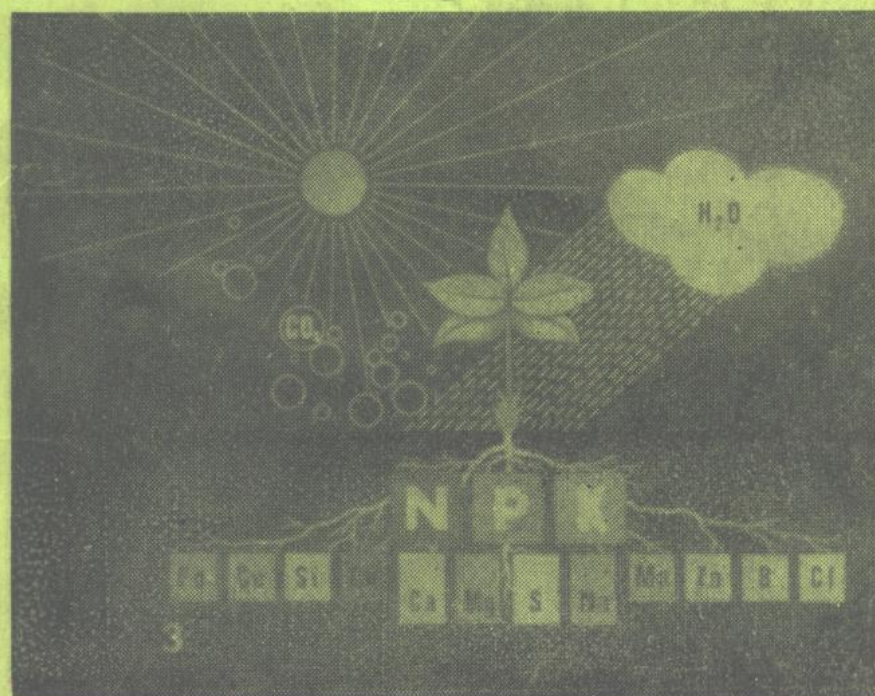


肥料和植物营养指南

粮 农 组 织

肥料和植物营养
文 集

9



中 国
农业科技出版社



联合国
粮食及农业组织

肥料和植物营养指南

作者:

粮农组织土地水利开发司

肥料和植物营养处

中国农业科学院科技文献信息中心

根据其同

联合国粮食及农业组织的协议出版

粮农组织
肥料和植物营养
文集

9

中 国
农业科技出版社
北京 1989

联合国
粮食及农业组织

404552

本书原版为联合国粮农组织的肥料和植物营养文集(9)《肥料和植物营养指南》(FAO Fertilizer and Plant nutrition Bulletin No. 9, FERTILIZER AND PLANT NUTRITION GUIDE, M-52, ISBN 92-5-102160-0, Rome, 1984)

本书中所用名称及材料的编写方式并不意味着联合国粮农组织对于任何国家、领地、城市或地区或其当局的法律地位或对于其边界的划分表示任何意见。使用“发达经济”和“发展中经济”这两个词是出于统计上的方便,并不是对某个国家或地区在发展过程中已达到的发展阶段作出的判断。

CPP/88/26

ISBN 7—80026—165—4/S·129

版权所有。未经版权所有者事前许可,不得以电子、机械、照相复制等任何方法或其他程序全部或部分翻印本书,或将其存入检索体系,或发送他人。申请这种许可应写信给联合国粮农组织出版司司长(意大利罗马 Via delle Terme di Caracalla, 00100)并说明希望翻印的目的和份数。

C. 粮农组织 北京 中文版 1989年

肥料和植物营养指南

联合国粮农组织



责任编辑 盛道怀

中国农业科技出版社出版 (100081 北京海淀区白石桥路30号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国农业科学院科技文献信息中心印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 8.8字数: 194千字

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

印数: 1—3000册 定价: 4.00元

ISBN 7—80026—165—4/S·129

前 言

发展中国家为了实现粮食生产自给，需要有效地和综合地利用肥料及其它来源的植物养分，象有机物和生物固定大气中的氮等等，已众所周知。

联合国粮农组织通过其肥料方案，在五十多个经济上正在发展中的国家，专心致力于田间活动二十多年。目的是通过适当的施肥和植物营养技术的开发和应用，帮助增加农业生产，特别是小农场主种植的粮食作物。联合国粮农组织最早的、很有名的刊物之一，由V. Ignatieff 和H.J. Page撰写的“肥料有效利用”，于1950年首次印刷、曾作为一本有用的参考书用了许多年。目前这一出版物已停刊一段时间。自此以后、许多国家对于补缺一本以比较简炼的语言、论述植物营养和肥料利用等方面的、简单的、可携带的参考书，来满足广大用户的需要，表示关注。

应联合国粮农组织成员国的要求，印度肥料协会（FAI）出版过“肥料使用手册”，它是最近出版的一本综合性资料。印度肥料协会对这本文集的初稿作了积极的反应，对此表示衷心感谢。

