

第三章 园艺设施的环境特征及其调整掌握

园艺作物设施栽培是在肯定的空间范围内进展的，因此生产者对环境的干预、掌握和调节力量与影响，比露地栽培要大得多。治理的重点，是依据园艺作物遗传特性和生物学特性对环境的要求，通过人为地调整掌握，尽可能使作物与环境间协调、统一、平衡，人工制造出作物生育所需的最正确的综合环境条件，从而实现蔬菜、花卉、水果设施栽培的优质、高产、高效。

制定园艺作物设施栽培的环境调控标准和栽培技术标准，必需争论以下几个问题：

(1) 把握园艺作物的遗传特性和生物学特性，及其对各个环境因子的要求。园艺作物种类繁多，同一种类又有很多品种，每一个品种在生长发育过程中又有不同的生育阶段(发芽、出苗、养分生长、开花、结果等)，上述种种对四周环境的要求均不一样，栽培者必需了解。光照、温度、湿度、气体、土壤是园艺作物生长发育必不行少的5个环境因子，每个环境因子对各种园艺作物生育都有直接地影响，园艺作物与环境因子之间存在着定性和定量的关系，这是从事设施园艺生产所必需把握的。

(2) 应争论各种园艺设施的建筑构造、设备以及环境工程技术所制造的环境状况特点，说明形成各种环境特征的机理。摸清各个环境因子的分布规律，对设施内不同作物或同一作物不同生育阶段有何影响，为确立环境调控的理论和根本方法、改进保护设施、建立标准环境等供给科学依据。

(3) 通过环境调控与栽培治理技术措施，使园艺作物与设施的小气候环境到达最和谐、最完善的统一。

在摸清园艺设施内的环境特征及把握各种园艺作物生育对环境要求的根底上，生产者就有了生产治理的依据，才可能有主动权。环境调控及栽培治理技术的关键，就是千方百计使各个环境因子尽量满足某种作物的某一生育阶段，对光、温、湿、气、土的要求。作物与环境越和谐统一，其生长发育也越加强健，必定高产、优质、高效。

农业生产技术的改进，主要沿着两个方向在进展：一是制造出适合环境条件的作物品种及其栽培技术；二是制造出访作物本身特性得以充分发挥的环境。而设施园艺，就是实现后一目标的有效途径。

第一节 光照环境及其调整掌握

植物的生命活动，都与光照密不行分，由于其赖以生存的物质根底，是通过光合作用制造出来的。正如人们所说的“万物生长靠太阳”，它精辟地说明白光照对作物生长发育的重要性。目前我国园艺设施的类型中，塑料拱棚和日光温室是最主要的，约占设施栽培总面积的90%或更多。塑料拱棚和日光温室是以日光为惟一光源与热源的，所以光环境对设施园艺生产的重要性是处在首位的。

一、园艺设施的光照环境特点

园艺设施内的光照环境不同于露地，由于是人工建筑的保护设施，其设施内的光照条件受建筑方位、设施构造，透光屋面大小、外形，掩盖材料特性、干洁程度等多种因素的影响。园艺设施内的光照环境除了从光照强度、光照时数、光的组成(光质)等方面影响园艺作物生长发育之外，还要考虑光的分布对其生长发育的影响。

(一)光照强度 园艺设施内的光照强度，一般均比自然光要弱，这是由于自然光是透过透亮屋面掩盖材料才能进入设施内，这个过程中会由于掩盖材料吸取、反射、掩盖材料内面结露的水珠折射、吸取等而降低透光率。尤其在严寒的冬、春季节或阴雪天，透光率只有自然光的50%~70%，假设透亮掩盖材料不清洁，使用时间长而染尘、老化等因素，使透光率甚至缺乏自然光强的50%。

(二)光照时数 园艺设施内的光照时数，是指受光时间的长短，因设施类型而异。塑料大棚和大型连栋温室，因全面透光，无外掩盖，设施内的光照时数与露地根本一样。但单屋面温室内的光照时数一般比露地要短，由于在严寒季节为了防寒保温，掩盖的蒲席、草苫揭盖时间直接影响设施内受光时数。在严寒的冬季或早春，一般在日出后才揭苫，而在日落前或刚刚日落就需盖上，1 d内作物受光时间不过7~8 h，在高纬度地区冬季甚至缺乏6 h，远远不能满足园艺作物对日照时数的需求。北方冬季生产用的塑料小拱棚或改进阳畦，夜间也有防寒掩盖物保温，同样存在光照时数缺乏的问题。

(三)光质 园艺设施内光组成(光质)也与自然光不同，主要与透亮掩盖材料的性质有关，我国主要的园艺设施多以塑料薄膜为掩盖材料，透过的光质就与薄膜的成分、颜色等有直接关系。玻璃温室与硬质塑料板材的特性，也影响设施内的光质。露地栽培太阳光直接照在作物上，光的成分全都，不存在光质差异。

(四)光分布露地栽培作物在自然光下光分布是均匀的，园艺设施内则不然。例如，单屋面温室的后屋面及东、西、北三面有墙，都是不透光局部，在其四周或下部往往会有遮荫。朝南的透亮屋面下，光照明显优于北部。据测定，温室栽培床的前、中、后排黄瓜产量有很大的差异，前排光照条件好，产量最高，中排次之，后排最低，反映了光照分布不均匀。单屋面温室后屋面的仰角大小不同，也会影响透光率的多少不同。园艺设施内不同部位的地面，距屋面的远近不同，光照条件也不同。园艺设施内光分布的不均匀性，使得园艺作物的生长也不全都。

二、园艺设施的光环境对作物生育的影响

(一)园艺作物对光照强度的要求 园艺作物包括蔬菜、花卉(含观叶植物、赏识树木等)和果树3大种类，对光照强度的要求大致可分为阳性植物(又称喜光植物)、阴性植物和中性植物。

1. 阳性植物 这类植物必需在完全的光照下生长，不能忍受长期荫蔽环境，一般原产于热带或高原阳面。如多数一二年生花卉、宿根花卉、球根花卉、木本花卉及仙人掌类植物

等。蔬菜中的西瓜、甜瓜、番茄、茄子等都要求较强的光照，才能很好地生长，光饱和点大多在 6 万~7 万 lx 以上。光照缺乏会严重影响产量和品质，特别是西瓜、甜瓜，含糖量会大大降低。果树设施栽培较多的葡萄、桃、樱桃等也都是喜光作物。

1. 阴性植物 这类植物不耐较强的光照，遮荫下方能生长良好，不能忍受猛烈的直射光线。它们多产于热带雨林或阴坡。如花卉中的兰科植物、观叶类植物、凤梨科、姜科植物、天南星科及秋海棠科植物。蔬菜中多数绿叶菜和葱蒜类比较耐弱光，光饱和点 2.5 万~4 万 lx。

2. 中性植物 这类植物对光照强度的要求介于上述两者之间。一般宠爱阳光充分，但在微阴下生长也较好，如花卉中的萱草、耬斗菜、麦冬草、玉竹等。果树中的李、草莓等。中光型的蔬菜有黄瓜、甜椒、甘蓝类、白菜、萝卜等、光饱和点4万~5万lx。

光照强度主要影响园艺作物的光合作用强度，在肯定范围内(光饱和点以下)，光照越强、光合速率越高，产量也越高。温室蔬菜的产量与光照强度关系亲热，番茄每m² 承受 100 MJ 的产量为 2.01~2.65 kg / m²，降低光照 6.4%和 23.4%，其产量分别损失 7.5%和19.9%，黄瓜也有类似的状况。

温室栽培主要蔬菜种类的光补偿点、光饱和点及光合速率，可供环境调控参考。

单叶的光合作用特性，由于单叶光合作用特性对生产的实际指导意义不是很大，近来更 倾向于争论群体光合作用。群体光合速率(CPn)的计算，是以单位土地面积表示的。一般蔬菜作物群体光合作用光饱和点要大大高于单叶光合作用的光饱和点。由于作物群体是由很多个体组成的，其叶片分布在不同的层次中，上部叶截获了较多光辐射，而中下部叶相互遮阳，光辐射截获量少，这种现象在设施栽培中尤为突出。即使上部叶已到达光饱和点，但中下部 仍未达饱和，故群体光饱和点要高于单叶光饱和点。

光照强弱除对植物生长有影响外，对花色亦有影响，这对花卉设施栽培尤为重要。如紫红色的花是由于花青素的存在而形成的，而花青素必需在强光下才能产生，散射光下不易产生。因此，开花的赏识植物一般要求较强的光照。

(二)园艺作物对光照时数的要求 光照时数的长短影响蔬菜的生长发育，也就是通常所说的光周期现象。光周期是指1 d 中受光时间长短，受季节、天气、地理纬度等的影响。蔬菜对光周期的反响可分为 3 类：

1. 长光性蔬菜 在 12~14 h 以上较长的光照时数下，能促进开花的蔬菜，如多数绿叶菜、甘蓝类、豌豆、葱、蒜等，假设光照时数少于12~14 h，则不抽薹开花，这对设施栽培有利，由于绿叶菜类和葱蒜类的产品器官不是花或果实(豌豆除外)。

