

设施园艺学

面向21世纪课程教材
普通高等教育「十二五」规划教材

SHESHI

YUANYI XUE

主编

汪志辉

贺忠群

副主编

杨振超

孙治强

李清明



中国农业出版社
www.cafupub.com.cn

设施园艺学

面向21世纪课程教材
普通高等教育『十二五』规划教材

主编 汪志辉
副主编 杨振超
贺忠群
孙治强
李清明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分9章,内容包括:绪论;园艺设施的结构类型、性能及应用;园艺设施覆盖材料的种类、特性及应用;设施园艺机械与设备;我国南北方园艺设施的环境特征及其调节控制;园艺设施的规划设计与建造;现代设施园艺技术及其应用;设施无土栽培技术;园艺植物设施栽培技术;实验实习指导等内容。本书结合南北方设施园艺特点编写,内容新、起点高,知识体系更完善,能充分体现本学科的新技术与新方法,具有学科的知识性、系统性、实用性及前瞻性的特点。每章有本章要点、复习思考题,书后附有参考文献,便于自学。本书配套课件可在 <http://www.waterpub.com.cn/softdown> 查阅下载。

本书适用园林园艺专业及相关专业的师生,也可供其他科研院所科研人员和相关行业从业者参考。

图书在版编目(CIP)数据

设施园艺学 / 汪志辉, 贺忠群主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013.4
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-0769-2

I. ①设… II. ①汪… ②贺… III. ①园艺—保护地栽培—高等学校—教材 IV. ①S62

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第074480号

| | |
|------|---|
| 书 名 | 普通高等教育“十二五”规划教材 设施园艺学 |
| 作 者 | 主 编 汪志辉 贺忠群 副主编 杨振超 孙治强 李清明 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售 | 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 排 版 | 中国水利水电出版社微机排版中心 |
| 印 刷 | 北京市北中印刷厂 |
| 规 格 | 210mm×285mm 16开本 18.75印张 621千字 |
| 版 次 | 2013年4月第1版 2013年4月第1次印刷 |
| 印 数 | 0001—3000册 |
| 定 价 | 39.00元 |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

本书编委会

主 编 汪志辉 贺忠群

副主编 杨振超 孙治强 李清明

编 者 (按姓氏笔画为序排序)

孙治强 (河南农业大学)

汪志辉 (四川农业大学)

李清明 (山东农业大学)

陈双臣 (河南科技大学)

杨振超 (西北农林科技大学)

周艳丽 (吉林农业大学)

胡小京 (贵州大学)

郑阳霞 (四川农业大学)

贺忠群 (四川农业大学)

耿广东 (贵州大学)

黄 志 (四川农业大学)

总 审 邹志荣 (西北农林科技大学)

设施园艺是我国农业领域一个重要的方面，设施园艺产品如蔬菜、花卉、果品是人民生活不可或缺的农产品，随着生活水平的提高，人们对设施园艺产品的需求日益增长，加上园艺产品的附加值很高，从事设施园艺生产会有显著的经济效益。因而，我国的设施园艺事业在近年来得到迅速发展，设施园艺业已成为 21 世纪我国农业最具活力的新兴产业之一。

设施农业是利用现代农业装备，以人为的方式创造植物适宜的生长环境来生产农产品的现代农业生产方式。其通过调控环境因子，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率、劳动生产率、农产品质量和经济效益。

设施园艺是设施农业的重要组成部分，也是使用设施生产方式、方法最多的领域之一。近年来，随着科学技术的日新月异，我国南北方设施园艺的设施、设备及设施栽培方式和手段都有了长足的发展。为了适应新形势下设施园艺的发展，无论任课教师还是学生，以及从事设施园艺科研及生产的研究人员和园艺工作者，都迫切需要有一本新的、且与当前中国科技水平发展相适应的《设施园艺学》教材，本教材就是在这样的背景下编著的。

《设施园艺学》是普通高等教育“十二五”规划教材，全书共分 9 章，涉及了与设施园艺有关，同时与当前生产实际紧密关联的丰富内容，如设施园艺在农业发展中的作用，我国南北方设施园艺发展特点及差异，软化设施，植物工厂；设施园艺机械与设备；我国南北方园艺设施环境特点及其调控；现代设施园艺技术及其应用；园艺设施的类型、结构、性能、应用；设施园艺的覆盖材料；园艺设施的规划设计与建设；这些内容是以当前我国南北方设施园艺学发展需要为出发点，大大拓展了原来只针对北方地区设施园艺发展的局限，使该书的适用范围、先进设施、设备及适用技术在设施园艺方面的应用，以及对当前设施园艺生产的指导能力都大为增强。本书配套课件可在 <http://www.waterpub.com.cn/softdown> 查阅下载。

参加编写人员有：第 1 章由汪志辉、郑阳霞编写；第 2 章由耿广东、周艳丽编写；第 3 章由周艳丽、耿广东、胡小京编写；第 4 章由陈双臣、杨振超编写；第 5 章由郑阳霞、汪志辉编写；第 6 章由李清明、贺忠群编写；第 7 章由杨振超、陈双臣编写；第 8 章由贺忠群、李清明编写；第 9 章由孙治强、贺忠群编写；实验指导为黄志。全文总审为西北农林科技大学邹志荣教授。