在修改本书各种农业生态和技术条件的内容时，得到联合国粮农组织成员和肥料工业顾问委员会的专家（FAO/FIAC）许多有价值的指导和帮助。

联合国粮农组织聘请的顾问 M. Holmes 先生对本书的增删意见及初稿的加工给予了协助，由肥料和植物营养处R.N. Roy博士作最后编校。

希望这本文集至少能部分地满足对这类出版物的需要。欢迎读者对新版文集需要改进和增加的内容提出建议。

目 录

	页 次
前 言	
第一章 绪言	(1)
第二章 植物需要的养分	(3)
必需养分 营养元素相互作用和多重养分缺乏症 指示植物 元素的毒性作用	(3)
第三章 土壤是作物生产的基础	(8)
土壤的形成 土壤的组成 土壤的化学性质 土壤有机质 土壤生物 主要土类及其特性 (铁铝土 强淋溶土 强分化粘磐土 淋溶土 变性土 粘磐土 砂土 暗色土 灰壤 始成土 干旱土 漠境土 盐土 冲积土 潜育土 有机土)	(8)
第四章 植物如何吸收养分与土壤养分循环	(16)
吸收养分 养分循环	(16)
第五章 土壤养分及其保持	(21)
土壤养分和作物产量 土壤养分的评价 视觉诊断 植物分析 生物测试 土壤测试 土壤分析 施肥推荐单 综合的植物营养体系	(21)
第六章 有机肥的来源	(29)
农家肥料 堆肥 绿肥 液态肥料 污泥 植物性废弃物 动物性废弃物	(29)
第七章 生物固氮	(34)
根瘤菌 自生固氮菌 固氮螺旋菌 蓝绿藻 红萍 其它微生物 结论	(34)
第八章 无机肥料	(36)
肥料的作用 化肥生产 化肥消费	(36)
第九章 氮肥	(38)
分类 制造 硫酸铵 氯化铵 硝酸钠 硝酸钙 硝酸铵 硝酸铵钙 硝硫酸铵 尿素 碳酸氢铵 液体氮肥 提高氮肥效率	(38)
第十章 磷肥	(46)
肥料磷的来源 磷肥的农艺评价 磷肥的管理 磷肥的制造和使用 (过磷酸钙 重过磷酸钙 磷酸二钙 钢渣磷肥 磷矿粉)	(46)
第十一章 钾肥	(50)
氯化钾 硫酸钾 硫酸镁钾 钾盐镁矾	(50)
第十二章 多元肥料	(52)
定义 多元肥料的优点 复合肥料 (磷酸一铵 磷酸二铵 硫磷酸铵 尿素磷酸铵 聚磷酸铵 磷酸铵的农艺评价 硝酸磷肥 氮磷钾复合肥料 复混肥料 (颗粒状复混肥料 粉末状混合肥料 散装掺合 液体混合肥料)	(52)

第十三章 次要养分和微量养分	(57)
新近农业变化的影响 钙 镁 硫 微量养分	(57)
第十四章 障碍性土壤及其改良	(63)
酸性土 酸性硫酸盐土 盐土和碱土 排水不良的土壤	(63)
第十五章 有效地使用肥料	(69)
最佳施肥量 施肥时间 施肥方法	(69)
第十六章 主要作物的养分需要量	(74)
谷类作物 (小麦 稻 玉米 高粱 珍珠粟 根茎作物 马铃薯 甘薯 木薯)	
豆科作物 大豆 花生 经济作物 (甘蔗 棉花 柑桔) 草地	
联合国粮农组织的试验和示范	(74)
第十七章 肥料和水的利用	(86)
水与作物营养 水和养分的利用效率 肥料利用与水分供给的关系	(86)
第十八章 肥料使用的经济学	(90)
影响决策的因素 效应函数 最佳经济效益 纯收入与产投比	(90)
第十九章 肥料供应、分配和信贷	(94)
生产和消费脱节 采购 分配渠道 分配的后勤 运输 贮藏 肥料质量控制	
分配差额 信贷 价格政策和补贴 联合国粮农组织在分配和信贷方面的引导计划	(94)
第二十章 肥料推销	(101)
推销目标 联合国粮农组织肥料方案 (活动方式 田间方案 最近发展)	(101)
第二十一章 肥料使用与环境质量	(104)
土壤和气候 作物和栽培方式 肥料使用 养分损失的环境意义 结论	(104)
第二十二章 植物营养与产品质量	(108)
影响质量的因素 氮肥与产品质量 磷肥与产品质量 钾肥与产品质量 次要养分和微量养分对质量的影响 植物养分平衡利用与质量	(108)
附录 1	(111)
附录 2	(117)
参考文献	(124)

表 格 目 录

	页 次
1. 不同国家人均可耕地面积	(1)
2. 肥料消耗和小麦产量	(2)
3. 从土壤中吸收的营养元素和化学类型	(3)
4. 营养元素对植物的作用及缺乏症状	(5)
5. 养分缺乏的指示植物种类	(4)
6. 与土壤养分状况有关的推荐肥料量	(26)

