

高等职业教育园林园艺类专业规划教材

无土栽培技术



张秀丽 张淑梅 主编



赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等职业教育园林 材

无土栽培技术

主 编	张秀丽	张淑梅		
副主编	张凤芸	张 燕	柳玉晶	张咏新
参 编	赵思金	杨晓菊	秦微娜	华庆路
	韩 雪	张 颖	王再鹏	胡 军
	郑慧俊	张晓波	于春雷	
主 审	李新江	惠云芝		



机械工业出版社

本书共分3个项目：无土栽培基础、无土栽培应用和无土栽培的生产与经营管理，简明扼要地介绍了无土栽培含义、分类、营养生理、环境调控和育苗技术，着重阐述了营养液的配制、管理及在各种蔬菜、花卉上的应用以及产品的生产与经营管理，可使读者全方位地学习各种蔬菜、花卉的无土栽培方法。本书可作为高职高专校园林园艺类专业的教材，也可作为无土栽培爱好者的自学用书。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 免费下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目（CIP）数据

无土栽培技术 / 张秀丽，张淑梅主编. —北京：机械工业出版社，2017.5

高等职业教育园林园艺类专业规划教材

ISBN 978-7-111-56368-6

I. ①无… II. ①张… ②张… III. ①无土栽培-高等职业教育-教材 IV. ①S317

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 052705 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王靖辉 覃密道 责任编辑：王靖辉

责任校对：肖琳

封面设计：马精明

责任印制：李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·413 千字

0001—1900 册

标准书号：ISBN 978-7-111-56368-6

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

本书围绕《教育部关于“十二五”职业教育国家规划教材建设的若干意见》（教职成〔2012〕9号）的要求进行编写，充分体现职业标准与岗位技能，依据教育部《高等职业学校专业教学标准（试行）》，考虑对学生个性发展的需求，立足于无土栽培实践，遵循“适度够用”的原则，力求反映最新生产技术，注重实际操作，内容深入浅出，具有较鲜明的职业特色。

本书由张秀丽（辽宁农业职业技术学院）、张淑梅（辽宁农业职业技术学院）任主编，张凤芸（黑龙江生物科技职业学院）、张燕（信阳农林学院）、柳玉晶（辽宁农业职业技术学院）、张咏新（辽宁农业职业技术学院）任副主编，由李新江（吉林农业科技学院）、惠云芝（吉林省蔬菜花卉科学研究院）任主审。具体编写分工如下：项目1的任务1由张咏新编写；项目1的任务2、项目2的“盆花花卉基质培”、项目3由柳玉晶编写；项目1的“营养液的使用与管理”、项目2的任务2由秦微娜（黑龙江生物科技职业学院）编写；项目1的“营养液的组成和要求”及“营养液的配制”由张凤芸编写；项目1的任务4由张秀丽编写；项目2的“切花花卉基质培”由张燕、张淑梅编写；项目2的任务3由张燕编写。此外，赵思金（辽宁营口经济技术开发区林业局）、杨晓菊（辽宁农业职业技术学院）、华庆路（榆树环城乡农业技术推广站）、韩雪（黑龙江林业职业技术学院）、张颖（江苏宿迁学院）、王再鹏（辽宁农业职业技术学院）、胡军（辽宁农业职业技术学院）、郑慧俊（杭州职业技术学院）、张晓波（辽宁省经济作物研究所）、于春雷（辽宁省经济作物研究所）参与了本书内容的整理工作。

在编写过程中，本书参考借鉴了大量有关学者、专家的著作、资料，在此表示感谢！因时间仓促及编者水平有限，不当之处在所难免，请读者批评指正！

编者

目 录

前言

项目1 无土栽培基础..... 1

任务1 无土栽培的认知	1
一、无土栽培的分类	2
二、无土栽培营养生理	6
三、无土栽培环境调控	18
任务2 无土栽培育苗	25
一、播种育苗	28
二、扦插育苗	32
三、组织培养育苗	35
任务3 无土栽培营养液	39
一、营养液的组成和要求	39
二、营养液的配制	53
三、营养液的使用与管理	60
任务4 无土栽培固体基质	64
一、固体基质的认知	65
二、固体基质的选择	70
三、固体基质的处理	71

项目2 无土栽培应用 74 |

任务1 花卉基质培	74
-----------------	----

一、切花花卉基质培	75
二、盆花花卉基质培	116
任务2 蔬菜基质培	156
一、叶菜类基质培	156
二、果菜类基质培	171
任务3 水培	196
一、水培的认知	196
二、常见水培花卉栽培	218
三、常见水培蔬菜栽培	236

项目3 无土栽培的生产与经营 管理 248 |

任务1 无土栽培的生产	248
一、无土栽培生产计划的制订与 实施	249
二、无土栽培生产成本与经济效益	251
任务2 无土栽培经营管理	254
一、无土栽培经营	255
二、无土栽培管理	256

参考文献 260 |

项目1

无土栽培基础

【项目描述】

本项目介绍了无土栽培的含义、类型、营养生理、育苗技术、营养液和固体基质等技术；通过本项目的学习要掌握常见的无土栽培类型、育苗方法、常见植物的缺素症状及营养液和固体基质的配制与使用管理等技术。

【知识目标】

- 掌握无土栽培的类型。
- 掌握无土栽培的育苗方法。
- 掌握常见植物的营养生理。
- 掌握营养液的配制、使用与管理。
- 掌握固体基质的种类、特性、配制及使用与管理。

【能力目标】

- 对常见植物能够选择适合的育苗方法。
- 对常见植物的缺素症能够识别判断并能够采取合理的防治措施。
- 能够进行营养液的配制及使用。
- 能够对常见植物选择适合的固体基质进行栽培。

