



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

园艺设施学

邹志荣 主编

中 国 农 业 出 版 社

面向21世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

园艺设施学

邹志荣 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

园艺设施学 / 邹志荣主编. —北京: 中国农业出版社,
2002.8
面向 21 世纪课程教材
ISBN 7-109-07533-8

I. 园... II. 邹... III. 园艺-设备-教材
IV. S6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 045110 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)

出版人: 傅玉祥
责任编辑: 毛志强 段丽君

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 21

字数: 373 千字

定价: 27.70 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

园艺设施学是一门涉及到园艺学和环境调节学、机械和建筑学的跨学科领域的学科。它主要包括园艺所用的设施、装置和环境调控等方面的内容,是设施园艺学的一个分支,是园艺学科学生和研究者选学的一门重要课程。

我国农业院校已开设了设施园艺学课程。其中对园艺作物的设施栽培技术方面作了详细论述,而园艺设施的设计、施工、装置及环境调控方面的内容较少,其深度和广度也不够。本教材就是为了深化和完善设施部分而编写的。其目的是让学生和研究者掌握园艺设施的设计原理,了解各种装置的性能及其应用,掌握环境学的有关知识,学会环境调控的实用技术。

本教材主要包括四个方面的内容。一是园艺工程设施,如温室、塑料棚设施等的设计和施工;二是环境调节控制设备,如温室内采暖、降温、通风、灌水、配电、照明、二氧化碳气体施肥设备的设计、安装调试以及使用技术;三是环境监视、信息传递设备,光、温、湿、气的监测仪器和自动控制等配套使用技术;四是材料和设施用作业机械与设备。本教材由十章组成。第一章叙述园艺设施的发展现状与趋势;第二章为温室设计与建造;第三至第七章为设施环境调控设备的设计与装置;第八章为园艺设施建筑识图;第九章是设施建筑和覆盖材料;第十章为设施用作业机械与设备。上述内容结合了国内外的园艺设施发展情况和技术,参考了多种书籍与大量资料后编写的。当然,仅一本教材并不能包括所有内容,希望读者在学习当中,参阅其他有关资料,加以理解和掌握。

本教材由邹志荣教授主编,李保明教授和王秀峰教授为副主编。编写人员有西北农林科技大学邹志荣、林性粹、张新平、程冬玲、高树贤、吕新民、卢

博友和中国农业大学水利土木工程学院李保明、梁宗敏，中国农业大学园艺学院陈青云、陈端生，江苏理工大学机械工程学院李萍萍、胡永光、左志宇，山东农业大学园艺学院王秀峰、李进京，上海交通大学农学院黄丹枫，南京农业大学园艺学院郭世荣。各部分编写分工如下：前言、第一章由邹志荣执笔；第二章由李保明、梁宗敏执笔；第三章由王秀峰、李进京执笔；第四章由张新平、郭世荣执笔；第五章由林性粹、程冬玲执笔；第六章由卢博友、黄丹枫执笔；第七章由李萍萍、胡永光、左志宇执笔；第八章由高树贤执笔；第九章由陈青云、陈端生执笔；第十章由吕新民执笔。全书最后由邹志荣教授和林性粹教授汇总、整理完成。本教材由南京农业大学李式军教授审定。

本教材编写由于水平有限，时间仓促，错误之处在所难免，谨请读者批评指正。

编 者

2002年5月

目 录

前言

第一章 园艺设施的发展现状与趋势	1
第一节 园艺设施的意义及发展史	1
一、园艺设施在农业生产上的意义	1
二、园艺设施的发展简史	2
第二节 园艺设施生产的现状与展望	5
一、园艺设施面积及内部装备	5
二、国外园艺设施发展现状与趋势	6
三、国内园艺设施发展概况与趋势	9
第二章 温室设计与建造	15
第一节 温室建造特点与要求	15
一、温室建造的特点	15
二、温室建造的要求	16
第二节 场地选择与布局	21
一、场地的选择	21
二、场地的布局	23
第三节 现代化温室结构设计 with 建造	25
一、现代化温室的主要结构类型	25
二、现代化温室的各种荷载	30