7. 污泥营养组成.....	(31)
8. 油粕的平均养分含量.....	(32)
9. 动物性肥料的养分含量.....	(33)
10. 每公顷农田化肥消费量.....	(36)
11. 每公顷耕地固定谷物产量与化肥施用量.....	(37)
12. 硝化抑制剂的物理化学性质.....	(45)
13. 被作物带走的镁.....	(58)
14. 含镁肥料.....	(59)
15. 被作物带走的硫.....	(59)
16. 肥料中硫的含量.....	(60)
17. 不同作物吸收微量养分的量.....	(60)
18. 水稻植株内养分含量不足和中毒临界值.....	(61)
19. 施用微量养分的形态和用量.....	(61)
20. 一些重要化肥和有机肥的微量养分含量.....	(62)
21. 作物带走的养分.....	(70)
22. 在波多黎各氮肥对象草干草产量的影响.....	(83)
23. 联合国粮农组织肥料计划中一些主要作物对肥料的效应, 1961-1977年.....	(84)
24. 重要作物对缺水的敏感生长期.....	(88)
25. 谷物对肥料的效应比.....	(91)
26. 经济最佳的施肥实例.....	(91)
27. 试验和示范结果的纯收入和产投比实例.....	(93)
28. 某些发展中国家分配售价的细目.....	(97)
29. 温带和寒带的肥料消耗.....	(106)

图 版 目 录

	页 次
1. 氮、磷、钾的平衡施用.....	(3)
2. 玉米的氮素营养缺乏症.....	(129)
3. 玉米的磷营养缺乏症.....	(129)
4. 大豆的钾营养缺乏症.....	(129)
5. 可可的钙营养缺乏症.....	(130)
6. 玉米的镁营养缺乏症.....	(130)
7. 水稻的硫营养缺乏症.....	(130)
8. 玉米的锌营养缺乏症.....	(131)
9. 小麦的铜营养缺乏症.....	(131)
10. 埃及三叶草的铁营养缺乏症.....	(131)

11.大豆的 锰营养 缺乏症.....	(131)
12.糖用甜菜的 硼营养缺 乏症.....	(132)
13.糖用甜菜的 钼营 养缺乏症.....	(132)
14.典型的土壤剖面—显 示土层的 纵断面.....	(8)
15.不同土壤质地分级中砂粒、粉砂粒 以及粘 粒的比例.....	(9)
16.土壤结构类 型和渗 透性.....	(10)
17.土壤pH值的范围.....	(11)
18.土壤pH值与植物养分相对有效性和土壤微生物区系的活性.....	(12)
19.不同作物最适pH值范围.....	(12)
20.根毛对养分的吸 收.....	(17)
21.土壤中氮 的循 环.....	(18)
22.土壤中磷 的循 环.....	(18)
23.土壤中钾 的循 环.....	(19)
24.印度土壤有效 钾状 况.....	(24)
25.典型随机小区设计田 间试验方 案.....	(25)
26.沼 气 池 (印 度 式)	(26)
27.氨在化肥 生产中的 作用.....	(39)
28.由磷灰 石生产 单一磷肥.....	(46)
29.肥料 混合指 南.....	(55)
30.氮肥追施量对冬小麦新 品种产 量效应的例子.....	(69)
31.矮秆和高秆籼稻品种 平均产 量与氮肥用量的关系.....	(76)
32.氮肥对不同密 植玉米的 影响.....	(77)
33.在储备水分不同的土壤中旱作小麦对 氮肥的效 应.....	(87)
34.灌溉的和 不灌溉的小麦对施 氮的效 应.....	(87)
35.增加氮肥用量对旱作小麦水分利用及其 效率的 影响.....	(89)
36.作物效应与利润 的关 系.....	(92)
37.销 售渠 道.....	(95)

第一章 绪 言

1961—1981年20年间，世界人口从大约30亿增加到44亿，到2000年很可能达到63亿。为了养活这些人，今后16年期间，世界粮食总产量需要翻一番。

粮食产量的增加，可以靠提高作物产量，或是靠开垦荒地。1961—1981年间，世界可耕地和世界人口增加分别为6%和49%。预计2000年前，粮食需要量的28%来自进一步扩大耕地面积，而其余的72%将必然靠使用肥料和其它技术及物质的投入。

只有在非洲和拉丁美洲部分地区大规模地开垦荒地以扩大耕地是可能的。表1列出了不同国家每个人的可耕地面积，表明在具有人口压力的国家提高作物生产能力多么重要。

表 1 不同国家人均可耕地面积

国 家	人口 (1000)	可耕地面积 (1000公顷)	每人平均土地 (公顷) ①
澳大利亚	14830	46374	3.12
孟加拉国	93269	8916	0.10
巴 西	128160	63000	0.49
加 拿 大	24625	46100	1.87
中 国	1020670	97528	0.10
印 度	711664	165600	0.23
印度尼西亚	153032	14280	0.09
伊 朗	40549	13100	0.32
日 本	118440	4255	0.04
肯 尼 亚	17864	1900	0.11
马来西亚	14765	1020	0.07
尼 泊 尔	14951	2318	0.16
巴基斯坦	92009	19960	0.22
斯里兰卡	15424	1052	0.07
泰 国	49200	17100	0.35
美 国	231980	188755	0.81