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

编者

2013 年 1 月

• 目录

Contents

| | |
|------------------------------|----|
| 前言 | |
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 设施园艺及其在农业发展中的作用 | 1 |
| 1.1.1 设施园艺的概念、内容及其特点 | 1 |
| 1.1.2 设施园艺在农业发展中的作用 | 3 |
| 1.2 设施园艺发展概况及趋势 | 5 |
| 1.2.1 我国设施园艺发展历史及现状 | 5 |
| 1.2.2 世界设施园艺发展历史及现状 | 7 |
| 1.2.3 我国设施园艺发展过程中存在的问题 | 8 |
| 1.2.4 设施园艺发展趋势 | 8 |
| 1.3 我国南北方设施园艺发展特点及差异 | 9 |
| 复习思考题 | 10 |
| 第2章 园艺设施的结构类型、性能及应用 | 11 |
| 2.1 简易保护设施 | 11 |
| 2.1.1 地面覆盖 | 11 |
| 2.1.2 近地面保护设施 | 16 |
| 2.1.3 夏季保护设施 | 21 |
| 2.2 塑料薄膜拱棚 | 23 |
| 2.2.1 中小棚 | 23 |
| 2.2.2 大棚 | 26 |
| 2.3 温室 | 30 |
| 2.3.1 日光温室 | 31 |
| 2.3.2 现代化温室 | 40 |
| 2.4 软化设施 | 45 |
| 2.4.1 软化设施的类型 | 45 |
| 2.4.2 软化设施的应用 | 45 |
| 2.5 植物工厂 | 46 |
| 2.5.1 植物工厂的类型 | 46 |
| 2.5.2 植物工厂的应用 | 47 |
| 复习思考题 | 49 |
| 第3章 园艺设施覆盖材料的种类、特性及应用 | 50 |
| 3.1 园艺设施覆盖材料的发展及趋势 | 50 |
| 3.1.1 园艺设施覆盖材料的发展 | 50 |
| 3.1.2 设施园艺生产对覆盖材料的要求 | 51 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 3.1.3 园艺设施覆盖材料的种类 | 53 |
| 3.2 透明覆盖材料 | 54 |
| 3.2.1 农用塑料薄膜 | 54 |
| 3.2.2 硬质塑料板材及玻璃 | 60 |
| 3.3 半透明与不透明覆盖材料 | 62 |
| 3.3.1 半透明覆盖材料 | 62 |
| 3.3.2 不透明覆盖材料 | 68 |
| 3.4 新型多功能覆盖材料 | 69 |
| 3.4.1 PO膜(多层复合高效功能膜) | 69 |
| 3.4.2 聚乙烯醇(PVA)膜 | 70 |
| 3.4.3 高压低密聚乙烯(LDPE)纳米稀土复合转光膜 | 70 |
| 3.4.4 红光/远红光(R/FR转换膜) | 70 |
| 3.4.5 近红外线吸收薄膜 | 70 |
| 3.4.6 光敏薄膜 | 70 |
| 3.4.7 温敏薄膜 | 70 |
| 3.4.8 病虫害忌避膜 | 70 |
| 3.4.9 可降解膜 | 71 |
| 3.4.10 GRP(玻璃纤维增强塑料)膜 | 71 |
| 复习思考题 | 71 |
| 第4章 设施园艺机械与设备 | 72 |
| 4.1 育苗及栽植机械 | 72 |
| 4.1.1 育苗播种机械 | 72 |
| 4.1.2 栽植机械 | 76 |
| 4.2 灌溉机械设备 | 78 |
| 4.2.1 微灌系统的种类 | 78 |
| 4.2.2 微灌系统的分类与组成 | 79 |
| 4.2.3 微灌系统的田间布置 | 80 |
| 4.3 施肥设备 | 81 |
| 4.3.1 液肥装置 | 81 |
| 4.3.2 气肥装置 | 84 |
| 4.4 增温与降温设备 | 87 |
| 4.4.1 增温设备 | 87 |
| 4.4.2 降温设备 | 89 |
| 4.5 补光设备 | 91 |
| 4.5.1 温室补光常用光源及其特征 | 92 |
| 4.5.2 温室补光LED光源类型及结构 | 93 |
| 4.5.3 光照测量仪器 | 94 |
| 4.6 通风设备 | 95 |
| 4.6.1 园艺设施通风方式 | 95 |
| 4.6.2 自然通风方式 | 95 |
| 4.6.3 强制通风 | 99 |
| 4.7 卷帘(拉幕)机械 | 101 |
| 4.7.1 卷帘机的种类及工作原理 | 101 |
| 4.7.2 日光温室卷帘机的机具结构及安装 | 102 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 4.8 产品分级及包装机械 | 103 |
| 4.8.1 产品分级、分选设备 | 103 |
| 4.8.2 包装机械 | 108 |
| 复习思考题 | 111 |
| 第5章 我国南北方园艺设施的环境特征及其调节控制 | 112 |
| 5.1 设施内光照环境及其调节控制 | 112 |
| 5.1.1 设施内光照的特点 | 112 |
| 5.1.2 影响设施光环境的因素 | 113 |
| 5.1.3 设施内光照环境的调节与控制 | 115 |
| 5.2 设施热平衡原理及其温度的调节控制 | 119 |
| 5.2.1 设施内温度的特点 | 119 |
| 5.2.2 设施热平衡原理 | 120 |
| 5.2.3 设施内温度的调节与控制 | 123 |
| 5.3 设施湿度环境及其调节控制 | 128 |
| 5.3.1 设施内湿度的特点 | 128 |
| 5.3.2 设施内湿度的调节与控制 | 129 |
| 5.4 设施气体环境及其调节控制 | 132 |
| 5.4.1 设施内气体环境特点 | 132 |
| 5.4.2 设施内气体调控技术 | 135 |
