

SHESHI YUANYI GONGCHENG
YU ZAIPEI JISHU

设施园艺工程 与栽培技术



王宇欣 段红平 主 编

孔 云 王宏丽 副主编



化学工业出版社

SHESHI YUANYI GONGCHENG
YU ZAIPEI JISHU

设施园艺工程 与栽培技术

王宇欣 段红平 主 编

孔 云 王宏丽 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分九章,主要讲述温室工程设施建设和环境调控技术、设施无土栽培技术、设施蔬菜栽培技术、设施果树栽培技术、设施花卉栽培技术和草药的设施栽培技术等方面的内容。全书紧密结合设施园艺工程和温室栽培的生产实际,编写严谨、规范,叙述准确、精练,内容系统、全面,所用的资料新颖、翔实,介绍的技术先进、成熟、可靠;同时为便于理论联系实际,书中还编有若干典型实例。

本书可供蔬菜栽培、园艺科学、园林工程等专业技术人员、农业科技管理人员、设施农业生产企业以及广大农民朋友作为园艺生产的参考书使用,也可作为高等农业院校设施园艺科学与工程、园林、景观等专业的本科生、研究生及教师使用。

图书在版编目(CIP)数据

设施园艺工程与栽培技术/王宇欣,段红平主编. —北京:化学工业出版社,2008.4

ISBN 978-7-122-02247-9

I. 设… II. ①王…②段… III. 园艺-保护地栽培 IV. S62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第033071号

责任编辑:刘兴春 管德存
责任校对:陈 静

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 字数465千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.80元

版权所有 违者必究

《设施园艺工程与栽培技术》编委会

主 编 王宇欣 段红平

副主编 孔 云 王宏丽

编 委

王宇欣	段红平	孔 云	王宏丽
胡晓辉	孟金贵	高召华	张汝坤
沈红香	张丽梅	董 艳	杨文良
杨志新	苏友波	何永美	张艳诚
杨生超	张立芸	张 勇	李 静
邓 健	葛萍萍	彭子恒	邹永杰
史光义	曹 楠	王平智	王二峰

参编单位

中国农业大学	云南农业大学
西北农林科技大学	四川农业大学
北京农学院	农业部规划设计研究院

前言

新的农业科技革命正在深刻地改变 21 世纪世界农业的面貌。设施农业、农产品加工业的发展,使农业效益大幅度提高;尤其是生物技术不断取得重大突破并迅速产业化,信息技术和新材料等高新技术在农业中的应用越来越广泛。改革开放 30 年来,我国农业取得了举世瞩目的成就,人民生活日益改善,科技进步日新月异,维系着人民食品安全保障体系的基础农业其地位也得到了不断加强,农产品实现了从长期短缺到供求基本平衡、丰年有余的历史性转变。其中以蔬菜设施栽培为主体的设施园艺产业,由于其科技含量和经济效益高,在农业产业结构调整中成为优势项目而得到了高速发展。设施园艺业已成为新世纪我国农业最具活力的新兴产业之一,对促进农业增效、农民增收和繁荣农村经济发挥着主导作用。

设施农业是利用现代农业装备创造植物适宜的生长环境来生产园艺产品的现代农业生产方式。设施园艺生产过程中,通过调控环境因子,使植物处于最佳的生长状态,使光、热、土地等资源得到最充分的利用,可以实现周年生产和产品的均衡供应,从而大大提高了土地利用、劳动生产率、农产品质量和经济效益。

设施农业是现代农业发展的方向,设施园艺工程是设施农业的最重要组成部分之一。设施园艺是一门涉及园艺学、环境调节、建筑工程及机械、电子等跨学科的综合课程。本书主要讲述温室工程设施建设和环境调控技术、设施无土栽培技术、设施蔬菜栽培技术、设施果树栽培技术、设施花卉栽培技术和草药的设施栽培技术等方面的内容。全书密切结合设施园艺工程和温室栽培的生产实际,编写严谨、规范,叙述准确、精练,内容系统、全面,所用的资料新颖、翔实,介绍的技术先进、成熟。本书还附有若干典型实例,便于读者理论联系实际。

本书可供高等农业院校设施园艺科学与工程、园林、景观等专业的学生及教师使用,也可作为蔬菜栽培、园艺科学、园林工程等专业技术人员、管理人员和广大农民朋友作为园艺生产的参考书使用。

本书由中国农业大学、云南农业大学、西北农林科技大学、四川农业大学、北京农学院和农业部规划设计研究院等单位共同编写完成;其中第一章由王宇欣、段红平、王宏丽等编写,第二章由王宇欣、王二峰、张勇、王宏丽、曹楠、史光义等编写,第三章由王宇欣、段红平、李静、王平智、邓健、邹永杰等编写,第四章由张汝坤、张艳斌、张立芸、王宇欣等编写,第五章由胡晓辉、段红平、高召华、董艳、苏友波、何永美等编写,第六章由孟金贵等编写;第七章由孔云、杨文良等编写;第八章由沈红香、葛萍萍、彭子恒等编写,第九章由张丽梅、杨志新、杨生超等编写。由王宇欣、段红平统稿。

本书编写过程中得到了农业部设施农业生物环境工程重点开放实验室有关教授和专家的大力支持和鼓励,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平有限,书中不足和疏漏之处在所难免,敬请广大读者和同行批评、指正,以便于以后修订、完善。

