



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

现代园艺设施

主 编 邹志荣



中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

现代园艺设施

主编 邹志荣

江苏工业学院图书馆
藏书章

中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代园艺设施/邹志荣主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2002. 2
教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

ISBN 7-304-02168-3

I. 现… 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 008675 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

现代园艺设施

主编 邹志荣

出版·发行/中央广播电视大学出版社

经销/新华书店北京发行所

印刷/北京诚顺达印刷有限公司

开本/787×1092 1/16 印张/17.25 字数/390 千字

版本/2002 年 1 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数/0001—10500

社址/北京市复兴门内大街 160 号 邮编/100031

电话/66419791 68519502

(本书如有缺页或倒装, 本社负责退换)

书号: ISBN 7-304-02168-3/S·28

定价: 23.00 元

前 言

园艺设施学是一门涉及到园艺学和环境调节学、机械学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,其深度和广度不够。本教材就是为了深化和完善设施部分而写的。其目的就是让学生和研究者掌握园艺设施的设计原理,了解各种装置性能及使用,掌握环境学的有关知识,学会环境调控的实用技术。

本教材主要有四个方面的内容。一是园艺工程设施,如温室、塑料棚、无土栽培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,如光、温、湿、气的监测仪器和自动控制等配套使用技术;四是材料和能源开发与利用技术。本教材由八章组成。第一章介绍设施园艺的发展现状与技术变革。第二、三章讲述温室大棚设施的规划与设计。第四章论述环境调控设备的设计与装置。第五章介绍建筑施工的识图知识。第六章介绍建材和覆盖材料的种类和特性。第七章介绍无土栽培的装置和利用情况。第八章是今后必须重视的自然能源利用问题。以上内容是结合了国内外设施园艺发展情况和技术,参考了多种书籍和大量资料后编写的。当然,仅一本教材并不能包括所有内容,希望在学习当中,参阅其他有关资料,加以理解和掌握。

本教材由西北农林科技大学邹志荣、张新平、国培光、林性粹、高树贤、王宏丽、蒲亚锋、卢博友和中国农科院张志斌等教师编写,参加各部分编写的教师分工如下:前言、第一章、第二章、第八章由邹志荣执笔;第三章由邹志荣、王宏丽执笔;第四章由张新平、国培光、林性粹、卢博友、邹志荣执笔;第五章由高树贤执笔;第六章、第七章由张志斌执笔。全书最后由邹志荣、林性粹、国培光汇总、整理完成。

蒲亚锋负责第二、第三、第七、第八章插图制作。

由于编写水平有限,时间仓促,错误之处在所难免,谨请读者批评指正。

编 者

2001年10月

目 录

第一章 设施园艺的发展现状与技术变革	(1)
第一节 设施园艺的意义及发展	(1)
一、设施园艺在农业生产上的意义	(1)
二、园艺设施的发展简史	(2)
第二节 设施园艺生产的现状与展望	(3)
一、园艺设施面积及内部装备	(3)
二、国外设施农业发展现状与趋势	(4)
三、国内设施农业发展概况与趋势	(8)
第三节 设施园艺生产技术变革	(14)
一、技术革新	(14)
二、今后的展望	(15)
第二章 温室和大棚的建造计划	(16)
第一节 温室和大棚的建筑特点与设计要求	(16)
一、必须适合于作物的生长和发育	(16)
二、严格调控环境	(16)
三、良好的生产条件	(16)
四、对材料和结构的要求	(17)
五、廉价的建筑物	(17)
第二节 场地选择与布局	(17)
一、场地选择	(17)
二、布局计划	(18)
三、建设规模	(21)
第三节 建筑投资计划	(23)
一、温室和大棚的建设费	(23)
二、核 算	(23)
三、核算实例	(25)