| 5.4.3 设施土壤气体环境调控 | 137 |
| 5.5 设施土壤环境及其调节控制 | 138 |
| 5.5.1 设施土壤环境特点 | 138 |
| 5.5.2 设施土壤环境的调节与控制 | 139 |
| 5.6 设施灾害性天气及预防对策 | 142 |
| 5.6.1 大风 | 142 |
| 5.6.2 暴雨 | 143 |
| 5.6.3 大雪 | 143 |
| 5.6.4 连续阴天 | 143 |
| 5.7 园艺设施的综合环境管理 | 143 |
| 5.7.1 综合环境管理的目的与意义 | 143 |
| 5.7.2 综合环境管理的方式 | 144 |
| 5.7.3 采用计算机的温室环境综合调控 | 145 |
| 5.7.4 设施园艺计算机综合环境管理的发展趋势 | 146 |
| 复习思考题 | 146 |
| 第6章 园艺设施的规划设计与建造 | 148 |
| 6.1 园艺设施的总体规划设计要求 | 148 |
| 6.1.1 园艺设施规划设计的重要性 | 148 |
| 6.1.2 园艺设施的建筑特点与要求 | 148 |
| 6.1.3 场地的选择与布局 | 149 |
| 6.1.4 设施建筑计划的制定 | 150 |
| 6.1.5 温室工程概预算 | 152 |
| 6.1.6 设施建造的招标与标书的撰写 | 153 |
| 6.2 园艺设施的荷载 | 154 |
| 6.2.1 园艺设施的荷载类型 | 154 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 6.2.2 园艺设施的结构设计的力学基本概念 | 159 |
| 6.3 园艺设施的结构设计与施工 | 160 |
| 6.3.1 塑料大棚的设计与建造 | 160 |
| 6.3.2 高效节能日光温室的设计与建造 | 163 |
| 6.3.3 现代化温室的设计与建造 | 174 |
| 复习思考题 | 178 |
| 第7章 现代设施园艺技术及其应用 | 179 |
| 7.1 计算机信息技术在设施园艺中的应用 | 179 |
| 7.1.1 温室环境自动控制系统 | 179 |
| 7.1.2 温室作物生产系统模拟及模型 | 184 |
| 7.1.3 信息技术在设施园艺其他方面的应用 | 187 |
| 7.2 栽培新技术在园艺植物上的应用 | 189 |
| 7.2.1 设施消毒技术 | 189 |
| 7.2.2 授粉技术 | 190 |
| 7.2.3 有益微生物应用技术 | 191 |
| 7.2.4 嫁接技术 | 192 |
| 7.3 设施园艺种苗工程技术 | 193 |
| 7.3.1 脱毒苗生产技术 | 193 |
| 7.3.2 工厂化育苗技术 | 194 |
| 复习思考题 | 199 |
| 第8章 设施无土栽培技术 | 200 |
| 8.1 无土栽培概述 | 200 |
| 8.1.1 无土栽培的含义 | 200 |
| 8.1.2 无土栽培的分类 | 200 |
| 8.1.3 无土栽培发展的历史与现状 | 200 |
| 8.1.4 无土栽培的优点和应用 | 202 |
| 8.2 水培和雾培技术 | 205 |
| 8.2.1 水培技术 | 205 |
| 8.2.2 雾培技术 | 209 |
| 8.3 基质栽培技术 | 210 |
| 8.3.1 基质栽培的特点 | 210 |
| 8.3.2 无土栽培固体基质的种类和要求 | 211 |
| 8.3.3 基质的消毒与更换 | 212 |
| 8.3.4 基质培的类型与设备 | 213 |
| 8.4 营养液的配制与管理 | 218 |
| 8.4.1 原料及其要求 | 218 |
| 8.4.2 营养液的组成 | 220 |
| 8.4.3 营养液的配制技术 | 221 |
| 8.4.4 营养液配方 | 223 |
| 8.4.5 营养液的管理 | 223 |
| 8.5 主要园艺作物无土栽培技术 | 225 |
| 8.5.1 番茄 | 225 |
| 8.5.2 黄瓜 | 227 |
| 8.5.3 生菜 | 228 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 8.5.4 紫背天葵 | 230 |
| 8.5.5 草莓 | 231 |
| 8.5.6 香石竹 | 233 |
| 8.5.7 红掌 | 234 |
| 8.5.8 百合 | 236 |
| 8.5.9 非洲菊 | 237 |
| 复习思考题 | 238 |
| 第9章 园艺植物设施栽培技术 | 239 |
| 9.1 蔬菜设施栽培 | 239 |
| 9.1.1 蔬菜设施栽培概述 | 239 |
| 9.1.2 茄果类蔬菜设施栽培 | 241 |
| 9.1.3 瓜类蔬菜的设施栽培 | 247 |
| 9.2 果树设施栽培 | 255 |
| 9.2.1 概述 | 255 |
| 9.2.2 葡萄设施栽培 | 256 |
| 9.2.3 桃设施栽培 | 261 |
| 9.2.4 草莓设施栽培 | 264 |
| 9.3 花卉设施栽培 | 269 |
| 9.3.1 概述 | 269 |
| 9.3.2 设施栽培花卉的主要种类 | 270 |
| 9.4 切花设施栽培 | 271 |
| 9.4.1 月季 | 271 |
| 9.4.2 百合 | 274 |
| 9.4.3 蝴蝶兰 | 275 |
| 复习思考题 | 277 |
| 实验实习指导 | 278 |
| 实验一 常见园艺设施类型的调查 | 278 |
| 实验二 常见园艺设施内小气候观测 | 278 |
| 实验三 组合式塑料大棚的规划与装配 | 279 |
| 实验四 电热温床的设置 | 280 |
| 实验五 瓜类嫁接育苗技术 | 281 |
| 实验六 无土栽培营养液的配制 | 282 |
| 实验七 设施果菜的植株调整 | 283 |
| 实验八 现代设施农业示范园区实习 | 284 |
| 参考文献 | 286 |