编者

2008 年 3 月

目 录

第一章 绪 论	1	十、日光温室的形状	31
第一节 设施园艺的特点	1	十一、日光温室的防寒保温措施	32
一、设施园艺工程	1	第四节 连栋温室的规划设计	33
二、设施栽培	4	一、连栋温室的总平面布置	33
第二节 国内外设施园艺的发展现状 及趋势	5	二、连栋温室的方位	34
一、国外设施园艺发展现状	5	三、连栋温室的平面布置	35
二、国外设施园艺的发展趋势	7	四、连栋温室的构造	36
三、我国设施园艺的起源与发展	8	第五节 连栋温室的开窗和遮阳	44
四、我国设施园艺存在的一些问题	9	一、温室的开窗机构	44
五、我国设施园艺产业的发展趋势	10	二、连栋温室的遮阳系统	46
第三节 主要内容与特色	11	第六节 温室的结构设计计算	47
参考文献	12	一、温室基础的设计计算	47
第二章 温室的设计与建造	13	二、温室荷载	48
第一节 温室覆盖材料	13	三、温室设计的内容和步骤	51
一、温室透光覆盖材料	13	参考文献	53
二、温室外覆盖材料	18	第三章 温室的环境调控	54
三、温室内覆盖材料	18	第一节 温室采暖系统	54
第二节 温室的分类	19	一、温室采暖热负荷的概念	54
一、按温室的覆盖材料划分	19	二、温室加热室内外计算温度的 确定	54
二、按温室的用途划分	21	三、温室供暖热负荷的计算	55
三、按建筑形式划分	22	四、温室的采暖设备	57
第三节 日光温室的规划设计	26	第二节 温室降温系统	60
一、温室基址的选择	26	一、温室降温系统的选择	60
二、日光温室的方位	27	二、湿帘风机降温的设计计算	61
三、日光温室的间距	28	三、湿帘风机降温系统的安装	64
四、日光温室的采光屋面角	29	第三节 温室灌溉系统	65
五、日光温室的跨度	30	一、常用温室灌溉系统	65
六、日光温室的长度	30	二、滴灌系统施肥(施农药)技术	71
七、日光温室的脊高	30	第四节 二氧化碳气体施用方式与 设备	73
八、日光温室的后墙、山墙的建造	30	一、二氧化碳的生理意义	73
九、日光温室的后屋面	31		

二、二氧化碳浓度的测定法·····	73	三、防虫网选择原则·····	107
三、二氧化碳施用方式和施用设备·····	74	四、防虫网的覆盖类型·····	108
四、二氧化碳施肥技术·····	75	五、防虫网使用注意事项·····	109
第五节 温室电气系统·····	75	第五节 温室项目投资·····	109
一、供电线路(系统)的概念·····	75	一、项目投资概述·····	109
二、负荷分级与供电可靠性·····	76	二、温室项目的分类和构成·····	110
三、低压配电网络的结线方式·····	76	三、项目总投资的组成·····	110
四、温室供电负荷计算·····	77	参考文献·····	113
五、温室供电中变压器的选择·····	78	第五章 设施无土栽培技术·····	115
六、温室配电系统的组成·····	78	第一节 无土栽培的意义及分类·····	115
七、温室配电系统的设计步骤·····	79	一、无土栽培的定义和意义·····	115
第六节 温室照明设计·····	79	二、无土栽培类型与分类·····	117
一、温室照明及灯具的分类·····	80	三、无土栽培的应用·····	117
二、人工补光光源的配置·····	81	第二节 无土栽培的营养液及其管理·····	118
三、LED光源在温室补光中的应用·····	82	一、原料及其要求·····	119
第七节 温室控制系统·····	83	二、营养液配方·····	121
一、温室控制系统分类·····	83	三、营养液配制·····	123
二、温室智能温室控制系统示例·····	85	四、营养液的管理·····	124
三、温室传感器·····	86	第三节 水培和雾培技术·····	126
四、温室控制执行机构·····	89	一、水培和雾培定义及基本功能·····	126
五、温室控制方式的发展趋势·····	90	二、水培技术·····	126
参考文献·····	90	三、雾培技术·····	134
第四章 温室的地域特征及投资规划·····	92	第四节 基质栽培技术·····	136
第一节 温室结构类型发展的地域特征·····	92	一、常用基质的理化性质及其利用·····	136
一、我国的气候分区·····	92	二、基质的消毒与再利用·····	138
二、温室结构类型的地域性特征·····	93	三、基质培的类型与设备·····	138
三、我国温室区域发展的特征·····	94	第五节 主要园艺作物无土栽培技术·····	143
第二节 国外温室的主要类型·····	95	一、番茄·····	143
一、Venlo型温室·····	95	二、甜椒·····	145
二、植物工厂·····	97	三、黄瓜·····	147
三、双层充气膜温室·····	100	四、甜瓜·····	149
四、卷膜式开放型连栋塑料温室·····	102	五、生菜·····	152
第三节 我国南方的几种典型温室·····	102	六、草莓·····	153
一、华东型连栋塑料温室·····	102	七、月季·····	156
二、华南型连栋塑料温室·····	104	八、香石竹·····	158
三、西南地区的温室类型·····	106	第六节 有机生态型无土栽培·····	160
第四节 温室防虫网·····	106	一、有机生态型无土栽培·····	160
一、防虫网作用及应用场合·····	106	二、温室番茄长季节有机生态型无土栽培技术规程·····	161
二、常用防虫网材料与规格·····	107		