三、现代化连栋温室结构的设计	37
第四节 日光温室结构设计建造	44
一、概述	44
二、日光温室的结构分析	46
三、日光温室的设计	49
四、常见加温温室的结构设计	54
五、温室的施工	56
第三章 温室采暖设备与配置	61
第一节 采暖的设计原理与程序	61
一、温室环境与园艺作物生育	61
二、温室的热平衡原理	63
三、采暖设备设计的条件与程序	66
第二节 采暖负荷的计算	67
一、最大采暖负荷	67
二、期间采暖负荷	72
三、燃料消耗量的计算	73
第三节 采暖设备配置	74
一、地上采暖的设计	74
二、地下采暖的设计	82
第四章 温室通风换气与降温设备	85
第一节 通风方式与设备	85
一、通风原理	85
二、通风量的计算	86
三、自然通风设施	88
四、强制通风设施	94
第二节 降温方式与设备	95
一、蒸发降温	95
二、屋面喷水降温	98
三、遮荫降温	98
第三节 二氧化碳气体施用方式与设备	100
一、施用二氧化碳的意义	100
二、二氧化碳浓度的测定法	101

三、二氧化碳施用方式和施用设备	102
第五章 温室灌水方式与设备	106
第一节 设施内的水分调控	106
一、对设施内水分状况调控的基本要求	106
二、设施内空气相对湿度的调控	106
三、设施内土壤湿度的调控	108
第二节 灌溉水源及其取水、供水和灌水方式	111
一、灌溉水源	111
二、取水设施	113
三、提水设施	119
四、供水方式	121
五、灌水方式	125
第三节 设施内高效节水灌溉技术	129
一、设施内高效节水灌溉技术的基本要求	129
二、设施内灌溉技术的选择	129
三、微灌类型	130
四、微灌系统及其组成	131
五、微灌系统的分类及其选用	132
六、微灌技术特点	132
七、微灌灌水器的类型及其选择	133
八、过滤装置和施肥（农药）装置	138
九、管道与管件及其选择	141
十、设施内微灌田间布置形式	142
十一、微灌灌水技术	146
十二、设计实例	146
第六章 人工光源与温室配电	152
第一节 人工光源的种类与选用	152
一、温室常用光源及使用	152
二、光源的选用与配置	159
三、照度及其计算	162
第二节 温室配电设备	164
一、配电线路（系统）的基本概念	165

二、现代化温室的配电系统	168
三、温室配电设计	171
第七章 温室环境自动控制	181
第一节 自动控制理论基础	181
一、自动控制的一般概念	181
二、开环控制和闭环控制	184
三、自动控制系统的数学描述	186
四、控制系统的方框图与信号流程图	188
五、自动控制系统的性能要求	191
第二节 温室环境参数检测技术	192
一、温室环境参数检测中的传感器	193
二、变送器和信号隔离器	205
三、A/D 转换和信号处理	205
第三节 温室环境自动控制系统的硬软件	207
一、温室环境自动控制系统的硬件组成	207
二、温室环境控制执行机构	208
三、温室环境控制的软件系统	210
四、数据库的设计	213
第四节 温室环境基本控制规律	213
一、温室计算机自动控制系统的典型应用方式	214
二、常用温室环境控制规律	216
第八章 园艺设施建筑识图	223
第一节 建筑图样的绘制原理	223
一、投影及其分类	223
二、正投影法	224
三、直线和平面正投影的基本特性	225
四、三面投影图	226
第二节 温室建筑图的基本表示法	230
一、平面图	230
二、立面图	232
三、剖面图	232
第三节 温室建筑施工图	232

一、温室施工图的分类	232
二、建筑施工图	233
第九章 设施建筑和覆盖材料	241
第一节 温室骨架材料	241
第二节 温室覆盖材料	242
一、温室覆盖材料的发展和种类	243
二、透明覆盖材料及其应用	249
三、半透明与不透明覆盖材料	263
第三节 温室墙体材料	273
一、土墙	273
二、砖墙	274
第十章 设施用作业机械与设备	276
第一节 耕整地机械	276
一、犁	276
二、旋耕机	280
三、微型耕作机	283
第二节 育苗及种植机械	285
一、育苗播种机械	285
二、栽植机械	288
第三节 施肥机械	292
一、液肥施肥设备	292
二、气肥施肥设备	294
第四节 植物保护机械	296
一、喷雾机	296
二、喷粉机	300
三、喷烟机	303
四、植物保护机械的维护保养与安全技术	305
第五节 采收包装机械	306
一、采收机械	306
二、预冷	313
三、采后加工包装机械	315
第六节 卷帘拉幕机械	318

