

中国科学院
微量元素研究工作会议汇刊

科学出版社

中国科学院 微量元素研究工作会议汇刊

——1962年12月10—15日——

主 編

李 庆 逵 崔 澂

編輯小組（以姓氏笔划为序）

方肇倫 刘 錚 朱 淇 李庆逵
李繼云 吳兆明 何电源 崔 澂

科 学 出 版 社

內 容 簡 介

本汇刊系1962年12月間举行的“中国科学院微量元素研究工作會議”的主要資料。内容包括:(1)綜合国内外有关微量元素的专题評論;(2)微量元素的分析方法;(3)我国微量元素研究工作的介紹和論文摘要。共有34篇文章,概括地介紹了有关微量元素的研究情况和工作方法。

本汇刊可供农业科学工作者、植物生理学工作者以及土壤学工作者参考。

中 国 科 学 院 微量元素研究工作會議汇刊

李庆遠、崔 澂等主編

*

科 学 出 版 社 出 版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 361 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1964 年 1 月第 一 版

书号:2949 字数:349,000

1964 年 1 月第一次印刷

开本:787×1092 1/18

(京) 0001—2,200

印张:14 2/3 插图:4

定价: 2.80 元

說 明

1962年12月10日至15日,中国科学院生物学部在南京召开了“中国科学院微量元素研究工作會議”。参加这次會議的单位有土壤研究所、植物研究所、林业土壤研究所和西北生物土壤研究所。另外,邀請了与我院工作上有联系的少数高等院校和科学研究单位参加。會議主要内容为交流研究方法和研究成果并討論研究工作规划。

我們受生物学部委托将会議主要資料編成汇刊。第一部分是国际文献綜述,主要評述了近年来关于植物生理学、土壤学和农业化学中微量元素研究工作进展。第二部分是微量元素的分析方法,其中部分内容是与会各单位的实际研究經驗。第三部分是国内研究工作綜述和論文报告摘要。

由于微量元素的研究工作時間不长,編輯較為匆促,难免有疏忽和錯誤之处,謹希讀者批評指正。

編輯小組

(1963年5月)

24101/55

目 录

說明	iii
----	-----

I. 国际文献综述

植物中的微量元素	崔 激 (1)
微量元素在农业中的应用	李繼云 匡廷云 汪錫彬 (36)
鋅在植物中的生理功能	吳兆明 (52)
鉬在植物中的生理作用	鄒邦基 (63)
土壤中的硼	刘 錚 (86)
土壤中的鋅	刘 錚 (112)
土壤中的銅	何电源 (130)
土壤中的錳	李繼云 汪錫彬 (140)
土壤中的鉬	何电源 (156)

II. 微量元素的分析方法

土壤与植物中微量元素的比色測定	刘 錚 (173)
土壤与植物中微量元素的极譜測定	刘 錚 (206)
土壤微量元素的光譜定量測定法	方肇伦 (220)
土壤中微量元素的光譜半定量分析法	唐丽华 韓玉勤 何电源 (223)

III. 国内研究报导

文献综述

我国微量元素生理作用方面的进展	崔 激 (228)
我国微量元素研究工作在土壤农化方面的进展	李庆遠 (232)

論文摘要

鋅在植物体中的分布	吳兆明 李佳格 (235)
微量元素对水稻幼苗生长和呼吸作用的影响及其相互关系	赵素娥 崔 激 (236)
鉬与大豆的氮、磷营养及其他生理作用的关系	朱 淇 梁之婉 张玉英 (237)
京津地区果树缺綠病的初步調查	崔 激 吳兆明 王保奎 (239)
微量元素对柑桔的作用及各元素間的关系	刘 錚 王国良 郑敏鋌 卢双潮 陈少亭 (240)
橡胶树的微量元素营养及其对产胶的影响	何电源 周庆祥 (242)
微量元素在东北主要土壤上对春小麦产量的影响	朱 淇 梁之婉 (243)

• v •

微量元素对加拿大楊、落叶松及杉木苗期生长的影响·····	朱 淇 刘君祐(244)
微量元素施于不同土类中与大豆的生长、发育、产量及品质的关系·····	·····朱 淇 梁之婉 陈恩凤(246)
华南某些砖紅壤中鉬的含量及鉬肥对豆科作物的效应·····	·····何电源 欧阳洮 錢承梁 王振荣(248)
酸性水稻土中微量元素的含量和形态以及与水稻生长的关系·····	·····刘 錚 邢光熹 王国良 徐俊祥(249)
关于豌豆、玉米的施硼效应·····	·····陈文荃 张乃凤(251)
微量元素对棉花与甜菜生长发育及产量的影响·····	·····王国校 朱 淇 梁之婉(252)
鉬肥效应与其他肥料施用的关系·····	·····邹邦基 朱 淇 张玉英(253)
华南某些主要土类中微量元素含量和分布的初步研究·····	·····何电源 唐丽华 韓玉勤(254)
东北及內蒙东部的土壤微量元素·····	·····方肇伦 宋达泉 叶 炳(257)
辽宁省土壤中的微量元素·····	·····楊玉爱 朱 淇(259)
在石灰性土壤上对小麦施用硼、錳肥料的研究 ·····	·····李繼云 董慕新 刘志远 汪錫彬(260)
辽宁省东部大骨节病患区土壤中鈣、鋁、鉬的含量·····	·····中国科学院林业土壤研究所土壤室 沈阳医学院卫生教研組(261)

I. 国际文献综述

植物中的微量元素

崔 巖*

(中国科学院植物研究所;南开大学生物学系)

