

现代日光温室

建筑热工设计理论与方法

陈超 著



科学出版社

现代日光温室建筑热工设计 理论与方法

陈超著



科学出版社

北京

内 容 简 介

日光温室是我国特有的设施农业建筑,日光温室建筑热工性能及其光热湿环境质量保障直接影响日光温室冬(淡)季蔬菜的产量和品质。本书结合日光温室蔬菜栽培特点,从建筑热工设计理论和建筑光热湿环境营造理论出发,系统地介绍了日光温室建筑日照时间和日照质量与日光温室建筑朝向、间距、建筑等空间参数之间的相关性,以及日光温室建筑围护结构构筑理念及其热工性能设计方法;并结合建筑通风工程理论、太阳能热利用与相变蓄热理论,系统介绍了不同气候区日光温室建筑通风换气系统、太阳能主-被动蓄热系统设计理念与方法、光热湿环境一体化动态控制技术的设计理论和方法。本书充分注重建筑学、建筑热工学、建筑环境学与设施园艺工程学科的交叉和融合,着重介绍了理论方法以及实际案例应用。

本书可供设施园艺工程、农业工程、建筑环境与能源工程以及相关专业的教学、研究、设计与生产管理者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代日光温室建筑热工设计理论与方法/陈超著. —北京:科学出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-03-055029-3

I. ①现… II. ①陈… III. ①日光温室-建筑热工-建筑设计
IV. ①TU832.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 267291 号

责任编辑:张晓娟 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:照 望

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京鹰诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年11月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017年11月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:236 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

农业是全面建成小康社会、实现现代化的基础,是稳民心、安天下的战略产业。日光温室是我国特有的设施农业建筑,大大缓解了我国“三北”地区冬春季蔬菜供应难的问题,已经成为保证城镇居民“菜篮子”安全供应的重要生产设施。然而,设施农业现代化,需要实现传统模式向现代科技模式的转型,即向设计更精细、形态更高端的方向发展。

北方地区日光温室要实现周年高效生产,关键在反季节高效生产。北方地区冬季室外温度虽低但太阳能资源丰富,为日光温室光热环境营造提供了重要条件。但是日光温室建筑空间形态特征(跨度、脊高、北墙高度、后屋面水平投影长度等参数)、墙体构筑方式、建筑材料的热工性能等都直接影响温室的光照特性、保温与蓄热特性以及环境的调控特性,而且这些影响因素相互交织、相互制约;加之气象条件、太阳辐射等外部环境动态变化特性对日光温室热环境的复杂影响过程,决定了日光温室不加温或少加温高效生产喜温果蔬菜,一定不是凭借经验、简单效仿就可实现的。需要有一套科学的日光温室建筑设计方法,需要将绿色低碳建筑热工设计理念与设计方法引入到传统日光温室建筑设计过程中,需要将建筑新材料、新装备、新技术融入到传统日光温室建筑构筑体系中,以提高日光温室建筑热工性能以及光热资源利用率,有效降低日光温室冬季夜间供热能耗,从而达到节能减排目的。

该书作者陈超教授及其团队,长期从事建筑热工理论与应用的研究,在日光温室建筑热工设计理论及光热湿环境控制技术应用研究方向开展了深入的理论研究和工程实践探索,并将多年的研究体会以及对日光温室建筑热工设计理论和方法的理解整理成书,丰富了原有的日光温室建筑热工设计理论。希望更多相关学科的学者和专家关注农业问题,共同促进我国现代农业的发展。

刘加平

2017年9月20日

前 言

日光温室是我国独创且适合国情的一种设施农业建筑形式。从20世纪80年代发展至今,已成为我国广大北方地区冬季“反季节”蔬菜作物生产的重要设施,对保证城镇居民“菜篮子”安全、改善民生等起到了积极作用。然而,我国虽有世界第一的设施农业种植面积,产量却仅为先进国家的1/3,甚至更低,主要是因为,我国在设施农业这种系统工程中的相关基础研究比较薄弱且缺乏系统性。普遍存在重视种植栽培和温室墙体保温,轻视温室墙体蓄热和温室热湿环境控制,特别是在日光温室建筑结构节能优化设计方法以及新材料开发与应用等方面的相关研究非常缺乏。关于温室热湿环境的控制手段更是匮乏,致使日光温室建筑构造不合理,墙体蓄热性能差。对于 35°N 以北地区越冬生产的日光温室,在夜间特别是后半夜,将难以保证喜温果蔬菜作物生长必要的热环境需求。