2. 短光性蔬菜 当光照时数少于 12~14 h 时能促进开花结实的蔬菜，为短光性蔬菜，如豇豆、茼蒿、扁豆、苋、蕹菜等。

3. 中光性蔬菜对光照时数要求不严格，适应范围宽，如黄瓜、番茄、辣椒、菜豆等。需要说明的是短光型蔬菜，对光照时数的要求不是关键，而关键在于黑暗时间长短，对发育

影响很大；而长光型蔬菜则相反，光照时数至关重要，黑暗时间不重要，甚至连续光照也不影响其开花结实。

光照时间的长短对花卉开花有影响，唐菖蒲是典型的长日照花卉，要求日照时数达 13~14 h 以上才能花芽分化；而一品红与菊花则相反，是典型的短日照花卉，光照时数<10~11 h 才能花芽分化。设施栽培可以利用此特性，通过调控光照时数到达调整开花期的目的。一些以块茎、鳞茎等贮藏器官进展休眠的花卉如水仙、仙客来、郁金香、小苍兰等，其贮藏器管的形成受光周期的诱导与调整。果树因生长周期长，对光照时数要求主要是年积存量，如杏要求年光照时数 2 500—3 000 h，樱桃 2 600~2 800 h，葡萄 2 700 h 以上，否则不能正常开花结实，说明光照时数对园艺作物花芽分化，即生殖生长(发育)影响较大。设施栽培光照时数缺乏往往成为限制因子，由于在高寒地区尽管光照强度能满足要求，但 1 d 内光照时间太短，不能满足要求，一些果菜类或观花的花卉假设不进展补光就难以栽培成功。

(三)光质及光分布对园艺作物的影响 一年四季中，光的组成由于气候的转变而有明显的变化。如紫外光的成分以夏季的阳光中最多，秋季次之，春季较少，冬季则最少。夏季阳光中紫外光的成分是冬季的 20 倍，而蓝紫光比冬季仅多 4 倍。因此，这种光质的变化可以影响到同一种植物不同生产季节的产量及品质。光质对作物产生的生理效应。

光质还会影响蔬菜的品质，紫外光与维生素 C 的合成有关，玻璃温室栽培的番茄、黄瓜等其果实维生素 C 的含量往往没有露地栽培的高，就是由于玻璃阻隔紫外光的透过率，塑料薄膜温室的紫外光透光率就比较高。光质对设施栽培的园艺作物的果实着色有影响，颜色一般较露地栽培色淡，如茄子为淡紫色。番茄、葡萄等也没有露地栽培风味好，味淡，口感不甜。例如，日光温室的葡萄、桃、塑料大棚的油桃等都比露地栽培的风味差，这与光质有亲热关系。

由于园艺设施内光分布不如露地均匀，使得作物生长发育不能整齐全都。同一种类品种、同一生育阶段的园艺作物长得不整齐，既影响产量、成熟期也不全都。弱光区的产品品质差，且商品合格率降低，种种不利影响最终导致经济效益降低，因此设施栽培必需通过各种措施，尽量减轻光分布不均匀的负面效应。

三、园艺设施光照环境的调整与掌握

(一)影响园艺设施光照环境的因素 园艺设施内的光照至今主要利用自然光，且利用率只有外界自然光照的 40%~60%。人们通常说的“自然光”即是阳光，它是太阳辐射能中可被眼睛感觉到的局部，是波长范围为 390~760 nm 的可见光局部。这一波段的能量，约占太阳辐射能总量的 50%。太阳辐射能还包括紫外线(波长范围 290~390 nm，占 1%~2%)和红外线(波长范围>760 nm，占 48%~49%)。除了可见光以外，紫外线和红外线对植物的生长发育都有重要的影响。因此用“太阳辐射能”一词来表征植物“光”环境，描述“光”对植物生长发育的影响最恰当。

表示太阳辐射能大小的物理量是辐射能通量密度，单位是 w / m^2 或 $kJ / (m^2 \cdot h)$ ，1 W

/ m²: 3. 60 kJ / (m² · h)。人们常把“辐射能通量密度”说成是“辐射强度”，其实两者概念不同，“强度”考虑了辐射能通量的方向，表示物体被照明程度的物理量是光照度或光照强度，单位是勒克斯(lx)或千勒克斯(klx)。

辐射能通量密度与光照强度之间的换算关系比较简单。依据加阿斯特拉的资料，对波长为400~700 nm的太阳光，换算系数为 250 lx / (w · m⁻²)。

光照度或光照强度，只表示可见光局部的能量，不包括紫外线和红外线局部的能量。从图 4—2 和图 4—3 中还可看出，绿色植物吸取的波长与人眼所感觉的波长范围并不完全全都。人眼感光灵敏的顶峰约在 550nm 处(黄绿光)，在此波特长，绿色植物的吸取率却比较低(对红光和蓝紫光最敏感)。所以，用勒克斯表示的光照强度，不如用 w / m² 或 kJ / (m² · h) 表示的辐射能通量密度更能客观地反映“光”对植物的作用。

园艺设施内的光照除受时时刻刻变化着的太阳位置和气象要素影响外，也受本身构造和治理技术的影响。其中光照时数主要受纬度、季节、天气状况和防寒保温等治理技术的影响；光质主要受透亮掩盖材料光学特性的影响，变化比较简洁；只有光照度及其分布是随着太阳位置的变化和受设施构造的影响不断地变化，状况比较简单。对保护设施内光照条件的要求是能够最大限度地透过光线、受光面积大和光线分布均匀。

1. 园艺设施的透光率(τ) 是指设施内的太阳辐射能或光照强度(I)与室外的太阳辐射能或自然光强(I_0)之比。

太阳光由直射光和散射光两局部组成，保护地的透光率，相应地区分为，对直射光的透光率(τ_z)和对散射光的透光率(τ_s)。于是园艺设施的透光率又可表示为(4. 2)：

$$\tau = \tau_z M + (1 - M) \tau_s \quad (4. 2)$$

式中：M 为自然光中直射光占的百分数。

(1) 散射光的透光率(τ_s) 在通常状况下， τ_s 取决于透亮掩盖材料种类、保护设施的结构、形式及掩盖物的污染状况。

对某种类型的设施， τ_s 可以由(4. 3)式打算：

$$\tau_s = \tau_{so} (1 - r_1) (1 - r_2) (1 - r_3) \quad (4. 3)$$

式中： τ_{so} 为干洁透亮掩盖材料对散射光的透光率，系掩盖材料为水平放置时测得的，当屋面倾斜角度较大时，应折减 2%~3%。 r_1 为设施构架、设备等不透光材料的遮光损失率。一般大型温室 r_1 在 5%以内，小型温室在 10%以内。 r_2 为掩盖材料因老化的透光损失。 r_3 为水滴和尘染的透光损失。一般水滴透光损失可达20%~30%，尘染可达 15%~20%。

太阳辐射中，散射辐射的比重与太阳高度和天空云量有关。太阳高度为0°时，散射辐射占 100%，20°时占 90%，50°时占 18%。散射辐射还随云量增多而增大，散射辐射是太阳辐射的重要组成成分，因此在设计园艺设施的构造时，要考虑如何充分利用散射光的问题。

(2)直射光的透光率(已) 主要与投射光的入射角有关。即与设施方位、屋面坡度和太阳高度有亲热关系。直射光的透过率由(4. 4)式打算：

$$\tau_z = \tau_a (r - r_1) (1 - r_2) (1 - r_3) \quad (4.4)$$

式中：“为干洁透亮掩盖材料，在入射角为 a 时的透光率。a 由太阳高度、温室方位和屋面坡度打算。

1. 掩盖材料的透光特性投射到保护设施掩盖物上的太阳辐射能，一局部被掩盖材料吸取，一局部被反射，另一局部透过掩盖材料射入设施内。这三局部有如下关系：

$$\text{吸取率} + \text{反射率} + \text{透射率} = 1 \quad (4.5)$$

干净玻璃或塑料薄膜的吸取率为 10%左右，剩余的就是反射率和透射率。反射率越小透射率就越大。掩盖材料对直射光的透光率与光线的入射角有关，入射角越小，透光率越大。入射角为 0 时，光线垂直投射于掩盖物上，此时反射率为0，透光率最大。玻璃与聚氯乙烯薄膜的透光率与入射角之间的关系。由图可见，玻璃与塑料薄膜的透光性质大致一样。透光率随着入射角的增大而减小。不过透光率与入射角的关系并不成简洁的线性关系，当入射角为 0° 时，玻璃和聚氯乙烯薄膜的透光率到达90%。入射角为 40° 或 45°，透光率明显减小，大于 60° 透光率急剧减小。入射角达 85° 时，透光率减小一半。透光率与入射角之间的关系也因材料而异，例如毛玻璃和纤维玻璃，随着阳光入射角的增大，透光率几乎成直线快速下降。此外，波状纤维玻璃，由于能对阳光进展屡次反射，而且能在某一方向上，使阳光入射角减小，因而透光性能比玻璃好。

