



● 孙立德 著

温室气象与 作物保护研究

Greenhouse Meteorology and
Crop Protection Research

 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

温室气象与作物保护研究

孙立德 著

辽宁科学技术出版社

沈阳

© 2012 孙立德

图书在版编目(CIP)数据

温室气象与作物保护研究 / 孙立德著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2012. 12

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5381-7799-2

I. ①温… II. ①孙… III. ①温室—小气候—研究
②温室—植物保护—研究 IV. ①S162.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第297819号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm

印 张: 10

字 数: 210千字

印 数: 1~4 000

出版时间: 2012年12月第1版

印刷时间: 2012年12月第1次印刷

责任编辑: 李伟民

特邀编辑: 王奉安

封面设计: 嵘 嵘

版式设计: 曲师成

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN 978-7-5381-7799-2

定 价: 30.00元

联系电话: 024-23284360

邮购热线: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

《辽宁省优秀自然科学著作》评审委员会

主 任：

康 捷 辽宁省科学技术协会党组书记、副主席

执行副主任：

黄其励 东北电网有限公司名誉总工程师

中国工程院院士

辽宁省科学技术协会副主席

副主任：

金太元 辽宁省科学技术协会副主席

宋纯智 辽宁科学技术出版社社长兼总编辑 编审

委 员：

郭永新 辽宁大学副校长

陈宝智 东北大学安全工程研究所所长

刘文民 大连船舶重工集团有限公司副总工程师

李天来 沈阳农业大学副校长

刘明国 沈阳农业大学林学院院长

邢兆凯 辽宁省林业科学研究院院长

辽宁省科学技术协会委员

吴春福 沈阳药科大学校长

辽宁省科学技术协会常委

张 兰 辽宁中医药大学附属医院副院长

王恩华 中国医科大学基础医学院副院长

李伟民 辽宁科学技术出版社总编室主任 编审

序

《温室气象与作物保护研究》是一部既有一定的理论价值又密切服务于生产实践的专著，书中提出了许多新的观点和新的思路，不禁使我们眼前一亮。

本书具有科学性、实用性和可读性：长期连续观测资料的综合分析，体现出本书的科学性；既可作为园艺、植保、气象等专业的参考书，又可为生产者展示技术，体现出本书的实用性；本书材料翔实，篇章布局井井有条，文笔流畅，语言通顺，逻辑严谨，用语恰当，引人入胜，体现出其可读性。

本书作者——东北区域气象中心首席气象服务专家、辽宁省植物保护学会副理事长、喀左县气象局局长孙立德，是全国优秀青年气象工作者，辽宁省农业病虫气象研究方向学科带头人。30多年来，他不遗余力，潜心研究农业病虫害与气象的关系，科技成果颇丰。他主持完成了28项科研课题，其中，“日光温室大棚蔬菜防灾减灾及气象调控技术研究推广”等9项成果获省部级科技进步二、三等奖；在国内外学术期刊发表科技论文80多篇。本书的大量数据，都是他在科学研究第一线获取的原始数据，这也正是本书的难能可贵之处。

辽宁省有1 000万亩温室大棚。我期待着有更多科技人员介入温室气象及减灾研究，在服务于温室产业的实践中取得更好的经济效益、社会效益和生态效益。



2012年12月1日

前言

我国日光温室生产的持续发展促使多学科科技人员围绕它开展了广泛深入的研究工作，并在研究实践中提炼新课题，进一步深化研究，促进各自学科的进步，以其新成果服务于生产。与温室密切相关的诸多学科中，应用气象学当属其中，是不可或缺的一员。如果浏览一下现已出版的涉及温室的书籍，不难发现，其中绝大多数虽都包含有气象环境的内容，但专门阐述温室气象与作物保护者却寥若晨星。作为应用气象和农业科技工作者，作者有多年从事温室气象专题研究和推广工作的经历，积累了经验，发表了多篇论文，获得过多项奖励。为了总结过去，促进未来，我不禁萌生一种想法：对潜于心中的点滴体会，参考本学科前行动态，进行梳理，并博采同行有关见解，写出《温室气象与作物保护研究》一书，以此用有限的文字为温室气象与作物保护的继续研究和大面积推广贡献微薄之力。