参考文献	165	三、品种、砧木选择	215
第六章 设施蔬菜栽培技术	166	四、设施环境控制要求	216
第一节 茄果类蔬菜设施栽培技术	166	五、栽培管理技术	217
一、辣椒设施栽培技术	166	第三节 葡萄设施栽培	219
二、番茄设施栽培技术	170	一、设施生产模式	219
三、茄子设施栽培技术	174	二、适宜设施类型	220
第二节 瓜类蔬菜设施栽培技术	178	三、品种选择	222
一、黄瓜设施栽培技术	178	四、环境控制要求	222
二、西瓜设施栽培技术	183	五、栽培管理技术	223
第三节 绿叶菜类蔬菜设施栽培技术	185	第四节 樱桃设施栽培	227
一、西芹设施栽培技术	185	一、设施栽培模式	227
二、生菜设施栽培技术	190	二、适宜设施类型	227
第四节 芽苗菜设施栽培技术	193	三、品种、砧木选择	228
一、芽苗菜的定义、种类及特点	193	四、环境控制要求	228
二、芽苗菜生产的环境条件	194	五、栽培管理技术	229
三、芽苗菜生产场地的选择	195	第五节 草莓设施栽培	232
四、芽苗菜生产设施、设备	195	一、设施栽培模式	232
五、芽苗菜栽培技术	195	二、适宜设施类型	232
六、产品的收获与销售	196	三、适宜品种选择	232
七、芽苗菜生产中应注意的几个		四、环境控制要求	233
问题	197	五、栽培管理技术	234
八、常见芽苗菜的生产技术	197	参考文献	235
第五节 名特菜设施栽培技术	198	第八章 花卉的设施栽培	237
一、彩色甜椒设施栽培技术	199	第一节 综述	237
二、樱桃番茄设施栽培技术	202	一、花卉设施栽培的作用	237
第六节 蔬菜的采收与采后处理技术	204	二、花卉设施栽培的历史与现状	238
一、蔬菜的采收	204	三、设施栽培花卉的主要种类	239
二、蔬菜的采后处理技术	205	第二节 月季设施栽培技术	239
参考文献	210	一、适用设施	239
第七章 果树的设施栽培	212	二、环境控制	240
第一节 综述	212	三、栽培技术	240
一、果树设施栽培的概念	212	第三节 香石竹设施栽培技术	242
二、果树设施栽培的作用	212	一、适用设施	242
三、国内外果树设施栽培的历史		二、环境控制	242
与现状	212	三、栽培技术	243
四、我国果树设施栽培中存在的		第四节 非洲菊设施栽培技术	244
主要问题	214	一、适用设施	244
第二节 桃的设施栽培	215	二、环境控制	244
一、设施生产模式	215	三、栽培技术	245
二、适宜设施类型	215	第五节 唐菖蒲设施栽培技术	246

一、适用设施	246	一、牡丹的开发利用价值	265
二、环境控制	246	二、牡丹的形态特征	265
三、栽培技术	246	三、牡丹的生长习性	268
第六节 百合设施栽培技术	248	四、栽培技术	269
一、适用设施	248	五、栽后管理	272
二、环境控制	248	第四节 甘草的栽培技术	276
三、栽培技术	248	一、概述	276
第七节 郁金香设施栽培技术	250	二、甘草的形态特征	276
一、适用设施	250	三、甘草的生长习性	277
二、环境控制	250	四、甘草的栽培技术	278
三、栽培技术	250	五、田间管理	280
参考文献	252	六、采收与加工	281
第九章 草药设施栽培技术	253	第五节 三七的栽培技术	282
第一节 综述	253	一、概述	282
第二节 人参的设施栽培	254	二、三七的形态特征	283
一、概述	254	三、三七的生物学习性	283
二、人参的形态特征及分类	254	四、三七的栽培技术	284
三、人参的生长习性	257	五、田间管理	285
四、人参的栽培技术	258	六、病虫害防治	286
五、人参的采收与加工	264	七、留种技术	288
六、留种技术	264	八、三七的采收与加工	288
第三节 牡丹的栽培技术	265	参考文献	289

第一章 绪 论

第一节 设施园艺的特点

设施农业又被称为可控农业。它是通过采用现代农业工程技术,利用人工建造的设施,通过人工调控、改变和模拟自然环境,为种植业、养殖业以及产品的储藏保鲜等提供相对可控,甚至最适的温度、湿度、光照、水肥等环境条件,在一定程度上摆脱对自然环境的依赖进行有效生产的新型农作方式。设施农业有广义的设施农业和狭义的设施农业,广义的设施农业包括设施栽培和设施养殖,狭义的设施农业一般指的是设施栽培,即设施园艺。

设施园艺是利用工程技术手段为植物创造适宜的生长环境来生产园艺产品的现代农业生产方式。设施园艺生产过程中,通过调控环境因子,使植物处于最佳的生长状态,使光、热、土地等资源都得到最充分的利用。设施园艺可以实现周年生产,均衡供应,从而大大提高了土地利用率、劳动生产率、农产品质量和经济效益,促进了农业产业结构的调整和现代农业的发展。

设施园艺装备包括塑料大棚、温室、植物工厂三种不同的技术层次。目前,我国发展和应用较多的主要是塑料大棚、日光温室及连栋温室,也有少量智能温室。其中能充分利用太阳光热资源、节约燃煤及减少环境污染的日光温室为我国所独创。经过多年对建筑结构、环境调控和栽培技术的不断改进,在北纬 $40^{\circ}\sim 41^{\circ}$ 及以上的严寒地区,严冬季节完全不用人工加温或仅用少量的加温,可以实现喜温果蔬和花卉的生产。日光温室在我国发展迅猛,目前其面积已超过温室总面积的60%。设施园艺打破了传统农业地域和时令的限制,不但能充分利用太阳光热资源,而且在一定程度克服了传统农业在外界环境(主要是气候条件)和资源(土地、水、热)等方面难以解决的限制因素,能够实现资源的集约高效利用,从而大幅度提高农业系统的生产力,使单位面积产出成倍乃至数十倍地增长。

一、设施园艺工程

设施园艺工程研究的主体对象主要是温室,学术上从不同的角度出发,对温室有各种分类方法,但生产中通用的温室分类还是按照其使用性能来区分,同种类型中不同的变型按覆盖材料的不同来区分。除了简易园艺保护设施外,目前国内常用的温室类型主要有塑料大棚(含中小拱棚)、日光温室和连栋温室等。

1. 简易保护设施栽培

所谓简易保护设施是指结构简单,环境调控能力较差的园艺栽培设施。主要有风障、阳畦、温床以及简易覆盖等(图1-1)。

风障是在冬春季节设置在栽培畦北侧用以阻挡寒风的屏障,在风障保护下的栽培畦为风障畦。阳畦又叫冷床,是完全利用太阳的光照和地温,而无任何人工加温设备的苗床,是在风障畦的基