第三章 温室和大棚的结构设计	(30)
第一节 温室和大棚的类型与结构	(30)
一、类 型	(30)
二、温室和大棚的组成	(31)
三、主要代表型温室和大棚结构	(34)
第二节 温室和大棚的设计步骤	(38)
第三节 温室荷载	(40)
一、荷载及分类	(40)
二、荷载的组合	(41)
三、恒 载	(42)
四、雪荷载 (S)	(43)
五、风荷载	(45)
第四节 主要构件的设计	(47)
一、与设计计算有关的几个基本概念	(47)
二、几种构件的计算和设计	(52)
第五节 塑料大棚结构设计实例	(69)
一、建造地点	(69)
二、气候条件	(69)
三、结构简图	(69)
四、用材及参数	(69)
五、荷载计算	(70)
六、风力计算	(71)
七、拱架强度校核, 分三种情况计算	(74)
八、塑料薄膜受力计算及强度校核	(78)
第四章 环境调节设备	(80)
第一节 采暖装置与计算	(80)
一、采暖的目的与设计的基本程序	(80)
二、最大采暖负荷的计算	(80)
三、采暖装置	(86)
四、设备机器容量计算和辅助管配置	(91)
第二节 通风设备	(93)
一、通风原理	(93)
二、通风量的计算	(94)
三、自然通风设施	(96)
四、强制通风设施	(98)

第三节 降温设备	(99)
一、蒸发降温	(99)
二、屋面喷水降温	(100)
三、遮荫降温	(100)
第四节 灌水设备	(101)
一、灌溉水源及其取水、供水和灌水方式	(102)
二、设施高效节水灌溉技术	(117)
三、设计实例	(130)
第五节 二氧化碳气体施用方式与设备	(134)
一、施用二氧化碳的意义	(134)
二、二氧化碳浓度的测定方法	(135)
三、二氧化碳施用方式和施用设备	(136)
第六节 温室配电	(138)
一、配电线路(系统)的基本概念	(138)
二、现代化温室的配电系统	(142)
三、温室配电设计	(145)
第七节 人工光源设备	(153)
一、温室常用光源及使用	(153)
二、光源的选用与配置	(159)
三、光度学基础与照度的计算	(161)
第八节 现代园艺设施环境自动控制	(165)
一、设施环境自动控制概述	(166)
二、园艺设施自动控制的功能和对自动控制系统的基本要求	(171)
三、温室环境控制中常用的自动控制装置	(173)
四、设施环境自动调控系统	(194)
第五章 园艺设施建筑图	(207)
第一节 投影法及投影图	(207)
一、投影及其分类	(207)
二、正投影法	(208)
三、直线和平面正投影的基本特性	(209)
四、三面投影图	(210)
第二节 温室建筑图的基本表示法	(213)
一、平面图	(213)
二、立面图	(213)
三、剖面图	(215)

第三节 温室施工图	(215)
一、温室施工图的分类	(215)
二、建筑施工图	(215)
第六章 建筑和覆盖材料的种类及选用	(223)
第一节 骨架材料	(223)
一、木 材	(223)
二、竹 材	(224)
三、钢 材	(224)
四、混凝土与钢筋混凝土	(225)
五、铝合金	(226)
六、材料防腐	(226)
第二节 覆盖材料的种类和特性	(227)
一、覆盖材料的种类	(227)
二、适用材料的特性	(230)
三、新型覆盖材料	(234)
第七章 无土栽培装置及利用	(237)
第一节 无土栽培的意义及分类	(237)
一、无土栽培的意义	(237)
二、无土栽培方法的分类	(237)
第二节 水 培	(238)
一、营养液膜法 (NFT)	(238)
二、深液流法 (DFT)	(239)
三、动态浮根法 (DRF)	(240)
四、浮板毛管水培法 (FCH)	(241)
五、鲁 SC 水培系统	(242)
六、喷雾栽培法	(242)
第三节 基质培	(243)
一、基质的种类与混合	(243)
二、基质栽培方式	(244)
第四节 有机生态型无土栽培	(247)
一、有机生态型无土栽培的特点	(248)
二、有机生态型无土栽培的基质	(248)
三、有机生态型无土栽培的方式	(248)
四、有机生态型无土栽培的效果	(250)

