



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



全国高等农林院校“十一五”规划教材

设施农业 环境工程学

邹志荣 邵孝侯 主编



 中国农业出版社



设施农业科学与工程 本科专业系列教材

设施农业栽培学——蔬菜分册

设施农业栽培学——果树分册

设施农业栽培学——观赏植物分册

农业设施设计基础

农业设施设计与建造

设施农业环境工程学

农业园区规划与管理

工厂化育苗原理与技术

温室作物生长模型与专家系统

本书采用出版物数码防伪系统
刮开涂层将16位防伪密码发短信至95881280
免费查询 辨别真伪
详情请查询中国扫黄打非网
<http://www.shdf.gov.cn>
防伪：网络增值服务说明见书内“郑重声明”页

明码 5105 5994 7573 6361

密码

封面设计 贾利霞

ISBN 978-7-109-11922-2



9 787109 119222 >

定价：26.80 元

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等农林院校“十一五”规划教材

设施农业环境工程学

邹志荣 邵孝侯 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

设施农业环境工程学 / 邹志荣, 邵孝侯主编. —北京:
中国农业出版社, 2008. 1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 全国高等
农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11922-2

I. 设… II. ①邹…②邵… III. 保护地栽培-环境工程
学-高等学校-教材 IV. S62 X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 190340 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)

责任编辑 戴碧霞 郑剑玲

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 19.5

字数: 343 千字

定价: 26.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

“设施农业科学与工程”本科系列教材 编写委员会

主任委员 邹志荣（西北农林科技大学）

副主任委员 （按姓氏笔画排列）

王秀峰（山东农业大学）

李天来（沈阳农业大学）

陈青云（中国农业大学）

郭世荣（南京农业大学）

委 员 （按姓氏笔画排列）

朱世东（安徽农业大学）

吴凤芝（东北农业大学）

别之龙（华中农业大学）

邵孝侯（河海大学）

黄丹枫（上海交通大学）

崔世茂（内蒙古农业大学）

本书编写人员

主 编 邹志荣 (西北农林科技大学)

邵孝侯 (河海大学)

编 者 (按姓氏笔画排序)

王世平 (上海交通大学)

孙周平 (沈阳农业大学)

杨振超 (西北农林科技大学)

杨晓光 (中国农业大学)

吴凤芝 (东北农业大学)

邹志荣 (西北农林科技大学)

张 智 (西北农林科技大学)

邵孝侯 (河海大学)

须 辉 (沈阳农业大学)

审稿人 李式军 (南京农业大学)

程智慧 (西北农林科技大学)

总 序

设施农业是在相对可控的环境条件下,利用必要的设施和设备,实现集约化高效可持续发展的现代农业生产方式。随着现代设施设备和信息技术的不断更新,设施农业成为现代农业发展的典型代表。世界各国竞相投入,大力发展设施农业,提高本国的农业发展水平。我国目前的设施农业面积达到 250 万 hm^2 ,成为全球设施农业大国之一。但要成为设施农业强国,不断缩小与农业发达国家在农业技术装备水平和农产品国际竞争力方面的差距,仍需投入大量的人力物力,特别是要突破设施农业人才短缺对我国设施农业发展的瓶颈制约,开展以培养一大批优秀的设施农业专门人才和高素质劳动者的设施农业高等教育,势在必行。

2002 年,教育部颁布了新的专业目录,增加了“设施农业科学与工程”本科专业,培养学生掌握生物学、园艺学、农业工程的基本知识,对学生进行设施设计与建造、设施环境调控、设施设备开发与应用、设施农业生产经营与管理等方面的基本训练,使他们具有从事设施农业的技术推广与开发、工程设计、经营管理、教学与科研的基本素质和能力。设施农业学科迎来了发展的契机。