①计算出的数字。

资料来源：联合国粮农组织生产年鉴36卷(1982)和37卷(1983)。

在提高粮食产量方面，肥料的作用是十分明显的，到目前为止，尤其是最近二十年，在提高作物产量方面，肥料的效果占50%以上，这点已被承认。世界各地的科学家进行的试验和示范，清楚地表明了使用肥料对单位土地粮食产量的作用，并且还表明单位面积肥料消耗较高的国家，作物产量也较高（表2）。

肥料消耗用N, P_2O_5 , K_2O 来表示，从1961年的3000万吨增加到1981年的11500万吨。值得注意的是所增加的大约27%出现在发展中国家。统计资料还表明，1961—1981年间扩大的耕地中，发展中国家占增加总额6%中的70%。

为了满足2000年的粮食需要量，发展中国家强化农业生产，肥料的使用量将需要增加3~4倍，再加上增加使用良种，防治病虫害以及改善水的管理。考虑到有效的资源，这些全

表 2

肥料消耗与小麦产量

国 家	肥料消耗 (公斤N+P ₂ O ₅ +K ₂ O/公顷可耕地,固定作物,1982)	平均子粒产量 (吨/公顷,1983)
德 国	435	5.44
法 国	299	5.13
意 大 利	161	2.56
中 国	158	2.83
美 国	87	2.65
苏 联	87	1.61
巴基斯坦	62	1.66
土 耳 其	54	1.86
加 拿 大	44	1.97
印 度	35	1.84
澳大利亚	24	1.72

资料来源：联合国粮农组织生产年鉴37卷(1983)和肥料年鉴33卷(1983)

球性目标将需要在国家或地区级进行实施。

目前世界肥料战略是通过有效地使用无机肥和其它投入物,以及通过改进耕作方法,增加农业生产。目前肥料利用率普遍低,尤其是在发展中国家,特别是在水稻的使用上。因而,提高肥料的利用率却有着巨大的潜力。目前在水稻上使用280万吨氮的国家,如果氮的效率从30%增加到50%的话,将节省56万吨氮,或者增加粮食600—800万吨。有效地使用肥料除了提高产量外,还将有助于保护能源。估算结果表明,1公斤的氮肥,从生产、包装、运输到应用,大约需要2公斤矿物燃料。磷(P₂O₅)和钾(K₂O)的相应需要量分别为0.33和0.21公斤。

联合国粮农组织开始实施综合的植物营养体系的设想,以提高无机肥、有机肥以及来源于土壤和生物固氮等所有养分投入物的使用效率,并使增加作物产量的所有其它因素达到最佳化。使用肥料作为增加农业生产的一种措施,其重要目的之一是维护农场主的经济利益。

第二章 植物需要的养分

2.1 必需养分

与一切生物一样，植物为其生长和发育需要养料。人类和其它动物只能以有机物，即以植物或动物的产物为生。另一方面，植物具有直接用无机物合成有机组织的能力。植物从土壤摄取水和矿物质，从空气中吸收二氧化碳，从阳光中吸收能量，形成植物组织，从而生活、生长和繁殖。

表 3 从土壤中吸收的营养元素和化学类型

主要元素	化学类型	次要养分	化学类型	微量元素	化学类型
氮	NH_4^+ , NO_3^-	钙	Ca^{++}	铁	Fe^{++} , Fe^{+++}
磷	HPO_4^- , H_2PO_4^-	镁	Mg^{++}	锌	Zn^{++}
钾	K^+	硫	SO_4^{--}	锰	Mn^{++} , Mn^{+++}
				铜	Cu^{++}
				硼	BO_3^{--}
				钼	MoO_4^{--}
				氯	Cl^-

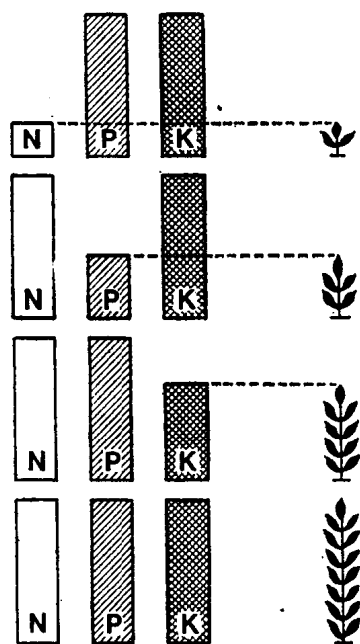


图1 氮、磷、钾的平衡施用（平衡时并非表示需求等量的养分；此图说明其各自的重要性）。

在生植物组织中已鉴定的大量元素中，仅发现16种是植物生长、发育和繁殖所必需的。这些必需元素被称之为“养分”。这些养分元素必须符合下列三项标准：

(1) 缺乏这种元素，植物不可能完成其营养生长或生殖生长阶段。

(2) 唯有提供这种元素才能防止或纠正由该元素引起的缺素症状。

(3) 这一元素直接参与植物营养，而完全不考虑该元素可能对调节某些土壤和培养基质中的微生物学或化学环境的影响。

这些必需元素是来自空气和土壤水分中的碳、氢和氧，以及土壤中贮存的或施用有机肥和化肥而获得的氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锌、锰、铜、硼、钼和氯。此外，已知有些植物种类对钴、钠、硅的存在以及有可能包括钒对植物生长是有益的。但这些元素不列为必需养分。