目 次

一. 引言	(二)微量元素与其他元素間的相互关系
二. 研究微量元素必需性的方法	(三)微量元素与生长发育
三. 植物缺乏微量元素的征状及病症	(四)微量元素与光合作用
(一)植物缺锰的征状及病症	(五)微量元素与呼吸作用及氧化还原
(二)植物缺锌的征状及病症	(六)微量元素与碳水化合物的代謝及运轉
(三)植物缺硼的征状及病症	(七)微量元素与氮素代謝
(四)植物缺銅的征状及病症	(八)微量元素与酶
(五)植物缺鉬的征状及病症	(九)微量元素与抗性
四. 微量元素在植物体内的功能	参考文献
(一)微量元素在植物体内的含量、分布和运轉	

一. 引 言

研究植物营养的历史,一般溯自1699年 Woodward^[1]的工作,但植物营养研究的真正启蒙者实为 de Saussure (1804)^[2], 他的經典著作“植物化学的研究”(Recherches chimiques la vegetation) 中提出了植物营养的正确概念。四十年后通过法国的 Boussingault、英国的 Lawes 和 Gilbert 以及德国的 Liebig 等人的工作,引起了农业科学的革命。这一革命的价值和意义可用下面的事实来衡量:自羅馬帝国到 de Saussure (1804)^[2] 的著作发表的一段长时期里,西欧小麦平均产量停留在每英亩 6—10 英斗 (Kellogg, 1951)^[3], 但是到十九世紀末叶,产量一般提高了 3 倍。这个时期还没有现代化的农葯防治病虫害,也没有新的选种技术改良品种,更没有电力和內燃机动力的农业机械化。因此可以肯定小麦产量的显著提高主要是由于在作物上应用了植物营养的科学技术,大量施用化学肥料的結果。

de Saussure (1804)^[2] 和他的承繼者根据控制植物营养的實驗提出新的論証,认为組成陆生植物的化学元素来源于空气、水和土壤。約占植物干重 90% 的大量植物

* 收集资料工作,得到植物研究所植物生理研究室及南开大学生物学系植物生理教研室許多同志的协助,特此表示謝意。

物质是由通过光合作用同化的碳、氢、氧组成,这三个元素是来源于空气和水。其余10%的植物物质来源于土壤中的无机元素。虽然来自土壤的无机元素仅占植物物质的小部分,但这方面的研究工作的开展却超过光合作用。植物矿质营养研究领先的原因主要是由于从生产实际的目的出发,植物吸收土壤中无机元素易于控制或改变,施用化学肥料可以显著地提高作物产量。与此相反,光合作用在生产中几乎无法控制,在大田改变光照和二氧化碳供应非常困难。当然亦不能因此而低估光合作用的宇宙意义。

十九世纪中叶以后,在植物营养的研究中开始探讨那些元素是植物生活所不可缺少的? Sachs (1860)^[4] 和 Knop (1860)^[5] 同时发表了水培的方法,将几种不同的植物培养在各种盐类的水溶液中,用这种方法可以完全控制植物根系吸收的物质。他们从实验中总结出植物在含有氮、硫、磷、钾、钙、镁和铁的培养液内生长十分健康。因此再加上来自空气和水的碳、氢、氧共计10种元素。

但是 Raulin (1869)^[6] 却发现黑麴霉 (*Aspergillus niger*) 除需要以上10种元素外,还必须要有锌。这一结果说明植物可能需要一组完全新的无机元素,但是植物对它们的需要量极小,一般在营养液的杂质中已经满足了植物的需要,因而其重要性被忽视了。以后经过约百年的研究,已充分证明植物所需要的这组新型元素就是在理论上和生产上十分重要的微量元素。到目前为止已知植物无机营养必须的元素共计16种,其中铁、锰、铜、锌、硼、钼、钒、氯、钠和钴为微量元素 Hewitt (1959)^[7]。也有人根据植物体内元素的含量而分为常量元素及微量元素。Ратнер (1955)^[8] 指出植物除含有常量元素外,在植物体中还包含有种类甚多而为量极少的元素,这就是所谓微量元素(硼、锰、锌、铜、钼等)及超微量元素(硅、汞、镉、铈、镭等)。植物体中的元素是否均属必要? Arnon (1958)^[9] 认为绿色植物在很大程度上无区别地吸收土壤中元素,包括需要的、不需要的和甚至有害的。他指出:必要元素一定存在于植物体内,但是在植物体内的元素并非都是必要的。十分可能限于目前的科学和技术水平,植物体内某些元素的必要性尚未证明。根据 Arnon 和 Stout (1939)^[10] 的报告,必要元素的标准应该具备以下条件:

- (1) 植物缺少它就不能完成生活周期中的营养生长和生殖生长阶段;
- (2) 对某一元素来说,这种缺乏是专一的,只有供给该元素才能得到改善;
- (3) 元素必须直接参与植物的营养,而与改善外界的一些不合适的微生物的或化学的条件完全不同。

前面提到的必要元素都符合这些条件。必须指出不同植物对微量元素的需要有一定的差异,一种元素对这类植物是必需的,而对另一类植物是不需要的。从表1可以看出,各种绿色植物对碳、氢、氧、氮、磷、钾、硫、镁等的需要都是大量的,而对铁、锰、铜、锌则为微量的。还有一些元素如钙、钼、钠、钒、硼、氯、钴等,高等与低等绿色植物对它们的需要很不相同。

植物体对某些元素的必要性意味着元素的不可代替性。但是不可代替不是绝对的,已经知道在某些生物体或酶中,一个元素可以部分的或全部被另一元素所代替,

表 1 綠色植物需要的常量和微量元素 (引自 Arnon, 1958)^[6]