但由于设施农业学科属于新兴交叉学科,为了做好该学科的人才培养工作,还需开展大量的基础性学科建设工作,教材建设是其中之一。根据这种需要,中国农业出版社组织全国同行专家召开了教材建设研讨会,组建了“设施农业科学与工程”本科系列教材编写委员会。经讨论达成共识,本专业核心课程应包括设施农业栽培、设施农业工程和设施环境控制三部分内容,决定出版本专业系列教材。这套教材以实施素质教育、培养学生的实践能力和创新能力为出发点,根据“设施农业”是一个包含生物、工程、环境三方面内

容的新兴交叉学科的特点组织素材，在教材中，新知识和新方法相互渗透，相互融合，浑然一体。这套教材的出版，标志着设施农业学科的理论体系基本得以确立，也反映出该学科的最新发展水平。

这套教材的出版在国内外尚属首创，解决了新专业教学急需。教材的编写是根据各院校和编者的优势安排的，但由于缺乏可以借鉴的经验，错误和纰漏在所难免，恳请广大读者和同行专家批评指正。

邹志荣

2006年10月于西北农林科技大学

前 言

设施农业环境工程学是设施农业科学与工程专业的一门重要的专业课程。该专业是我国 2002 年批准的新专业，教材建设至关重要。《设施农业环境工程学》是在研究温室各种环境因素变化规律与基本特征的基础上，结合植物对环境要求的特点，研究如何采用经济和有效的环境调控工程技术与设施，创造适合植物生长发育的环境条件，获得较高的生产效率的一门学科。

设施农业包括设施种植和设施养殖两部分，根据我国设施农业的发展现状，设施种植占较大的比重，所以本教材侧重于设施园艺作物对环境条件的要求及调控技术的阐述。本教材共分八章，主要包括绪论、设施的光环境及其调控、设施热环境及其调控、设施水环境及其调控、设施气体环境及其调控、设施土壤环境及其调控、设施环境自动调控系统和能源及其利用等内容。

本教材是由西北农林科技大学、河海大学、东北农业大学、中国农业大学、上海交通大学、沈阳农业大学编写。其中第一章由邹志荣编写，第二章由王世平编写，第三章由杨振超、须辉编写，第四章由邵孝侯、杨振超编写，第五章第一、二、三节由杨晓光编写，第四节由杨振超编写，第六章由吴凤芝编写，第七章由张智编写，第八章由孙周平、邹志荣编写。由西北农林科技大学邹志荣、杨振超统稿。由南京农业大学李式军教授和西北农林科技大学程智慧教授审稿。

设施农业环境工程学是一门多学科交叉和综合性很强的学科，涉及多个领域，应用较广。所以，本教材可作为设施农业科学与工程

程、农学、园艺、植物科学等专业的教学用书。

本教材编者虽然做了很大努力，但由于时间、资料等方面的原因，以及编者水平有限，仍有不尽如人意之处。谨请专家和读者指正。

目 录

总序

前言

第一章 绪言	1
第一节 设施环境工程学的发展概述	1
第二节 设施农业环境工程学的内容与作用	2
一、设施农业环境工程内容	2
二、设施农业环境工程在农业生产中的作用	3
三、存在问题与发展趋势	4
第三节 设施农业环境工程学的学习方法	6
思考题	7
第二章 设施光环境及其调控	8
第一节 设施光环境特征	8
一、太阳辐射的光谱能量分布	9
二、太阳辐射强度	11
三、设施光环境特点	13
四、影响设施光环境的因素	14
第二节 园艺作物对光环境的要求	25
一、蔬菜作物对光环境的要求	25
二、花卉作物对光环境的要求	28
三、果树作物对光环境的要求	29
第三节 设施光环境的调节	32
一、光量调节	32
二、光质调节	48
三、日长调节	49
思考题	50