为满足研究和推广用户的双重需要，本书在写法上力求深入浅出。为略述原理的可靠性，不得不用一些简洁的数学语言和简单易懂的公式模型。侧重于管理和栽培实践的读者不用详细了解公式，也可体会文中内容实质，并直接用于工作之中。

本书在编辑出版过程中，承蒙辽宁省农业科学院赵季秋研究员、辽宁省气象科学研究所于系民研究员审阅修改文稿，辽宁科学技术出版社李伟民编审、王奉安编审编辑加工，东北区域气象中心主任、辽宁省气象局局长王江山研究员作序，谨在此一并表示谢意。

鉴于本书涉及学科较多，而我的知识能力有限，书中缺点错误在所难免，欢迎读者随时批评指正。

著者

2012年7月2日

目 录

第一章 温室气象与作物保护概述	001
第一节 来自生产条件改变的需求	001
第二节 基础学科的支撑	005
第三节 设备与人力资源基础	016
第四节 与有关学科的关系	017
第二章 温室气象资料信息源	020
第一节 常规资料信息源	020
第二节 涉及生物的非常规资料信息源	022
第三节 仪器测定资料信息源	028
第四节 文献交流信息源	031
第三章 温室天气和预报	033
第一节 温室天气概要	033
第二节 关系到温室的几种重要农用天气形势	037
第三节 温室内微尺度天气及其预报	043
第四章 温室设施引进与气候	051
第一节 温室设施引进的气候依据	051
第二节 霜期农业气候相似离度及其在温室设施引进中的应用	057
第三节 新型温室设施引进适宜气候落区的模拟优选	060
第五章 温室气象环境与调节	064
第一节 温室光环境与调节	064
第二节 温室温度环境与调节	070
第三节 温室湿度环境与调节	078
第四节 温室内CO ₂ 浓度变化气象条件与调节	082
第五节 温室气象环境综合调节的几种数学模型	085

第六章 温室气象与作物适应 095

 第一节 温室作物与气象条件关系095

 第二节 温室作物冷害句法模式识别100

 第三节 温室蔬菜品种适应性试验106

第七章 温室作物病虫害与气象 111

 第一节 温室病虫害与气象条件的一般关系111

 第二节 不同品种蔬菜作物抗病性差异及其与气候关系试验119

 第三节 不同气候内繁育的菜子抗病性差异检验122

 第四节 温室气象环境中病害防治措施的比较检验123

 第五节 气候变暖与温室病虫害关系126

第八章 温室农用天气预报及气象调控技术 131

 第一节 日光温室小气候、农用天气预报及综合调控132

 第二节 日光温室综合气象调控实用技术138

 第三节 影响设施农业的气象灾害预警等级标准及防御措施140

 第四节 小结与讨论140

结语：从无序到有序——基于信息耗散的认知 146

参考文献 150

第一章 温室气象与作物保护概述

设施农业(温室)是随着社会发展与科技进步发展起来的一项重大的农业种植技术改革,已经成为当前农村重要的支撑性产业,对保证实现“农民增收、农业增长、农村稳定”的三农问题,对保证城乡居民丰富多彩的菜篮子问题,都具有非常重要的政治意义和经济意义。因此,设施农业(温室)一开始兴起,便显示了其强大的生命力,发展迅速,可谓方兴未艾。但是纵观我国设施农业(温室)生产,在其发展过程中,收益、效果差异很大。通过我们多年来自己试验和调查的结果,发现影响设施农业(温室)效益大小的原因很多,但是在这诸多的原因中,天气、气候、微气象、蔬菜栽培、植物保护等学科,是提高设施农业(温室)生产力所必不可少的,是起到重要作用的主要原因。本章从基础科学的支撑、设备与人力资源保障、推广应用几个方面纵论温室气象与作物保护的基础内容、方法和意义。总结出本学科与其他学科的关系,并给出直观的树形图,以认识作为“树干”的温室气象与“树根”、“枝叶”的内在联系。

