

园艺设施的环境特性及其调控技术

-----设施园艺学

甘肃农业大学园艺学院



园艺学院
College of Horticulture



第一节 光环境特点及其调控

设施的太阳辐射

- 温室内的光照来源，除利用人工光源外，主要依靠自然光源。
- 对绿色植物的吸收而言，用光量子通量密度来反映光能对植物的生理作用。
- 光环境功能的表达，不仅依赖占太阳总辐射能量**50%**的可见光部分，还包括分别占太阳总辐射能量**43%**和**7%**的红外线辐射和紫外线辐射。



光照环境的要素

光质（光色） — 各波长光的能量分布

（考虑不同波长光对植物的不同作用）

光照强度与光照量 — 光照的强弱及累积量

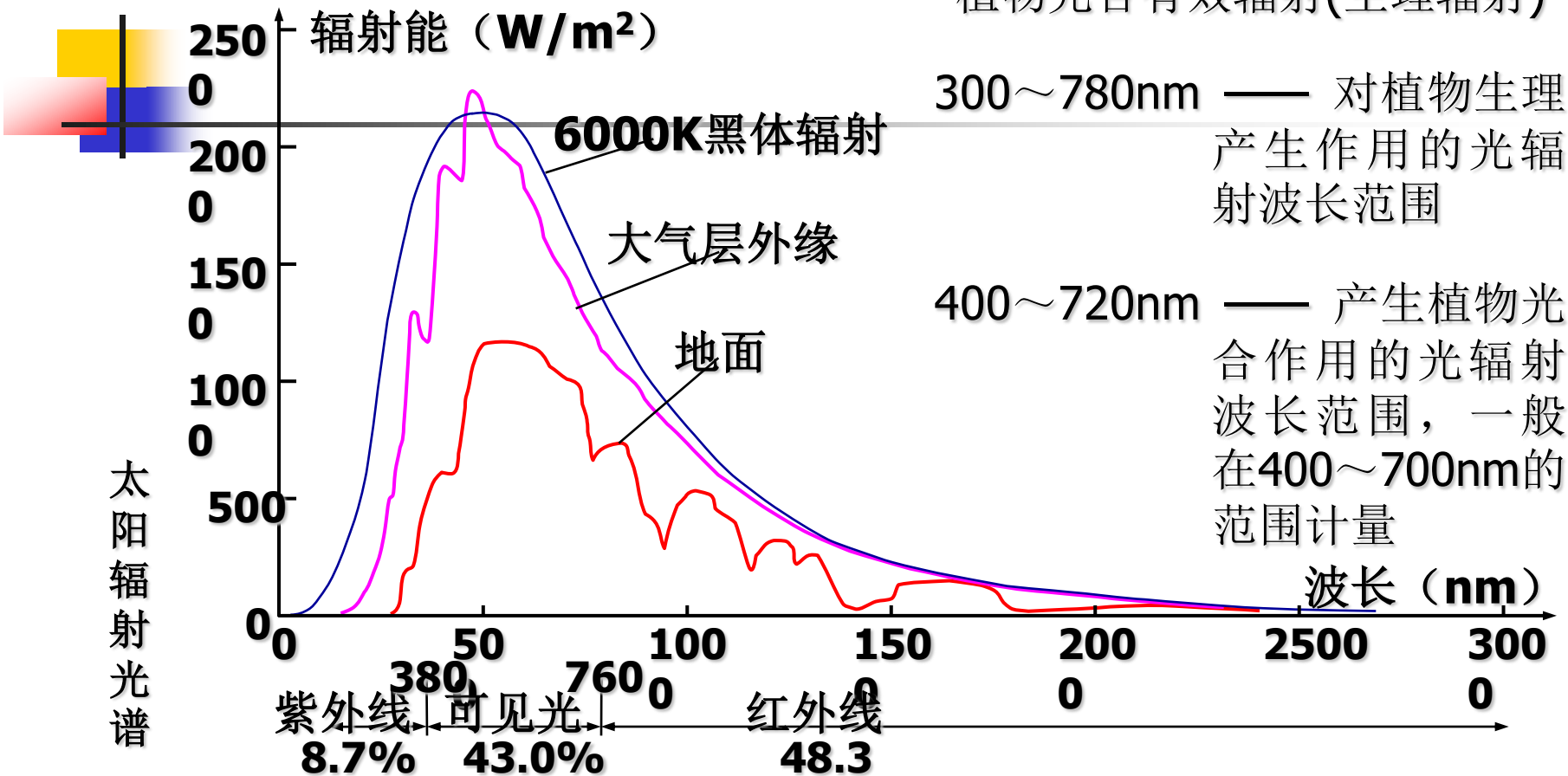
（满足植物光合作用的需要）

光照周期 — 明期、暗期的长短和交替周期规律

（考虑植物的光周期作用）

光分布 — 不同位置的光分布是有差异的（垂直方向和水平方向）

(1)光质（光色）



		波长范围	不同波长的光热辐射对植物及环境的作用
太阳辐射 (短波辐射)	紫外光	300nm以下	①对于多数植物，具有杀伤作用，可能导致植物气孔关闭，影响光合作用，增加病菌感染。 ②加速塑料覆盖材料老化
		300 ~ 400nm	有利植物的成形与花、果着色、维生素C形成
	可见光	400 ~ 720nm	①植物光合作用 400 ~ 510nm蓝紫光 植物吸收率高，光合作用强，有利植物成形。 510 ~ 610nm绿光 植物吸收率及光合作用效率较低。 610 ~ 720nm红橙光 植物吸收率高，光合作用强，一些条件下具有较强的光周期作用。 ②提供辐射热量
		720 ~ 1000nm	影响植物伸长，700 ~ 800nm辐射称为远红光，对光周期及种子形成有重要作用，并控制开花及果实颜色。
		1000 ~ 3000nm	提供太阳辐射热量。
	长波红外辐射	3000 ~ 80000nm	常温物体的热辐射，散失温室内热量。

(2)光照的强度及度量

①光照度 根据人的视觉光谱光效应确定的单位面积光通量。

(555nm黄绿光感觉量为1。)

单位：**lx**（勒克斯）

②光合有效辐射照度（**PAR**）单位时间、单位面积上照射的光合有效辐射能量。

单位：**W/m²**

③光合有效光量子流密度（**PPFD**或**PPF**）单位时间、单位面积上照射的光合有效辐射光量子数。

单位：**μmol/m²·s**

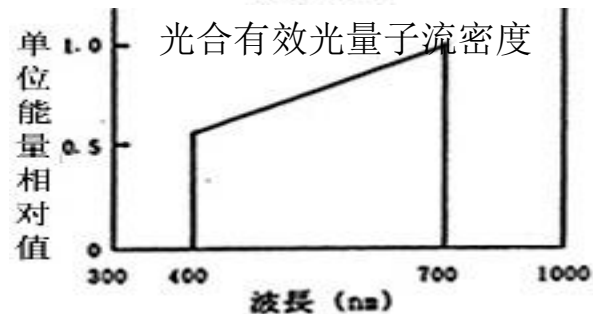
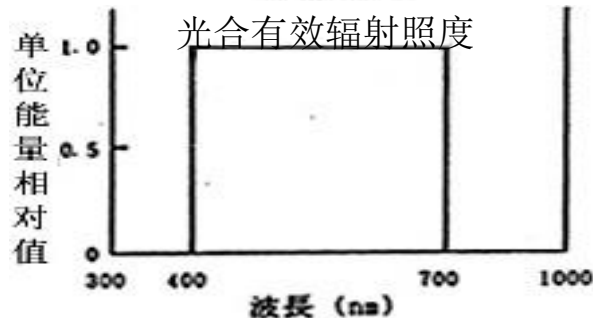
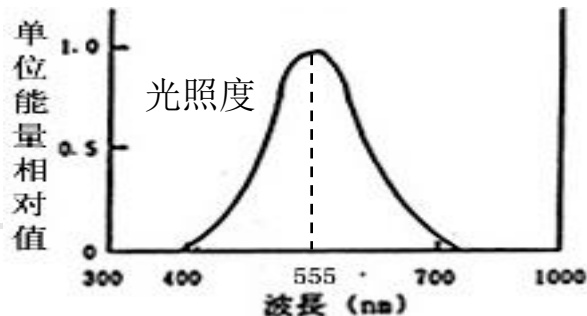
④太阳总辐射照度 单位：**W/m²**

说明：光合成有效辐射 —— 400~700nm波长范围内的光辐射

mol（摩尔） —— 物质的数量单位，

1mol=6.02257×10²³

1mol=1000000 μmol



各种光照度量单位的相互关系

光照度、辐射照度、光量子流密度等与光谱能量分布密切相关，几者之间无固定的比例关系。

只有在确定的光谱能量分布情况下，才有明确的相关关系。

一般天气自然（太阳）光照情况下几种光照度量单位的近似换算关系

	光合有效 辐射照度 W/m^2	光合有效 光量子流密度 $\mu mol/m^2 \cdot s$	对应的太阳 总辐射照度 W/m^2
光照度 1 klx \approx	4.2 (4)	16.8 (18)	10

$$k \text{ lx数} \times 4 \approx W/m^2$$

$$W/m^2 \times 4 \approx \mu mol/m^2 \cdot s$$

几种光源的光照强度单位近似换算关系

光源	PAR / 照度 $\text{W m}^{-2} / \text{klx}$	PPFD / 照度 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{klx}$	PPFD / PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{W m}^{-2}$
荧光灯	2.73	12.5	4.59
金属卤化灯	3.13	14.4	4.59
高压钠灯	2.8	14	5
白炽灯	3.96	19.9	5.02
蓝色LED	38.5	145	3.76
红色LED	24.0	132	5.52
日光 (对照)	4.2	16.8	4

	室外	日光温室内	连栋温室内	多数阳性植物最低要求
光照度(lx)	30000 ~ 50000	15000 ~ 35000	12000 ~ 25000	20000
PAR(W/m^2)	120 ~ 210	60 ~ 140	50 ~ 100	80
PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$)	500 ~ 840	250 ~ 580	200 ~ 400	300

