

日光温室

蔬菜栽培理论与实践

THEORY AND PRACTICE

ON VEGETABLE CULTIVATION IN SOLAR GREENHOUSE

● 李天来 著

 中国农业出版社



日光温室蔬菜栽培

理论与实践

李天来 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

日光温室蔬菜栽培理论与实践 / 李天来著. —北京:
中国农业出版社, 2014. 9 (2015. 5 重印)
ISBN 978 - 7 - 109 - 19625 - 4

I. ①日… II. ①李… III. ①蔬菜—温室栽培 IV.
①S626.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 225572 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 100125)

责任编辑 张洪光 杨金妹 黄 宇

文字编辑 赵 静

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2014 年 10 月第 1 版 2015 年 5 月北京第 2 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 24.25 插页: 2

字数: 550 千字

定价: 136.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书主要根据作者及其率领的团队 30 年来在日光温室结构及蔬菜栽培研究方面所取得的理论和技术成果编著而成。全书完整地阐述了我国日光温室蔬菜栽培的发展历程，首次系统论述了日光温室设计的理论与方法，全面介绍了日光温室设计与建造、环境与调控、蔬菜生理生态与栽培基础、蔬菜集约化育苗、主要蔬菜栽培模式和栽培技术规程等。本书是迄今为止日光温室蔬菜栽培领域鲜见的既具理论价值、又有实践意义的学术著作。既适于教学和研究者参考，也适于生产者应用。





李天来 农学博士，教授，博士生导师。现任沈阳农业大学副校长，国家级重点学科——蔬菜学科带头人，教育部和辽宁省设施园艺重点实验室主任，农业部科学技术委员会委员、蔬菜专家指导组成员，国家大宗蔬菜产业技术体系设施工程与环境调控研究室主任，《中国农业科学》《园艺学报》《农业工程学报》等杂志编委，《沈阳农业大学学报》主编。

自 20 世纪 80 年代起，一直从事设施园艺与蔬菜生理研究及教学工作，主持完成国家和省部级科研课题 40 余项。创建了日光温室优化设计理论与方法，主持和参与研制出第一代、第二代和第三代系列节能型日光温室；解决了低温弱光下果菜栽培关键技术，率先研制出北方寒区日光温室果菜集约化育苗及高产优质栽培模式与技术体系；在探究果菜主要逆境生育障碍发生机制的基础上，研制出相关防控技术。集成上述技术成果创造了可在最低气温 $-28\sim -20^{\circ}\text{C}$ 地区冬季不加温生产果菜，且达到每平方米年产 37.5kg 的高产纪录，为我国日光温室蔬菜产业的形成与健康发展奠定了重要基础。30 年来共获国家及省部级科技奖 18 项，市厅级科技奖 6 项，其中获国家科技进步二等奖 1 项，省部级科技进步一等奖 4 项、二等奖 7 项；申报和获得国家发明专利 18 项；发表学术论文 380 余篇，其中 SCI 和 EI 收录 45 篇；出版著作和教材 17 部。

前言

农业对于自幼生长在农村的我来说并不陌生，但当我1978年初拿到沈阳农学院录取通知书时却有些茫然，不知农业大学要学什么！跨入大学校门，聆听先生们的专业介绍和入学教育，似乎对于农业大学要学什么有些了解，但此时尚未有更多的感受。随着学习的不断深入，深切感受到农业的复杂性，要想真正做好农业工作不是很容易。也正因为如此，一种责任感油然而生。当年，对于蔬菜科技工作者，解决蔬菜周年生产和周年均衡供应问题是历史性任务，因此，立志此生为完成这一历史任务而奋斗。