元 素	高 等 植 物	綠 藻	藍 藻
C, H, O, N, P, S, K, Mg	常 量	常 量	常 量
Fe, Mn, Cu, Zn	微 量	微 量	微 量
Ca	常 量	微 量	常 量
Mo	微 量	微 量	微 量
Na	微量 (?)	微量 (?)	常 量
V	微量 (?)	微 量	微量 (?)
B	微 量	微量 (?)	微量 (?)
Cl	微 量	微量 (?)	微量 (?)
Co	微量 (?)	微量 (?)	微 量

例如鈣和鋇, 鉬、釷和鐳, 鉀和鈉, 錳和鈷。因此造成研究微量元素的必要性更多的困难。

近廿年来, 由于生物化学及生物物理学以及分子生物学的发展, 也提高了微量元素研究的水平。在分子水平上深入研究微量元素在代謝过程中的作用, 例如錳在光合作用 Hill 反应中的作用, 鋅对生长素的前身色氨酸合成的作用, 鉬在硝酸还原过程中的作用等。同时在生产方面, 苏、美、英各国也比较普遍地施用微量元素肥料, 对提高作物产量起了一定的作用。

二. 研究微量元素必要性的方法

研究植物对微量元素的需要, 首先必須从培养液和器皿中除去要进行研究的元素到最低水平, 其次是防止在培养过程中从外界受到污染, 其三还要注意减少体内原有这一元素的影响。培养液是由化学药剂和水組成, 商品药剂均含有不同程度的杂质, 古老的方法是将商品药剂在实验室重結晶, 但是费时过多, 且效果亦不能完全令人满意。1919年 Steinberg^[11] 首先采用碳酸鈣沉淀法除去培养液中的重金属, 研究黑麴霉 (*Aspergillus niger* van Tiegl.) 对鉄、鋅、銅、鉬等微量元素的需要。他在 1935 年^[12]加以改进, 每升培养液中加 15 克碳酸鈣, 在 1 大气压(120.5℃)的压热器中处理 20 分钟, 置放过夜, 然后过滤。他在 1935 年还指出趁热过滤, 效果最好。这个方法的原理是提高溶液的碱性可以使重金属形成碳酸盐、氢氧化物和磷酸盐并为鈣盐所吸附而沉淀下来。Stiles (1948)^[13] 认为不需要压热器, 因为加热至 100℃, 20 分钟已足以沉淀重金属。

Stout 和 Arnon (1939)^[14] 研究銅、錳、鋅等微量元素在高等植物营养中的作用时, 对上法又加以改进。研究高等植物对微量元素的需要与真菌略有不同, 因为高等植物需要大量的培养液, 最好是对水和营养物质分别除去其微量元素。一般蒸餾水中約含 0.01 p.p.m. 金属杂质, 用 Pyrex 牌硬玻璃器再蒸餾 1—2 次, 即可得到金属含量极低的再制蒸餾水, 用阳离子交换剂处理亦可得到滿意的效果 (表 2) (Hewitt, 1953)^[15]。崔激与吳兆明 (1957)^[16] 在普通蒸餾水中加碳酸鈣, 在碱性条件下攪拌或震蕩約 24 小时, 置放澄清后过滤, 用此水培养缺鋅植物获得成功。Stout 和 Arnon

表2 各种水中微量元素含量 (引自 Hewitt, 1953) ^[15]

处 理 \ p.p.m.	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
雨 水	0.06	0.021	0.006	0.0125	0.89	0.0002
离子交换剂处理的雨水	0.015	0.0001	0.0022	0.0017	0.0023	0.000008
金属蒸馏器的蒸馏水	0.046	0.0027	0.003	0.010	0.0093	0.00006
玻璃蒸馏器的蒸馏水	0.014	0.001	—	0.003	0.006	0.000005

(1939)^[14] 培养高等植物所用的矿质盐包括硝酸钙、硝酸钾、硫酸镁、磷酸氢二铵、磷酸氢二钾和硫酸铵。纯化的方法是先配成1克分子溶液,分别进行纯化,在每5升溶液各加65克碳酸钙和少量的其他盐溶液。纯化硝酸钾和硝酸钙溶液时加50毫升磷酸氢二钾克分子溶液;纯化磷酸氢二钾和磷酸氢二铵时加25毫升硝酸钙克分子溶液;纯化硫酸镁和硫酸铵时加50毫升硝酸钙和50毫升磷酸氢二钾克分子溶液。除硫酸铵溶液外,其余溶液均置于压热器在20磅压力下1小时,放置过夜,然后过滤;硫酸铵溶液在压热器中加热45分钟,其他处理相同。最后得到的磷酸氢二钾和磷酸氢二铵滤液,加硫酸调节pH为5.5。

Stout 和 Arnon (1939)^[14] 用二苯基硫卡巴腓 (diphenylthiocarbazone) 试剂测定溶液的纯度,将0.1克纯化的试剂溶于100毫升重蒸馏的氯仿中,当试剂溶液加入含有锌、铜、铅、镍、钴、镉、铈、汞、铋的溶液中时,则氯仿层呈紫红色。用已知浓度的标准溶液产生的颜色与纯化溶液所产生的颜色相比,发现后者所含的金属杂质低于 $1:10^3$ 。虽然锰与试剂不发生颜色反应,根据其他元素的情况,估计锰亦可被除去。