第三章 设施热环境及其调控	51
第一节 设施热环境特征	51
一、温度变化特征	51
二、热平衡原理	52
第二节 作物对温度的要求	54
一、蔬菜作物对温度的要求	54
二、花卉作物对温度的要求	57
三、果树作物对温度的要求	61
第三节 设施热环境的调节技术与设备	63
一、保温措施	63
二、加温技术	65
三、采暖装置与计算	68
四、降温方式与设备	81
思考题	84
第四章 设施水环境及调控	85
第一节 设施内水环境特点	85
一、设施水环境特点	85
二、湿度环境对设施作物生长的影响	86
三、设施空气湿度环境的调节与控制	88
第二节 作物对设施内水环境的要求	89
一、设施蔬菜的需水特点及水分管理	89
二、设施花卉的需水特点及水分管理	91
三、设施果树的需水特点及水分管理	93
第三节 设施水环境的调节技术及设备	95
一、概述	95
二、设施灌溉系统的组成	95
三、设施主要灌溉技术及设备	103
四、设施水环境的其他调节技术和设备	131
思考题	145
第五章 设施气体环境及其调控	146
第一节 气体对作物生育及其劳动者健康的影响	146

一、二氧化碳	146
二、氧气	147
三、有害气体与减除方法	148
第二节 设施内二氧化碳的变化特征	151
第三节 增加设施内二氧化碳的方法	152
一、增施方法	152
二、增施时间	154
三、二氧化碳施用期间的栽培管理	154
第四节 温室内的气流环境及其调控	155
一、风对植物生长的影响	157
二、温室内气流的调控	161
三、自然通风设施	170
四、强制通风设施	171
思考题	172
第六章 设施土壤环境及调控	173
第一节 设施内土壤环境特征	173
一、设施土壤养分特征	173
二、土壤酸化	176
三、连作障碍	176
四、土壤生物环境特点	186
第二节 作物对土壤环境的要求	192
一、蔬菜作物对土壤环境的要求	192
二、花卉作物对土壤环境的要求	193
三、果树作物对土壤环境的要求	194
第三节 设施内土壤环境的调节与控制	195
一、提高认识,合理施肥	195
二、合理灌溉	197
三、换土	199
四、合理的栽培制度	199
五、土壤消毒	199
六、增施有机肥、施用秸秆降低土壤盐分含量	201
七、微生物菌肥	201
第四节 无土栽培	202

一、无土栽培的定义及分类	202
二、无土栽培的类型	203
三、营养液的管理	205
四、基质的消毒与再利用	209
思考题	210
第七章 设施环境自动调控系统	211
第一节 自动控制基本原理	211
一、自动控制的一般概念	211
二、自动控制的基本原理和方式	211
三、自动控制系统的分类	214
四、对自动控制系统的基本要求	216
五、自动调节的基本规律及对调节过程的影响	218
第二节 设施环境常用控制器	223
一、传感器	223
二、执行器	236
三、调节器	244
第三节 设施环境自动调控系统	249
一、温室温度自动调控系统	250
二、温室通风换气自动调控系统	252
三、温室灌溉自动调控系统	255
四、液态肥施用自动控制系统	256
五、CO ₂ 气肥施肥自动调控系统	258
六、设施环境综合调控系统	260
思考题	262
第八章 设施能源工程	264
第一节 能源及其利用概况	264
一、能源的种类	264
二、世界能源的利用历程	266
三、我国能源利用的特点	266
第二节 新能源及其利用	267
一、太阳能	267
二、风能	277

三、地热能	282
四、生物质能	287
五、海洋能	293
六、核能	295
思考题	296
主要参考文献	297

第一章 绪 言

设施农业环境工程学是在充分掌握农业生物生长发育与各环境因素相互作用的基础上,研究如何采用经济和有效的环境调控工程技术与设备,创造优于自然界的、更加适于农业生物生长发育和产品转化的环境条件,提高农业产品生产效率的一门学科。

环境是指围绕着生物体周围的所有事物。设施农业环境工程学所关注的主要是那些对农业生物的生长发育具有直接作用的环境因素,一般包括生物周围的温度、湿度、光照和热辐射、空气、土壤和水的运动状态等。