任务1 无土栽培的认知

【任务情景】

在黄瓜的无土栽培中，生长期前期叶缘上轻微黄化，后在叶脉间黄化，在黄瓜的生育中期、后期，中位叶附近出现和上述相同的症状，然后叶缘出现灼烧而枯死，叶向外侧卷曲，稍有硬化，出现了小头、弯曲和蜂腰等畸形瓜。

【任务分析】

对缺素的植物所表现的症状进行分析；对出现病症的黄瓜进行营养诊断；判断黄瓜出现此症状为K素缺乏；然后根据缺素成分进行合理施肥；完成该任务需要有识别植物几种常见缺素症的表现特征的能力以及熟练掌握植物必需元素的生理作用、大量元素与微量元素的作用特点、植物的需肥规律的能力等。



【知识链接】

一、无土栽培的分类

1. 无土栽培的含义

无土栽培是一种不用土壤而直接用营养液或草炭、森林腐叶土、蛭石、无毒泡沫塑料等轻质材料做基质，固定植株让植物根系直接接触营养液栽培植物的种植技术（图 1-1，图 1-2）。它是伴随着植物营养研究而发展起来的，是植物营养学研究、植物生理学研究、植物学研究的有效方法和手段。科学的无土栽培起源于 19 世纪中叶，德国人沙奇斯和克诺普把化学药品加入水中制成营养液栽培植物得到成功。美国人格利克（W. F. Gericke）是第一个将无土栽培用于商业化生产的人，这意味着无土栽培技术趋于成熟，迈进了实用化时代。其后无土栽培技术在不少国家和地区得到发展。20 世纪 70 年代英国人库柏（Cooper）发明的营养液膜技术（NFT）和丹麦首先开发后在荷兰普及的岩棉培技术（RW）的开发应用，是无土栽培技术的重大突破，意味着无土栽培高科技时代的到来。



图 1-1 营养液栽培



图 1-2 固体基质栽培

我国无土栽培是从 20 世纪 20 ~ 30 年代开始起步的，70 年代开始无土栽培应用研究，目前，我国广泛推广应用的以有机质为载体，栽培过程中全程或阶段性浇灌营养液的有机基质栽培技术，特别是在固体基质中只施用有机固体肥料并进行合理灌水的有机生态型无土栽培技术，简化了无土栽培管理技术，降低了一次性投资和生产成本。

2. 无土栽培的特点

（1）无土栽培的优点 进入 21 世纪，随着新材料和新技术的不断应用，无土栽培技术已广泛应用到实际的生产和生活中来，与常规有土栽培相比，它的优点主要表现在以



下几个方面：

1) 长势强、品质好、价值高。无土栽培和设施园艺相结合能合理调节作物生长的环境条件，人工创造的根际环境更加能够妥善解决水、气矛盾，使作物的生长发育过程更协调。因此，与土壤栽培相比，无土栽培的植株生长速度快、长势强，例如西瓜播种后 60 天，无土栽培的株高、叶片数、相对最大叶面积分别为土壤栽培的 3.6 倍、2.2 倍和 1.8 倍，作物产量可成倍地提高。

无土栽培作物不仅产量高，而且产品品质好、洁净、鲜嫩、无公害。在操作、卫生及包装等都合格的情况下可以生产绿色食品。无土栽培生产的绿叶蔬菜如生菜、芥菜、芹菜、小白菜等生长速度快，叶浓绿肥厚，粗纤维含量低，维生素 C 含量高，如芥菜粗纤维含量 2.8%，仅为土壤栽培的 61%；番茄、黄瓜、甜瓜等瓜果蔬菜外观整齐、着色均匀、口感好、营养价值及产量高，如无土栽培的番茄维生素 C 的含量由每 100g 果实中含 18mg 增加到 35mg，干物质含量增加近 1 倍，无土栽培的黄瓜产量是常规土壤栽培的 4 倍；无土栽培香石竹等花卉香味浓郁、花期长、开花数多，如土壤栽培香石竹单株开花数为 5 朵、裂萼率为 90%，无土栽培单株开花数为 9 朵、裂萼率仅为 8%。

2) 省水、省肥、省地、省工。无土栽培中的营养液可根据不同作物在各个生育时期对营养的需要进行配制及调整，养分可以不经过土壤直接供作物吸收，未被吸收的部分可以回收后再利用，同时减少了因土壤蒸发和流失所造成的水分浪费。节省水资源，尤其是对于干旱缺水地区的作物种植有着极其重要的意义，是发展节水型农业的有效措施之一。土壤栽培肥料利用率大约只有 50% 左右，甚至低至 20%~30%，有一半以上的养分损失，而无土栽培尤其是封闭式营养液循环栽培，肥料利用率高达 90% 以上，即使是开放式无土栽培系统，营养液的流失也很少。无土栽培可以省去育苗配土、土壤耕作、浇水、中耕除草等管理环节，可以节省大量劳动力。在具有一定规模的无土栽培场所，还可以实行机械化作业和自动化管理，大大降低了劳动强度，节省劳动力，提高了劳动生产率，可采用与工业生产相似的方式。无土栽培使作物生产摆脱了土壤的约束，作物生产的空间可以扩展到空闲的荒山、荒地、河滩、海岛，甚至沙漠、戈壁滩等地。如美国无土栽培多数用于干旱、沙漠地区及宇航中心等。我国新疆吐鲁番西北园艺作物无土栽培中心在戈壁滩上兴建了 112 栋日光温室，采用河沙基质槽式栽培，种植蔬菜作物，产品在国内外市场销售，取得了良好的经济效益和社会效益。另外，在温室等园艺设施内可发展多层立体栽培，使空间得到充分利用。

