

教育部高等学校“农业机械化及其自动化本科专业综合改革试点”项目

吉林大学高水平研究生课程体系建设项目

农业设施环境调控 原理与技术

张 蕾 于海业 主编

NONGYE SHESHI HUANJING TIAOKONG
YUANLI YU JISHU



化学工业出版社

教育部高等学校“农业机械化及其自动化本科专业综合改革试点”项目
吉林大学高水平研究生课程体系建设项目

农业设施环境调控 原理与技术

张 蕾 于海业 主编

NONGYE SHESHI HUANJING TIAOKONG
YUANLI YU JISHU



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

农业设施环境调控原理与技术/张蕾, 于海业主编. —北京:
化学工业出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-122-24151-1

I. ①农… II. ①张…②于 III. ①设施农业-农业机械化-
高等学校-教材 IV. ①S23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 115306 号

责任编辑: 周 红

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 宋 玮

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 装: 北京科印技术咨询服务公司海淀数码印刷分部

787mm×1092mm 1/16 印张 10½ 字数 270 千字 2015 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: 49.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编：张 蕾 于海业

副 主 编：杨昊谕 张 刚

参编人员（按姓氏拼音顺序排列）：

赖庆辉 林长存 乔建磊 隋媛媛 周丽娜



设施农业被看作是 21 世纪最具活力的新产业，其发达程度是衡量一个国家或地区农业现代化水平的重要标志之一。基于多学科交叉、科技含量高的特点，目前设施农业已成为当今世界各国大力发展的高新技术产业。

设施农业与传统农业最大的区别在于设施农业的环境可控性，这也是设施农业生产高产、高效的基本保障。要保证最优的设施环境调控效果，要求我们对植物生长发育的环境适应性、各种环境调控手段的特性及效果有充分的了解，稳定的调控效果也要同时依赖建筑学、计算机科学、互联网及自动化技术等多领域的科学理论。随着设施种植与养殖业的不断兴起和壮大，大量设施生产废弃物的无害化与资源化处理对环境工程、能源工程等学科也提出了新的要求。因而，现代设施农业的研究与发展并非专属于农业领域，也大大促进了其他多个应用学科领域的快速发展。

本书在教育部高等学校“农业机械化及其自动化本科专业综合改革试点”项目、吉林大学一流学科建设项目及吉林大学高水平研究生课程体系建设项目资助下，结合笔者多年教学与科研经验，在广泛搜集文献资料基础上，以设施农业生产环境调控为背景，突破以往相关教材偏重于栽培或建筑理论的局限，着眼于设施农业环境调控的多学科交叉的特点，从生物的环境适应性入手，针对农业设施内部温度、湿度、光照等环境条件的调控方式展开介绍，特别强调了相关调控手段的应用范围及实际应用中的注意事项等实用性较强的内容，并涉及近年来国内外环境调控新技术，与时代接轨。为适应可持续发展要求，本书的最后还针对设施农业废水处理技术给予了专门的阐述。本书通俗易懂，适合农学、园艺、畜牧、植物保护、农林经济等非农业建筑相关专业的师生教学用书或参考，也可作为广大农业技术人员、农林生产管理人员的实用技术参考书。

本书编写分工安排：第 1 章由于海业（吉林大学）编写，第 2 章由张蕾（吉林大学）、林长存（中国林业大学）编写，第 3 章由杨昊谕（中国科学院东北地理与农业生态研究所）编写，第 4、第 5 章由乔建磊（吉林农业大学）、于海业编写，第 6 章由周丽娜（吉林农业大学）编写，第 7 章由张蕾编写，第 8 章由张蕾、隋媛媛（吉林大学）编写，第 9 章由赖庆辉（昆明理工大学）编写，第 10 章由张刚（东北师范大学）、张蕾编写。全书由张蕾、于海业统稿完成，杨昊谕、张刚在书稿编写框架修改、内容总体编排等方面做出贡献。本书在编写中引用了大量文献的研究成果及图表、数据等，在此向他们表示衷心的感谢。吉林大学的付强、姚宁宁、王琳琳等参与了本书插图绘制、书稿校对等工作，在此一并感谢。

由于水平所限，书中难免有不足之处，诚挚欢迎广大读者批评指正。

编者



第1章 ▶ 概述

1.1 设施农业的概念、分类与特点	1
1.1.1 设施农业的概念	1
1.1.2 设施农业的分类	3
1.1.3 设施农业的特点	5
1.2 设施农业的作用和意义	5
1.3 设施农业的国内外现状与发展趋势	7
1.3.1 国内设施农业现状及发展趋势	7
1.3.2 国外设施农业现状及发展趋势	10
1.4 农业设施环境调控原理与技术的课程内容	12
复习参考题	12
推荐参考书	12