五、有机生态型无土栽培装置的投入与产出	(250)
六、有机生态型无土栽培技术的发展前景	(250)
第八章 地域能源的利用	(252)
第一节 地域能源的种类	(252)
一、适合采暖用的能源	(252)
二、适合于作为动力能源的种类	(253)
第二节 地域能源的利用技术	(253)
一、太阳能的利用技术	(253)
二、地下水（热能源）的利用技术	(258)
三、木质系能源的利用技术	(261)
四、其它能源的利用技术	(262)
主要参考文献	(263)

第一章 设施园艺的发展现状与技术变革

提 要:

本章系统介绍设施园艺的意义与发展历史,叙述了国内外设施园艺的发展现状,并指出设施园艺技术的发展方向。

第一节 设施园艺的意义及发展

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。

从最简易的阳畦、风障到大型的温室和植物工厂,设施结构种类繁多,形形色色。从几毫米厚的薄膜到大型锅炉、加温、照明、灌溉设备,包括着成百上千种材料和类型。我们要把它们合理地利用起来,进行园艺作物生产,概括起来就是设施园艺生产。

一、设施园艺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,人类就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,使粮食产量飞跃增加。这些农业技术变革的不同特征就是因为向耕地投入的能量形态不同,是投入更多的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1-1-1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粮食,就必须开发向耕地投入新能源的形态。

表 1-1-1 各种农业耕种形式的能源效率

农业耕种形式	能源/ (kcal/m ²)		能量效率	现在的国名
	投入能量	获得能量		
狩猎采集时代	0.0	0.4	2.5×10^{-7}	亚马孙河
刀耕火种时代	3.6	19.5	1.3×10^{-7}	乌干达
有畜农耕时代	36.0	250.0	1.7×10^{-4}	印度
机械化农耕时代	241.0	1000.0	6.7×10^{-4}	日本

注：年间日射量以 $1.5 \times 10^6 \text{ kcal/m}^2$ 计算。

(odwn E.P: Energitics of world food production. 1967 年由善兵整理, 1975 年收集于 21 世纪的粮食, 农业书中)

设施农业耕种就是一种具有新能源形态的农业耕种形式。它是在人为的设备条件下, 调节土地和大气的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。正如日本的著名专家矢吹所指出的那样: “到现在为止的农业技术方向是围绕适宜作物为中心, 环境调节的对象完全是土壤。比这个高一层水平的农业生产的话, 对大气环境的变动几乎无法调节, 即使有规律的气候年变化, 农家也很困难适应其变化, 因此, 今后应该开发的技术是地上部的环境调节”。

设施园艺不仅是一种最新能源的投入形态, 而且是能够调节地上和地下部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。这就是设施园艺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:

第一, 原始阶段: 约 2000 多年前, 我国使用透明度高的桐油纸作覆盖物, 建造温室。古代的罗马是在地中挖成长壕或坑, 上面覆盖透光性好的云母板, 并使用铜的烟管进行加温, 此时可以说是温室的原始阶段。

第二, 发展阶段: 主要是二次世界大战后, 玻璃温室和塑料大棚等真正发展起来, 尤其以荷兰、日本为首的国家发展迅速, 而且附加设备增多起来。

第三, 飞跃阶段: 70 年代后, 大型钢架温室出现, 自动控制室内环境条件已成现实, 世界各国覆盖面积迅速增加, 室内加温、灌水、换气等附加设备广泛运用, 甚至出现了植物工厂, 完全由人类控制作物生产。今后将向着节能、高效率、自动管理的方向发展。