3) 有效防止土壤连作障碍和土传病害。在作物的田间种植管理中，土地合理轮作、避免连年重茬是防止病害严重发生和蔓延流行的重要措施之一。但是近年来我国的耕地面积逐年减少，作物生产逐渐专业化和规模化，特别是保护地设施栽培面积的逐年扩大，使土地的合理轮作制度难以得到进一步的推广和应用。由于作物连作导致土壤中土传病虫害大量发生、盐分积聚、养分失衡以及根系分泌物引起自毒作用等成为设施土壤栽培的难题，土壤处理和消毒不仅困难、成本可观，而且效果也不十分理想。致使设施土壤种植数年后，效益急速下滑，直至停种。无土栽培可以从根本上避免和解决土壤连作障碍的问题，每收获一茬作物之后，只要对种子、培养基、器械、营养液等进行认真的消毒，管理得当，一般不易感染病害，可以实行高度连作，大大提高了土地利用率。无土栽培和园艺设施相结合，在相对封闭的环境条件下进行，在一定程度上避免了外界环境和土壤病原菌及害虫对作物的侵袭，加之作物生长健壮，因此病虫害的发生轻微，也较易控制，不存在土壤种植中因施用有机粪尿



而带来的寄生虫卵及重金属、化学有害物等公害污染。正是因为无土栽培方式在防止土传病害发生上具有不可替代的优越性，因而在蔬菜的无公害生产中具有重要的意义。

4) 有利于实现农业生产的现代化。无土栽培通过多学科、多种技术的融合，现代化仪器、仪表、操作机械的使用，可以按照人的意志进行作物生产。无土栽培技术有利于实现农业机械化、自动化，从而逐步走向工业化、现代化。世界上众多的“植物工厂”是现代化农业的标志：日本形成了独具特色的深液流水培技术，如 M 式、神园式、协和式等，引进了 NFT 和岩棉培技术，研制了各种全自动控制的植物工厂，实现了机械化和自动化；我国近十年来引进和兴建的现代化温室及配套的无土栽培技术，有力地推动了我国农业现代化的进程。

(2) 无土栽培的缺点

1) 一次性投资大，运行成本高。无土栽培需要在大棚、温室中配备一定的设施、设备才能进行，如果进行大规模、集约化、现代化的无土栽培，一次性投资更大。而生产所需要的肥料要求严格，营养液的循环流动、温度调控等能源消耗高，生产运行成本大。我国研制开发出鲁 SC- I 型、鲁 SC- II 型、改进型水泥砖结构型深液流水培装置、简易 NFT、有机生态型基质培、浮板毛管水培和华南深液培等无土栽培装置，应用了浮板毛管水培技术、有机生态型无土栽培技术、简易 NFT 技术，引进并广泛应用了岩棉培技术，研究并开发了芦苇、菇渣等有机基质，简化了无土栽培设施和营养液、基质等管理技术，降低了无土栽培的设备投资和生产成本。

2) 技术要求高。由于无土栽培营养液的配制、供应、调控及防止病害侵染等技术，均需要一定的文化水平才能掌握，因此对管理人员要求较高。但是通过采用自动化设备、选用厂家生产的专用无土栽培肥料、采用简易无土栽培形式，可以降低操作难度。

3) 管理不当，易发生某些病害的迅速传播。无土栽培生产的保护设施相对密闭，环境湿度大，光照相对较弱，而水培形式中植物根系长期浸于营养液中，高温环境中，营养液中的含氧量急剧降低，根系生长和功能受阻，地上部高温高湿病菌快速侵染植物，加上营养液的循环流动使病菌迅速传播，导致种植失败。

我国普遍采用的基质栽培的营养液是不循环的，称为开路系统，这可以避免病害通过营养液的循环而传播。

3. 无土栽培的类型

无土栽培的方式方法多种多样，不同国家、不同地区由于科学技术发展水平不同，当地资源条件不同，自然环境也千差万别，所以采用的无土栽培类型和方式方法各异。目前比较普遍的分类方法，是根据作物根系的固定方法来区分，大体上可以分为无基质（也称为介质）栽培和有基质栽培两大类。

(1) 无基质栽培

1) 水培法。水培法的栽培介质为水，是无土栽培中最早采用的方式。水培法是将植物根系浸入营养液中生长（图 1-3），这种方式会出现缺氧现象，影响根系呼吸，严重时造成料根死亡。为了解决供氧问题，英国人库柏在 1973 年提出了营养液膜法的水培方式，简称“NFT (Nutrient Film Technique)。”它的原理是使一层很薄的营养液（0.5 ~ 1cm）层，不断循环流经作物根系，既保证不断供给作物水分和养分，又不断供给根系新鲜氧气（图 1-4）。NFT 法栽培作物，灌溉技术大大简化，不必每天计算作物需水量，营养元素均衡供给。根系



与土壤隔离，可避免各种土传病害，也无须进行土壤消毒。



图 1-3 水培法



图 1-4 营养液膜水培法

2) 雾培法。雾培法又称为喷雾培或气培，是将植物的根系悬挂于栽培槽的空气中，以气雾的方法来供给根系营养和水分。通常是用聚丙烯泡沫塑料板，其上按一定距离钻孔，于孔中栽培作物。两块泡沫板斜搭成三角形，形成空间，供液管道在三角形空间内通过，向悬垂下来的根系上喷雾。一般每间隔 2~3min 喷雾几秒钟，营养液循环利用，同时保证作物根系有充足的氧气，有利根系的发育。但雾培法对喷雾的要求高，雾点要细而均匀；根系的温度受气温影响，较难控制，因此生产上应用很少，大多在展览厅展览、生态酒店和旅游观光农业上观赏使用（图 1-5）。雾培的特殊类型是半雾培，即部分根系生长在浅层的营养液层中，另一部分根系生长在雾状营养液的空间内。

