

温室环境工程技术

陈 健 刘九庆 编著

东北林业大学出版社

温室环境工程技术

陈 健 刘九庆 编著

东北林业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

温室环境工程技术/陈健,刘九庆编.—哈尔滨:东北林业大学出版社,2002.3

ISBN 7-81076-322-9

I. 温... II. ①陈...②刘... III. 温室-环境工程 IV. S625

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 043811 号

责任编辑:冯 琪

封面设计:戴 千



NEFUP

温室环境工程技术

Wenshi Huanjing Gongcheng Jishu

陈 健 刘九庆 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨工大节能印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 10.125 字数 254 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-322-9
X·20 定价:18.80 元

前 言

随着全球经济一体化的发展,以计算机管理技术、现代信息技术、生物技术为代表的高新技术正在促使世界农业发生巨大变化,并成为支撑各国农业发展的基石和提高农业竞争力的关键所在。而作为工业化集成技术产物的温室设施工程成为世界各国农业现代化进程中的最主要研究和发展对象。本书针对温室工程的关键技术展开讨论,重点论述了温室的发展、构造、类型以及现代高新技术在温室工程中的应用。

本书作者长期从事温室建造和技术研究工作。此书是这方面研究成果的总结。在编著过程中作者查阅了大量的文献资料,参考了多份研究论文和有关书籍,在此向它们的作者表示感谢。

温室环境工程作为设施农业的主要技术,它是以实际运用中的问题为研究对象,故本书具有如下几方面特色:第一,“源于实践,归于实践”是本书创作的宗旨。第二,从技术角度面向读者,使读者易于掌握理解,还详细介绍了具有广泛发展前景的温室技术。第三,运用大量温室建造中的实例,使读者对温室的建造技术有更好地了解。

本书中的第三、五、六章由陈健编著,第二、四、七章由刘九庆编著,第一、八章由刘志杰编著。全书由陈健统稿。

尽管作者尽了很大的努力,但由于水平所限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者给予批评指正。

作 者
2002 年 3 月

目 录

1	温室环境工程发展现状	(1)
1.1	温室与温室环境工程	(1)
1.2	国外温室环境工程发展趋势	(4)
1.3	国内温室环境工程发展趋势	(6)
1.4	各类温室特点	(8)
2	塑料大棚	(11)
2.1	概述	(11)
2.2	塑料大棚的类型	(12)
2.3	塑料大棚的环境管理	(17)
2.4	温度条件的管理	(20)
2.5	水分条件的管理	(26)
2.6	气体条件的管理	(29)
2.7	土壤与营养条件的管理	(33)
3	玻璃温室	(34)
3.1	玻璃温室简介	(34)
3.2	玻璃温室的主要结构参数及建筑特点	(35)
3.3	玻璃温室的基础和钢结构	(38)
3.4	玻璃温室的环境调节	(42)
3.5	玻璃温室的环境控制	(49)
4	塑料温室	(53)
4.1	塑料温室性能特点	(53)
4.2	大型塑料温室建筑结构	(58)
4.3	塑料温室覆盖材料	(68)
4.4	塑料温室通风	(72)
4.5	塑料温室开窗系统	(75)

5 温室的设计与建造	(76)
5.1 概述	(76)
5.2 日光温室的采光设计	(77)
5.3 日光温室的保温与墙体设计	(97)
5.4 设计日光温室应考虑的两个问题	(114)
5.5 温室发展的趋势	(139)
6 智能温室	(141)
6.1 智能温室的发展趋势	(141)
6.2 智能温室的建筑结构	(142)
6.3 载荷校验	(146)
6.4 三连拱温室受风雪荷载时的结构计算	(153)
6.5 智能温室常用覆盖材料	(162)
6.6 智能温室的通风系统	(166)
6.7 智能温室的降温系统	(170)
6.8 智能温室的加热系统	(171)
6.9 智能温室保温、遮阳系统	(181)
6.10 人工光照系统	(184)
6.11 计算机控制的喷、滴灌系统	(201)
6.12 智能温室中的钢丝绳连杆天窗机构	(210)
6.13 智能温室环境控制系统	(214)
7 日光温室的采光优化设计	(232)
7.1 温室采光设计的理论分析	(232)
7.2 日光温室采光辅助设计软件 (GRLT)	(240)
7.3 日光温室前屋面采光性能的优化设计	(251)
7.4 日光温室方位和地理纬度对太阳直射光透过率的影响	(255)
7.5 日光温室中直射光的计算机模拟方法	(261)
7.6 典型日光温室直射光环境的模拟与分析	(268)