荷兰温室已有 100 多年历史, 目前温室结构及生产管理水平和都处于世纪领先地位。荷兰农民从 19 世纪末就开始把玻璃盆覆盖在植物上用于透光和保温, 后来采用不足 0.5m 高的玻璃温箱种植作物, 这是温室农业的最初形式。20 世纪 50 年代初建起了木质结构的人字形玻璃温室, 开始了保护地规模化生产。荷兰温室结构主要选用铝合金框架和玻璃覆盖材料, 也有少部分 PC 板材温室, 温室生产基本实现了光、温、水、肥、气全面自动化控制。

我国的设施园艺虽然开始较早, 但真正大面积运用于生产是从 70 年代初开始的, 至

1978年,我国塑料大棚的面积已达8万亩。1982年塑料薄膜地面覆盖已达31万亩。2000年已突破2000万亩。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。

第二节 设施园艺生产的现状与展望

一、园艺设施面积及内部装备

到目前为止,世界上主要园艺设施国的温室面积统计如表1-2-1所示。

表 1-2-1 世界各国温室和大棚面积

国 家	面积/ha	国 家	面积/ha	国 家	面积/ha
中 国	1396000	比利时	2000	日 本	100000
智 利	1600	西班牙	35000	保加利亚	1350
韩 国	22000	德 国	1300	荷 兰	17000
突尼斯	1100	土耳其	9800	埃 及	1000
波 兰	6500	捷 克	800	法 国	6000
丹 麦	750	俄罗斯	6000	澳大利亚	600
匈牙利	5500	约 旦	500	阿尔及利亚	5000
南斯拉夫	500	美 国	4500	塞浦路斯	300
希 腊	4240	瑞 典	200	罗马尼亚	3000
瑞 士	200	以色列	3000	南 非	200
哥伦比亚	2600	摩洛哥	200	葡萄牙	2500
哥斯达黎加	200	英 国	2300	加拿大	2100
合 计					1645840

从设施总面积上看,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,荷兰居世界第一。从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。可从表1-2-2中看出这一具体数据。

表 1-2-2 设施园艺作物生产面积

(日本, 1985 年)

蔬菜/ha			花卉/ha			果树/ha		
作物	面积	比率 (%)	作物	面积	比率 (%)	作物	面积	比率 (%)
总面积	35.582	100	总面积	5432	100	总面积	4575	100
草 莓	7929	22.3	切花类	4331	79.7	葡 萄	3239	70.8
黄 瓜	7520	21.1	钵物类	1008	18.6	柑 橘	1130	24.7
普通甜瓜	5970	16.8	花坛用	93	1.7	梨	67	1.5
番 茄	5563	15.6	苗 类			枇 杷	51	1.1
西 瓜	3400	9.6				无花果	29	0.6
						桃	22	0.5
茄 子	1770	5.0				其 他	36.9	0.8
甜 椒	1500	4.2						
温室甜瓜	1270	3.6						
生 菜	470	1.3						
南 瓜	190	0.5						

其次, 我们再看一下设施内的设备。见表 1-2-3。

表 1-2-3 温室内部装备状况

(日本, 1987 年)

种类 项目	玻璃温室/100m ²		塑料温室/100m ²	
	总面积	比率 (%)	总面积	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

从表 1-2-3 可见, 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。

二、国外设施农业发展现状与趋势

以荷兰、美国、日本、法国、以色列等国家为代表, 其设施农业的明显特征是设施结构

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、澳大利亚等国家。据不完全统计,世界上温室和大棚的面积大约有 1645840ha。其中西北欧国家由于常年天气较冷,夏季短,气温不高,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 米左右,两侧薄膜埋入土中,方法简便。

(2) 塑料大棚 外型有篷型、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:第一是初级温室,指一般小型温室,不具备调温、通风等设备。第二是现代化温室,指联栋大型温室,可以实行耕种机械化,管理自动化。第三是工厂化温室,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。如美国温室建筑大体可分为 3 个阶段:

第一阶段(1950~1969 年) 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 1.5ha 的,有加温设备和自然通风,室内以土壤栽培为主,自动化设备很少应用。