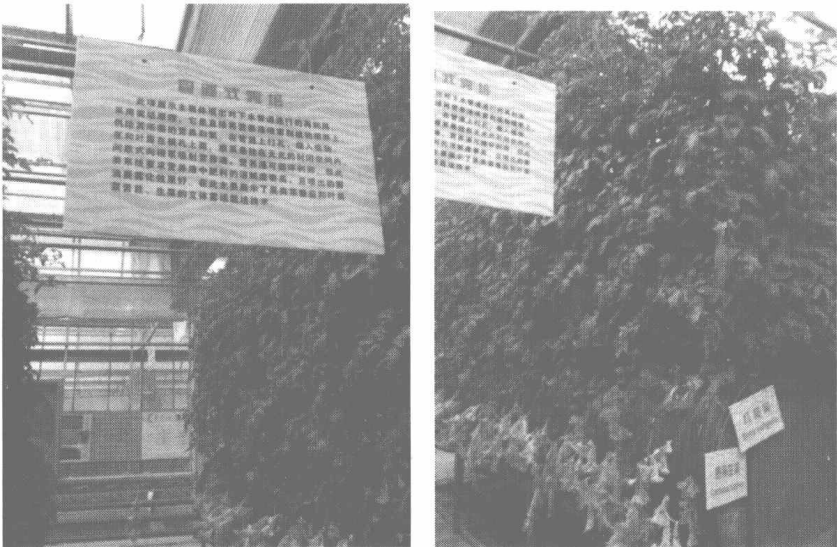


图 1-5 雾培法



(2) 固体基质栽培 用固体基质(介质)固定植物根系,并通过基质吸收营养液和氧的一种无土栽培方式。固体基质种类很多,常用的有无机基质栽培、有机基质栽培、复合基质栽培。常用的栽培形式分为槽培、盆培、袋培、箱培和立体栽培等。基质栽培缓冲能力强,不存在水分、养分与供氧之间的矛盾,且设备较水培法和雾培法简单,甚至可不需要动力,所以投资少、成本低,生产中普遍采用。从我国现状出发,基质栽培是最有现实意义的一种方式。

1) 无机基质栽培。无机基质是采用岩棉、蛭石、沙、陶粒、珍珠岩、聚乙烯和尿醛泡沫塑料等无机物质作基质的基质栽培方式。欧洲许多国家目前应用较多的基质是岩棉,它是由60%辉绿岩,20%石灰石和20%焦炭混合后,在1600℃的高温下熔化,再喷成直径为0.005mm的纤维,而后冷却压成板块或各种形状。岩棉的优点是可形成系列产品(岩棉栓、块、板等),使用搬运方便,并可进行消毒后多次使用。但是使用几年后就不能再利用,废岩棉的处理比较困难,在使用岩棉栽培面积最大的荷兰,已形成公害。我国一般采用沙培、蛭石培、珍珠岩培等。

2) 有机基质栽培。有机基质栽培是采用草炭、锯末、树皮、稻草和稻壳等物质作基质的基质栽培。这些基质或来自有机物,或本身就是有机物。在各种有机基质中,以草炭的应用最广,其次是锯末,一般采用中等粗度的锯末或加有适当比例刨花的细锯末,以黄杉和铁杉的锯末为好。草炭大多被用于栽培各种园艺作物。

3) 复合基质栽培。现在,生产上为了克服单一基质可能造成的容重过轻、过重、通气不良或通气过盛等的弊病,常将几种基质混合形成复合基质后使用。复合基质配方选择的灵活度较大,基质成本较低,它是我国目前应用最广、成本最低、使用效果较稳定的一种无土栽培方式。

二、无土栽培营养生理

1. 矿质营养及生理功能

自然界109种元素,植物体内的矿质元素已发现70多种,常见且量较大的有10余种。植物体内矿质元素的含量随植物种类、器官或部位、生育期的不同而不同。植物体内矿质元素的含量与其生态环境有很大关系。因此,无土栽培的任务,不仅要为植物的正常生长提供适宜的环境条件,还要根据植物的不同种类、不同生育期,提供足量的矿质营养物质。植物所需的必需元素:氢、碳、氧、氮、钾、钙、镁、磷、硫、氯、硼、铁、锰、锌、铜及钼等共16种。植物生长发育所必需的元素可分为大量元素和微量元素。大量元素是指植物需求量较大,含量通常为植物体干重0.1%以上的元素,为C、H、O(3种非矿质元素)和氮、磷、硫、镁、钙、钾(6种矿质元素),共9种。微量元素是指植物需要量极微、含量通常为植物体干重0.01%以下的元素,为氯、硼、铁、锰、锌、铜、钼等7种矿质元素,此类元素在植物体内稍多即可对植物产生毒害。植物必需的矿质元素:除氢、碳、氧外,其余13种元素为植物必需的矿质元素。

(1) 大量元素及其生理功能

1) 氮素吸收及其功能。氮是作物生长所需的主要元素之一,配制营养液时氮素有两种可供作物吸收的形式,即硝态离子(NO_3^-)和铵离子(NH_4^+),营养液以硝态氮化合物为主,而以铵态氮为辅。而铵态氮虽然也能被作物吸收,但营养液中铵离子(NH_4^+)的比例



过大，钙、镁的吸收会受到很大限制，作物表现为生长不良，软弱多汁。

氮素是作物体内许多重要有机化合物的成分，在多方面直接或间接地影响着植物的代谢过程和生长发育，氮是蛋白质和核酸的主要成分，蛋白质含氮素 16%~18%，蛋白质和核酸又是植物细胞原生质组成中的基本物质，也是植物生命活动的基础。因此，没有氮就不能形成蛋白质，就没有各种有机体和生命现象。

