均原子组成计算，每1,000,000,000个原子中所包括的各元素的原子数目如下〔4〕：