日光温室实际上是一种以太阳能为主要能源、体形系数很大的农业建筑,主要由墙体(北、东、西墙体)、后屋面、前屋面(塑料薄膜)、保温被、土壤等构成。白天通过前屋面获得蔬菜作物生长所需要的光照和热能,同时将白天多余的太阳能储存在墙体特别是北墙体和土壤内,夜间再向温室环境释放,以维持蔬菜作物生长必要的热环境。因此,日光温室建筑朝向的合理确定、建筑空间形态特征参数(高跨比、北墙高度、后屋面水平投影长度等)的合理匹配、温室墙体特别是北墙体热工性能的优化设计,对高效利用太阳能改善北方地区温室夜间特别是后半夜热环境具有重要的意义。然而,太阳辐射与气象双重因素的动态变化特性对温室热环境的影响过程是非常复杂的,需要借助建筑热工理论、建筑环境学、材料学、现代数值计算方法以及大量的试验求证方法,对日光温室建筑热过程进行深入认识和分析研究,形成一套可指导日光温室建筑热工性能优化设计以及热环境营造的理论和方法。

为此,作者团队自2002年即开始了关于现代日光温室建筑热工设计理论与方法的研究,历时10余年。在国家自然科学基金项目、北京市科技计划项目、北京市自然科学基金项目、北京市农业科技示范推广项目等资助下,围绕相变蓄热材料及其相变蓄热技术、太阳能集热装置及其集热技术、日光温室建筑墙体热工性能及其构筑方式、日光温室建筑热工设计方法以及日光温室热湿环境控制方法等进行了系统深入的理论、方法、材料和装置创新研究,形成了一套可指导日光温室实际工程应用的技术理论体系。该研究成果先后在北京、山西、新疆维吾尔自治区、河北、内蒙古自治区等地区得到成功应用。

本人将研究团队 10 余年发表在国内外重要学术刊物的论文、博士和硕士研究生毕业论文进行梳理并总结成书,希望给为我国设施农业现代化辛勤奉献的青年学者、工程技术人员提供技术参考和应用借鉴。

本书的编写凝聚了我已毕业或在读博士研究生和硕士研究生约 20 余人的集体智慧,特别是凌浩恕博士、李印硕士、杨枫光硕士、管勇博士、张明星硕士、李娜硕士、姜理星硕士、孙超硕士、韩枫涛博士,还有多位同学仍然在这一研究方向继续努力。在此,谨向这些为我国设施农业现代化做出重要工作和付出的莘莘学子表示深深的感谢!

此外,特别感谢中国工程院院士刘加平为本书的定位、框架构建、各章节之间关系的确立及用词的科学性等给予的极为细致、认真的指导。还要感谢北京市农村工作委员会王永泉研究员,北京市农业技术推广站曹之富副站长、商磊总经理、雷喜红博士、刘建伟工程师,新疆农业科学院马彩雯研究员、邹平高工、张彩霞高工,山西省农业科学院籍主任、张纪涛工程师等,他们为研究理论和技术体系的实践提供了非常重要的帮助和支持。如果没有他们的支持和帮助,将无法验证我们研究结果的有效性。

农业现代化是我们国家的基本国策,与我们每个人息息相关,我们有责任也有义务,共同为我国设施农业的现代化做出应有的贡献。对于设施园艺、日光温室蔬菜作物栽培,我的认识还很肤浅和局限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