氮既是植物进行光合作用的叶绿素的组成成分，又是许多酶的组成成分，酶本身就是蛋白质，是在植物体内形成的有机催化剂，对植物体内各种代谢过程起生物催化作用。此外，植物体内的一些生命活性物质如维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、生长素、细胞分裂素等也含有氮。这些物质对促进植物生长发育有着重要的作用。一旦缺乏，这些含氮物质就不能形成，植物代谢产生紊乱。氮充足时，蛋白质合成量大，细胞的分裂和增加快，植物生长茂盛，光合强度高，产量增加。作物氮营养临界期是在营养生长转向生殖生长的时期。

营养液的氮素配比合适，光合作用旺盛，植株叶片色泽鲜艳而肥大，植株体健壮，产量高；营养液的氮量过多，植株营养生长过旺，叶色深绿，易徒长，果菜作物的产品形成受到抑制，成熟期推迟。反之，氮量不足，叶色淡，植株细弱矮小，产量低，老叶容易变黄枯萎。因此，在配制营养液时，必须严格按配方比例进行，不能将肥料任意增减。

在无土栽培选用氮源时，以硝态氮肥料为主，如硝酸钙、硝酸钾等。硝酸铵也可以使用，但比例不宜过大。铵态氮肥料可以选用硫酸铵、氯化铵等。

2) 磷的吸收及其功能。磷以多种方式参与作物内的生理过程，对促进作物生育过程和生理代谢、高产优质都起着重要作用。

植物从营养液中吸收的磷的形态以无机态磷为主，其中主要是磷酸氢根离子，即 H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} 和 PO_4^{3-} ，其中 H_2PO_4^- 最易被植物吸收。当然作为植物根系来说，植物还可以吸收焦磷酸 ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) 和偏磷酸 (PO_3^-) 形态的磷，但数量较少。作物还可以吸收有机态的磷，如一些磷酸酯、核酸等。

作物体内的含磷量约为干重的 0.05%~0.50%，并随着作物种类、器官和生长期的不同而异。油料作物含磷量高于豆科作物；豆科作物高于谷类作物；生育前期的幼苗含磷量高于后期老熟的秸秆；幼嫩器官中的含磷量高于衰老器官，繁殖器官高于营养器官，种子高于叶片，叶片高于根系，根系高于茎秆等。大多数作物的磷营养临界期都在幼苗期。例如，玉米一般在出苗后 7d 左右（三叶期）；棉花一般在出苗后 10~20d。作物幼苗期正是由种子营养转向土壤营养的转折时期。此时种子中贮藏的磷营养已近于耗尽，急需从土壤中获得磷营养。但此时大部分幼根在土壤表层，尚未伸展，且吸收养分的能力弱，对磷的需要就显得十分迫切。而土壤溶液中磷的浓度往往很低，且移动性很小，难以迅速迁移到根表。所以作物幼苗期容易表现出缺磷。采用少量磷肥作种肥，常有很好的效果。

磷是植物体内许多重要化合物的组成成分，例如核酸、核蛋白、磷脂、植素以及多种的含磷生物活性物质（三磷酸腺苷（ATP）、三磷酸胞苷（CTP）、三磷酸尿苷（UTP）和三磷酸鸟苷（GTP）等）的组成中，都含有磷。

磷还能促进体内多种代谢过程，如磷能够加强光合作用和碳水化合物合成与运转，促进氮的代谢和脂肪代谢。磷素营养充足还能够提高作物对干旱、寒冷和病虫害等不良环境的抗逆性。由于磷在作物体内一部分是以无机磷形态存在的，由此能够增加细胞液的缓冲性能，使原生质的 pH 保持稳定状态，有利于细胞的正常生命活动。



可供配制营养液选用的磷素肥料主要有：磷酸二氢钾、磷酸二氢铵、过磷酸钙、重过磷酸钙等。

3) 钾的吸收及其功能。钾是作物生长非常重要的一种元素，与氮和磷合称为植物营养的三要素。作物体内的钾含量约占干重的1%左右，它是作物体内所有金属元素中含量最高的。存在于体内的钾无固定的有机化合物形态，主要以离子态钾的形式存在。钾在作物体内的移动性和再利用性很强，所以钾能向代谢最活跃的器官和组织中转移，如幼叶、嫩芽、生长点等部位。因此，钾缺乏时的症状首先出现在老的组织或器官中。

作物是以钾离子(K^+)的形态吸收钾的。作物对钾的吸收能力与其他元素有一定关系。在钾的浓度处于正常水平时，植株对钾的亲合力比钙高，钾过量时，则导致钙的缺乏，但钙对钾的吸收不发生竞争作用，反而会促进钾的吸收。相伴离子对钾的吸收作用不同，在正常浓度下硫酸根离子、氯离子、硝酸根离子的吸收速率与钾离子的相同，但在高浓度下，硫酸根离子能抑制钾离子的吸收。

存在于作物体内的钾尽管不是体内结构形成的组成成分，但其生理功能很多。体内中存在的钾促进了多种酶的活性，因此也促进了体内许多的代谢过程，据报道，有60多种的酶，需要像钾这样的一价金属阳离子来活化。钾可以提高作物叶绿素的含量和促进作物对光能的利用；钾能够影响植物气孔的开闭，调节二氧化碳渗入叶片和水分蒸腾的速率，与植物的水分代谢密切相关；钾还可提高蛋白质和核蛋白的形成，也有利于豆科植物根瘤菌的固氮作用。钾素可使作物纤维素增强，促进维管系统发育，厚角组织发达，使植株生长健壮，提高其抗性。钾对于改善作物品质方面有良好的作用，因此钾被称为是“品质元素”。例如在无土栽培甜瓜时，适当地增加营养液中钾的用量，可使得甜瓜的糖度提高1%~3%。

