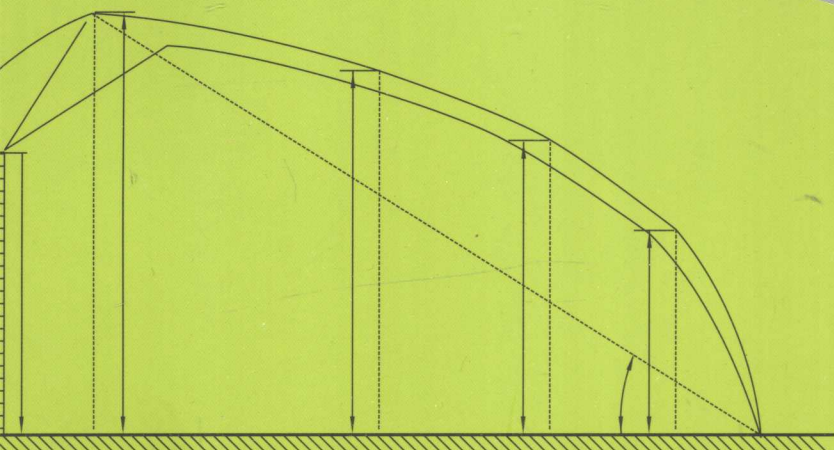


Planning, Designing and Building of Greenhouse

温室工程规划、 设计与建设

张天柱·主编



中国轻工业出版社

附录 (11) 附录在本书中

■ 温室工程规划、设计与建设

主编 张天柱

编委 张天柱 吴卫华 徐 泳 毛志怀 李 栋 乔晓军 张云鹤

郝天民 李国新 陆 琳 王振力 程杰宇 王宏丽 李志娟

刘嫣红 徐远东 刘彩霞 李书卫

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

温室工程规划、设计与建设/张天柱主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2010.1
ISBN 978-7-5019-7127-5

I. ①温… II. ①张… III. ①温室-农业建筑-建筑
工程 IV. ①TU261

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 161371 号

责任编辑: 伊双双 责任终审: 唐是雯 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 李 靖 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720×1000 1/16 印张: 19

字 数: 378 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7127-5 定价: 36.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

80560K5X101ZBW

序

改革开放 30 年来,我国设施园艺业在拓展农业产业发展空间、丰富人民的“菜篮子”、保障食物供给安全、促进农民增收等方面都发挥了十分重要的作用。温室设施工程是综合应用工程装备技术、生物与环境工程技术,按照优化植物生长发育条件的要求进行生产的集约农业生产方式。现代设施园艺业具有高产、优质、高效、安全、周年生产的特点,有利于实现集约化、商品化、产业化,是建设资源节约型、环境友好型农业的重要手段。温室设施工程的发展,能提高土地产出率、资源利用率和劳动生产率,提高农业素质、效益和竞争力,既是当前农业和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、提升我国设施园艺产业国际竞争的现实选择。

自 20 世纪 80 年代初以来,我国温室设施产业经历了引进、消化、吸收和自我创新的发展过程,逐步形成了具有我国国情特色、内容较为完整、规模相当的主体产业群,目前已经进入全面提升的发展新阶段。加强温室种植产业基础设施建设、提高先进适用机械化装备水平;加快科技创新和研究成果的产业化推广,推进生物技术、工程技术和信息技术在温室设施工程中的集成应用;努力拓展设施农业生产领域,深入挖掘设施农业的生产潜能,提升设施农业发展的质量和生产效益,满足消费者不断提高的对无公害和绿色产品的要求,成为新时期提升现代设施温室产业水平的重要任务。要努力实现我国设施农业产品种类丰富齐全、生产手段先进适用、生产过程标准规范、产品均衡供应的总体目标,探索出一条具有中国特色的高产、优质、高效、生态、安全的设施园艺业发展道路。