第2章 ▶ 农业生物环境对生物的影响

2.1 植物的生长发育	13
2.1.1 植物的生长发育基础	13
2.1.2 种子的萌发	14
2.1.3 植物生长的周期性与相关性	14
2.1.4 植物的运动	16
2.2 农业生物环境的构成	17
2.2.1 农业生物环境的概念	17
2.2.2 农业生物环境的特点	17
2.2.3 农业生物环境的分类	17
2.3 农业生物环境的功能	18
2.3.1 生物生产	18
2.3.2 物质循环	18
2.3.3 能量流动	18
2.4 环境因子的变化对生物的影响	19
2.4.1 光辐射与能量转化	19
2.4.2 光照对农业生物的影响	21
2.4.3 温度对农业生物的影响	22
2.4.4 空气对农业生物的影响	23

2.4.5 土壤对植物的影响	25
复习参考题	26
推荐参考书	26

第3章 ▶ 农业设施的保温隔热与采暖设计

3.1 围护结构的传热	27
3.1.1 结构的热传导	27
3.1.2 结构的对流传热	30
3.1.3 结构的辐射传热量	31
3.2 围护结构的热平衡分析	33
3.2.1 设施内的热量来源	33
3.2.2 设施内的热量支出	34
3.2.3 农业设施热平衡方程	35
3.3 农业设施外围护结构的保温隔热	37
3.3.1 外围护结构的保温	37
3.3.2 外围护结构的隔热	40
3.3.3 保温隔热材料的选择	42
3.4 保温隔热理论在园艺栽培设施改良方面的应用实例	42
3.5 农业设施的采暖	43
3.5.1 室内外设计温度	43
3.5.2 供暖系统	44
复习参考题	45
推荐参考书	45

第4章 ▶ 农业设施中的通风与除尘

4.1 农业设施通风	46
4.1.1 农业设施通风的必要性	46
4.1.2 通风设计的基本要求	47
4.1.3 通风的基本形式	47
4.2 农业设施全面通风换气量的确定	48
4.2.1 农业设施通风量的表示方法	48
4.2.2 稳态条件下农业设施全面通风换气量计算	48
4.3 农业设施的自然通风	49
4.3.1 热压作用下的自然通风	49
4.3.2 风压作用下的自然通风	54
4.3.3 热压和风压同时作用的自然通风	55
4.3.4 自然通风系统窗口的设置	55
4.4 农业设施的机械通风	56
4.4.1 进气式通风系统	56
4.4.2 排气式通风系统	56
4.4.3 进排气式通风系统	58
4.4.4 风机的类型及特点	58
4.4.5 农业设施内空气的扰流	61
4.4.6 防虫网对农业设施通风的影响	62

4.5 农业设施除尘技术	63
4.5.1 粉尘的定义	63
4.5.2 农业设施中粉尘的来源与危害	63
4.5.3 粉尘的控制与清除	64
复习参考题	66
推荐参考书	66

第5章 ▶ 农业设施降温技术

5.1 概述	67
5.1.1 农业设施降温的意义	67
5.1.2 农业设施降温技术	68
5.2 空气的温湿度特性	68
5.2.1 空气的组成成分	68
5.2.2 空气的温湿度特征	68
5.2.3 焓湿图	70
5.3 蒸发降温技术原理与过程	71
5.3.1 蒸发降温的原理	71
5.3.2 蒸发降温的耗水量计算	72
5.4 湿帘风机降温系统	73
5.4.1 系统的构成	73
5.4.2 湿帘的特性	74
5.4.3 湿帘风机降温系统设计计算	75
5.4.4 湿帘的安装与维护	76
5.4.5 湿帘冷风机	76
5.5 喷雾降温系统	77
5.5.1 喷雾方式	77
5.5.2 喷雾粒径分类	77
5.5.3 喷雾降温具体应用形式	78
复习参考题	79
推荐参考书	79

第6章 ▶ 农业设施的光环境调控

6.1 农业设施内部光环境的变化	80
6.1.1 光环境特点	80
6.1.2 农业设施的光透过率	81
6.2 农业设施内部光环境的影响因素	82
6.2.1 室外太阳辐射的影响	82
6.2.2 覆盖材料的影响	83
6.2.3 农业设施结构的影响	85
6.3 光环境的人工调控	88
6.3.1 人工光源	88
6.3.2 光环境的调控手段	94
6.4 光辐射测试技术	96
6.4.1 辐射照度测试	96

6.4.2 辐射分光特性测试	97
复习参考题	97
推荐参考书	97

第7章 ▶ 无土栽培技术

7.1 无土栽培的概念、分类	98
7.1.1 无土栽培的概念	98
7.1.2 无土栽培分类	98
7.2 无土栽培的发展及意义	99
7.2.1 无土栽培的发展历程	99
7.2.2 无土栽培的意义	101
7.3 无土栽培的设施	102
7.3.1 基质无土栽培设施	102
7.3.2 水培设施	105
7.3.3 雾培	106
7.4 有机生态型无土栽培	107
7.4.1 有机生态型无土栽培的概念	107
7.4.2 有机生态型无土栽培设施	107
7.4.3 有机生态型无土栽培的意义	107
复习参考题	108
推荐参考书	108