在无土栽培中可以供选择的钾素主要有硝酸钾、氯化钾、硫酸钾及磷酸二氢钾等。

4) 钙的吸收及其功能。钙也是植物体内含量较高的一种元素，干物质中含钙量为0.5%~3.0%，不同植物含钙量有所差异。一般蔬菜作物的含钙量较多，禾本科作物的较少。作物体内钙的移动性很小，难以再利用，一般地上部比根系的含量高，茎叶的含钙量较多，果实和籽粒的较少。许多作物因为钙素失调发生缺钙症。因此，在无土栽培中，钙的施用不可忽视。

矿物质元素在植物体内的运输一般是通过韧皮部和木质部，但是钙在植物体内几乎只能通过木质部运输，主要靠的是蒸腾作用，借助蒸腾拉力由下往上运输，而且钙容易在植物体内固定，钙在植物体内容易形成不溶性的钙盐而沉淀下来，是不能再利用的元素，钙一旦固定，将不再流动。

无土栽培中可供选择的钙肥主要有：硝酸钙、氯化钙、磷酸一钙、过磷酸钙等。

5) 镁的吸收及其功能。植物体内含镁量为干重的0.05%~0.70%，种子含镁较多，茎叶次之，根系较少。镁在叶绿素合成和光合作用中起重要作用。镁原子同叶绿素分子结合后，才具备吸收光量子的必要结构，才能有效地吸收光量子进行光合反应。因此，镁与叶绿素的形成和光合作用的进行密切相关，所以在缺镁时，叶绿素含量减少，叶色褪绿，光合作用受阻。

镁的另一重要生理功能是作为核糖体亚单位联结的桥接元素，能保证核糖体稳定的结构，为蛋白质的合成提供场所。叶片细胞中有大约75%的镁是通过上述作用直接或间接参与蛋白质合成的。它还可以参与碳水化合物、脂肪和类脂的合成。



镁还是多种酶类的活化剂，它可以活化的酶类可达几十种，因此可以促进体内的多种代谢过程，例如，镁可以促进糖酵解、三羧酸循环和 ATP 的合成，使呼吸作用增强，并且能够参与蛋白质和核酸的合成过程。另外，镁对维持核糖体的结构十分必要，没有这种正常结构，核糖体就失去合成蛋白质的能力。

在无土栽培中，可供选用的镁肥有：氯化镁、硝酸镁、硫酸镁、碳酸镁等。

6) 硫的吸收及其功能。硫在作物生长和代谢中有多种重要功能，是生物素 (biotin)、维生素 B₁、辅酶 A、胱氨酸、半胱氨酸、蛋氨酸的组分。主要以硫氢基 (-SH) 和二硫基 (-S-S-) 的形态参与形成含硫的有机化合物。

作物叶绿素中虽然不含硫，但硫对叶绿素的形成有一定作用。缺硫时叶绿素含量降低，叶呈现淡绿色，甚至变成黄白色。硫缺乏往往会影响到豆科作物根瘤的固氮能力。

植物体内的含硫量为干物重的 0.1%~0.5%。植物的硫营养以根系吸收 SO_4^{2-} 为主，也可以从叶片吸收低浓度气态 SO_2 ，但高浓度气态硫有毒害作用。植物体内硫的移动性很小，难以再利用，因此，缺硫时的症状首先表现在幼叶上。

在无土栽培中，可供选用的硫素多与其他肥料配合施用，如肥有：硫酸镁、硫酸锌、硫酸钾等。

(2) 微量元素及其生理功能 作物进行正常的生长发育，除上述的大量元素外，还需要一些数量很少的微量元素，即氯、硼、铁、锰、锌、铜、钼等矿质元素。还有一些微量元素需要量甚微，在配制营养液时可由水或基质中取得，因而不另行加入。

1) 铁的吸收及其功能。铁是植物结构组分元素，是血红蛋白和细胞色素的组成成分，也是细胞色素氧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等许多酶类的组成成分。植物中大部分铁是以铁磷蛋白的形式储存，称为植物铁蛋白。铁虽然不是叶绿素的组成成分，但它是叶绿素形成不可缺少的，细胞中约 75% 的铁与叶绿体结合，叶片中高达 90% 的铁与叶绿体和线粒体膜的脂蛋白结合。因此，铁影响到叶绿素的形成和光合作用的进行。

过量的铁对植物发生毒害，一般亚铁过多积累造成此种情况。在配制营养液时，准确把握铁化合物的用量，对作物的正常的生长发育十分重要。

在无土栽培中，可供选用的铁素肥料主要有：硫酸铁、三氯化铁、柠檬酸铁以及螯合态铁等。

2) 硼素的吸收及其功能。硼在单子叶植物和双子叶植物中的浓度通常分别为 6~18mg/kg 和 20~60mg/kg。大多数作物成熟叶片组织中硼水平在 20mg/kg 以上即足够。硼在作物分生组织的发育和生长中起重要作用，尤其是分生组织新细胞的发育，如硼能促进植物根系的生长。缺硼时，根尖分生组织的细胞分化和伸长受到影响，根尖细胞发生木质化。硼能促进植物发芽和花粉管的伸长、碳水化合物的转化和运转、氨基酸和蛋白质合成、豆科植物结瘤等。硼对叶绿素的形成和稳定性有良好作用，能增强植株的光合作用，促进光合产物的合成、分配；并且能抑制有毒的酚类化合物形成，硼不易在体内流动和再利用。