(3)植物的光周期现象

在植物的光周期反应中，光作为植物生长发育的控制信息发挥作用，连续光照时间与光质是决定其作用的重要因素，能量大小是次要因素，照度仅数十lx即可发挥作用。

长日照植物

每天12小时以上光照促进生长发育

（大多数叶菜、豌豆、葱、蒜、荷花、唐菖蒲等）

短日照植物

每天光照少于12~14小时才能正常生长发育

（茼蒿、扁豆、豇豆、秋菊、一品红、牵牛花等）

中光性植物

对光照时数无严格要求，一般每天8~16h均可

（黄瓜、番茄、辣椒、四季豆、月季、香石竹、天竺葵等）

二、设施内的光环境特征

■ 首先是总辐射量低，光照强度弱

温室内的光合有效辐射能量、光量和太阳辐射量受透明覆盖材料的种类、老化程度、洁净度的影响，仅为室外的50%—80%，这种现象在冬季往往成为喜光果菜类作物生产的主要限制因子。



二、设施内的光环境特征

■ 其次是辐射波长组成与室外有很大差异

透光覆盖材料对光辐射不同波长的透过率不同，一般紫外光的透过率低

当太阳短波辐射进入设施内并被作物和土壤等吸收后，又以长波的形式向外辐射时，很少透过覆盖物，从而使整个设施内的红外光长波辐射增多，这也是设施具有保温作用的重要原因。



二、设施内的光环境特征

■ 第三是光照分布在时间和空间上极不均匀

温室内的太阳辐射量，特别是直射光日总量，在温室的不同部位、不同方位、不同时间和季节，分布都极不均匀，尤其是高纬度地区冬季设施内光照强度弱，光照时间短，严重影响温室作物的生长发育。





三、影响设施光环境的主要因素

1. 散射光的透光率

- 太阳光通过大气层时，因气体分子、尘埃、水滴等发生散射并吸收后到达地表的光线称为散射光。
- 散射光是太阳辐射的重要组成部分，在温室设计和管理的上要考虑充分利用散射光的问题。

2. 直射光的透光率

- 依纬度、季节、时间、温室建造方位、单栋或连栋别、屋面角和覆盖材料的种类等而异。



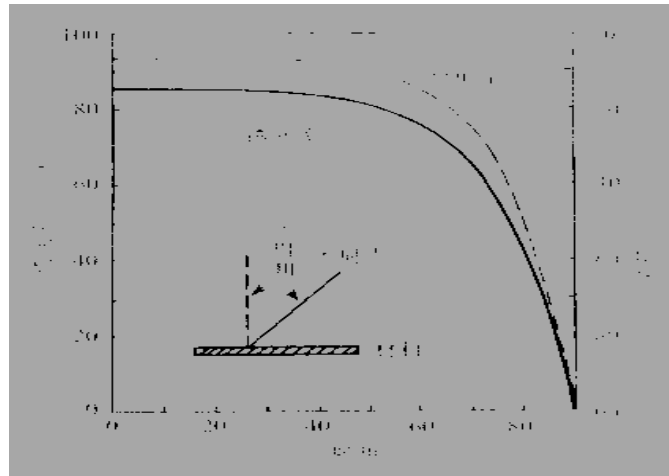
(1) 构架率

- 温室由透明覆盖材料和不透明的构架材料组成。温室全表面积内，直射光照射到结构骨架(或框架)材料的面积与全表面积之比。
- 构架率愈大，说明构架的遮光面积愈大，直射光透光率愈小，简易管棚(大棚)的构架率约为4%，普通钢架玻璃温室约为20%，Venlo型玻璃温室约为12%。



(2) 屋面直射光入射角的影响

- 影响太阳直射光透光率的种种因素，多是由于影响直射光入射角的大小所致。
- 透光率随入射角的增大而减少，入射角为90°时透光率约83%。
- 若入射角超过60°的话，反射率迅速增加，而透光率就急剧下降。





(3)覆盖材料的光学特性

- FRP板和PC板、PET板均不透过紫外线，PE膜、MMA板和玻璃都能透过紫外线。
- 至于可见光部分，各种覆盖材料的透光率大都在85%~92%左右，差异不显著。
- 覆盖材料使用后的污染、老化及水滴水膜的附着，使透光率大为减弱，光质也有改变。一般PVC膜易被污染，PE膜次之，玻璃污染较轻

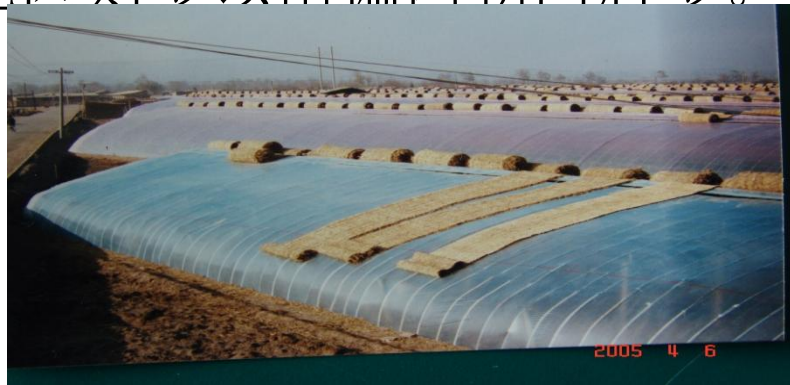


(4)温室的结构方位的影响

- 温室内直射光透光率与温室结构、建筑方位、连栋数、覆盖材料、纬度、季节等有密切关系，因此必须要选择适宜的温室结构、方位、连栋数和透明覆盖材料。
- 从我国温室分布的中高纬度地区看，冬季以东西单栋温室的透过率最高，其次是东西连栋温室，南北向温室光透过率在冬季不及东西向，但到夏季，这种关系发生了逆转。南北向优于东西向。

(4)温室的结构方位的影响

- 因此从光透过率的角度看，东西向优于南北向，但从室内光分布状况来看，南北向较东西向均匀。
- 我国北方日光温室的实际建造方位，在黄淮地区以南偏东 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 为多，而气候寒冷的高纬度地区则多以南偏西朝向居多。





四、光环境的调控

(一) 光强的调控

1. 遮光

- 芽菜和软弱蔬菜、观叶植物、花卉、茶叶等进行设施栽培或育苗时，往往通过遮光来抑制气温、土温和叶温的上升，以改善品质。
- 保护作物的稳定生产，或者进行短日照处理，都要利用遮光来调控光照时数或光强。
- 遮光用资材分为外覆盖与内覆盖用两类，但也有在玻璃温室表面涂白进行遮光降温的。

1. 遮光

- 外覆盖的遮量降温效果好，但易受风害；内覆盖不易受风吹，但易吸热再放出，抑制升温的效果不如外覆盖的。
- 遮光目的是降温或抑制升温，遮光率愈大，抑制升温效果也越大，在内覆盖方式下，银灰色较黑色网抑制升温的效果好。





2. 人工补光

- 主要目的有两个，一是调节光周期，抑制或促进花芽分化，调节开花期和成熟期，在菊花、草莓等冬季栽培上广为应用，通常称为电照栽培，一般要求光强较低。
- 另一目的是促进光合作用，补充自然光的不足，高纬度的北方冬季夜长昼短，为促进生长，采取补光栽培，要求光强在补偿点以上。



3. 提高温室内光照透过率主要措施

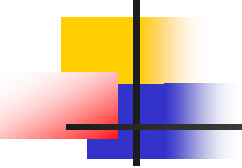
(1) 选择适宜地区

- 选择冬半年光照充足地区建温室，选冬春阴雨雪天少、尘埃、烟雾等污染少的地区。



(2)改善设施的透光率

- ①选用透光性好、防尘、抗老化、无滴的透明覆盖材料，且透紫外光多，透长波红外辐射。
- ②采用合理的屋角面，如我国北方日光温室南屋面角在北纬32'~34'区域内应达到25~35。
- ③温室架构选材上尽量选结构比小而强度大的轻量钢铝骨架材料，以减少遮光面。

- 
- ④注意建造方位，北方偏脊式的日光温室宜选东西向，依当地风向及温度等情况，采用南偏西或偏东 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 为宜，并保持邻栋温室之间的一定距离。大型现代温室则以南北方向为宜，因光分布均匀，并注意温室侧面长度、连栋数等对透射光的影响。



(3)加强设施的光照管理

- ①经常打扫，清洗，保持屋面透明覆盖材料的高透光率。
- ②在保持室温适宜的前提下，设施的不透明内外覆盖物(保温幕、草苫等)尽量早揭晚盖，以延长光照时间增加透光率。
- ③注意作物的合理密植，注意行向(一般南北向为好)，扩大行距，缩小株距，增加群体光透过率。
- ④张挂反光幕和玻璃温室屋面涂白等增加室内光分布均匀度，夏季涂白，可防止升温等。



(二)光照长度的调控

1. 短日照处理

- 短日照处理采用遮光率为100%的遮光幕覆盖，如菊花遮光处理，可促进提早开花。

2. 长日照处理

- 长日照处理采用补光处理，如菊花电照处理可延长秋菊开花期至冬季三大节日期间开花，实现反季节栽培，增加淡季菊花供应，提高效益。



人工光周期—补光

对光周期敏感的作物，当黑夜时间过长而影响作物的生长发育时，应对作物进行人工光周期补光。

照度：人工光周期补光是作为调节作物生长发育的信息提供的，需用的照度较低，一般大于 $221x$ ，最好是 $501x$ 左右。

光谱：660-665nm，可用富含红光的白炽灯。

补光方式：（一般长日照作物要求连续暗期短于7h）

整夜连续补光；

早晚延长补光；

夜间间断补光。



光周期—遮光

光周期遮光的目的是延长暗期，保证短日照作物对连续暗期的要求。

常用的材料有黑布与黑色塑料两种，在温室顶面及四周铺设、严密搭接。使室内光照降到临界光周期照度以下，一般不高于 $22lx$ 。

遮光的时间一般应使连续暗期大于 $14h$ ，通常从黑夜向傍晚和清晨两头延长。



大豆遮光调节, 促进其提前开花结荚





(三)光质的调控

- 覆盖材料光波透过率中重要波长域是紫外线，紫茄子温室栽培若无紫外线就着色不好，月季花的着色与紫外线也有关系。
- 同时温室草莓、甜瓜栽培放蜂传粉的话，用除去紫外线的薄膜覆盖会影响蜜蜂传粉，但能抑制蚜虫的发生，并促进茎叶的伸长。