陈 超

于北京工业大学小红楼

2017 年 11 月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 日光温室建筑发展历程	1
1.1.1 日光温室建筑的作用及其特点	1
1.1.2 日光温室建筑的发展	1
1.2 日光温室建筑热工设计对其光热环境的影响	3
1.2.1 建筑朝向	4
1.2.2 建造间距	4
1.2.3 建筑空间形态特征参数	5
1.2.4 围护结构的保温与蓄热	6
1.2.5 温室环境通风换气	7
第 2 章 日光温室建筑热工设计理论基础	9
2.1 日光温室建筑外环境	9
2.1.1 太阳辐射	9
2.1.2 室外空气温度	17
2.1.3 室外空气湿度	19
2.1.4 有效天空温度	22
2.1.5 室外土壤温度	23
2.1.6 我国优势种植地区气候特点	25
2.2 日光温室建筑光热湿环境	28
2.2.1 温度的生物学与意义	28
2.2.2 作物对光照的需求	29
2.2.3 日光温室室内空气温度	36
2.2.4 日光温室室内空气湿度	38
2.2.5 土壤温度	38
2.2.6 空气积温	40
2.3 日光温室建筑热负荷及其计算方法	41
2.3.1 供热设计热负荷	42
2.3.2 围护结构耗热量	43

2.3.3	地中传热量	45
2.3.4	冷风渗透耗热量	46
第3章	日光温室建筑朝向与间距设计	48
3.1	传统日光温室建筑朝向设计方法	48
3.2	日光温室建筑日照时间和日照质量影响因素分析	49
3.2.1	太阳运动轨迹变化影响	49
3.2.2	地理纬度的影响	50
3.2.3	温室保温覆盖物开闭时间的影响	51
3.3	日照时间与日照质量计算	52
3.3.1	日照时间	52
3.3.2	日照质量	53
3.4	日光温室前屋面保温覆盖物开闭时间计算	57
3.4.1	计算模型	57
3.4.2	不同纬度地区前屋面保温覆盖物开闭时间推荐值	58
3.5	日光温室建筑朝向设计计算	61
3.5.1	透过日光温室建筑前屋面太阳辐射量	61
3.5.2	日光温室建筑最佳朝向简化计算方法	64
3.5.3	我国优势种植地区日光温室建筑最佳朝向推算值	67
3.6	日光温室建筑间距设计计算	67
3.6.1	影响因素	68
3.6.2	间距设计计算方法	68
第4章	日光温室建筑空间形态特征参数设计	71
4.1	传统日光温室建筑设计方法	71
4.1.1	按传统经验初创阶段	72
4.1.2	按冬至日真正午时太阳光合理透过进行设计的第二阶段	72
4.1.3	按冬至日10:00~14:00太阳光合理透过进行设计的第三阶段	72
4.1.4	按冬至日太阳能合理截获进行设计的第四级阶段	72
4.2	日光温室建筑空间形态对光热环境影响分析	72
4.2.1	日光温室建筑热平衡方程	73
4.2.2	前屋面	73
4.2.3	北墙	74
4.2.4	后屋面	75
4.3	日光温室建筑空间形态特征参数优化设计方法	75
4.3.1	日光温室建筑热负荷	75
4.3.2	优化设计目标函数与约束条件	77

4.3.3	日光温室建筑空间特征参数变化对热负荷的影响规律	77
4.4	不同纬度地区日光温室建筑空间形态特征参数设计	82
4.4.1	简化计算模型	82
4.4.2	我国优势种植地区推荐值	84
第5章	日光温室建筑围护结构热工性能设计方法	86
5.1	建筑围护结构热工性能评价指标	86
5.1.1	热阻	86
5.1.2	墙体材料比热容	86
5.1.3	墙体材料蓄热系数	87
5.1.4	墙体热惰性指标	87
5.1.5	墙体蓄(放)热量	87
5.2	日光温室常见围护结构材料及其热工性能	88
5.2.1	后墙和后屋面	88
5.2.2	前屋面	91
5.3	日光温室围护结构常见构筑形式	92
5.3.1	墙体	92
5.3.2	后屋面	99
5.3.3	前屋面保温覆盖物	100
5.4	新型日光温室太阳能主-被动相变蓄热墙体体系	101
5.4.1	相变材料	101
5.4.2	新型墙体构筑方式	103
5.4.3	新型墙体热工性能评价指标	103
5.4.4	传热模型	105
5.4.5	案例解析1	107
5.4.6	案例解析2	120
5.5	新型日光温室太阳能被动相变蓄热墙体体系	128
5.5.1	新型墙体构筑方式	128
5.5.2	案例解析	128
5.5.3	存在问题	141
5.6	日光温室围护结构热工性能优化设计	142
5.6.1	墙体几何尺寸	142
5.6.2	后屋面热阻	145
5.6.3	前屋面保温覆盖物热阻	146
第6章	日光温室光热环境营造调控	148
6.1	人工调控必要性与基本方法	148