2. 污染和老化对透亮掩盖材料透光性的影响 保护设施掩盖材料的内外外表常常被灰尘、烟粒污染，玻璃和塑料薄膜内外表常常附着一层水滴或水膜，使设施内光强度大为减弱，光质也有所转变。灰尘主要减弱 900~1 000 nm 和 1 100nm 的红外线局部。两者共同影响，使塑料棚内的光照强度仅为露地的 50%左右。此外，水膜的消光作用与水膜的厚度有关，当水膜厚度不超过 0. 1~1. 0 mm 时，水膜对薄膜的透光性影响很小。

掩盖材料老化也会使透光率减小，老化的消光作用主要在紫外线局部，掩盖材料不同，老化的程度也不同。

3. 园艺设施构造与透光率的关系 园艺设施构造包括建筑方位、构造外形(如屋面坡度、单栋或连栋等)，宽度(跨度)、高度和长度等。

(1)建筑方位 目前我国蔬菜温室，大都属于单屋面温室(如日光温室)，这类温室仅向阳面受光，两山墙和北后墙为土墙或砖墙，是不透光局部。明显，这类温室的方位应东西延长，坐北朝南，以到达充分采光，严密防寒保温的目的。

近年来连栋温室又有所进展，特别是塑料棚进展快速，对于这类园艺设施也应考虑它的建筑方位。

A. 单栋温室或塑料棚：冬至时北纬 45° 和 35° 处单栋和连栋温室内，直射光日总量床面平均透光率与建筑方位之间的关系。“冬至”节时东西延长单栋温室透光率优于南北

方位。栋越长，温室越低矮，纬度越高，差异越明显。北纬 $35^{\circ}41'$ 处，东西延长温室和南北延长温室直射光日总量床面平均透光率的季节变化。由图可知：3 月 10 日以前东西延长单栋温室的透光率优于南北延长的，3 月 10 日以后则相反。由上可知，就单栋温室而言，冬季直射光床面平均透光率以东西延长的比南北延长的好，纬度越高这种效应越明显。一般来说，东西延长的比南北延长的透光率可高出 $5\% \sim 20\%$ (平均约高出 10%)。

中高纬度地区的冬季，太阳从东南方出、西南方落，早晨或黄昏，太阳高度低，阳光微弱，此时南北延长的设施内进光量虽可能优于东西延长的，但是由于阳光对两种方位都是斜射的，入射角差异小，因而进光量差异不大。到了正午前后， $10 \sim 14$ 时，太阳高度变高，是 1 d 中阳光最强的时间，此时东西延长保护设施的主要受光面正对阳光，入射角最小，进光量最多。

设施内骨架建材遮光面积与阳光入射角相关，入射角越小建材遮光面积越小，当入射角为 0 时，建材遮光面积等于建材本身的宽度，入射角增大时，建材遮光面积 (Z) 除宽度 (G) 外，要加上厚度 (P) 的阴影。如在太阳高度角为 26° 时，厚度的阴影是： $P \times \tan(90 - 26^{\circ}) = 2P$ 约为厚度本身 2 倍。中午前后，南北延长的设施因两侧墙部位入射角大，建材遮光面积也增大 (达 $20\% \sim 30\%$)。纬度越高，太阳高度越低，建材的遮光面积越大，东西延长比南北延长的保护设施有优越性，这种优越性的南限大致在北纬 35° 左右。

水平构造材料较少的大棚或温室，直射光日总量透光率在床面上的分布，东西延长的较南北延长的均匀。水平构造材料较多的直射光日总量在床面上的分布，东西延长的不如南北延长的均匀，床面中心北侧有假设干条弱光带，透光率最大的和最小的差值可能超过 40% 。冬季，高纬地区太阳高度低，且日变幅小，因而使东西向水平构造材料造成的阴影在 1 d 之内南北移动不大，使床面上消灭一些弱光带。垂直构造的材料和南北方向水平构造材料，所造成的阴影随着太阳方位的变化左右移动的幅度大，对透光率在床面上分布的均匀性影响较小。

夏季，由于太阳赤纬点位置北移，中高纬度地区，太阳东北方出，西北方落，且午前或午后太阳高度均较高，因此午前或午后，南北延长的保护设施东或西两进光面正对阳光，进光量多；东西延长的设施南北两进光面，斜对阳光，进光最少。正午前后，太阳高度角变高，东西延长的保护地南侧面虽正对阳光，但此时因太阳高度较高，所以两种方位进光量差异不大。由于南北延长的设施，其透光面朝向东，1 d 内光照分布比较均匀，设施内不会产生死阴影。

综上所述，对单栋的温室、塑料棚而言，如是单屋面的，则应以东西延长、坐北朝南为优。如是双屋面的，以冬季生产为主时，东西延长的比南北延长的光强。而且可能通过调整屋面坡度、削减水平构架材料、削减床面上的弱光带，抑制床面光照分布不均匀的缺点。如以春、秋栽培为主或全年栽培时，则应以南北延长为优。

B. 连栋温室：冬至时东西延长的连栋温室透光率优于南北延长的。栋越长，连栋数越

少，纬度越高，差异越明显。但由图 4—6 又可看出：对于北纬 $35^{\circ} \sim 36^{\circ}$ 的地区，2 月底 3 月初以前，东西延长的连栋温室直射光日总量床面平均透光率比南北延长的高 $5\% \sim 25\%$ （平均约高 7%），春季两者的差异小于 5%，夏季则南北延长的比东西延长的高 5% 左右。

北纬 34.5° 冬至日 4 连栋温室、东西栋和南北栋温室地面直射光日总量透过率在跨度方向上的分布状况。东西栋的平均透光率比南北栋高，但分布不均匀。南北栋的平均透光率虽然比东西栋的低，但是各栋的透光率分布几乎是均匀的。

东西延长和南北延长的连栋温室在冬、春、夏三个季节中，室内直射光日总量相对值的空间分布有很大差异。东西延长的温室中，冬至和春分时由于天沟及向南屋面造成的阴影 弱光带格外明显，直射光日总量的差值在冬至可达 30% ，春分达 10% 。南北延长的温室中，直射光日总量在冬至时不及东西延长的，但分布均匀。到了春分，南北延长的温室，仅在东 西侧墙和天沟以下栽培床上方直射光稍弱外，整个温室内直射光日总量透光率达 $85\% \sim 90\%$ ，比东西延长的优越得多。到了夏至，两种方位的温室直射光日总量在室内的分布都比较均匀，透光率差异不大。

(2) 屋面坡度(屋面倾斜角)

A. 单栋温室：劳伦斯(Lowrence)争论过单栋温室玻璃屋面倾斜角与室内光强的关系。

在肯定范围内，温室屋面的倾斜角越大，温室的透光率越高，而且因季节而异。坐北朝南的温室，屋面倾斜角对透光率的影响更突出。因此，对于我国传统的单屋面温室而言，为了增大其透光率，选择合理的屋面倾角是格外重要的。

保护设施内光照强度与太阳的位置和屋面的角度有关系。太阳的位置是用太阳高度(H)和方位角(A)来表示，太阳高度是用太阳的直射光线与地平面交成的角度表示，方位是用太阳直射光线在地平面上与该地子午线的夹角。正午时太阳高度 (H_0) 可由下式求得：

$$H_0 = 90^{\circ} - \varphi + \delta \quad (4.6)$$

式中： φ 为纬度(北纬为正)， δ 为赤纬，是太阳直射点的纬度，随季节而异。

阳光的入射角(i)与太阳高度角(H)之间有如下关系：

$$i = 90^{\circ} - H \quad (4.7)$$

对于倾斜角为 α ，向南的透亮屋面，正午时太阳高度角 H'_0 可由(4.8)式求得。

$$H'_0 = 90^{\circ} - \varphi + \delta + \alpha \quad (4.8)$$

假设 H'_0 、 φ 和 δ 均为时，即可求出透亮屋面的倾角 α 。

假设只从保护设施内的直射光强考虑，最好的屋面坡度 α 应是， $I=0$ ， $H'_0 = 90^{\circ}$ ，于是：

$$\alpha = \varphi - \delta \quad (4.9)$$

这样假设在北京(纬度为 $39^{\circ} 54' N$)冬至节时屋面坡度应是：

$$\alpha = 39^{\circ} 54' - (-23^{\circ} 27') = 63^{\circ} 21'$$

但实际上这是不行能的，也是不科学的。在我国北方高纬度地区修建冬季生产用温室，

假设按这个理论计算，会产生后墙要修建得很高大、造价高、栽培床面积小、遮荫面积大和保温性能差等缺点。前面已指出透光率与入射角的关系并不呈单调线性关系，当 $i=0—45^{\circ}$ 时，直射光透光率变化不大。所以，只要温室屋面与阳光入射角不超过 45° ，温室内光照不会有显著减弱。对于单屋面温室还应考虑地窗角度，冬季太阳高度低，为使光线尽量多从地窗进入温室，应将地窗适当加高，向南屋面与地面交角也应加大($>50\sim 55^{\circ}$)。