温室作为设施园艺工程的重要基础设施,是我国工学门类——农业工程一级学科下设的“农业生物环境与能源工程”分支学科的重要科技创新与工程建造研究的重要内容。中国农业大学农业生物环境工程学科是我国自改革开放以来最早建设的农业工程分支学科之一。该学科利用中国农业大学具有机械、园艺、土木、环境、电子信息与自动化工程多学科的群体优势,近 30 年来已经为我国设施农业领域培养了大批高级专门人才和工程技术人才,在提升学科基础水平、工程技术创新能力、促进研究成果示范推广方面积累了许多经验;另外,在学科建设与教学、科研中,十分重视产、学、研结合,推进国际化科学技术交流与合作。早在 1985 年,学校即建立了科技型企业,致

力于温室设施工程研究、设计、施工与推广，承接过全国各地日光温室、连栋温室、楼顶温室、休闲温室、科研温室、餐饮温室等工程项目，积累了比较丰富的经验，成为学校科研成果与产业化推进、科学研究与应用密切结合的亮点之一。

《温室工程规划、设计与建设》一书是中国农业大学北京市富通环境工程有限公司的科技骨干群体经验的系统总结，同时将温室规划、设计和建设作为一个完整的体系进行阐述，对促进我国设施园艺温室工程的规划、设计、施工建设具有重要参考价值。愿我国不同地区从事现代设施工程研究的专家和工程师能更好地跟踪国内外相关科技与产业发展，深入调查研究我国不同生态与经济区的实际，重视相关技术发展的战略、规划和技术创新研究，为进一步提升我国设施农业的现代化水平做出更大的贡献。

汪懋华

中国工程院院士

前言

温室工程是设施农业的重要内容,在我国已形成一个重要产业,成为促进农业发展、农民致富和建设新农村的重要手段。我国各级政府对发展温室产业极其重视,中华人民共和国农业部于2008年专门颁布了农机发[2008]3号文件《农业部关于促进设施农业发展的意见》。由于从中央到地方各级政府对温室建设的大力支持,近十几年来我国温室产业得到迅速发展,已有大型园艺设施 $1.919 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中塑料温室 $1.909 \times 10^6 \text{ hm}^2$,玻璃温室 $0.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$,分别占亚欧美三大洲的91.29%、93.28%和13.17%。我国已成为世界上设施农业栽培面积最大的国家,每年人均消费蔬菜量的20%由设施农业栽培提供。

自1985年以来,笔者及所在的团队参与了国家“八五”、“九五”、“十五”、“十一五”温室专题攻关项目,致力于温室工程和温室环境控制的研究、设计、施工及推广。在此期间,获得“湿帘风机降温系统研究”、“工厂化农业温室及配套设施研究”、“工厂化农业(园艺)关键技术研究及示范”、“新型节能日光温室与连栋塑料温室”等多项奖项。先后在全国承接了大量日光温室、连栋温室、楼顶温室、休闲温室、科研温室、餐饮温室等项目,积累了丰富经验,并提高了理论水平。2001年开始,又在园区规划、产业规划、项目策划、农产品品牌创立等农业规划领域进行了长达8年的系统科学研究和实践。

十余年来,温室工程和农业规划方面的理论探索和实践经验使我们体会到,温室可应用在蔬菜、果树、花卉、药材等种植方面,还可用于鱼、虾、蟹等动物的养殖方面;温室的规模也在扩大,成片的连栋温室、日光温室、大棚群拔地而起;高科技在温室设施和种植领域日益得到更多的应用。因此,如何根据各地区自然环境条件,合理地选择温室及温室建设规模,确定种植或养殖内容,引进先进的技术和管理理念,以形成一个完整的温室产业体系,达到良好的经济效益、社会效益和生态效益,规划工作就显得非常必需和重要。这就是我们编写本书的原因。

笔者编写《温室工程规划、设计与建造》一书的初衷是:把温室工程规划问题提到一个重要地位,促进社会各界在建设温室前,首先做好规划;尽量全面阐述清楚温室工程规划的内涵、内容及步骤,抛