第二节 温度环境及其调控

一、温室的温度环境特点

(一) 温室温度变化特征

1. 气温的季节变化

- 在北方地区，保护设施内存在着明显的四季变化。
- 日光温室内冬季天数可比露地缩短3—5个月，夏天可延长2~3个月，春秋季节也可延长20~30d，可四季生产喜温果菜。



1. 气温的季节变化

- 大棚冬季只比露地缩短50d左右，春秋比露地只增加20d左右
- 果菜只能进行春提前、秋延后栽培，在多重覆盖下，有可能进行冬春季果菜生产。



2. 气温的日变化

- 春季最高与最低气温出现的时间略迟于露地，但室内日温差要显著大于露地
- 日辐射量大的3月19日要比日辐射量小的12月15日气温上升幅度大，即日温差大
- 节能型日光温室，冬季日温差高达15~30C，不加温或基本不加温下能生产出黄瓜等喜温果菜。



3. 设施内“逆温”现象

- 在无多重覆盖的塑料拱棚或玻璃温室中，日落后的降温速度往往比露地快，如再遇冷空气入侵，特别是有较大北风后的第一个晴朗微风夜晚，温室大棚夜晚通过覆盖物向外辐射放热更剧烈。室内因覆盖物阻挡得不到热量补充，常常出现室内气温反而低于室外气温 $1—2^{\circ}\text{C}$ 的逆温现象
- 一般出现在凌晨，10月至翌年3月都有可能出现，尤以春季逆温的危害最大。



(二)温室的热平衡原理

- 热量来源：
 - 太阳辐射能
 - 人工加热量
- 热量支出：
 - 地面、覆盖物、作物表面有效辐射失热
 - 以对流方式，温室内土壤表面与空气之间、空气与覆盖物之间热量交换，并通过覆盖物表面失热
 - 温室内土壤覆盖表面蒸发、作物蒸腾、覆盖物表面蒸发，以潜热形式失热
 - 通过排气将显热和潜热排出
 - 土壤传导失热。



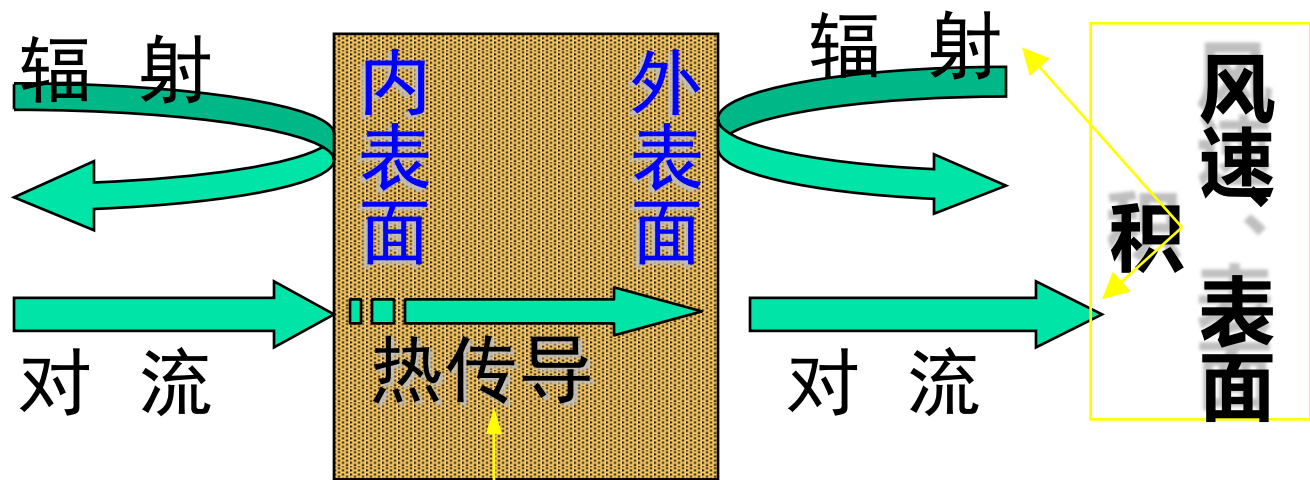
园艺设施热支出途径

■ 贯流放热

透过覆盖材料和结构材料放出的热量，叫园艺设施表面的贯流放热量。

它是园艺设施放热的最主要途径，占总散热量的60~70%，高时可达90%左右。

贯流放热的过程：



散热面积、材料导热率、
内外温差

贯流放热量表达式

$$Q_t = A_w h_t (t_r - t_o)$$

Q_t : 贯流传热量 (Kcal/h)

A_w : 设施表面积 (m²)

H_t : 热贯流率 (Kcal/m². h. °C) (有导热率有别)

$(t_r - t_o)$ 内外温差

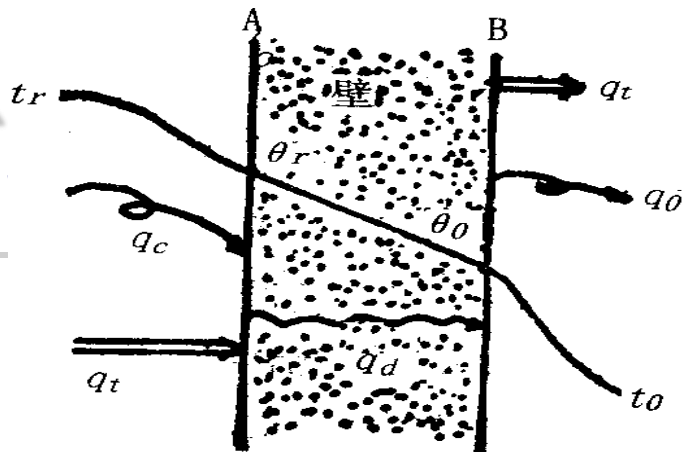


图 4-16 热贯流传热模式图



影响贯流放热的因素

- 设施散热面积（设施表面积）
- 室内外温差
- 设施结构材料的导热率
- 结构材料的含水量
- 室外风速



换气放热

- 由于园艺设施内外空气交换而导致的热量损失。

与园艺设施缝隙大小有关。普通园艺设施换气放热是贯流放热的1/10。包括潜热和显热两部分。而以显热失热为主，潜热失热往往在实际计算中忽略不计。

显热失热

- $Q_v = R \cdot V \cdot F (t_r - t_0)$
- Q_v 为整个设施单位时间的换气放热量
- R 为每小时换气次数
- V 为设施容积
- F 为空气比热= $1.30\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$
- $(t_r - t_0)$ 为室内外温差



影响换气放热的因素

- 设施缝隙大小（漏风传热系数）
- 室外风速
- 室内外温差

地中传热=土壤传导失热：

- 土壤传导失热包括土壤上下层垂直传热和土壤横向传热。
- 受土壤松紧度和含水量影响很大。较为复杂。
 - A. 垂直方向上的传导失热：
一般在 $0\sim 30\sim 45\text{cm}$ 土层中发生，深层土壤温度变化很小，可忽略传热量。



B. 横向传导失热：

表达式： $q_s = \sum kdfF (t_r - t_o)$

kdf：各设施内各地段土壤传热系数，由距外墙远近而定

F：设施内各地段计算面积（m²），对于墙拐角处，第一地段面积应加倍计算，其他地段不变。

t_r、t_o：设施内外温度



潜热消耗

- 水汽蒸发而吸收的热量为潜热，经通风换气排出水汽而散失的水的汽化热，叫潜热消耗。



三、温度的调控技术

保温、加温、降温

(一)保温措施

1. 采用多层覆盖，减少贯流放热量

- 多层覆盖是最有效、实用、经济的方法。
- 长江流域一带塑料温室(大棚)近年推广大棚加中棚加小棚，再加地膜和小拱棚外面覆盖一层幕帘或厚无纺布。
- 北方日光温室采用外覆盖保温被、草苫等方式，使保温性显著提高，在北方可以基本不加温在深冬生产出喜温果菜。



2. 增大温室透光率

- 正确选择日光温室建造方位
- 屋面进行经常性洁净



3. 增大保温比

- 保温比是指土地面积与保护设施覆盖及围护材料表面积之比
- 保护设施越大，保温比越小，保温越差；反之保温比越大，保温越好。
- 日光温室的高度对保温比的影响较小，在一定范围内，适当增加日光温室的高度，反而有利于调整屋面角度，改善透光，增加室内太阳辐射，起到增温的作用。

4. 设置防寒沟，防止地中热量横向流出

- 通常防寒沟宽30cm，深50cm，沟内填充稻壳、蒿草等导热率低的材料
- 设置在日光温室周围，以切断室内土壤与外界的联系，减少地中热量横向散出
- 可使温室内5cm地温提高4℃左右。



(二)加温技术

在太阳辐射能源不足情况下，要进行人工加温，是一种补充热量。

加温设计的要求

- (1) 加温设备的热容量应保证达到室内设定的气、地温。
 - (2) 使室内温度分布均匀，时间变化稳定，配置合理，调节能力强。
 - (3) 遮荫少，占地少，便于栽培作业。
 - (4) 设备费、燃料费尽量少。
- 加温技术是现代温室园艺最基本的环控技术
 - 投入的设备费和运营费用大
 - 加温方式包括热风采暖、热水采暖、电热采暖和火炉采暖。



(三) 降温技术

1. 遮阳降温

- 外遮阳：遮光60%左右时，室温可降低4~12℃，降温效果显著。
- 内遮阳：室内在顶部通风条件下张挂遮阳保温幕，夏季内遮阳降温，冬季则有保温之效。
- 此外还有屋顶涂白遮光降温等。





2. 屋顶喷淋降温

- 玻璃温室屋脊设置喷淋装置，水分通过管道小孔喷于屋面，既减少透光率，又能吸收投射到屋面的太阳辐射热能，一般可使室温下降3—4度。
- 此法成本低，方法简便，但易生藻类，要清除屋面水垢污染，硬水区水质要经软化处理后再使用为宜。