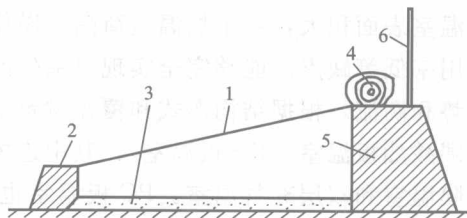


图 1-1 阳畦(冷床)结构示意图(单位:cm)

1—塑料薄膜; 2—南框; 3—培养土;
4—草帘; 5—北框; 6—风障

础上发展而来的一种性能优于风障的简易保护设施。温床是在阳畦基础上增加人工加温条件,以提高床内地温和气温的保护设施。而简易覆盖则是设施栽培中的一种简单覆盖方式,是利用不同防护资材覆盖在栽培畦表面或植株上进行栽培。现代简易覆盖主要指地膜覆盖和无纺布浮面覆盖。

2. 塑料大棚 (含中小拱棚)

塑料棚就是将塑料薄膜作为透光覆盖材料的单栋拱棚,以保护园艺作物正常生长发育,其骨架常用竹、木、钢材或复合材料建造而成。塑料棚分为三大类:塑料小棚、塑料中棚和塑料大棚。塑料小棚一般脊高 1m 或以下,跨度 1.5~3m,长度 10~15m,面积 15~45m²;塑料中棚一般脊高 1.5~1.8m,跨度 3.0~6.0m,长度 10m 以上,面积 30~60m²。塑料大棚一般脊高 2.4~3.5m,跨度 8~15m,长 30~100m,面积 300m² 以上 (图 1-2)。

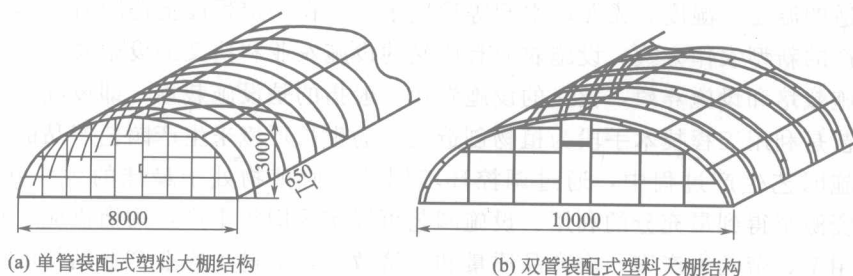


图 1-2 钢管装配式塑料大棚 (单位: mm)

在我国南方地区园艺栽培中塑料大棚主要用于冬季保温,夏季用于遮阳、防雨;在北方园艺栽培中塑料大棚主要是起到春提早、秋延后的作用,一般比露地生产可提早或延后 1 个月左右。由于其保温性能较差,在北方地区一般不用塑料大棚做越冬生产。

3. 日光温室

日光温室是南 (前) 面为采 (透) 光屋面,东、西、北 (后) 三面为保温围护墙,并有保温后屋面的单坡面型塑料薄膜温室。日光温室是我国农业科技工作者在单坡温室的基础上不断完善、提高开发出来的一种适合我国气候条件和国情的温室形式。日光温室是以太阳能为主要能源,前屋面夜间覆盖活动保温被 (草帘) 进行越冬生产,正常条件下,在我国北方地区使用,不用人工加温即可保持室内外温差达 20~30℃ 以上。此类温室现已推广到北纬 30°~45° 地区,是我国北方地区园艺栽培越冬生产的主要温室形式。日光温室跨度一般为 6~10m,脊高 2.6~3.5m,长度多为 60~80m (图 1-3)。

4. 连栋温室

连栋温室是将多个单跨的温室通过天沟连接起来的大面积生产温室。连栋温室克服了单跨温室表面积大,冬季加温负荷高、操作空间小、室内光温环境不均匀、占地面积大、土地利用率低等缺点。能够完全实现温室生产的自动化和智能化控制,是现代化设施农业发展的趋势和潮流。根据结构形式和覆盖材料不同,连栋温室分为连栋玻璃温室、连栋塑料温室和聚碳酸酯板温室 (PC 板温室)。其中连栋塑料温室又根据覆盖塑料薄膜的层数分为单层塑料薄膜温室和双层充气温室。PC 板温室也根据聚碳酸酯板材料的不同,分为 PC 中空板温室和 PC 浪板温室。温室的屋面形式有拱圆形、锯齿形和人字形等。一般柔性透光覆盖材料 (如塑料薄膜) 常采用圆弧形屋面,而刚性透光覆盖材料 (如玻璃和 PC 板) 则采用坡屋面。连栋温室的跨度一般在 6.0~12.0m,常用跨度为 6.0m、6.4m、8.0m、9.6m 和 10.8m 等,