砖引玉，以进一步深入讨论这些问题，逐渐完善温室规划；提出广义温室工程概念，建立温室产业理念，做好温室产业。

本书是我们多年实际经验的总结，并试图将某些问题上升到理论层面。但由于水平所限，有些方面可能阐述得不够准确，或不够完善，诚恳希望读者批评、指正。

张天柱

目录

第一章	概述	1
	第一节 发展现代温室工程的意义.....	1
	第二节 国内外温室工程发展状况.....	3
	第三节 现代温室工程规划的特点	21
	第四节 温室工程发展趋势	25
第二章	温室工程规划与管理	29
	第一节 温室建设地区的选择	29
	第二节 温室类型、用途和规模的确定	34
	第三节 温室工程总体规划	43
	第四节 温室工程管理	46
第三章	温室主体结构强度设计计算	48
	第一节 温室结构强度概述	48
	第二节 平面桁架	51
	第三节 平面刚架和平面混合结构	67
	第四节 空间刚架和混合结构分析	90
	第五节 温室结构强度的讨论	99
第四章	温室工程建设施工	103
	第一节 温室的选址及建设规格.....	103
	第二节 施工放线.....	104
	第三节 基础施工.....	107
	第四节 温室主体工程建筑施工.....	113
	第五节 温室内部设备安装调试.....	118
第五章	温室作物种植规划	128
	第一节 温室种植规划的意义.....	128
	第二节 温室种植规划的原则和调研.....	130
	第三节 温室种植规划的内容.....	132
	第四节 温室蔬菜种植规划.....	135
	第五节 温室果树种植规划.....	139
	第六节 温室花卉种植规划.....	143
第六章	温室生产环境控制设备	147
	第一节 温室作物对环境的要求.....	147
	第二节 温室生产生理生态信息传感器.....	149

	第三节 温室生产信息采集分析系统.....	162
	第四节 温室生产控制管理平台.....	177
第七章	温室农业机械选型.....	200
	第一节 温室农业机械的特点及国内外发展现状.....	200
	第二节 耕作和种植机械选型.....	204
	第三节 灌溉机械选型.....	217
	第四节 收获和运输机具选型.....	246
第八章	温室工程建设经济分析与管理.....	256
	第一节 温室工程投资估算.....	256
	第二节 财务估算.....	261
	第三节 温室工程系统管理.....	267
第九章	温室工程节能.....	269
	第一节 温室生产的调温原理.....	269
	第二节 温室实用节能措施与技术.....	271
	第三节 温室节能的研究方向.....	281
参考文献		285

第一章 概 述

第一节 发展现代温室工程的意义

温室是设施农业的重要组成部分，是综合应用工程装备技术、生物技术和环境技术，按照动植物生长发育所要求的最佳环境，进行动植物生产的现代农业生产方式。农业用温室具有技术密集化、集约化和商品化程度高的特点。温室生产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，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。

2008年10月12日，中国共产党第十七届中央委员会第三次全体会议通过的《中共中央关于推进农村改革发展若干重大问题的决议》中，在“加快农业科技创新”一段指出：“适应农业规模化、精准化、设施化等要求，加快开发多功能、智能化、经济型农业装备设施，重点在田间作业、设施栽培、健康养殖、精深加工、储运保鲜等环节取得新进展。”这是党中央有关发展设施农业问题提出的方向性任务。

一、现代温室工程内涵

（一）温室工程

本书所说的温室工程是广义性的，系指温室农业工程，包括温室设施工程和温室生产工程两部分。

1. 温室设施工程

温室设施工程包括温室主体的设计、制造、基础准备、安装、加热、降温、照明、遮阳、生产环境监控等，以及管道、道路、供水、办公室、工作人员住房、通讯设备、交通工具等公共设施。另外，还有财务、管理规范等软件建设。

温室主体工程的设计、制造、安装等随着温室类型的不同而异，与温室使用地区、气候、投资等有密切关系，如玻璃温室在欧洲西北部使用较多，而塑料温室在地中海沿岸国家和日本使用较普遍，中国则以日光温室为最多。温室加热系统的选择是根据温室的结构和大小、运转形式、燃料供应和价格、系统各部件的成本等来决定。大型连栋温室常采用中央锅炉供热，小型温室则可将

