



高等农林教育“十三五”规划教材

无土栽培学

SOILLESS CULTURE

高丽红 别之龙 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



高等农林院校“十三五”规划教材

无土栽培学

高丽红 别之龙 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本教材是在中国农业大学出版社的支持下,由中国农业大学牵头组织国内长期从事无土栽培教学、科研与生产实践的专家、学者与技术人员编写完成的。全书共 11 章,内容包括无土栽培理论基础、无土栽培设施设备、无土栽培的营养液、无土栽培基质、无土栽培方式及配套栽培系统、主要园艺作物的无土栽培技术及无土栽培技术的拓展应用等。在内容上既重视对无土栽培基本理论的系统阐述,又融合了近年无土栽培领域的新成果与新技术,同时还有来自生产一线的主要园艺作物无土栽培实用技术提炼总结,根据教学需要,书后还附有相关的实验指导。

本教材既可作为农业高等院校园艺及相关专业学生的适用教材,又可作为从事无土栽培教学、科研、推广和生产一线等相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无土栽培学/高丽红,别之龙主编. —北京:中国农业大学出版社,2016. 10

ISBN 978-7-5655-1706-8

I. ①无… II. ①高… ②别… III. ①无土栽培 IV. ①S317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 219634 号

书 名 无土栽培学

作 者 高丽红 别之龙 主编

策划编辑 张秀环

责任编辑 张秀环

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 22 印张 545 千字

定 价 48.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编审人员

主 编 高丽红(中国农业大学)
别之龙(华中农业大学)

副主编 刘士哲(华南农业大学)
孙治强(河南农业大学)
魏 珉(山东农业大学)
王绍辉(北京农学院)

参 编 (按姓氏拼音排序)

陈 清(中国农业大学)
高洪波(河北农业大学)
蒋卫杰(中国农业科学院蔬菜花卉研究所)
李建明(西北农林科技大学)
李灵芝(山西农业大学)
李胜利(河南农业大学)
李新旭(北京市农业技术推广站)
刘 伟(北京市农林科学院蔬菜研究中心)
刘明池(北京市农林科学院蔬菜研究中心)
裴孝伯(安徽农业大学)
孙 锦(南京农业大学)
孙周平(沈阳农业大学)
田永强(中国农业大学)
武占会(北京市农林科学院蔬菜研究中心)
张余洋(华中农业大学)
朱 进(长江大学)

主 审 郭世荣(南京农业大学)

前 言

无土栽培从早期的实验研究开始至今已有 170 余年的历史,其作为一种先进的种植技术在世界各国的园艺作物生产中得到了广泛的应用。特别是随着人们对植物生长发育与温光、水肥等环境关系的研究越来越深入以及温室建造技术、各种环境精准测量的传感器、自动化控制技术等广泛应用于无土栽培,使无土栽培作物产量、品质得到大幅度提高,无土栽培的优势充分发挥,岩棉栽培的黄瓜和番茄最高单产均超过 100 kg/m^2 ,单株番茄年最高结 13 000 个果实;无土栽培可以充分利用滩涂、盐碱地等非耕地资源,并且通过营养液循环利用提高了水肥利用效率,减少了水肥的浪费及对环境的污染,是资源高效利用的生产方式;由于无土栽培完全摆脱了自然环境的制约,可以按照作物需求人工进行环境控制,有利于实现农业机械化、自动化,从而逐步走向工业化和现代化,提高劳动效率和解决农业劳动力后继无人的难题。此外,无土栽培技术在可以预见的未来人类较为长期在太空生活中,几乎是唯一的一种种植绿色植物的方法,随着航天事业的发展和人类进驻太空的需要,无土栽培技术在航天农业上的研究与应用将发挥着重要的作用。