第一节 来自生产条件改变的需求

社会生产的需求不断地向科学技术工作者提出新的问题,科学技术工作者也在不断地努力,通过研究找到解决问题的钥匙,交给社会,以适应社会生产的需求。这样,周而复始,才能使生产与科技之间相互促进使效益不断增加,并沿着健康的道路可持续地发展下去。基于自然辩证法和认识论的上述规律适应于一切科学技术,也必然能指导一切科学技术。具体到我们所论的问题,自然也不例外。多年来,辽宁省喀左县乃至辽西地区,日光温室的生产正是从无到有、从小到大、从少到多地发展起来的。尤其是进入21世纪,日光温室生产在喀左县各乡镇得到普及,成为县、乡(镇)两级领导主抓的重要工作之一。目前,喀左县保护地面积已达32万亩112.6万栋9.7万户,年产量106万t,产值18亿元。30.5万农业人口人均增收3000元。就整个农业生产领域而言,把日光温室放在了首要地位,也可以说置之于“三农”的首要地位。作为全县农业主体组成部分的日光温室,不仅是农村经济的支柱性产业,也是农民增收致富奔小康的主要物质基础。不同行业的科技工作都应尽其所能,为温室的发展做一定的服务工作。设施农业(温室)与气象息息相关,于是作为科技队伍成员之一的气象科技为温室服务,就成为气象人员义不容辞的义务,而且是其他学科不可代替的。

一、从古代原始温室雏形到现代日光温室

任何一项技术的形成、推广和应用,总是基于一定的历史背景,源于对历史发展经验教训的正确判断。喀左县乃至辽西地区发展日光温室的历程,正是基于当地科技工作者对全省、全东北乃至全国设施农业基本认识和实践以及总结以往几十年乃至更久远的经验教训而获得较正确认识的结果。

在古代,我们的祖先为了摆脱恶劣气候条件对农业生产的威胁,就开始了利用保护设施抗御风、寒、雪、雹等恶劣的自然气象灾害,进行蔬菜生产的实践,并从中总结出有一定科学价值的生产技术经验。据《汉书·儒林传》记载,早在公元前2世纪,就曾有“冬种瓜于骊山谷中温处,瓜实成”的记录。骊山一带位于今陕西省西安市临潼区,约北纬 34° 、东经 109° ,海拔高度 $340\sim 350\text{ m}$ 。当时没有纸张、玻璃等制作的透明覆盖材料,利用的是优越的地形小气候条件和温泉水,人工建造朝阳的暖室,在夜间加盖不透明覆盖物以保温。这种设施应当是我国最早最原始的温室保护地雏形。到了东汉,纸的发明促进了温室技术的发展——出现了以纸作为半透明保温覆盖物的纸窗温室。《汉书·召信臣传》有关于我国人工加火温室生产蔬菜的农事活动的记载。唐代有“酒幔高楼一百家,宫前杨柳寺前花。内园分得温汤水,二月中旬已进瓜”的诗句。宋、元两代也有保护地栽培的记载。在明朝中叶,温室生产技术得到进一步推广,如农书《五杂俎》中记有“古人所谓二月中旬进瓜,不足道也,其他瓜果无时无之,善置坑中,温火源之使然。”

古代农业中的设施园艺遗产,被总结于像《汜胜之书》、《齐民要术》、《农书》等著作中,这些成果中有相当一部分至今仍有参考价值。但在其后相当长的时间里,比如从明朝后期到民国年间,我国的科学技术比较落后,设施农业发展缓慢,专门从事温室蔬菜试验研究的各方面专家屈指可数。直到20世纪五六十年代,我国蔬菜等行业的专家才开展了设施栽培技术的调研工作,逐步深入地总结了菜农在生产实践中积累起来的丰富经验,系统总结了北京郊区传统的一面坡温室和阳畦,苇毛苫覆盖栽培技术被总结、推广。在辽宁省沈阳市,蔬菜专家樊涛较早地系统总结了当地温室技术经验,出版了有关蔬菜温室的专著。

