



保护地设施学

○ 穆天民 主编



中国林业出版社



保护地生态学

第 1 卷 第 1 期



中国环境出版社

保护地设施学

穆天民 主编

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

保护地设施学/穆天民 主编. -北京: 中国林业出版社, 2004. 6
ISBN 7-5038-3776-4

I. 保… II. 穆… III. 保护地栽培 IV. S62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 048087 号

《保护地设施学》编委会

主 编 穆天民

编 委 穆天民 刘晓峰 穆晓林

保护地设施学

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

E-mail cfphz@public. bta. net. cn 电话 66184477

发行 新华书店北京发行所发行

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

版次 2004 年 6 月第 1 版

印次 2004 年 6 月第 1 次

开本 787mm × 960mm 1/16

印张 20

字数 360 千字

印数 1 ~ 3000 册

定价 30.00 元

前言

许多国家的农业生产实践证明,发展高科技含量的设施农业是富民强国之路,是解决土地奇缺与人口剧增之间矛盾的最好途径,是逆春夏秋冬自然节律变化实行反季节栽培、从而提高人民生活质量的最佳措施。而保护地设施则是设施农业的核心硬件。现代化的保护地设施——现代全自动或智能化温室,它既有保护栽培或养殖对象不受外界气象灾害伤害的功能,也具备按栽培对象生理要求调控环境因子的功能。它反映现代农业的先进科学技术水平,代表着农业的先进生产方式和生产力。

我国设施农业起步较晚,从国外引进的先进温室和自制的现代温室在全国保护地设施面积中只占很小比例,亟待发展和扩大。另一方面沿用了半个多世纪的日光温室和面积比重特大的各种塑料棚室亟待改造和增加科技含量。这种客观形势迫切要求造就一批具备设计、维修、施工、管理高科技含量温室的人才,也需要掌握保护地设施原理与技术并能把它们应用于改进简易设施和提高日光温室科技含量的实践中,成为推动设施农业登上新台阶的人才。本书在讲述国内外简易保护地设施的基础上,又在一定深度和广度上阐述了先进保护地设施中蕴含的一些原理与技术,以期在培养此领域人才方面做些努力。

本书是在积累一定文献资料和多年教学经验基础上编撰而成的。其中第一、三、四、五、六、七和九章由穆天民编写;第十章由刘晓峰编写;第二、八章由穆晓林编写。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中定有错误和缺陷,欢迎专家、学者和广大读者批评指正。

穆天民

2004年1月28日

城市·环境

科技阅览室

2004年12月29日下午4时正

景观

植物景观设计
观赏草及其景观配置

绿化

城市园林绿化规划设计
城市园林绿化植物应用指南(北方本)
城市园林绿化植物应用指南(南方本)
城市立体绿化
公共庭园绿化美化
度假村与酒店绿化美化

绿地

城市绿地规划设计
城市绿地土壤及其管理
城市绿地植物配置及其造景
城市绿地建设工程
城市绿地植物病害及其防治

草坪

草坪植物种植技术
草坪养护技术
草皮生产技术
草坪植物种子
草坪草种及其品种
绿地草坪
运动场草坪
高尔夫球场草坪

环境

环境经济学
环境法学
环境刑法
环境行政管理学
林业法学

道路系统绿化美化
居住区绿化美化
城市园林绿化花木生产与管理
城市园林绿化工程概算与监理
城市园林绿化植物养护与管理
城市园林绿化建设与管理手册
城市绿地植物虫害及其防治
城市景观花卉
现代园林机械
城市绿地喷灌
城市林业
草坪营养与施肥
草坪机械
草坪病害
草坪虫害
草坪杂草
草坪建植与管理手册
中国结缕草生态及其资源开发与应用
冷季型草草坪建植与管理指南
环境生态学
了解环境
生活环境
治理环境

中国林业出版社 北京市西城区德内大街刘海胡同7号(100009)

发行部 (010)66513119(20/21/22) 66176967

第一篇 保护地设施概论

第一章 绪论 (3)

第一节 设施农业的产生和发展 (3)

第二节 保护地设施概念、功能和分类 (4)

第三节 主要内容和学科基础 (6)

第二章 保护地设施类型 (7)

第一节 简易保护地设施 (7)

一、风障 (7)

二、阳畦 (8)

三、温床 (9)

四、塑料小、中棚 (15)

第二节 塑料大棚 (18)

一、发展 (18)

二、类型与结构 (18)

三、塑料大棚设计和建设应考虑的问题 (24)

第三节 日光温室 (30)

一、日光温室的历史沿革 (30)

二、日光温室的类型 (31)

三、日光温室设计和建设应考虑的问题 (34)