3. 蒸发冷却法

湿帘排气法

- 温室北墙设置湿帘，南侧墙安装轴流风扇，风扇将室内空气强制抽出，形成负压，同时水泵启动，通过给水槽将水淋在湿帘垫上。
- 室外空气通过多孔湿帘表面空气中大量显热变为潜热，可使室内温度降低到湿球温度
- 空气越干燥，温度越高，湿帘降温效果越大。



细雾喷散法

- 喷雾要求细雾雾滴大小在50 μm 以下，对蒸发冷却才有效
- 喷雾一定要在换气扇打开中进行，以达到及时排气的目的。



4、通风换气降温

- 通风包括自然通风和强制通风(启动排风扇排气)。
- 在室外气温超过30度时，单纯的自然通风或强制通风是满足不了生产要求的。



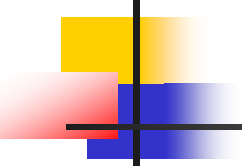


四、变温管理

根据果菜类蔬菜自身在一天当中的生理活性中心的变化规律来调节温度，使作物能更多地制造光合产物，尽可能地减少呼吸对营养物质的消耗，从而起到增产、节能的作用。

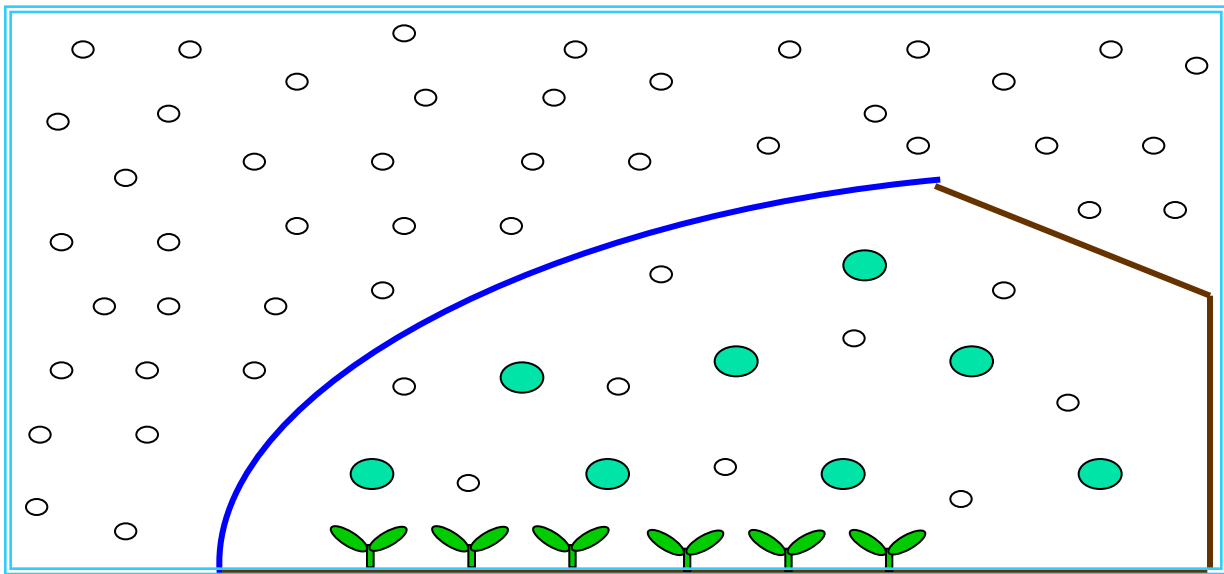
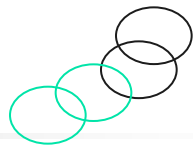
变温管理的理论基础

时 间	生理活性中心	温度控制	目 的
上 午	光合	高温	促进光合
下 午	光合减弱	适当降温	促进光合
前半夜	光合产物运转 呼吸	继续降温温度	加速运转 抑制呼吸
后半夜	呼吸	保持生长适温 下限	抑制呼吸



第三节 园艺设施内的气体 及 调 节 技 术

一、设施气体环境特点



● 有害气体

○ CO₂

氧气

- 园艺作物生命活动需要氧气，尤其在夜间
- 地上部分的生长需氧来自空气，而地下部分根系的形成，特别是侧根及根毛的形成，需要土壤中有足够的氧气
- 种子萌发过程中必须要足够的 O_2 ，否则会因酒精发酵毒害种子使其丧失发芽力

二氧化碳



- 一般露地大气中 CO_2 含量约为0.03%，不能满足作物进行光合作用的需要
- 温室内 CO_2 浓度一般白天比露地更低，严重制约光合作用效率设施栽培空间有限、封闭状态，可以进行气体施肥

有害气体

氨气

- 由气孔进入体内而产生碱性损害
- 未经腐熟的人粪尿、畜禽粪、饼肥等有机肥（特别是未经发酵的鸡粪），遇高温时分解发生
- 追施化肥不当也能引起氨气危害（禁用碳铵、氨水等）
- 当设施内空气中氨气浓度达到**0.005%（5毫升/立方米）**时，就会不同程度地危害作物
- 危害症状：叶片呈水浸状，颜色变淡，逐步变白或褐，继而枯死
- 一般发生在施肥后几天；番茄、黄瓜对氨气反应敏感

有害气体

一氧化氮

- 施用过量铵态氮而引起的
- 土壤酸化条件下，亚硝化细菌活动受抑，亚硝态氮不能转化为硝态氮，亚硝态酸积累而散发出二氧化氮
- 当空气中二氧化氮浓度达**0.002%（2毫升/立方米）**时可危害植株
- 危害症状：叶面上出现白斑，以后褪绿，浓度高时叶片叶脉也变白枯死
- 番茄、黄瓜、莴苣等对二氧化氮敏感

有害气体

二氧化硫

- 燃烧含硫量高的煤炭或施用未经腐熟的粪便及饼肥等
- 二氧化硫遇水（或湿度高）时生产亚硫酸，亚硫酸是弱酸，直接破坏作物的叶绿体，轻者组织失绿白化，重者组织灼伤，脱水，萎蔫枯死

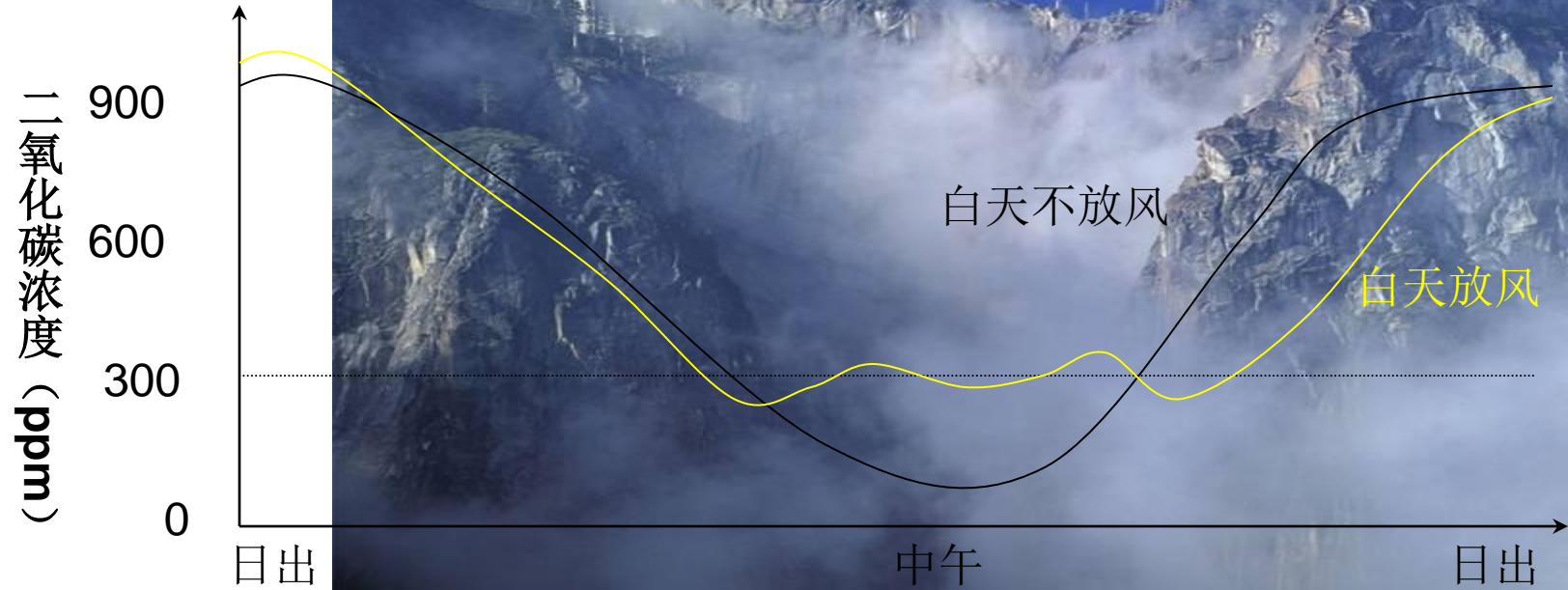
有害气体

乙烯和氯气

- 使用有毒的农用塑料薄膜或塑料管
- 受害作物叶绿体解体变黄，重者叶缘或叶脉间变白枯死

二. 园艺设施内CO₂浓度变化规律及调节技术

(一) 二氧化碳浓度的变化规律





(二) 园艺设施内二氧化碳浓度的调节技术

1. 通风换气法

2. 人工施用二氧化碳

(1) 二氧化碳的施用浓度

一般蔬菜作物在二氧化碳浓度为600~1500ppm的条件下，其光合强度最大。而当二氧化碳浓度大于3000ppm时，作物的增产率反而会下降。

(2) 二氧化碳发生源

化学分解法



酸的浓度以96%为宜，本法适合于试验或小面积应用。



燃烧法

● 燃烧甲烷、白煤油释放CO₂



释放纯二氧化碳

定量施放

钢瓶中的压
缩气体。



土壤二氧化碳气肥

- ⊙ 市场上出售的CO₂气肥；
- ⊙ 增施土壤有机质。

3. 二氧化碳的使用适期

- 施用时间多是在每天日出或日出后半小时开始，持续使用30分钟或3~4小时。原则上达到要求的浓度后就停止施用。但是，如果放风，一般在放风前半小时停止施用。
- 幼苗期施用二氧化碳多是在幼苗出土后至20~30天；生产田施用二氧化碳多从果实膨大期开始，施用过早可能会出现徒长。