6.1.1	光调控	148
6.1.2	温度调控	149
6.1.3	湿度调控	150
6.2	新型太阳能空气加热通风控制方式	150
6.2.1	系统构成及其原理	150
6.2.2	四种运行模式	151
6.2.3	常见太阳能空气集热器	153
6.2.4	新型双集热管多曲面槽式太阳能空气集热器	156
6.3	其他蓄热技术	164
6.3.1	地中热交换蓄热	164
6.3.2	水蓄热	164
6.3.3	砾石蓄热	164
6.3.4	地源热泵加热	165
	参考文献	166
	附录 日光温室越冬生产期室外设计参数推荐值	171

第 1 章 绪 论

1.1 日光温室建筑发展历程

1.1.1 日光温室建筑的作用及其特点

日光温室是一种我国独创且符合我国国情的设施农业建筑。从 20 世纪 80 年代发展至今,已成为我国广大北方地区冬季“反季节”蔬菜作物生产的重要设施,对保证城镇居民“菜篮子”安全、改善民生等起到了积极作用。日光温室建筑利用温室效应和半透明效应,在寒冷季节通过围护结构的太阳能集热、蓄热与保温,并借助太阳能营造作物生长需要的热环境,实现反季节喜温果蔬菜的越冬生产,受到广大农业生产者的青睐。截至 2012 年,我国日光温室蔬菜作物栽培面积已达 92 万 hm^2 ,约占全国设施蔬菜作物栽培总面积的 26.4%。目前,我国日光温室建筑前十大省市分别是辽宁省、山东省、河北省、陕西省、宁夏回族自治区、甘肃省、内蒙古自治区、河南省、山西省和吉林省,占全国日光温室建筑总面积的 95% 以上。日光温室蔬菜生产产业的快速发展,解决了长期困扰我国北方地区的冬(淡)季鲜食蔬菜供应问题,丰富了城乡“菜篮子”,改善了城市居民生活条件,同时也提高了农民收入,为我国“三农”事业发展做出了巨大贡献。特别是近年来东北和西北地区日光温室的快速发展,为建成稳固的日光温室冬季蔬菜作物生产基地奠定了基础^[1]。

日光温室建筑适用于蔬菜、花卉和瓜果等作物的全季节栽培,其最大特点是所有能量都取自太阳能。白天,太阳以短波辐射方式投射到日光温室建筑内,并储存在土壤和墙体中;夜晚,随着温室内空气温度的不断下降,储存在墙体和土壤中太阳能逐渐向温室释放,以维持温室反季节蔬菜作物生产必要的热环境,其建筑热过程如图 1.1 所示。日光温室在自然环境不适宜的冬(淡)季生产蔬菜,也称为反季节栽培或不时栽培。反季节栽培生产黄瓜、番茄、甜瓜等喜温蔬菜时,确保温室内作物生长所需要的光热湿环境是关键,而温室的光照特性(光照时间、光照质量)、集热与蓄热特性、保温以及热湿环境控制特性,是直接影响日光温室光热湿环境的三大关键因素。