我国作为资源紧缺型国家和面临的农业后继乏人的现状,无土栽培技术的应用前景将非常广阔。也正是基于此需求,我国无土栽培技术虽然研究的起步比较晚,但近十余年发展速度很快,目前全国无土栽培面积已经超过 $10\,000 \text{ hm}^2$ 。无土栽培面积的快速增长对相应人才的需求进一步增加,因此,全国农业院校园艺或与园艺相关专业均开设了无土栽培学课程,由南京农业大学郭世荣教授主编的《无土栽培学》成为全国高等农林院校“十一五”规划教材和普通高等教育“十一五”国家级规划教材。但任何一本教材,其知识的更新速度均难以与技术的进步同步,而且不同参编人员知识背景的差异会使教材内容和对知识的理解角度存在差异,正是基于这种考虑,在中国农业大学出版社的支持下,我们组织国内长期从事无土栽培教学、科研与生产实践的专家、学者与技术人员编写了这本无土栽培学教材,目的是为从事无土栽培教学、科研与生产一线的技术人员提供更多参考资料。

与已经出版的无土栽培教材相比,在无土栽培的基本原理(如营养液章节)、基本技术(如 NFT、DFT 技术)等方面基本保留原有知识点,根据无土栽培发展需要,适当拓宽了一些技术内容,如增加了营养液管理相关设施与设备内容,增加了国内外新的无土栽培技术类型与栽培方法如薄层基质槽培、储液储气式栽培及无土栽培在家庭、观光、屋顶绿化等方面的具体应用案例;在具体无土栽培技术的栽培要点中吸收了生产一线的成功管理经验,增加了针对具体作物的管理量化指标如番茄岩棉栽培的营养液管理指标等案例,使得教材理论与实践结合更加紧密。

本教材共 11 章,参编人员涵盖 16 个教学、科研与推广单位共 22 人,根据教材参编人员的技术专长对编写内容进行了分工,参编人员按章节次序分别为:第 1 章,高丽红(中国农业大学);第 2 章,陈清(中国农业大学);第 3 章,李建明(西北农林科技大学)、李灵芝(山西农业大学);第 4 章,孙治强、李胜利(河南农业大学);第 5 章,田永强、高丽红(中国农业大学)、孙周平(沈阳农业大学);第 6 章,孙锦(南京农业大学);第 7 章,高丽红(中国农业大学)、蒋卫杰(中国

农业科学院蔬菜花卉研究所)、刘明池(北京市农林科学院蔬菜研究中心)、李新旭(北京市农业技术推广站);第8章,魏珉(山东农业大学);第9章,别之龙(华中农业大学)、王绍辉(北京农学院)、裴孝伯(安徽农业大学)、朱进(长江大学);第10章,刘士哲(华南农业大学)、高洪波(河北农业大学);第11章,武占会,刘伟(北京市农林科学院蔬菜研究中心)。实验指导,裴孝伯(安徽农业大学)、高洪波(河北农业大学)、张余洋(华中农业大学),全书由高丽红教授统稿。南京农业大学郭世荣教授审稿并提出很多宝贵的修改建议,参编人员在教材编写过程中克服很多困难,保质保量地完成了编写任务,在此表示感谢!

教材编写过程中,大量参阅了国内及国外无土栽培教材及其他相关参考资料,在此一并表示感谢。同时由于无土栽培所涉及的学科比较多,受教材编写人员知识背景和水平的限制,缺点、错误在所难免,恳请广大读者朋友们批评指正,以便于我们再版时修改完善。

编者
2016年6月

目 录

第一章 概述	1
第一节 无土栽培分类与特点	1
一、无土栽培与无土栽培学	1
二、无土栽培的分类	1
三、无土栽培的特点	3
第二节 无土栽培技术的发展历史	7
一、试验探索研究时期	8
二、生产应用时期	9
三、大规模集约化、自动化生产应用时期	10
第三节 无土栽培的现状与展望	11
一、世界无土栽培发展的历史与现状	11
二、我国无土栽培发展的历史与现状	12
三、无土栽培技术前景展望	13
本章思考题	14
第二章 无土栽培的理论基础	15
第一节 植物的矿质营养学说与无土栽培	15
一、植物的矿质营养学说	15
二、植物的必需营养元素	16
第二节 植物根系的结构与功能	17
一、植物根系的结构	17
二、根系的功能	20
三、根系对水分的吸收	21
四、根系对矿质养分的吸收	23
第三节 营养元素的生理功能与常见的生理障碍	25
一、大量元素的生理功能与常见的生理障碍	25
二、中量元素的生理功能与常见的生理障碍	27
三、微量元素的生理功能与常见的生理障碍	30
四、有益元素的营养功能及常见的生理障碍	34
本章思考题	35
第三章 无土栽培的设施与设备	36
第一节 设施的主要类型与性能	36
一、温室概述	36
二、无土栽培温室建筑类型	36
三、塑料大棚的结构与性能	37