第8章 ▶ 设施农业废弃物的资源化

8.1 设施农业废弃物概述	109
8.1.1 分类及现状	109
8.1.2 设施农业废弃物的特点	109
8.1.3 农业废弃物处理不当的环境危害	110
8.2 植物纤维性废弃物的资源化	112
8.2.1 肥料	112
8.2.2 能源化	114
8.2.3 饲料	116
8.3 畜禽粪便的资源化	116
8.3.1 畜禽粪便的无害化	116
8.3.2 肥料	119
8.3.3 能源化	120
8.3.4 饲料	121
8.4 沼气工程生产生物质能	121
8.4.1 沼气发酵的优点	121
8.4.2 沼气发酵的基本原理	122
8.4.3 沼气发电技术	123
复习参考题	123
推荐参考书	123

第9章 ▶ 植物工厂化生产环境调控技术

9.1 植物工厂概论	124
------------------	-----

9.1.1 植物工厂的定义	124
9.1.2 植物工厂的分类	124
9.1.3 植物工厂的特征	124
9.2 植物工厂整体环境控制技术	125
9.2.1 综合环境控制	125
9.2.2 环境控制系统	128
9.3 植物工厂环境调控中的新技术	132
9.3.1 无土栽培营养液在线检测技术	132
9.3.2 二氧化碳 (CO ₂) 环境调控技术	134
9.3.3 植物工厂中热力泵的综合应用	135
9.3.4 小型植物工厂的网络化	137
复习参考题	138
推荐参考书	138

第10章 设施农业废水处理方法

10.1 设施农业废水的分类及特征	139
10.1.1 废弃营养液	139
10.1.2 畜禽养殖废水	140
10.1.3 水产养殖废水	140
10.2 设施栽培废水处理方法	140
10.2.1 设施农业废水源头减量控制技术	140
10.2.2 设施农业废水过程阻控技术	140
10.2.3 废弃营养液的处理和利用	141
10.3 设施畜禽养殖废水处理方法	142
10.3.1 设施畜禽废水源头控制减量技术——干清粪技术	142
10.3.2 设施畜禽废水末端处理技术	143
10.4 设施水产养殖废水处理技术	149
10.4.1 设施水产养殖废水特征	149
10.4.2 设施水产养殖废水生物处理技术	149
复习参考题	153
推荐参考书	153

参考文献

第1章

概述

设施农业被看作是 21 世纪最具活力的新产业，其效率和效益比传统露地自然农业提高几倍，甚至几十倍。同时，设施农业以其多学科交叉、科技含量高等特点，成为当今世界各国大力发展的高新技术产业之一。其内容既包括与建筑学密切相关的设施结构设计，与地理学、气象学相关的设施朝向确定，以材料学为基础的覆盖材料选择，也包括以栽培学、生物学、土壤学、环境学、植物学为基础的生物生长发育环境适应性理论基础，以及以计算机、自动控制为基础的环境调控技术研究，并且管理、经营、市场等也从经济效益的角度对设施农业的发展起到重要的影响作用。目前，设施农业的发达程度已成为衡量一个国家或地区农业现代化水平的重要标志之一。



1.1 设施农业的概念、分类与特点

1.1.1 设施农业的概念

(1) 设施农业 设施农业 (Facility Agriculture, Installation Agriculture, Protected Agriculture) 又称可控农业 (Controlled Environmental Agriculture)，是用一定设施和工程技术手段改变自然环境，在环境可控条件下，按照动、植物生长发育要求的最佳环境（如光照、温度、湿度、营养等），以最少资源投入，进行生产的现代化农业。在国际的称谓上，欧洲、日本等通常使用“设施农业”这一概念，美国等通常使用“可控环境农业”一词。

为实现农业生物环境控制的目标，除需要了解生物生长发育对环境的要求外，还需要通过工程手段，借助温室、塑料大棚或畜禽舍等，以及通风、遮阳、控温设施等进行环境调节。

(2) 其他相关概念 除设施农业外，目前国内外经常提到的与设施农业相关的别名还包括都市农业、农业科技园区、休闲农业、植物工厂、工厂化农业和航天植物生产。

都市农业 (Agriculture in City Countryside)：“都市农业”的概念，是 20 世纪 50~60 年代由美国的一些经济学家首先提出来的。英文本意是指都市圈中的农地作业。日本是出现都市农业最早的国家之一。1930 年出版的《大阪府农会报》较早提出了“都市农业”这一概念。1977 年，美国农业经济学家艾伦尼斯发表了《日本农业模式》一文，正式提出“城市农业” (Urban Agriculture 或 City Agriculture, Agriculture in the City's Countryside, Agriculture in City Countryside, Agriculture in Countryside)。由于日本把城市称为都市，所以我国沿用了日本的都市农业这一称谓。我国研究都市农业的历史不长，实践始于 20 世纪 90 年代初，上海、深圳、北京等地开展较早，但与世界上其他都市农业发达国家相比，