氮、磷和钾为植物所大量利用，因而称为“大量元素”。钙、镁和硫的需要量虽较小，但值得重视，现在也归在“大量元素”之中。植物对铁、锌、锰、铜、硼、

钼和氯的需要量很少，因而被称为“微量元素”。

13种无机养分（从水和空气中摄取的碳、氢、和氧除外）及植物对其摄取的形式见表3。

豆科植物，如豆类（如豌豆、菜豆、绿豆）和若干饲料作物（如三叶草、苜蓿），通过其根瘤菌固氮，能从空气中得到一部份氮。而其它作物，只有当土壤中有有机残体和所施化肥及有机肥经矿化作用转变为植物可以利用的形态时才能获取氮。

沃土应该含有植物必需的一切养分，而且数量充足，比例平衡。这些养分在植物利用前必须以有效形态存在。这些养分中任何一种养分的不足，将抑制植物充分发挥其生长潜力。（图1）。

每一种必需元素，均在植物生长和发育中完成其特定功能，缺乏其中任何一种则使植物生长异常或受限制。每种元素的主要功能及其匮乏所引起的后果列于表4。

2.2 营养元素相互作用和多重营养缺乏症

两种或多种植物营养元素之间的相互作用，以若干方式影响作物生长。在几种营养元素供应不足的土壤中，多重营养缺乏症可能发生。在这种情况下，诊断可能是困难的，因为一种元素的缺乏可能掩盖另一种元素缺乏的症状。例如，当铁和锌、或锰和锌同时缺乏时，就会出现这种情况。多重元素缺乏，也可能因为施用某一种养分而加重，这种元素加剧或诱发另一种元素的缺乏。例如，铜不利于铁营养，磷影响锌营养，或者钾影响镁。相反，施用一种元素常增加另一种元素的吸收和利用。例如，氮常能增加微量养分的吸收，镁增加磷的吸收，而高量的磷有利于钼的吸收。

最后，当一种元素供应不足妨碍作物充分利用其它元素时，就可能看到元素的相互作用对作物生长和产量的干扰。例如，低量的磷抑制作物对氮肥的效应。

2.3 指示植物

一切农作物都能呈现上述缺素症，其程度大小取决于营养元素缺乏的程度。但是，已发现有些植物种类作为特定缺素的指示植物特别有用。这些种类的植物对某种养分的缺乏特别敏感，且与其它作物相比表现得更早和更突出。

表5列出各种缺素症的指示植物的名单。

表 5 养分缺乏的指示植物

缺乏的元素	指 示 植 物
氮	谷物、芥菜、苹果、柑桔
磷	玉米、大麦、苜蓿、番茄
钾	马铃薯、三叶草、苜蓿、菜豆、烟草、葫芦科、棉花、番茄、玉米
钙	苜蓿、其它豆科植物
镁	马铃薯、花椰菜、甜菜
硫	苜蓿、三叶草、油菜
铁	高粱、大麦、柑桔、桃、花椰菜
锌	玉米、洋葱、柑桔、桃
铜	苹果、柑桔、大麦、玉米、苜蓿、燕麦、洋葱、烟草、番茄
锰	苹果、杏、菜豆、樱桃、柑桔、谷物、豌豆、萝卜
硼	苜蓿、芜菁、花椰菜、苹果、桃、
钼	花椰菜、其他芸薹属、柑桔、豆科植物、燕麦、菠菜
氯	苜蓿

