

# 节能日光温室的发展现状与存在问题

王宏丽, 李 凯<sup>✓</sup>, 代亚丽, 李良晨

S626.5

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 阐述了我国节能日光温室的产生背景以及近 10 余年来该类温室在建筑结构、光热环境等方面的研究进展与所取得的一系列成果, 提出了今后加强研究的方向。

[关键词] 节能日光温室; 建筑结构; 光热环境; 光环境; 设施园艺

[中图分类号] S626.5 [文献标识码] A

我国解决高纬度北方地区冬春非生长季节的蔬菜供给问题经历了下列阶段: 一是就地生产, 储藏供应阶段。其特点是萝卜白菜一统天下, 蔬菜品种严重单调。二是南菜北运阶段。80 年代期间, 我国的“南菜北运”大流通发展迅速, 一度运输量曾达到 10~15 亿 kg<sup>[1]</sup>。广东、广西、海南、云南、福建、四川等地还形成了一些初具规模的北运菜生产基地。但是, 由于运输力量严重不足, 加上包装和转运设施简陋, 冷链系统缺乏, 保鲜困难, 不论在数量上还是在质量上都远不能满足北方市场对冬季鲜菜的需求, 还给铁路运输带来了很大压力。三是利用加热温室, 就地就近生产供应阶段。这虽解决了运输困难, 但耗煤量很大, 可达 300~1 000 t/hm<sup>2</sup> (35° N~43° N)<sup>[2]</sup>。这种产量效益低下的生产方式在能源短缺的我国, 难以大面积推广。在这种情况下, 人们开始寻找低成本、节能耗、效益好的北方蔬菜生产途径。以玻璃、塑料薄膜为透明覆盖材料, 热量主要来自太阳辐射能的节能日光温室便应运而生。在政府和广大科技人员的共同努力下, 日光温室的建筑结构、环境调控技术和栽培技术不断改进, 使得在我国北纬 32°~41°乃至 43°的寒冷地区, 在完全不用人工加热或有极少量加热的温室内, 实现了严冬季节生产喜温果菜的突破。由于节能型日光温室有良好的经济效益, 近 10 年来发展十分迅猛。为适应这一发展形势, 探讨节能日光温室研究进展显得十分必要。

## 1 日光温室的建筑结构

日光温室建筑结构型式向经济合理实用的方向发展。早期日光温室多为一坡一立式玻璃温室, 夜间采光屋面外侧覆盖草苫, 其保温效果好但采光不佳。鞍山式日光温室<sup>[3]</sup>, 通过改造屋面形式、角度和后墙高度, 增加外围结构保温能力, 提高了热能利用率, 增强了温室白天增温能力。但其空间小, 昼夜温差大。随后, 聂和民<sup>[4,5]</sup>通过对日光温室采光理论的分析, 确定了不同纬度地区优化的采光屋面角度和相应的高(中脊高)跨(跨度)比, 据此确定温室高度、跨度、采光屋面形状等建筑参数; 通过对温室热环境研究分析, 确定温室墙体

[收稿日期] 1999-09-15

[基金项目] 西北农业大学青年科学基金资助项目(5210818)

[作者简介] 王宏丽(1966—), 女, 讲师, 硕士。

厚度,结构后屋面仰角和投影等参数。亢树华、陈端生<sup>[6]</sup>通过对节能型日光温室墙体后坡及采光面等各项主要结构参数进行单项因子温光性能的测试与分析,提出了优型结构的各项参数指标。依据这些参数设计的优型结构温室,在严寒季节室内外最低温度差达到30℃的鞍山地区(41°N),在不加温的情况下,冬季可生产喜温的果菜类蔬菜<sup>[7]</sup>。周长吉<sup>[8]</sup>通过建立数学物理模型,编制计算机模拟程序,对各种结构参数组合的温室进光量和时空分布等特征进行分析,寻求采光和受力均满足设计要求的结构参数。从而进行了通过模拟计算,对日光温室的采光结构参数优化的探索。塑料薄膜在蔬菜生产中的大量应用,使日光温室的结构形式更趋多样化,为日光温室的大面积推广提供了一条新途径。值得一提的是,周长吉<sup>[9,10]</sup>针对日光温室特殊的几何形状,参考美国、日本等国家温室建筑规范,对无柱式日光温室设计荷载的取值方法和荷载组合进行了积极的探索,提出了用恒载+前屋面均布荷载、草苫+风载+(植物吊重)、草苫+雪载+(植物吊重)对日光温室前屋面骨架进行曲线寻优,然后用后屋面荷载进行校核的设计优化思路,并绘出了部分结构形式的日光温室建筑结构优化设计通用图。王树忠<sup>[11]</sup>、刘士勇<sup>[12]</sup>、马新立<sup>[13]</sup>、王洪礼<sup>[14]</sup>分别研究了北京、山西、新疆等地日光温室的结构及性能,为我国日光温室设计规范化做了有益的工作。近年来,我国在日光温室的结构优化方面做了不少的研究工作,并取得了许多成果,但目前国产温室建筑骨架结构多数矮小单薄,材料尺寸(直径和壁厚)偏小。热浸镀锌层不均匀,表面粗糙,外观较差,这些都需要研究改进。在建筑标准化方面,目前只有装配式塑料大棚有国家标准,玻璃温室的结构标准尚未批准公布。至于日光温室标准,温室配套设备的标准至今仍是空白。我国地域广阔、气候条件差异大,各地日光温室形式多样,温室的受荷情况和配套设施随地域变化较大,因此在设施、设备标准化方面还有许多工作要做。另外,降低温室设施造价也是急需研究的一个方向。