植物主要吸收 BO_3^{3-} 和 $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ 两种状态的硼。硼进入植物体内后不发生大的变化也不形成含硼的特殊化合物，仅能与游离态的糖结合成复合极性分子。

配制营养液时选用的硼肥有硼砂、硼酸等。

3) 锰素的吸收及其功能。锰在植物体内的含量较低，仅为干物重的十万分之几至千分之几，不同作物及不同的部位的含量有较大差异。一般叶片的含锰量较高，茎次之，



种子较少。

植物体内的锰存在着价数的变化 ($Mn^{2+} \sim Mn^{4+}$)，能直接影响体内的氧化还原过程。锰的生理作用多种多样，它是植物体内多种酶的活化剂。锰虽然不是叶绿素的组成成分，但与叶绿体的形成有关。锰还影响到组织中生长素的代谢，锰能活化吲哚乙酸 (IAA) 氧化酶，促进 IAA 的氧化和分解。锰在作物体内的移动性较小，缺乏时首先在幼叶上表现出失绿的症状。

在生产上可以选用的锰素肥料有：硫酸锰、碳酸锰等。

4) 锌素的吸收及其功能。植物体内锌的含量约为 $10 \sim 200\text{mg/kg}$ (干物重计)。植物体内的锌是蛋白酶、肽酶和脱氢酶的组成成分。主要存在于叶绿体中的碳酸酐酶能够催化 CO_2 水合作用生成重碳酸盐，有利于碳素的同化作用。由于植物吸收和排除 CO_2 通常都先溶于水，故缺锌时呼吸作用和光合作用均会受到影响。锌是合成生长素前体——色氨酸的必需元素，因锌是色氨酸合成酶的必要成分，缺锌时吲哚和丝氨酸不能合成色氨酸，因而不能合成生长素 (吲哚乙酸)，因此，锌也间接地影响到吲哚乙酸的形成。

锌以 Zn^{2+} 形式被植物吸收。配制的营养液含锌肥料可以选用硫酸锌、氯化锌等。

5) 铜素的吸收及其功能。植物体内铜的含量较少，约为 $4 \sim 50\text{mg/kg}$ (干物重计)。

铜为多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶、细胞色素氧化酶的成分，在呼吸的氧化还原中起重要作用。在超氧化物歧化酶 (SOD) 中也含有铜，这种酶可使得超氧化物基 (O_2^-) 起歧化作用以保护植物细胞免受伤害。在叶绿体中铜的含量较高，它参与光合电子传递，故对光合作用有重要作用。缺铜会导致叶片栅栏组织退化，气孔下面形成空腔，使植株即使在水分供应充足时也会因蒸腾过度而发生萎蔫。铜还参与了蛋白质和碳水化合物的代谢。缺铜时，蛋白质的合成会受到阻碍，体内可溶性含氮物质增加，还原糖含量减少，植物的抗逆性降低。

无土栽培中的水培一般不易出现缺铜，可配制含铜素营养液肥料有：硫酸铜、螯合态铜等。

6) 钼素的吸收及其功能。钼是植物必需的营养元素中含量最少的，非豆科作物只有亿分之几至百万分之几，豆科作物的含量较高，也仅达其干物重的百万分之几至十万分之几。

植物体内钼的生理功能主要表现在氮素代谢方面。在生物固氮中，钼起着很重要的作用，豆科植物根瘤菌的固氮特别需要钼，因为氮素固定是在固氮酶的作用下进行的，固氮酶是由铁蛋白和钼铁蛋白组成的，钼铁蛋白中含有钼，如钼营养缺乏，则固氮酶的形成受到影响，固氮的过程不能进行。钼是硝酸还原酶的组成成分，缺钼则硝酸不能还原，使得硝酸盐在体内累积，蛋白质合成减少。钼还影响到各种磷酸酯活性。缺钼也会造成体内维生素 C 含量的降低。

钼以钼酸盐 (MoO_4^{2-}) 的形式被植物吸收，当吸收的钼酸盐较多时，可与一种特殊的蛋白质结合而被贮存。

配制无土栽培的营养液时，可供选择的钼肥有：钼酸钠、钼酸铵、三氯化钼等。

2. 营养诊断

作物缺乏任何一种必需元素或某一营养元素过量，生理代谢就会发生障碍，从而在外形上表现出一定的症状，这就是缺素症或过量症状。根据形态、生理、生化变化，判断作物的营养状况，称为营养诊断。在无土栽培中，常因营养液的配制不当、浓度过高、元素比例失调、其他因素影响作物对某种元素的正常吸收而发生营养元素的缺乏或过多现象。以下介绍



根据作物形态上的差异进行作物营养的诊断。

(1) 氮素缺乏与过多症 缺氮时,蛋白质、核酸、磷脂等物质的合成受阻,生长减缓,植物生长矮小,分枝、分蘖很少,叶片小而薄,花果少且易脱落;缺氮还会影响叶绿素的合成,首先在下部叶片上发生,开始是绿色减退,叶变成柠檬黄或橘黄色,叶片早衰甚至干枯,从而导致产量降低。因为植物体内氮的移动性大,老叶中的氮化物分解后可运到幼嫩组织中去重复利用,所以缺氮时叶片发黄,由下部叶片开始逐渐向上。这是缺氮症状的显著特点。从作物幼苗到成熟期的任何生长阶段里都可能出现氮素的缺乏症状(图1-6,图1-7)。