第四节 现代化连栋温室 (37)

一、现代化温室的特点 (38)

二、现代连栋温室的结构和造型 (39)

三、现代化温室的优越性 (41)

第二篇 保护地设施原理与技术

第三章 温室的采光原理与采光设计 (45)

第一节 日光的生理学与生态学意义 (45)

第二节 太阳辐射与光合有效辐射 (45)

一、太阳辐射及其能量的量度 (45)

二、植物光合有效辐射 (47)

第三节 温室上空的辐照度 (48)

第四节 温室采光设计所需的数据 (49)

一、太阳倾角 (49)

二、太阳时角与真太阳时	(50)
三、太阳高度角	(50)
四、各太阳高度角的辐照度求算	(51)
第五节 进入温室的日光能	(54)
一、进入温室的总辐射能计算公式	(54)
二、总辐射能计算式中各量和参数的计算	(54)
三、日光温室采光设计举例	(59)

第四章 温室热量平衡方程及其物理量求算

.....	(63)
第一节 温室热量平衡	(63)
一、作物与环境温度	(63)
二、温室的热量平衡	(63)
第二节 热量平衡方程各项物理量求算	(65)
一、贯流放热量	(65)
二、缝隙放热量	(68)
三、土壤传热损失	(69)
四、各种固体物质的蓄热量	(70)
五、空气蓄热量	(73)
六、潜热交换量	(73)
第三节 温室热量平衡计算示例	(76)
一、基本资料和数据	(76)
二、对温室结构和功能的要求	(77)
三、设计和计算	(77)
四、热平衡和补热量	(82)

第五章 温室传热原理及保温增温技术

第一节 传热的概念和基本方式	(84)
一、热量传递基本方式	(84)
二、常用的热量交换设备	(85)
三、传热量计算公式	(86)
第二节 热传导	(87)
一、单层平壁热传导	(87)
二、多层平壁热传导	(88)
三、圆筒壁导热	(88)
四、传热计算实例	(89)
第三节 对流传热原理和应用举例	(91)

一、流体基本知识	(91)
二、粘性流体流型和雷诺准数	(92)
三、当量直径概念和求算	(93)
四、对流传热中膜系数的经验公式	(93)
五、流体阻力	(95)
六、气体压缩基本原理	(98)
七、对流传热原理在温室调温中应用举例	(100)
第四节 温室保温和节能	(104)
一、温室保温措施	(104)
二、温室节能措施	(108)
三、日光温室节能的意义	(111)
第五节 温室采暖	(111)
一、采暖热负荷计算	(112)
二、采暖方式选择	(113)
第六章 保护地设施环境因子调控	(120)
第一节 空气状态参数和湿度图	(120)
一、空气状态参数	(120)
二、湿度图	(123)
三、空气状态参数公式和湿度图应用实例	(126)
第二节 温室降温原理与技术	(129)
一、温室变温管理的意义	(129)
二、温室降温的意义和途径	(130)
三、温室湿度调控原理	(134)
第三节 温室 CO ₂ 浓度调节	(137)
一、CO ₂ 的生理意义	(137)
二、CO ₂ 肥源选择和施肥技术	(138)
第七章 保护地设施节水灌溉原理与技术	(141)
第一节 园艺植物的水分需求与合理灌溉原则	(141)
一、水对园艺植物（包括花卉）生长发育的作用	(141)
二、外界水对植物的作用	(141)
三、合理灌溉的原则	(141)
第二节 土壤状态参数	(142)
一、土壤分散系概念	(142)
二、三相之间容积和质量关系	(142)
第三节 土水势能、张力计和土水特征曲线	(144)
一、土壤水势能	(144)

二、张力计	(146)
三、土壤水分特征曲线的建立与应用	(146)
第四节 给水灌溉的水力学原理	(147)
一、流量与流速关系及流量方程	(147)
二、流体连续方程	(149)
三、流体的能量方程	(150)
第五节 保护地节水灌溉原理及设计示例	(153)
一、保护地灌溉主要方式	(153)
二、保护地滴灌的优越性	(153)
三、滴灌的基本原理	(154)
四、滴灌灌水器性能	(159)
五、保护地滴灌系统的组成	(163)
六、保护地滴灌系统设计实例	(171)

第三篇 保护地的设施设备 及设计应用

第八章 高科技含量保护地的设施及设备

第一节 高科技含量保护地设施	(179)
一、桁架梁小尖顶型	(179)
二、大三角型屋顶连栋温室	(180)
三、圆拱型连栋温室	(181)
第二节 高科技温室常用的设备	(182)
一、保温遮阳系统	(182)
二、双层膜充气设备	(183)
三、温室降温系统设施和设备	(184)
四、温室采暖系统	(187)
五、补光系统	(188)
六、CO ₂ 施肥系统	(189)
七、高科技含量保护地灌溉和施肥系统	(189)
八、高科技含量保护地设施自动控制系统	(192)