盐类溶液的纯化不包括铁,所以在每升培养液中每周加两次0.5毫升的0.5%硫酸铁和0.5%酒石酸。

近几年来许多植物生理学者利用其他纯化方法研究绿色植物对钼、钨、氯的需要, Stout 和 Meagher (1948)^[17] 用硫化铜(铜与硫化氢)沉淀营养液中的钼,清除钼的效率不低于99.95%。Arnon 和 Wessel (1953)^[18] 研究斜生栅列藻 (*Scenedesmus obliquus*) 对钨的需要,他们除用硫化铜沉淀基本营养液外,还用乙醚和盐酸提取氯化高铁中的其他金属元素,因为发现铁盐中含有较多的钨。Broyer 等(1954)^[19] 对纯化培养液中卤族元素得到良好的结果,实验证明氯是高等植物的必需元素。他们在热母液中加入少量的硝酸银,过夜冷却后过滤。将滤液加热煮沸,并在每升溶液中加入10毫克铜(用硫酸铜)和1克含卤素元素较低的硫酸钙。溶液在冷却过程中不断通入硫化氢一小时半,过夜冷却后再过滤、煮沸,在沸液中通入氮气,清除其中的硫化氢。最后得到卤族元素、铁、锰、锌、铜和钼等重金属含量极低的溶液。

Nicholas (1953)^[20] 研究黑麴霉 (*Aspergillus niger*) 和灰绿青霉 (*Penicillium glaucum*) 等微生物的矿质营养时,他纯化无机试剂的方法总结如表3。

培养器皿也必须注意, Hewitt (1953)^[15] 研究砂培技术时,指出用瀝青涂容器内部是在数月内防止硼、铁、锰污染的有效方法。此法不适用于钼和铜,因为瀝青中一般均含此二元素。用聚乙烯片制的器皿用于研究缺铁、锰、硼和钼等元素均称满意。

表 3 從無機常量元素和葡萄糖中除去微量元素的方法 (引自 Nicholas, 1953)^[20]

清除的微量元素	清除用的方法	純化后的金屬残余物 (微克/50 毫升)
銅	加 1 毫升 5% 的硫酸銅溶液, 在 pH 2.0 时用硫化氫沉淀硫化物, 后者煮沸后可除去, 用 2% 氫氧化鈉將 pH 調節成 3.5。	0.05
鋅 与 鐵	溶液用 5% 氫氧化鈉將 pH 調節成 5.0, 每次用 30 毫升 5% 8-羥基喹啉氮仿溶液在电力震盪器上搖动 4 次。喹啉先用重蒸餾氮仿提取, 后再用乙醚, 溶液加热至 70°C 通氣去除乙醚。	0.01
鋁	沉淀方法与除去銅相同。	0.00005
錳	1. 溶液在 pH 5.5 时加入 10 毫升 0.2% 二乙胺苯二硫代甲酸钠, 銅鋅灵水溶液和 5 毫升硫酸銅溶液。过量的有机试剂用銅沉淀, 并在 pH 3 用硫化氫除去硫化銅。分析时用 2% NaOH 將 pH 調節成 7.5。 2. 用 Amberlite IR 100 或 Zeocarb 215 阳离子交换剂。	0.01
鉍	用 8-羥基喹啉提取, 同鐵与鋅, 需要提取 10 次, 提取过程可用在紫外綫下观察喹啉鉍的螢光校对。	0.01
硼	大量营养物质可用甲醇再結晶	0.01

用 Pyrex 牌硬玻璃器研究缺鋁、銅和鋅非常好, 但不能用于研究缺硼。Jena 牌玻璃器則不能用于研究缺鋅。

Hewitt (1952)^[21] 在其“植物营养研究的砂培与水培方法”一书中, 对水及葯品的純化方法叙述和討論頗为詳細, 可供参考。

三. 植物缺乏微量元素的征状及病症

前面已經指出植物缺乏微量元素时形态上常发生特殊的征状, 由于一种必要的微量元素在一定程度上有其不可代替的生理功能, 缺乏它就引起不正常的代謝, 并且在形态上表现出特殊的变化。因此就可以根据植物形态的改变作为診斷植物缺乏微量元素的指标, 农业上有不少已为大家所熟悉的病是由于缺乏微量元素所引起的, 造成經濟上的重大損失。例如: 缺乏硼引起的甜菜腐心病; 缺乏鋅引起許多果树的小叶病; 缺鐵引起植物的缺綠病; 缺錳引起燕麦灰斑病。

(一) 植物缺錳的征状及病症

缺錳的植物一般首先在叶脉之間出現淡綠色小片, 小片的形状因植物种类而异。单子叶植物如禾谷类作物为平行脉, 小片为条状; 双子叶植物如番茄、甜菜为网状脉, 小片为圓形。严重缺錳时, 小片缺綠部分发生焦灼現象, 且停止生长。缺錳的主要病症如下:

燕麦灰斑病 (gray speck disease) 燕麦灰斑病是在叶部发生灰色斑点, 主要发生于下部的老叶, 斑点逐漸結合为长条, 变为棕色。此病最早的病象常发生于幼齡植物的第三和第四叶上。叶片上产生非常清楚的一条組織变弱的橫綫, 因而叶片上端下垂。幼叶的橫綫多发生于靠近叶片基部 1—2 吋处, 但老叶的橫綫位置漸高。

此病在世界上分布甚广,欧洲各部、美洲、澳洲均有之。多发生于碱性反应且富于腐殖质的土壤。多年来已经肯定在土壤中或在叶部用可溶性锰盐处理即可矫正。Samuel 与 Piper (1928)^[22] 用水培方法培养燕麦证明灰斑病确实与缺锰有关,在溶液中含有 1 比 10×10^6 的锰即无灰斑病象,培养液 10 周更新一次。