A. 连栋温室：日本古在丰树争论了连栋温室屋面倾角与直射光透光率的关系，明确以下结果：南北延长连栋温室的屋面倾斜角对直射光日总量透光率影响不大，东西延长的连栋温室的屋面倾斜角对直射光日总量的透光率有影响。在东京地区(北纬 $35^{\circ}41'$)冬至日，屋面倾角为 30° 时，最大直射光透光率为 61% ， 35° 时为 53% ，前者比后者大 8% 。在二月上旬，屋面倾角为 35° 时，最大直射光透光率为 63% ， 30° 时为 60% ，两者差异不大。现在国际标准规定，连栋温室屋面倾角为 26.5° 。东西栋与南北栋的直射光透过率，纬度越高差异越大，越近冬至差异越显著。

(3) 构造外形 冬季双屋面单栋温室直射光日总量透光率比连栋温室高，夏季则相反。例如北纬 35° 地区，冬至节东西延长单栋温室直射光日总量透光率到达 67% ，连栋温室则为 58% ，到四月中旬，东西延长单栋温室的透光率下降到 60% ，而连栋温室则上升到 62% 。南北延长的温室，冬季单栋温室直射光透光率比南北延长的连栋温室高出百分之几。3月初以后，连栋的透光率比单栋的高。

我国北方传统的一面坡温室或半拱圆温室，东西北三面不透光，虽有一局部反光，也是越靠南光线越强，等光强线与南面透亮屋面平行。

对拱圆形屋面的塑料棚，直射光的透光率与入射角的大小和距屋面距离有关。对南北延长拱圆形屋面，当光线从棚顶上方直射时，顶部直射角最小，光线最强，大两侧入射角变大，光照减弱，等光强面几乎与地面平行，而不是与拱面平行，在栽培作物上部光线分布较均匀。实际上，太阳不是从顶上，而是从南边斜射进来的。入射角虽然有几十度，但内部光线还是比较均匀的。东西延长温室的屋面为拱形时，也是中部光照最强。

阴天或使用半透亮薄膜时，散射光从天空各方面射来，对拱圆形屋面各点都是垂直入射的，等光强面应与拱圆形屋面平行，但由于地面四周的散射光弱，一般只有天顶四周的 $1/3$ 左右，所以两侧光线很弱，等光面呈图4—11(2)中虚线所示的外形。

在实际生产上除阴天外，散射光和直射光同时进入保护地内，但由于薄膜外表被污染，内部又受水滴的影响使薄膜变成半透亮状态，不仅影响了透光率，而且由于水滴的反射集中，使屋内散射光增多，所以离屋面越远或离半圆形拱棚中心越近光照越弱。

(4) 相邻温室或塑料棚的间距为了保证相邻的单屋面温室内有充分的日照，不致被南面的温室遮光，相邻温室间必需保持肯定距离。相邻温室之间的距离大小，主要应考虑温室的脊高加上草帘卷起来的高度，相邻间距应不小于上述两者高度的 $2\sim 2.5$ 倍，应保证在太阳高度最低的冬至节前后，温室内也有充分的光照。南北延长温室，相邻间距要求为脊高的1

倍左右。

(二)园艺设施光照环境的调整与掌握 园艺设施内对光照条件的要求：一是光照充分；二是光照分布均匀。从我国目前的国情动身，主要还依靠增加或减弱园艺设施内的自然光照，适当进展补光，而兴旺国家补光已成为重要手段。

1. 改进园艺设施构造提高透光率

(1)选择好适宜的建筑场地及合理建筑方位确定的原则是依据设施生产的季节，当地的自然环境，如地理纬度、海拔高度、主要风向、周边环境(有否建筑物、有否水面、地面平坦与否等)。

(2)设计合理的屋面坡度单屋面温室主要设计好后屋面仰角，前屋面与地面交角，后坡长度，既保证透光率高也兼顾保温好。连接屋面温室屋面角要保证尽量多进光，还要防风、防雨(雪)使排雨(雪)水顺畅。

(3)合理的透亮屋面外形，从生产实践证明，拱圆形屋面采光效果好。

(4)骨架材料在保证温室构造强度的前提下尽量用细材，以削减骨架遮荫，梁柱等材料也应尽可能少用，假设是钢材骨架，可取消立柱，对改善光环境很有利。

(5)选用透光率高且透光保持率高的透亮掩盖材料，我国以塑料薄膜为主，应选用防雾滴且持效期长、耐候性强、耐老化性强等优质多功能薄膜，漫反射节能膜、防尘膜、光转换膜。大型连栋温室，有条件的可选用PC 板材。

2. 改进治理措施

(1)保持透亮屋面干洁 使塑料薄膜屋面的外外表少染尘，常常清扫以增加透光，内外表应通过放风等措施削减结露(水珠分散)，防止光的折射，提高透光率。

(2)在保温前提下，尽可能早揭晚盖外保温顺内保温掩盖物，增加光照时间。在阴天或雪天，也应揭开不透亮的掩盖物，时间越长越好，(同样也要在防寒保温的前提下)，以增加散射光的透光率。双层膜温室，可将内层改为白天能拉开的活动膜，以利光照。

(3)合理密植，合理安排种植行向 目的是为削减作物间的遮荫，密度不行过大，否则作物在设施内会因高温、弱光发生徒长，作物行向以南北行向较好，没有死阴影。假设是东西行向，则行距要加大，单屋面温室的栽培床高度要南低北高、防止前后遮荫。

(4)加强植株治理黄瓜、番茄等高秧作物准时整枝打杈，准时吊蔓或插架。进入盛产期时还应准时将下部老化的或过多的叶片摘除，以防止上下叶片相互遮荫。

(5)选用耐弱光品种。

(6)地膜掩盖，有利地面反光以增加植株下层光照。

(7)利用反光，在单屋面温室北墙张挂反光幕(板)，可使反光幕前光照增加40%~44%，有效范围达 3 m(表 4—6)。

(8)承受有色薄膜，目的在于人为地制造某种光质，以满足某种作物或某个发育时期对该光质的需要，获得高产、优质。但有色掩盖材料其透光率偏低，只有在光照充分的前提下

转变光质才能收到较好的效果。

1. 遮光遮光主要有两个目的：一是减弱保护地内的光照强度；二是降低保护地内的温度。

保护地遮光 20%~40%能使室内温度下降 2~4℃。初夏中午前后，光照过强，温度过高，超过作物光饱和点，对生育有影响时应进展遮光；在育苗过程中移栽后为了促进缓苗，通常也需要进展遮光。遮光材料要求有肯定的透光率，较高的反射率和较低的吸取率。遮光方法有如下几种：①掩盖各种遮荫物，如遮阳网、无纺布、苇帘、竹帘等；②玻璃面涂白；可遮光 50%~55%，降低室温 3.5~5.0℃；⑧屋面流水，可遮光 25%，遮光对夏季炎热地区的蔬菜栽培，以及花卉栽培尤为重要。

2. 人工补光 人工补光的有二：一是人工补充光照，用以满足作物光周期的需要，当黑夜过长而影响作物生育时，应进展补充光照。另外，为了抑制或促进花芽分化，调整开花期，也需要补充光照。这种补充光照要求的光照强度较低，称为低强度补光。

另一目的是作为光合作用的能源，补充自然光的缺乏。据争论，当温室内床面上光照日总量小于 100 w / m。时，或光照时数缺乏 4.5 h / d 时，就应进展人工补光。因此，在北方冬季很需要这种补光，但这种补光要求光照强度大，为1~3 klx，所以本钱较高，国内生产上很少承受，主要用于育种、引种、育苗。

人工补光的光源是电光源。对电光源有 3 点要求：①要求有肯定的强度(使床面上光强在光补偿点以上和饱和点以下)；②要求光照强度具有肯定的可调性；③要求有肯定的光谱能量分布，可以模拟自然光照，要求具有太阳光的连续光谱，也可承受类似作物生理辐射的光谱。

目前生产上补光使用灯管种类和各单位间换算系数。

其次节 温度环境及其调整掌握

温度是影响园艺植物生长发育的最重要的环境因子，它影响着植物体内一切生理变化，是植物生命活动最根本的要素。与其他环境因子比较，温度是设施栽培中相对简洁调整掌握的环境因子。

一、园艺设施的温度环境对作物生育的影响

(一)温度三基点不同作物都有各自温度要求的“三基点”，即最低温度、最适温度和最高温度。园艺植物对三基点的要求一般与其原产地关系亲热，原产于温带的，生长基点温度较低，一般在 10℃左右开头生长；起源于亚热带的在 15~16℃时开头生长；起源于热带的要求温度更高。因此，依据对温度的要求不同，园艺作物可分为耐寒性、半耐寒性和不耐寒性 3 类。

1 耐寒性作物 抗寒力强，生育适温 15~20℃。这类植物的二年生种类一般不耐高温，炎夏到来时生长不良或提前完成生殖生长阶段而枯死。多年生种类或地上部枯死，宿根越冬，或以植物体越冬。这类园艺作物一般利用比较简易的保护设施如风障、阳畦、小拱棚等即可