影响和决定农业生物的生长发育、产品产量和品质的各种因素可以概括为遗传和环境两个方面。遗传决定生物生长发育、产量高低和产品品质等方面的潜在能力,而环境则决定生物的遗传潜力能否实现或在多大程度上得以实现。再好的良种,如果没有适宜的环境条件,就不能充分发挥其遗传潜力。所以,研究调节环境与生物之间的相互关系是十分重要的。

第一节 设施环境工程学的发展概述

世界设施农业发展大体分为三个阶段:

第一,原始阶段:约2000多年前,我国使用透光度高的桐油纸作覆盖物建筑温室。古代的罗马是在地里挖成长壕式沟,土面覆盖透光性好的云母板,并使用铜烟管进行加温,此时可以说是设施农业的原始阶段,人们仅仅是一种保护式栽培,根本谈不上环境调控技术。

第二,多层阶段:主要是第二次世界大战后,玻璃温室和塑料大棚已经发展起来,尤其以荷兰、美国、日本为首的国家在20世纪50年代开始关注农业生物与环境因素的相互关系,并引入相关的工程设施,启动环境工程技术,温室内附加设备越来越多,所以设施农业环境工程就此开始应用于生产。

第三,飞跃阶段:20世纪70年代以后,随着大型钢架连栋温室的出现,自动控制环境条件已成现实,温室内加温、降温、通气、换气、补光、遮光等设备广泛应用,计算机控制系统进入温室管理,植物工厂建立标志着人类能够完全控制作物生产全部环节,设施农业向高效率、自动化管理方向发展。

目前,设施农业环境工程发展较好的荷兰、日本、以色列等国家代表这方

面的先进技术。

荷兰现有大型连栋玻璃温室 17 000 hm^2 ，占世界玻璃温室 1/4，其温室装配有调控室内温、光、水、气、肥几大因素的设备，并配套计算机实行自动化综合控制，其管理水平堪称世界一流，在全世界享有很高的声誉。

日本现有温室 10 万 hm^2 ，其中 95% 以上是塑料温室，大部分温室比较简单，但先进的温室配套综合环境调控技术处于世界先进行列，特别是植物工厂是世界最高水平的设施类型。自 1957 年丹麦约克里斯顿农场建立全世界第一座植物工厂以来，日本、荷兰、美国、加拿大、以色列、瑞典等一些国家积极投入这一领域的研究与开发，形成了人类完全控制环境而进行农业生产的典型模式，植物工厂是一种科学投入、高技术、精装备的生产体系，集生物、工程和系统管理于一体，彻底摆脱自然条件的束缚，利用计算机对植物生产的温度、湿度、光照、 CO_2 浓度以及营养液等环境条件进行自动控制，实现高产高效推广的知识与技术密集的集约型农业生产方式。

以色列设施农业特点是在沙漠干旱地带，利用水分调温技术与设备，创出一条高产、优质、高效的生产之路，温室番茄的年产量最高达 500 t/hm^2 ，产品出口欧洲各国，生产效益非常高。

我国设施面积最大，1982 年为 0.7 万 hm^2 ，1999 年已达 139.6 万 hm^2 ，2002 年达到 200 万 hm^2 ，2004 年达到 250 万 hm^2 ，占世界设施总面积 85% 以上，但大型温室约 1 000 hm^2 以上，95% 面积仍是简易型。在环境工程方面，我国主要在大型温室上实现了温、光、水、气、肥等因素的基本控制，管理水平在逐步提高，但是大部分设施内环境管理还主要是基于传统生产经验的、各环境因素单独调控的方法。所以，在注重农业产业结构的合理布局与数量增长的基础上，重点要放在提高设施水平和产品质量，更合理地利用资源，注重生态效益，实现可持续发展。为此，需要加强农业生物环境工程领域的基础研究和技术开发，大力发展该学科，为我国现代设施农业向高水平发展作出积极的贡献。

第二节 设施农业环境工程学的内容与作用

一、设施农业环境工程内容

设施农业环境工程内容主要包括以下五个部分：

- (1) 温室内光、热、水、气、土五大因素的基本特征与变化规律。
- (2) 温室内五大因素与作物生态发育的关系。