在20世纪60年代以前,我国的温室大多以玻璃为透明覆盖材料,造价较高;为建温室,需要较多的经济投入,而我国当时农业生产力发展水平有限,多数乡村无力支撑,以致限制了保护地发展,相应的研究很少。在60年代,喀左县乃至整个朝阳地区,很少有温室生产,即使有些小规模试验,生产出来的产品售价也很高,广大农民和一般市民几乎无力购买。透明覆盖材料的更新,是温室生产发展的关键环节之一。随着我国塑料工业的发展,70年代开始,塑料薄膜逐渐代替玻璃作为温室覆盖材料,于是蔬菜保护地栽培设施得以发展,面积逐步扩大,生产技术水平日益提高。到80年代,高效节能型日光温室的开发推广受到重视。

二、气象在温室发展中的作用

气象在温室发展中的作用，涉及多方面问题，这里只谈以下3个主要方面。

1. 大气候与小气候的辩证关系在温室发展中的应用

日光温室试验和发展，从20世纪60年代至80年代初，经历了曲折的道路。其中关于改善保护地气候规律，诸多专家均有很多深入的研究。我国北方农村，如辽宁省鞍山市郊的旧堡，北镇县中安各村，都有很长时间的保护地栽培历史。到了60年代初，由于经济困难等原因，农村已无力支持该项技术的发展。60年代末70年代初，随着经济的发展，保护地技术走上了逐步推广的历程。但由于技术上和认识上的许多问题没有得到解决，在推广中又走了一段曲折的路。其中较突出的是，辽宁省曾先后从外地引进温室技术，但由于事先对各地大气候的差异考虑不周，结果建造温室太大，不保温，既浪费了原材料，冬季也无法生产，不仅没有经济效益，甚至有负效益，造成了一次重大的失误。更重要的是使一些农民和基层农业技术工作者对温室生产丧失了信心，造成了保护地推广工作一度萧条，在贫穷落后地区更是如此。

在保护地技术推广面临困境时，较有远见卓识的科技管理专家及时组织人员总结经验教训。根据市场调研结果，管理专家和搞具体科技工作的专家一致认为：随着改革开放形势的发展，辽宁省城乡居民冬季蔬菜需求量必然增多。从技术上看，过去失败是由于没有结合本地气候特点，盲目引进，才导致失误。所以，应首先加强本地温室关键技术的研究，采用边研究、边试验、边推广的办法，找出保护地技术生产失败的原因，再对症下药。为此，在社会各界对辽西大力发展保护地尚不认可的前提下，辽宁省政府加大了保护地技术的研究和推广力度，边试验、边示范、边推广，经过努力，为保护地生产，开创了一个崭新的前景，为保护地的发展奠定了基础。许多事例说明，在像日光温室这样的科技推广中，是曲中有直，直中有曲的。如果在遇到困难曲折的时候，科技管理者不是发动科技人员去找原因，继续钻研业务，就很可能将这种技术放弃，就不会取得进入市场的巨大经济效益，也就没有今天这样能满足城乡人民生活需求的社会效益。

2. 发展日光温室的气候资源问题

在“霜期农业气候资源”这一概念被提出之前，人们对于农业气候资源的认识只集中于作物生长期即无霜期的农业气候资源问题上。在我国，20世纪70年代中后期至80年代末期，从中央直到县级的农业气候区划均以积温为指标来衡量热量资源的多寡，进而分出各级农业气候区。但在霜期农业气候指标被提出后，从日光温室角度出发，对太阳能为温室提供的生态动力源有了充分认识。在80年代中期，辽宁中部海城市等地区日光温室效益很好，但有人认为朝阳地区的热量条件不如辽宁中部，对是否适合设施农业（温室）的发展仍存疑义。经研讨并绘图区划后，发现原有认识有误，而事实上，西部热量条件比辽南更适于建设日光温室，气象部门的工作为日光温室发展方向的确定提供了科学依据。