燃烧炉装在温室内。根据投资和技术条件,电脑控制系统可进行温度、湿度、灌溉和施肥、二氧化碳、光照、遮阳等所有参数完全一体化的控制,也可进行必要参数的控制。

2. 温室生产工程

农业用温室生产工程涉及蔬菜或果树的种植、动物的养殖、植物或动物的生产方式,动植物生产机械、动植物生长监控、生产规范和产品标准、生产管理、市场信息等。如温室营养液栽培,由于可高密度种植,带来高产量,可适应不毛之地、恶劣外界环境和各种季节,能高效利用水、肥,使用土地面积最少,便于机械化和控制病虫害,不依赖土壤,可防止土壤带来的病虫、盐碱、排水不畅等灾害,因此国外使用非常普遍。营养液栽培本身就涉及类型选择(水培、雾培、基质培)、营养液配方的确定、设备选型或工程制造等问题。

为了检测植物的实时生长状况,从而预测植物的生长趋势,并以报警形式反映植物是否受到干旱、高低温等环境威胁,及时解决出现的问题,以达到高产、优质的目的,温室需要安装生理信息传感器,监测植物的茎粗、叶温、叶湿、茎流及果实生长的变化等情况,为分析植物的长期生理特性提供数据支持,进行精确的生长条件控制,以实现作物生长环境的优化。

(二) 现代温室工程的定义

目前尚无现代温室工程的标准定义。美国对现代温室生产的定义是:环境在控制下的农业生产,也就是利用温室可以在气候不利于甚至不能使作物生长的地方和时期,种植作物和产出食物。当露地也能生产时,温室则可保护作物免受大风、暴雨、冰雹等自然灾害的伤害。因此,覆盖有透明或半透明材料,其内部环境得到改善或控制的建筑就称为现代温室。根据这种说法,塑料大棚、日光温室、玻璃温室、植物工厂等都属于现代温室范畴,只不过环境控制水平和程度有差异。另外,现代温室是个动态概念,随着时代的发展和进步,温室现代化水平也在日益提高和完善。

二、发展现代温室的意义

(一) 发展现代温室是建设现代农业的重要内容

温室栽培能有效地加快传统农业向技术密集型现代农业转化。采用现代农业高新技术,提高农民科技与文化素质,可增加农业产品中科技进步所占的份额,减轻劳动强度,提高劳动生产率和单位面积优质农产品产出率,保障农业总产出与社会总需求的平衡。

发展现代农业的过程,就是促进农业水利化、机械化、信息化,生产过程自动控制化和智能化。温室生产通过工程技术、生物技术和信息技术的综合应

用,使动植物达到高产、优质、高效、安全、周年生产的目标,具有集约化、商品化、产业化等现代农业的典型特征。

(二) 发展现代温室是实现农民持续增收的有效途径

设施农业充分利用自然环境和生物潜能,在大幅提高单产的情况下保证质量和供应的稳定性,具有较高的市场竞争力和抵御市场风险的能力,是种植业和养殖业中效益最高的产业,也是当前广大农民增收的主要渠道之一。如露地生产的黄瓜、番茄、甜椒、茄子等产量一般为 $30000 \sim 45000 \text{ kg/hm}^2$,而设施内栽培产量可达 $150000 \sim 300000 \text{ kg/hm}^2$ 。温室内光照和温度的良好控制,可使荒地转变为可耕地,在沙漠和北极荒地种植作物,从而养活那里缺粮的饥饿居民。温室可在不适于动植物生长的季节进行反季节栽培和养殖,增加淡季供给量,缓解淡旺季矛盾,实现均衡供给。所以,温室农业生产不仅丰富了城镇居民的“菜篮子”,也装满了农民的“钱袋子”,促进设施农业发展,有利于优化农业产业结构,促进农民持续增收。