Gerretsen (1937)^[23] 发现发生灰斑病的土壤用福尔马林消毒后(虽然土壤中水性或可交换的锰经过消毒后并未增加),但再种燕麦却不生灰斑病。消毒土壤加 10% 原有土壤接种后则燕麦又发生灰斑病。燕麦培养于灭菌的水培溶液中,锰的含量极低亦不发生灰斑病,如果培养液用有病植物的根尖或病根的细菌接种,则有明显的病象。这些事实说明灰斑病与微生物的存在有关。Stiles (1948)^[13] 假定感染的微生物在根中产生碱性产物被蒸腾流携带到叶部引起灰斑病。但是这种假定对发生灰斑病的植株经过用可溶性锰盐处理后可以恢复正常就不能解释,因此可能是由于根部感染微生物后,将仅有的微量锰拘留在根中而不能上运,造成叶部缺锰而生灰斑病。

Gallagher 与 Wolsh (1943)^[24] 观察到小麦锰缺乏症常常在第三、第四叶片上出现,病象与燕麦的灰斑病相似,但横纹发生于靠近叶的尖端,后逐渐蔓延到下部。他们还看到黑麦的缺锰症与燕麦也相同。

甘蔗白症 (pahala blight) 此病见于夏威夷,病株叶片发生部分缺绿,缺绿处有白长条纹,叶鞘无此现象。第三、四、五幼叶常有病。1928 年 Lee 和 McHargue^[25] 根据在叶部施硫酸锰溶液或粉剂可以防治,正常和有病植株锰的含量不同以及砂培试验的结果,他们认为这种病是由于缺锰,并且指出此病只发生于碱性和中性土壤。

甜菜斑黄病 (speckled yellows) 甜菜叶脉间有黄色缺绿部分,当病发展到病叶边缘时,叶面向上弯曲 (Wallace, 1943)^[26]。生病植株当施用可溶性锰盐可以恢复正常。Stiles (1948)^[13] 分析的结果证明正常植物体内锰的含量远远超过病株。

豌豆凹斑病 (marsh spot) 此病发生于豌豆种子,子叶内面有棕色或黑色斑点或下陷为小穴。Lohnis (1936)^[27] 发现生凹斑病的豆角含锰量较健康豆角少。Lewis (1939)^[28] 在土壤中或叶面上施用可溶性锰可以有效地减轻凹斑病。Piper (1941)^[29] 用精细的水培方法进一步肯定了缺锰与发生凹斑病的关系。

桐树秃化病 (frenching) Reuther 等(1937)^[30] 在美国佛罗里达州发现桐树普遍发生“秃化病”。在叶脉间先有缺绿部分,后发展为死斑,叶色变黄,提早脱落。缺绿初期将枝条浸于含有 1% 氢氧化钙和 1% 酪酸钙的 1% 硫酸锰溶液后 3—4 周即可恢复。

(二) 植物缺锌的症状及病症

植物缺锌时顶端生长缓慢或停止生长,幼叶硬小,形似蔷薇花,叶呈暗绿色,叶脉局部干枯,茎色变为紫绿,一般称为小叶病或斑叶病。Reed 和 Dufrenoy (1935)^[31]、Reed (1939)^[32] 研究了桔、杏、桃、番茄、玉米、丝瓜、荞麦等植物缺锌的内部征象及细胞的变化,他们指出栅栏组织的细胞呈长菱形,叶肉细胞比较紧,细胞间隙变小。杏、桃、荞麦缺锌还积累较多的酚类物质,芥菜与玉米则无此现象。下面是常见的缺锌

病。

美洲核桃丛簇病 (rosette) 最初的病象是在枝条上端的叶子发生黄斑, 顶端的叶子先出现病症, 叶小而脆, 有曲皱。缺绿部分极薄, 逐渐变为棕黑色。此病造成全株死亡者不多, 但是果实产量极低。Alben 等 (1932)^[33] 将病枝浸于锌盐溶液中可以恢复正常, 他们认为美洲核桃必须有锌才能生长健康。

果树小叶病 Chandler、Hoagland 和 Hibbard (1932)^[34] 首先在美国加利福尼亚州发现此病, 病叶表现有缺绿斑点, 叶茎畸形。他们指出苹果、梨、李、樱桃、桃、杏和葡萄均易生此病。深入研究结果证明小叶病与缺锌有关, 在土壤中或在冬季喷射硫酸锌均可获得良好效果。Hoagland 等 (1936)^[35] 在无锌水溶液中培养杏亦可引起发生小叶病。因此他们肯定小叶病是由于缺锌。

油桐树焦灼病 (bronzing) Newell、Mowry 和 Barnette (1930)^[36] 最先在美国佛罗里达州含有大量磷酸盐的土壤上发现油桐树有焦灼病, 后来发现此病并不限于在这种土壤上。焦灼病常见于春末夏初, 最初的病象是在许多叶子上呈现青铜色, 枝条尖端的叶子退化, 最后枝条失去大量叶子, 节间生长不正常。Mowry 和 Camp (1934)^[37] 发现每株在土壤中施 1/4—1/2 磅硫酸锌或用 50 加仑水含有 6 磅无水石灰和 3 磅 89% 硫酸锌和一些酪酸钙喷射叶子均可矫正此病。