一、手动卷帘机.....	318
二、电动卷帘机.....	319
主要参考文献	321

第一章

园艺设施的发展现状与趋势

第一节 园艺设施的意义及发展史

我们把在温室和大棚等保护设施里，利用室内外配备的各种设备调节环境条件和栽培土壤条件下进行的园艺生产叫做设施园艺。而其中从最简易的阳畦、风障到大型的温室的设计建造，从几微米薄膜到大型锅炉、加温、照明、灌溉设备机器，包括着成百上千种材料设备，我们称为园艺设施。

一、园艺设施在农业生产上的意义

人类同其他动物一样为了生存就要采集、猎取和获得粮食，也属于自然生态系中的一员。从刀耕火种的农业出现，人类开始脱离自然生态系，从自然制约中冲破出来，开始了改造自然、掌握自然的农业生产。随后，逐步发展到有畜农业和机械农业，使粮食生产飞跃般地大增产。这些农业技术变革的特征就是向耕地投入的能量形态不同，是投入更多能量技术的开发过程。只有大量向耕地投入能量，才会使耕地更进一步从自然生态系统中解脱出来，创造耕地生态系，使植物增强生产能力。

表1-1表示了农耕方式和能量投入量的关系。事实表明，人类要想得到更多的食物就必须开发向耕地投入新能源的形态。

园艺设施就是在人为增加设备的条件下，调节土地和大气的环境条件栽培作物，无疑向耕地投入了较大的能量，必然带来高的生产能力。

表 1-1 各种农业耕种形式的能源效率

农业耕种形式	能源 (kJ/m ²)		能量效率	现在的国家或地区
	投入能量	获得能量		
狩猎采集时代	0.00	1.7	10.4×10^{-7}	亚马孙河流域
刀耕火种时代	15.0	81.3	5.4×10^{-7}	乌干达
有畜农耕时代	150.1	1 042.5	7.1×10^{-4}	印度
机械化农耕时代	1 005.0	4 170	27.9×10^{-4}	日本

注 年间日射量以 6.27×10^6 kJ/m² 计算。

(Odwn E.P.: Euergitics of world food production. 1967 年, 善兵整理, 1975 年收集于《21 世纪的粮食·农业》一书中)

它是一种最新能源的投入形态, 而且是能够调节地上和地下环境条件进行生产的, 其本质是将农业从自然生态中脱离出来, 产生更高的生产能力。这就是园艺设施在农业生产上的最大意义。

二、园艺设施的发展简史

世界园艺设施的发展大体上分三个阶段:

(一) 原始时期

2200 多年前, 中国秦朝 (公元前 221—前 206) 秦始皇就密令: 冬种瓜于丽山谷中温处, 瓜实成。西汉 (公元前 206—公元 23), 《汉书补遗》的《循史传》上记载: “太官园种冬生葱韭菜茹, 覆以屋庑, 昼夜燃蕴火, 待温气乃生, 信臣以为此皆不时之物。”这种栽培蔬菜的方法, 开创了设施蔬菜栽培的先河, 说明我国在 2000 多年前已能利用设施栽培蔬菜。到唐朝 (公元 618—907), 在陕西省西安附近利用天然温泉热源在早春促成栽培瓜类, 农历二月即可采收。元朝 (公元 1279—1368) 出现了风障畦栽培韭菜。从明朝 (公元 1368—1644) 开始, 北京一带应用火室、炕洞 (土温室) 于冬季栽培喜温蔬菜, 春节时便有黄瓜上市, 这证明 400 多年前北京温室黄瓜已栽培成功。以上说明, 我国设施蔬菜栽培有悠久历史, 虽是靠风障、土温室、温泉水补热的简易设施, 但已积累了丰富的生产经验, 显示了我们祖先无穷的智慧和力量。

在国外, 古罗马帝国第五代皇帝尼禄时期 (公元 54—68), 有掘坑后覆盖

云母片或滑石板片栽培黄瓜的记载,是用最简易的材料进行围护栽培,仅有挡风避寒功能,谈不上透光增温。到了17世纪,法国、英国、日本、德国等相继出现了简易的保护地蔬菜栽培。1894年美国人留伯尔斯发明了平板玻璃,1943年聚乙烯塑料薄膜用于农业生产获得成功后,设施蔬菜栽培进入了迅速发展时期。

(二) 发展时期

第二次世界大战后,工业水平提高和科学技术进步以及玻璃和塑料薄膜大量用于蔬菜生产,极大地推动了世界各地设施蔬菜栽培发展,面积迅速扩大。以荷兰、日本为代表的国家,大力发展温室,起步早、发展快、面积大。日本1953年引进农田塑料薄膜成功后迅速得到普及,以塑料薄膜温室和大棚为特征的日本设施蔬菜栽培发展速度很快,1965年其面积已达4 992 hm²,其结构也由竹木结构改换成钢管,温室构型大型化,设备功能较齐全。1949年美国建成了第一个现代化人工气候室,1953年日本建造了第一个人工气候室,1957年苏联建成第一个大型人工气候室,世界范围内设施蔬菜栽培水平已发展到了高投入、高产出、高技术的阶段。