## 2 温室环境

### 2.1 光环境

日光温室中的光环境,制约着温室的生产潜能,决定着温室的建筑参数,是日光温室研究的一个很重要的方面。对日光温室采光性能的研究,近年来国内外取得很大的进展。国内学者对采光屋面构型优化研究较多。聂和民<sup>[5]</sup>针对悬索式温室和一面坡玻璃温室,通过寻求温室前屋面主要控制点上曲线的斜率来确定日光温室的屋面形状;陈端生等<sup>[15]</sup>以整体曲面为研究对象,对曲面型塑料薄膜日光温室的几种典型曲线断面做了采光性能计算,吴毅明等<sup>[16]</sup>推广了该算法的使用范围;周长吉等<sup>[17]</sup>率先采用网格优化原理,使温室采光屋面构型优化方法实用性进一步拓宽。周长吉<sup>[8]</sup>、潘锦泉<sup>[18]</sup>最近编制出了日光温室采光性能计算程序,并利用模拟的方法对温室的采光性能进行了全面的研究,探明了太阳辐射在地面、后墙及屋面后坡的分配比例为1:2:1,计算出了温室地面日射总量中直射辐射与散射辐射所占的比重。从温室采光角度,研究了日光温室的最佳高跨比和最佳跨度求解方法,为优化设计提供了依据。

需要指出的是,目前对日光温室光环境的研究多集中在特定地理纬度的不同结构类型温室可截取的太阳能及其分布上,而且多集中于对太阳直射光的研究,对散射光,尤其是太阳反射光的研究甚少。另外,提高透光材料透光性和使用寿命的研究也是今后急需解

决的问题。

## 2.2 热环境

采光和保温是保证温室良好热环境的两个重要方面。采光是使尽可能多的太阳辐射热进入室内;保温是采取措施将白天蓄积的太阳能尽可能多地保存在室内。

温室围护结构是保温研究的热点之一。经测定<sup>[19]</sup>,厚度 50 cm 的夯实土墙体,白天和夜间墙体内外表面的温度均低于室温,这表明该种墙体白天和夜间都是散热体,热量不断地由墙内表面向外传递;而 50 cm 有空心层的砖墙在升温阶段是“吸热体”,在降温阶段是“放热体”。由此说明具有空心夹层的砖墙白天吸热,并至少将一部分的热量贮存于墙体中,以便在降温阶段从墙内侧表面向室内传递热量,起到保温作用。并且,在墙内中空夹层附近,温度的变化波动有明显的后滞现象<sup>[20]</sup>。据此认为:理想的墙体结构应该是由内侧蓄热层,中间隔热层,外侧保温层组成的异质复合墙体。其蓄热层应由吸热、蓄热能力较强的材料(如土墙)组成;保温层应由导热、散热能力较差的材料(如空心砖、蛭石板等)组成。通过对北京和盘锦的日光温室隔热填充材料的热效应测定<sup>[21]</sup>,在室外最低气温为 $-16.5^{\circ}\text{C}$ 时,填充材料分别为珍珠岩、炉渣、木屑和中空墙体,室内最低气温依次为 $8.6^{\circ}\text{C}$ 、 $7.8^{\circ}\text{C}$ 、 $7.6^{\circ}\text{C}$ 和 $6.2^{\circ}\text{C}$ 。