(三) 植物缺硼的症状和病症

Brenchley 和 Warington (1927)^[38] 对植物缺硼的影响进行了不少研究工作。植物缺硼首先表现在主茎尖端生长点死亡, 逐渐蔓延到侧芽和侧枝。后期的病象是叶片加厚, 弯曲而脆, 略呈缺绿, 根部粗短。

Warington (1926)^[39] 研究缺硼植物的组织变化, 他观察到蚕豆缺硼植株的形成层细胞扩大, 细胞无色和退化。虽然不同的植物缺硼引起的内部病象略有差异, 但是一般而论, 缺硼主要是引起分生组织的退化, 包括形成层、薄壁细胞的细胞壁被破坏。缺硼病症多见于块根植物。

甜菜心腐病 (heart rot) 甜菜心腐病在世界各地普遍有之。多发生于碱性土壤和干旱年代。主要病象是根内部引起腐烂。但最初的病象却表现于幼叶, 短粗而弯曲, 叶柄呈褐色或紫黑色。植物渐大时, 各叶均受病, 叶脉呈黄色, 变脆, 随后全部叶片变为黄色, 最后死亡。

萝卜溃疡病 (canker) 萝卜缺硼常引起溃疡病, 欧美两洲均有报导 (Walker, 1939)^[40]。内部组织变黑而硬, 黑色部分的大小及形状不一, 一般发生于根的中部。萝卜地上部缺硼的征象与甜菜相同, 但不如甜菜明显。老叶正常, 幼叶小而向内弯曲, 含有大量花青素。

蕪菁褐心病 (brown heart) 此病习见于英国、北欧、冰岛、加拿大、美国、澳大利亚、新西兰等地 (Dennis and O'Brein, 1937)^[41]。病株外部正常, 而根内发生变化, 发病组织多限于形成层以及木质部, 呈灰白或褐色充水状态, 含有褐色素。Güssow (1934)^[42] 报告施硼可以控制此病, 其他元素无效。褐心病确实由于缺硼是 Hill 和

Grant (1935)^[43] 以及 Dennis 等 (1937)^[44] 分別用砂培及水培試驗証明的。

花椰菜褐腐病 花椰菜缺硼最明显的征象是在花序的頂端变为褐色。Dearborn (1942)^[45] 进行过田間或盆栽試驗,发现初期表现在有充水現象,然后变硬呈褐色,阴雨天气可以造成腐烂。叶部缺綠,尤其在老叶尖端,逐渐变厚而脆,易于弯曲下垂。内部組織的变化与其他缺硼植物相同。

(四) 植物缺銅的征状及病症

植物的缺銅表现在叶部生长緩慢,叶片較小,呈蓝綠色,随后发生死斑。显微观察的結果,栅状組織退化,在气孔下面形成空腔 (Reed, 1939)^[32]。缺銅病习見者如下:

果树郁汁病 (exanthema) 长期以来发现許多果树,如桔子、梅子、苹果、梨、橄欖等均見发生此病 (Smith and Thomas, 1928)^[46]。桔树患此病时,叶子大小不正常,枝条呈 S 形,幼枝生含有胶状物質的水泡,后胀大纵裂,泌出紅色胶质。1917 年 Floyd^[47] 曾报告在桔树上施用硫酸銅防治此病有效,后为許多人証实。Haas 和 Quale (1935)^[48] 用培养实验肯定桔树患此病是由于缺銅。

风土病 (reclamation disease) 在丹麦,荷兰及欧洲其他地区的沼泽土壤上植物缺銅常生此病。生病植株叶尖缺綠,禾谷类作物不能結实。Sjollem (1933)^[49] 报告在土壤中加入硫酸銅可治此病。Piper (1942)^[50] 用純化的葯剂作水培試驗,他証明燕麦、小麦等植物的萎縮病都是由于缺銅所引起的。

(五) 植物缺鉬的征象和病症

Arnon 和 Stout (1939)^[51] 用水培方法研究植物缺鉬的征状,他們发现首先是下部的叶子有明显的斑状,随后叶的边緣发生死斑并向內捲曲。由于落花故不能形成果实。Hewitt (1959)^[7] 认为植物缺鉬的征状有两种类型。一种是初发的病象,此病直接与硝态氮的供应和在組織內积累有关,叶片呈黃或桔黃色,叶脉間有斑点,叶弯曲,由于組織失水发生萎焉。老叶先发生病象,子叶在相当长的時間內仍表現正常。第二种类型的病象是表现在芥菜属 (*Brassica*) 的一些蔬菜,例如花椰菜及芥菜等发病的尾鞭現象 (whiptail)。这些植物含着充足的甚至比正常植物还多的有机氮化合物。发病初期于 5—15 厘米的幼叶出現征状,在主要的叶脉間有小卵圓形透明部分。Hewitt (1959)^[7] 指出植物生长于硝酸态氮和 0.00005 p.p.m. 的鉬可以观察到尾鞭病象;在 0.00005 p.p.m. 鉬植物有骨疽症。他还証明 0.00005 p.p.m. 鉬足够硝酸还原和产生有机氮化合物之用。

四. 微量元素在植物体内的功能

(一) 微量元素在植物体内的含量、分布与运轉

植物体内微量元素的含量已有不少人进行了分析研究。苏联的 Вернадский

(引自 Ратнер^[81]) 証明地壳中已知的 92 种化学元素有 60 余种是与生物有密切关系的。根据他的分析結果,植物中微量元素(只选录植物所必需的)含量如下:

植物体中某些微量元素的含量

(占干物质的百分数)

鉄	2×10^{-2}	鈷	2×10^{-5}
錳	1×10^{-3}	硼	1×10^{-4}
氮	$N \times 10^{-2}$	鉬	1×10^{-5}
銅	2×10^{-4}	鈾	1×10^{-4}
鋅	3×10^{-4}		