四、日光温室的类型及结构·····	41
五、现代大型连栋温室的类型及结构·····	43
第二节 营养液管理相关设备·····	46
一、水处理设备·····	46
二、营养液输送设备·····	49
三、无土栽培消毒设备·····	55
四、营养液检测设备·····	62
第三节 其他相关设施设备·····	64
一、时间控制器·····	65
二、温室自动灌溉施肥控制系统·····	65
三、传感器·····	67
本章思考题·····	69
第四章 营养液 ·····	70
第一节 营养液的原料及其要求·····	70
一、水·····	70
二、各种化合物·····	72
三、辅助物质——络合剂·····	75
第二节 营养液的组成·····	76
一、营养液浓度的表示方法·····	76
二、营养液的组成原则和确定方法·····	79
第三节 营养液配方选集·····	92
第四节 营养液的配制·····	97
一、营养液配方的调整·····	97
二、营养液配制的原则·····	99
三、营养液的配制技术·····	99
第五节 营养液的管理·····	101
一、营养液的配方·····	101
二、营养液的浓度·····	101
三、营养液酸碱度的调节·····	102
四、营养液的溶存氧·····	103
五、营养液的更换·····	107
六、营养液的液温·····	108
七、营养液的消毒·····	109
本章思考题·····	111
第五章 水培和雾培设施与管理技术 ·····	112
第一节 深液流技术·····	112
一、深液流技术的特点·····	113
二、深液流水培设施的类型与结构·····	114
三、深液流水培技术要点·····	121

第二节 营养液膜技术	123
一、营养液膜技术的特点	123
二、营养液膜水培设施的结构	124
三、营养液膜水培技术要点	128
第三节 雾培技术	130
一、雾培设施的结构	132
二、雾培的特点	134
三、雾培的栽培管理	135
四、雾培的应用	136
第四节 其他水培技术	137
一、浮板毛管水培技术	137
二、漂浮栽培技术	138
三、管道水培技术	140
四、静止水培技术	142
五、多功能无土栽培系统	144
本章思考题	146
第六章 固体基质	147
第一节 固体基质的作用与选用原则	147
一、固体基质的作用	147
二、对固体基质的要求	148
三、固体基质的选用原则	154
第二节 固体基质的种类与特性	155
一、固体基质的分类	155
二、常用基质的特性	156
第三节 固体基质的配制	163
一、固体基质配制的原则	164
二、固体基质的配制方法	164
三、常用固体基质的配方	165
第四节 固体基质的消毒与再利用	166
一、基质的消毒	166
二、固体基质再利用的方法	167
本章思考题	168
第七章 固体基质设施构成与管理技术	169
第一节 袋培	169
一、袋培方式	169
二、袋培基质	170
三、供液系统	170
四、袋培技术要点	170
第二节 槽培	172
一、栽培槽类型	172

二、槽培基质	173
三、供液系统	173
四、槽培蔬菜技术要点	173
第三节 岩棉栽培	179
一、岩棉培的特征	179
二、岩棉培的设施结构	180
三、岩棉培栽培管理技术(以番茄为例)	182
第四节 其他基质栽培方式	188
一、沙培	188
二、容器栽培	190
三、薄层基质槽培	190
四、储液储气式栽培系统	191
五、立体基质栽培系统	193
本章思考题	195
第八章 无土育苗技术	196
第一节 无土育苗的设施设备	196
一、无土育苗的设施	197
二、无土育苗的设备	198
第二节 基质育苗	201
一、基质育苗的主要方式	201
二、育苗基质的选择	203
三、基质育苗的养分管理	204
第三节 水培育苗	207
一、水培育苗的方式	207
二、水培育苗的基质	209
三、水培育苗的营养液	210
第四节 其他无土育苗方式	211
一、扦插育苗	211
二、组织培养育苗	213
本章思考题	216
第九章 蔬菜无土栽培技术	217
第一节 瓜类蔬菜无土栽培技术	217
一、黄瓜	217
二、西瓜	221
三、甜瓜	224
第二节 茄果类蔬菜无土栽培技术	229
一、番茄	229
二、甜椒	233
第三节 草莓无土栽培技术	236
一、品种选择	237