我国的设施蔬菜栽培在这一时期也有较大发展,主要应用风障、阳畦、温床、玻璃温室以及改良阳畦、北京改良温室、东北立窗温室、废气加温温室等。1956年引入塑料薄膜拱棚,20世纪60年代东北建成了占地1 hm²的大型塑料温室,吉林建成了占地667 m²的塑料大棚,70年代山西省建成晋阳型屋脊式连栋全钢结构塑料大棚,面积达500 hm²。此时我国已形成了以塑料薄膜拱棚为主,与风障、阳畦、温室、地面覆盖相配套的设施蔬菜栽培体系。

(三) 现代化时期

20世纪70年代后,大型钢架温室、大棚及连栋温室相继建成,而且室内加温、降温降湿、光照、灌水、CO₂气肥、多层覆盖、无土栽培等设备配套,可实行人工控制,以电子计算机应用于温室为先导,设施蔬菜和花卉栽培实现了机械化、电子化、专业化。荷兰、日本、英国、德国、美国、以色列、韩国、俄罗斯、匈牙利、波兰和中国等国家设施栽培面积较大,档次较高,代表着世界设施蔬菜栽培的发展趋势。据不完全统计,目前世界各国塑料薄膜温室和大棚总面积约有1 646 840 hm²(表1-2)。其分布与结构大体是:西欧各国由于常年天气凉爽,夏季短,而且气温不高,以建设连栋玻璃温室为主,透光好,保温性能也好,使用寿命长;南欧、亚洲及其他地区则以塑料薄膜温室和大棚面积比重大。从设施内栽培作物来看,各国有所不同,如荷兰以花卉为主、蔬菜为辅;中国和日本则80%是蔬菜,20%是花卉和果树。

表 1-2 世界各国主要园艺设施面积 (hm²)

国 家	面 积	国 家	面 积
加 拿 大	2 100	匈 牙 利	5 500
美 国	4 500	波 兰	6 500
智 利	1 600	罗马尼亚	3 000
哥伦比亚	2 600	俄罗斯	6 000
哥斯达黎加	200	南斯拉夫	500
西班牙	35 000	埃 及	1 000
比利时	2 000	阿尔及利亚	5 000
塞浦路斯	300	以色列	3 000
丹 麦	750	约 旦	500
英 国	2 300	利比亚	1 000
法 国	6 000	摩洛哥	200
德 国	1 300	突尼斯	1 100
希 腊	4 240	土耳其	9 800
荷 兰	17 000	南 非	200
葡萄牙	2 500	澳大利亚	600
瑞 士	200	日 本	100 000
瑞 典	200	中 国	1 396 000
保加利亚	1 350	韩 国	22 000
捷 克	800	合 计	1 646 840

我国从 20 世纪 80 年代开始, 针对节约能源、调节市场, 积极研究和推广了电热线快速育苗, 装配式钢管塑料薄膜温室、大棚, 立体栽培技术等。1985 年辽宁省海城采用塑料薄膜日光温室, 冬季不加温栽培黄瓜获得成功, 现在已由第一代节能日光温室发展到第二代节能日光温室。据不完全统计, 1997 年我国节能日光温室面积达 141 340 hm², 以辽宁、山东、河北、河南、陕西、山西、甘肃等省面积较大。节能日光温室低投入、高效益、节能、高产, 是我国独创, 具有中国特色, 对解决我国冬春淡季鲜菜供应起到非常重要的作用, 持续发展前景广阔。

特别是“九五”期间, 我国研制开发了华北型、东北型、西北型、华东型、华南型, 以及东南沿海等不同生态类型区和气候条件的新型、适用的温室及配套设施, 提高整体园艺设施水平。同时, 我们又自建或引进了一批荷兰型温室, 日本及美国型塑料温室, 开展了工厂化育苗的技术研究, 大面积采用了

薄壁镀锌钢管装配骨架的塑料大棚, 使我国保护地生产以塑料大棚为主体的体系发挥着更高的生产效益。现在国家又提出建设一批现代化示范园区, 建立工厂化新型设施园艺示范基地, 向规模化、集约化、现代化方向发展, 设施蔬菜栽培成为 21 世纪农业生产的代表方式之一。