8 在日光温室设计中应该注意的几个参数	(278)
8.1 有立柱钢骨架日光温室的优化设计	(278)
8.2 温室细雾风机系统的参数设计	(283)
8.3 温室细雾风机系统主要设计参数对细雾蒸发的 影响	(293)
8.4 温室雾喷——水膜降温系统的设计	(297)
8.5 温室结构与滴灌系统的设计	(303)
参考文献	(311)

1 温室环境工程发展现状

1.1 温室与温室环境工程

温室是人类在建筑场所内控制和模拟自然气候以采光覆盖材料作为全部或部分围护结构材料,可在冬季或其他不适宜室外植物生长的季节来从事植物栽培的一种高级园艺设施,也可将其称设施园艺。近年来,温室已经突破了园艺领域,开始较为广泛地应用于农、林、牧、副、渔等业生产和科学研究方面。随着设施农业的飞速发展,人们生活水平的提高对农业高新技术发展的新要求,温室在结构上、材料上、形式上也发生了变化和进化。

在公元前,中国开始用棚屋和温泉加温种菜种瓜。在公元前4世纪的罗马时代,出现了云母片覆盖的厩肥酿热加温床种植黄瓜。经过两三千年的缓慢发展,中国在清朝出现了戳立油纸前窗的土温室,可以视为最早温室的原始类型。法国在1385年出现了第一座前面有玻璃后面依墙的最早玻璃温室,其后六百余年才逐步出现了性能结构较好的单屋面温室(1800年美国)、双屋面温室(1903年荷兰)和连栋温室(1967年荷兰)。数百年来的温室类型演化模式可以归纳为:油纸原始温室→单屋面温室→双屋面温室→连栋温室这样四个阶段。

自20世纪60年代至70年代,随着科学技术的发展,社会经济的繁荣,钢铁、化学工业的振兴和石油廉价开发,全世界温室发展速度加快,并向材料结构现代化、环境控制自动化、规模

面积大型化的方向发展。据中、美、苏、日、英、法、荷兰等 29 个国家的统计, 1975 年温室面积达 43.143 hm^2 , 到 1977 年两年之间面积又激增一倍。在此期间, 我国也逐步开始了现代化温室的建设, 1977 年北京玉渊潭建造了我国自己设计的第一座荷兰式大型连栋温室。此后, 兰州、牡丹江、上海、哈尔滨、大庆等市相继自建或引进一批荷兰式双屋面连栋温室。

20 世纪 70 年代末, 世界性石油危机发生后, 温室的发展受能源影响而呈下降趋势, 特别是能耗高、造价高、保温困难的大型连栋温室, 多因经济效益大幅度下降而停滞发展。我国的大型温室尽管因科研需要和蔬菜特需供给仍在继续使用, 但发展趋势也由盛转衰。

近年来塑料工业的高速发展, 为设施园艺增加了新的塑料薄膜温室系列 (包括多种形式的大中小棚)。由于塑料薄膜温室与玻璃温室相比具有投资少、性能好等优点, 因而发展速度是惊人的。如日本 1977 年玻璃温室总面积为 1284 hm^2 , 同期的塑料薄膜温室达到 25795 hm^2 , 比例为 1:20; 我国 1986 年玻璃温室总面积为 670 hm^2 , 同期的塑料薄膜温室达到 23330 hm^2 , 比例为 1:35。

在温室发展盛衰起伏之间, 中国的小型单屋面温室却呈现出稳步发展趋势, 其生命力旺盛的原因在于这类温室能够比较充分地利用太阳能, 并便于保温, 加之造价低、能耗低, 可获得比较高的经济效益。