4. 园艺设施施用二氧化碳的原则

- ✿ 晴天多施（1000ppm），阴天不施。
- ✿ 施用CO₂的温室白天要适当增温1~2℃。
- ✿ 适当提高湿度（包括土壤湿度），以利于提高光合作用和加快作物生育。
- ✿ 防止施用CO₂后出现的早衰。在停止施用CO₂的方法上，应逐渐降低使用浓度，逐渐停止施用，避免突然停止施用。

四、设施土壤气体环境及调控

土壤气体环境

- 影响蔬菜种子发芽、根的生长和根对养分的吸收
- 一般蔬菜种子发芽需要土壤中有**10%~50%**以上 O_2
- O_2 浓度降低影响根对各种养分的吸收（**N、P、K、Ca、B**的含量变少，**Mg、Na**等含量变多）



土壤气体环境

- 土壤气体存在于土壤粒的间隙内，正常的土壤粒和间隙的比例大约是1: 1
- 间隙内被气体和水分充满着，其比例又是大约1: 1
- 要使土壤中保持一定比例的气体，土壤的结构应该是团粒结构
- 孔隙率和含水量除影响容气量外，也影响土壤气体的组成，一般情况是CO₂浓度比大气中高，而O₂浓度比大气中低
- 离表层越近，间隙越大扩散抵抗越小，气体越充足



土壤气体调节

- 施用
 - 腐熟的有机肥
 - 作物秸秆

五、通风换气（设施空气调控）



- 通风换气与防寒保温往往是有矛盾，不可因噎废食
- 通风技术是环境调控的重要措施，一举多得

(一) 自然通风

底窗通风

- 棚四周或温室底部和门口附近，常有**1/5~1/4**的面积受“扫地风”危害，造成秧苗生长缓慢
- 初春时，应避免底窗、门通风
- 必须通风时，在门下部**50cm**高处用塑料膜挡住

(一) 自然通风

天窗通风

- 包括开天窗和顶部扒缝
- 天窗面积是固定的，通风效果有限不如扒缝的好
- 扒缝通风的面积可随室温和湿度高低调节，调节控制效果好

(一) 自然通风

底天窗通风

- 天窗主要起排气作用，底窗或扒底缝主要是进气，排气效果特别明显
- 春季通风时间极短或不通风，通风面积控制在**2%~5%**左右
- **5**月中旬以后，此时开窗或扒缝面积要占到围护结构总面积的**25%~30%**

(二) 强制通风

低吸高排型

- 即吸气口在温室的下部，排风扇在上部
- 风速较大、通风快
- 温度分布不均匀，在顶部及边角常出现高温区

(二) 强制通风

高吸高排型

- 即吸气口和排风扇都在温室上部
- 下部热空气不易排出，常在下部存在一个高温区域，对作物生长不利

(二) 强制通风

高吸低排型

- 吸气口在上部，排风扇位置在下部
- 室内温度分布较均匀，只有顶部有小范围的高温区

六、园艺设施内空气的流动

- 设施内空气流动状况不仅影响气温的分布，而且影响叶面的光合强度、蒸腾等生理过程
- **0.5m/s~1m/s**的微风，可减小叶层边界层的阻力，有利**CO₂**进入叶片气孔内，光合强度增加
- 为保证设施内有一定量的空气流动，除了熟悉气流循环规律、注意选择通风设备和通风方法外，还要注意通风量和分布状况
- 送风具体时间：昼夜连续送风和夜间送风
- **风速为时50~70m/s，昼夜连续送风的番茄同化量比不送风的增加192%；仅在夜间送风的也比不送风的增加78%**



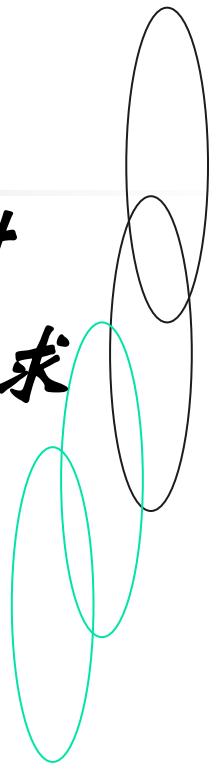
第四节 设施湿度环境特点及调控



一 园艺作物对 湿度环境的要求

二 设施湿度环境特点

三 设施湿度环 境的调节控制



园艺作物对湿度环境的要求

1

水分的生理作用

2

植物对水分需求

一 园艺作物对湿度环境的要求

1

水分的生理作用

- 1、水是矿物质、肥料的溶剂，这些物质只有溶于水中才能被植物吸收利用。水也是植物体内发生各种生化反应的介质，参与各种生化反应，如光合反应、呼吸作用等重要途径需要水作介质。
- 2、大多数园艺植物柔嫩多汁、含水量高。蔬菜的**90%**含有大量水分。水分的多少直接影响产品的品质和价值，水是园艺产品的质量的基本保证。
- 3、水分直接影响土壤的物理特性，从而影响根系的吸收，进一步影响植物地上部的生长发育。

一 园艺作物对湿度环境的要求

② 植物对水分需求

类别	特征	代表植物
耐旱植物	根系发达、吸水力强； 叶片蒸发少，消耗水分少	杏树、石榴、无花果、葡萄和枣等；南瓜、西瓜、甜瓜、葱蒜类、石刁柏；仙人掌科、景天科植物。
湿生植物	根系吸水能力减弱，叶片薄而大， 水分蒸发消耗量大，多原产于热带、沼泽地带	莲藕、菱、芡实、莼菜、慈菇、茭白、水芹、蒲菜、豆瓣菜和水蕹菜等；荷花、睡莲、凤梨科、菊、兰科
中生植物	不耐旱、不耐涝	苹果、梨、樱桃、柿子、柑橘；根菜类作物、茄果类、瓜类、豆类、叶菜类作物。大多数花卉；

一 园艺作物对湿度环境的要求

② 植物对水分需求

类 型	蔬 菜 种 类	适宜相对湿度%
较高湿型	黄瓜、白菜类、绿叶菜类、水生菜	85~90
中等湿型	马铃薯、豌豆、蚕豆、根菜类（胡萝卜除外）	70~80
较低湿型	茄果类	55~65
较干湿型	西瓜、甜瓜、胡萝卜、葱蒜类、南瓜	45~55
大多数花卉	—	60~90

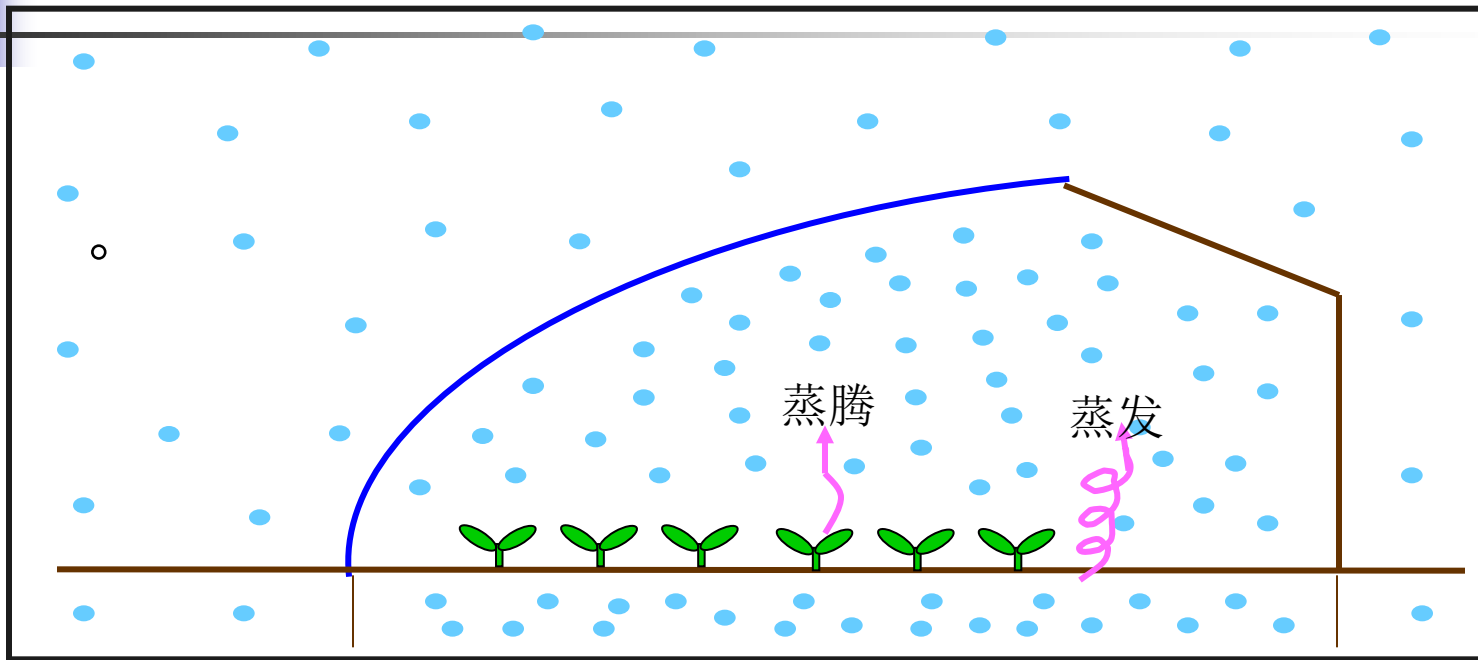


二 设施湿度环境特点

(一) 园艺设施内空气湿度的特点

- 空气的绝对湿度和相对湿度一般都大于露地。
- 空气相对湿度的日变化大。
- 空气湿度依园艺设施的大小而变化。

大型设施空气湿度及其日变化小，但局部湿差大。



蒸腾

蒸发




水分



（二）、园艺设施内土壤湿度的特点

1. 土壤湿度比露地稳定。
2. 水分蒸发和蒸腾量很少，土壤湿度较大。
3. 土壤水分是向上运动的。
4. 土壤湿度存在着一定的湿差。通常设施的四周或加温设备附近的土壤湿度小，中间部分土壤湿度大。