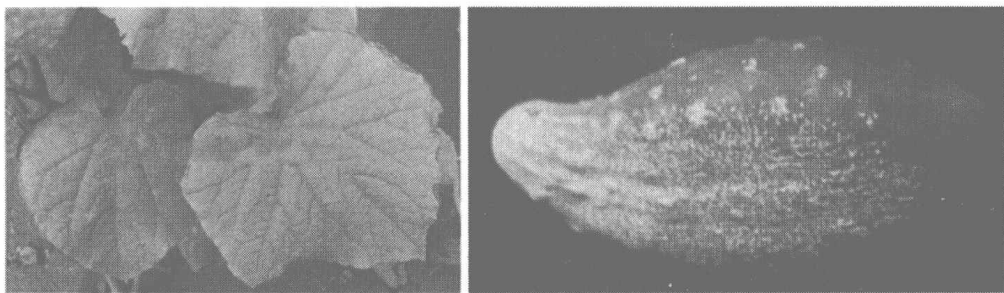


图1-6 黄瓜缺氮症状

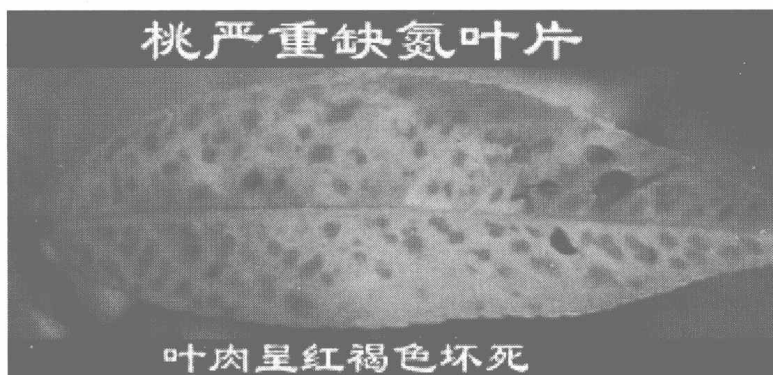


图1-7 桃缺氮症状

苗期:由于细胞分裂减慢,苗期植株生长受阻而显得矮小、瘦弱,叶片薄而小。禾本科作物表现为分蘖少,茎秆细长;双子叶作物则表现为分枝少。后期:若继续缺氮,禾本科作物则表现为穗短小,穗粒数少,籽粒不饱满,并易出现早衰而导致产量下降。

氮过多时,叶片大而深绿,柔软披散,植株徒长。另外,氮素过多时,植株体内含糖量相对不足,茎秆中的机械组织不发达,易造成倒伏和被病虫害侵害(图1-8)。

氮素的缺乏或过多是相对的概念,应根据作物种类,生长管理的具体情况加以判断确定。主要蔬菜作物症状表现如下:

黄瓜缺氮表现为植株矮化,叶呈黄绿色,严重时叶呈浅黄色,全株呈黄白色,茎细而脆;果实细短,呈亮黄色或灰绿色,多刺,果蒂呈浅黄色或果实畸形。

甘蓝缺氮表现为呈灰绿色,无光泽,叶形狭小,挺直,结球不紧,或难以包心。花椰菜缺氮苗期叶片小而挺立,叶呈紫红色。花球期缺氮则花球发育不良,球小且多为花梗,花蕾少。



图 1-8 西瓜皮椒草氮素过多症状

甘蓝、花椰菜氮素过剩表现叶色浓绿，叶片肥大，变短变宽，甘蓝结球困难或结球延迟且疏松，花椰菜花球不能正常发育，可食率下降。氮素严重过剩时，叶片脉间会出现灰绿色危害斑块。

(2) 磷素缺乏与过多症 一般作物缺磷首先是蛋白质的合成受阻，幼嫩组织和器官生长缓慢，根系发育不良。磷在体内易移动，也能重复利用，缺磷时老叶中的磷能大部分转移到正在生长的幼嫩组织中去，因此，缺磷的症状首先在下部老叶出现，并逐渐向上发展。植株缺磷初期，由于缺磷利于花青素的形成，使下部叶片呈反常暗绿色或呈紫红色，叶狭长而直立，继而植株矮小，呈簇生状态。

磷素营养过剩，对生长同样不利，主要表现为营养期缩短，产品成熟期提早，叶片肥厚而密集，由于磷酸钙的沉淀，叶上会出现小焦斑；植株矮小，节间过短，出现生长明显受抑制的症状，地上部与根系生长比例失调，在地上部生长受抑制的同时，根系非常发达，根量极多而粗短。磷素过多还会使锌、铁、镁等元素的吸收受限，因此，常与缺锌、缺铁、缺镁等发生的症状一同出现。

番茄对磷素的反应较为敏感，当磷素缺乏时，植株瘦小，茎细长，叶生长倾斜向上，与茎呈锐角，且叶片小，紫红色；着果延迟且数量少，产量及品质下降（图 1-9）。

黄瓜缺磷时，缺磷植株矮化，严重时幼叶细小僵硬，并呈深绿色，子叶和老叶出现大块水渍状斑，并向幼叶蔓延，斑块逐渐变褐干枯，叶片凋萎脱落。

芹菜缺磷时，植株生长缓慢，叶片变小但不失绿，外部叶逐渐开始变黄，显得更浓些，叶脉发红，叶柄变细，纤维发达，下部叶片后期出现红色斑点或紫色斑点，并出现坏死斑点。

(3) 钾素缺乏与过多症 钾是易移动可被重复利用的元素，故缺素病症首先出现在下部老叶。缺钾时造成植株下部的叶片变黄，边缘干枯、焦枯，甚至叶片枯死。但死亡的叶片还附着于植株上，短时间内不凋落。除生长点的嫩叶外，其他的叶片均会受到影响，表现为叶片上出现褐色斑点，甚至成为斑块，但叶中部靠近叶脉附近仍保持原来的绿色。另外，钾