二、栽培季节	238
三、栽培方式	238
四、管理技术	238
五、病虫害防治	241
六、采收	241
第四节 生菜无土栽培技术	242
一、对环境条件的要求	242
二、品种选择	242
三、栽培季节与栽培方式	243
四、管理技术	244
五、采收	245
第五节 芽苗菜无土栽培技术	245
一、芽苗菜分类	246
二、栽培设施	246
三、主要芽类蔬菜生产技术	246
本章思考题	250
第十章 观赏植物无土栽培技术	251
第一节 切花无土栽培技术	251
一、月季	251
二、非洲菊的无土栽培技术	255
三、红掌的无土栽培	257
第二节 盆花无土栽培技术	260
一、蝴蝶兰	260
二、观赏凤梨	264
三、一品红	269
第三节 草坪无土栽培技术	273
一、无土草坪卷(毯)	273
二、草坪植生带	275
本章思考题	277
第十一章 无土栽培技术的拓展应用	278
第一节 家庭小型无土栽培技术	278
一、小型立柱栽培	278
二、小型树式栽培	279
三、小型营养液膜栽培	279
四、家庭用管道栽培	280
五、家庭蔬菜墙	280
六、蔬菜花卉桌	281
第二节 无土栽培技术在屋顶绿化中的应用	282
一、屋顶绿化对建筑设施的要求	282

二、屋顶绿化的无土栽培形式	282
三、屋顶绿化的适栽作物	283
第三节 观光型无土栽培技术	284
一、蔬菜树式栽培技术	284
二、观光型雾培技术	287
三、立柱栽培技术	288
四、管道栽培技术	289
五、其他	290
第四节 无土栽培技术在中药材栽培中的应用	290
一、甘草	291
二、西洋参	292
三、人参	292
四、金银花	293
五、石斛	293
六、荆芥	294
第五节 无土栽培技术在植物工厂中的应用	294
一、植物工厂中无土栽培的形式	295
二、植物工厂中无土栽培的作物种类	296
三、日本 MIRAI(未来)植物工厂的介绍	296
四、植物工厂存在的问题和发展方向	297
本章思考题	298
实验指导	299
实验一 无土栽培类型的调查	299
实验二 营养液的配制技术	300
实验三 基质理化性状测定与复合基质配制	301
实验四 无土育苗技术	303
实验五 水培综合实验	304
实验六 基质培综合实验	307
实验七 pH 原位显色实验	309
实验八 无土栽培设施的设计与实施	311
实验九 芽苗菜无土栽培	314
附录	316
附录一 常见营养液配方	316
附录二 常用元素相对原子质量表	323
附录三 植物营养大量元素化合物及辅助材料的性质与要求	324
附录四 植物营养微量元素化合物的性质与要求	326
附录五 常用化肥供给的主要元素、百分含量及换算系数	327
附录六 一些难溶化合物的溶度积常数	329
附录七 pH 标准缓冲溶液	329
参考文献	330

第一章 概述

学习目标:

1. 掌握无土栽培的基本概念、分类及无土栽培的优点、局限性;在哪些领域应用能够体现其优越性?
2. 了解无土栽培发展的历史、现状及未来发展趋势。

第一节 无土栽培分类与特点

一、无土栽培与无土栽培学

自古以来农业的传统概念为“辟土种谷曰农”,也就是说农业离不开土壤,而无土栽培恰恰相反。无土栽培(soiless culture, hydroponics, solution culture)是指不用天然土壤栽培作物,而是将作物栽培在营养液或固体基质加营养液中,这种固体基质或营养液可以代替天然土壤向作物提供水分、养分、氧气、温度,使作物能够正常生长并完成其整个生命周期,使之正常生长发育获得产品。日本、欧洲等国家学者认为无土栽培主要指营养液栽培,所以无土栽培有时又称为营养液栽培、水耕、水培、溶液栽培、养液栽培等。“八五”期间,中国农业科学院蔬菜花卉研究所针对我国北方地区水质硬、进行营养液栽培管理难度大的问题,依据无土栽培基本原理,创新形成了新的无土栽培方式,即用含有一定营养成分的有机基质做载体,栽培过程中施入有机固态肥代替传统营养液,并进行合理的水管理,这种无土栽培方式大大降低了一次性投资和生产成本,简化了营养液的管理过程,称之为有机生态型无土栽培。此种无土栽培方式一经问世,便在我国得到迅速推广应用,目前约占到我国无土栽培面积的80%。无土栽培使人们有可能摆脱受自然约束的传统耕作方式,向栽培的“自由王国”前进一大步。

无土栽培学是研究无土栽培技术原理、栽培方式和管理技术的一门综合性应用科学。它是现代农业新技术与生物科学、作物栽培学相结合的一门边缘学科,要学好无土栽培学必须掌握植物学、植物生理学、植物营养学、作物栽培学、材料学、计算机应用技术、环境控制等相关知识,紧密结合生产实践,通过实际观察和操作,才能了解和掌握无土栽培的原理和技术。

二、无土栽培的分类

无土栽培从早期的实验研究开始至今已有170余年的历史。从实验室走向大规模的商业化生产应用过程中,形成了种类繁多的栽培类型和方法。根据分类的依据和方法不同,可分成不同类型。如根据栽培容器可以分为槽培、袋培、管道栽培、箱式栽培等;根据栽培基质不同可以分为水培、沙培、砾培、岩棉培、珍珠岩培等;根据栽培方式不同可以分为墙体栽培、立柱栽培、深液流栽培、浅液流栽培等。但要进行科学、详细的分类比较困难,现在比较通用的分类方法是依据其栽培床是否使用固体基质材料,将其分为非固体基质栽培和固