温室除湿的最终目的：

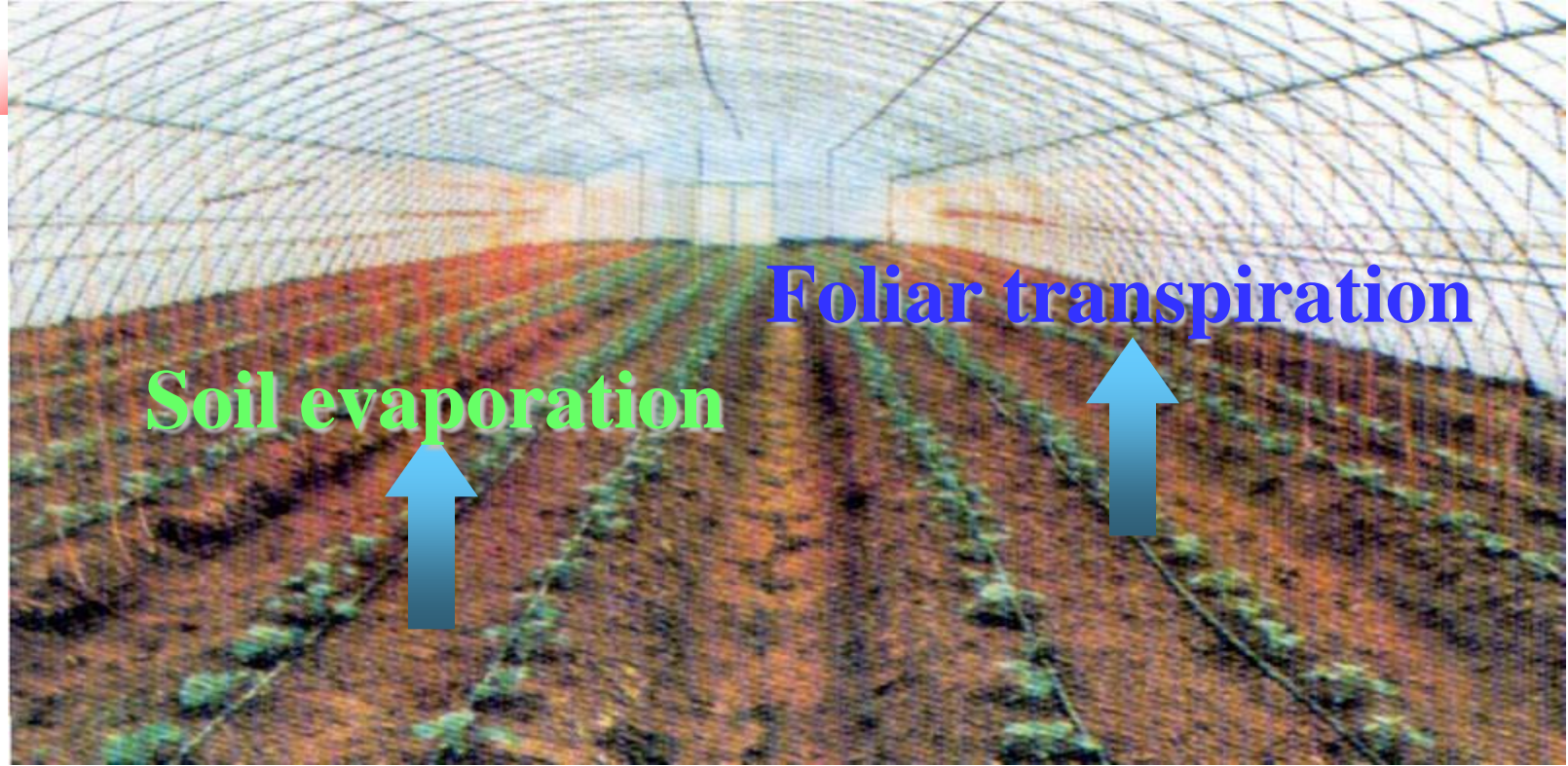
防止作物沾湿，抑制病害发生。

Question

Where does the atmospheric moisture in the greenhouse come from?

园艺设施内空气中的水汽从何而来？





Soil evaporation

Foliar transpiration



设施内水分收支

$$I_r + G + C = ET$$

ET— 蒸散量（土壤蒸发与作物蒸腾）

I_r — 灌水量

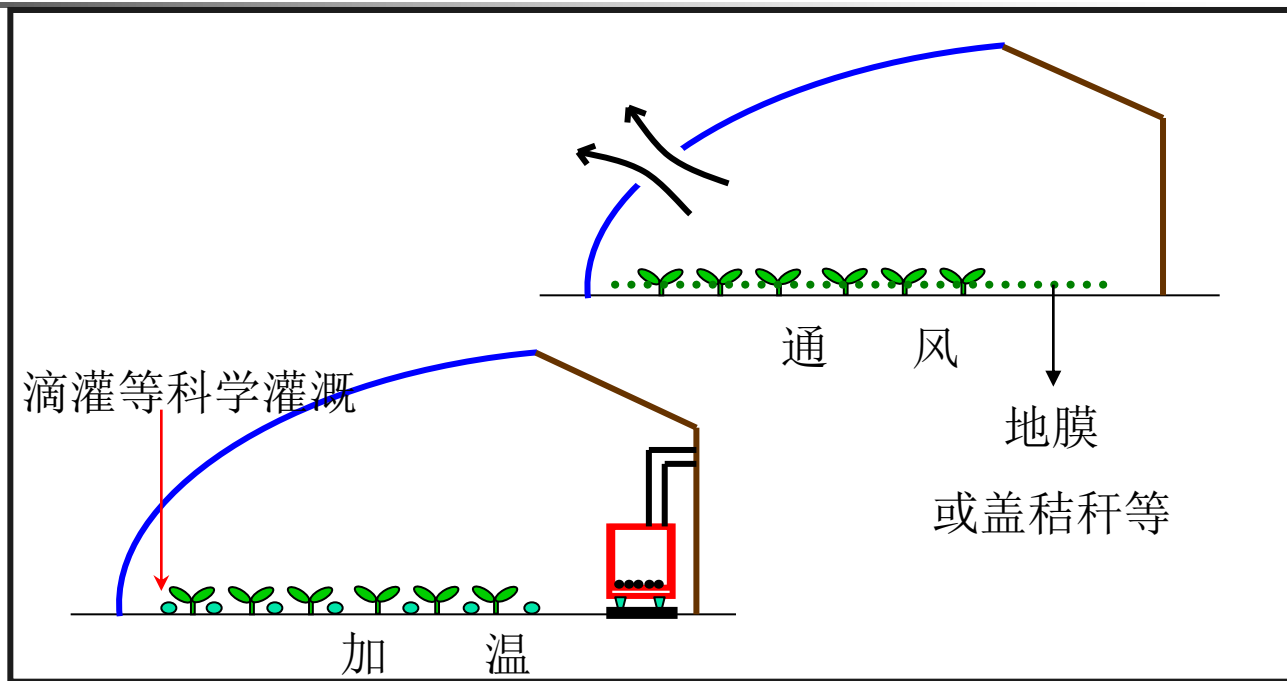
G — 地下水补给量

C — 凝结水量

三 设施湿度环境的调节控制

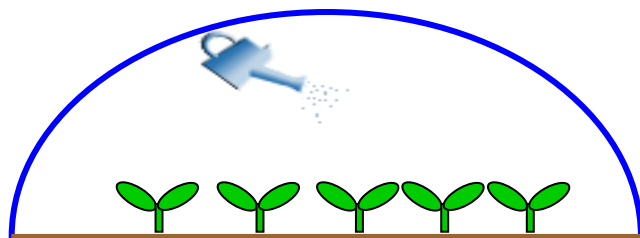
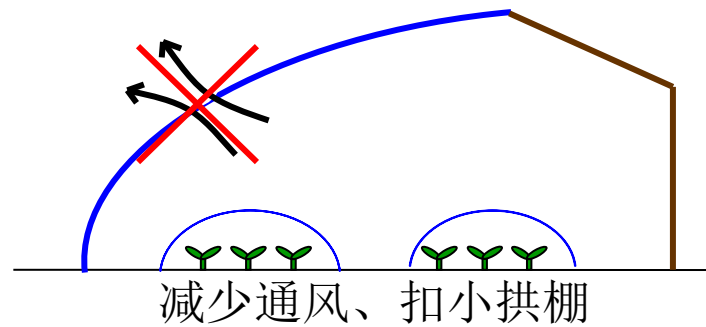
(一)、空气湿度的调节控制