第1章 绪 论

【本章要点】 了解设施园艺发展历史、现状及未来趋势，设施园艺在农业发展中的作用。掌握设施园艺的概念、内容及其特点。教学难点是我国南北方设施园艺发展特点及差异。

我国应用设施栽培园艺作物已有 2000 多年的悠久历史，是世界上最早进行园艺设施栽培的国家。随着人民生活水平的提高及农业现代化建设的需要，园艺产品的品质要求及周年供应需求矛盾越来越突出，使得设施园艺事业在近年来得到迅速发展，其发展方向为自动化、智能化、无人化，并对设施生产的园艺产品质量要求也越来越高。同时，由于我国南北气候差异较大，因而我国南北方设施园艺发展呈现不同的特点及差异。

1.1 设施园艺及其在农业发展中的作用

随着人民生活水平的不断提高，以及科学技术的快速发展，设施园艺在农业生产中的地位越来越重要。目前，设施园艺已成为农业现代化的重要途径之一，在知识经济时代和信息时代的今天，设施园艺的内涵和高科技应用水平不断提高，越来越显示出其强大的生命力和广阔的发展前景。

1.1.1 设施园艺的概念、内容及其特点

设施园艺 (Protected cultivation, Cultivation under cover) 是指在不适宜园艺作物 (菜、花、果) 生长发育的寒冷或炎热季节，利用保温、防寒或降温、防雨等设施、设备，人为地创造适宜园艺作物生长发育的小气候环境，不受或少受自然季节的影响而进行的园艺作物生产。由于生产的季节往往是在露地自然环境下难以生产的时节，又称“不时栽培”或“反季节栽培”、“错季栽培”等。

设施园艺是一门多学科交叉的科学，涉及三个主要学科，即生物科学、环境科学和工程科学，是三个学科的交叉与有机结合。生物学科主要包含生产对象即蔬菜、花卉和果树，而这三大类园艺作物又各自包含了许多种类和品种。设施环境包括光照、温度、湿度、气体、土壤 5 个方面。首先，应了解每个环境因子对园艺作物生长发育的影响及生理机制；其次，要掌握设施的 5 个环境因子特点，与露地栽培有什么不同；第三，也是最重要的，就是根据栽培作物的生物学特性，如何进行环境调节控制。既要了解作物与环境间的定性、定量关系，还要掌握各种调控手段、调控设备的运用，以及现代化的自动控制技术，计算机管理等。使作物与环境达到最理想、最完美、和谐的统一，以实现高产、优质、高效的生产目的。工程学科则是建造出能够满足作物对光、温、湿、气及土 5 个环境因子需要的设施类型，为作物提供最优的生育空间。这就需要有科学合理的总体规划设计，设施选型和结构优化设计，环境调控设计 (如采暖、保温、降温、加湿与除湿)，灌溉与施肥，通风换气，CO₂ 气体施肥，建筑材料的选择和计算，建筑施工技术等。

1. 设施园艺工程

设施园艺工程研究的主体对象主要有简易保护设施、塑料大棚 (含中小拱棚) 及温室等。

(1) 简易保护设施。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。其主要有风障、阳畦、温床，以及简易覆盖等。

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，是利用不同防护材料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。

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。

(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6.0~1.0m，常用跨度为6.0m、6.4m、8.0m、9.6m和10.8m等。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。

(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、莴苣及番茄等。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，以及温度、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。

2. 设施栽培的方式

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，也称为保护地栽培。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生长发育；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、秋延后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或栽植在设施内,是作物提早成熟的栽培方法。

(3) 秋延后栽培。又称秋冬型栽培,适用于随季节变化,即气温在变低,光照在减弱,作物生长也将变慢的情况下。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。秋延后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园艺植物的方式。

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~翌年6月采收结束,在10月下旬~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和营养基质的方法进行栽培。无土栽培所用的营养基质或营养液中完全具有,甚至超过天然土壤所供给的各种营养物质,因此更有利于植物的生长发育。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园艺产品等优点。

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、栽培及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学科。

设施园艺的特点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、改变和模拟园艺植物的自然环境,使其达到最适的温度、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。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。设施园艺可以实现反(错)季节及周年生产,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。