(三) 发展现代温室是实现环境友好型农业的重要手段

资源短缺和生产环境恶化是我国农业发展必须克服的问题,发展设施农业可减少耕地使用面积,降低水资源、化学药剂的使用量和单位产出的能源消耗量,显著提高农业生产资料的使用效率。北京、河北、辽宁、山西、甘肃、黑龙江等地,将节能型日光温室、畜禽暖棚暖圈与沼气池三位一体科学筑造,构成有机生态型农业模式而形成良性循环,饲养动物放热,呼出的 CO_2 为植物利用,粪便池产生沼气作为燃料或用来照明,沼渣是优质肥料,植物为家畜提供良好的空气环境。这体现了设施农业技术与装备的综合利用,可以保证生产过程的循环化和生态化,实现农业生产的环境友好和资源节约,促进生态文明建设。

(四) 发展现代温室是保障食物安全的有力措施

温室工程以其牢固的骨架设施和高强度、高寿命的覆盖材料,在一定程度上能抵抗自然界大风、低温霜冻、大雨、冰雹以及高温、强日照等不利气候的影响,增强抗灾和减灾能力,使设施栽培作物在不适宜的外界条件下获得成功。设施农业可以通过调控生产环境,提高农产品产量和质量,保证农产品的鲜活度和周年持续供应,有利于保障食品安全,维护社会和谐稳定,改善民生。

第二节 国内外温室工程发展状况

一、温室发展简史

温室最早出现在公元前 30 世纪罗马皇帝 Tiberius 时代。罗马皇帝

Tiberius特别爱吃黄瓜,因此,罗马的园艺家就把黄瓜种植在推车内,白天放在阳光下,夜间放在用油布或稍微透明的云母板搭成的黄瓜室等特殊环境内保温,以满足罗马皇帝 Tiberius 一年四季的需要。1559 年,第一套实用温室由法国植物学家 Jules Charles 设计出来,并建在荷兰的 Leiden。起初温室用于种植热带药材,其中最受欢迎的植物之一是来自印度的罗望子树,这种树的果实可被加工成具有治疗功能的饮料。19 世纪上半叶,随着铸造技术的改进,平板玻璃的制造工艺有了新的突破,使平板玻璃作为温室外覆盖材料成为现实。1850 年在英国伦敦海德公园首次展示了用玻璃板制成的水晶宫(温室),进行植物栽培,引起了轰动。之后,欧洲大陆纷纷效仿,一些皇家花园和药用植物园相继建立了类似的温室,此后温室开始在欧洲推广。此后,这位法国植物学家又开始在温室内种植柑橘,以防果树受到霜冻。这期间,温室内种植的植物仅仅是为了满足贵族的观赏欲望和品尝热带或珍贵、稀有产品,温室成为富贵地位的象征。凡尔赛宫温室柑橘园即为一例,那庞大、壮观、华丽的柑橘温室园就是专门为王室而建。凡尔赛宫温室柑橘园长约 150m,宽约 13m,高 14m,向南采光和采热。但是,这些温室结构都很笨重,后来世界上出现了倾斜玻璃墙(图 1-1)和加热烟道式温室,改善了温室效率。随着玻璃质量的提高和新技术的使用,可建更大和更精致的温室。

温室发展的黄金世纪是在英国的维多利亚时代。1904 年英国已有温室超过 200hm^2 ,美国则达到了 900hm^2 。英国人把温室称作暖房,因为它能保护植物,而法国人则把他们的第一座温室称作橘园,以后又出现了菠萝园,因为他们将温室用于种植橘子和菠萝。

到 19 世纪,英国在 Kew 公园建造了温室(图 1-2),用于园艺和非园艺展览,与此同时,伦敦、纽约建造了铁和玻璃结构的水晶宫(温室),慕尼黑建造了玻璃宫温室。