1982年1月毕业后，我被留在本校蔬菜教研室设施蔬菜课程组，有幸在当时的园艺系主任谭其猛教授亲切指导和安排下出国学习，又有幸在张振武教授领导下工作，还有幸先后师从斋藤隆和葛晓光教授，四位老师给予我很多指导、支持与帮助，让我终生难忘。自毕业起30余年一直从事设施蔬菜研究与教学工作，得到了蔡启运、刘步洲、方智远、汪懋华、罗锡文、吴国兴、安志信、李式军、张福墁、陈殿奎、陈端生、亢树华、潘锦泉等诸多先生和本校众多老师的无私指导、支持和帮助，让我永世不忘；还得到了众多领导、朋友以及科技推广工作者的关心与支持，让我心存感动；特别是我的团队始终和我风雨同舟，毫无怨言地一同努力奋斗，这种情谊让我感激不尽。如果说30余年我还有一点贡献的话，那也是凝聚众多人心血铸成的结果，在此我深深地向他们表示衷心的感谢。

30多年前，在我跟随着张振武先生考察辽宁一些温泉，试图通

过温泉加温进行温室蔬菜冬季生产时，尚不知道何时能够实现我国北方地区蔬菜周年生产。不久经调查发现，在海城市的感王镇有一种温室可以秋冬茬生产韭菜，春提早生产黄瓜，这一温室后来被命名为感王式日光温室。但这种温室后墙矮、后坡长、脊高矮、空间狭小，不仅采光不够合理，而且作物生长发育和人工劳作也受到一定限制。因此，如何改造这种温室成为当时研究团队的课题。20世纪80年代中期，在张振武教授的领导下，团队首先提出了提高温室后墙的高度，使其能够超过人的高度，然后缩短后坡长度，以保证后坡长度在夏至时也不对后部地面遮光，再按照冬至日真正午时合理透光率确定了合理屋面角，这样就研制出了第一代节能型日光温室——海城式节能日光温室。这种温室内外温差可达到 25°C ，保证了在 40.5°N 的海城地区实现冬季不加温生产黄瓜的先例。90年代初，番茄、茄子等喜温果菜冬季不加温生产也获得成功，并形成了一 20°C 以上地区冬季不加温每平方米年产 22.5kg 的果菜栽培技术体系。90年代中期，为进一步提高日光温室的性能，按照冬至合理采光区段的合理透光率确定了日光温室合理屋面角，研制出第二代节能型日光温室——辽沈系列日光温室，使温室内外温差达到 30°C ，在 41.5°N 的沈阳地区实现了冬季不加温生产喜温果菜，并形成了一 25°C 以上地区冬季不加温每平方米年产 30.0kg 的果菜栽培技术体系。21世纪前10年，再一次试图提高日光温室性能，对日光温室采光、保温和蓄热性能又进行了优化，按照冬至合理太阳能截获确定了日光温室合理屋面角，研制出第三代节能型日光温室——辽沈新型节能日光温室，使温室内外温差达到 35°C ，在 42.5°N 的铁岭地区实现了冬季不加温生产喜温果菜，并形成了一 28°C 以上地区冬季不加温每平方米年产 37.5kg 的果菜栽培技术体系。近几年，为推进日光温室现代化，研制出水循环蓄热彩钢板保温装配式节能日光温室，温室内外温差近 40°C ，可在一 30°C 地区冬季不加温生产喜温果菜。目前这种温室还在进一步研究完善之中，相信它将开启日光温室现代化的新时代。

日光温室蔬菜周年生产的成功，不仅彻底解决了我国北方地区冬季蔬菜供应问题，实现了千百年来北方人梦寐以求的蔬菜周年供应梦，而且也形成了日光温室蔬菜产业，大量节约了能源（较连栋温室每公顷节煤 750t ），取得了显著的经济和社会效益。据统计，目前我国日光温室面积 90万 hm^2 ，年生产蔬菜超亿吨，产值超过4 000亿元。应该说，日光温室蔬菜产业是一个解决蔬菜周年均衡供应、促进农民增收、提供就业岗位、带动相关产业发展、促进资源高效利用等一举多得的产业，也成为一些地区的支柱产业，为我国经济社会发展作出了历史性贡献。不仅如此，日光温室还受到加拿大、日本等一些发达国家的关注，这些国家先后引进了本团队的一些技术和