3. 温室微气象与日光温室发展的关系

温室生产的发展，在微观上向气象工作者提出了许多敏感的微气象学方面的问题。

为解决这些问题,气象工作者已付出诸多努力,这就促进了温室微气象向科学技术现代化、自动化和模式化方向进军,从而促进了温室微气象这一领域的进步。

温室小气候是科技界有关学科人员共识的概念。其实,温室小气候只是也只应该是温室微气象中的一个组成部分,就像气候学是气象学的一个组成部分一样。温室“气候”只是一个温室“平均天气”的概念,而“气象”一词含义就不只是“平均”的问题了,而涉及温室内的温、光、湿的变化。从应用的角度讲,也包括温室内气象条件对作物的影响,实际是一个涉及多方面的系统问题。外界天气的即时变化,会引起温室环境的突变,如春季大风对塑料膜的突然袭击,吹开塑料膜会导致温室内“天气”发生突变。此类问题的研究,只用微气候方法,当然是无能为力的了。

三、温室病虫害气象与温室生产

1. 病害与气象

温室栽培的作物,病害种类繁多,也是影响温室生产的重要问题。而温室病害又与涉及温室这一特定环境中的许多气象新课题相关。下面仅举几例以说明。

(1) 黄瓜霜霉病与温室气象

黄瓜霜霉病是一种暴发性、流行性很强的叶斑病。各地普遍发生,是温室黄瓜最重要的病害。霜霉病一旦发生,如条件适宜,病情发展极为迅速,短时间内可造成叶片大量枯死、直接影响结瓜,减产20%~30%,重者达40%~50%,甚至瓜未采收就拉架乃至造成绝产。

黄瓜霜霉病的发生及流行与设施农业(温室)内的温、湿度关系密切。15~22℃是其流行的最适宜温度,如果平均气温低于15℃或高于28℃,均不利于本病发生。在适宜温度下,叶片存在水滴(膜)时,孢子囊1.5h即可萌发,2h后即可完成入侵引起发病。病斑形成后,相对湿度在85%以上,持续4h,其上就可产生孢子囊,相对湿度50%~60%时,则不能产生孢子囊。因此,高湿和叶面存在水滴的气象条件是霜霉病发生和流行的必要条件。温室黄瓜如因温湿控制不好,放风不当,极易发生。可见,黄瓜霜霉病与气象条件关系的密切。

(2) 番茄晚疫病与温室气象

番茄晚疫病俗称疫病,多雨年份是引起露地番茄烂果的重要原因。同样在高温、多雨的情况下,晚疫病也会在温室番茄上发生,造成严重损失。该病的病菌喜温、湿条件。孢子囊形成的温度范围为7~25℃,最适温度为18~22℃。产生游动孢子的最适宜温度为10~13℃。菌丝体在寄主体内生长最适温度为20~23℃。相对湿度85%以上时才能产生孢子囊,达97%以上时孢子囊才能大量形成,孢子囊萌发要有水滴存在,这样气象条件在日光温室内很容易满足。因此,番茄晚疫病在日光温室中便成了重要的病害。

(3) 黄瓜灰霉病与温室气象

黄瓜灰霉病在裸地很少发生,是温室常年发生的、一种独有的、危害最为严重的病

害,果实发病后变软、萎缩、腐烂,甚至绝产,群众又称之为烂果病。黄瓜灰霉病最适宜的发病气象条件是高湿(相对湿度94%以上)、低温(18~23℃)、光照不足,其中,高湿是黄瓜灰霉病发生流行的首要条件,这样的气象条件,只有在温室内才非常容易满足,这也正是为什么黄瓜灰霉病成为温室常年发生的病害的主要原因。

2. 虫害与气象

设施农业(温室)的蔬菜害虫发生的种类、危害程度,与裸地蔬菜害虫,既有相同之处,又有明显差异。首先看其发生的种类,裸地蔬菜发生的害虫,在温室内几乎都有发生,如黄瓜蚜虫、螨类、小菜蛾、粉蝶类、棉铃虫、美洲斑潜蝇等。而有的害虫仅仅在设施农业(温室)中发生,如温室白粉虱,只有在设施农业(温室)中才有,而在裸地却不能发生;再看其发生特点和发生程度,在裸地蔬菜和设施农业(温室)蔬菜都有的害虫,其发生特点和发生程度却又有明显的差别,在裸地发生的害虫,有发生代数的限制,而在设施农业(温室)中发生的却没有代数的限制,可以周而复始地发生。更由于保护地蔬菜种植面积逐年增加,使一些害虫的生活习性发生了变化。如有些害虫在北方露地不能安全越冬,但可从露地迁移到保护地内为害并安全越冬,翌年春季再从保护地迁移到露地为害,形成了周年为害方式,如棉铃虫。在保护地内有些害虫的为害期可提前或延后,增加了为害时间,给防治带来了难度。使设施农业(温室)和裸地菜虫出现这种差异的根本原因,就在于设施农业(温室)的特殊的气象条件所促成的生态环境。