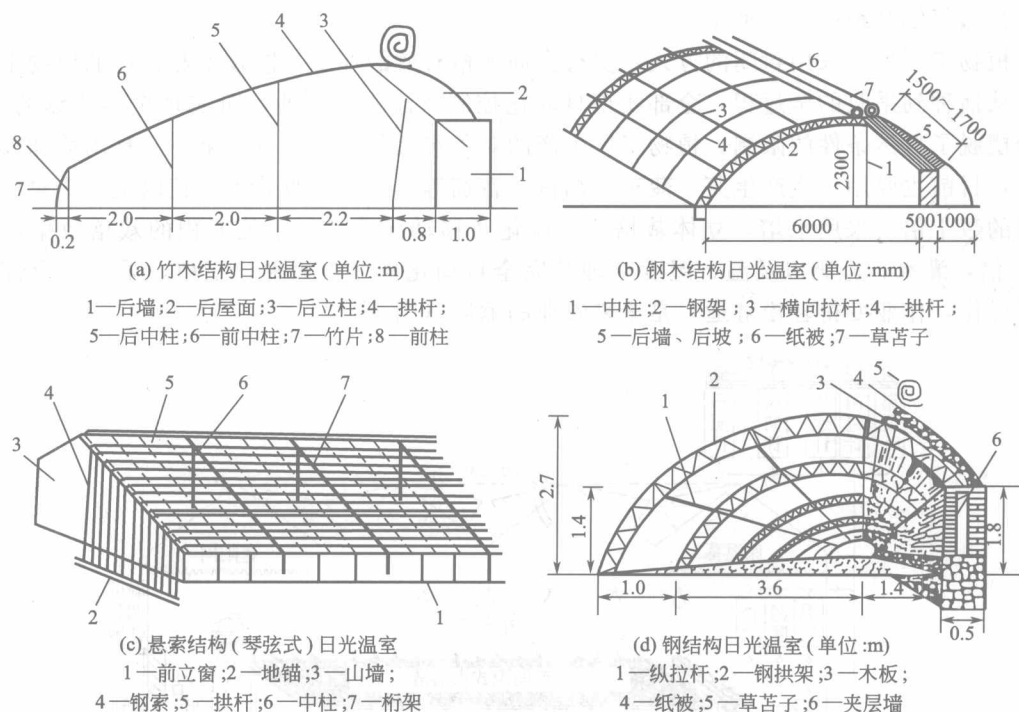


图 1-3 几种日光温室的结构型式

温室常用开间是 3.0m、4.0m 和 4.5m。连栋温室一般都配备有比较完备的环境调控设施，可进行周年生产，适合于我国各个不同地区建造 (图 1-4)。

5. 植物工厂

植物工厂 (Plant Factory) 一词源于日本，根据对太阳光利用形式的不同，植物工厂可分为完全控制型、太阳光利用型和太阳光并用型等三种，而狭义上植物工厂则专指人工光型的植物生产系统。植物工厂还可根据生产对象不同分别称之为“蔬菜工厂”、“花卉工厂”、“苗木工厂”等。日本植物工厂学会对植物工厂的定义是：利用环境自动控制、信息技术、生物技术、机器人和新材料等进行植物周年连续生产的系统，也就是利用计算机对植物生育的温度、湿度、光照、二氧化碳浓度、营养液等环境条件进行自动控制，使设施内植物生育

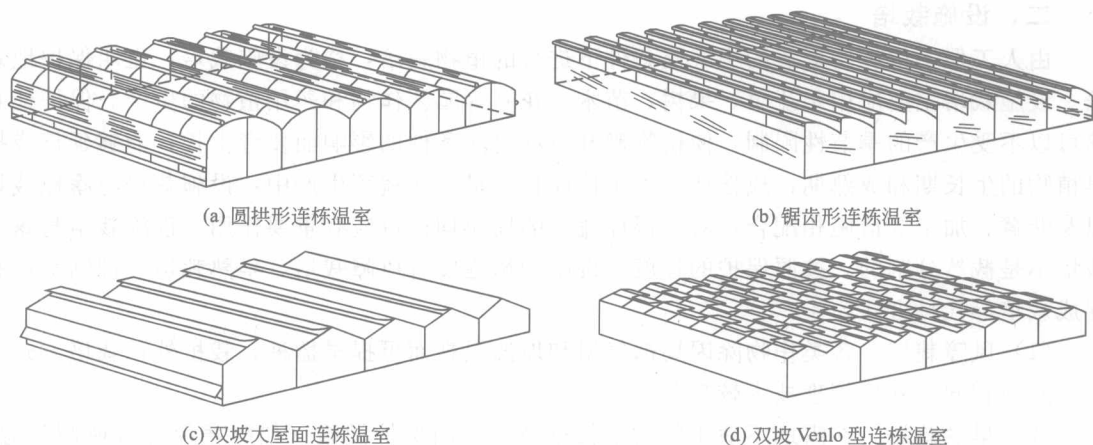


图 1-4 常见的几种类型连栋温室

不受自然气候制约的省力型生产。

植物工厂生产采用封闭的方式，实行全面严格有效的环境控制技术和先进的植物工程技术，从播种到采收的全过程，全部实现自动化控制、流水线作业，可实现全年连续的生产，完全摆脱了自然条件的限制。植物工厂生产的对象包括蔬菜、花卉、果树、食用菌和大田作物等，目前主要用于生产生菜、菠菜、茼蒿、番茄等。一年可收获十几茬以上，年总产量是露地的数十倍。采用水培、立体栽培、多段化及移动床栽培，单位面积的栽培效率可提高2~4倍，灌水、施肥以及温、湿度管理等完全自动化作业，播种、定植、采收等全部由计算机操作，作业变得轻松舒适，是未来农业的缩影（图 1-5）。