越冬栽培。如三色堇、金鱼草、蜀葵、韭菜、菠菜、大葱、葡萄、桃、李等。

1 半耐寒性作物 这类作物其耐寒力介于耐寒性与不耐寒性作物之间，可以抗霜，但不耐长期 0°C 以下的低温。一般在长江以南可露地越冬或露地生长，在北方需进展设施栽培。如紫罗兰、金盏菊、萝卜、芹菜、白菜类、甘蓝类、莴苣、豌豆和蚕豆等。这类植物其同化作用的最适温度为 $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ ；超过 25°C 则生长不良，同化机能减弱；超过 30°C 时，几乎不能积存同化产物。

2 不耐寒作物 在生长期要求较高的温度，不能忍受 0°C 以下的温度，一般在无霜期内生长，多为一年生植物或多年生温室植物。其中喜温植物如报春花、瓜叶菊、茶花、黄瓜、番茄、茄子和菜豆等，它们的生长适温为 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，当温度超过 40°C 时几乎停顿生长，而当温度 $<15^{\circ}\text{C}$ 时，生长不良或授粉、受精不好。所以，这类植物在北方以春播或秋播为主，避开炎热的夏季和严寒的冬季。耐热植物最低温度到 10°C 时就会生长不良，如冬瓜、丝瓜、甜瓜、豇豆和刀豆等。它们在 30°C 时生长最好， 40°C 高温下仍能正常生长。喜温不耐寒的园艺作物，冬季生产只能在温室内进展，在高寒地区，还需进展补充加温，以保证其对温度的要求。

设施栽培应依据不同园艺作物对温度三基点的要求，尽可能使温度环境处在其生育适温内，即适温持续时间越长，生长发育越好，有利优质、高产。露地栽培适温持续时间受季节和天气状况的影响，设施栽培则可以人为调控。

(二)花芽分化与温度 各种园艺植物花芽分化的最适温度不同，但总的来说，花芽分化的最适温度比茎叶生长的最适温度高。很多越冬性植物和多年生木本植物，冬季低温是必需的，满足必需的低温才能完成花芽分化和开花。这在果树设施栽培中很重要，在以提早成熟为目的时，如何打破休眠，是果树设施栽培的首要问题，这就需要把握不同果树解除休眠的低温需求量。

(三)温度与园艺作物光合作用、蒸腾作用、呼吸作用、同化产物的运输等都有亲热关系 设施栽培是反季节栽培，因而简洁患病不利温度环境的影响。如日光温室冬季遇连阴(雪)天时，长时间的低温、弱光逆境对作物生长不利，白天影响其光合产物的合成，夜间影响其同化产物的运输，根系吸取机能降低。园艺植物受到 0°C 以上低温易产生寒害，设施栽培比较简洁发生。当气温下降到 0°C 以下，会产生冻害，设施栽培一般状况下不易消灭，但塑料大棚早熟栽培，遇寒流时也会发生。设施栽培还会产生高温危害，而露地栽培则很少发生。晴天时间照强，棚室内温度急剧上升，假设放风不准时或通风量太小，棚温高达 40°C 以上，使作物叶片温度过高，光合作用被抑制，一些生理代谢活动变为不行逆。呼吸强度增加(夜高温尤为突出)，甚至超过光合强度，园艺植物就会发生各种问题，如花芽分化受阻，落花落果、畸形果等。因此，在设施栽培时冬春严寒季节要严防低温危害，春夏温和季节要严防高温危害。

(四)温度与园艺作物生长阶段 幼小的植株对温度的需求与长成的植株对温度的需求

是不同的。植株生长前期叶面积小，土地利用率低，有很多光照投射到地面而未被植株利用。幼小植株没有截获全部有效光，而假设能够截获更多光能，则其生长可加快。图 4—13 显示了叶面积指数(LAI)对群体光合作用(PGC)的影响。可以看出LAI，越大，群体光合作用也越强。因此，如何赐予较高温度快速提高 LA，，是设施栽培作物生长前期重要的治理措施，由于园艺设施内的光能是格外贵重的。而对于长成的植株来说，已经到达最适 LAI，可截获几乎全部有效光，再增加叶面积对植株生长的奉献不大，则应掌握一个相对较低的温度，以平衡养分生长和生殖生长。

(五)地温 即土壤温度，也对园艺作物生育有重大影响，由于地温的凹凸，直接影响园艺作物根系吸取矿质养分和水分。地温还影响土壤微生物的活动，土壤微生物活泼与否，影响有机肥的分解及肥料的转化，间接影响园艺作物的生长。地温过低时，如蔬菜根系的根毛不能发生，而这是根系吸取水分、养分最活泼的局部。在春季大棚早熟栽培定植过早时，即使气温到达要求，地温不够也影响缓苗，一般最低地温要求 10~12℃ 以上，才能保证喜温园艺作物根系正常生长。

二、园艺设施的温度状况及特点

(一)园艺设施内温度的形成 园艺设施内热量的来源主要是太阳辐射，除加温温室外，全部保护设施白天都依靠太阳辐射而增温。即使是加温温室，一般也主要在夜间或阴(雪)天太阳辐射热量缺乏时进展补充加温。白天太阳光线(波长 300~3 000 nm)通过玻璃、薄膜等透亮掩盖物入射到地外表上，使地面获得太阳辐射热量，通过传导渐渐提高土壤温度。当气温低于地温时，地面也释放热量(即通过辐射、传导或对流、乱流等)提高地外表之上的气温。另外，由于玻璃或薄膜能阻挡局部长波辐射，使热能留在保护设施内，提高气温。这种透亮掩盖物的增温作用，被称为“温室效应”。温室效应表示在没有人工加温的条件下，园艺设施内获得或积存太阳辐射能，从而使保护设施内的气温高于外界气温的一种力量。

温室效应是由两个缘由引起的，一个缘由是玻璃或塑料薄膜等透亮掩盖物，可让短波辐射(320~470 nm)透射进园艺设施内，又能阻挡设施内长波辐射透射出去而失散于大气之中；另一缘由是保护设施为半封闭空间，内外空气交换弱，从而使蓄积热量不易损失。依据荷兰布辛格的资料，第一个缘由对温室效应的奉献为28%；其次个缘由为 72%。所以，设施内白天温度高的缘由，除了与掩盖物的保温作用有关系外，还与被加热的空气不易被风吹走有关系。温室效应与太阳辐射能的强弱、保温比和掩盖材料有关，还与园艺设施的方位有关。

(二)园艺设施内的日温差 园艺设施内的日温差是指 1 d 内最高温度与最低温度之差。其最高温与最低温的消灭时间大致与露地相像，最高温消灭在午后(14 时)，最低温度消灭在日出前，所不同处就是设施内的日温差要比露地大得多。容积小的设施如小拱棚尤其显著，例如，当外界气温为 10℃，大棚内的日温差约为 30℃，而小拱棚的日温差可达 40℃左右。加温温室由于可以补充加温，温差较小，晴天10~15℃，日光温室 15~27℃，适宜的日温差对园艺作物生育是有利的。园艺设施日温差的形成，是由于白天设施内的空气和地面受太

阳辐射而温度渐渐上升，到 13 时左右到达最高点，之后随着太阳辐射量的渐渐削减，气温渐渐下降。夜间，当气温低于地温时，土壤中贮存的热则向空间释放，并在夜间通过掩盖物以 $3\ 000\sim 30\ 000\ \text{nm}$ 的长波(红外)辐射向四周放热，直至日出前。所以，设施内的温度在日出前最低，日出后因太阳辐射温度渐渐提高，从而形成了保护设施内的日温差。

园艺设施内还会产生“逆温”现象，一般消灭在阴天后、有微风、晴朗的夜间。在有风的晴天夜间，温室大棚外表辐射散热很强，有时棚室内气温反比外界气温还低，这种现象叫做“逆温”。其缘由是白天被加热了的地外表和作物体，在夜间通过掩盖物向外辐射放热，而晴朗无云有微风的夜晚放热更猛烈。另外，在微风作用下，室外空气可以从大气逆辐射补充热量，而温室大棚由于掩盖物的阻挡，室内空气却得不到这局部补充热量，造成室温比外温还低。10 月份至翌年 3 月份简洁发生逆温，逆温一般消灭在凌晨，日出后棚室快速升温，逆温消退。有试验争论说明，逆温消灭时，设施内的地温仍比外界高，所以作物不会马上发生冻害，但逆温时间长了，或温度过低就会出问题。影响日温差的主要因素有：

1. 保温比 设施内的土壤面积 S ，与掩盖及维护构造外表积 W 之比，即 $S/W=\beta$ (保温比)，最大值为 1.0。保温比越小，说明掩盖物及维护构造的外表积越大，增加了同室外空气的热交换面积，降低了保温力量。一般单栋温室的保温比为 $0.5\sim 0.6$ ，连栋温室为 $0.7\sim 0.8$ 。

保温比越小，保护设施的容积也越小，相对掩盖面积大，所以白天吸热面积大，简洁升温；夜间散热面也大简洁降温，所以日温差也大。例如，在棚外气温为 10°C 时，大棚的日温差约为 30°C ，小棚却能达 40°C 。在密闭状况下，小拱棚春天最高温度能达 50°C ，大棚可达 40°C 。