体基质栽培两大类型,进而根据栽培技术、设施构造和固定植株根系的材料不同又可分为多种类型(图 1-1)。

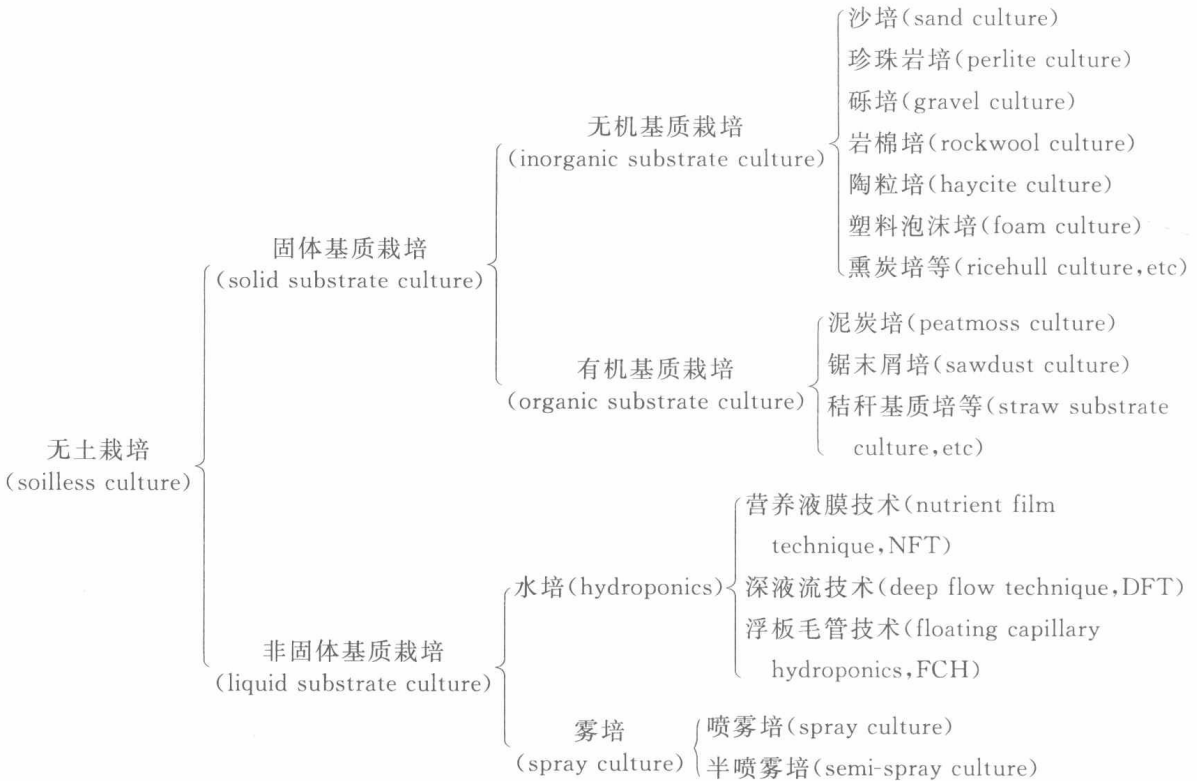


图 1-1 无土栽培的分类(郭世荣主编:无土栽培学)

(一)非固体基质栽培

非固体基质无土栽培是指植物的根系直接生长在营养液或含有营养成分的潮湿空气之中,根际环境中除了育苗时用固体基质外,一般不再使用固体基质,又分为水培和雾培两种类型。

1. 水培 水培是指作物根系直接生长在营养液层中的无土栽培方法。依据营养液层的深度不同又可以分为多种形式。以 1~2 cm 的浅层流动营养液来种植作物的营养液膜技术(nutrient film technique, NFT);液层深度 6~8 cm 的深液流水培技术(deep flow technique, DFT);在深液流技术基础上,在栽培槽内的营养液上放置一块上铺无纺布的泡沫板,部分根系生长在湿润的无纺布上的浮板毛管水培技术(floating capillary hydroponics, FCH)。

2. 雾培 雾培又称为喷雾培或气培,它是将营养液用喷雾的方法,直接喷到作物根系上。根系悬空在密闭黑暗的栽培箱内,栽培箱内装有自动定时喷雾装置,定期将雾化的营养液喷洒到植物根系表面,同时解决了根系对水分、养分和氧气的需求。为了降低对喷雾装置的要求,开发了半雾培系统,即有部分根系生长在浅层的营养液中,另一部分根系生长在雾状营养液空间,既解决了根系对氧气和水分的需求,又降低了停电对作物生长造成的潜在风险。

(二)固体基质栽培

固体基质无土栽培简称为基质培,它是指作物根系生长在天然或人工合成的固体基质环

境中,通过固体基质固定根系,通过营养液向作物供应营养、水分和氧气的栽培方式。基质培可以通过基质选择与人工混配,创造适宜的三相比,很好地协调作物根际环境水、气矛盾,除岩棉和椰糠基质条(袋)栽培方式外,其他基质栽培外投资相对较低,可以充分利用当地基质资源,便于就地取材进行生产。固体基质培又可细分为无机基质培和有机基质培,无机基质培如沙培、砾培、岩棉培、陶粒培和珍珠岩培等;有机基质培如泥炭培、椰糠培、锯木屑培和有机生态型无土栽培等。

不论何种无土栽培方式和类型,无土栽培的核心是用营养液代替了土壤。如岩棉培的实质是以岩棉作为基质固定植物,浇灌营养液满足植物生长所需矿质营养的一种无土栽培方式,其他类推。

三、无土栽培的特点

(一)无土栽培优点

1. 作物产量高、品质好 无土栽培能为作物提供了最佳根系生长环境和最优水肥,充分发挥作物的生产潜力,与土壤栽培相比,产量可以成倍或几十倍地提高,如表 1-1 所示。

表 1-1 无土栽培与土壤栽培产量比较(郭世荣主编:无土栽培学)

作物	土壤栽培(t/hm ²)	无土栽培(t/hm ²)	两者相差倍数
番茄	10.5~25.0	150.0~600.0	12~20
黄瓜	33.5	100.0~900.0	3~25
生菜	10.0	23.5	2.4
马铃薯	7.4	154.4	20.8
豌豆	2.5	22.2	8.9
甘蓝	14.8	20.5	1.4
水稻	1.1	5.6	5.1
小麦	0.7	4.6	6.6
大豆	0.7	1.7	2.4