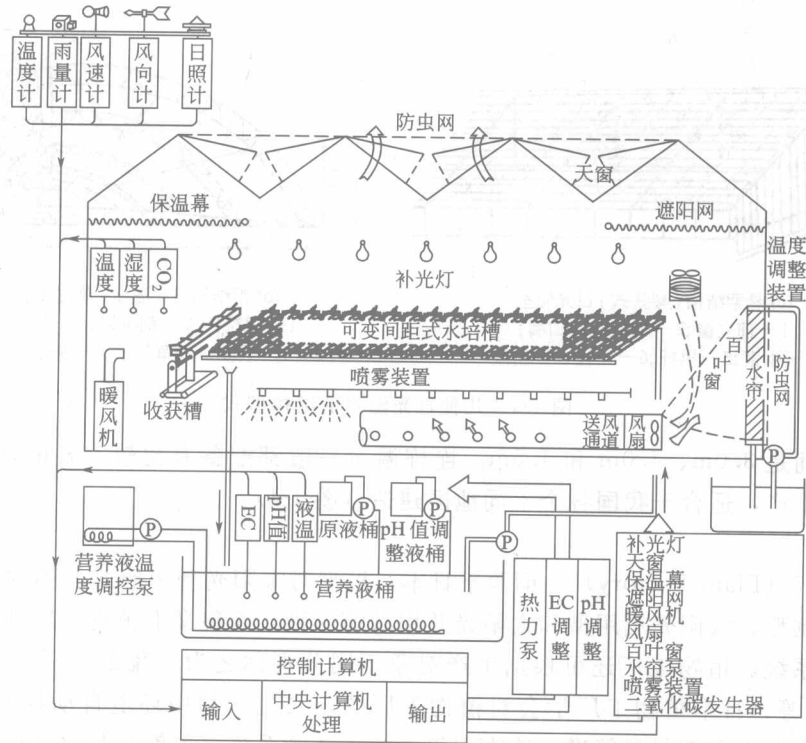


图 1-5 人工光和太阳光结合型的植物工厂示意

二、设施栽培

由人工保护设施所形成的小气候条件下进行的植物栽培，称为设施栽培，也叫保护地栽培。设施栽培主要应用于蔬菜、果树、苗木、花卉等园艺作物和药用植物的生产。保护地栽培可以不受生产的季节性限制，使植物避开不利自然条件的影响而发育生长；能够延长或提早植物的生长期和成熟期，成倍地增加单位面积产量。在蔬菜生产中，设施栽培与露地栽培以及储藏、加工等措施相配合，对于保证蔬菜的周年均衡供应有重要作用。设施栽培与露地栽培不是截然分割的。按照保护的程度，设施栽培主要有风障栽培、早熟栽培、抑制栽培和促成栽培等几种方式。

(1) 风障栽培 各类作物除因局部气温和地温提高而可提早播种、栽植外，栽培方式基本与露地相同。栽培管理技术较简单。

(2) 早熟栽培 在露地不适于作物生长季节，采用保护设施（如防寒保温或遮阳降温）创造适宜的环境，应用早熟品种，提早播种育苗，在露地气温适宜的情况下种植于大田，是

作物提早成熟的栽培方法。

(3) 抑制栽培 又称秋冬型栽培。随季节变化气温在变低,光照在减弱,作物生长也将变慢。栽培时利用秋季的光照资源和较大的温差,将养分积累于植株体内,在冬季逐渐转移到产品器官中,形成产量的栽培技术。例如,在蔬菜园艺栽培中,一些喜温性蔬菜的延迟栽培,如黄瓜、番茄等,秋季前期在露地或在未覆盖的棚室生长,晚秋早霜到来之前扣膜防止霜冻,使之在保护设施内继续生长,延长采收时间。抑制栽培比露地栽培可延迟供应期1~2个月。

(4) 促成栽培 又称不时栽培,是完全的保护地栽培,植物一生全在保护地的综合条件下生长成熟。也就是指冬季低温季节利用温室等设施进行长期加温或保温栽培蔬菜的方式。如目前一些日光温室或连栋温室内进行的茄果类蔬菜的长季节栽培,从8~9月定植到翌年6月采收结束,在10月下旬至翌年3月下旬采取保温措施或进行加温以维持生长,促进坐果及果实发育。

另外,随着农业科学技术的迅速发展,许多农业新技术在设施园艺栽培中得到了推广应用,例如无土栽培技术,不用天然土壤而用营养液浇灌的方法进行栽培。无土栽培所用的基质营养液或无基质营养液中完全具有、甚至超过土壤所供给的各种营养物质,因此更有利于各类作物的生长发育。在生产上,无土栽培具有高产、早熟、节水、病害轻,可以生产无污染的优质蔬菜等优点。

设施园艺是现代农业科学与工程技术的集成,涉及建筑、材料、机械、环境、自动控制、品种、栽培、管理等多种学科和多种系统,是现代农业的重要组成部分。设施园艺学是以现代科技为依托,以先进设施为基础,以产业化经营为手段,在可控环境的条件下,实现高产、高效与可持续发展的现代农业生产管理体系。设施园艺学是一门集建筑科学、园艺科学、环境科学、信息技术和农业经济等为一体的多学科交叉的边缘学科。

第二节 国内外设施园艺的发展现状及趋势

设施农业是现代农业发展的象征,是世界各国用以提供新鲜农产品的重要技术措施,是以物质和技术要素替代土地资源要素的节地型农业,也是当今世界最具活力的产业之一。世界设施农业已发展到较高水平,设施园艺生产已具相当规模。设施农业正以传统农业前所未有的生产效率创造着良好的经济效益。

一、国外设施园艺发展现状

早在15~16世纪,世界一些国家就开始建造简易的温室,栽培时令蔬菜或水果。20世纪50年代以来,设施园艺的发展取得了巨大进步。设施栽培的设施设备、专用品种、栽培和管理技术形成完整的技术体系,园艺生产克服了严寒、炎热等不利气候影响,实现了周年生产、均衡上市,而且使产量成倍增长、品质大幅度提高,并在向高层次、高科技和自动化、智能化方向发展。目前,设施园艺发展比较先进的国家有荷兰、日本、美国、以色列等。这些国家由于政府重视设施农业的发展,在资金和政策上都给予大力支持,因此设施农业起步早、发展快、综合环境控制技术水平高。

荷兰是土地资源非常紧缺的国家,靠围海造田等手段扩大耕地,人均耕地1000m²。荷兰目前拥有大型连栋玻璃温室1.3×10⁴hm²,是世界拥有最多、最先进玻璃温室的国家,并能全面有效地调控设施内光、温、水、气、肥等环境因素,实现了高度自动化的现代化农

业。荷兰不但种苗业发达，而且设施园艺产业实行高度专业化生产，通常每一农户只栽培一种蔬菜，这对种植者积累经验、提高技术有益，能稳定提高产量与品质，同时也促进了专业设施、设备的开发利用，温室的机械化、自动化控制更易实施，劳动生产效率提高，生产成本降低。

荷兰温室注重节省能源并充分利用自然资源。荷兰大约有 64% 的温室采用基质（岩棉）栽培，果菜全部采用基质栽培。无土栽培不仅克服了连作障碍，而且更便于计算机管理，精确控制根际环境（温度、EC、pH 值、离子配比等），提高产品整齐度，从而使商品品质大幅度提高。