第二阶段(1970~1989 年) 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,覆盖材料除了玻璃以外,出现了玻璃钢,FRP 板和双层充气薄膜温室,这样可以减轻屋架的重量,降低建筑成本。80 年代中期,二氧化碳施肥技术、应用计算机控制温室环境及滴灌技术、无土栽培技术已普遍应用,温室降温采用电扇强力通风,用冷水墙加强通风的技术也比较普及。

第三阶段(1990 年到现在) 聚碳酸酯板(PC)已进入实用阶段,该板透光与保温性能好,耐用,不易破损,防火性能强,可制成三层的中空板,保温性能更佳。另外,光谱选择薄膜发展很快,如在塑料薄膜中加入类似硫酸铜的染料,就可降低远红外光的透射率,使温室内温度降低。

(三) 温室管理向电子化、机械化、专业化发展,基本实现自动化管理

温室管理主要由于采用了电子计算机控制环境和无土栽培技术,使植物在最佳小气候条

件和根系环境中生长,产量水平得以突破。荷兰的温室面积中的70%以上已采用无土栽培,其中绝大部分采用岩棉栽培,微电脑控制温室的生产达90%以上,使作物栽培向自动化、工厂化发展。加拿大温室的一半以上采用无土栽培,90年代与80年代相比,户均经营面积增加了70%,产值增加了144%,总雇工减少了10.9%,总能源消耗减少了35%,双层充气塑料温室面积增加了66%,每米²番茄产量平均达35~40kg,最高达到48~50kg。黄瓜达到每米²50~70kg。

计算机在温室中调控的环境因素除了空气温度、相对湿度、二氧化碳和光照外,还有定时定量灌水以及营养液的精确注入、空气流速等。以加拿大不列颠哥伦比亚省制作的 Argus 软件系列为例,其与 IBM 兼容,可以从16个不同的方面考虑同一因子的控制。比如降温,首先控制冷热水交换阀,减少热水进入温室的流量,减少锅炉燃料供应量,若温度仍高,再启动开天窗、遮阴、喷雾或水帘等降温设施。所有程序按照顺序运行,如果阴天光照极弱,温度极低,可覆盖保温幕保温并开灯补光,以节约燃料能源。因此,节能效果极好。日本除了温室内安装计算机控制系统,把工程技术作为一个专家系统(咨询系统)已引入设施园艺栽培中,温室控制的管理规则,正在向可以通过一系列的正规控制指令来实现的方向发展。

(四) 温室的科研成果不断转化,推动着生产迅速发展

研究目的明确,新技术、新成果推广应用迅速,并且相关产业的发展也得到应有的重视。温室的结构建造、病虫害综合防治技术、节能技术和品种的改良,也对温室的高产优质管理技术起到重要作用。

日本对温室的科学研究一直比较重视,据《日本农业新闻》报道,一种利用气压支撑的塑料大棚温室,目前在日本农村已经广为使用。这种气压式塑料大棚,比传统的和钢架支撑的塑料大棚价格便宜,而且透光性好,可控制温度,因此受到欢迎。对温室的废旧塑料的处理方法已研制成功。

美国在温室研究中推出了以下新技术:

1. 太阳能水墙温室 美国东北部已开发成功一种能独立解决能源问题的太阳能温室,该温室分两层,第一层为骨架结构,面积约370m²,第二层是温床,面积为167m²。温室东西北三面墙上均装有15cm厚的带玻璃罩的太阳能聚酯电池板,该装置的绝热性能相当于4块玻璃,它的光通过量比2块还多,能将热储存在两边可容纳13 626L的水墙里,使水温上升到15~27℃,然后再用太阳能驱动抽水喷灌。