1.1.2 设施园艺在农业发展中的作用

1. 设施园艺与人民生活的关系

蔬菜、花卉和水果,是人民生活中不可缺少的食品。随着人民生活水平的不断提高,特别是解决了温饱而步入小康之后,园艺产品的不时供给,已成为农业产业结构调整的重要内容。蔬菜生产是农业生产的重要组成部分,由于蔬菜中含有丰富的维生素、矿物质、碳水化合物、蛋白质及脂肪等多种营养物质,其中维生素和矿物质是粮食作物或其他动物性食品中所没有的,因此与人民健康息息相关。蔬菜既是主要的园艺作物,也是我国设施园艺生产面积居首位的作物,据有关部门统计,1980~1981年,我国设施蔬菜的人均占有量只有0.2kg,1999年增加到59kg,增加了290多倍,到2011年已达到80kg。蔬菜设施栽培之所以发展很快,是因为自然季节的限制,使我国很多地区不可能一年四季进行露地蔬菜生产,蔬菜消费的经常性与生产的季节性存在很大矛盾,严寒冬季或炎热多雨的夏季,许多蔬菜难以在露地生长,只能靠设施栽培,才能做到周年生产、均衡供应。尽管依靠大市场流通或贮存保鲜,也对蔬菜周年均衡供应起到很大作用,但人民生活水平提高后,对蔬菜质量要求越来越高,蔬菜的新鲜度与质量关系很大,很多不耐贮运的蔬菜只能靠各种园艺设施,进行反季节栽培,才可能有高质量产品供应市场,满足人民生活的需要。

当今社会,花卉也逐渐成为人们生活中不可缺少的内容。它是美的象征,也是社会文明进步的体现。花卉是城乡园林绿化和美化的重要材料,也可起到调节空气温度、湿度,吸收有害气体,吸附烟尘,净化

环境的作用。花卉是人类精神文明的反映，花卉艳丽的色彩，沁人心脾的芳香，能令人赏心悦目，心旷神怡，既可陶冶情操，还有利于人们身心健康。花卉生产是园艺生产重要组成部分，经济效益日趋显著。在设施园艺生产中，花卉栽培的面积增加得很快，反季节栽培的花卉，经济效益已超过蔬菜。一些高档花卉的栽培，尤其需要环境的保证，所以设施栽培必不可少。

果树设施栽培在我国起步较晚，除草莓、葡萄、桃近年来发展较快以外，其他果树尚处于试验阶段，很多果树设施栽培尚属空白。但随着国民经济发展，对外开放不断扩大，果品出口需求的增长，也需要果品供应新鲜多样，品质上乘，尤其那些成熟期早、不耐贮运、供应期短的果树，如樱桃、桃、李、杏、葡萄等，在设施栽培条件下，可使其成熟期提早2个月以上，是解决人们对淡季水果需求的重要途径。

2. 设施园艺在国民经济中的地位

我国农业发展正面临着耕地不断减少、人口不断增加及社会总需求不断增长的严峻形势。自1992年以来，全国耕地面积每年约减少30万 hm^2 ，而总人口却以0.17%的速度递增，预计21世纪中叶我国人口将达到16亿，耕地将减少1033.33万 hm^2 。在人均自然资源相对短缺的情况下，我国主要农副产品的总供给与不断增长的总需求，能否保持基本平衡和协调发展，是关系到人民生活、经济发展、国家繁荣，以及社会安定与否的根本性问题。而蔬菜、花卉、水果，则是与人民生活关系极为密切，产品附加值高，经济效益显著，占有重要位置的农副产品。

改革开放以来，我国农业生产取得了长足的进步，从中央到地方，各级政府主要领导大抓“米袋子”和“菜篮子”工程，使全国人民的生活水平由温饱转向了小康，现在正向中等发达国家水平努力。近年来，设施园艺面积大幅度增加，仅蔬菜设施栽培从1991~1999年就增加了8.8倍，比1981年增加了193.8倍，总面积跃居世界第一位。对解决大中城市蔬菜供应，丰富城乡人民的菜篮子起到了重要作用。但是从今后发展看，面对资源紧缺、人口膨胀的严峻现实，必须改变农业低效高耗的增长方式，要走技术替代资源的路子，最终要走向农业工业化的发展道路。只有这样，才有可能在有限的土地资源上，创造出高产、优质、高效的农产品。因为设施农业是人工控制环境，使动、植物获得最适宜的生育条件，从而延长生产季节，获得最高的产出，而设施园艺则是设施农业的重要方面。党的十五届三中全会作出了“中共中央关于农业和农村工作若干重大问题的决定”，其中谈到今后工作重点时，提到了“现代集约化种养技术”，这里面的“种”指的就是设施园艺，这充分说明它与人民生活水平与生活质量的提高关系极为密切。

从今后发展看，不仅城市人口对园艺产品的需求越来越多，质量越来越高，而且由于城市化进程的加快，原来在城镇郊区进行园艺生产的农民，有相当数量转成了消耗产品的城镇居民，必须有充足的园艺产品保证扩大的需求。而这又不能靠扩大耕地面积解决，只能通过设施栽培途径提高单产。例如，荷兰温室番茄产量可达54 kg/m^2 ，黄瓜72 kg/m^2 ，是露地栽培的十几倍甚至几十倍，正是因为荷兰温室环境控制设备和栽培技术水平高，可全天候生产，因此大大提高了土地利用率和生产效率。

从我国农村改革开放进行产业结构调整看，粮食面积减少后种什么？实践证明，发展设施园艺是一条脱贫致富、逐步实现农业现代化的有效途径。许多发达国家的经验证明，发展设施农业是实现农业现代化的必由之路，而设施园艺则是设施农业重要方面之一，充分反映了设施园艺在国民经济中的特殊地位。