产品,开展了相关研究。日光温室作为生态节能生产设施将越来越受到更多的重视。

经过30年的努力,尽管日光温室蔬菜生产取得了巨大的经济和社会效益,但目前仍存在较多问题,如设施设备简陋不配套抵御自然灾害的能力较差,环境调控能力较低,生产技术和机械化水平不高,劳动生产率较低,劳动强度较大;专用蔬菜品种不足,蔬菜逆境和连作生育障碍不时发生,病虫害安全防控能力不强,缺乏生产规范和标准,产量和品质不高等。这些问题严重制约着日光温室蔬菜产业的可持续发展,是未来需要解决的重点问题。因此,日光温室蔬菜产业的科技工作仍然任重道远。不过,我相信日光温室蔬菜生产现代化将会在不远的将来实现,日光温室蔬菜产业发展前景一片光明。

过去的30年,曾出版了许多日光温室蔬菜栽培方面的书籍,这些书籍在日光温室的发展进程中发挥了重要作用,然而有关日光温室蔬菜栽培理论方面的书籍还很少。本书总结了本团队30年来在日光温室蔬菜生产技术研究方面取得的成果,同时是15项省部级以上科技奖励和200余篇学术论文思想的集成,既有应用基础理论研究内容,也有应用技术研究内容。全书重点阐述了日光温室的发展历程、设计理论与方法、设计与建造、环境与调控以及环境与蔬菜生理生态、集约化育苗、蔬菜栽培技术基础、主要栽培模式和栽培技术规程等,理论和实用价值突出,特色明显,是一本既适于教学和研究者参考,也适于生产者应用的书籍。相信本书的出版将为日光温室蔬菜产业的进一步发展发挥积极的作用。

在本书撰写过程中,引用了稻田胜美、三原义秋、吉冈宏、Houghtaling、斋藤隆、高桥和彦、矢吹万寿、Gaastra、加藤彻、藤井健雄、张真和、张振贤、艾希珍、解淑珍、李式军等专家及GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》、日本施設园艺协会主编的《施設園芸ハンドブック》、山东农业大学主编《蔬菜栽培学总论》等文献和书籍中的图表。本团队的赵瑞老师和我的学生齐红岩、须晖、白义奎、孙周平、罗新兰等提供了部分资料,孙红梅对初稿的部分章节进行了文字修改,我的众多学生的研究成果被编入本书。而且,收录本书的科研成果曾得到科技部、农业部、教育部、国家自然科学基金委员会、辽宁省科技厅、辽宁省教育厅、辽宁省财政厅及沈阳市科技局等科技主管部门和沈阳农业大学的支持。在此书完成之际,谨向他们表示诚挚的感谢!

由于本书是一本跨学科内容的书籍,因此在撰写中难免有这样或那样的问题和错误,敬请广大读者提出批评建议,以便修订时改正。

李天来

2013年9月于天柱山下

目 录

前言

第一章 我国日光温室蔬菜生产的发展历程、 现状与前景	1
第一节 我国日光温室蔬菜生产的发展历程	1
一、日光温室蔬菜生产的发展历程	1
二、日光温室蔬菜生产的研究历程	3
第二节 我国日光温室蔬菜生产的发展现状	5
一、日光温室蔬菜生产的主要成就	5
二、日光温室蔬菜生产的历史性贡献	7
三、日光温室蔬菜生产存在的主要问题及原因	8
第三节 我国日光温室蔬菜生产的发展前景	9
一、我国发展日光温室蔬菜产业的必要性	9
二、我国日光温室蔬菜产业的发展方向	11
三、日光温室未来的研究重点	13
第二章 日光温室设计的理论基础	15
第一节 日光温室采光设计基础	15
一、影响日光温室采光的主要因素分析	15
二、日光温室合理采光设计理论与方法	21
第二节 日光温室保温和蓄热设计基础	25
一、影响日光温室保温和蓄热的主要因素	25
二、日光温室合理保温和蓄热设计理论与方法	27
第三节 日光温室空间设计基础	31
一、日光温室结构断面形状设计基础	31
二、日光温室内单位面积的空间设计基础	32
三、适合作物生长与人工作业的日光温室空间设计	37