2. 无土栽培 美国温室的无土栽培蔬菜作物主要为番茄、黄瓜和生菜,其他叶菜也占一定比重,甜瓜的比重不大,大多数温室用于种花。50年代到70年代,无土栽培的方式以水培为主,以石砾、砂等固定根系,营养液循环利用,这种方式成本高,以后逐渐减少。80年代开始用营养液膜系统、袋培系统,基质为草炭、蛭石、珍珠岩和各种泡沫塑料的废脚料,同时也从欧洲引进少数岩棉栽培系统。90年代以来,岩棉系统占绝大多数,不用基质的水培系统已经很难见到了。美国宇航中心采用最先进的无土栽培技术,生产人类在太空中生活必需的食物,已获得成功,最新技术每平方米可种1万株小麦,1.2m²的小麦就可满足一个人食用。玉米株高仅40~50cm就成熟了,番茄每平方米种100~120株,此外还有绿

豆、菜豆和马铃薯等作物已试验成功。目前在太空中吃的东西包括麦、薯、豆菜等，每人只需 6m^2 就够了，这些作物从种到收一般为 50~60 天。

3. 二氧化碳的应用 近 20 年来，美国温室内已普及增施二氧化碳的技术，增施的浓度达到空气二氧化碳的 3 倍，主要是采用燃烧碳氢化合物的方法。

4. 熊蜂授粉 从 1991 年开始，把振荡授粉改为熊蜂授粉。熊蜂比普通蜜蜂个头大，身体强壮，而且不伤人。一般采用这种方法能使作物产量提高 20% 左右。人工授粉不如熊蜂均匀，熊蜂的工作时间是日出授粉，日落休息。熊蜂由专业户饲养，可以租用，每个蜂箱 80 只蜂，能授 1500m^2 的面积，平均每只蜂授粉面积为 20m^2 ，租金很便宜，蜂箱每月更换一次。

5. 机器人移苗 现在蔬菜、花卉和苗木数量不断增加，美国南北各地，都有许多专门生产蔬菜、花卉和观赏植物的苗木农场，穴盘育苗在全国各地普遍应用。播种时先播在小苗孔的穴盘上，过一段时间再移栽到大苗孔的穴盘上。由于育苗中移苗工作需要很多人工。因此，应用机器人移苗技术就应运而生。所谓机器人，实际上是一个机器手，前面有两个类似大针的触角传感器，将苗盘上小苗孔的幼苗，移到大苗孔的苗盘上，平均 1.2 秒移一株，移栽几十万株幼苗的繁殖劳动，对机器人来说是很容易的事。机器人能辨别苗的好坏，把不好的苗抛到一边，只移栽好苗。

6. 基质消毒 现在正在研究太阳能消毒法，因为这样可以节约能源，而且消毒效果也是可以接受的，虽然不能百分之百地把病虫害全部杀死，但可以大大减轻病虫害的传播，因为蒸气消毒太贵，化学消毒污染环境，太阳能消毒法是比较理想的发展途径。

据报道，前苏联莫斯科建筑物理科学研究所创造的自然能温室，采用的节能型墙板填充料是新型无毒物质——桑拉胶。墙板上充满空气，也是贮热体，一到晚上，物质逐渐变冷、变硬，同时放出白天积蓄的全部热量。这种墙板积蓄热的能力比水强 4 倍。

(五) 温室生产产业化体系已完整运行

许多国家很重视温室产业化生产和发挥农业的总体效益。例如：美国的蔬菜产业化主要是采前的服务体系、产中的规模化、机械化生产体系和产后的销售与加工体系相配套，发挥了整体作用。

1. 产前的种苗和肥料农药公司 在美国，早在 40 年前就已实现了种苗商品化。目前，所有移栽的蔬菜苗，都是由专业育苗公司提供。有世界最大的年产 10 亿株商品苗的 SPEED-LING 种苗公司，中等生产规模年产商品苗 1 亿株的种植者育苗公司以及年产 1000~2000 万株商品苗的山本种苗场和 SANTAFENURSERY 种苗公司。主要育苗蔬菜有芹菜、生菜、青花菜等，同时还有花卉、烟草等。各个种苗公司育苗生产的共同特点是：苗生长整齐、成本低、育苗科技含量高。