表 4

营养元素对植物的作用及缺乏症状

功 能	缺 素 症 状
氮 (N)	
1. 叶绿素、原生质、蛋白质和核酸的重要成分。 2. 促进一切活组织的生长和发育 3. 改善叶菜类和粗饲料的品质, 增加谷物的蛋白质含量。	1. 矮化生长。 2. 较老的叶片从顶端起呈淡绿至淡黄色。其后是老叶死亡或脱落, 取决于缺氮的程度 (图2) 3. 严重缺氮时开花大为减少。 4. 蛋白质含量较低。
磷 (P)	
1. 磷脂、核酸、蛋白质磷脂和辅酶 NAD, NADP 和 ATP 的成分。 2. 某些氨基酸的成分。 3. 细胞分裂所必需; 染色体的成分; 促进根的发育。 4. 分生组织生长及种子和果实发育所必需; 促进开花。	1. 整个外形矮化, 成熟叶片具有特殊的黑至蓝绿色; 抑制根的发育。 2. 严重缺磷时, 叶茎有时呈紫色, 生长细长瘦小 (图3) 3. 延迟成熟, 无种子或种子和果实发育不良。
钾 (K)	
1. 是参与光合作用以及蛋白质和碳水化合物代谢的酶的一种活化剂。 2. 有助于碳性化合物转移, 合成蛋白质并保持其稳定性; 保持细胞膜的渗透性和调节酸碱度; 通过气孔调节利用水分。 3. 在凉冷和阴云天气提高光的利用, 从而增强植物对寒冷和其它不利条件的抗性。 4. 增强植物的抗病能力。 5. 增加籽粒或种子的大小和改善水果和蔬菜的品质。	1. 叶缘褪绿, 接着是老叶叶端枯萎变棕色这些症状逐渐向内发展 (图4)。 2. 植物生长减慢和矮化。 3. 茎秆弱, 易倒伏。 4. 种子和果实皱缩。
钙 (Ca)	
1. 以果胶酸钙盐的形式构成细胞壁的成分, 为正常的有丝分裂(细胞分裂)所必需。 2. 有助于细胞膜稳定性和保持染色体结构。 3. 酶活化剂 (磷脂酶、精氨酸激酶、三磷酸腺苷)。 4. 能中和植物体内的有机酸, 有解毒剂的作用。	1. 缺钙在大田不常少见, 可因与高酸度相关的副作用限制植物生长。 2. 植物新生的幼叶首先受到影响, 它们常常变形、变小并呈现特别的暗绿色。 3. 叶子可能呈杯状并皱缩 (图5), 顶芽由于叶柄有些破损而凋萎。 4. 根的生长明显受到损害, 根系出现腐烂, 5. 植物严重缺钙时, 生长点(顶芽)干枯。 6. 芽和花过早地脱落。 7. 茎组织柔弱。
镁 (Mg)	
1. 为叶绿素分子的成分, 因而对光合作用是必不可少的。 2. 是参与碳水化合物代谢、核酸合成等活动的许多酶系统的活化剂。 3. 促进磷的吸收和转移。 4. 有助于植物内部糖的移动,	1. 叶脉间褪绿, 主要是老叶, 出现条纹或点状病斑。由于严重缺镁使组织可能干枯和死亡 (图6)。 2. 叶子通常很小, 后期变脆以及边缘向上弯曲。 3. 在一些蔬菜中叶脉间有褪绿病斑和带有橙、红色及紫色的大理石状条纹。 4. 小枝柔弱和易被真菌侵害, 叶子通常过早脱落。

表 4 (续)

功 能	缺 素 症 状
硫 (S)	
1. 含硫氨基酸的成分。 2. 参予维生素、生物素、硫胺素以及辅酶A的代谢活动。 4. 有助于蛋白质结构的稳定。	1. 嫩叶变成均匀的黄绿色或褪绿 (图7)。 2. 嫩梢的生长受抑制, 花的产生往往不定。 3. 茎僵硬、木质化并且直径小。
锌 (Zn)	
1. 参予吡啶乙酸生物合成。 2. 各种金属酶 (碳酸酐酶, 乙醇脱氢酶等) 重要成分。 3. 在核酸和蛋白质合成中起作用。 4. 促进植物体内磷和氮的作用。	1. 从植物顶部算起第二和第三完全成熟的叶片缺乏症最明显 (图8)。 2. 在玉米中, 主要发生在叶片的下半部, 叶缘到中脉之间有淡黄条纹到白或黄色, 叶组织带有红紫色的叶脉。 3. 小麦叶片出现白色或黄色纵带, 随后叶脉间的褪绿斑纹由白色变为褐色, 叶片中间坏死, 最后, 紧接中间处的病叶收缩。 4. 水稻插秧后15—20天, 较老的叶片上出现小的分散的淡黄色斑, 后来增大、连接并且变成深褐色, 一个月内整个叶片变为锈褐色。干透。 5. 柑桔有无规则的叶脉间褪绿、顶端叶片变得小而狭窄 (小叶), 果芽分化严重减少, 嫩枝死掉。
铜 (Cu)	
1. 是细胞色素氧化酶的要 素 和 许 多 酶 (抗坏血酸氧化酶, 酚酶, 乳糖酶等等) 的组分。 2. 促进植物体内维生素A的形成。	1. 谷类叶片黄化并卷曲, 抑制抽穗, 结籽很少, 无限地分蘖 (图9)。 2. 柑桔新生长的部分死掉, 树皮和木质部之间产生许多丘疹样小泡, 分泌粘液。果实上出现褐色赘瘤。
铁 (Fe)	
1. 对于植物中叶绿素的合成和保持是必需的。 2. 是许多酶的必要成分。 3. 在核酸代谢中起重要作用 (影响 RNA 新陈代谢或叶绿体)。	1. 典型的叶脉间褪绿, 最幼嫩的叶子首先受影响, 叶尖和叶缘保持绿色的时间最长久 (图10)。 2. 严重时, 整个叶片、叶脉、叶脉间发黄, 最后可能白化。
锰 (Mn)	
1. 是植物体内一些酶促反应和生理学反应的催化剂, 丙酮酸羧化酶的成分。 2. 参予植物的呼吸过程。 3. 活化与氮代谢及叶绿素合成有关的酶。 4. 调节植物细胞在光照和黑暗阶段的氧化还原电位。	1. 幼叶叶脉间褪绿, 以叶脉间出现褪绿和坏死斑为特征 (图11)。 2. 接近幼叶的基部呈现淡灰色区域, 并变为淡黄色至橙黄色。 3. 常称燕麦营养缺乏症为“灰斑病”, 紫花大田豌豆上称为“湿斑病”, 在甘蔗中称为“条纹病”。

