



普通高等教育“十五”国家级规划教材

无土栽培学

郭世荣 主编



中国农业出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

无土栽培学

郭世荣 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无土栽培学/郭世荣主编. —北京: 中国农业出版社,
2003.2

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-109-07753-5

I. 无... II. 郭... III. 无土栽培-高等学校-教材
IV. S317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 106478 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 伍 斌

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 28.75 插页: 1

字数: 510 千字

定价: 38.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

无土栽培学为普通高等教育“十五”国家级规划教材，它集中反映 20 世纪 90 年代以来国内外无土栽培技术的新理论、新成果、新技术和新动态，着重介绍我国近年来所采用的先进、实用、节能、高效的无土栽培新设施、新技术。教材充分体现“基本”和“新”的原则，力求做到理论联系实际。

本教材分十三章。主要讲授无土栽培技术的发展概况及其在农业中的地位、无土栽培的基本理论、营养液的组成及其配制和管理、固体基质的种类及性能与应用、无土育苗技术、常用无土栽培设施的结构、组成及管理、园艺作物的无土栽培技术、无土栽培技术在其他方面的应用和无土栽培与有机农业等。

本教材既是一本高等农林院校植物生产类专业学生的适用教材，又是农业相关部门技术和管理人员实用的参考书。

主 编 郭世荣 (南京农业大学)

副主编 (按单位笔画为序)

王秀峰 (山东农业大学)

李天来 (沈阳农业大学)

吴 震 (南京农业大学)

参编人员 王秀峰 魏 珉 (山东农业大学)

温祥珍 (山西农业大学)

黄丹枫 (上海交通大学)

高丽红 (中国农业大学)

蒋卫杰 (中国农业科学院)

邹志荣 (西北农林科技大学)

刘士哲 (华南农业大学)

罗庆熙 (西南农业大学)

汪 天 (安徽农业大学)

李天来 孙红梅 杨延杰 (沈阳农业大学)

陈贵林 任良玉 (河北农业大学)

孙治强 (河南农业大学)

郭世荣 吴 震 石海仙

王广东 房伟民 翁忙玲

刘 伟 吴 健 (南京农业大学)

朱祝军 (浙江大学)

审 稿 郑光华 (中国农业科学院)

李式军 (南京农业大学)

序 言

无土栽培作为一项农业高新技术已走过 140 余年的发展历程，和生物技术一起被列为 20 世纪对农业生产影响较大，引起人们广泛关注的两项具有划时代意义的高科技农业新技术。无土栽培技术的形成极大地拓宽了农业生产的空间，使沙漠、荒滩、海岛、盐碱地、南北极等不毛之地的作物生产变成了现实；使家庭绿化更方便、洁净、易行。进入 20 世纪 80 年代以后，随着塑料工业、仪器仪表、信息技术、温室制造和自动化环境控制技术等的迅速发展，加之人们对植物生理代谢、生长发育规律等方面的深入研究和认识，使无土栽培技术的进步日新月异，许多发达国家已逐步达到了无土栽培的集约化、现代化、自动化、工厂化生产和高产、优质、高效、低耗的目的，无土栽培已成为许多国家设施园艺的关键技术并被广泛采用，使设施园艺作物的产量和品质大幅度提高，生态环境保护得到保障，以无土栽培技术为核心的植物工厂在世界各地相继建成，仅日本 1999 年登记在册正常运行的植物工厂就达 40 余处；无土栽培已成为太空中生产绿色植物产品惟一的有效途径，无土栽培的优越性和重要性已被世人所公认，无土栽培技术的发展水平和应用程度已成为世界各国农业现代化水平的重要标志之一。

我国无土栽培技术自 20 世纪 80 年代改革开放以来，随着国际交流和旅游业的发展以及世界无土栽培技术的发展已得到了飞速的进步。国家农业部、科技部和各地政府设立了一系列有关无土栽培技术的重点研究课题，通过国外引进、消化吸收，结合国情研究出适应我国不同气候区、不同档次的一系列无土栽培生产设施和相应的管理技术；尤其是近年来国家级、省市级大量农业高科技示范园区的建立，加之无公害优质农产品市场的形成和大量出口农产品生产的需要，大大促进了无土栽培技术的推广应用，已形成许多规模化经营、产业化生产的无土栽培基地。无土栽培技术是国外高新技术在我国率先实现国产化、实用化，并大面积推广应用的高科技农业技术的范例。1992 年由连兆煌教授和李式军教授等组织编写的我国第一部无土栽培方面的高校教材——《无