还是存在一定距离。

农业科技园区：指在一定区域内，以三高农业为目标，以调整农业结构为突破口，以先进适用技术为依托，以政府引导企业等社会力量广泛参与为手段，对区域农业与农村经济具有较强示范带动作用的现代农业科技示范区或现代农业科技企业的密集区。

休闲农业（观光农业）：是利用农村设备与空间、农业生产场地、农业产品、农业经营活动、自然生态、农业自然环境、农村人文资源等，经过规划设计，以发挥农业与农村休闲旅游功能，增进民众对农村与农业的体验，提升旅游品质，并提高农民收益，促进农村发展的一种新型农业。



专栏 1-1:

新加坡的都市农业

新加坡是一个城市经济国家，农产品主要靠进口，因此非常重视都市农业，面积为 626.4km²。现代化集约的农业科技园是新加坡重要的都市农业模式。其基本建设由国家投资，然后通过招标方式租给商人或公司，租期一般为 10 年，现有耕地约 1500hm²，供 500 多个不同规模农场经营。其中有一个用气耕法（即在有空调设施的温室内种植，植物根部暴露在空气中，每隔 5min 喷洒由营养物质和肥料制成的雾状的冷水，不喷农药）种植蔬菜的农场。用气耕法种植不仅比传统的土耕法节省土地，而且比水耕法节省水（水可以循环使用）。

植物工厂：植物工厂是目前世界上最高水平的园艺设施，是指利用环境控制和自动化高新技术进行植物全年生产的体系，包括无土栽培、植物克隆等技术以及植物细胞和组织培养的工业化生产体系。自从 1957 年世界上第一家植物工厂在丹麦诞生以来，1974 年日本等国也逐步发展起植物工厂的研究。美国犹他州立大学曾做过用植物工厂种植小麦的试验，全生育期不到 2 个月，一年可收获 4~5 次。2004 年，中国农业大学开发了利用嵌入式网络式环境控制的人工光型密闭式植物工厂。其生产采用全封闭方式，严格实行全面和有效控制环境及先进的植物工程技术，使生产从播种到采收的全过程连续进行并高度自动化、流水化作业，实现全年连续的生产，完全摆脱了自然条件的限制。其设施主要有立体旋转式和平面移动式两种，面积一般在 900~1500m²。目前主要生产生菜、菠菜、莴苣、番茄等。叶菜秧苗移栽后 2 周即可收获，一年可收获 20 茬以上，年总产量是露地的数十倍。



专栏 1-2:

日本的植物工厂

植物工厂（plant factory）的概念最早是由日本提出来的。至 1998 年，日本已有用于研究展示、生产的植物工厂近 40 个，其中生产用植物工厂 17 个。东京植物工厂发言人表示：“植物工厂在不让蔬菜与外部空气接触情况下进行种植。通过控制日照、温度、湿度、二氧化碳和水，我们能够保证全年的稳定蔬菜供应。除此之外，植物工厂的蔬菜也能够满足消费者希望食用安全食品的这种需求。”

工厂化农业：“工厂化农业”概念是 1994 年由国家科委启动“工厂化高效农业”重大科

技产业工程立项工作时首次提出,在此之前,农业专家通常把“使用人工设施、人工控制环境因素,使植物获得最适宜的生长条件,从而延长生产季节,获得最佳产出”的农业生产方式称为设施农业,园艺专家称之为设施园艺。

航天植物生产:美国宇航中心在航天上应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,经过20多年的研究,现已获得成功。其主要目的是,在失重的条件下,以最小的面积,生产出充足的食物,支持人类在太空中长期生存。航天育种的温室大棚里,航天青椒品种中的“宇椒1号”果大色艳,现场工作人员介绍说,这个品种的果实中维生素C的含量非常高。青椒、番茄、辣椒、黄瓜、茄子、水稻、大豆等30个品种在航天育种展示棚内长势喜人。最新技术已可实现每平方米种植小麦10000株(种 1.2m^2 的小麦就够一个人吃的),玉米株高仅40~50cm就成熟了,西红柿每平方米种100~120株。目前,支持一个人在太空中生活,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。

