

温室 塑料棚 环境管理



菜篮子工程丛书

农业出版社

6
6

菜篮子工程丛书

温室塑料棚环境管理

吴毅明 徐师华 编著

农业出版社

菜篮子工程丛书
温室塑料棚环境管理
吴毅明 徐师华 编著

责任编辑 何致莹

农业出版社出版（北京市朝阳区农展馆北路2号）
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm 32开本 7.625印张 164千字

1990年8月第1版 1990年8月北京第1次印刷

印数 1—2,350册 定价 3.25 元

ISBN 7-109-01720-6/S·1137

出版说明

1988年中华人民共和国农业部经过深入细致的调查研究，提出了“菜篮子工程”规划和实施方案。所谓“菜篮子工程”，即国家象对待一个大的工程建设一样，拿钱定政策，运用系统工程的方法，在理顺副食品价格的基础上，改革生产流通体制，合理开发利用国土资源，调整副食品供给结构，推广实用技术，强化基础设施，逐步提高副食品供给水平。“菜篮子”的内容不仅仅是指蔬菜，而是指整个副食品，更多的还是指肉、禽、蛋、奶、鱼等。“菜篮子工程”只是一个形象化的通俗名称。这项工程对缓解我国副食品消费的供需矛盾，调整消费结构，实现供给和需求的均衡发展具有重要的指导意义。

为配合“菜篮子工程”的实施，农业出版社特邀请了具有较高理论水平并有丰富实践经验的专家编写了一套“菜篮子工程丛书”。丛书内容包括肉、禽、蛋、奶、鱼、菜等方面的实用生产技术，着重叙述生产的关键性技术和增产技术措施，以及如何解决生产中普遍存在的问题等。试图通过这套丛书的出版，对“菜篮子工程”的实施起到一定的促进和推动作用。

由于初次组织编写这一类型的丛书，缺点和不足之处，恳请读者批评指正。

1989年5月

前 言

在露地不能进行作物生产的季节,用温室塑料棚等设施,人为地创造一个适于作物生长的环境进行作物生产,这就是设施园艺。在人工环境下载培作物,生产条件与露地有很大差异,所以,栽培管理技术相应发生一系列变化。最根本的差别在于环境条件的不同,因此,温室塑料棚内环境的管理水平,直接关系到栽培的成效,是决定经营成败的首要环节。

对温室塑料棚内的环境驾驭得好,就可以创造出自然条件所没有的适于作物生长的环境,充分发挥作物的生产潜力,创造出露地生产不可能出现的高产优质,可以使各种蔬菜不分季节做到四时供应。反过来,对温室塑料棚内的环境调节不当,也会造成欠产以至绝收。

我国的保护地栽培有悠久的历史。西汉时期已有用四时之房在室内加温种菜的记载。清朝时已有油纸立窗土温室。解放后出现了改进采光保温的北京改良温室、鞍山一面坡立窗温室和哈尔滨改良温室。60年代后进一步改善温室内光照、加温、通风条件,又出现了内蒙无柱温室、天津三折式温室。采用水暖加温取代火炉加温。70~80年代还相继建造和引进了一批现代化大型玻璃温室,环境调节性能更高。50年代中期,在蔬菜生产中开始试用塑料薄膜,60年代,中、小型塑料棚较大面积应用,并开始了大棚生产试验,70~80

年代，塑料大棚生产迅速发展。到1988年，塑料大棚面积已达3.4万公顷，中、小拱棚达7.8万公顷。大棚结构也由竹木向钢架向薄壁钢管大棚发展，通风透光和保温条件不断改善。