3. 设施园艺在园艺作物周年生产中的作用

设施园艺的作用因地而异，由于地区的自然条件不同，市场的需求不同，采用的设备及生产方式各有特点，就其生产作用而言，以蔬菜为例可概括为以下10种。

(1) 育苗。秋、冬及春季利用风障、阳畦、温床、塑料棚及温室为露地和设施栽培培育各种蔬菜幼苗，或保护耐寒性蔬菜的幼苗越冬，以便提早定植，获得早熟产品。夏季利用荫障、荫棚等培育秋菜幼苗。

(2) 越冬栽培。利用风障、塑料棚等于冬前栽培耐寒性蔬菜，在保护设备下越冬，早春提早收获，如风障根茎菠菜、韭菜、小葱等；大棚越冬菠菜、油菜、茼蒿；中小棚的芹菜、韭菜等。

(3) 早熟栽培。早熟栽培指利用保护设施进行防寒保温，提早定植，以获得早熟的产品。

(4) 延后栽培。夏季播种，秋季在保护设施内栽培果菜类、叶菜类等蔬菜，早霜出现后，仍可继续生长，以延长蔬菜的供应期。

(5) 炎夏栽培。高温、多雨季节利用荫棚、大棚遮荫及防雨棚等设施，进行遮荫、降温、防雨，于炎

热的夏季进行栽培。

(6) 促成栽培。促成栽培指在最寒冷的冬季利用温室（日光或加温），栽培喜温果菜类蔬菜，促使形成产品。

(7) 软化栽培。利用棚、室（窖）或其他软化方式，为形成的鳞茎、根、植株或种子创造条件，促其在遮光的条件下生长，而生产出青韭、韭黄、青蒜、蒜黄、黄葱（羊角葱）、豌豆苗、萝卜芽、苜蓿芽、菊苣及香椿芽等芽菜。

(8) 假植栽培。秋、冬期间利用保护设施把在露地已长成或半长成的蔬菜连根掘起，密集围栽在阳畦或小棚中，使其继续生长，如油菜、芹菜、莴笋、甘蓝、小萝卜和花椰菜等，经假植后于冬、春季供应新鲜蔬菜。

(9) 利用园艺设施进行无土栽培。

(10) 为种株进行越冬贮藏或采种。

上述这些作用同样适用于花卉尤其是草本花卉的周年生产，对于果树最主要的作用则是早熟栽培或促成栽培。

1.2 设施园艺发展概况及趋势

设施园艺经历 2000 多年的历史与发展，其结构类型已从原始到现代。设施环境调控技术水平从初级到高级，目前正朝智能化及无人化方向发展。我国的设施园艺发展虽然取得了长足的进步，但与世界先进水平相比，尚有一段距离。

1.2.1 我国设施园艺发展历史及现状

我国应用保护设施栽培蔬菜已有悠久的历史，早在公元前 551~前 479 年间，《论语》中记载有“不时不食”是不时栽培的语源。我国保护地栽培最早有文字记载的是在西汉（公元前 206~公元 23 年），《汉书》循吏传记载“太官园种冬生葱韭菜茹，覆以屋庑，昼夜燃蕴火，待温气乃生”。说明我国在 2000 多年前已能利用保护设施栽培多种蔬菜。到了唐朝，保护地种菜又有发展，唐朝（公元 618~907 年）诗人王建在宫前早春诗中：“酒幔高楼一百家，宫前杨柳寺前花，内苑分得温汤水，二月中旬已进瓜”，说明 1200 多年前冬季已利用天然温泉进行瓜类栽培。又据元朝（1279~1368 年）王桢著《农书》记载：“至冬移根藏以地屋荫中，培以马粪，暖而即长”。又说：“就旧畦内，冬月以马粪覆之，于向阳处，随畦用蜀黍篱障之，遮北风，至春，疏其芽早出”，“十月将稻草灰盖三寸，又以薄土覆之，灰不被风吹，立春后，芽生灰内，即可取食”。说明 600 多年前，已有阳畦、风障韭菜栽培。明朝（1368~1644 年）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，北京的温室黄瓜促成栽培已取得成功。随后相继创造了北京式的土温室、改良式温室。我国劳动人民在常年生产实践中，战胜自然，不断革新，创造了很多保护地类型，显示了无穷的智慧，积累了丰富的保护地栽培经验。但在封建时代，人民生活贫困，而保护地产品又为少数统治阶级所享受，保护地栽培的发展极其缓慢。矮小的土温室延续用于生产竟达 1000 年之久。保护地的新类型、栽培的新技术、新方式很少被提出。新中国成立后，随着生产关系的改变，生产力的发展，人民生活水平的提高，促使保护地蔬菜的生产有了巨大的发展。

20 世纪 50 年代初，对中国传统的北京阳畦、北京加温温室的蔬菜栽培技术和设施结构性能，进行了系统的调查研究总结，并出版了调查报告专著。促使阳畦、温室设施和栽培技术在中国北方大中城市迅速推广应用，对冬、春淡季蔬菜供应起到一定作用。20 世纪 50 年代末，中国出现了塑料棚和日光温室，为解决中国北方冬、春淡季蔬菜供应起到较大作用。为了解决多样化鲜嫩蔬菜周年均衡供应的需求矛盾，相继发展了加温温室、育苗工厂、无土栽培、地膜、遮阳网及无纺布等覆盖栽培，形成了有中国特色的设施蔬菜园艺生产新体系。