1.1.2 设施农业的分类

设施农业可以分为设施园艺和设施养殖两大类。

(1) 设施园艺 设施园艺主要是以蔬菜、花卉、瓜果等园艺作物的栽培为目标,其采用的设备一般包括各类塑料大棚、玻璃温室、人工气候室及配套工程技术设备。设施园艺也叫设施栽培,一般指在露地不适宜作物生长发育的寒冷或炎热的季节,利用专门的保温防寒或降温隔热设备,人为地创造适宜作物生长发育的小气候条件进行生产。

一般常见的园艺设施可以划分为两大类,包括简易设施和大型设施。简易设施又包括风障畦、阳畦、温床、中棚、小棚、地膜覆盖等;大型设施包括塑料大棚、温室、连栋温室和软化场地等。

① 阳畦 阳畦又名秧畦、洞坑,是由风障畦发展而来的。它是利用太阳的光能来保持畦内的温度,没有人工加温设施,所以又称冷床。由于阳畦建造方便、成本低、技术易于掌握,目前仍是瓜类蔬菜早春育苗,特别是在蔬菜保护设施不很发达地区常用的方法之一。

② 温床 温床是在冷床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。温床热源除太阳辐射热外,还有酿热热源、电热、地热、气热及火热等,尤以酿热温床和电热温床应用最为广泛。有加温、保温设施的苗床,主要供冬春育苗用。

③ 地膜覆盖 地膜覆盖是一种农业栽培技术,具有增温、保水、保肥、改善土壤理化性质,提高土壤肥力,抑制杂草生长,减轻病害的作用,在连续降雨的情况下还有降低湿度的功能,从而促进植株生长发育,提早开花结果,增加产量,减少劳动力成本。

④ 塑料大棚 塑料大棚俗称冷棚,是一种简易实用的保护地栽培设施,由于其建造容易、使用方便、投资较少,随着塑料工业的发展,被世界各国普遍采用。利用竹木、钢材等材料,并覆盖塑料薄膜,搭成拱形棚,供栽培蔬菜,能够提早或延迟供应,提高单位面积产量,有利于防御自然灾害,特别是北方地区能在早春和晚秋淡季供应鲜嫩蔬菜。

⑤ 温室与日光温室

a. 温室 (green house), 又称暖房,能透光、保温(或加温),是用来栽培植物的设施。在不适宜植物生长的季节,能提供生育期和增加产量,多用于低温季节喜温蔬菜、花卉、林木等植物栽培或育苗等。

b. 日光温室 (chinese solar-greenhouse) 是节能日光温室的简称,又称暖棚,是我国北方地区独有的一种温室类型,是一种在室内不加热的温室,即使在最寒冷的季节,也只依靠太阳光来维持室内一定的温度水平,以满足蔬菜作物生长的需要。一般作为晚花的防霜、御寒或者在早春解冻前育苗用。

(2) 设施养殖 设施养殖则是以畜、禽、水产、特种动物等的养殖为目标,采用遮阴棚舍、各类温室、饲养畜禽舍及配套工程技术设备,实现标准化、工厂化养殖的现代化养殖方式。

设施养殖是设施农业的一个重要分支,也是畜牧工程的重要组成部分。设施养殖主要有水产养殖和畜牧养殖两大类。

畜牧业现代化的实质是,采用现代生物科学技术和现代工程技术来武装畜牧业;采用管理经济的科学方法来组织和管理畜牧业,达到提高畜牧业产量和劳动生产率的目的。也就是把过去以经验为基础的畜牧业,改造为以科学为基础的畜牧业,充分开发和利用自然资源,加强环境控制和改造,以尽可能少的能量和物质投入,得到尽可能高的产量,获得最好的经济效益,创造一个速生、高产、优质、均衡、低消耗的现代化畜牧业生产体系。

自 20 世纪 70 年代以来,中国的设施养殖业得到了迅速发展,各地相继建立起了一大批大中型工厂化畜禽养殖场,包括鸡、猪、牛、兔等的养殖。

① 工厂化养鸡 工厂化养鸡以工业生产方式,采用先进的科学技术和设备,进行有计划、有节奏、密集型的高效率生产。

工厂化养鸡的主要特点如下。

a. 具有一定的生产规模,生产环节相互衔接,生产过程为流水化、成批化,具有完整性和连续性。

b. 品种良种化、饲料标准化、管理科学化。

c. 具有适宜鸡群生长的良好环境。

d. 具有必要的机械设备和设施。

e. 具有生产周期短、省水、省料、成本低、产品率高的特点。

② 工厂化养猪 工厂化养猪以同工业生产相类似的方式,进行一定规模的集约化饲养与管理,以取得较高生产效率。

只有具备一定的规模,才能形成生产工艺过程的流水化,才能利用先进的建筑设施和机械设备,改善猪只的生长环境和提高生产效率,才能实行集约化饲养与管理,使整个生产系统科学化,提高饲料的转化率,缩短生产周期,取得经济效益。