土栽培原理与技术》，对我国无土栽培技术的研究开发和应用做出了历史性的贡献。目前，随着社会、科技、生产、市场、经济发展和人才培养的需要，急需一本能紧跟时代发展要求、集中反映近年来国内外无土栽培技术的新理论、新成果、新技术、新动态的教科书。因此，组织国内长期从事无土栽培教学、科研、生产第一线的中青年骨干专家、学者编写了这本普通高等教育“十五”国家规划教材，以满足社会发展的需要。

根据参编人员的学术专长安排编写任务，按章节次序分别为：第一章 郭世荣；第二章 李天来、孙红梅、杨延杰；第三章 朱祝军；第四章 石海仙、郭世荣、刘士哲、黄丹枫；第五章 罗庆熙；第六章 温祥珍、郭世荣；第七章 魏珉、王秀峰；第八章 郭世荣、翁忙玲、刘伟、汪天；第九章 孙治强；第十章 高丽红、吴震；第十一章 王广东、房伟民、邹志荣；第十二章 陈贵林、吴健、任良玉；第十三章 蒋卫杰、郭世荣；实验指导 汪天、郭世荣。全书由郭世荣教授统稿完成。本书承蒙南京农业大学李式军教授、中国农业科学院郑光华教授审稿，并提出许多宝贵的修改意见，在编写过程中得到各参编单位大力支持与合作，在此一并谨致衷心的感谢。

无土栽培学作为一门多学科交叉的边缘科学体系，属农业应用性学科，我们在编写过程中以“基本”和“新”为原则，力求做到理论联系实际，注重教材的先进性和实用性。但由于编者水平所限，缺点错误在所难免，恳请读者不吝赐教，以便再版时修改完善。

编者

2002年9月

目 录

序言

第一章 概述	1
第一节 无土栽培及其分类	1
一、无土栽培与无土栽培学	1
二、无土栽培的分类	1
第二节 无土栽培的发展历史	3
一、试验探索时代	4
二、实用化时代	5
三、高科技发展时代	7
第三节 无土栽培的特点和应用	8
一、无土栽培的优点	8
二、无土栽培应注意的问题	10
三、无土栽培的应用	12
第四节 无土栽培的发展现状与展望	13
一、中国无土栽培的发展简史与展望	14
二、国外无土栽培的发展现状与展望	17
第二章 植物根系生理	20
第一节 植物根系与地上部分的关系	20
一、植物根系的生育与分布特征	20
二、植物根系与地上部分的关系	21
三、地上部生长状态及栽培管理对根系生长的影响	23
第二节 植物根系的构造	26
一、根系的形态、类型及构造	26

二、粗根系与细根系的比较	28
第三节 植物根系的功能	28
第四节 植物根系对水分的吸收	32
一、根系吸水过程	33
二、蒸腾作用和蒸腾系数	34
三、表观吸收成分组成浓度	35
第五节 植物根系与根际环境的关系	36
一、植物根际环境的特点	36
二、植物根系与根际环境的关系	37
第六节 植物根系与根际微生物	43
一、根际微生物的特点	44
二、植物根系与根际微生物的关系	44
第三章 植物营养生理	48
第一节 植物体的元素组成和必需营养元素	48
一、植物的组成成分	48
二、植物营养元素的分类	49
三、植物体内营养元素的分布和比例	51
第二节 植物根系的表面特性	51
一、根阳离子交换量	51
二、自由空间	52
第三节 必需营养元素的生理功能和吸收形态	52
一、大量元素	52
二、微量元素	59
三、有益元素	63
第四节 植物根系对养分的吸收和运转	65
一、植物吸收养分的器官和途径	65
二、根系吸收无机养分的机制	65
三、根系吸收有机养分的机制	66
四、植物体内养分的运转	67
五、影响植物吸收养分的因素	68
第五节 植物的营养诊断	69
一、作物营养失调症状的形成	69
二、作物营养失调症状的诊断	70