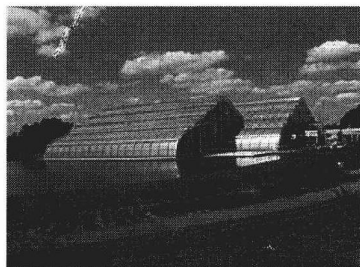


图 1-1 倾斜玻璃墙温室

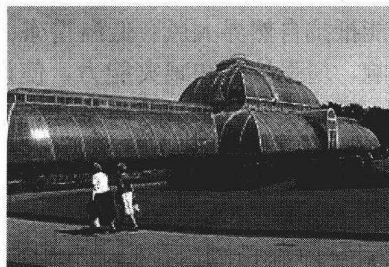


图 1-2 英国维多利亚 Kew 公园温室

19 世纪末,玻璃已发展得很完善并撤销了高税收。富人开始互相竞争建造最精美的温室,但仍然是将温室用于种植柑橘和花卉,很少考虑利用温室进行食品生产。

布鲁塞尔皇家温室是比利时国王 Leopold 二世命令建造，由 Alphonse Balat 设计，于 1874 年至 1875 年建成的综合供暖式温室（图 1-3）。该温室总面积为 2.5hm^2 ，每年需要 800000L 燃油用于温室供暖。该温室每年有两周时间对外开放，届时室内鲜花盛开，吸引众多市民前来参观。

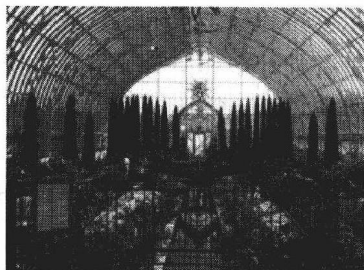


图 1-3 布鲁塞尔皇家温室内部景观

世界各国温室形成产业是在第二次世界大战以后，温室内最普遍种植的作物是番茄、黄瓜、甜椒、西瓜、西葫芦、莴笋、茄子、芦笋、草莓、葡萄、姜、花椒、茴香、草药等。

二、国外温室发展状况

（一）荷兰

1. 发展历程

荷兰 100 年来温室的发展历程大致分为初级发展阶段（1900—1945）、快速发展阶段（1946—1990）、稳定成熟阶段（1991 年至今）三个主要阶段。荷兰温室的初级发展阶段随着玻璃技术的革新而发展起来。1904 年，荷兰进行首次温室普查时，温室面积仅为 28hm^2 。20 世纪 20 年代后期，荷兰开始发展温室产业，但发展仍然缓慢，到 1927 年双坡面玻璃温室为 391hm^2 ，1939 年达到 1000hm^2 。这一时期荷兰的园艺设施大致有三种型式，一种是被称为温床的结构，后面是矮墙，前面为略低于后墙的玻璃立面，顶部为可开启的玻璃采光面，主要用于花园植物的越冬；第二种称为双坡面玻璃温室，是具有尖顶对称屋面和斜侧立面的玻璃温室，可用于果蔬和花卉的种植；第三种是木结构的简易一面坡温室。这一时期大部分的温室设施结构简单，无任何环控措施，且栽培技术落后，仅能满足夏季的园艺生产和花园植物的越冬等需求。表 1-1 所示为荷兰中央统计局公布的荷兰 1904—1939 年的温室面积。

表 1-1	荷兰温室面积（1904—1939 年）			单位： hm^2
时间	温床	双坡面玻璃温室	其他简易温室	
1904 年	178	28	—	
1912 年	495	85	160	
1927 年	833	391	610	
1939 年	1024	1000(估计)	1500(估计)	

第二次世界大战后，荷兰得到了美国的大力援助，大量先进的农业技术、农业机械、化肥、农药等纷纷从美国输入荷兰。荷兰不失时机地在国内建立农

业示范户和综合示范区，成立农业合作社，帮助农民提高经营水平，并且以及实施各种补贴和信贷等措施，使农业得到了迅速恢复与发展。温室技术也在这一时期得到了快速发展，荷兰中央统计局公布的这一时期荷兰的玻璃温室面积发展状况如表 1-2 所示。

表 1-2 荷兰玻璃温室面积 (1950—2004 年)		单位: hm ²	
时间	玻璃温室面积	时间	玻璃温室面积
1950 年	3300	1990 年	9600
1960 年	5000	2001 年	10600
1970 年	7000	2004 年	10905
1980 年	8800		