园艺栽培实行环境意识栽培（environmental aware cultivation），即无公害生产。作物病虫害以生物防治为主，在有限范围内使用没有毒害的化学药品，使产品没有污染的同时也不对周边环境产生污染。设施园艺已成为荷兰国民经济的支柱产业，据世界贸易组织统计，2005 年其农产品年出口值高达 527.1 亿美元，成为仅次于美、法的世界第三大农产品出口国。荷兰的花卉产业十分发达，主要靠设施栽培，是世界第一大花卉出口国，是世界花卉贸易中心，从荷兰拍卖市场出口的鲜切花占世界贸易出口额的 70%。

日本设施园艺水平居世界前列，是设施农业大国。狭小而不平整的土地和众多的人口，使得日本特别重视保护农业和发展集约化生产技术。第二次世界大战结束后，随着经济快速发展，社会对蔬菜的需求增加，在 20 世纪 60 年代设施园艺进入快速发展期，70 年代两次石油危机使日本经济从高速发展转向稳定发展，温室园艺也从无秩序的扩大规模转向温室质量的提高和适度规模的发展。日本现有温室总面积达到 $5.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，其先进的温室配套设施和综合环境调控技术处于世界先进行列，近年来在组培环境调控和封闭式育苗技术等方面取得了令人瞩目的成果。日本的园艺栽培设施主要是塑料大棚，占温室总面积的 95%，玻璃温室仅占 4%，硬质塑料占 1% 左右。日本 PVC 农膜的生产技术十分优秀，在透光、保温、长寿、耐老化等方面处于世界领先水平，有些产品可使用 7~10 年。日本也是能源紧缺的国家，自从石油危机出现后，日本人便开始了节能技术的研究。双层保温幕、地热、太阳能、工厂余热等节能技术在温室当中都得到了较早的开发利用。日本注重温室专用小型机械设备的开发和研制，温室生产向省工、省力、环境舒适方向发展，以吸引青年人从事园艺工作。日本的设施栽培主要是蔬菜和花卉，也有一些瓜果类，如网纹甜瓜、草莓、葡萄等。

以色列国土面积窄小，总面积 21000 km^2 ，约 2/3 的土地为沙漠地带；可耕地面积仅 4370 km^2 ，约为国土总面积的 20%，主要集中在地中海海岸的狭长地带以及几个内陆山谷有限的肥沃地区，约一半的可耕地必须使用灌溉供水。由于自然条件的限制，以色列不断发展温室种植。将高科技含量的温室系统大量用于干旱地区，最大限度地降低了土质、气候和缺水等因素对农业生产的影响，实现了对土地的最合理利用。20 世纪 80 年代初，以色列有 900 hm^2 温室，到 90 年代初增长到 2000 hm^2 左右，现在则超过 3000 hm^2 ，多数是现代化大型温室，温室的设备材料、滴灌技术、种植技术及养殖品种的开发和培育均属世界一流，通过计算机系统和高科技产品的结合，创造最适宜的人工气候环境，使光量、温度、湿度、通风、二氧化碳含量与营养液等能依据植物生长要求达到最佳组合。每公顷温室一季已可收获 300 万支玫瑰，每公顷温室番茄产量最高达 500t。温室花卉和蔬菜大量出口欧洲各国，目前以色列农业产品已占据了 40% 的欧洲瓜果、蔬菜市场，并成为仅次于荷兰的欧洲第二大花卉供应国。

美国园艺生产总的指导思想是搞适地栽培。从发展的过程来看, 20 世纪 70 年代中期石油危机之前, 是以芝加哥为中心的大片温室为主; 石油危机以后, 美国中部、北部只发展冬季不加温的塑料大棚, 蔬菜则主要靠南方的加利福尼亚州、佛罗里达州、得克萨斯州和亚利桑那州生产, 然后运到北方各州。把温室企业发展中心转移到南方, 可以节省大量能源。

但近几年来, 随着人们生活质量的提高, 对蔬菜、花卉等产品的品质和新鲜度提出了更高的要求, 因此设施栽培有了较快发展的趋势。美国温室面积目前约有 $1.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 主要种植花卉, 达 $1.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。美国温室规模虽然不大, 但设备先进, 生产水平一流, 多数为玻璃温室, 少数为双层充气温室, 近年来又在发展最先进的聚碳酸酯 (PC) 板材温室; 另外美国对设施栽培的尖端技术的研究非常重视, 比如在太空中的设施生产问题, 已有成套的、全部机械手操作的全自动设施栽培技术。

法国、西班牙等国家, 由于气候条件较好, 夏季气温不太高, 冬季气温也不太低, 因此主要发展塑料温室。另外, 像韩国、哥伦比亚以及一些非洲国家也都在迅速发展设施农业生产。

二、国外设施园艺的发展趋势

现在世界各国的设施园艺发展很快, 发达国家设施园艺生产在实现自动化的基础上正向着完全智能化、无人化的方向发展。根据国家有关方面的调查研究资料及专家的分析, 未来世界设施园艺产业的发展呈现以下 6 个方面的发展趋势。

(1) 温室大型化 目前农业技术先进的国家, 每栋温室的面积基本上都在 0.5 hm^2 以上。连栋温室得到普遍推广, 温室的栋高在 4.5m 以上, 玻璃覆盖面积增大。温室空间扩大后, 可进行立体栽培和便于机械化作业。温室建筑面积增大, 有利于节省建筑材料、降低成本、提高采光率和提高栽培效益。