1.1.2 日光温室建筑的发展

1978 年以来,我国日光温室产业得到了跨越式发展。据农业部统计数据显

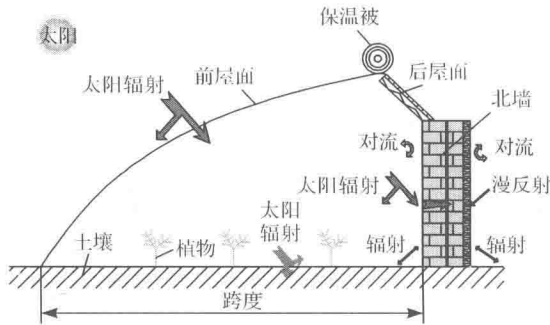


图 1.1 日光温室建筑传热过程示意图

示,我国日光温室种植面积从 1978 年开始起步,到 1994 年的 9.92 万 hm^2 ,后来发展到 2012 年的 92 万 hm^2 ,特别是自 1994 年以来,日光温室种植面积一直快速增长(见图 1.2^[2]),已经逐步成为促进我国农村经济发展和农民增收的新兴支柱产业,在保障蔬菜周年均衡供应、增加就业和促进增收方面发挥了巨大作用,实现了较好的经济效益和生态效益^[2,3]。

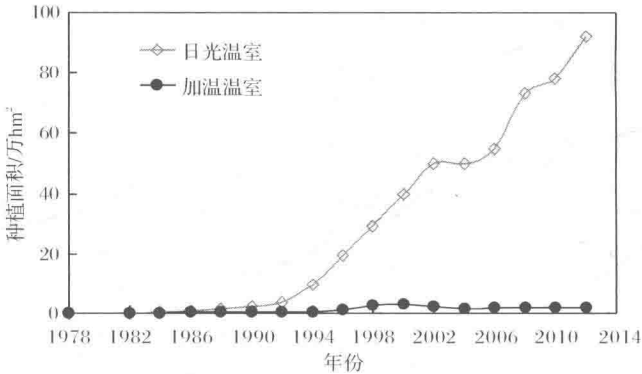


图 1.2 我国温室种植面积随时间变化情况

日光温室建筑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^[2,3]。

1. 初创时期

我国日光温室的雏形始于 20 世纪 20 年代,最先在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,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。这一时期主要采用土木结构玻璃温室,山墙和

北墙为土坯墙或用草泥垛成,后屋面用柁和檩构成屋架,柁下用柱支撑,3m一柁,即3m一开间;屋架用秫秸和草泥覆盖;前屋面用玻璃覆盖,晚间用纸被、草苫保温。这类温室一直沿用到20世纪80年代初期。

2. 大规模发展初期

20世纪80年代初期,为解决冬(淡)季蔬菜供应问题,辽宁首先在瓦房店市和海城市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,获得成功后逐渐在大田中大面积发展。这一时期的日光温室主要采用竹木结构,拱圆形或一坡一立式,前屋面覆盖材料为塑料薄膜。典型的日光温室结构有海城感王式和瓦房店琴弦式,其中,海城感王式日光温室称为第一代普通型日光温室。

3. 全面提升与发展期

20世纪90年代初期,我国北纬 32° 以北的地区开始大面积推广以海城式、瓦房店琴弦式和鞍Ⅱ型为典型代表的第一代节能日光温室,包括黄瓜和番茄等主要果菜配套栽培技术的推广应用,实现了室外空气温度低至 -20°C 地区的不加温日光温室年产番茄和黄瓜 $22.5\text{kg}/\text{m}^2$ 的高产纪录。90年代中期,第二代节能日光温室——辽沈Ⅰ型日光温室推出并在我国北方地区推广,此后各地也研制出多种适合当地气候条件的第二代节能日光温室;21世纪初,第二代节能日光温室蔬菜高产优质安全栽培技术得到进一步推广,实现了室外空气温度低至 -23°C 地区不加温日光温室年产番茄、黄瓜、茄子 $30.0\text{kg}/\text{m}^2$ 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 。日光温室蔬菜产业的快速发展,解决了长期困扰我国北方地区冬(淡)季蔬菜供应问题,大幅增加了农民收入,成为许多地区的支柱产业。

4. 现代化发展期

现代化发展期始于21世纪初,随着现代科技的高速发展,农业现代化已成为必然趋势,日光温室建筑结构优化,环境控制自动化,日光温室建造标准化,显著提高日光温室低碳、高效、绿色生产,将是这一时期的重要发展目标。

1.2 日光温室建筑热工设计对其光热环境的影响

日光温室实际上是一个体形系数很大的农用建筑。该建筑由墙体(北、东、西墙体)、后屋面、前屋面、土壤、地面等外围护结构构成(见图1.1)。这些建筑“构件”的构造方式、结构尺寸、材料的热工性能等都直接影响温室的光照特性、保温与蓄热特性以及环境的调控特性,而且这些影响因素相互交织、相互制约。例如,