三、作物营养失调症状的表现	71
四、营养失调症状的防治	75
第四章 营养液	77
第一节 营养液的原料及其要求	77
一、水	77
二、各种营养元素化合物	79
三、辅助物质——络合剂	85
第二节 营养液的组成	86
一、营养液浓度的表示方法	87
二、营养液的组成原则和确定方法	91
第三节 营养液配方选集	111
第四节 营养液的配制	116
一、营养液配方的调整	116
二、营养液配制的原则	118
三、营养液的配制技术	118
第五节 营养液的管理	121
一、营养液的浓度	121
二、营养液的酸碱度	123
三、营养液的溶存氧	125
四、营养液的液温	129
五、营养液的更换	130
第六节 废液处理和利用	131
一、废液处理	132
二、废液有效利用	132
第五章 固体基质	134
第一节 固体基质的作用及要求	134
一、固体基质的作用	134
二、对固体基质的要求	135
第二节 固体基质的分类	143
一、无机基质和有机基质	144
二、化学合成基质	145
三、混合基质	145

四、基质的选用原则	146
第三节 无机栽培基质	147
一、岩棉	148
二、砂	150
三、石砾	151
四、蛭石	151
五、珍珠岩	152
六、膨胀陶粒	153
七、炉渣	153
第四节 有机栽培基质	154
一、泥炭	154
二、芦苇末	156
三、锯木屑	157
四、树皮	157
五、甘蔗渣	158
六、菇渣和棉籽壳菌糠	159
七、稻壳	159
八、椰糠	160
九、腐叶	161
十、泡沫塑料	161
十一、复合基质	162
第五节 固体栽培基质的消毒	164
一、蒸气消毒	164
二、化学药品消毒	164
三、太阳能消毒	165
第六节 废弃基质的处理和利用	165
第六章 无土栽培的环境保护设施	167
第一节 环境保护设施的类型与性能	167
一、环境保护设施的类型及分类	167
二、主要环境保护设施的结构及性能	171
第二节 保护设施环境条件及其调控技术	176
一、保护设施环境调控的原则及目标	176
二、光照环境及其调控	177

三、温度环境及其调控	183
四、CO ₂ 及其调控	193
五、空气湿度	196
第三节 植物工厂	199
一、植物工厂的概念	199
二、植物工厂的特征和特点	200
三、植物工厂的分类	200
四、植物工厂的组成与设施	201
五、植物工厂的发展	203
第七章 无土栽培的育苗技术	205
第一节 概述	205
一、无土育苗的特点	205
二、无土育苗方式	206
三、穴盘无土育苗的设施设备	210
第二节 无土育苗基质及营养液	212
一、育苗基质	212
二、营养液	214
第三节 育苗环境及其调控	216
一、温度	216
二、光照	218
三、水分	220
四、气体	221
第四节 主要无土育苗技术	223
一、播种育苗	223
二、扦插育苗	227
三、组织培养育苗 (试管育苗)	229
第八章 水培和雾培的设施与管理	232
第一节 定义与分类	232
一、水培	232
二、雾培	234
第二节 深液流技术	234
一、DFT 的特点	235

二、常用 DFT 水培设施的组成与结构	235
三、DFT 栽培管理技术要点	245
第三节 营养液膜技术	249
一、NFT 的基本特征	249
二、NFT 设施的结构	250
三、NFT 栽培管理技术要点	255
第四节 雾培技术	259
一、雾培的类型及设施	260
二、雾培的栽培管理	262
三、对雾培的综合评价	263
第五节 其他水培技术	264
一、深水漂浮栽培系统	264
二、浮板毛管技术 (FCH)	267
三、家庭用水培装置	268
第九章 固体基质栽培技术	271
第一节 概述	271
第二节 砾培	271
一、石砾的处理	272
二、砾培的设施结构	273
三、砾培技术要点	275
第三节 砂培	276
一、砂的选择	276
二、砂培的设施结构	277
三、砂培技术要点	278
第四节 岩棉培	279
一、岩棉培的特征	279
二、岩棉培的设施结构	280
三、岩棉培的育苗与定植	286
四、营养液的管理	287
五、岩棉种植垫的再利用	290
六、岩棉袋培简介	290
第五节 立体栽培	291
一、立体栽培的类型	292