长期的温室塑料棚生产，积累了丰富的经验。在掌握温室大棚人工环境性能和充分挖掘其生产潜力的基础上，各地取得了显著的生产成绩。如华北地区不加温大、中、小棚配套，一年两熟或三熟，春茬果菜较露地提早30~40天，秋季延后30~50天采收，产量较露地增加1~2倍。还出现了黄瓜、番茄一茬亩产1~1.5万公斤，全年亩产2万公斤的高产典型。东北高寒地区和西部高原气候地区每年一茬，单产较高。东北地区还提出了大棚温室多品种、多茬次、高产、高效益栽培模式。不少地方进行了间作、套种、立体化栽培，合理利用空间及水肥光热条件。无土栽培也有较大进展。海城等地的日光温室，用多层覆盖保温，可在严冬-15℃低温条件下，不加温生产果菜，春节期间开始采收。南方地区实现多茬次多品种周年综合利用。西藏高原光照充足，昼夜温差大，气候干燥，大棚里果菜长势特别好，高产优质，利用地热温室可以越年长期栽培，等等。

在发展过程中，由于环境管理不当，也有过不少经验教训，例如有的大温室覆盖材料选择不当，使用3年后透光率显著变差，无法正常生产；有的塑料大棚通风差，温湿度管理过高，病害严重而欠产；有的则通风过度温湿度管理过低，未能发挥大棚小气候的生产潜力；有的大棚结构过高过大遭到风害、雪害；有的小型温室屋面坡度过小采光受热差；以及不少大型温室保温措施不力燃料消耗过多，等等。

随着工业的发展和科学技术的进步，各种环境调节器材不断被开发应用，温室利用已由冷季扩展到周年，从温带扩

展到寒带极地和热带沙漠，并应用到生物技术植物工厂化生产。温室环境调节控制技术迅速发展，已由恒温管理走向变温管理，由单要素个别控制走向综合环境管理，并开始了计算机网络化、智能化管理的新阶段。

本书旨在将国内外有关温室环境管理的研究成果、生产实践的经验和教训，向生产第一线的广大生产人员作一简单介绍，并为生产、教学和科研提供一些参考资料。限于作者水平，不当之处敬请广大读者批评指教。

成书过程中得到王志刚同志的大力支持，梁红、张平、王莲英等同志帮助清稿，谨此表示感谢。对赐予我们引用其研究成果和经验的各位作者，也一并表示衷心的感谢。

本书第一、二、六章由吴毅明编写，第一章中的光合作用测定方法，第三、四、五章及附录由徐师华编写。

目 录

前 言

第一章 设施内光照环境与作物	1
第一节 光照环境与作物	1
一、太阳辐射与光合有效辐射	1
二、覆盖材料的透光特性	4
三、设施的透光率与光分布	6
四、光照环境与作物生长的关系	20
第二节 光照环境的调节	37
一、设施内光照量的调节	38
二、光质的调节	43
三、光照时间的调节	45
四、人工光源与照度分布	47
五、遮光的材料与方法	49
第二章 设施内温度环境与作物	51
第一节 温度环境与作物	51
一、温室塑料大棚的温度特性	51
二、温度与作物生长的关系	56
第二节 温度环境的调节	64
一、温度的管理方法与指标	64
二、保温措施与效果	74
三、加温管理技术	82
四、降温的方法与效果	92
五、节能调温技术	94
第三章 设施内湿度环境与作物	99
第一节 湿度环境与作物	99
一、温室、塑料大棚内的湿度特征	99
二、湿度与蒸腾和光合作用	105

三、湿度与病害的发生	108
第二节 湿度环境的调节	111
一、除湿调节技术	111
二、灌溉与加湿技术	117
第四章 设施内空气环境与作物	121
第一节 气体环境与作物	121
一、气流对栽培环境和光合作用的影响	121
二、二氧化碳环境与作物生长	123
三、有害气体的产生和危害	130
第二节 气体环境的调节	134
一、通风原理及技术	134
二、二氧化碳肥源及其使用、监测技术	138
三、预防有害气体的措施	142
第五章 根圈环境的调节	146
第一节 土壤环境的调节	146
一、土壤中的气体环境及其调节	147
二、土壤肥力的保持与土壤消毒	155
第二节 无土栽培	161
一、无土栽培的方式与设备	164
二、营养液的配方与浓度管理	166
三、无土栽培管理要点	172
第六章 综合环境管理	178
一、综合环境调节和综合环境管理	178
二、综合环境管理的实例	181
三、综合环境管理的发展前景	192
附录	195
一、温室大棚蔬菜的茬口安排	195
二、主要蔬菜的温室大棚高产栽培	198
三、主要病虫害的发生条件与药物防治	216
四、生长调节剂的应用	223
五、各类设施内生产季节与初终霜日	227