我国现阶段日光温室夜间保温覆盖材料主要为草苫、纸被、棉被等。这些材料的保温能力分别为,草苫 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ ,棉被 $7\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,4 层牛皮纸复合成的纸被为 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ <sup>[19]</sup>。虽然其保温效果良好,但却存在着笨重、雨雪侵蚀、易腐烂污染等缺点,不能适应温室集约化、规模化发展的要求。近年来,许多研究者致力于新型保温材料的研究。邱仲华、宋明军<sup>[22]</sup>研制了一种替代草帘的日光温室外覆盖材料,它是由镀铝膜+微孔泡沫塑料组成的复合材料。不仅保温隔热性能优于草帘,而且质地轻、防水、价格适宜、洁净光滑、不损伤沾污棚膜。齐刚等<sup>[23]</sup>,周新群等<sup>[24]</sup>分别对以塑料铝箔蜂窝结构材料作为日光温室保温覆盖材料进行了研究。试验和计算表明,它能减少温室透光面的散热量,总热损系数比普通塑膜降低 40%左右。并且,铝箔蜂窝结构(AHPS)覆盖层传热系数比无铝箔蜂窝结构(HPS)覆盖层下降 35%~70%,铝箔朝上放置比铝箔朝下放置时传热系数小 10%。选用 PE AHPS 覆盖层可比相应的 PVC AHPS 覆盖层传热系数小 10%~25%。陈邦奎<sup>[25]</sup>开发的透明保温软板采用双层中空的特殊结构,增强了双层塑膜的强度和耐用性,利用双层上下间的空心体起隔热作用,其保温性能比单层结构塑膜好,抗风性强。周长吉<sup>[26]</sup>对单层塑膜温室和双层充气膜温室进行了保温性能比较,从两种温室的传热系数看,双层塑膜温室(传热系数为 $4.0\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ )较单层塑膜温室(传热系数为 $6.8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ )的保温能力高 40%多。在单层玻璃上覆盖双层充气塑料膜,其保温性能要比单层玻璃温室提高近 55%。

提高土壤温度也是增加日光温室热量的途径之一。例如,将地下热交换系统引入日光温室,提高室内地温和气温。在适当的土层中(如土层 40 cm 处)铺垫有机酿热物,以提高植物根层土温。经测定,地中铺垫一层厚 15 cm 马粪,平均土温可提高 $2.7^{\circ}\text{C}$ ;铺混入鸡粪的麦秸,增温 $2.5^{\circ}\text{C}$ ;铺混入尿素的麦秸,增温 $1.5^{\circ}\text{C}$ <sup>[27]</sup>。

有关温室热环境理论方面的研究也取得了进展。吴德让等<sup>[28]</sup>、杨晓光等<sup>[29]</sup>分别根据土壤热传导方程,并用有限差分格式求解,得到二维土壤温度场的数学模型,并对土壤热状况的若干问题进行了推测。李元哲<sup>[30]</sup>等在详细分析日光温室各部位热收支的基础上,

建立了一组非稳态的热平衡方程,并提出了数值解法,为日光温室的热量平衡机制研究提供了分析和计算方法。邵伟、董仁杰<sup>[31]</sup>考察了日光温室各部件的湿热平衡,建立了数学模型,并验证了模型的准确性。通过分析得出,室内气温主要受室外太阳辐射的影响,而室外气温只具有次要的作用;温室后墙对保证温室热环境具有重要的作用,而且其夜间的作用大于白天;随着保温性能的提高,温室的热环境得到稳定改善,特别是当使用透光保温合一型材料时,温室的热环境得到更大的改善。有关凝结水量对透光率的影响也有研究,陈青云等<sup>[32]</sup>等通过对PO和PVC薄膜温室光温环境的连续测量,分析比较了2种温室光温环境,同时测量了薄膜内表面凝结水量的差异,推导出了计算温室内外气温差的简便计算式,在该式中包含了薄膜内表面凝结水量对透光率的影响。

我国地域辽阔,各地自然条件、气候条件差异很大,这使日光温室需要研究的环境问题复杂多样。目前这方面的研究基本上是单项研究,涉及到光、热、水、气等环境因素的综合研究还显欠缺。国内温室仍靠人的经验进行单因子控制,加强综合控制技术的研究已势在必行。温室供暖热风机、热风炉品种单一,热效率和内在质量都有待提高。采光保温建材的研制工作也应加强,如高采光率、高强度玻璃的研究;顶面涂层隔热材料的研究。

### 3 结 语

近10年来,我国日光温室建筑结构与环境的研究,在理论和实际应用方面都取得了很大的进展,出现了以东北型、华北型、华东型、华南型等为代表的不同气候条件下的日光温室研究模式。塑料薄膜日光温室在蔬菜、花卉和养殖等方面的推广应用,形成了具有我国特色的设施农业发展道路雏形。但同国外先进水平相比,我国的日光温室的研究仍处于较低的水平。光、温、气环境综合控制技术、低成本、低能耗的设施设备配套技术,高效设施栽培管理技术,现代化设施生产、设计的标准与质量监控体系等方面仍存在许多问题,还待于进一步研究。