第三章 日光温室优型结构与建造	39
第一节 日光温室发展的适宜环境及区域	39
一、适宜日光温室发展的环境	39
二、我国适宜日光温室发展的主要区域	41
第二节 日光温室优型结构设计	44
一、日光温室优型结构断面尺寸的设计	44
二、优型日光温室的荷载设计	48
三、几种优型结构日光温室	61
第三节 日光温室的建造施工	66
一、日光温室建造场地选择与规划	66
二、材料选择及要求	69
三、日光温室的建造	76
第四章 日光温室环境调控基础与方法	85
第一节 日光温室光照环境变化规律与调控方法	85
一、日光室内太阳辐射变化规律	85
二、日光温室光照调控方法	104
第二节 日光温室温度环境变化规律与调控方法	108
一、日光室内温度变化规律	108
二、影响日光室内温度的因素	114
三、日光室内温度调控措施	127
第三节 日光温室空气湿度变化规律与调控方法	133
一、日光室内空气湿度变化规律	133
二、日光室内空气湿度的形成路径	134
三、日光温室空气湿度的调控方法	135
第四节 日光温室气体环境变化规律与调控方法	137
一、日光室内 CO ₂ 浓度的变化规律	137
二、日光室内 CO ₂ 的收支状况与调控	140
第五节 日光温室土壤环境变化特点与调控方法	145
一、日光室内的土壤环境变化特点	145
二、日光室内土壤环境变化的影响因素	153
三、日光室内土壤环境的调控	157
第五章 日光温室环境与蔬菜生理生态	163
第一节 温度环境与蔬菜生理生态	163
一、蔬菜对温度的基本要求	163

二、温度与蔬菜光合作用	167
三、温度与蔬菜生长发育	171
四、蔬菜作物生育的温度管理	174
第二节 光照环境与蔬菜生理生态	175
一、蔬菜对光照的基本要求	175
二、光照与蔬菜物质生产及吸收	180
第三节 气体环境与蔬菜生理生态	186
一、气体流动与蔬菜生长发育	187
二、CO ₂ 气体环境与蔬菜生长发育	188
三、根域气体环境与蔬菜生长发育	190
四、蔬菜对 CO ₂ 浓度的要求	194
第四节 空气湿度环境与蔬菜生理生态	196
一、空气相对湿度与蔬菜生长发育	196
二、空气相对湿度与蔬菜光合及其物质分配	197
三、空气相对湿度与蔬菜生育障碍	198
四、空气相对湿度与蔬菜病害发生	198
五、蔬菜对空气相对湿度的基本要求	199
第五节 土壤特性与蔬菜生理生态	200
一、土壤湿度及通气状况与蔬菜生长发育	200
二、土壤理化特性与蔬菜生长发育	203
三、土壤生物与蔬菜生长发育	208
第六章 日光温室蔬菜生产的技术基础	210
第一节 日光温室蔬菜环境调控的原则	210
一、日光温室蔬菜气候环境调控原则	210
二、日光温室蔬菜土壤环境调控原则	214
第二节 日光温室蔬菜根系生长与吸收关键调节技术	216
一、蔬菜根系与生长发育及产量	216
二、适宜蔬菜根系生长发育的调节	217
第三节 日光温室蔬菜光合物质生产关键调节技术	218
一、增强蔬菜叶片净光合速率的适宜环境组合	218
二、蔬菜群体光合生产能力的调节	224
第四节 日光温室蔬菜病害控制技术	227
一、避免病原菌进入日光温室内	228
二、增强蔬菜植株的抗病性	228
三、生态环境防病	233
四、物理及农业措施防治病害	233