工厂化养猪根据饲养规模可分为以下几种。

a. 小型养猪场。年产商品猪 1000 头以下,占地面积约 1hm^2 。

b. 中型养猪场。年产商品猪 1000~10000 头,占地面积 $1\sim 5\text{hm}^2$ 。

c. 大型养猪场。年产商品猪 10000 头以上,占地面积 5hm^2 以上。

③ 工厂化养牛 工厂化养牛指具有一定规模,以工业生产方式,采用集约化饲养与管理,以取得较高生产效率。养牛场通常分为奶牛场和肉牛场两类。

奶牛场建设必须紧密结合奶牛饲养工艺和管理要求,对不同年龄、不同种类的牛进行分群分舍。

奶牛饲养不易放养,一般有以下几种方式。

a. 拴养式饲养。位置固定、管理方便、定时喂料。

b. 散放式饲养。进出自由、采食自由、牛舍简单。

c. 隔栏式饲养。内设隔栏、自由牛床、设散放道。

④ 工厂化养兔 工厂化养兔指规模化,以工业生产方式,进行集约化饲养与管理,以取得较高生产效率。

养兔是目前发展节粮型畜牧业的重要组成部分,我国兔毛产量占世界 95% 以上。世界家兔约有 60 多个品种,数百个品系,我国有 20 多个品种。按照用途分类,可分为以下几类。

a. 长毛兔。安哥拉兔(英系、法系、德系、日系、丹麦系)。

b. 肉用兔。新西兰兔、加利福尼亚兔、比利时兔、德国花巨兔、公羊兔、费朗德巨兔等。

c. 皮肉兼用兔。日本大耳、青紫蓝、丹麦白等。

长毛兔饲养技术关键: 饲料管理; 仔兔、幼兔、育成兔、种公兔、种母兔的饲养管理; 季节管理; 采毛与保存。

肉用兔饲养技术关键: 饲料管理; 饲养管理; 育肥技术。

1.1.3 设施农业的特点

(1) 投入、产出高 以设施园艺为例, 从设施园艺各种类型比较来看, 玻璃/PC板连栋温室成本最高, 投入也最大, 塑料连栋温室、日光温室、温室大棚次之, 小拱棚和遮阳棚投资最少。玻璃温室的投资成本在 600~800 元/m²。PC板温室的造价在 700~1000 元/m², 温室主体加上周边道路、加温等配套设施造价在 1000 元/m² 左右。塑料连栋温室以钢架结构为主, 造价在 60~100 元/m²。日光温室按建筑材料不同, 造价在 40~150 元/m² 不等。竹木大棚的材料及工本费在 10 元/m² 左右。钢管大棚, 设备投资成本高, 造价为 25 元/m² 左右。因此, 世界上聚烯烃温室大棚膜覆盖设施园艺占总面积的 97%, 我国更是高达 98%, 其他为玻璃或 PC 板。聚烯烃膜在日光温室和连栋温室仅占总成本的 1/20 左右, 却起到非常关键的作用。成本由高到低依次为骨架—保温墙—保温被等。

虽然设施农业生产前期投入高, 但从各省调研情况来看, 其经济效益也是非常可观的。山东省设施栽培平均效益是露地栽培的 5 倍以上。一座日光温室的毛收入(年收入)可以达到 17000 元, 实现纯收入 10000 元左右。一亩塑料大棚的年毛收入为 6000 元, 纯收入为 3000 元左右。密闭式养殖设施的单个养殖设施年产值 1.55 万元, 单位面积年产值 742.94 元/m², 人均年产值 2.89 万元。有窗式的单个设施年产值为 1.93 万元, 单位面积年产值为 674.02 元/m², 人均年产值 1.69 万元。开敞式的单个设施年产值为 1.18 万元, 单位面积年产值为 238.47 元/m², 人均年产值 1.67 万元。

(2) 抗灾能力强 设施栽培具有很强的抵御自然灾害的能力。温室大棚可防风、防沙、防寒、防旱、防涝、防病虫害等。即使是不加温的普通大棚, 在冬季外界达到 -10℃ 时, 也能保证棚内作物安全生长。

(3) 科技含量高 设施栽培给现代工程技术和现代生物技术等高新技术的应用提供了条件。如增施 CO₂ 技术、可提高作物产量 30%~50%; 应用反光膜降温, 确保作物暑天生长。

(4) 需市场推动 设施栽培是具有一定规模的专业化生产, 产品只有进入市场流通, 才能不断发展、扩大生产规模, 取得规模效益。如山东寿光大棚之所以规模不断扩大, 是由于建立了规范的蔬菜市场, 使蔬菜每天销往全国各地, 其良好的生产体系是设施农业发展的前提。

设施养殖除了具有设施栽培的明显特点外, 由于其生产对象是动物, 生产的产品包括肉、蛋、奶、皮、毛、裘等, 种类很多, 而且所养的动物种类各异, 从而其生产工艺及技术装备各不相同。所以设施养殖有着更注重养殖工艺与工程设施配套的突出特点。