宽大的前屋面,白天可使太阳光顺利透过塑料薄膜进入温室而获得大量太阳光热能量,但如果不能将其及时高效率储存,由于冬季夜间室外空气温度低于白天且没有太阳辐射,反而会因为前屋面面积过大加之屋面覆盖材料的保温性能有限,白天所获太阳热能大量流失,致使“入不敷出”。据研究分析,夜间通过前屋面的热损失量约占整个日光温室围护结构热损失的75%以上。而减小前屋面面积,虽然夜间通过前屋面的热损失减少了,但白天通过前屋面进入的太阳光热能也相应减少了。因此,日光温室的建筑朝向、建筑空间形态特征不仅影响日光温室的光照与光热特性,而且直接影响其热湿环境控制特性。

1.2.1 建筑朝向

日光温室建筑朝向也称方位角,指日光温室建筑的正立面(北墙面)所面对的方向与正南向偏离的角度。日光温室建筑朝向对蔬菜作物生长期温室可获得的太阳光照量和光照时长产生直接影响。长期以来,区域气候、主要栽培季节等方面的差异使人们对日光温室建筑朝向始终没有达成一致意见。归纳起来,主要有3种观点:①南偏东,理由是可以“抢阳”,升温快,可促进上午植物光合作用,并能削弱西北风对透光面的降温作用;②南偏西,理由是早晨温度低,卷帘晚,空气湿度大,有时出现雾等使光照减弱的天气现象,偏西可有利于利用下午的光照;③正南方向,理由是上述两种意见的折中^[4~6]。

由于目前关于日光温室建筑朝向尚缺乏统一的标准,在生产实践中,大多根据经验确定。例如,40°N以北地区日光温室建筑朝向宜按南偏西5°~10°建造,主要考虑这一地区冬季气候寒冷、昼夜温差较大、早晨室外空气温度低,上午开启保温覆盖物时间不宜过早,延长午后的日照时间;而38°N以南地区日光温室建筑朝向宜按南偏东5°~10°建造,主要考虑这类地区冬季气候比较温暖、早晨室外空气温度不是太低,可以早开保温覆盖物,尽量增强午前的太阳光照,使午前温室迅速升温,对蔬菜作物生长发育有利;38°N~40°N地区大多宜采用正南方向。

实际上,太阳辐射随时间、季节的变化是有规律可循的。如果能定量把握地理纬度、太阳运动轨迹及其对蔬菜作物关键生长期温室可最大限度获取太阳光热能的影响规律,就有可能给出日光温室建筑朝向的定量计算方法,而不再是仅仅依靠经验取值。关于日光温室建筑朝向设计计算方法将在第3章进行详细论述。

1.2.2 建造间距

随着我国日光温室建筑的不断发展和日光温室发展规模的不断扩大,多栋日光温室群的建造是必然趋势。在大规模建造日光温室群时,为了综合考虑土地利用率和温室日照要求等因素,必须考虑日光温室建造间距对前后温室的太阳光遮挡问题。实际上,在日光温室建筑园区规划建设中,前后两排日光温室建造间距

的大小直接影响后排日光温室建筑的采光,合理的日光温室建造间距不仅能保证后排温室的日照时间,而且可提高日光温室建筑园区的土地利用率。目前,大部分地区日光温室建造间距根据式(1.1)进行计算。

$$L_j = HS_z - L_1 - L_2 \quad (1.1)$$

式中, L_j 为前、后两栋日光温室建造间距,即前栋日光温室建筑北墙根到后栋日光温室建筑前沿的距离,m; H 为日光温室建筑最高点距离地面高度,m; S_z 为有效遮阴系数; L_1 为日光温室建筑最高遮阴点到北墙内侧的水平距离,m; L_2 为北墙底宽,m。