(2) 覆盖材料多样化 在温室覆盖材料方面, 北欧国家使用玻璃较多, 法国等南欧国家多用塑料, 日本应用聚氯乙烯膜较多, 美国多用聚乙烯膜双层覆盖。覆盖材料的保温、透光、遮阳、光谱选择性能渐趋完善。除聚乙烯 (PE) 薄膜、聚氯乙烯薄膜 (PVC) 等常用材料外, 现已开发了多种覆盖材料。例如聚碳酸酯塑料板 (波浪板) 透光好、耐冲击强度高, 使用寿命长; 聚碳酸酯中空板 (PC 板) 质量轻、保温性能好。另外, 世界各国还研制了各种类型的长寿膜、转光膜、无滴膜等多功能膜和遮阳网等, 具有不同的遮光率和保温性能, 可供用户根据需要选用。

(3) 环境控制自动化和作业机械化 设施内部环境因素 (如温度、湿度、光照强度、二氧化碳浓度等) 的调控由过去单因子控制向多因子动态控制系统发展。计算机智能化调控装置系采用不同功能的传感器, 准确采集设施内室温、叶温、地温、室内湿度、土壤含水量、溶液浓度、二氧化碳浓度、风向、风速以及作物生长状况等参数, 通过数字电路转换后传回计算机, 并对数据进行统计分析和智能化处理, 根据作物生长所需最佳条件, 由计算机智能系统发出指令, 使有关系统、装置及设备有规律运作, 将室内温、光、水、肥、气等诸因素综合协调到最佳状态, 确保一切生产活动科学、有序、规范、持续。计算机有记忆、查询及决策功能, 为种植者全天候 24h 提供帮助。采用智能化温室综合环境控制系统可以达到节能、节水、节肥、节省农药, 提高作物产量和品质的目的。

发达国家的温室作物栽培, 已普遍实现了播种、育苗、定植、管理、收获、包装、运输等作业的机械化、自动化。例如, 荷兰某公司的 8000 m^2 盆花栽培温室从播种、育苗到定

植、管理等作业只用了3个工人，年产30万盆花，产值达180万美元。

(4) 无土栽培得到进一步推广 无土栽培技术是随着温室生产发展而研究出来的一种最新栽培方式。无土栽培具有节水、节能、省工、省肥、减轻土壤污染、防止连作障碍、减轻土壤传播病虫害等多方面优点。无土栽培所用的营养液中完全具有甚至超过土壤能够供给的各种营养物质，同时还可根据不同生长阶段的需求进行调整，因此更有利于园艺作物的生长发育。目前，世界上已有100多个国家将无土栽培技术用于温室生产，在发达国家的设施农业中，无土栽培与温室面积的比例，荷兰超过70%，加拿大超过50%。

(5) 发展温室生物防治 发展有机产品、绿色产品生产的关键是禁用或限用农药、化肥等化学合成物。发达国家重视在温室内减少农药使用量，大力发展生物防治技术。采用生物防治技术、生态控制技术减少农药的使用量，是解决农药残留问题切实有效的技术手段。例如荷兰的生物防治率已达到95%以上。对人体和环境有害的农药绝对禁用，对化肥施用、营养液循环处理均也有严格的标准和规范。

(6) 广泛建立和应用喷灌、滴灌节水系统 世界各国早期的温室喷灌系统居多，可根据设定的土壤湿度实行自控。近20年来温室多采用滴灌系统，或喷灌/滴灌兼有的系统。滴灌比喷灌更节约用水，可降低温室内的湿度。施肥装置往往与滴灌系统结合起来而形成灌溉和施肥系统，根据设定的土壤水分和养分而自动进行灌溉和施肥。滴灌技术是当今世界上节水效果最好的灌溉技术。其主要特点是以低压小流量出流灌溉，实现局部灌溉。例如，以色列温室滴灌用水的最高水利用率为95%。

三、我国设施园艺的起源与发展

我国是利用温室栽培起源最早的国家，利用保护设施栽培蔬菜有着悠久的历史。在两千多年前中国农民就创造了利用温室栽培蔬菜的技术，据《汉书》记载“太官园种冬生葱韭菜茹，覆以屋庑，尽夜燃蕴火，待温气乃生……”可知当时用覆盖栽培，加上昼夜加温，在隆冬季节生产出生葱韭菜之类的“不时之物”。在公元618~907年，唐朝诗人王建在宫前早春诗中写道“酒慢高楼一百家，宫前杨柳寺前花，内阁分得温汤水，二月中旬已进瓜。”说明在1200多年前已利用天然温泉的热水进行瓜类栽培。随着“蔡侯纸”的发明和推广，在公元1127~1279年的南宋时期就有用纸作覆盖透光材料，凿地为室，加温生产花卉的记载。在公元1368~1644年的明朝，王世懋在《学圃杂疏》中写道：“王瓜，出燕京者最佳，其地人种之火室中，逼生花叶，二月初，即结小实，中官取以上供。”说明400多年前，北京利用温室进行黄瓜的促成栽培，已享誉中华。但直到1950年，我国还存在为数不多的风障、阳畦和简易的用纸、油纸或玻璃覆盖的土温室。直到1950年后，才对中国传统的北京阳畦、北京改良温室的结构性能和蔬菜栽培技术，进行了系统的调查研究和总结，我国才相继出现了各种单坡屋面、玻璃覆盖的改良式加温温室。20世纪60年代初，随着我国塑料工业的发展，在华北、江苏和上海等地出现了为数不多的塑料薄膜覆盖的、用于蔬菜生产栽培的小塑料棚。70年代以来，设施园艺面积迅速扩大，从50年代初期的不到 $2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 发展到2004年突破 $200 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，占全球温室面积的50%以上，成为世界上最大的蔬菜保护地生产区域。设施园艺的发展，大幅度提高了农民的收入。就日光温室而言，据调查，20世纪90年代初期至中期，每亩日光温室可获产值1.5万~4.0万元（1亩=666.7 m^2 ，下同），其中去除成本，可获0.7万~2.5万元效益（含人工费）；这一效益是大田作物的70~250倍，是露地蔬菜的10~15倍。所以日光温室被喻为农民致富奔小康的富民产业，是农村区域经济发展的支柱产业。目前我国的日光温室，温室结构设计与设备配套以及技术体系相对趋于成