#### [参考文献]

- [1] 张真和,李建伟.日光温室蔬菜高效节能栽培技术开发项目实施成果[J].中国蔬菜,1997,(6):30-32.
- [2] 葛晓光.对我国北方蔬菜温室生产发展中几个问题的思考[J].中国蔬菜,1998,(4):1-5.
- [3] 亢树华.鞍山日光温室的沿革和改进[J].农业工程学报,1990,6(2):101-102.
- [4] 聂和民.我国北方日光温室的结构与建造[J].农村实用工程技术,1990,6(4):2-3.
- [5] 聂和民.日光温室的结构与发展问题探讨[J].农业工程学报,1990,6(2):100-101.
- [6] 亢树华,陈端生.日光温室优型结构的研究[J].农业工程学报,1996,12(增刊):30-35.
- [7] 李天来,何莉莉,印东生.日光温室和大棚蔬菜栽培[M].北京:中国农业出版社,1997.
- [8] 周长吉.日光温室优化设计及综合配套技术[J].农村实用工程技术,1999,2:7.
- [9] 周长吉.日光温室设计荷载探讨[J].农业工程学报,1994,10(1):161-166.
- [10] 周长吉.日光温室的结构优化[J].农业工程学报,1996,12(增刊):23-29.
- [11] 王树忠.北京节能型日光温室结构及性能[J].中国蔬菜,1995,(3):37-40.
- [12] 刘士勇.北方寒冷地区日光温室的设计与施工[J].农村能源,1995,(3):11-12.
- [13] 马新立.鸟翼形日光温室的建造标准和规范[J].农村实用工程技术,1995,11(12):8-9.
- [14] 王洪礼.新疆节能日光温室结构优化初探[J].农业工程学报,1996,12(增刊):36-40.
- [15] 陈端生,郑海山,张建国.日光温室气象综合研究[J].农业工程学报,1992,8(4):78-82.

- [16] 吴毅明, 曹永华, 孙忠富, 等. 温室采光设计的理论分析方法[J]. 农业工程学报, 1992, 8(3): 73—80.
- [17] 周长吉, 孙 山, 吴德让. 日光温室前屋面采光性能的优化[J]. 农业工程学报, 1993, 9(4): 58—61.
- [18] 潘锦泉. 日光温室优化设计及综合配套技术, 专题技术研究成果[J]. 农村实用工程技术, 1999, 15(1): 7.
- [19] 陈端生. 中国节能型日光温室建筑与环境研究进展[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 123—128.
- [20] 王补宣. 工程传热传质学(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [21] 周长吉. 日光温室优化设计及综合配套技术[J]. 农村实用工程技术, 1999, 15(4): 7.
- [22] 邱仲华, 宋明军. 一种复合保温覆盖材料研制和应用实验初报[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 117—120.
- [23] 齐 刚, 董仁杰. 一种温室覆盖新型材料蜂窝塑膜[J]. 北京农业工程大学学报, 1992, 12(11): 52—56.
- [24] 周新群, 董仁杰, 张淑敏, 等. 日光温室外保温蜂窝结构覆盖材料的研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(4): 159—163.
- [25] 陈邦奎. 农用双层中空透明保温软板的使用性能[J]. 农村实用工程技术, 1997, 13(12): 7.
- [26] 周长吉. 双层充气塑膜温室经济技术评价[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 159—163.
- [27] 陈端生, 郑海山. 北京节能型日光温室研究与应用[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [28] 吴德让, 李元哲, 于 竹. 日光温室地下热交换系统的理论研究[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 137—143.
- [29] 杨晓光, 陈端生, 郑海山. 日光温室气象环境综合研究[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 150—156.
- [30] 李元哲. 日光温室微气候的模拟与实验研究[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 130—136.
- [31] 邵 伟, 董仁杰. 日光温室的热环境理论模型[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 160—163.
- [32] 陈青云. PO 和 PVC 薄膜温室的光温环境及其与薄膜流滴性的关系[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 130—134.

## Progress status and existing problems of energy-saving sunlight greenhouse

WANG Hong-li, LI Kai, DAI Ya-li, LI Liang-chen

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Science and Technology  
University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The essay discusses the background of Chinese energy-saving sunlight greenhouse, development, researches and harvests in architecture and structure, and light-heat environment gained in recent ten years. It also points out future study orientation.

**Key words:** energy-saving sunlight greenhouse; architecture and structure; light-heat environment