2. 技术革新

从第二次世界大战结束到 1990 年的 40 多年间是荷兰温室发展最快的一段时期，主要有以下原因。

荷兰地处北纬 51°~53°的高纬度地区，由于受海洋性气候的影响，冬暖夏凉，但光照相对不足，温室发展的主要限制因子是光照。因此，最大限度地提高覆盖材料的透光率、减少骨架阴影、合理设计采光屋面角是该地区温室建设的关键技术。20 世纪 50 年代初，在位于荷兰东南部林堡 (Linburg) 省一个叫 Venlo 的小镇，最早出现了一种小尖顶连栋玻璃温室，以后人们习惯地称这种温室为 Venlo 型温室。最早的 Venlo 型温室的跨度为 6.4m、开间 4.0m、檐高 4.0m、脊高 4.8m，每跨由两个小屋面构成。后来经过多次改进，其逐步形成了现在的 6.4m、9.6m、12.8m 等多跨度组合模式。Venlo 温室的主体结构通过采用柱网支撑骨架钢结构、铝合金镶嵌玻璃屋面直接坐落桁架以及屋面承重由铝合金嵌条承担等措施，使用钢量减少到仅为 5kg/m²，比其他温室结构 12~15kg/m² 的用钢量节约一倍以上；同时，通过屋面构件的优化设计，透光率也大为提高，逐步形成了现在这种独具风格的与荷兰气候特征相适应的温室型式。Venlo 型温室的发展，既满足了荷兰对最大采光量的需求，又为机械化耕作和规模化生产提供了广阔的空间，对荷兰现代温室的发展起到了重要的推动作用。20 世纪 50 年代初，随着杂交育种新技术的广泛应用，荷兰育种工作者开始着手温室作物新品种的选育，一些耐弱光、抗病、高产、适宜长季节栽培的温室作物新品种相继问世，并通过多年的更新，形成了目前强大的温室作物良种产业，有力地推动了温室园艺的发展。20 世纪 60 年代初，采暖系统逐渐引入温室的冬季增温，使用的燃料由最初的煤炭慢慢升级到石油，70 年代初又从石油升级到天然气，使温室的加热系统不断得到改进与提高。一些与温度环境控制相关的锅炉、混合调节阀等装置相继得到普及与应用。从 20 世纪 60 年代开始，CO₂ 施肥技术也开始在温室使用，使作物产量得到了大幅度

提高。60 年代中期，第一个温室模拟气候控制系统问世，当时虽然仅能控制加热和通风装置，但为后来的计算机控制系统奠定了基础。

Strijbosch 在温室模拟气候控制方面进行了开创性的工作，他首次详细记录了荷兰温室顶尖种植户的气候控制策略，为荷兰温室的优化控制提供了宝贵的基础数据和研究方法。20 世纪 60 年代末，镀锌钢结构桁架与铝合金镶嵌框屋顶结构也相继得到应用与推广，温室的采光性能得到进一步提高。70 年代以来，无土栽培尤其是岩棉培技术的广泛应用，大大提升了温室管理效率和栽培控制水平，使机械化、自动化逐渐成为现实。80 年代初，可移动式保温幕的推广应用，为温室冬季夜晚的保温提供了重要保障。这一时期从温室结构优化、通风开窗机构、天沟保温、采暖系统、营养液控制、CO₂ 施肥、环境控制到采收包装等方面的技术都得到快速发展，形成了从播种、育苗、栽培到采收、分级包装、贮藏保鲜各个环节的技术配套体系。根据荷兰温室产业信息年报报道，1950 年到 1990 年温室作物产量得到大幅度提高（如表 1-3 所示），番茄产量增长了 5 倍，玫瑰产量增长了 2 倍。

表 1-3 荷兰玻璃温室作物的产量

年代(20 世纪)	番茄/(kg/m ²)	玫瑰/(枝/m ²)	菊花/(枝/m ²)
50	7.7	110	—
60	9.5	160	—
70	20.0	220	90
80	29.0	240	130
90	44.0	320	180