从设施类型看，我国蔬菜设施栽培面积最大的是塑料拱棚和单屋面温室，尤其是不加温的节能型日光温室，已成为我国温室的主导类型。

1. 塑料拱棚的发展

20世纪50年代中期,从日本引进农用聚氯乙烯(PVC)薄膜,作为小拱棚覆盖材料,进行蔬菜春季早熟栽培,效果良好。20世纪60年代初,上海、北京先后生产出农用聚氯乙烯和聚乙烯薄膜,大大推动了我国设施园艺的发展。广泛应用到园艺作物的育苗和蔬菜冬春设施栽培上,形成了新兴的中小拱棚覆盖栽培体系。

1965年,吉林省长春市郊区出现了中国第一栋塑料大棚(面积 0.07hm^2),进行黄瓜春季早熟栽培,获得成功,取得较大的经济效益和社会效益。

1975年、1976年、1978年在农业部主持下先后在吉林省长春市、山西省太原市和甘肃省兰州市召开了第一、第二、第三次全国塑料大棚生产科研协作会议,对全国各地大棚的构造、性能以及栽培技术、生产科研成果进行交流讨论。促使塑料棚从中国北方向南方发展、从平原向山区丘陵地区发展,逐渐普及全国,出现了第一次发展高峰,总面积近 $1.6\text{万}\text{hm}^2$ 。

1980年北京塑料研究所首先研制出低密度聚乙烯长寿农膜(LDPE),同年,中国农业工程研究设计院设计出国产镀锌钢管组装式棚架和温室骨架。1984年,中国国家标准局批准颁布实施了“农用塑料棚架装配式钢管骨架”国家标准。促使塑料棚的建造和设施蔬菜园艺事业有较快和较大地发展。因此,1988年以塑料棚为主要类型的中国设施园艺,出现了第二次发展高峰。塑料棚总面积已达到 $9.56\text{万}\text{hm}^2$,跨入设施园艺发展大国之列。塑料大棚的发展,解决了我国蔬菜市场早春和晚秋的淡季缺菜问题。

2. 日光温室的发展

我国北方过去冬季主要依靠单屋面加温温室生产蔬菜,但20世纪80年代以来因为煤炭资源紧张,价格上涨,难以大面积推广。为了寻求具有中国特色的温室蔬菜生产发展道路,广大科技工作者和蔬菜生产者,进行了坚持不懈地努力,创造出具有中国特色的节能型日光温室。它发挥了单屋面温室充分采光与严密防寒保温的特性,冬季不加温也能生产新鲜蔬菜。辽宁省农民创建的海城日光温室和瓦房店日光温室,可在北纬 $40^\circ\sim 41^\circ$ 的高寒地区,严冬不加温生产出喜温果菜如黄瓜、番茄等,做到1月上市,是我国温室蔬菜栽培史上的重大突破,令世人瞩目。日光温室就其完善程度,与国外的现代化温法相比,仍有较大差距,但其造价低廉,是国外温室相同面积造价的 $1/10$ 甚至 $1/50$,不仅符合中国国情,而且经济效益与社会效益十分显著,因此发展十分迅速,从根本上解决了我国北方冬季新鲜蔬菜供应的难题。

3. 现代化连栋温室的发展

中国第一栋现代化连栋加温温室,1977年在北京市玉渊潭公社建成。虽然起步较晚,但它是我国自行设计施工的大型钢构架、钢化玻璃的连栋温室,主要用于全年栽培黄瓜、番茄等果菜。1979~1987年之间,北京、哈尔滨、大庆、上海、深圳、乌鲁木齐及广州等地,先后从东欧、美国、日本等引进屋脊形和拱圆形玻璃或硬塑连栋温室,总面积 19.2hm^2 。当时只注意引进了温室设备,忽视了栽培技术。这些大温室用于蔬菜生产的面积占 50% 、花卉占 40% 。由于现代化温室冬季主要靠加温才能生产,故能源成本很高,运行几年之后,多数难以维持,加上栽培技术跟不上,只好停产。

“九五”期间大型温室引进出现高潮,1996年底至2000年不到4年时间,花了大约1亿美元从法国、荷兰、西班牙、以色列、韩国、美国、日本、中国台湾省等引进全光大型温室,面积达 175.4hm^2 ,引进的类型有连栋玻璃温室、连栋双层塑料薄膜温室、连栋充气温室,连栋PC板温室,及其与之相配套的外遮阳、内覆盖、水帘降温、滚动苗床、行走式喷水车、行走式采摘车、计算机管理系统和水培系统等。这次引进过程中,特别是北京、上海几个园区从荷兰、以色列、加拿大引进温室硬件的同时,还引进了配套品种和计算机管理“专家系统”,并且有国外专家进行为期一年的现场指导,取得良好效果,使国人有机会参观学习,了解当今世界发达国家的工厂化农业设施设备、技术管理的先进性及现代化水平。

中国花卉设施栽培历史悠久,早在2000多年以前(公元前200年)汉高祖建造“未央宫”,宫中有温室殿,冬季陈列花卉盆景。汉武帝(公元前138年)重建扩建“上林苑”,在公元前111年开始修建“扶荔宫”,广种奇花异草、林果树木,形成了中国古代苑池园林特点,也是中国原始花卉盆景温室之始。中国古代盆景有始于汉、兴于唐、盛于明清之说。