设施园艺发达的荷兰温室番茄、黄瓜无土栽培年产量平均达到 60~80 kg/m²,最高产量达到 100 kg/m²,挪威黄瓜无土栽培一年多茬,最高年产量也达 90 kg/m²;在我国,采用岩棉栽培,番茄、黄瓜最高产量达到 35~40 kg/m²;采用有机生态型无土栽培技术生产番茄,或采用基质槽培方式生产黄瓜,年产量均能达到 25 kg/m²。虽与国际先进水平有较大差距,但运用的都是具有自主知识产权的科研成果,在国内居领先水平。

奥地利维也纳有一座蔬菜工厂,每平方米年生产 1 t 蔬菜。日本筑波科学城采用全新的调控系统,最大限度地满足作物对水、肥、气、光、热等条件的要求,采取水平放任栽培法(树式栽培方式),使水培番茄根茎粗达 20 cm 以上,一株番茄可长成一棵番茄树,年结果实 13 000 余个,1 株黄瓜生产 3 300 条瓜,1 株甜瓜生产 90 个瓜,最大限度地发挥了植物的生产潜力。

无土栽培不仅产量高而且品质好。例如,番茄的外观形状和颜色好,维生素 C 的含量可增加 30%,矿物质含量增加近 1 倍(表 1-2、表 1-3)。

表 1-2 几种作物无土栽培与土壤栽培的品质比较(罗建、刘士哲,1994)

栽培方式	维生素 C 含量(mg/kg)			粗纤维含量(%)	
	番茄	芥菜	直立生菜	芥菜	直立生菜
土壤栽培	124.2	19.8	46.0	4.6	4.5
无土栽培	154.9	24.2	96.0	2.8	4.7

表 1-3 番茄的矿物质含量占干重百分比

种植方式	钙	磷	钾	硫	镁
土壤栽培	0.20	0.21	0.99	0.06	0.05
无土栽培	0.28	0.33	1.63	0.11	0.10

花卉无土栽培提高了质量,香石竹的香味变得浓郁、花期长、开花数多,单株开花数为 9 朵,土壤栽培只有 5 朵;香石竹裂萼率仅 8%,而土壤栽培高达 90%,明显地提高了商品质量。

2. 节约水分和养分 土壤种植时灌溉的水分养分大量渗漏流失,浪费很多,无土栽培不存在水分渗漏损失,水分利用率高,无土栽培作物的耗水量只有土壤栽培的 1/10~1/5。意大利学者对茄子不同栽培方式耗水的研究结果充分证明了这一点(表 1-4)。

表 1-4 无土栽培与土壤栽培的耗水比较

方式	水分消耗(L)	茄子产量(kg)	产量:水
土壤栽培	5 250	13.05	1:400
水培	2 000	21.50	1:93
气培	1 000	34.20	1:29

注:试验面积 4 m²。

原北京农业大学园艺系,1988 年秋季进行大棚黄瓜无土栽培试验(面积 333.3 m²),自 7 月 30 日播种至 9 月 14 日,46 d 共浇水(营养液)21.7 m³。若进行土培,46 d 中至少浇水 5 次,需用 50~60 m³ 的水,节水率为 50%~67%,效果非常明显,是发展节水型农业的有效措施之一。

无土栽培不但省水,而且省肥,据统计土壤栽培养分损失比率约 50%。无土栽培采用封闭式营养液循环利用系统,肥料利用率可达 90%~95%,不存在土壤对养分的固定问题。我国农村由于科学施肥技术水平低,肥料利用率更低,仅 30%~40%,多一半的养分都损失了。在土壤中肥料溶解和被植物吸收利用的过程很复杂,不仅损失多,而且各种营养元素的损失不同,使土壤溶液中各元素间很难维持平衡。而无土栽培作物种在栽培槽中,作物不同生育阶段所需要的各种营养元素,是人工配制成营养液施用的,按需定量供应,可以循环利用,而且能保持营养液养分平衡,所以作物生长发育健壮,生长势强,增产潜力可充分发挥出来。