表 4 (续)

功 能	缺 素 症 状
硼 (B)	
1. 影响某些酶的活性。 2. 能与各种各样多羟基化合物络合。 3. 增加膜的渗透性, 促进碳水化合物的运输。 4. 参予木质素的合成及其它反应。 5. 对细胞分裂是必不可少的。 6. 与植物对钙的吸收及其利用有关。 7. 调整植物内部钾钙比。 8. 对于蛋白质合成是必不可少的。	1. 生长中的植物死亡(新梢顶端)(图12)。 2. 叶子有一层厚的结构, 有时卷曲变脆。 3. 不能形成花, 根的生长受到阻碍。 4. 块根作物“黑心病”即以根最粗部分有黑斑, 或在中心裂开为特征。 6. 果实例如苹果, 发育成“内外木栓”症。
钼 (Mo)	
1. 与氮的利用和固氮有关。 2. 是硝酸还原酶和固氮酶的成分。 3. 根瘤菌固氮需要钼。	1. 较下面的叶片出现叶脉间褪绿斑, 接着边缘坏死, 并且叶片周边向上折起(图13)、 2. 花椰菜的叶组织枯萎, 仅留下中脉和少数小片的叶子(“枝梢病”) 3. 豆科植物的缺钼症状, 是尤其显著。
氯 (Cl)	
1. 氯是未成熟种子中替代吲哚乙酸的氯代吲哚-3-乙酸激素的组分。 2. 氯是在真菌和细菌中发现的许多化合物的成分。 3. 激发某些酶的活性, 影响碳水化合物的代谢及保持植物组织的持水力。	1. 小叶叶尖枯萎, 叶片褪绿, 最后呈青铜色并干枯。

• 缺素症状见彩图 2—13。

2.4 元素的毒性作用

植物的营养元素施用量超过其需要时, 可能是有害的。在实践中, 植物需要量甚微的微量元素更易发生这种情况。微量元素的过量施用可能产生毒性, 影响植物的正常生长和发育。微量元素的毒性引起的典型症状, 对每一种元素而言是特有的, 但又因作物而异。例如, 过量硼引起的甜菜干根和褪绿, 并导致柑桔落叶。过量的钼造成番茄幼枝金黄色, 而锰的毒性则引起马铃薯“茎条纹坏死”。

因此, 警惕勿施过量养分至为重要, 尤其是对作物需要量甚微的元素。

第三章 土壤是作物生产的基础

土壤是维持植物生长的介质。它为植物根系提供机械支柱，供给水分和氧气以及各种植物养分。土壤肥力是指为了植物最适生长，土壤提供足够量的营养元素、水分和氧气的能力。土壤肥力这一术语包括营养元素的化学组成以及元素对植物的有效性，土壤团粒结构和有机质胶体的特性，它们控制着水分和氧气的有效性，以及土壤微生物的种类和活性。土壤肥力是决定肥料的施用量以及作物可能获得的产量水平的一个重要因素。

3.1 土壤的形成

土壤是由岩石风化形成的。风化由物理和化学二者作用而发生。物理作用使岩石破裂成比较小的碎屑，以及把这些碎屑从一个地方迁移到另一个地方；而化学作用改变了土壤组份的矿物成分。物理风化的作用称为分裂，而化学风化的作用则称为分解。在岩石分裂过程中温度是主要因素，经过冷热交替在裂缝和空穴里的水分由于冻结的膨胀力，导致岩石迅速分裂。水、冰以及风的侵蚀作用，和动植物及人类因素也引起岩石分裂。水和溶解在水里的氧气和二氧化碳的作用是导致岩石分解的主要因素。一些分解产物是水溶性的、能够从土壤淋液到排水中。由分裂和分解结合而形成的高度风化的物质是粘粒，在土壤中它是最小的颗粒。土壤许多重要的属性（颗粒的粘附力和粘结力、保肥力、保水力）都是由粘土部分的含量和性质决定的。

风化提供的基质其性质取决于原有母质，其母质在随后的成土过程中发育成为土壤。土壤微生物（真菌、细菌等等）对母质和风化产物发生影响，高等植物获得立足，而小动物也开始在土壤表面和土壤里生活。这些生物的活动与它们残体的分解加速成土过程，并且使风化的产物转变成有生物活性的基质，它的肥力取决于母质岩石的性质，风化过程以及气候环境。一种有生产性能土壤的形成可能需要几个世纪，甚至几千年，而由于滥用，它可能在几年内被破坏。因而，肥力的保养和维持至为重要。

分裂的岩石碎屑，由于各种作用能从它的原产地迁移到别处沉积，形成土壤；被流水沉积形成冲积土；随风沉积称为风成土；冰的迁移产生冰川沉积。流水和风传送小颗粒比大的颗粒更容易，这对颗粒大小作了重要分选。在原处保留下来的岩石碎屑形成的土壤被称为残积土。