很多研究发现^[7],通过式(1.1)计算得到的结果偏小,冬季尤其是冬至日前后两周内,日光温室建筑满窗采光时间不能满足4h的照射需求。

由于日光温室建造间距直接受太阳辐射变化规律的影响,因此需要研究不同地理纬度太阳辐射动态变化规律,并结合日光温室建筑构造特点,更为科学地建立关于不同地理纬度地区日光温室合理间距的设计计算方法。

1.2.3 建筑空间形态特征参数

日光温室建筑空间形态特征参数主要包括跨度、脊高、北墙高度、后屋面仰角及其水平投影长度等。陈端生等^[8]的研究发现,圆形-椭圆形组合的采光屋面更有利于提高温室内直射采光量。邢禹贤等^[9]模拟分析了不同结构单坡面塑料日光温室采光量,提出拱式屋面的采光效果明显高于琴弦式,可在冬至日提高14.0%的采光量。王永宏等^[10]对兰州地区日光温室结构进行了优化设计,发现跨度6m、脊高2.8m、后屋面仰角 37.5° 、后屋面水平投影长度1m、北墙高度2.03m的日光温室效果最佳,冬至日前后透光率达到60.3%。姚继唐^[11]解读了《山西大同地区DTS-RWS-860型高效节能日光温室建造技术规范》关于日光温室建筑朝向、跨度、脊高、前屋面仰角、后屋面仰角及其水平投影长度的相关规定和要求。陈秋全等^[12]在分析高寒地区环境特点的基础上,提出高效节能温室的最佳建筑空间特征参数,即建筑朝向为南偏西 $5^\circ \sim 7^\circ$,跨度为6~6.5m,脊高为3.4~3.5m,前屋面仰角为 $37^\circ \sim 38^\circ$,后屋面仰角为 30° 、后屋面水平投影为1.5m。佟国红和李保明等^[13]以沈阳为例,采用多目标模糊决策法对日光温室建筑空间形态特征参数进行了优化,并推荐了相应参数的最优值。

1. 跨度

日光温室建筑跨度设计要依据地形及土地面积、最大允许高度、骨架最大允许应力来确定。在地形平坦、地况开阔且日光温室最大高度和骨架最大允许应力都满足要求的前提下,跨度越大越有利于耕种,但随着跨度增大,夜间维持温室必要热环境需要的供热量也随之增大。根据目前研究结果,一般认为跨度以6~

12m 为宜。跨度小于 6m 时,栽培空间较小,空气温湿度缓冲能力小;跨度大于 12m 时,一方面会因为骨架最大允许应力加大而增加单位面积建造成本,另一方面也会因为温室空间过高、过大,加大维持温室必要热环境所需的供热量。

2. 脊高

日光温室建筑脊高设计要充分考虑主栽作物种类、最大风力等因素的影响,并依据最大允许跨度、最佳保温比和合理的前屋面仰角来确定。一般主栽作物较高大,地形和地块开阔,风力小的地方,日光温室建筑脊高可设计高些,否则需设计低些。一般日光温室建筑脊高应较主栽作物高 30% 以上,在跨度适宜范围内,脊高宜为 3~7m。脊高小于 3m 时,日光温室前屋面仰角角度不够;脊高大于 7m 时,日光温室空间太大,所需供热量加大,同时温室热环境稳定性难以保证。

3. 北墙高度

日光温室建筑墙体,特别是北墙体集太阳能集热、蓄热、保温于一体,其建筑热工性能直接影响温室热环境的营造。北墙体设计不但要考虑其保温性能,更要考虑太阳能的蓄热性能。当温室长度一定,北墙高度则决定了温室室内能够被太阳照射到的面积,进而也影响其集热与蓄热的性能。

4. 后屋面仰角及水平投影长度

日光温室建筑后屋面设计包括后屋面仰角及水平投影长度的确定。通常,后屋面仰角应满足冬季大部分时间太阳直射光线可照射到后屋面,纬度越高要求太阳直射光线照到后屋面上的时间越长。根据现行经验^[2],后屋面仰角在 $42^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 为宜;后屋面水平投影长度以太阳直射光线在夏至日中午时刻照到距北墙体水平距离 0.5m 处为基本设计原则。