温室环境工程是设施农业的重要组成部分, 随着生命科学、信息科学、航天科学、材料科学、环境科学、系统科学、控制科学的不断发展和在农业领域中的全面渗透, 为农业科技进步注入了强大动力。特别是超级水稻、转基因猪、克隆牛羊的培育成功, 动植物生长激素、动植物生物反应器的开发应用, 农业生产、流通、管理领域中的信息化, 标志着世界农业正在进入一个高新技术化时代, 世界性的新农业科技革命正在兴起。

在农业科技革命的推动下，世界农业发生了巨大的变化，呈现出新的特征：高新技术在农业中广泛应用；农业从传统的种养业，向微生物产业、食品制造产业，乃至新生物制剂产业拓展，农业生产规模化，企业数量减少、实力增强；信息技术在农业生产、流通中广泛应用；跨国农业企业和企业集团不断壮大，农业竞争国际化。

世界农业科技的重大突破不断涌现，农业高新技术发展呈现出以下特点。

第一，生物技术取得重大突破，并迅速产业化。近年来，世界各国越来越认识到基因资源对农业发展的重大意义，不仅重视物种资源的搜集保存，还加大了基因工程研究的力度。美国孟山都公司投资 1.65 亿美元兴建了生命科学研究中心，英国也投巨资建立了植物研究中心，转基因“超级猪”研究、基因鱼工程研究取得突破性进展。英国罗斯林研究所用体细胞克隆小绵羊“多莉”的成功则标志着动物克隆技术的重大进展。基因工程、细胞工程、染色体工程的发展，将对动植物遗传改良，乃至农业的全面发展产生巨大的促进作用。

第二，信息技术广泛应用，信息化进程加快。信息技术近几年在农业领域得到了广泛应用，信息技术的标准化、智能化、系统化、实用化、网络化极大地促进了农业专家系统、农业信息网络、虚拟农业、精确农业等领域的发展。

第三，持续高效技术日益受到关注，促进了技术密集产业的发展。提高资源的利用率是世界农业研究的核心任务，超级水稻、超级小麦、优质玉米的选育，化肥的高效利用，节水灌溉技术的不断进步，推动了持续高效技术的发展，并带动了农业各技术密集产业的兴起。

第四，以农产品加工技术为主体的食品制造技术迅猛发展，成为农村经济的重要增长点。国际上集约化、连续化和自动化方面的技术已相当成熟，正带动着农产品加工业向“加工技术密集

化”和“食品的多元化”的方向发展。膜技术、超临界流体萃取技术、超微粉碎技术、磁力杀菌、无菌包装等技术使农产品加工业迅猛发展，成为食品制造业的重要构成。

第五，设施农业技术得到较快发展。设施农业技术作为改造传统农业，实现产业升级，推动现代农业发展的重要手段，近几年在国际上得到较快发展。由于设施农业的高效益和高技术综合密集，带动了专用品种、相关设备及新型材料的发展。

第六，遥感、航空航天技术取得突破性进展，并在农业领域全面应用。遥感、航空航天技术领域的日益发展，以及关键技术的重大突破，不仅带动自身行业的发展，而且在农业领域不断渗透与应用，从而极大地方便了农业信息的采集和整理以及种质资源的改良，为农业发展决策、农业灾情监测、资源环境状态预测提供了快捷有效的手段。

温室环境工程既是农业科技发展的需要，也是设施农业一种重要的产业。

1.2 国外温室环境工程发展趋势

目前，大多数国家在生产上应用的是以塑料温室为主，只荷兰等西欧国家由于气候的原因以玻璃温室为主。温室骨架材料大部分以钢材骨架为主，主要是方钢管材和圆管材。铝合金屋顶、覆盖材料一般都分两层，即外覆盖材料和内覆盖材料，外覆盖材料多用各类塑料薄膜、玻璃、玻璃纤维加强聚酯板和聚碳酸酯板（阳光板）；内覆盖材料有保温帘（用于冬季或夜间提高保温性能），遮阳网或各种降温降湿材料（用于夏季降低棚、室内的温度和湿度）。发达国家的温室环境工程所采用的覆盖材料都具有非常高的透光性、高的保温性、防尘、无滴、不结露、抗老化、使用期长等特点。近几年来，日本、加拿大、美国等国家开发出来了功能膜，此膜具有光谱选择、降温、杀菌、防虫或抗老化等