在设施栽培中，保持肯定的日温差是重要的温度条件之一。在不加温的状况下，日温差是由太阳的辐射热和设施的保温性(即辐射收支差额)打算的。太阳辐射热随太阳高度、纬度和天气等条件不断地变化着，假设这些条件不变，即在肯定纬度和季节里，园艺设施的日温差主要与其构造及保温性所打算。

2. 掩盖材料 掩盖材料不同，设施内的日温差也不同。如聚乙烯透过太阳辐射力量优于聚氯乙烯，白天易增温，但聚乙烯透过红外线的力量也比聚氯乙烯强，故夜间易降温。所以，聚乙烯保温性能较差，棚内日温差大。聚氯乙烯增温性能虽不如聚乙烯，但保温性能好，故日温差小。

(三)园艺设施的热收支状况 园艺设施是一个半封闭系统，这个系统不断地与外界进展着能量与物质的交换。设进入温室的热量为 Q_{in} ，传出的热量为 Q_{ou} 依据能量守恒原理，蓄积于温室系统内的热量 $\Delta Q = Q_{\text{in}} - Q_{\text{ou}}$ 。当 $Q_{\text{in}} > Q_{\text{ou}}$ 温室因得热而升温。但依据传热学理论，系统吸取或释放热量的多少与其本身的温度有关，温度高则吸热少而放热多。所以，当系统因吸热而增温后，系统本身得热渐渐削减，而失热渐渐增大，促使 Q_{in} 与 Q_{ou} 向着相反方向转化，直至 $Q_{\text{in}} = Q_{\text{ou}}$ 。温室或其他保护设施，便是通过上述方式调整自身温度，从而

维持系统与外界环境的热平衡。由于系统本身与外界环境的热状况不断发生变化，因此，这种平衡是一种动态平衡。

依据上述热量平衡原理，只要增大传入的热量或削减传出的热量，就能使保护系统内维持较高的温度水平；反之，便会消灭较低的温度水平。因此，对不同地区、不同季节以及不同用途的保护设施，可实行不同的措施，或保温或加温，或降温以调整掌握设施内的温度。

1. 园艺设施的热量平衡方程：

$$q_t + q_g = q_f + q_l + q_c + q_v + q_s \quad (4.10)$$

方程(4.10)和图 4—14 仅是一种粗略的近似，无视了室内灯具的加热量，作物生理活动的加热或耗热，掩盖物、空气和构架材料的热容等。图4-15 表示了日光温室 1 d 内的热收支状况，其中没有 q_g (人工加热)一项，热量只来自太阳辐射入射局部。

2. 园艺设施的热支出(放热) 园艺设施内存在着热量的传导、辐射和对流。作为一个整体系统，各种传热方式往往是同时发生的，彼此常常是连贯的，是某种放热过程的不同阶段，形成热贯流。

(1)贯流放热(Q_t)，把透过掩盖材料或围护构造的热量叫做设施外表的贯流传热尾。这种贯流传热量是几种传热方式同时发生的，它的传热主要分为 3 个过程：首先保护设施的内外表 A，吸取了从其他方面来的辐射热和从空气中来的对流热，在掩盖物内外表 A 与外外表 B 之间形成温差，从而以传导方式，将上述 A 面的热量传至 B 面，最终在保护设施外外表 B，又以对流辐射方式将热量传至外界空气之中。

贯流传热量的表达式如下：

$$Q_t = A_w h_t (t_r - t_0) \quad (4.11)$$

式中： Q_t 为贯流传热量，kJ / h； A_w 为保护设施外表积， m^2 ； h_t 为热贯流率，kJ / ($m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)； t_r ， t_0 分别为保护设施内、外气温。

热贯流率的表达式为：

$$h_t = \frac{1}{\frac{1}{a_r + h_r} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{a_{r0} + h_{r0}}} \quad (4.12)$$

式中： a_r ， a_{r0} ； h_r ， h_{r0} 加分别为保护设施内外的对流传热率和辐射传热率。

热贯流 Q 就是由室内外温差引起的由室内流到室外的全部热量。

假设干物质的热贯流率。热贯流率的大小，除了与物质的导热率 λ 、对流传热率和辐射传热率有关外，还受室外风速大小的影响。风能吹散掩盖物外外表的空气层，带走热空气，使设施内的热量不断向外贯流。风速1 m / h，热贯流率为 33.47 kJ / ($m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)，风速 7 m / h，大约 100.42 kJ / ($m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)，增加了 3 倍。一般贯流放热在无风状况下是辐射放热的 1 / 10，风速增加到 7 m / h 就为 1 / 3，所以保护设施外围的防风设备对保温很重要的。

(2)通风换气放热(Q_v) 保护设施内自然通风或强制通风，建筑材料的裂缝、掩盖物破损、门、窗缝隙等，都会导致保护设施内的热量流失。通风换气失热量，包括显热失热和潜热失

热两局部。显热失热量的表达式如下：

$$Q_v = R \cdot V \cdot F (t_r - t_0) \quad (4.13)$$

式中： Q_v 为整个保护设施单位时间的换气失热量； R 为每小时换气次数(见表 4—11)； F 为空气比热， $F=1.30 \text{ kJ} / (\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ； V 为保护设施的体积(m^3)。

换气失热量与换气次数有关。因此缝隙大小不同，其传热量差异很大。温室、塑料棚密闭不通风时，仅因构造不严，引起的每小时换气次数。

此外，换气传热量还与室外风速有关，风速增大时换气失热量增大。因此，应尽量削减缝隙，留意防风。由于通风时必有一局部水汽自室内流向室外，所以通风换气时除有显热失热以外，还有潜热失热。通常在实际计算时，往往将潜热失热无视。一般保护设施不通风时仅因构造不严，由间隙逸出的热量，为辐射放热的1/5~1/10。

通风换气传热量的计算 换气传热量，也称冷风渗透耗热量，可以用设施屋面外表积与室内、外气温差及漏风传热系数之积粗略估算。漏风传热系数对玻璃屋面可取值 $0.35 \sim 0.58$ ，对塑料棚面可取 $0.23 \sim 0.47$ ，单位是 $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

另外，也可按门窗缝隙长度具体估算，即：

$$Q_v = 0.24 L I r (t_n - t_w) C \quad (4.14)$$

式中： L 为经过每米缝隙每小时渗入室内的空气量 $\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m})$ (表 4—12)； I 为全部可开启的门窗漏风的缝隙总长度 / m ； r 为空气的容重 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ，对 0°C 冷空气可取值 1.29 ； t_n ， t_w 分别为室内外气温； C 为门窗朝向冷风渗入量修正系数(表 4—13)。

(1) 土壤传导失热(Q_s) 土壤传导失热包括土壤上下层之间垂直方向上的传热和土壤水平方向的横向传热。但无论是垂直方向上上下土层之间的传热还是在水平方向上横向传热，都比较简单。垂直方向上的传导失热，可以用土壤传热方程表示。即

$$Q_s = -\lambda \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (4.15)$$

式中： $\frac{\partial T}{\partial Z}$ 表示某一时刻土壤温度的垂点变化。其中 T 表示土壤温度， Z 表示土壤深度， a 为微分符号。 λ 是土壤的导热率。除与土壤质地、成分等有关外，还与土壤湿度有关，随土壤湿度增大而增大。土壤中垂直方向的热传导仅发生在肯定的层次，在 $40 \sim 45 \text{ cm}$ 深处，温室内土壤温度变化已很小，所以可以认为该深度以下热传导量很小。

土壤在水平方向上的横向传热，是园艺设施的一个特别问题。在露地由于面积很大，土壤温度的水平差异小，不存在横向传热。设施内则不然，南予室内外土壤温差大，横向传热便不行无视。荷兰布辛格(J. A. Businger)认为，土壤横向传热占温室总失热的5%~10%。

地中传热量的计算：地中传热量，一般是白天室内热空气向土壤贮热，夜间则由土壤向空气散热，即地瞬传热量为负值。当温室夜间加温而气温高于地温时，仍由室内空气传热给土壤。地面传热量的大小还与距外墙距离有关，距外墙越远，传热量相对减小。地中传热量的

计算较简单，一般可承受地面热流率估算值乘上地面面积求出。地面热流率是指每 m^2 、每小时经地面传入土壤(正值)或传出土壤(负值)的热量。

综上所述，园艺设施总的放热量(Q)，是围护构造放热量(Q_t)，即贯流放热，通风换气放热量(Q_u)和土壤传导放热量(Q_s)3 局部之和，即： $Q = Q_t + Q_u + Q_{so}$ 在强风地区， Q 值还应增加 5%~10 %。

(四)园艺设施内的温度分布 园艺设施内气温的分布是不均匀的，不管在垂直方向还是在水平方向都存在着温差。边行地带，在严寒的早春或冬季，该处的气温顺地温比内部低很多。据长春蔬菜所的调查，离大棚两侧 1.5 m，北面 2.4 m、南侧 3.3 m 的地方，5 月份黄瓜单株产量仅为 0.5 kg 左右，而内部为 1.2~1.5kg。保护设施面积越小，边行低温地带占的比例越大，温度分布越不均匀。例如宽 15 m、长 50 m 的大棚，低温地带占 30 %，如将其加宽一倍，则低温影响带约占 20%。如何抑制保护设施内温度分布不均匀的问题，是治理技术上的重要问题。