具体例子,如青椒白粉虱、棉铃虫、蓟马等害虫与气象的关系,详见本书第七章。

四、小结

在多年为农业服务、深入温室长年观测的实践中,在考察有关理性认识的求索中,人们认识到气象学方法在温室病虫及其他灾害的防御中的应用,这种认识已成为温室生产的不可缺少的一种专门学问。这种学问产生的原动力,正是温室生产发展的必然结果。

第二节 基础学科的支撑

在这一节,把“温室气象与作物保护研究”(下简称“本学科”或“本研究”)作为一个整体,从同它有关的科学技术分支在其中的应用出发,以作者多年试验研究与在社会生产服务实践中的一些体会和浅显看法为前提,来讨论科学技术主要领域对本学科的支撑作用,供业内同人参鉴。

一、天文学、物理学及生物学基础

天文学、地学和生物学的进展,构成了本研究的主要思路来源。

1. 天文学的应用

在现代自然科学中许多分支学科的自身研究成果以及它们之间相关交叉的成果,已

经清楚而确切地表明：来自太阳辐射的能量是地球表面上一切有生命的机体赖以生存并与生命环境相互作用的最重要、最根本的能量源泉，即是一切有生命机体内发生的生物化学过程的最基本的能量源泉。太阳辐射也是地球岩石圈、大气圈和水圈中持续发生的相当多的物理过程的能量源泉。在这些过程中，说太阳能重要，其理由是：虽然地球表面从太阳系中的其他星球也可以获取一些能量，而且地球表面的能量也有一小部分来自地壳内部，但是它们与太阳通过辐射作用而传递到地球表面的热量相比，可以说是微不足道的，一般可以忽略不计。如兰兹伯格指出的那样：当太阳直接照射到人的头顶时，在地球表面上来自太阳的能量大约是自地球内部输送到地球表面的能量的2 500倍。

太阳能本身是个天文学的论题，而太阳能进入地球，主要是一个物理学问题，因为太阳必须经由地球大气圈才能到达地面，而地面上的土壤是用于农业生产必不可少的另一种自然资源。

从生态动力学出发分析太阳辐射的作用，更是农业环境（含日光温室环境）的生物物理学基础。生态动力学研究的对象是生物圈中一切生物与环境相互作用的动力学问题。生态动力学的研究必然涉及生物圈本身，同时考虑生物与岩石圈、大气圈、水圈相互作用中的动力问题。生态动力因子虽然繁多，但可依其性质进行分类，生态因子被分为气候、水文、土壤、地貌、生物和人为6类。而生态动力因子不完全等同于一般的生态因子，它只是考虑到生态因子中能起到动力作用者，能作为一种具体生态动力源而起作用或作为生态动力的传递者。我们把具备上述两功能之一者，均作为生态动力因子。这样，生态动力因子便是生态因子中的一部分。对于这些生态动力因子的研究成果构成本研究的重要生物物理基础。

关于天文学在日光温室中的应用，可见于以下2例：

例1是温室热量表达式。

温室内的相对受光量在时间和空间上，都有很大变化。从空间上来说，温室可视为三度空间，可用一般的笛卡尔直角坐标系表示。假定温室是坐北朝南的，令南北跨度方向为 X 轴，测定沿 X 轴跨度的长度的起点（即坐标原点）定于温室室内的西北角，用 O 表示；东西方向（即栋长方向）则为 Y 轴， O 点亦即 X 和 Y 两轴的交点；在温室的西北角自地面向上的方向为 Z 轴， O 点亦即 X 轴与 Z 轴及 Y 轴与 Z 轴的交点。在这里可以有充分理由把温室内某点（ X, Y, Z ）在时间 t 接受的太阳辐射量 I 表示为 X, Y, Z, t 的函数，即

$$I = I(X, Y, Z, t)$$

整个温室接受的太阳辐热量 I 是各点热量的累计，实质上是连续情形。于是有

$$I = \int_{t_1}^{t_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \int_{z_1}^{z_2} I(x, y, z, t) dx dy dz dt$$