1.2 设施农业的作用和意义

发展设施农业, 可有效提高土地产出率、资源利用率和劳动生产率, 提高农业素质、效益和竞争力, 既是当前农村经济发展新阶段的客观要求, 也是克服资源和市场制约、应对国际竞争的现实选择, 对于保障农产品有效供给, 促进农业发展、农民增收, 增强农业综合生产能力具有十分重要的意义。

(1) 提高农产品产量, 满足人类生存需求 通过设施农业手段, 可实现粮食、蔬菜、肉蛋奶等农产品的周年生产, 同时为动植物生长发育提供更为理想的环境, 促进粮食等产品的产量提高。在我国, 截至 2003 年, 设施蔬菜人均占有量由 0.2kg 增至 67kg, 增长 335 倍。自 20 世纪 70 年代以来, 我国的设施养殖业得到了迅速发展, 各地相继建立起一大批大中型工厂化畜禽养殖场。2008 年全国肉类产量达到 7278.7 万吨、禽蛋产量 2701.7 万吨, 居世界第一位; 奶类产量 3781.5 万吨, 居世界第三位。人均肉、蛋、奶占有量分别达到 54.9 公斤、20.4 公斤和 28.5 公斤。而 1949 年, 我国人均肉、蛋占有量分别只有 4.1 公斤和 0.7 公斤, 奶类人均占有量则更少。设施栽培产量通常是露天种植产量的 3.5 倍, 由于我国人均耕地面积仅占世界人均面积 40%, 发展设施农业是解决我国人多地少制约可持续发展问题的最有效技术工程。

(2) 提高农产品品质, 保障食品安全性, 提高国际竞争力 通过恰当的设施农业工程技术手段, 对动植物生长发育环境进行控制, 对培育过程进行规范化管理, 降低病、虫害发生概率, 减少农药、杀虫剂、抗生素的使用量, 同时提高农产品品质。如浙华生态农业园草莓基地, 采用大棚内无土栽培方式种植草莓, 合理控制湿度, 通过防虫网、诱虫灯等物理防虫装置, 有效杜绝大棚内大规模虫害的发生。其产品实现“无土壤污染、无水污染、无农药残留”的目标, 每亩产量在 1500kg 左右, 而传统种植模式每亩的产量平均只有 1000kg。按照草莓每千克 80 元计算, 每亩增收 4 万元。

(3) 摆脱气候等环境因素对农业生产的不利影响, 提高农业生产的稳定性 设施农业生产中, 可通过外围护结构及人工增温、降温、通风、遮阳等技术手段, 避免或降低恶劣天气对动植物生长发育的影响, 也可借助无土栽培等现代化设施栽培手段, 避免不利土壤环境对粮食生产的限制。以色列地处沙漠地带边缘, 水资源匮乏。横亘于以色列南方的内盖夫沙漠地区占了以色列国土面积一半以上。只有不到 20% 的土地是可耕地, 其中一半又必须经过灌溉才能耕种。但是以色列却应用设施农业创造了辉煌的“沙漠奇迹”。近 10 多年, 以色列农业产值年增长率始终保持在 15% 以上, 粮食已基本自给, 水果、蔬菜和花卉除满足国内需要外, 出口额比过去增长了 12 倍之多, 2007 年农业总产值近 6 亿美元, 其中鲜活农产品及其加工制品的出口额近 2 亿美元, 产品主要为反季农产品, 其中大部分销往欧洲。

(4) 提高土地利用率 设施农业可通过环境调控实现周年生产, 从而提高土地的利用效率。同时, 设施农业无土栽培技术提出了不依赖土壤的现代化栽培方式, 不但有立体栽培等成倍提高单位土地利用率的优点, 更加可以突破传统栽培方式对土壤的依赖, 即使在沙漠等土地贫瘠的地区, 仍然可以进行作物栽培。如荷兰的国土面积仅有 4.1 万平方千米, 人口超过 1500 万人, 人口密度大, 居世界第三位。荷兰地理气候单一, 且纬度高, 冬季阳光不足。国土海拔较低, 27% 的国土低于海平面 10 多米, 另有 33% 的国土仅比海平面高出 1m。荷兰全国建有 1.2 万公顷现代化自动控制温室, 是世界上温室园艺生产最发达的国家。现在荷兰农产品的出口仅次于美国, 居世界第二位。1994 年荷兰农产品出口额就已达 347 亿美元, 占世界农产品出口总量的 10% 以上, 其中奶制品、鸡蛋、土豆、猪肉、花卉等出口量居当时世界首位。