2. 产中的机械化生产体系 美国的菜田机械化从 40 年代即已开始，此后菜田机械继续增加，机械功率增长快于台数的增长，显示了机械大型化的发展趋势。蔬菜生产从整地施肥、起垄作畦、移栽（或直播）到中耕、打药、除草、收获等作业都有配套机械。目前，绿菜花、芹菜、生菜等移栽作业正从半机械化移栽发展到使用全自动蔬菜移栽机田间作业。

3. 产后的销售与加工体系 美国蔬菜大部分为超级市场销售,但也有定期开放的农贸市场(一般每周1~2次)。经过预冷的蔬菜,按固定的销售渠道运往批发市场或直接运到超级市场。超级市场零售蔬菜均有冷气柜台。美国零售市场蔬菜90%以上不包装,为了防止失水,有的超级市场蔬菜冷柜还设有喷雾装置,美国蔬菜生产成本价占1/3,收获、包装、预冷成本占1/3,流通利润与损耗占1/3。

荷兰是一个人多地少的国家,种植粮食在经济上是不合算的,因此就集中力量发展经济价值相对较高的鲜花和蔬菜生产。目前,荷兰已建成1.1万ha的玻璃温室(约占全国土地面积的0.5%,占全世界玻璃温室面积的1/4),专门用于种植蔬菜和鲜花,生产率极高。无土栽培的辣椒高3m,单产为30kg/m²;番茄秧长30多m,单产达60~70kg/m²。同时,由于实行专业化集约生产,花卉品种不断增多,质量不断提高,竞争力不断增强。目前,荷兰共有7000多农户从事花卉栽培,培育出近1亿个品种,每天向世界出口1700万枝鲜花和1700万盆花。荷兰鲜花在世界鲜花市场的占有率已达60%以上,仅此一项全国每年获得的收益就达112.5亿美元,成为该国的主要支柱产业,所创造的产值占全国农业总产值的35%左右。1985~1990年,荷兰人均净创汇由1.8万美元上升到5.7万美元,而美国同期仅由2310美元上升到6310美元。荷兰每个农业劳动力可供养112人,高于美国的60~70人,为英国、法国和德国的10倍。

三、国内设施农业发展概况与趋势

(一) 基本情况

我国蔬菜的温室生产在一个相当长的时间内是初级的纸窗温室。解放后,将纸窗温室改为玻璃温室,即北京式温室。1966年有了塑料大棚,70年代温室种菜迅速在全国发展。从80年代初,北京、天津等地都开始引进或自建若干现代化自动控制的大型联栋温室,拟采取国外的生产技术方式解决北方冬季蔬菜供应问题,但主要由于三高一低(高投资、高能耗、高成本、比较效益低)的原因,绝大部分相继停止运行。我国蔬菜生产在北方采用传统的加温温室由于煤火费用太高,产量效益相对低下,这在能源短缺的我国,无法大面积发展,节能型日光温室便应运而生了。1985年,辽宁省在海城地区采用塑料日光温室,冬季不加温生产黄瓜取得成功,并且由第一代节能型日光温室发展到第二代节能型日光温室。1987~1989年农业部组织北方地区进行适应性开发研究,在日光温室种植番茄、茄子、辣椒等喜温果菜类和多种叶菜类获得成功,并取得高产,面积发展到1000ha。1990年,财政部、国家科委、农业部立项开发推广,成立了“日光温室高效节能蔬菜栽培技术开发协作网”,使此项技术迅速推广应用。据统计,1994年我国节能型塑料日光温室的面积为4300多ha,比1989年扩大39倍,占同年设施蔬菜栽培面积的12.7%,占塑料温室面积的56.3%,主要分布在山东、河北、辽宁、河南等省,平均每667m²产量8000kg,平均产值超万元。至1997年,各种温室大棚已发展到86.67万ha,成为世界上设施栽培面积最大的国家,其中温室面积22.67万ha,大棚面积23.33万ha,中小棚40.67万ha。1999年全国设施栽培面积达