第一章 设施内光照环境与作物

温室塑料棚内的光照环境，决定于室外的太阳光、设施覆盖材料的光学特性、设施的形状、结构和方位，以及人工补光和遮光等措施。

第一节 光照环境与作物

一、太阳辐射与光合有效辐射

太阳光一般称为太阳辐射或日射，其中不同波长部分，分别有不同的名称。

(一) 波长范围与名称 到达地面的太阳辐射，其波长范围约为300~2000纳米(nm) (1纳米=1×10⁻⁹米)，而以500纳米(nm)处能量密度最高。日射当中，波长380纳米(nm)以下的称为紫外线，380~760纳米(nm)的部分叫可见光，760纳米(nm)以上的是红外线，也称为长波辐射或热辐射。另外，波长400~700纳米(nm)的部分是植物光合作用主要吸收利用的能量，称为光合有效辐射，700~760纳米(nm)的部分称为远红光，它对植物的光形态形成起作用(图1-1)。

日射总能量中，可见光或光合有效辐射约占45~50%，紫外线约占1~2%，其余为红外线。这种辐射能量的分配比例，随不同的时间、地点和天气状况而变化。

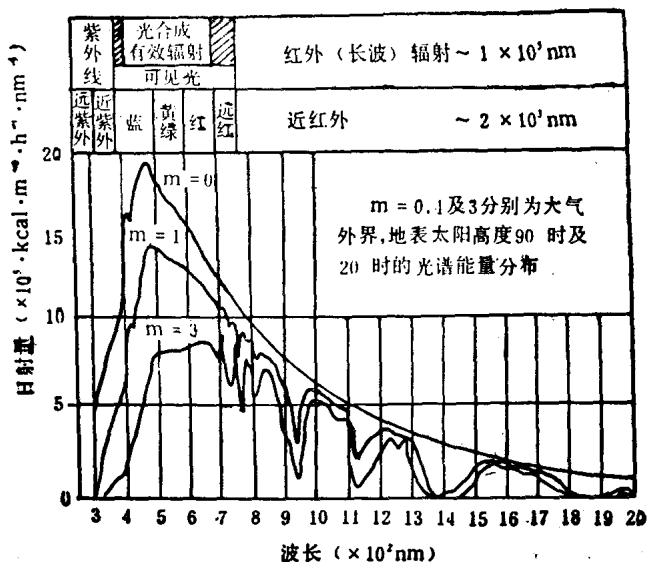


图1-1 太阳辐射光谱的能量分布

(二) 日射量和照度的单位 日射量或太阳光量等辐射量,其瞬时值用辐照度、辐射能流率,即单位时间、单位面积上受到的辐射能量来表示(过去误称的辐射强度,现已不用)。单位现在用千瓦/米² (kW/m²)、过去用千卡/(米²·小时) [kcal/(m²·h)]、卡/(厘米²·分) [cal/(cm²·min)] 或兰/分 (Ly/min) 等等。单位之间的换算关系如下:

$$1\text{ kW/m}^2 = 1.433\text{ Ly/min} \doteq 860\text{ kcal/(m}^2\cdot\text{h)}$$

$$\text{或 } 1\text{ Ly/min} = 600\text{ kcal/(m}^2\cdot\text{h)} = 0.698\text{ kW/m}^2$$