(5) 科学技术发展的必然趋势 设施农业作为一门新型的综合性交叉学科, 是现代生物技术与工程技术的完美结合。它涉及植物学、动物学、生态学等多个生命科学分支, 同时也涵盖了建筑、材料、机械、自动控制、管理、市场等多个学科和产业, 科技含量高, 是当今世界各国大力发展的高新技术产业。美国是当今世界农业最发达的国家, 也是世界上唯一的人均粮食年产量超过 1t 的国家。地广人稀, 横跨几个气候带, 工业发达, 过去美国农业发展总的指导思想是搞适地栽培, 通过公路和空运解决均衡上市。但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, 因此设施栽培有较快发展的趋

势。另外,美国对设施栽培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。



1.3 设施农业的国内外现状与发展趋势

1.3.1 国内设施农业现状及发展趋势

(1) 发展历史及现状 国内设施农业的历史悠久,早在秦始皇时代就有记载。20世纪50~60年代到现在,从引进国外塑料大棚到拥有中国第一栋PVC膜塑料大棚,初步形成了由简易覆盖畦、风障畦、阳畦和中小拱棚、大棚、温室所构成的中国设施栽培生产体系。

清朝以前的古书中,记载了大量的农业生产技术。《古文奇字》(2000多年前)中记载:“秦始皇密令人种瓜于骊山沟谷中温处,瓜始成。使人上书曰‘瓜冬有实’”。《汉书》(西汉公元前206~公元23年)循吏记载有:“自汉室太官园,冬生葱韭菜茹,覆以屋庑,昼夜燃温火,待温气乃生,信臣以此皆不时之物。”这段叙述比较详细地记载了生产场所、加温方式和种植作物,说明我国在汉代就有了保护地蔬菜栽培技术。唐朝利用温泉进行瓜类早熟栽培。宋朝是保护地发展史上的一个重要的转折时期。由于汴京(今河南开封)市场对观赏花卉的需要大增,花卉栽培技术趋于精细,保护地栽培技术在花卉种植上得到应用并有了很大发展,其中最著名的是南宋临安(今杭州)马塍所创造的堂花术:“凡花之早放者名曰堂花,其法以纸饰密室,凿地作坎,缚竹置花其上,粪土以牛溲硫磺,然后置沸汤于坎中,少候,汤气熏蒸则扇之以微风,盎然盛春融淑之气,经宿则花放矣。”这里提到的“饰密室”后来被逐步改进发展成纸窗温室。元朝以后,保护地栽培技术在蔬菜生产上有了新的突破,出现了温室围韭和风障阳畦植韭技术。“至冬,移根藏于地屋阴中,培以马粪,暖而即长;高可尺许,不见风日,其叶黄嫩,谓之韭黄。比常韭易利数倍,北方甚珍之。”明清时期,为宫廷提供鲜花已成为北京地区保护地生产的任务之一,利用火室、火坑、风障畦种菜也较为普遍。民国时期,国外先进的园艺设施建造和栽培技术,如烟卤热温床、水管热温床、电热温床、玻璃加温温室在一些园艺试验场得以应用。

20世纪50年代,我国从苏联引进的保护地栽培技术,可谓简易的设施农业,然而受制于设施条件和技术手段,设施农业发展十分缓慢,难成规模。50年代中期,农业部组织进行北京郊区蔬菜栽培调查并出版有关专著(《阳畦蔬菜栽培》《温室蔬菜栽培》)。这是国家第一次有计划、有组织地开展设施农业调查工作,是近代中国设施农业的开端。

20世纪60年代末,我国北方大、中城市郊区才初步形成了由简单覆盖、风障、阳畦、温室等构成的一整套保护地生产技术体系。20世纪70年代,地膜覆盖技术由日本引入中国,很快得到推广,对保温、保墒、保肥起到了很大的作用。20世纪80年代,以日光温室、塑料大棚、遮阳网覆盖栽培为代表的设施园艺取得长足进步,形成了以塑料棚为主的与风障、地膜覆盖、阳畦、温室等相配套的保护地蔬菜生产体系。20世纪90年代以来,我国较大规模地引进国外大型连栋温室及配套栽培技术,设施农业也以超时令、反季节的设施园艺作物生产为主迅猛发展。1995年,我国与以色列合作建立中以示范农场,摆脱了忽起忽落的不稳定状态,进入比较成熟的稳定发展时期;国家确定了“高投入高产出”的技术路线,形成中国式的设施栽培模式,高科技农业试验示范园区兴起。1997年国家科委启动“工厂化高效农业重大科技产业示范工程”,工厂化育苗有了较大进展,无土栽培受到青睐,花卉设施栽培日见兴旺,中央决定在沿海发达地区率先实现农业现代化,形成一批专业研究机构和科技队伍,出现一批专业定点生产企业。

到2002年,我国以蔬菜栽培为主体的设施园艺面积已达210万公顷,按绝对面积计算为世界第一。设施园艺的发展基本上解决了我国长期以来蔬菜供应不足的问题,并实现了周