法国的 Bertrand 等^[52,53]先后分析过 120 种以上的植物內硼的含量。在每公斤干物质中,单子叶植物体内含硼 2—11 毫克,双子叶植物为 8—95 毫克,在单子叶植物中禾本科植物含量甚低,双子叶植物中豆科和十字花科的含量最高。在植物的不同器官中硼的含量不同,Парибок (1958)^[54]研究过小麦和亚麻植株內硼的含量与分布。他发现小麦叶中含量最高,茎比叶少 4—19 倍,穗中含量高于茎,而又低于叶,籽粒中硼的含量比所有其他部分都低。亚麻叶中含量亦較高,茎中含量低于叶子,种子中含量很低,但蒴果中的含量与叶中几乎相等。Школьник 等 (1958)^[55]研究了玉米植株內硼的含量及分布,他們指出叶中的硼最多,种子內很低。硼在叶中的含量則下层叶少于上层叶 (Bertrand and Silberstein (1940)^[52,53]。Бобко 等 (1938)^[56]报导花內硼的含量很高。核果类植物如杏、桃、李的果实中硼的含量亦較高,而营养器官中以叶中的含量为最高 (Eaton, McCallum and Mayhugh, 1941)^[57]。地下部分包括根、块根、块茎、鳞茎等含硼量均較低 (Каталымов, 1956)^[58]。另外 Skok 和 McIlrath (1957)^[59]还研究了硼在植物細胞中的分布,他們用分級离心的方法将向日葵和赤豆細胞內各部分分离开,测定了硼在这些細胞器中的含量,結果証明:虽然在粒綫体和微粒体中的含硼量比在核、質体和上清液部分硼的含量少(各部分皆无游离态硼),但是上清液部分硼的含量及状态与植物缺硼現象有关;当植物生长正常时上清液部分的非透析硼占上清液硼总量的 25%。当植物用了基質中的有效硼,并在頂芽表現缺硼病症时,上清液中可透析硼的部分降低为零。此时上清液中未透析的硼仍然不变。这一发现証明硼是不能被再利用的。大家都知道,即便缺硼的植物仍含有相当量的硼。

Bertrand 和 Silberstein (1954)^[60]分析了約 400 种单子叶和双子叶植物地上部分中錳的含量。含錳量較高的是薔薇科为 131 毫克/公斤干重;石竹科为 110 毫克/公斤;玄参科为 101 毫克/公斤,含錳量較低的如十字花科为 44 毫克/公斤,盐生植物为 30 毫克/公斤;禾本科植物为 77 毫克/公斤,非綠色植物如真菌含量甚低,平均为 26 毫克/公斤。他們 (1958)^[61]后来的报导指出含錳最高的是玄参科 (3468 毫克/公斤干重);石竹科、毛茛科和薔薇科 (~100 毫克);豆科、繖形科、菊科、茄科、唇形科和藜科 (~60 毫克/公斤);含錳最少的是十字花科 (平均为 45.7 毫克) 和猪毛菜科 (平均为 30.8 毫克),禾本科平均为 87.5 毫克。

植物不同器官中錳的含量不同,通常叶中含量最高,Парибок (1958)^[54]指出在

营养生长末期叶锰含量高达900毫克/公斤,茎中锰含量比叶低11—15倍,蒴果的含量高于茎,种子的含量最低。Каталымов (1956)^[58] 发现在茎中,尤其象块根、块茎这一类地下部分器官,锰的含量大大减少,例如马铃薯块茎中锰的含量比地上部分低10倍多。Single (1958)^[62] 用小麦为材料指出锰在植物体内并无重新分布现象。

Eyster 等 (1958)^[63] 指出每一微升压缩细胞中含有约 0.0114×10^{-9} 克分子的锰。或每一小球藻细胞有136,800原子的锰。而每一微升压紧小球藻细胞平均有7.1毫克的叶绿素,这就意味着每一微升压紧细胞有 7.0×10^{-9} 克分子叶绿素,或每一细胞有 84×10^6 叶绿素分子。Stale 和 Bovay (1954)^[64] 及 Bertrand 等 (1932)^[65], 曾经强调指出植物绿色器官含锰量较高是一种特性。烟草茎外部绿色部分较内部非绿色部分组织含锰量高4—9倍,绿色叶子比黄化叶子锰的含量高。绿色部分含锰量较高的特性可能与光合作用有关,而植物缺锰时光合作用降低 (Kessler, 1955)^[66]。

植物体内钼的含量较锰为低,Tern (1931)^[67] 和 Bertrand 等 (1940a, 1940b)^[52,53] 都分析过一些植物的含钼量,他们指出豆科植物的含钼量较其他植物高,一般说植物地上部分钼的含量约为0.54—4.43毫克/公斤干重。Bershad (1948)^[68] 分析过生长在含钼丰富土壤中的各种饲料作物,发现有10种豆科植物中钼的含量为15—220毫克/公斤,11种禾本科植物中钼的含量为2—40毫克/公斤。Бамберг (1956)^[69] 的研究发现在豆科植物种子中钼的含量比在禾本科植物子粒中的含量高5—6倍。钼在豆科植物的各个器官中的分布以根瘤为最多,根和地上部分较少,但在地上部分的各个器官中,叶中钼的含量又较多 (Bertrand, 1940c)^[70]。Парибок (1958)^[54] 分析小麦的结果,叶中的钼最多,茎及穗中的含量比叶少,籽粒中则更低。豆科植物或根瘤中含量特别高的原因与钼的生理作用有关,豆科植物根瘤中固氮过程及硝酸还原都必需有钼,最近已发现钼为硝酸还原酶的组成部分。Nicholas (1955a)^[71] 证明在链孢霉 (*Neurospora*) 中酶的活性与钼的含量有直接关系,最纯的酶制品中钼的最高浓度为0.00015%。