某些风化产物包括水溶性物质和细粘土能够离开土壤表层，向下沉积，这样，具有不同颜色、结构以及理化性状的不同土层展现，把具有这些明确层次的土壤垂直断面叫做土壤剖面（图14）。单独的层次称为层。

在农业上，人们通常所指的土壤是浅的上层土（耕层），浅上层土提供大部分生根基质、水以及养分。可是，大多数作物的根比这深得多，并且从土壤下层获得

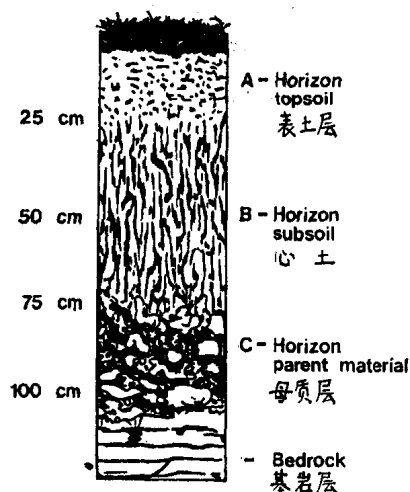


图14 典型的土壤剖面—显示土层的纵断面

大量养料，因此，在土壤管理方案中考虑整个土壤剖面是重要的。

3.2 土壤的组成

矿物质、空气、水分以及有机物是土壤主要成分。无机颗粒的大小有粗的物质例如石块、砾石及粗砂，直到粉砂及粘土的很细颗粒。有机质是动植物的残体腐烂形成的。空气和水则占据土壤内部间隙。

为了作物适宜的生长，土壤必须具有良好的理化及生物条件，下面几节叙述这些要点。

3.2.1 物理性质

(1) 土壤质地

土壤质地指存在于土壤中的大小不同的矿质颗粒(粒径2毫米及其以下)的比例，土壤颗粒一般分为三个基本质地级别(根据美国农业部的规定)，通称为砂粒(粒径2—0.05毫米)粉砂粒(0.05—0.002毫米)以及粘粒(小于0.002毫米)。根据这些大小颗粒的相对比例对土壤进行质地分级，例如：砂土、砂质壤土、粘壤土、粘土等等(图15)。

在田间，人们根据触觉可大致地判断土壤质地。如要确切的话，可做实验测定。农民所说的砂质土壤“轻”，粘土“重”，是根据耕作是否容易的直觉。

土壤物理性质，例如：易耕性、保肥力、保水能力、通气、排水以及可耕性，在很大程度上都受到土壤质地的影响。砂质土壤通气性和排水性良好，一般是疏松和易碎的，因此砂

质土容易耕作。粘粒含量高的土壤，由于有内表面积，具有高的吸收力，能很好的保存养分和水分。粘质土壤一般有小孔隙，排水和通气不良，并且翻耕相当困难。粉砂土介于砂质和粘质土之间，对大部分农作物是适宜的。

(2) 土壤结构

土壤颗粒(砂、粉砂、粘粒)一般以团聚体的形式聚集在一起。在一定模式里，土壤颗粒的团聚作用称为土壤结构。在自然条件下的田间，最适合研究土壤结构。

结构的类形(图16)是由土壤团聚体的大小、形状以及组成决定的。有圆形多孔的颗粒的粒状结构，被认为最适于作物生长。具有颗粒状结构的土壤，通常有适宜的孔隙度、保水力、通气和排水特性，易于耕作。耕性可以通过适时翻耕以及保持适量的土壤有机质。例如施有机肥来改善。

(3) 土壤水分

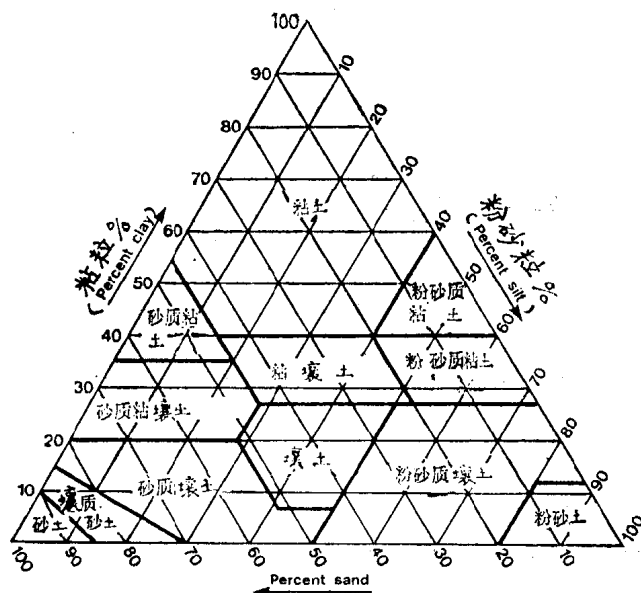


图15 不同土壤质地分级中砂粒、粉砂粒及粘粒的比例