随着季节变化,太阳高度角、太阳辐射强度以及室外气象参数都在动态变化,直接影响了日光温室光热湿传递规律;同时也决定了日光温室建筑空间形态特征参数,不可能简单确定。因此必须结合蔬菜作物生长期对光热湿环境需要的特点,依据建筑热平衡理论与最优化控制理论,研究温室前屋面结构形状及结构尺寸变化对太阳光入射角变化及太阳光透过率变化的影响规律,温室各建筑构件[墙体、前(后)屋面]结构尺寸变化对温室获取太阳光热能的影响,以及各建筑构件的构造方式、建筑材料热工性能对温室保温与蓄热性能的影响规律,进而提出不同地理纬度地区日光温室建筑空间形态特征参数优化设计方法。

1.2.4 围护结构的保温与蓄热

日光温室围护结构包括墙体[北墙体、东(西)山墙]、后屋面和前屋面。日光

温室墙体,特别是北墙体集太阳能集热、蓄热、保温于一体,是日光温室被动利用太阳能为温室增温、维持温室夜间作物生长必要热环境的重要“加热元件”;日光温室后屋面内表面白天主要接受的是太阳的散射辐射,集热与蓄热能力有限,提高后屋面的保温性能是关键;夜间通过前屋面的热损失占整个日光温室围护结构热损失的75%以上,因此提高前屋面覆盖物保温性能是关键。

关于日光温室墙体的保温与蓄热问题,白义奎等^[14]和陈端生^[15]通过研究日光温室不同结构墙体的保温性能及其对温室热环境的影响,发现任何单一材料墙体的保温性能均低于多层异质复合墙体的,且异质复合墙体还具有厚度薄、节省材料的特点。佟国红等^[16]通过理论分析和试验证明,聚苯板作为保温材料、砖作为蓄热材料应用于日光温室墙体是合理的,且以内侧为砖、外侧为聚苯板异质复合墙体为宜。周长吉^[17]提出理想的复合异质墙体结构应是内侧由吸热、蓄热能力较强的材料组成蓄热层,外侧则由传热能力较差的材料组成保温层,中间有夹层隔热的异质复合墙体;并对比了常用夹层填充材料的保温效果,其优劣次序依次为珍珠岩、熔渣、木屑、空气间层。梁建龙^[18]推荐日光温室墙体构造形式为内、外侧为砖砌体,中间隔层内加熔渣等保温材料的异质复合结构墙体,且墙体厚度需大于0.77m,保证其具有较好保温性,以适合深冬蔬菜作物的栽培。张立芸等^[19]对比了加气混凝土与聚苯板构筑的异质复合墙体和黏土红砖砌体的热特性,发现异质复合墙体热特性更优。柴立龙等^[20]对八种不同构造的日光温室墙体进行了包括传热系数、总热阻、材料蓄热系数及热惰性指标等热工性能参数的计算和分析,发现温室墙体构造为“370mm黏土砖+100mm聚苯板+370mm黏土砖”和“200mm加气混凝土砌块+100mm聚苯板+200mm加气混凝土砌块”的热惰性指标较高,保温性能也较好。

实际上,建筑围护结构的保温与蓄热问题涉及建筑材料的热物性特性。保温问题主要与材料的导热系数有关,即与墙体的热阻关联;而蓄热问题则与材料的比热容、密度等参数关联,即与墙体的热容关联。两者呈现的物理意义是不一样的。保温性能好的材料,如聚苯板、加气混凝土等,导热系数虽小但密度也小,属于轻质材料,蓄热能力弱;而显热蓄热能力强的材料,如黏土砖、黏土等,密度大且比热容尚可,属于重质材料,保温性能一般。另外,受墙体自身传热性能的限制,投射到温室墙体的太阳能可进入墙体内部的深度仅为200~300mm,在日照时间有限且低温寒冷的冬季,仅通过墙体被动显热蓄热的方式,是难以满足冬季北方地区温室蔬菜作物生长热环境的要求。需要结合采用新材料、新技术、新型墙体的构筑理念,大幅提高现有日光温室墙体的蓄热能力和太阳能利用率。

1.2.5 温室环境通风换气

在温室蔬菜作物生产管理过程中,通风换气对温室环境的调控具有非常重要