除 湿



三 设施湿度环境的调节控制

加 湿





被动除湿

不用人工动力（电力等），不靠水蒸气或雾等的自然流动，使园艺设施内保持适宜湿度环境。

被动除湿



减少灌水



通过改良
灌水方法
提高水分
的利用率



地膜覆盖

地膜覆盖也能抑制土壤表面水分蒸发，提高室温和空气湿度饱和差，从而降低空气相对湿度。



被动除湿




采用透湿性和吸湿性良好的保温幕材料



增大透光量



自然吸湿



主动除湿

用人工动力，依靠水蒸气或雾等的自然流动，使园艺设施内保持适宜湿度环境。



通风换气

可促进水蒸气扩散，防止作物沾湿。





自然通风



除湿

50%通风



除湿



20%单向通风



40%通风，双向通风



除 湿



除 湿

顶
部
通
风





除 湿

加温除湿





除湿机或除湿型热交换通风装置

(二) 园艺设施的加湿措施

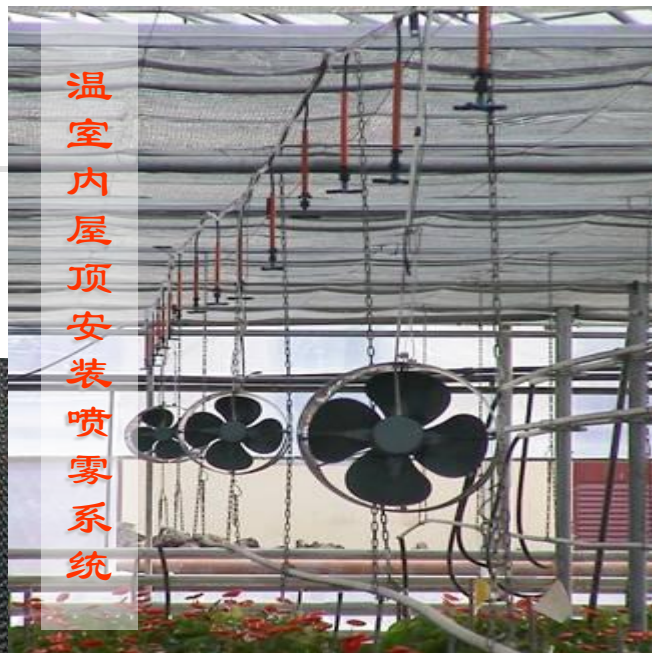
喷雾加湿



湿帘加湿



温室内屋顶安装喷雾系统



(三)、园艺设施内土壤湿度的调节措施

1. 灌水期与灌水量

主要依靠经验，综合考虑土壤墒情和植株生长发育状况来确定。

灌水量 (TRAM) /mm= (FC-IP) D10/CP

FC-田间持水量%

IP-生长受阻水分点%

D-限制土层厚度cm

CP-限制土层耗水率%

- 采用土壤水分张力计测得的指标， pF 多与作物生育的关系，来确定当 pF 值多少时为灌水期。





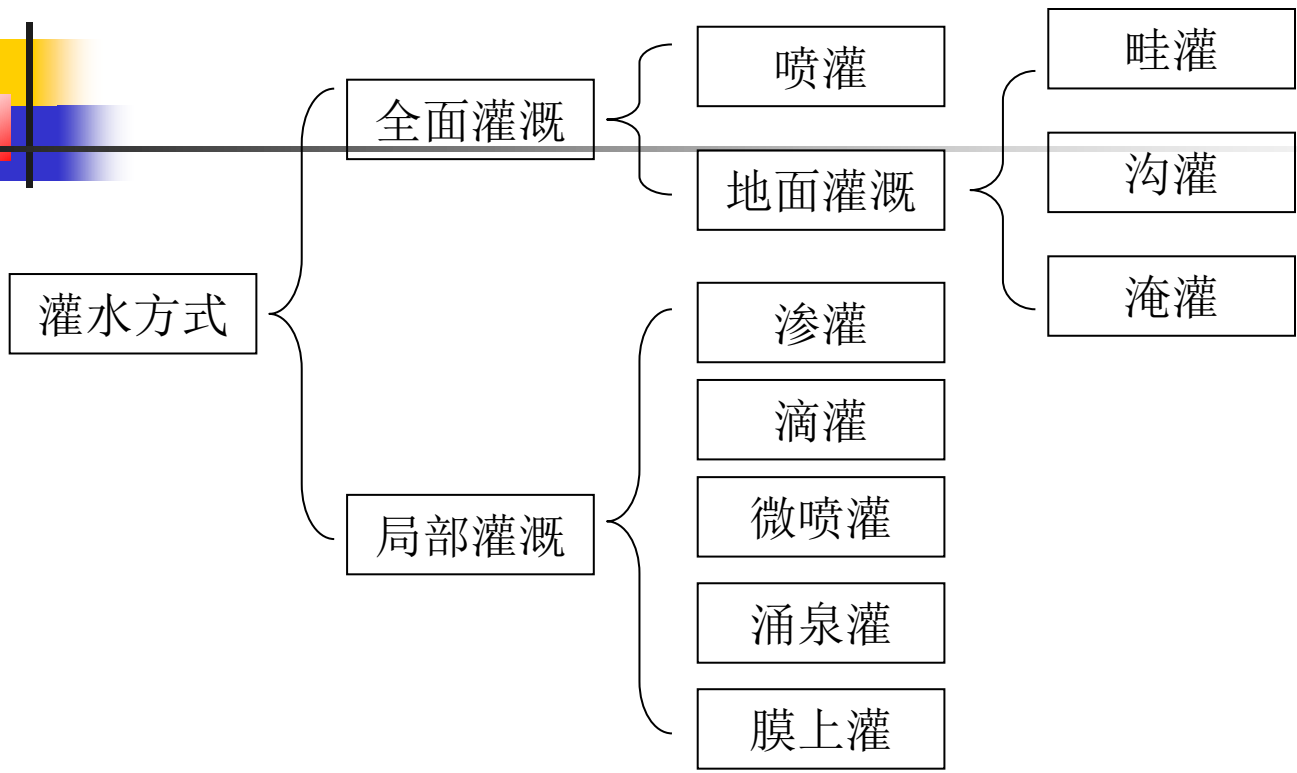
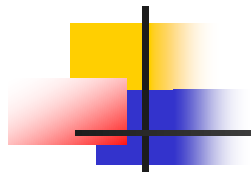
pF

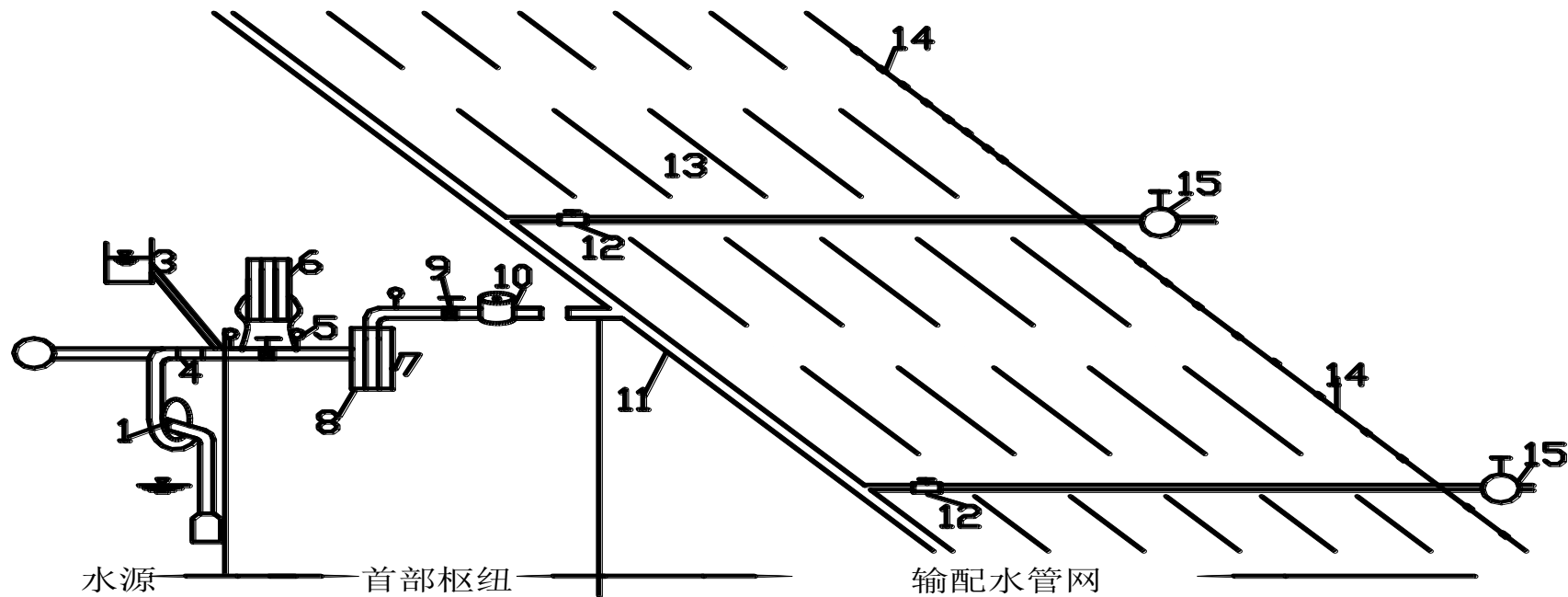
值是由土壤水分张力计所测得的土壤负压值换算成以毫米水柱表示的数值，减去张力计压力表头到陶瓷管中心高度相应的水柱数值。然后取对数即为pF值。pF值越大，土壤水分越小。



2. 灌水技术

- ① 淹灌或沟灌
- ② 喷壶洒水
- ③ 喷灌
- ④ 水龙浇水法
- ⑤ 滴灌
- ⑥ 地下灌溉





微灌系统示意图

- 1—水泵; 2—供水管; 3—蓄水池; 4—逆止阀; 5—压力表;
 6—施肥罐; 7—过滤器 8—排污管; 9—阀门; 10—水表; 11—干管;
 12—支管; 13—毛管; 14—灌水器; 15—冲洗阀门



第五节 土壤环境及其调控



土壤环境的组成和特点


1、土壤的气体条件

- 二氧化碳浓度高
- 透气性差

2、土壤的生物条件

3、土壤的营养条件

- 土壤次生盐渍化
- 土壤养分不平衡
- 土壤酸化



园艺设施内土壤的特点：

- 土壤微生物活动旺盛，有机质有机质含量高且分解较快，二氧化碳气体浓度高。
- 适宜的环境条件有利于病原菌和害虫的繁殖，很难根治。
- 土壤淋溶作用小，养分残留量高，易发生土壤次生盐渍化。
- 大多数设施土壤养分供应不平衡，普遍表现为“氮过剩、磷富积、钾缺乏”。
- 土壤连作栽培现象普遍，易发生土壤连作障碍。
- 土壤酸化。