第五节 日光温室果菜类蔬菜防止落花技术	234
一、果菜类蔬菜落花的原因	234
二、防止果菜类蔬菜落花的措施	243
第六节 日光温室果菜类蔬菜生育障碍调控技术	248
一、果菜类蔬菜温度逆境生育障碍调控	248
二、蔬菜弱光逆境生育障碍调控	259
三、蔬菜连作障碍土壤的调节	263
第七章 日光温室蔬菜集约化育苗技术体系	280
第一节 日光温室蔬菜集约化育苗模式与技术路线	280
一、日光温室蔬菜集约化育苗模式	280
二、日光温室蔬菜集约化育苗技术路线	282
第二节 日光温室蔬菜集约化育苗技术	295
一、穴盘自根苗育苗技术	295
二、蔬菜嫁接育苗技术	298
第八章 日光温室蔬菜高产优质高效栽培模式	305
第一节 日光温室蔬菜高产优质高效栽培模式的确定原则	305
一、依据自然资源和日光温室结构性能	305
二、遵循蔬菜生物学特性和生长发育规律	306
三、遵循市场需求为导向的经济效益原则	306
四、适应专业化、规模化与产业化发展	307
五、遵循合理利用土壤肥力和减少病虫害发生的可持续发展原则	307
六、立足现有技术水平的逐步发展	308
第二节 日光温室蔬菜高产优质高效土壤栽培模式	308
一、一年一大茬栽培模式	308
二、一年两茬周年全季节栽培模式	311
三、一年多茬栽培模式	315
四、日光温室空间利用和立体栽培	317
第三节 日光温室蔬菜高产优质高效营养基质栽培模式	317
一、营养基质的配制	318
二、营养基质栽培技术	318
三、营养基质高效栽培模式	319
第四节 日光温室蔬菜高产优质高效无土栽培模式	321
一、日光温室蔬菜无土栽培主要类型	321
二、日光温室蔬菜高产优质高效无土栽培模式	324

第九章 日光温室蔬菜高产优质高效栽培技术体系	328
第一节 日光温室蔬菜高产优质高效栽培技术体系建立的原则	328
一、日光温室环境适合蔬菜生长发育	328
二、外界环境有利于日光温室蔬菜生长发育	329
三、蔬菜生长发育适应日光温室环境	329
四、蔬菜栽培茬口适应市场需求	330
五、蔬菜生产符合低成本节能	331
六、蔬菜生产符合轻简化	331
七、有利于日光温室土壤保持健康	332
八、有利于日光温室蔬菜优质和安全生产	332
第二节 日光温室茄果类蔬菜高产优质高效栽培技术规程	332
一、日光温室番茄长季节高产优质高效栽培技术规程	332
二、日光温室茄子长季节高产优质高效栽培技术规程	337
三、日光温室冬春茬辣椒高产优质高效栽培技术规程	341
第三节 日光温室主要瓜类蔬菜高产优质高效栽培技术规程	344
一、日光温室黄瓜长季节高产优质高效栽培技术规程	344
二、日光温室甜瓜高产优质高效栽培技术规程	349
第四节 日光温室主要叶菜类蔬菜高产优质高效栽培技术规程	354
一、日光温室芹菜高产优质高效栽培技术规程	355
二、日光温室韭菜高产优质高效栽培技术规程	357
第五节 日光温室主要果菜人工营养基质栽培技术规程	360
一、日光温室番茄人工营养基质栽培技术规程	360
二、日光温室黄瓜人工营养基质栽培技术规程	365
主要参考文献	371

我国日光温室蔬菜生产的发展 历程、现状与前景

日光温室蔬菜栽培的成功与大面积推广，结束了千百年来我国北方地区冬淡季鲜细菜供应难的历史，实现了人们梦寐以求的蔬菜周年均衡供应，也促进了农民增收。应该说，日光温室蔬菜栽培的成功，是我国农业领域具有划时代意义的成就。因此，充分认识日光温室发展历程和现状，将对进一步完善日光温室蔬菜栽培技术体系，促进日光温室蔬菜产业健康和可持续发展具有重要意义。

第一节 我国日光温室蔬菜生产的发展历程

一、日光温室蔬菜生产的发展历程

（一）日光温室蔬菜概念的由来

日光温室蔬菜是温室蔬菜生产的一种方式，温室蔬菜是设施蔬菜的重要组成部分，设施蔬菜又是设施园艺的主体，而设施园艺是设施农业的一个重要方面。日光温室蔬菜是我国独创的一种设施蔬菜类型，始于 20 世纪 80 年代。设施蔬菜在我国曾长期被称为“保护地蔬菜”，直到 90 年代后，随着设施园艺概念的引入，才改用设施蔬菜概念。由于设施蔬菜栽培常在自然环境不适宜的季节进行，故也称为“反季节栽培”或“不时栽培”。90 年代中期以后，伴随着国家实施工厂化高效农业示范工程项目，工厂化农业和可控环境生产概念又应运而生。