特点。温室环境工程中的供热保温系统也以燃油和天然气为主。在温室的管理上引进计算机技术,从而实现了温室内的温度、湿度、二氧化碳浓度和温室环境外的温度、风雨、日照以及植物生长状况的自动控制,在智能温室中也有采用管控计算机和底层控制器(嵌入式单片机系统)组成的小型集散系统。管控计算机实现对温室系统管理和数据管理等功能,温室中的环境调控由底层控制器来完成,在单片机系统中也有引用实时操作系统(RTOS)来解决温室控制的复杂性。

目前,发达国家在温室环境工程中都处于领先地位,设施农业总的发展趋势是:

(1) 温室大型化 随着温室技术的发展,发达国家的生产型温室不断向大型化方向发展,美国 1994 年以来在南方新建多处大型温室,单栋面积均在 20 hm^2 以上。荷兰、比利时的温室户营规模一般为 2 hm^2 左右,每座温室的单栋面积都在 0.5 hm^2 以上,日本提出的温室发展方向是单栋面积 $5\,000 \text{ m}^2$ 以上的温室。

(2) 高新技术化、工厂化 发达国家应用于设施农业的高新技术主要有:无土栽培技术、营养液调配技术、环境监测调控技术、二氧化碳施肥技术、蜜蜂授粉(生物)技术、基质消毒技术、机械消毒技术、机械化作业技术、产品采后处理技术、新能源技术、激光技术、空间技术和海洋工程技术等现代技术,使设施农业逐步向植物工厂方向发展,从而向设施农业的高级形式工厂化农业演变。

(3) 温室产品多样化、特色化 除蔬菜、水果和花卉等温室常规作物外,凡是能产生高附加值的如香料、特种植物、工业原料植物、药用植物、食用菌和其他观赏植物均已成为温室栽培的主要品种。同时各国又在产品的特色上大做文章,以花卉生产为例,由于国际花卉生产布局基本形成,荷兰逐渐在花卉种苗、球根、鲜切花、自动化生产方面占有绝对优势;美国在草花及花坛植物育种、盆花、观叶植物生产方面处于世界领先地位。

(4) 温室产业向节省能源、低成本的地区转移。

1.3 国内温室环境工程发展趋势

我国农业、林业发展的几千年来始终受制于自然，世界各国都在为提高环境控制能力而努力奋斗，这一问题同样是我国科技与生产的重要问题。发展设施农业的首要问题就是提高控制环境的能力，提高生产水平，改善生产环境。实现集约高效经营，促进各行各业的可持续发展。我国属于资源短缺型国家，人均耕地不足 0.08 hm^2 ，水资源人均占有量不足世界平均水平的 $1/4$ ，利用率仅为 30% 。根据我国实际国情，以节能高效温室为主体的设施农业的重要产业的组成部分由于其可控空间大、空间利用率高，透光率高、采光效果好、保温效果好、节约能源、自动化程度高、成本低而越来越被人们所接受。

中国从 20 世纪 70 年代末开始引进国外大型连栋现代化温室，先后从日本、罗马尼亚、保加利亚、荷兰、法国、英国、西班牙、美国、韩国等设施农业发达国家引进各种类型的现代化温室面积已逾 200 hm^2 。从 1979~1994 年的 15 年间，随着改革开放政策的实施，从日本、欧洲和美国等国引进现代化温室 20 hm^2 ，由于缺乏对现代化温室的管理经验，只是单纯引进了温室主体本身，没有考虑配套的种植品种和栽培技术，再加上对中国气候条件的认识不充分，除少数能正常运行外，基本上是失败的，使中国大型现代化温室的发展跌入了低谷。随着人民生活水平的不断提高和对蔬菜需求量的迅速增大，中国科技工作者结合中国国情在北方地区适时推出并改进和发展了具有中国特色的日光温室，使城乡居民的蔬菜供应得到了基本满足。随着人们对蔬菜质量要求的不断提高和花卉产业的兴起，日光温室操作空间小、生产环境不稳定、占地面积大等问题逐渐被人们所认识。1995 年以示范农场的建设为契机又重新拉开了第二次引进现代