第九章 保护地设施设计应用

第一节 总体规划设计原则	(197)
一、场地选择	(197)
二、温室区总体规划和布局	(198)
第二节 低造价半自动节能日光温室设计示例	(200)
一、背景	(200)

二、设计要求	(200)
三、温室坐落地自然地理和交通条件	(201)
四、温室工艺设备的设计	(204)
第三节 低成本圆拱型连栋半自动温室设计示例	(225)
一、背景	(225)
二、设计要求	(225)
三、温室坐落地自然条件	(226)
四、温室工艺和设备设计	(226)
第十章 自动控制在温室中的应用	(244)
第一节 自动控制系统理论概述	(244)
一、自动控制基本理论	(245)
二、自动控制系统的结构和组成	(247)
三、自动调节系统	(259)
第二节 常用的自动控制元件和装置	(259)
一、传感器	(271)
二、调节器	(275)
三、执行机构	(280)
第三节 温室环境自动控制系统	(280)
一、温室设施自动化控制的功能	(280)
二、温度综合控制	(281)
三、通风换气系统	(283)
四、温室自动灌溉系统	(285)
五、CO ₂ 浓度自动控制系统	(289)
六、温室综合控制系统	(290)
附录	(293)
一、拉丁和希腊字母发音 (近似)	
二、常用物理量在三种单位制中的单位和符号	
三、单位换算系数	
四、我国北方不同纬度主要城市重要节令日照时数表	
五、我国北方寒冷季节主要城市太阳出没时间 (北京时间)	
六、太阳时角与真太阳时对应关系表	
七、各纬度不同节气正午 (12: 00) 太阳高度角 h_0	
八、我国有代表性城市较热和寒冷月份的太阳辐射量	
九、我国 1、7 月份总辐射量分布图	
十、各类温室常用覆盖材料和建筑材料的贯流放热系数 (传热系数)	
十一、温室常用建材的导热系数	

参考文献

第一篇 保护地设施概论

第一章

绪 论

第一节 设施农业的产生和发展

许多国家和地区的农业发展历史,一般都经历过“刀耕火种”的原始农业、以犁锄镰碾为工具的传统农业和由播种到秋收全部实行机械化作业的石油农业(也称现代农业)3个阶段。虽然这3个阶段在科学技术含量、生产力水平和生产管理内容与方式等方面差异颇大,但是它们却有一个共同点,那就是都是在暴露于大气候环境中的土壤上耕作。人们称这种栽培方式为“露地栽培。”

尽管露地栽培农业至今仍然养育着地球上大部分人口,但它毕竟存在一些自身无法克服的弱点:例如不能抗御各种气象灾害导致的欠收或“颗粒无收”现象的发生;不能避免因地球“外营力”作用(主要是风、水的作用力)造成的土壤冲刷、水土流失、土地沙漠化给作物生产造成的损失;不能违背春、夏、秋、冬四季更迭的规律而生产出反季节栽培的蔬菜、水果和花卉等园艺产品;也不能使生活在极严酷环境(如高纬度地区、沙漠内、海中孤岛、水土流失重灾区)的人群随时如愿享受到新鲜水果、蔬菜和其他园艺产品。

庆幸的是,20世纪30年代,一种由科学家经200余年探索终于成熟的“无土栽培”技术在美国诞生,这就是1933年W. F. Gericke获得的“水培技术”专利,并在1935年为投资者建成8 000m²无土栽培生产设施。这种崭新的先进农业生产方式一跃而成为商业性生产手段,它标志着人类农业生产跨入一个新的里程——设施农业阶段^{①②}。

设施农业,就是在人工创造的小气候环境中(一般是指温室内气候环

① 连兆煌等. 无土栽培原理与技术. 北京:中国农业出版社,1994

② 马太和. 无土栽培. 北京:北京出版社,1985

境)栽培农作物、园艺植物和特用经济植物以及饲养各种动物的农业生产方式和过程。前者统称为“设施栽培”,后者称为“设施养殖”。

商业化设施栽培的快速发展是在第二次世界大战之后,从1945年至今已有50多年历史。近60年来,许多经济技术发达国家,特别是地处欧洲的发达国家,设施农业的发展特别引人注目。以设施农业成就最出色的荷兰为例,1993年设施蔬菜栽培总面积达到4545hm²,其中无土栽培面积为2500hm²;花卉设施栽培总面积达3333hm²,其中无土栽培面积为600hm²,占设施花卉面积的18%。日本是亚洲设施农业最发达国家,1998年设施无土栽培总面积就达1000hm²①。