第二节 园艺设施生产的现状与展望

一、园艺设施面积及内部装备

从设施总面积上看 (表 1-2), 中国居世界第一, 日本位于第二。但从玻璃温室和人均温室面积上看, 荷兰占据世界第一。从日本 (表 1-3) 设施内栽培的作物来看, 蔬菜生产占到总生产面积的 80% 左右, 其中果菜类可占 90% 左右, 果菜中最最多的是草莓、黄瓜、甜瓜、番茄、西瓜、茄子、甜椒等蔬菜, 而我国西甜瓜在温室内生产较少, 剩余 20% 是花卉和果树, 又以花卉为主。花卉生产主要是切花类、钵物类和花坛用苗类。果树生产, 主要栽培葡萄、桃、柑橘、梨等。

从设施内的设备看 (表 1-3), 温室内装备有加温、多层幕、换气扇、自动灌水、CO₂ 气体施肥以及水耕栽培设施, 为自动控制环境因子创造了条件。

表 1-3 温室内部装备状况

(日本, 1987 年)

种 类 项 目	玻璃温室 (100 m ²)		塑料温室 (100 m ²)	
	总面积 (hm ²)	比率 (%)	总面积 (hm ²)	比率 (%)
设施总面积	18.912	100	402.355	100
加温面积	16.176	35.5	127.621	31.7
自动灌水装备	10.819	57.2	134.576	33.4
CO ₂ 发生装备	3.466	18.2	5.215	1.3
一层保温幕	8.183	43.3	141.597	35.2
多层保温幕	6.245	33.0	45.710	11.4
设有保温幕	14.428	76.3	187.307	46.6
自动天、侧窗开闭	8.417	44.5	12.472	3.1
换气窗	4.991	26.4	56.728	14.1
水耕栽培	1.057	5.6	1.393	0.3

二、国外园艺设施发展现状与趋势

以荷兰、美国、日本、法国、以色列等国家为代表,其明显的特征是设施结构多样化,生产管理自动化,生产操作机械化,生产方式集约化,是以现代工业装备农业,现代科技武装农业,现代管理经营农业。

(一) 设施面积较大,发展程度不同

世界设施农业比较发达的国家有:北美的加拿大和美国;西欧的英国、法国、荷兰、意大利和西班牙;中东的以色列、土耳其;亚洲、大洋洲的日本、韩国、澳大利亚等。据不完全统计,世界上温室和大棚的面积大约有 $1\,645\,840\text{ hm}^2$ 。其中西北欧国家以玻璃温室为主,而亚洲、南欧、北美以塑料温室为主。

(二) 设施结构与建筑材料多样化

1. 设施结构的多样化 纵观国外设施农业,其结构主要有三种类型:

(1) 小拱棚 用支撑物托住塑料薄膜,高度在 1 m 左右,两侧薄膜埋入土中,方法简便。

(2) 塑料大棚 外形有篷型、屋顶型,以塑料膜为覆盖物,内部设施较少,主要用于春、夏、秋季生产。

(3) 温室 大约有三个等级:①初级温室,指一般小型温室,不具备调温、通风等设备;②现代化温室,指连栋大型温室,可以实行耕种机械化,管理自动化;③工厂化温室,它是一座比较完善的工厂,其中有各种工序所需要的厂房、车间,按工序进行流水作业,即每天按同一规格和一定数量进行播种、育苗,促其生长和收获,它不需要土壤,作物也不一定固定生长,而可以随机械转动进行移动生长,它的栽培是高度密集化的,操作是高度机械化的,经营是高度集约化的,它的生长时间短,采收时间长,年产量比露天作物高 10 倍,比现有的塑料大棚、普通温室高 5 倍。

2. 建筑材料的多样化 在建筑材料上,国外温室建筑与工业材料的发展密切相关,是随着建筑材料发展而变化的。如美国温室建筑的发展大体可分为三个阶段:

(1) 第一阶段(1950—1969) 当时建筑的温室以木结构为主,覆盖材料几乎全部用玻璃,温室的数量不少,但面积很少有超过 1.5 hm^2 的,以自然通风为主,有加温设备,室内以土壤栽培为主,自动化设备很少应用。

(2) 第二阶段(1970—1989) 金属骨架温室逐步增加,20世纪80年代以后建的温室,几乎全部用镀锌钢、镀锌管和铝合金的屋顶,覆盖材料除了玻