在高度发达的工业化影响下，温室产业也广泛应用现代工业技术进行装备，如传动机械、耕作机械、包装机械、预冷机械、运输机械等机械技术，工程构架材料、工程塑料、覆盖材料、节水工程等工程技术，光、温、水、气、肥等自动化控制的计算机管理技术，生物制剂、生物农药、生物肥料等生物技术，以及技术信息、产品信息、市场信息、生产信息等现代信息技术等广泛渗透到温室产业，逐渐把温室农业推向工厂化农业。

3. 政府调控

政府在温室农业发展的宏观调控和产业导向方面起着重要的推动作用。荷兰政府为了使有限的土地得到高效的利用，避开了需要大量光照和价位低的禾谷类作物，大力发展附加值高的园艺作物、畜牧业和加工业。20 世纪 60 年代以来，荷兰政府采取调整农业结构和生产布局，为温室农户提供大量贷款等措施，大力发展温室产业。1983—1992 年的 10 年间，通过实行补贴政策，使从事温室生产的农户可获得 50% 的政府资助，导致农民收入成倍上涨，促进了

温室农业的发展。农业，即使是温室园艺产业也是一个低利润的行业，必须得到政府的政策扶持才能得到快速发展。

规范有序的市场体系是温室园艺产业发展的重要支撑，是连接农户与消费群体的纽带和桥梁。在荷兰，园艺产品的销售是一个完整的体系，规范化的市场网络在这个体系中扮演了重要角色，花卉拍卖市场、蔬菜拍卖市场和专用产品市场等分工明确，为荷兰温室产品快速进入消费领域提供了优质的服务和保障。荷兰温室企业生产的产品均标有生产户名、注册商标和产品品牌，消费者通过产品品牌从市场上购得自己满意的园艺商品。同时，市场的反馈信息也为温室企业提高产品质量、适应市场需求提供了明确的方向。通过市场体系的建设，把农户与消费对象紧密地结合在一起，有力地促进了温室产业的发展。

网络化的农业科研、教育和推广体系是温室技术不断创新和辐射扩散的重要保证。知识和科技是农业创新的手段，荷兰多年来通过瓦赫宁根（Wageningen）大学、农业研究站和地区研究中心，把温室技术的最新知识和科技成果迅速传播到每个种植户，并很快在全国推广普及。在荷兰，所有温室农户的主体技术差异不大，主要得益于这种技术传播网络。

4. 温室工程公司

荷兰是世界上设施园艺最发达的国家之一，目前有 1.1 万 hm^2 现代温室，全部为玻璃温室，占全世界玻璃温室的 25%，主要用于种植花卉和蔬菜。荷兰温室内生产的蔬菜，占本国蔬菜总产值的 3/4，绝大部分销往世界各地；荷兰的花卉产业也十分发达，主要靠温室栽培，是世界第一大花卉出口国，成为世界花卉贸易中心。荷兰的现代温室，无论从面积、规模、水平都居世界前列，但却没有一家专门生产制造温室的企业，虽然也有一些配件专业生产厂家，但温室及配套设施的生产完全靠一种高度社会化、国际化的市场体系。荷兰温室的覆盖、保温材料等均从比利时、瑞典等国进口；温室建造的运作主要靠温室工程公司，具有国际输出能力的温室工程公司有 7~8 家，其主要作用是“集成组装”而不是“制造”，通过市场调查获得需求信息，按用户要求进行温室设计、工程预算、材料购买、工程发包等，完全体现了温室工程建造的特点。荷兰的温室工程公司已从为荷兰、欧洲地区提供工程服务，向世界各国，特别是发展中国家拓展合作业务。

（二）日本

日本第一座温室是由英国商人 Samuel Cocking 于 1880 年为了出口药材所建造。20 世纪 70 年代为日本温室高速发展期，政府向农户提供大型现代化温室的资助，其中国家资助占 50%，其他资助占 30%~40%，农户自付资金仅占 10%~20%，这大大推动了设施园艺业的发展，使日本温室很快进入世界先进行列。1995 年日本有现代温室 4.88 万 hm^2 ，主要是塑料薄膜温室。由于