化温室的高潮，在短短的 5 年时间内，全国引进温室面积已超过 200 hm^2 ，是前 15 年的近 10 倍。这第二次引进浪潮相比第一次引进，不仅引进了温室本身，而且引进了品种、栽培技术乃至技术管理专家，有的国外厂家甚至就在国内寻找合作加工厂，从温室骨架、覆盖材料、加热系统、灌溉系统、技术管理等方面掀起了全方位的国产化浪潮，使温室的造价进一步降低，同时也带动了我国温室产业的形成和发展。

随着优质农产品市场的发展和农业种植结构的调整，以温室及其配套设施为代表的设施农业技术发展迅速。据初步统计，到 1999 年底，中国设施栽培面积已达 150 万 hm^2 ，主要用于蔬菜、花卉、果树、苗木栽培、畜牧及水产养殖等，其中塑料中小拱棚约 65 hm^2 、塑料大棚 35 万 hm^2 、各类温室约 50 万 hm^2 ，其中，日光温室约占 99.8%，现代化温室仅占 0.2%，近 1000 hm^2 ，其中来自世界约十几个国家（美国、荷兰、法国、西班牙、韩国、日本、加拿大、比利时、意大利、保加利亚、匈牙利、罗马尼亚等）的进口温室约 200 hm^2 。在上述数据的分析中我们发现，在所有的设施栽培面积中，大型现代化温室的增长速度最快，并正在成为中国设施农业中最具热点的产业之一，同时，与之相关的温室材料、温室配套设施、温室作业机具等也得到了巨大发展。预测在今后 5~10 年中，中国温室产业将成为全球温室产业中的重要组成部分，中国也将成为世界上新兴的、最大的温室产品市场之一。

农业发展的好坏始终是保证中国经济发展和社会稳定的最重要的因素，而设施农业则是中国农业实现优质、高产、高效和保证我国“菜篮子”工程实施的重要手段，特别是随着中国农产品国际化趋势的发展和国际农产品市场竞争的加剧，提高中国农产品的质量、品质、效益，尤其是农产品的国际竞争力将成为中国 21 世纪农业生存与发展的首要任务，而设施农业的发展将成为中国实现这一目标的重要保证。温室作为设施农业中的重要内容

也必将面临前所未有的机遇和空前的发展。

然而,随着我国加入 WTO,大量国外温室企业将纷纷抢滩中国市场,特别是荷兰、法国等其国内温室市场已近饱和的国家和西班牙、韩国等一些温室产业发展较快的国家的企业,都在利用各种机会、不惜代价地竞争中国市场,并取得了较大的成功。某些企业甚至投资中国,将中国作为其全球发展的重要基地之一。虽然我国尚存的关税壁垒,保护了一些温室企业,但由此带来的冲击与压力已十分明显,因为我国目前这种企业分立的局面很难像国外公司那样通过较大的批量来保持较低的成本和高质量,产品竞争力明显不足。

近代温室的发展经历了改良型日光温室、大型玻璃温室和现代化温室三阶段,且至今各阶段类型的温室依然并存。

一个地区冬季的光照状况和低温的强度与频率是发展温室的限制因素,因此研究温室的地区气候适应性对日光温室的布局和采取的措施就显得相当重要。我国加温温室的分布与国外不同,许多温室生产先进的国家,都把温室建立在冬季光照和温度条件相对优越的地区,以减少温室能源的消耗。而我国 90% 的温室集中在三北寒冷地区的大中城市周围,最远的在黑龙江大庆(北纬 46.6°)。这些温室每年需投入大量的能源用于冬季加热和夏季降温,而温室产量产值又很低,因此经济效益差。