把瞬时值按日、月、年等时间计算的积累值,分别称为太阳辐射日总量、月总量和年总量。单位现在用兆焦/米² (MJ/m²),过去用卡/厘米² (cal/cm²) 或兰 (ly)。单位换算关系为:

$$1\text{MJ}/\text{m}^2 = 23.89\text{cal}/\text{cm}^2 \text{ (或ly)}$$

$$1\text{焦耳} = 1\text{瓦}\cdot\text{秒}$$

另外，照度是人眼所感觉的光的亮度，单位是勒克斯 (lx)，简称勒。由于人眼对可见光中的黄绿光感觉强，对蓝红光感觉弱，因此，相同辐射能量的黄绿光的照度高，红蓝光的照度低。就是说，照度与太阳辐射能量之间的换算系数随太阳光的波长而不同，随太阳高度和天气状况而变动。一般是每1兰/分的太阳辐射能相当于65000~75000勒照度，粗略可按7万勒 (lx) 估算。即

$$1\text{兰/分} = 698\text{瓦}/\text{米}^2 \approx 70000\text{勒}$$

(三) 直接辐射与散射辐射 到达地面的太阳辐射由两部分组成，一部分是经过大气中的气体分子、尘埃和水滴的散射、吸收之后到达地面的天空辐射，也称为散射辐射，另一部分是未经散射和吸收，以近似于平行的光线而直接到达地面的直接辐射，二者之和称为总辐射。天空辐射是从天空各个方向几乎均匀地射向地面的 (图1-2)。只说太阳辐射中的可见光时，一般也分别称为直射光、散射光和全光。

阴天时，散射辐射等于总辐射，其最大值约为200瓦/米²

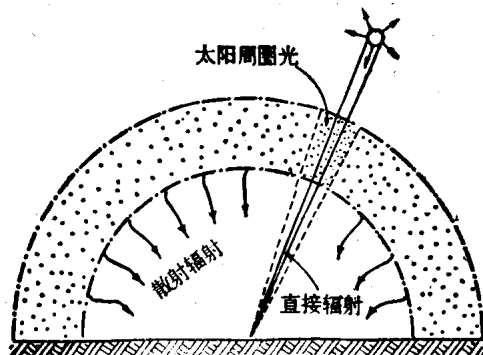


图1-2 直接辐射与散射辐射

(约0.3兰/分)。一般在100~200瓦/米²之间。水平面上接受的散射辐射量,随太阳高度升高而增大,当太阳高度达30度以上,散射辐射几乎不再增大。天空越透明,散射辐射则越小。

水平面上接受的直接辐射量,晴天时,随太阳高度升高至30度以前几乎是直线上升的,可达到600~850瓦/米²(约0.86~1.21兰/分),随后增加趋于平缓,太阳高度60度时约达850~1000瓦/米²(约1.2~1.43兰/分)。这种晴天的直接辐射,太阳高度角15度以下时,约占总辐射的50~70%,30度以上时约占80~90%。冬天,直接辐射量占一天的太阳辐射总量的比率,北纬35度地区约为65%,52度地区约占45%。

一天的太阳辐射总量称为太阳辐射日总量。它的数值大小,直接影响温室作物的生长和产量,是温室综合环境管理和评价某地是否适宜发展温室生产的重要指标之一。

(四) 日长 白天光照持续的时间称为日长。它包括了太阳光直接照射地面的时段(即日照时数)和只有漫射光的多云天、阴天时段及曙暮光时段。日长由该地的纬度和季节决定。日长对温室作物特别是花卉的花芽分化有明显影响。

二、覆盖材料的透光特性

我国温室的覆盖材料主要使用玻璃,近年来使用塑料薄膜的半拱圆型的改良北京温室逐渐增加,少部分也使用有机波纹板,复合中空平板等。塑料棚以前主要用聚氯乙烯薄膜,现在则大多使用聚乙烯薄膜。