植物叶片中的铁每百克鲜重约含2.5毫克,或等于 10^{-3} 克分子。Hill 和 Lehmann (1941)^[72] 的报告菠菜的铁大约有25%集中在叶绿体,干燥的叶绿体含铁0.05%,细胞核含铁甚少。他们发现,叶子中铁先增加,叶绿素后增加,铁与叶绿素的克分子比在大多数植物中为1:4—1:10。

锌在植物体内的含量和分布也有一些研究报导,崔激 (1954)^[73] 以番茄为材料分析的结果证明正常植物中顶芽的含锌量最高,叶次之,茎较少,整个植物上下各部的含量由下而上逐渐递增。他指出锌的分布与生长素的分布基本上是平行的。Wallihan 等 (1958)^[74] 用 Zn^{65} 示踪的氯化锌施于柑桔和柠檬植物上,发现幼叶吸收的速度最快,上下表皮吸收没有区别,锌在叶子与根中最后分布几乎相同。吴兆明与李佳格 (1963)^[75] 用 Zn^{65} 同位素研究锌在番茄等植物中的分布,叶片中叶脉附近的含量最多。Riceman 和 Jones (1958)^[76] 的研究结果:锌很容易由老叶中向幼叶运输,各器官中锌的浓度发生很快的变化。Bucovac 和 Wittwer (1957)^[77] 在叶子上施钼、钠、钾、磷、氯、硫、钙、锰、铁、钼、铜、镉、银等元素的放射性同位素,研究它们的分布。他们发现

鈣、鈉、鉀最易吸收和運輸。鈣、鋁和鋅被叶子吸收后不能外运,所以考虑是不移动的。磷、氮、硫、鋅、銅、錳、鉄和鉬則处于中間状态。

最后必須指出植物叶中微量元素的含量有季节性变化, Labanauskas 等(1959)^[78]研究过橙叶中鋅、銅、錳、鉬和鉄浓度在十二个月內的变化,結果証明叶中鋅、銅的浓度随叶子年龄而趋于减少,而錳、硼、鉄則趋于增加。

(二) 微量元素与其他元素間的相互关系

前面已經指出植物所必要的矿质元素至少有 16 种,各个元素的作用不是孤立的,而是相互联系的。近来有不少人研究了微量元素之間以及微量元素与常量元素之間的相互关系,微量元素与氮素营养的关系中最有意义的是錳与鉬在硝酸还原过程中的作用。Burström(1939)^[79]早已指出錳在硝酸盐还原中的意义; Hendrici(1954)^[80]最近报道錳与鉬均参与硝酸盐轉变为亚硝酸盐的还原过程,而錳促进根系內的这一过程,鉬是促进地上部的这一过程。Arnon 等(1955)^[81]用小球藻及栅列藻研究鉬与氮素营养的关系,如果供給还原态氮,則不需要鉬。但是 Walfe (1954)^[82]及其他学者的研究,认为鉬的意义不仅在于硝酸盐的还原过程,而是对于合成蛋白質以前的那些过程都有作用。

微量元素与硫和磷之間的关系亦有一些資料。Власюк等(1957a、б)^[83,84]指出,無論在硝态氮或氨态氮营养条件下錳都能促进核糖核酸的磷以及磷脂类和总核苷的磷发生較强的交换。Нелюбова(1958)^[85]发现硼对磷的运输有促进作用。

在 Власюк 等(1957 a、б)^[83,84]的工作中,还发现錳影响无机硫化物代謝的速度,在硝态氮营养条件下有机的硫化物代謝速度降低,但在氨态氮营养条件下这种降低的現象不明显。

微量元素与常量元素之間存在着拮抗作用。Epstein 和 Hagen(1952)^[86]报告鉀和鈉可以阻碍鋁的吸收,除非鋁和鈉在很高的浓度,鈉不妨碍鋁的吸收。Школьник 和 Макарова(1950)^[87]研究过鉄和銅的拮抗作用,他們的研究結果指出在施用 0.5 毫克/升的銅的条件下,强烈地降低向日葵地上部的收获量,但再施用 100 毫克/升的鉄,就完全消除銅的毒害。

此外,鉬是鉄的拮抗者。鉬又能改进鉄的利用率。Bediske 和 Biddulph(1953)^[88]认为这种現象与鉬同磷形成絡合物的能力有关,使鉄不能以磷酸盐的状态沉淀下来,因此而提高了鉄的利用程度。Gerloff 等(1959)^[89]的研究指出在增加营养液中錳的浓度的情况下,鉬加强了鉄不足的症状;而增加鉬和錳的浓度时,組織中鉄的含量减少,他們认为鉬与鉄的相互作用与形成含有鉄和錳的难溶沉淀物有关。Skok(1957)^[90]的研究,几种能形成絡合物的元素包括鋁、鋅、特别是鋅可以在缺硼的条件下暂时改善硼的缺乏症。Школьник(1955)^[91]提出过有关矿质元素相互作用的原理,他认为离子拮抗作用和某些矿质元素的相互作用是矿质元素在新陈代谢过程中相互作用現象的两个方面。

Eyster、Brown 和 Tanner(1958)^[63]用特殊培养基培养小球藻,培养基的成分