3. 省力省工、易于管理 无土栽培摆脱了土壤栽培中的翻土、整地、作畦、除草等劳动,随着无土栽培生产管理设施中计算机与智能控制系统的使用,机械化程度逐渐提高,降低劳动强度,提高劳动生产效率,可采用与工业生产相似的方式为劳动者提供优美的劳作环境。荷兰、以色列等设施园艺及灌溉技术发达国家,已进入计算机控制时代,供液及营养液成分的调控,

全用计算机管理,与工业生产的方式相似,日本称之为“健幸乐美”农业。

4. 避免土壤连作障碍 设施栽培中,土壤极少受自然雨水的淋溶,水分、养分运动方向自下而上。土壤水分蒸发和作物蒸腾,使土壤中的矿质元素由土壤深层移向表层,长年累月年复一年,土壤表层积聚了很多盐分,对作物有危害作用。土壤盐分积聚,以及多年栽培相同作物,造成土壤养分失衡,发生连作障碍,一直是个难以解决的问题,而应用无土栽培则从根本上解决了此问题。土传病害也是土壤栽培的难点,土壤消毒不仅困难而且消耗大量能源,成本可观,且难以消毒彻底。若用药剂消毒既缺乏高效药品,同时药剂有害成分的残留还污染环境、危害健康,无土栽培则可避免或杜绝土传病害。

5. 不受地区限制、充分利用空间 无土栽培使作物彻底脱离了土壤环境,因而也就摆脱了土地的约束。耕地被认为是有限的、最宝贵的、不可再生的资源,尤其对一些耕地缺乏的地区和国家,无土栽培就更有特殊意义。无土栽培进入生产领域后,地球上许多沙漠、荒原、海岛等或难以耕种的地区,都可采用无土栽培加以利用。此外,无土栽培还不受空间限制,可以利用城市楼房的平面屋顶种菜、种花,无形中扩大了栽培面积,改善了生态环境。

6. 清洁卫生 无土栽培的生产场地没有土壤,作物生长在栽培槽或容器内,供应水分、养分均通过管道或专用的供液系统,现场清洁卫生。水培施用的是无机肥料,没有臭味污染环境,尤其室内种花,更要求清洁卫生、无异味。一些高级饭店、宾馆,过去租摆花卉,施肥造成异味污染,是个难以解决的问题,通过无土栽培养花,使问题迎刃而解。

7. 有利于实现农业现代化 无土栽培使农业生产摆脱了自然环境的制约,可以按照作物需求人工进行环境控制,所以是一种受控农业,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。目前在荷兰、俄罗斯、美国、日本、奥地利等都有水培“工厂”,荷兰的盆栽红掌、岩棉栽培的玫瑰等全部能够实现自动化和机械化管理,是现代化农业的标志。我国进入20世纪90年代以后,先后引进了许多现代化温室,同时也引进了配套的无土栽培技术,在一些科技示范园区加以展示,有力地推动了我国农业现代化进程。

(二) 无土栽培的局限性

1. 一次性投资大,运行成本相对较高 要进行无土栽培生产,就需要有相应的设施、设备,这就比土壤栽培投资大,尤其是大规模、集约化、现代化无土栽培生产,一次性投资更大,平均每平方米投资在1 000~1 200元;对营养液所需肥料纯度要求高,生产过程对营养液及栽培环境控制(温度、湿度等)也需要消耗能源,一般每平方米的年运行成本约150元。

2. 要求管理人员素质高,管理过程技术要求严格 无土栽培生产过程中需要依据栽培作物和季节对营养液的配方、浓度、pH等进行管理,同时对地上部温度、湿度、CO₂浓度等进行调控,要求管理人员具备一定的文化水平,经过专门的技术培训;同时由于无土栽培不像土壤具有缓冲性,对管理技术要求严格,水肥管理不当极易出现生理性障碍,管理不好产量甚至低于土壤栽培。

3. 有一定风险,管理不当,易发生一些病害的迅速传播 对采用营养液循环供液方式的无土栽培,必须严格控制根传病害,对营养液及栽培装置严格进行消毒,避免由于管理不当造成病害在营养液中迅速蔓延,导致栽培失败。

(三) 无土栽培的应用

无土栽培虽然可以完全替代土壤,生产出优质安全农产品,但无土栽培的应用范围有一定