国产的透明的非散光性覆盖材料,未使用前对可见光的垂直透过率,不同波长一般都在80~90%,质量好的可达95%,质量差的也会低于75%,不同材质之间的差别较小。

随着使用过程覆盖材料的老化，透光率会降低。一般玻璃的透光率变化较小。耐老化的有机玻璃材料和硬质薄膜在5~7年内透光率下降为20~25%，不耐老化的则2~3年透光率即明显降低无法使用。耐老化塑料薄膜透光率也可保持1~2年。

玻璃对紫外线很少透过。塑料薄膜和板材为了防止老化要加入紫外线吸收剂，所加的紫外线吸收剂的种类和数量不同，对紫外线的透过率也不同。透入室外的紫外线的数量多少，会使茄子果实的着色、特定作物的发育、菌核病和灰霉病等病原菌的发育产生差别，必须注意。

光线通过覆盖材料时，一部分被反射和吸收。平板玻璃和薄膜对平行光线的透过率随光线入射角而变化，入射角0~30度时透光率没什么变化，30~60度时略微降低，60~90度时急速下降，到90度透光率为零。对光的吸收率一般为2~6%，不随入射角而变化。对光的反射率入射角40度以内，约为8%，60度以上时迅速增加。

散光性的薄膜或板材，可使透射光变成散射光，虽然平均透光率稍有降低，但室内光线分布均匀，对促进作物光合作用有利。广州能源研究所研制的“漫反射节能农膜”就是一种散光性薄膜。

加入不同颜料制成的有色薄膜，对可见光的不同波长部分产生吸收，使透射光光质发生变化。有的可提高作物的品质和维生素含量，有的可影响温室粉虱和蚜虫或病菌的活动，但一般因透光量稍微降低产量会受影响，所以尚未普及。

国外新近研制了一种转光薄膜，可以把不需要的波长部分的光能，转变成光合有效辐射，从而提高作物的光合作用促进生长。

不同材质的覆盖材料对红外线有不同的透过特性，因此

保温性能也不同（见下章保温原理），加入阻隔红外助剂的红外吸收薄膜，对白天由阳光进入棚内和夜间由地面逸出棚外的红外辐射都有减弱，起到调温作用。北京塑料研究所研制的“多功能农膜”，就兼有调温、散光、流滴和耐老化等功能，既耐用又能增产。

塑料薄膜一般有亲水性，表面上容易凝聚水滴。由于水滴的漫射作用，使入射光大量被反射。据观测，薄膜布满水滴时可使塑料棚内光照损失达20%以上，一般光照减弱10~20%。附着水滴少的流滴薄膜或无滴薄膜，可使棚内透光率比普通膜增加7~10%。

塑料薄膜的静电吸尘或助塑剂析出吸尘，常使薄膜表面被灰尘污染，使透光率降低10~15%，严重尘染的会降低25%左右。聚乙烯薄膜不加助塑剂，所以透光保持率一般比聚氯乙烯薄膜高10%左右，尘染后也易被雨水冲洗掉。加入防静电吸尘助剂的防尘薄膜，透光保持率更好。近来，国外还生产能防止塑料粒子迁移，大大改善了自洁能力的聚氯乙烯农膜。

三、设施的透光率与光分布

（一）平均透光率的估算 对管架大棚，可作如下估算：干洁薄膜的透光损失为20%，吸附水滴和尘染在较好的情况下透光损失合计为20%，塑料薄膜表面反射损失10%，大棚管架遮阴损失为5%。设外界自然光强为 I_0 时，塑料大棚内的光照强度 I 应为：

$$\begin{aligned} I &= I_0 \times (1 - 20\%) \times (1 - 20\%) \times (1 - 10\%) \times (1 - 5\%) \\ &= I_0 \times 54.7\% \end{aligned}$$