温室大棚内温度空间分布比较简单。在保温条件下，垂直方向的温差上下可达 4~6℃ 以上，水平方向的温差则较小。温度分布不均匀的缘由，主要是受太阳光入射量分布的不均匀、加温、降温设备的种类和安装位置、通风换气的方式、外界风向、内外气温差及设施构造等多种因素的影响。图 4—17 显示了连栋温室内温度垂直分布的差异，近而引起番茄叶片叶温的差异。

园艺设施内温度分布不均匀的缘由，主要有以下几方面：

1. 太阳的入射量 设施内的受光部位是随着太阳位置的变化而变化的，同时又因屋面构造、倾斜角度、方向和侧高的不同，再加上建材的遮荫而引起各部位透射率的差异，使白天设施内的不同位置形成温差，这是入射量引起保护地内温度分布不均的直接缘由。假设设施内部有作物生长，有入射量的 50%~60% 以潜热的形式被用于土壤的蒸发和植物的蒸腾，使温度降低 2~3℃。设施内有水泥台和砖框等增加了反射光，使这些部位的气温上升 1~3℃，这是入射量引起温度分布不均的间接缘由。

2. 设施内气流运动的影响 在一个不加温也不通风的温室内，气流的运动打算于设施内的对流和外界风向的影响。近地面土壤层空气增热而产生上升气流，但靠近透亮掩盖物下部的空气，由于受外界低温的影响而较冷，于是沿透亮掩盖物分别向两侧下沉，此下沉气流在地外表内部水平移动，形成了两个对流圈，将热空气滞留在上部，形成了垂直温差和水平温差。室内外温差越大，保护设施内温度分布越不均匀。当风吹到保护设施上方时，在迎风面形成正静压，而背风面形成负静压。

密闭设施内往往在上风一侧形成高温区，在下风一侧形成低温区。这是由于在屋顶或棚面上风一侧形成负压，向外抽吸室内空气，在下风一侧形成正压，向室内压缩空气，使室内形成贴地面气流方向与外界风向相反的小环流，被加压的空气沿地面流向上风一侧所致。因此，安装加温设备时在盛行风向的下风一侧，应多配置散热管道。

3. 加温技术的影响 包括加温设备的种类和安装位置。加温设备的种类有点热源、线热源和面热源之分。用炉火加温，炉子四周温度很高，高温集中在一个点上，为点热源；温水加温，温水通过铁管和暖气片，高温在一条线上，称为线热源；电热温床加温，加温电热线分布在一个面上，为面热源。这几种热源的温度分布均匀性的次序是：面热源>线热源>点热源。

加温设备的安置地点，对设施内温度分布的均匀性影响很大。

(1) 炽热加温系统的炉子和烟囱应相向挨次排列，避开炉灶放在一起，形成对烟囱。

(2) 单屋面温室炉火加温，透亮屋面是主要的散热面，热源设在南侧，缓和了透亮屋面的降温，温度分布趋于均匀，可将炉子和烟道都设在南边的地沟中(沟深 50 cm，宽 40 cm)。加温设备设在北边的温差大，特别是南侧土壤温度特别低，但前者炉火治理不便，比较少用。

(3) 双屋面温室的加热管设在温室两侧墙的，比设在中间的温度分布均匀。

4. 通风设备的种类和安装位置 自然通风的通风量是由窗口的大小和窗口位置打算的。通风量大能削减温差，特别是能削减垂直温差，假设窗口的位置不适合，简洁产生无风区而增加温差。

强制通风的通风量比自然通风大，简洁使垂直温差削减。强制通风一般是由一侧面吹向另一侧面的过道风，即从外边进来的低温的空气开头向低流渐渐被加热后向高流，在排气口前变高温，并在排气口四周与外气混合，温度边降边出去。由于这种水平气流的影响，上下形成了两个循环气圈。这种气流依风力的大小、进出口的位置以及气流与畦和栋的方向等而产生种种变化，影响了温度分布。

5. 园艺设施构造的影响 双屋面温室比单屋面温室温度分布均匀，这明显是由于双屋面温室受热面、散热面都比较均匀的原因。

6. 内外温差保护设施内热源效果高时，能加大内外温差，结果贯流和辐射放热也加大，促进了对流，增加垂直温差。假设设施内热源能维持较大的内外温差，温度的分布层则继续进展，各部的温差加大。

三、园艺设施温度环境的调整与掌握

园艺设施内温度的调整和掌握包括保温、加温顺降温 3 个方面。温度调控要求到达能维持适宜于作物生育的设定温度，温度的空间分布均匀，时间变化平缓。

(一) 保温

1. 保温原理 在不加温状况下，夜间保护设施内空气的热量来源是地中供热，热量失散是贯流放热和换气放热。

夜间地中供热量的大小，取决于日间地中吸热量和土壤面积(S)，土壤对太阳辐射能吸取率(A)和射入温室的太阳辐射能(g)有关。

保护设施内贯流放热和换气放热，则主要取决于热贯流率和通风换气量。

由上述可知，保温的途径有下述 3 方面：①削减贯流放热和通风换气量；②增大保温比；

③增大地表热流量。

1. 保温措施

(1)削减贯流放热和通风换气量 温室大棚的散热有 3 种途径：一是经过掩盖材料的围护构造传热；二是通过缝隙漏风的换气传热；三是与土壤热交换的地中传热。3 种传热量分别占总散热量的 70%~80%，10%~20%和 10%以下。各种散热作用的结果，使单层不加温温室和塑料大棚的保温力量比较小。即使气密性很高的设施，其夜间气温最多也比外界气温高 2~3℃。在有风的晴夜，有时还会消灭室内气温反而低于外界气温的逆温现象。

为了提高温室大棚的保温力量，常承受各种保温掩盖。其保温原理是：①削减向设施内外表的对流传热和辐射传热；②削减掩盖材料自身的热传导散热；③削减设施外外表对大气的对流传热和辐射传热；④削减掩盖面的漏风而引起的换气传热。具体方法就是增加保温掩盖的层数，承受隔热性能好的保温掩盖材料，以提高设施的气密性。

(2)保温掩盖的材料与方法我国从 20 世纪 60 年月后期普及塑料大棚生产以来，为了提高塑料大棚的保温性能，进一步提早和延晚栽培时期，承受过大棚内套小棚、小棚外套中棚、大棚两侧加草苫，以及固定式双层大棚、大棚内加活动式保温幕等多层掩盖方法，都有较明显的保温效果。保温掩盖使用的材料和方法，可归纳如下：

代替温室玻璃用的中空复合塑料板材，其透射传热系数比玻璃小得多，如意大利生产的 16 mm 厚蜂窝状聚丙烯甲基甲酯中空板材，其传热系数为 $2.91 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。德国和日本生产的中空间隔约 13 mm 的有机玻璃板材，可比单层玻璃或板材的保温力量提高2~3℃，相当于一层保温幕的作用。固定式的双层玻璃温室或双层薄膜充气温室都有类似的保温效果。它们的共同问题是对光线有所减弱，不适用于要求较强光线的作物。双层固定掩盖两层之间的间隔 10~20 cm 的比 5 cm 的保温力量强(约高 1℃)，而10 cm 的比 20 cm 的透光率好。两层间隔过大不仅透光差，而且由于两层之间空气对流传热增加，会降低保温效果。需要注意的是应防止两层间的外表结露及尘埃污染。

不同掩盖方式其保温力量随保温幕材料而不同。

用 0.1 mm 厚的聚氯乙烯薄膜每层间隔 5 cm 做多层掩盖试验说明，盖 4 层、5 层的保温效果与盖 3 层的差不多，所以室内保温幕实际上盖2层就足够了。

温室大棚内套一层或两层小拱棚，或在小拱棚外再盖草帘的保温方法，比较简洁易行。它的作用是把地面对空气的对流辐射散热局部地截留在小拱棚内，使小棚内气温提高达 3~4℃。假设用地中加温育苗地温较高(20℃左右)的状况下，小棚内的气温还可能比大棚内的气温高 10℃左右。承受两层小拱棚时，两层间隔距离最好在 10 cm 左右，可比单层棚增温 5~6℃。

单屋面温室的外保温掩盖，我国大多数仍使用稻草苫、蒲席，也局部使用棉被、纸被和泡沫塑料等。蒲席的保温力量最强，可比外温提高7~10℃，但价格贵且笨重；草苫保温能

力稍差，只有 4~5℃。用几层牛皮纸做的纸被密闭性好，挡风保温，一般用在草苫、蒲席下面。外掩盖假设被雨雪打湿，保温力量显著下降，所以雨、雪天应在上面加盖薄膜。

(1)增大保温比适当减低园艺设施的高度，缩小夜间保护设施的散热面积，有利提高设施内昼夜的气温顺地温。

(2)增大地表热流量

①增大保护设施的透光率，使用透光率高的玻璃或薄膜，正确选择保护设施方位和屋面坡度，尽量削减建材的阴影，常常保持掩盖材料干洁；②削减土壤蒸发和作物蒸腾量，增加白天土壤贮存的热量，土壤外表不宜过湿，进展地面掩盖也是有效措施；③设置防寒沟，防止地中热量横向流出。在设施四周挖一条宽30 cm，深与当地冻土层相当的沟，沟中填入稻壳、藁草等保温材料。依据北京地区观测有防寒沟的比无防寒沟的设施内5 cm地温可高出4℃左右。单屋面温室多在南侧挖防寒沟。