（二）日光温室蔬菜概念

日光温室蔬菜概念与设施蔬菜、设施园艺、设施农业和工厂化农业等概念，相互关联且又有所区别。

工厂化农业是指在相对可控环境下，采用工业的生产理念和方式进行农业生产的一种现代农业生产方式。这种方式的生产范围包含种植业和养殖业，其特点是整个生产过程在可控环境下进行，很少受自然环境的影响。但为了高效利用能源，应该选择耗能较少的区域生产。

设施农业是指在各种设施内进行农业生产的一种方式。这种方式的生产范围也包含种植业和养殖业，其生产特点是在不完全可控环境下进行，即设施的环境控制能力一定程度

上受自然环境影响。

设施园艺是指在各种设施内进行园艺作物生产的一种方式。这种方式的生产范围仅限于园艺作物，其生产特点与设施农业相同，也是在不完全可控环境下进行。

设施蔬菜是指在各种设施内进行蔬菜生产的一种方式。这种方式的生产范围仅限于蔬菜作物，其生产特点与设施园艺相同。

日光温室蔬菜是指在日光温室内进行蔬菜生产的一种方式。这种方式的生产范围和生产特点与设施蔬菜基本相同，所不同的是采用的设施类型为日光温室。日光温室是温室的一种。温室是具有采光屋面和保温维护结构与设备，一般情况下室内昼夜温度均显著高于室外温度；而日光温室则不仅具有采光屋面和保温维护结构与设备，还具有蓄热结构，且室内能量主要来源于太阳能。日光温室一般由采光前屋面、外保温草苫（被）和蓄热保温后屋面、后墙与山墙等维护结构以及操作间组成；围护结构具有保温和蓄热的双重功能；基本朝向是东西向延伸，坐北朝南。

（三）日光温室蔬菜产业的形成

日光温室适用于蔬菜、花卉和瓜果等作物的全季节栽培，其中日光温室内生产蔬菜且形成产供销产业则为日光温室蔬菜产业。日光温室蔬菜产业形成于 20 世纪 80 年代，历史虽短，但其发展之快令世人瞩目，目前已成为我国北方地区蔬菜周年供应和农民增收不可或缺产业。

日光温室蔬菜产业是以日光温室蔬菜大面积栽培为基础的。翻开我国设施蔬菜栽培历史，尽管可追溯到前 221—前 206 年的秦代，但温室蔬菜栽培直到清末的近代才开始发展，特别是日光温室蔬菜发展历史不足百年，真正形成日光温室蔬菜产业仅有 20 余年历史。日光温室蔬菜发展历史大体可以分为初创时期、大规模发展初期、全面提升与发展期以及现代化发展期四个阶段。

1. 日光温室蔬菜发展的初创时期 20 世纪 20 年代，海城市感王镇和瓦房店市复州城镇开始利用土温室生产冬春韭菜等蔬菜，而后于 30 年代后期传到鞍山市旧堡昂村一带，50 年代形成了鞍山式单屋面温室；同期北京开始发展暖窖和纸窗温室，并于 50 年代形成北京改良式温室。这一时期温室主要是土木结构玻璃温室，山墙和后墙用土打成或用草泥垛成，后屋面用柁和檩构成屋架，柁下用柱支撑，3m 一柁，故 3m 一开间；屋架上用秫秸和草泥覆盖；前屋面玻璃覆盖，晚间用纸被、草苫保温。此外，50 年代后，随着普通阳畦的改良，逐步发展了塑料薄膜立壕子。鞍山式单屋面温室和北京改良式温室冬春季需要加温，而立壕子只能春季提早育苗或生产，不能进行冬季生产。因此这类温室和立壕子充其量可算作日光温室雏形，此种温室和立壕子生产方式一直延续到 80 年代初期。