1.4 各类温室特点

我国近代温室经历了塑料大棚、日光温室、大型玻璃温室和具有现代化水平的智能温室四个阶段,并且各阶段温室仍然并存,而一面坡节能日光温室较为普及。

玻璃温室 自 20 世纪 70 年代末起,我国先后从日本、美国、荷兰、保加利亚和罗马尼亚等国引进成套设备。这类温室的骨架为镀锌钢管,门窗框架、屋脊为铝合金轻型型材;覆盖材料

为 3~5 mm 厚的普通玻璃或是透明的聚丙烯树脂（玻璃钢）。温室内部设备有：自动化加温系统、电控通风系统、湿帘降温系统、无纺布保温幕、喷灌系统及二氧化碳施肥装置等，有些温室还有监测与计算机控制系统。从引进温室使用情况来看，由于在我国气候适应性较差，大部分经营亏损，经济效益差。20 世纪 80 年代初我国开始出现专业化温室制造业。国产温室大都用普通碳钢作骨架，耐腐蚀性差，内部设备较简单，环境控制能力低，通常只有在晚秋和冬春季节用来栽培花卉、蔬菜育苗及农业科研上的作物种植，不能满足作物周年利用的需要。因此，玻璃温室在我国发展得很慢。

塑料温室 塑料温室是我国北方地区传统的温室，近年来发展迅速，依据其是否加温分为加温温室和节能日光温室。节能日光温室主要由厚的后墙、较厚的东西山墙、骨架和覆膜、活动保温帘等组成，其中后墙是温室的主要蓄热体，后墙、侧墙和骨架是温室的主要支撑部件，覆膜和草帘是主要保温件。目前，我国温室中约有 50% 为节能日光温室。在北纬 40° 左右地区使用，在不加温情况下，外界气温达到 -10℃ 以下时，室内白天温度可保持在 20℃ 以上，夜间维持 0℃ 以上。这种三面环墙、一面透光的温室结构具有良好的保温、节能等特点，且符合我国国情，从而得到迅速发展。

由于塑料温室价低，生产效益好，已发展到 20 万 hm^2 。但由于塑料薄膜透光性低于玻璃，这种温室存在春冬季采光不足，室内空气污染，夏季后墙挡风，温度过高的缺点，与现代化温室相比，环境控制水平和土地生产力均较低。

塑料大棚 塑料大棚是我国南方地区主要的园艺设施类型。塑料大棚的骨架材料有竹、木、水泥与钢筋混合，近年来又发展了镀锌钢管支架和金属线材焊接支架。塑料大棚的主要功能是保温，用于早春茄果类蔬菜育苗和蔬菜的秋延后、春早熟栽培。由于塑料大棚光照强度较弱，空气相对湿度过高，塑料大棚目前仅

作为一种季节性栽培设施而被利用。

温室工程技术未来的发展主要在于，努力提高温室环境控制水平和作业自动化程度，研制出各种温室监测仪器和环境优化控制软件系统，发展符合中国国情的现代化花卉、蔬菜工厂。研究与温室相配套的栽培技术，特别是研究抗性强（如耐低温、弱光、抗病）、丰产、质优的花卉或蔬菜品种的选育等。充分开发和利用新能源，现代温室能耗费用占生产费用的 60% 以上，是经济效益低下的主要原因。合理利用太阳能、地热和生物能等可再生性能源，降低能耗费用，是今后发展温室的一个重要课题。发展日光温室应注意以下二方面的问题。

1.4.1 气候地区适应性与合理布局

在温室的设计、引进、应用时应充分考虑到温室气候地区适应性，尽快制定出不同气候类型下日光温室建筑设计规范、环境评判标准以及研制出集采光、保温性能和力学分析为一体的计算机辅助设计软件系统。

1.4.2 高效利用日光温室，提高经济效益

充分利用空间差、时间差、光照差、温度差、品种差，提高温室利用率。采用多层立体复合栽培，结合作物生态习性和生物学特性，选择喜温与喜凉、喜光与耐阴，早熟与晚熟，直立与蔓性作物品种相配套，达到周年生产，提高复种指数和土地利用率，从而获得较好的经济效益。