(二)加温

1

．加温目的与要求随着外界气温的下降，用人工加温的方法补充设施内放出的热量，而使其内维持肯定的温度。我国北方地区，自深秋至春季，进展园艺作物越冬栽培，在严寒的冬季为了维持保护设施内肯定的温度水平，以保证作物的正常生育，须进展补充加温，尤其是不能进展外掩盖保温的大型现代化温室，须全程加温。为了既能使保护设施内的作物正常生长发育，又节约能源、降低本钱、提高经济效益，在加温设计上必需满足如下要求：①加温设备的容量，应常常保持室内的设定温度(地温、气温)；②设备和加温费要尽量少；据测算现代化温室的加温费，可占年生产运行费的50~60%，相当可观。必需尽量节约加温费，否则难以保证经济效益；③保护设施内温度空间分布均匀，时间变化平稳，因此要求加热设备配置合理，调整力量强；④遮荫少，占地少，便于栽培作业。

2. 加温治理技术

(1)最大采暖负荷的计算在最严寒的季节，为维持设计的室内、外气温的温度差，在温室内需要增加的总加热量，叫做最大采暖负荷，再乘上安全系数就是加温设备必需具有的加温力量。最大采暖负荷可以用粗略估算法或逐项计算法算出。

A. 粗略估算法：温室的最大采暖负荷 $Q(W/h)$ 等于温室的外表积 $F(m^2)$ 、采暖负荷系数 $U(W/m^2 \cdot K)$ 、设施内气温 $t_{内}$ 与设计外气温 $t_{外}$ 之差(℃)、以及保温掩盖修正项 $(1-fr)$ 的乘积，即：

$$Q = FU(t_{内} - t_{外})(1 - fr) \quad (4.16)$$

采暖负荷系数 U 对全光玻璃温室可取值 6.2，聚氯乙烯大棚取6.6。保温掩盖的热节约率 fr 取值见表 4—15。

B. 逐项计算法：温室的最大采暖负荷 Q 等于围护构造耗热量(贯流放热) Q_t 、漏风冷风渗透耗热量 Q_v 和温室地面传热量 Q_s 之和，即：

$$Q=Q_t+Q_v+Q_s$$

在强风地区对Q 值还应增加 5%~10%。

无论粗略算法，还是逐项算法，所用的室内与室外气温差均指设计室内气温与设计室外气温之差，为此有个设计室内、外气温确实定问题。

C. 室内、外设计温度确实定：温室蔬菜生产多以黄瓜、番茄为主，因此室内设计温度常以它们要求温度为准。黄瓜、番茄都是喜温作物，假设满足了它们的要求，根本上就能满足其他园艺作物对温度的要求。番茄、黄瓜的生育下限温度分别为 8℃和 10~12℃，因此温室设计的室内气温一般不低于 8~10℃。我国北方温室栽培的蔬菜，都要求能在春节前后上市。也就是最冷的 1 月份能保证喜温蔬菜有适宜的生长温度，因此室温不能过低，一般确定室内的设计温度为 12~15℃。

关于室外设计气温，多承受数年一遇的低温，或用当地近20 年中 4 年连续最低气温的平均值，也有使用保证率为 80%的最低气温。

(2)不同加温方式的特点及其选择 我国传统的单屋面温室，大多承受炉灶煤火加温，近年来也有承受锅炉水暖加温或地热水暖加温的。大型连栋温室和花卉温室，则多承受集中供暖方式的水暖加温，也有局部承受热水或蒸汽转换成热风的采暖方式。塑料大棚大多没有加温设备，少局部试用热风炉短期加温，对提早上市提高产量和产值有明显效果。用液化石油气经燃烧炉的辐射加温方式，对大棚防范低温冻害也有显著效果。

各种加温方式所用的装置不同，其加温效果、可掌握性能、修理治理以及设备费用和运行费用等等都有很大差异。现将几种主要的采暖方式的特点及其适用对象归纳见表4—16。另外，热源在温室大棚内的部位配热方式不同，对气温的空间分布有很大影响。所以，应依据使用对象和采暖、配热方式的特点慎重选择。

A. 热风采暖：从设备费用看，热风采暖是最低的。按设备折旧计算的每年费用，大约只有水暖配管采暖费用的 1 / 5，对于小型温室，其差额就更大。假设把热风炉设置在设施内，直接吹出热风，这种系统的热利用效率一般可到达 70%~80%国外的燃油热风机，有的热利用效率可达 90%。

热风采暖系统有热风炉直接加热空气及蒸汽热交换加热空气两种，前者适用于塑料大棚，后者适用于有集中供暖设备的温室。供热管道除通过其外外表产生对流、辐射散热外，主要通过通风孔直接吹出热空气进展加热，供热管道大多承受聚乙烯薄膜制成。

暖风炉设置在温室大棚内时，要留意室内颖空气的补充，供给热风炉燃烧用的空气量， 每送出 10 000 J 热量每小时约需 4. 78 m³的空气。对于需要较高采暖温度的作物，用热风采暖时产量和品质不如用热水采暖好。

B. 热水采暖：热水采暖的热稳定性好，温度分布均匀，波动小，生产安全牢靠，供热负荷大，大中型永久性温室多承受此方式。热水采暖系统中热水循环流淌的动力有两种，即

自然循环与机械循环两种。自然循环热水采暖系统要求锅炉位置低于散热管道散热器位置，提高供水温度，降低回水温度，以提高自然循环系统的作用压力，可用于管路不太长的小型温室。当管路系统过长，增加管径又不经济或锅炉位置不便安置过低的，为使热水采暖系统的作用压力大于其总阻力，就应改用机械循环装置。

温室中常用的散热器是铸铁圆翼型散热器，也可用四柱型暖气片和光面钢管，局部也用传热性能更好的钢串片散热器。

C. 土壤加温：温室大棚冬春季节地温低，往往不能满足作物对地温的要求。提高地温有 3 种方法，即酿热物加温、电热加温顺水暖加温。酿热物加温是用马粪、厩肥、稻草、落叶等填入栽培床内，用水分掌握其发酵过程产生热量的加温方式。治理上凭阅历把握，产热持续时间短，地温不简洁掌握均匀，所以温室大棚中用得不多。

a. 电热加温：使用专用的电热线，埋设和撤除都较便利，热能利用效率高，承受控温仪简洁实现高精度掌握等是其特点，但耗电多、电费贵，电热线耐用年限短，所以，一般多只用于育苗床。

b. 水暖加温：在承受水暖采暖的温室内，在地下 40 cm 左右深处理设塑料管道，用 40~50℃ 温水循环，对提高地温有明显效果，并可节约燃料。

用水暖加热提高地温，停机后温度维持时间长，效果较好。但应留意与地上部加温适当分开掌握，以免地下部加温过多，地温过高。另外，地中加温管道四周土壤温度的分布，有向下方扩展比向上方扩展大的趋势，所以管道不宜埋设过深。进展地中加温时，土壤简洁干燥，灌水量应适当增加。

(三)降温保护设施内的降温最简洁的途径是通风，但在温度过高，依靠自然通风不能满足园艺作物生育要求时，必需进展人工降温。依据保护设施的热收支，降温措施可从 3 方面考虑：削减进入温室中的太阳辐射能；增大温室的潜热消耗；增大温室的通风换气量。

1 遮光降温法 遮光 20%~30% 时，室温相应可降低 4~6℃。在与温室大棚屋顶部相距 40 cm 左右处张挂遮光幕，对温室降温很有效。遮光幕的质地以温度辐射率越小越好。考虑塑料制品的耐候性，一般塑料遮阳网都做成黑色或墨绿色，也有的做成银灰色。室内用的白色无纺布保温幕透光率 70% 左右，也可兼做遮光幕用，可降低棚温 2~3℃。另外，也可在屋顶外表及立面玻璃上喷涂白色遮光物，但遮光、降温效果略差。在室内挂遮光幕，降温效果比挂在室外差。

2 屋面流水降温法 流水层可吸取投射到屋面的太阳辐射 8% 左右，并能用水吸热冷却屋面，室温可降低 3~4℃。承受此方法时需考虑安装费和去除玻璃外表的水垢污染问题。水质硬的地区需对水质作软化处理再用。

3 蒸发冷却法使空气先经过水的蒸发冷却降温后再送入室内，到达降温目的。

(1) 湿垫排风法 在温室进风口内设 10 cm 厚的纸垫窗或棕毛垫窗，不断用水将其淋湿，温室另一端用排风扇抽风，使进入室内空气先通过湿垫窗被冷却再进入室内。一般可使室内

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/135000000144011241>