2. 日光温室蔬菜大面积发展初期 20 世纪 80 年代初期，辽宁为解决冬淡季蔬菜供应问题，首先在瓦房店和海城等地区的农家庭院，探索塑料薄膜日光温室冬春茬蔬菜不加温生产获得成功，并逐渐在大田中大面积发展。这一时期的日光温室结构主要采用竹木结构，拱圆形或一坡一立式，前屋面覆盖材料为塑料薄膜。典型结构有海城感王式和瓦房店琴弦式日光温室，其中海城感王式日光温室被称为第一代普通型日光温室。80 年代中期

开始,本团队从改造海城感王式日光温室入手,研制出海城式日光温室,使冬季夜间日光温室内外温差达到 25°C ,实现了最低气温 -20°C 地区日光温室喜温果菜的冬季生产,取得了很好的经济和社会效益,是我国温室蔬菜栽培史上的重大突破。到 80 年代末期,全国推广海城式和瓦房店琴弦式为主的日光温室 2 万 hm^2 左右,其中日光温室发源地的辽宁省占 $1/3$ 。

3. 日光温室蔬菜全面提升与发展期 20 世纪 90 年代初期,我国 32°N 以北的北方地区,开始大面积推广海城式、瓦房店琴弦式和鞍Ⅱ型为主的第一代节能日光温室及其黄瓜和番茄等主要果菜配套栽培技术,实现了最低气温 -20°C 地区不加温日光温室每平方米年产番茄和黄瓜 22.5kg 的高产纪录。90 年代中期,本团队研制的第二代节能日光温室——辽沈Ⅰ型日光温室问世并向我国北方地区推广,此后各地也研制出多种类型适合当地的第二代节能日光温室,由此第二代节能日光温室得到大面积发展;至 21 世纪初,进一步推广了第二代节能日光温室蔬菜高产优质安全栽培技术,实现了最低气温 -23°C 地区不加温日光温室每平方米年产番茄、黄瓜、茄子 30.0kg 的高产纪录。这一时期我国日光温室蔬菜生产面积达 50 万 hm^2 ,其中辽宁为 10 万 hm^2 。日光温室蔬菜产业的快速发展,彻底解决了长期困扰我国北方地区的冬春蔬菜供应问题,大幅度增加了农民收入,成为许多地区的支柱产业。

4. 日光温室蔬菜现代化发展期 起始于 21 世纪初,这一时期将是一个相当长的历史发展过程,将完成日光温室结构的优化、环境控制自动化及蔬菜生产机械化、规范化、无害化、标准化及产品优质化等技术创新与普及,并需要建立日光温室结构及建造标准、蔬菜栽培技术标准、产品质量标准等一系列适于不同地区不同作物不同栽培模式的标准。这一目标的实现不仅需要在技术上有所突破,而且需要社会、经济发展到一定的历史阶段,即日光温室现代化需要一个历史过程。一方面我们要摒弃日光温室不能实现现代化的思想,另一方面也要改变日光温室应该快速实现现代化的观念。引进并建造现代化连栋温室很容易,但目前现代化连栋温室在我国只在一定程度上起到了示范的作用。因此,在实现日光温室现代化的问题上,既要克服悲观情绪,认为日光温室不能实现现代化;又要避免盲目激进心态,认为现在搞现代农业,日光温室就应该全部实现现代化;还要克服顺其自然无所作为的畏难情绪,任其水到渠成,自然发展。面对日光温室现代化,我们应该采取以技术创新为核心、基地示范为先导、适宜地区先行发展的思路,积极稳妥地推进日光温室现代化。目前本团队已研制和推广了第三代节能日光温室及主要果菜高产优质全季节生产技术,实现了最低气温 -28°C 地区,不加温日光温室每平方米年产番茄、黄瓜、茄子 37.5kg 的高产纪录。日光温室蔬菜现代化仍处于发展之中。

二、日光温室蔬菜生产的研究历程

我国自“六五”开始高度重视设施蔬菜高效节能栽培技术研究,其中日光温室蔬菜高产优质栽培技术是研究的重点之一。

随着 20 世纪 80 年代初日光温室蔬菜产业在辽宁兴起,80 年代中期,在辽宁省科技项目的支持下,本团队在张振武教授领导下率先开展了“北方冬淡季鲜细菜生产技术开发