南宋(1127~1279年)有“堂花”(唐花)促成栽培技术,在齐东野语“马滕艺花”中记载了牡丹、桃、梅在冬、春提早开花,或桂花在炎夏开花的促成栽培技术,这是中国最早的设施花卉栽培环境工程技

术。清光绪年间(1875~1908年)中山公园的唐花坞,都体现了中国古代设施花卉园艺的发展水平和精湛技艺。

我国花卉现代设施栽培与蔬菜相比,起步晚得多,大面积种植到20世纪80年代末期才开始,但由于其经济价值高,效益好,目前正处在蓬勃发展阶段。

果树设施栽培发展最早的是草莓塑料棚栽培,以后日光温室果树栽培也逐渐多起来。目前北方主要利用日光温室栽培果树;南方则以塑料棚栽培为主。总体说来,果树设施栽培尚处在起步阶段。

1.2.2 世界设施园艺发展历史及现状

国外设施园艺的发展,以罗马帝国最早,据罗马哲学家塞内卡(Seneca,公元前3年~公元69年)记载了应用云母片作覆盖物生产早熟黄瓜。又据罗马农学家科拉姆莱(Columella)和诗人马泰阿(Martial)记载,公元14~37年间,为了全年生产黄瓜,冬季用木箱装土,覆盖云母薄片,利用太阳光热进行生产。到16~17世纪欧洲各地保护地设备才有发展。

法国17世纪初,利用木箱种植早熟豌豆。亨利四世(1590~1629年)为使豌豆更早熟,在法国北郊建造向阳的拱形房屋种植。路易十四(1640~1710年)最早利用玻璃窗覆盖的温床种植蔬菜,并建成了有简单玻璃屋顶的温室,是法国最早的玻璃温室。

德国于1619年用木板组装成85.34m×9.75m的临时性双屋面温室,是德国最早的温室。

据英国博物学者贝氏(Bay,1627~1705年)记载:伦敦西南部阿波塞卡里斯(Apothecaries)园内开始建造与德国甜橙温室相似的玻璃温室。1717年,把温室全都装上玻璃,成为英国的玻璃温室。1815年,英国开始建成半圆形弯曲屋顶的温室。19世纪初,英国学者大量研究温室屋顶的坡度及加温设备问题。

美国的温室是从16世纪以来,随着欧洲的移民而引入。18世纪初,始有文字记载:安德鲁(Andrew)、范尤尔(Faneuil)以观赏为目的在波士顿开始建温室。1764年在纽约,由詹姆斯·毕克曼(Cames Beekman)建成比欧洲还简单而粗糙的温室。19世纪初,在美国各地推广改进温室,1806年,M·麦亨(全名)建成屋顶有1/3的玻璃板,这是美国最早的半玻璃屋顶的温室。1836年,Thomas在芝加哥市建造3/4式温室。19世纪中期,美国各地成立了温室建筑业,1872年,建成圆屋顶式的温室,作为观赏陈列室,并在各地推广。其后,又在芝加哥市建成铁架温室,是美国西部最早出现的铁架温室。美国西部的温室发展最盛,当时已有8hm²。连栋式温室,俄亥俄州最大的连栋温室为12hm²。

日本江户时代,庆长年间(1596~1615年)于静冈县采用草框油纸窗温床,早春育苗,进行瓜果类蔬菜早熟栽培。1868年东京的青山、麻布等地,引入欧美的果树、蔬菜、花卉栽培玻璃温室。1889年日本福羽逸人在庭园里建成小型温室,1890年又在新宿的植物御园内建成玻璃窗框的温床栽培蔬菜,这是日本最早进行蔬菜保护地栽培的时期。1892年福羽又在植物御园内建造正式的温室,栽培甜瓜。

荷兰温室的记载始于1750年法国博物学家Adanson的著作中,在Willian一世初期,Miller用栎木建造加温温室,在其内种植柑橘和凤梨。1832年,荷兰全国各地利用木框温床和温室进行甜瓜、葡萄早熟和促成栽培,产品运往巴黎、伦敦出售。1903年荷兰建成第一栋玻璃温室,生产蔬菜。1967年荷兰国立工学研究所的Germing,首创Venlo(芬洛)型连栋玻璃温室(又名明亮温室)。该温室结构简洁坚固,透光量大,环境调控能力强,管理方便,造价相对低廉,在全世界各国推广应用效果良好,至今仍为连栋玻璃温室的主流类型。

从世界现代园艺设施发展情况看,都以大型连栋温室为主,其中塑料薄膜温室约为60万hm²(含中国日光温室及塑料大棚),主要集中在亚洲。除中国外,日本、韩国等都以大型连栋温室为主,日本面积最大。日本从20世纪60年代温室由单栋向连栋大型化、结构金属化发展。20世纪70年代为高速发展时期,政府向农户提供发展大型现代化温室的费用资助,国库补助50%,其他各种补助30%~40%,农户自付资金只有10%~20%,大大推动了日本设施园艺的发展,使其进入到世界先进行列。

美国温室面积目前约有1.9万hm²,主要种植花卉,达1.3万hm²。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PC(聚碳酸酯)板材温室,全世界这种温室面积目前约有1万多hm²。美国温室业社会化服务十分周到,对尖端技术研究