二、立柱式无土栽培设施结构	293
三、立柱式无土栽培注意事项	293
第六节 有机基质培	294
一、基质的混合	294
二、设施结构及管理	295
三、有机生态型无土栽培技术	298
第十章 蔬菜无土栽培技术	300
第一节 概述	300
一、蔬菜无土栽培的国内外发展概况	300
二、蔬菜无土栽培的方式	300
三、适于无土栽培的蔬菜种类	301
第二节 茄果类蔬菜无土栽培技术	302
一、番茄 (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	302
二、甜椒 (<i>Capsicum frutescens</i> L. var. <i>grossum</i> Bailey)	306
第三节 瓜类蔬菜无土栽培技术	311
一、黄瓜 (<i>Cucumis sativus</i> L.)	311
二、甜瓜 (<i>Cucumis melo</i> L.)	319
第四节 其他蔬菜无土栽培技术	326
一、生菜 (<i>Lactuca sativa</i> L.)	326
二、草莓 (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.)	331
第五节 芽苗菜的无土栽培技术	337
一、芽苗菜生产的基本设施	338
二、芽苗菜生产的基本过程	340
三、芽苗菜生产的关键问题	341
四、工厂化芽苗菜生产	342
第十一章 花卉无土栽培技术	344
第一节 概述	344
第二节 切花无土栽培技术	346
一、月季 (<i>Rosa hybrida</i> Hort.)	346
二、菊花 (<i>Dendranthema morifolium</i> Tzvel.)	351
三、非洲菊 (<i>Gerbera jamesonii</i> Bolus ex Hook.)	354
四、香石竹 (<i>Dianthus caryophyllus</i> L.)	358

第三节 常见盆花无土栽培技术	361
一、杜鹃花 (<i>Rhododendron</i> spp.)	361
二、仙客来 (<i>Cyclamen persicum</i>)	364
三、中国兰花 (<i>Cymbidium</i> spp.)	366
四、一品红 (<i>Euphorbia pulcherrima</i>)	367
五、马蹄莲 (<i>Zantedeschia aethiopica</i>)	369
第四节 其他花卉无土栽培技术	370
一、巴西木 (<i>Dracaena fragrans</i>)	370
二、散尾葵 (<i>Chrysalidocarpus lutescens</i> Wendland)	371
三、鹅掌柴 (<i>Schefflera octophylla</i>)	372
四、龟背竹 (<i>Monstera deliciosa</i> Liebm.)	374
五、花叶芋 (<i>Caladium bicolor</i> Vent)	375
第五节 屋顶绿化技术	377
一、概述	377
二、屋顶绿化的设计原则和类型	377
三、屋顶绿化的种植设计	379
四、屋顶绿化植物的栽培	381
第六节 草坪无土生产技术	382
一、概述	382
二、草坪无土生产技术	385
第十二章 无土栽培技术在其他方面的应用	389
第一节 葡萄无土栽培技术	389
一、生物学特性	389
二、苗木繁育技术	390
三、栽培系统	391
四、栽培管理技术要点	391
第二节 中药材无土栽培技术	392
一、概述	392
二、中药材无土栽培的方式	393
三、中药材无土栽培的管理技术	393
第三节 水面无土栽培技术	395
一、水面种稻无土栽培技术	395
二、蕹菜水面无土栽培技术	399

第四节 水培与污水净化	400
一、净化水体植物的种类	400
二、水培载体的选择	400
三、管理技术要点	401
四、净化效果	401
第十三章 无土栽培与有机农业	403
第一节 概述	403
一、环境污染对农业的危害	403
二、硝酸盐和亚硝酸盐污染	404
三、施肥与作物病害	405
四、有机营养与作物生育、产量和品质	405
五、可持续有机农业的迅速发展	406
第二节 无土栽培与有机农业的结合	408
一、有机生态型无土栽培	408
二、温室番茄长季节有机生态型无土栽培技术规程	409
第三节 有机肥料及其生产	414
一、应用于无土栽培的有机肥种类	415
二、有机固体肥生产方法	416
三、液体有机肥的开发	419
实验指导	421
实验一 无土栽培类型的调查	421
实验二 营养液的配制技术	422
实验三 常见固体基质物理性状的测定	423
实验四 常见固体基质化学性状的测定	424
实验五 营养液膜水培技术	425
实验六 深液流水培技术	426
实验七 岩棉培技术	427
实验八 有机基质培技术	428
实验九 无土育苗技术	429
附录	431
附录一 常用元素相对原子质量表	431

附录二	植物营养大量元素化合物及辅助材料的性质与要求	432
附录三	植物营养微量元素化合物的性质与要求	433
附录四	常用化肥供给的主要元素、百分含量及换算系数	433
附录五	一些难溶化合物的溶度积常数 (K_{sp} , 18~25°C)	434
附录六	pH 标准缓冲溶液	435
附录七	EDTA-Fe 及其他金属螯合物的自制方法	435
主要参考文献	437