一个国家,设施农业的大规模高速度发展,必然会对该国的国民经济作出巨大贡献。像荷兰,设施农业已成长为国民经济的支柱产业,20世纪90年代设施园艺产品出口总值已超过450亿美元,这表明该国早已由石油农业进入设施农业新阶段。

第二节 保护地设施概念、功能和分类

发达国家设施农业的实践证明,设施栽培和养殖与露地农业相比,在产量上可使投资者取得最丰硕的收获,在经济上能获得更高的利润,环保上能最有效地保护所在地的土地资源。可以推测,设施农业将会成为解决长期困扰人类的粮食、副食问题的最强有力手段,也会给生活在极严酷环境下的人群、地区、国家发展园艺、动物舍养等农业生产带来无限美好前景。

设施农业为何会有如此多的优越性和极强的生命力呢?其实不外乎两个原因:一是应用了可调节、控制环境因子的“保护地设施”;二是采用了“无土栽培”技术②。

“保护地设施”这个术语,通常是指由人工创建的用以栽培农作物、园艺植物和经济植物,以及养殖各种动物的农业建筑设施而言(其中,科技含量高的还包括环境因子调控设施)。但是这一术语的内涵,在不同国家和地区不尽相同。例如在经济和科学技术发达国家,凡属商业性设施栽培和设施养殖,基本上已实现了现代化。显然在这些国家,“保护地设施”与自动化程度不同的“现代温室”是同义语。所谓现代温室,就是指对环境因子能实行半自动、全自动或按人工智能软件调节、控制室内环境的温室。这类

① 陈贵林等. 蔬菜温室建造与管理手册. 北京:中国农业出版社,2000

② 刘世哲等. 现代实用无土栽培技术. 北京:中国农业出版社,2001

高科技含量的温室都具备两大功能：一是保护所栽培作物不受大气候中发生的各种气象灾害的伤害；二是能按作物生长发育的需求对设施内环境因子的物理量实行调节和控制。前者简称为保护功能，后者简称为调控功能。

但是在发展中国家，“保护地设施”这个术语的内涵就大不相同了。由于工业化水平低，投资人或生产者经济实力较薄弱、设施农业起步较晚等因素的影响，一般会出现科技含量、建筑造价、功能的完善度等差异很大的多种多样的保护地设施。例如在我国就有风障、阳畦、温床、塑料小拱棚、塑料中棚、塑料大棚、日光温室、现代温室一系列保护地设施（见第二章）。

对上述设施系列，可划分为四个档次或者类别：风障、阳畦、温床、塑料小拱棚、塑料中棚可以划分为一类，称为简易保护地设施；塑料大棚划为一类；各种日光温室可归为一类；各种现代温室划为一类。

1. 简易保护地设施

这类设施的特点是就地取材而建（木、竹、秸秆等），结构、造型和稳定性均不苛求规范，多属间断性栽培设施，使用寿命不长，内部空间狭小，作业不方便，不能调控环境因子。这类设施多用于栽培耐寒性蔬菜。目前在我国有使用面积呈减少的趋势。本书对此类设施只作简略介绍。

2. 塑料大棚

这是目前城镇郊区和农村使用较多的一类保护地设施。过去所用建筑材料以竹片、木材为多，近几年则以型钢作骨架材料居多，造型和结构日趋规范。室内空间日益增大（跨度多大于10m，脊高多2.5m以上）。骨架的寿命可延长到10~20年。大棚夏季可以手工卷膜通风换气，冬季可以土法采暖增温。这类温室在水果、蔬菜、花卉栽培上均可使用。因此本书以一定篇幅讨论这类设施。

3. 日光温室

这类设施是我国设施农业发展过程中被实践所选择保存下来的保护地设施。由于它有独到的采光和保温设计，加上造价低廉，冬季无需采暖或只需少量采暖便能栽培喜温性蔬菜和花卉，所以在我国东北、华北、西北和华中广为使用。据20世纪90年代初统计，全国日光温室总面积就达4.3万 hm^2 ，其中山东省就有1.5万 hm^2 ^①。到90年代末，全国日光温室面积已突破26万 hm^2 ^②。鉴于日光温室在技术上有许多长处，且造价低廉，在设施总面积中比重甚大等情况，所以本书对日光温室将作重点讨论。

① 陈贵林 主编. 蔬菜温室建造与管理手册. 北京: 中国农业出版社, 2000

② 吴国兴 等. 保护地设施类型与建造. 北京: 金盾出版社, 2001