研究”。这一研究从改造海城感王式日光温室蔬菜生产技术入手，首次在最低气温 -20°C 地区研制出海城式日光温室及其黄瓜等喜温果菜不加温每平方米年产 15kg 高效节能生产技术体系，这是设施蔬菜栽培史上的突破，为日光温室蔬菜生产技术推向全国奠定了基础。这一研究成果于1990年获得国家星火计划二等奖和辽宁省星火计划一等奖，成为我国日光温室方面的第一个国家和省部级科技奖励。80年代后期，吴国兴和亢树华等也开始探索日光温室结构及其蔬菜生产技术，亢树华设计的鞍Ⅰ型日光温室在北方推广。

“八五”期间，日光温室蔬菜生产技术受到农业部的高度重视，全国农业技术推广服务中心张真和组织了全国日光温室蔬菜生产技术推广协作网，由吴国兴、张振武、王耀林、安志信、亢树华等组成专家组，面向全国培训日光温室蔬菜生产技术骨干；同时由沈阳农业大学张振武、李天来和辽宁熊岳农业高等专科学校吴国兴等共同对瓦房店日光温室冬春茬黄瓜高产高效配套生产技术进行解剖，构建了日光温室冬春茬黄瓜高产高效生产技术体系，录制了专辑录像片；亢树华等设计建造了鞍Ⅱ型日光温室。自此海城式、瓦房店琴弦式和鞍Ⅱ型日光温室作为第一代节能型日光温室的模式结构，连同日光温室冬春茬黄瓜高产高效生产技术体系推向全国。与此同时，农业部也设立了“日光温室结构性能优化及蔬菜高产栽培技术研究”重点科技攻关课题，中国农业工程研究设计院潘锦泉和周长吉、沈阳农业大学李天来和张振武、中国农业大学张福墀和陈端生、江苏省农业科学院沈善铜、中国农业科学院气象研究所吴毅明等共同完成了该项目，项目研制出第一代节能日光温室及其环境优化控制技术，并首次在最低气温 -23°C 地区，研制出不加温日光温室每平方米年产番茄、黄瓜 22.5kg 的高产高效栽培技术体系。此外，辽宁、山东、河北、河南、北京、陕西、甘肃、宁夏、黑龙江以及新疆等地也相继开展了适应当地特点的日光温室蔬菜栽培技术研究，并取得了一批成果，推动了日光温室的快速发展。

“九五”期间，国家实施了重大科技产业化项目——工厂化高效农业示范工程项目，在规划的六个分项中，北京、上海、浙江、广东、天津分项主要研究大型连栋温室，辽宁分项研究日光温室。辽宁分项在李天来和杨家书的主持下，首次在冬季最低气温 -25°C 地区研制出第二代节能型日光温室——辽沈Ⅰ型日光温室及其不加温每平方米年产番茄、黄瓜、茄子等喜温果菜 30.0kg 高效节能栽培技术体系，选育出一批日光温室专用果菜类蔬菜品种，研制出日光温室新型保温覆盖材料、环境控制设备与技术、病虫害生防制剂、低成本蔬菜无土栽培技术、适于日光温室内作业的小型机具、育苗专用机械和灌溉设备等，取得了显著的社会和经济效益，为日光温室现代化发展奠定了基础。项目成果的推广，促进了我国北方地区节能日光温室蔬菜产业的健康发展。

“十五”期间，国家继续实施了工厂化农业科技攻关项目和可控环境农业生产技术的“863”计划项目，沈阳农业大学、山东农业大学和西北农林科技大学主持了有关日光温室方面的研究，对日光温室高效节能生产关键技术、可控环境下主要蔬菜全季节无公害生产技术、蔬菜生育障碍防治技术等进行了科技创新。在最低气温 -25°C 地区，研制出不加温日光温室每平方米年产番茄、黄瓜、茄子 33.0kg 的高效节能栽培技术体系，选育出一批设施专用品种，研制出辽沈Ⅳ型等新型日光温室及环境自动控制系统和专家管理系统，建立了一批中试与产业化示范基地，进一步推动了日光温室蔬菜产业的快速发展。

“十一五”期间，国家实施了资源高效利用设施蔬菜生产技术科技支撑项目，并实施