即棚内光照强度为棚外的约54%。当水滴和尘染严重时，二者透光损失合计可达40%，此时大棚平均透光率可能低于

40%。若加上薄膜老化的影响，最差的情况下，棚内光照有时只有棚外的30%左右。

通常情况下，根据实测经验，塑料温室大棚的平均透光率参考值多采用50%。全光玻璃大温室透光率比塑料温室强，一般平均透光率为60%左右，最大也可达70%左右。

温室对于直射光与散射光的透光率一般是不同的。因此，温室内地面获得的全光量可用下式表示：

$$\begin{aligned} \text{温室内的全光量} = & \text{室外的直射光量} \times \text{直射光透光率} \\ & + \text{室外的散射光量} \times \text{散射光透光率} \end{aligned}$$

直射光透光率随温室的形状、方位、结构、太阳位置等的不同变动幅度较大。散射光透光率一般只决定于温室的形状结构和覆盖材料的光学特性，与建设方位几乎无关，而且温室屋面坡度对它的影响也不很大。四壁全是玻璃的全光温室的散射光透光率，一般为60%左右。地面上散射光透光率的分布是前后左右对称的，一般是中央部位高于四个边角约5~8%。靠近垂直玻璃壁面处或结构材料的下方位置，散射光透光率变低。

下面，主要讨论影响温室直射光透光率的各种因素。一般把东西脊向（东西延长）的温室称作东西栋，南北脊向（南北延长）的称为南北栋。

（二）温室形状、结构和方位对采光的影响 同一形状的温室，随着建设方位和太阳位置的不同，投射到温室玻璃面上的直射光入射角也不同，因此直射光透光率也有很大差异。

温室形状和直射光透光率的关系，古在丰树用计算机模拟分析进行了详细的研究，所得结果可供温室设计参考。

1. 单跨温室与连跨温室 对跨度4米，长98米，下弦高2.2米，屋面坡度24.6°的标准透明玻璃全光温室分单跨和11

连跨进行计算，分析结果如下。

(1) 地面平均日总量透过率 图1-3为北纬 30° 与 45° 位置的单跨和连跨温室，在冬至日的直射光地面平均日总量透过率随建设方位的变化。纵座标表示晴天温室内地面平均的一天累积直射光量与室外直射光量的比率。

如图1-3所示，不论单跨还是连跨，都是东西栋(东西脊

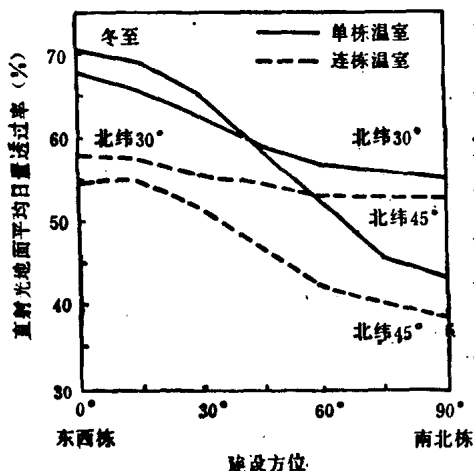


图1-3 纬度和方位对直射光日总量透过率的影响

向) 透过率高于南北栋(南北脊向)，纬度越高，差异越大。单跨温室平均约差10%，连跨温室平均约差7%。而且单跨温室的透过率明显高于连跨。单跨温室的这种差异，栋的方位即使偏转 30° 也变化不大。

图1-4是在北纬 35° 位置上述温室内地面平均日总量透过率随季节变化的情况。图中只给

出冬至到夏至半年的情况，余下半年的透过率以冬至为轴心几乎是对称的，即春分和秋分的透光率几乎相同。如图所示，东西栋单跨的透过率冬天为最高值达67%，从2月初到4月中逐渐下降到60%左右，随后几乎不变。东西栋连跨的透过率冬天为58%，到3月初稍稍下降，其后上升到4月中旬约达62%，以后几乎不变。从4月初起，东西栋连跨的透过率稍高于单跨的。