式中， $t_2 - t_1$ 为白昼长度（日照时间）； $y_2 - y_1$ 为栋长； $x_2 - x_1$ 为跨度； $z_2 - z_1$ 为从地面到棚顶的高度。

从上式可见，从入射辐射的角度来说，温室越大，室内储存的热量就越多；但从出

射辐射的角度来说,温室容积越大,夜间放出的辐射也就越多。所以在确定温室的容积时必须考虑:在能满足作物生长发育要求的热量条件下,在建筑材料和设备允许的条件下,在严冬季节白天应当使温室尽可能多地吸收太阳短波辐射,以利增温;而在夜间,应尽可能少地放出长波辐射,以利保温。从上式也可看出,被积函数是一个十分复杂的函数,求多重积分值时,在现阶段尚无法达到合理的近似水准。故在上式的基本原理指导下,分别讨论与积分值有关的各个数字与变量,并结合各地的气候状况与生产经验,设计出结构合理的高产节能温室,是目前可行的措施。

例2是温室合理屋面角的求算。

在任一纬度、任一节气的中午,太阳高度角 H 。可表达为:

$$H_0 = 90 - \varphi + \delta$$

式中, φ 为当地纬度; δ 为太阳赤纬。

经推导,理想屋面角 $\alpha = \varphi - \delta$,合理屋面角 $\alpha' = \alpha - 40^\circ$ 。

2. 地球科学的应用

地球科学在本研究中的应用,主要涉及气象学和土壤学两个基础领域。

(1) 气象学的基础

日光温室内的作物,虽然一般不直接接触及外界气象条件,不直接受益于或受损于外界天气,但是灾害性天气对温室大棚的危害是显而易见的。多年来,参与日光温室调查、设计的气象工作者,大都会或多或少地耳闻目睹过气象灾害对大棚危害的事例,如秋季的冰雹砸破棚膜、冬季的大雪和连阴天使大棚内作物经受降温的考验,春季大风则可大面积掀棚,甚至使棚内蔬菜作物面临“全军覆没”的悲惨局面。面对灾害,是气象工作者应用本学科发展趋势,在保护大棚设施及棚内作物中“大显身手”的良好时机。灾害往往是突然来袭,而防灾气象服务水平则是须多年积累才能提高的。这就需要气象工作者跟踪气象科学尤其是涉及天气预报技术的发展动态,结合本研究加以应用。为应对减灾的紧急服务,需要长期积累。军事上说的“养兵千日,用兵一时”,艺术上说的“台上一分钟,台下十年功”,对于应对即时的温室服务,都是很有借鉴作用的。气象前辈的工作,至今仍有指导意义。中国气象史研究成果显示,我国最早的农业气象预报始于20世纪40年代涂长望的工作。在50年代,我国农业气象预报在全国各县普遍开展,但当时所依托的天气预报技术主要是天气学方法,这种天气学方法是在40年代由挪威气象学家佩特森总结出来的《气象学引论》(我国程纯枢译成中文,中文书名为《近世气象学原理》)基础上,结合各个国家情况具体实施的。在1956年,佩特森发表了专著《天气分析与预报》(程纯枢译成中文版上册,该书中文版下册未见出版);这部著名的专著,直到70年代,在我国仍成为预报员必学的书籍;与此同时,在50—60年代,我国从俄文译成中文的天气预报的书很多,如顾震潮主译的《短期天气预报指南》,黄仕松主译的《天气学原理》(赫罗莫夫编著),纪乃晋译的《天气学》(库尼兹编著)等,类似的书还有很多,在当时对于农业应用,含对温室的应用,都是应用对象的主要气象基础。