一、盐分运移

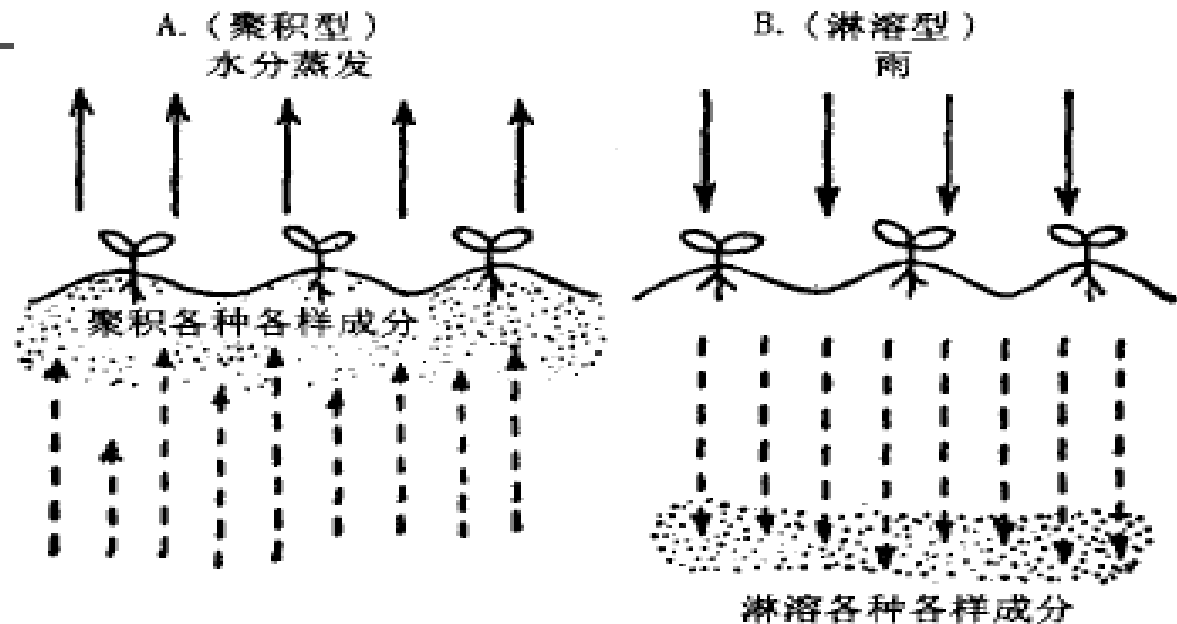


图 4-32 自然土壤与设施土壤的差别

A. 设施内: B. 露地

二、次生盐渍化



残存的养分离子大量聚集

在表层土壤中，土壤盐分

浓度过高，对园艺作物的

生长发育造成不良影响





三、养分供应不平衡

- “氮过剩、磷富积、钾缺乏”
- Zn、Ca、Mg缺乏，温室番茄“脐腐”果高达
70%~80%，果实风味差，病虫害多
- 土壤EC值与设施使用年限成正比



四、土壤酸化

- N肥施用量过多，残留量大而引起
- pH值过低直接危害作物
- 抑制P、Ca、Mg等元素的吸收

五、连作障碍

➤ 土传病害日趋

严重

➤ 产量明显降低



甜瓜枯萎病



土壤环境的调控


1.改善土壤的气体环境

- ✓ 施入有机肥
- ✓ 适时中耕
- ✓ 合理灌溉
- ✓ 地面覆盖



2.土壤消毒，改善生物环境

- ✓ 药剂消毒
- ✓ 高温消毒
- ✓ 蒸汽消毒
- ✓ 通电消毒



3. 土壤次生盐渍化的防治

- ✓ 选址建造
- ✓ 合理施肥
- ✓ 淋雨洗盐
- ✓ 灌水洗盐
- ✓ 地面覆盖
- ✓ 生物除盐
- ✓ 深耕土壤
- ✓ 客土换壤



一、平衡施肥

- 根据土壤供肥能力和作物需肥规律，进行平衡施肥
- 配方施肥是设施园艺生产的关键技术之一
- 我国园艺作物配方施肥技术研究要远远落后于大田作物
- 花卉与果树配方施肥更少有研究
- 设施蔬菜配方施肥技术研究正处于起步阶段，一些用于配方施肥的技术参数还很缺乏



二、合理灌溉

- 合理灌溉降低土壤水分蒸发量，有利于防止土壤表层盐分积聚
- 灌溉的方式和质量是影响土壤水分蒸发的主要因素
- 漫灌和沟灌都将加速土壤水分的蒸发，易使土壤盐分向表层积聚
- 滴灌和渗灌是最经济的灌溉方式，同时又可防止土壤下层盐分向表层积聚，是较好的灌溉措施

三、增施有机肥



四、换土、轮作

- 换土是解决土壤次生盐渍化的有效措施之一，但是劳动强度大不易被接受，只适合小面积应用
- 轮作或休闲也可以减轻土壤的次生盐渍化程度，达到改良土壤的目的
- * 蔬菜保护设施连续使用几年以后，种一季露地蔬菜或一茬水稻，对恢复地力、减少生理病害和病菌引起的病害都有显著作用

五、药剂灌根

在未发病之前采用药剂灌根可有效地防治土传病虫害的发生；一旦病害已经发生，用药只能起到阻止蔓延的作用

- 杀虫剂：主要用于防治蝼蛄、蛴螬、地老虎和地蛆等地下害虫

中低毒有机磷农药：乐斯本、敌百虫、辛硫磷

高度有机磷农药：甲氨磷、甲拌磷

氨基甲酸酯农药：呋喃丹、铁灭克

- 防病药剂：主要用于防治猝倒病、根腐病、枯萎病
土菌消（绿亨X号）、福美双、多菌灵、甲基托布津、甲霜灵等。

六、嫁接



七、无土栽培



七、无土栽培

特点

- 产量高，品质优，效益大
- 节省肥、水用量
- 防止土壤连作病害及土壤盐分积累造成的生理障碍



七、无土栽培

特点



■ 不受地域限制，土地
利用率高

七、无土栽培

特点

▼ 有利于保护栽培向机械化、自动化、现代化的管理方向发展



七、无土栽培

特点

- 产品清洁卫生，无污染



七、无土栽培

基质栽培



无基质栽培

无基质栽培

水培

浅液流栽培
(NET)

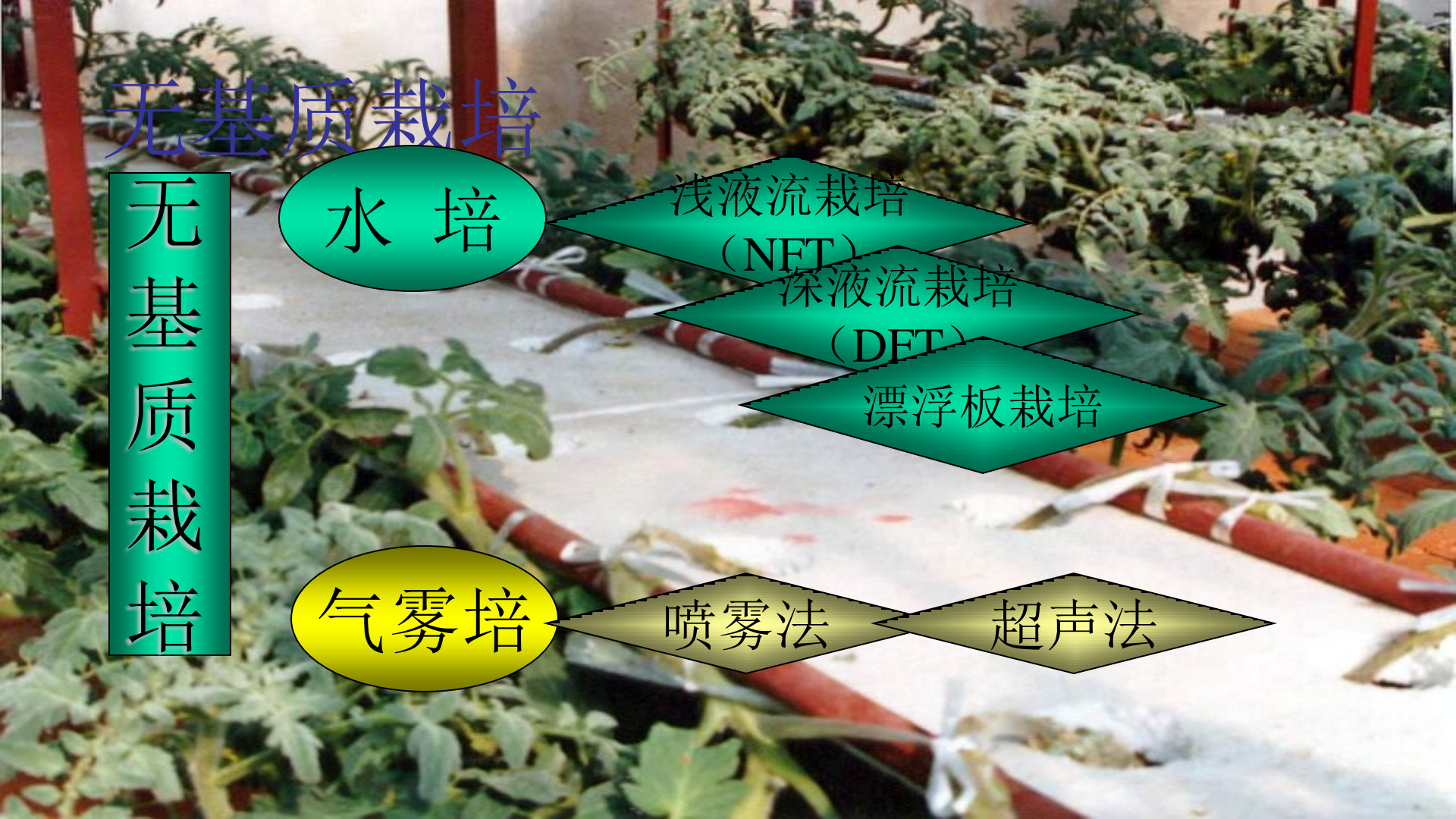
深液流栽培
(DFT)

漂浮板栽培

气雾培

喷雾法

超声法





八、土壤消毒

- 药剂消毒
- 蒸汽消毒
- 太阳能消毒

(一) 药剂消毒

福尔马林
(40%甲醛)

- 主要用于床土消毒
- 使用浓度：50~100倍水溶液
- 用量：每亩用药液量100公斤

翻松
床土

喷洒
药液

翻土

覆盖
地膜

5~7天
撤膜

翻土
1~2次

播种

(一) 药剂消毒

溴甲烷、
氯化苦

对 黄 瓜 疫 病 防 效 最 好
对消灭杂草种子、线虫效果良好

旋耕松土

喷潮土壤

覆盖地膜
密闭

灌入溴甲烷
40g/m²

撤膜
冬季7天/其他3天

松土散药

耕作

溴甲烷汽化的温度比氯化苦低，适于在低温季节使用

(一) 药剂消毒

主要用于防治猝倒病

每平方米播种苗床用药量：

- 40%五氯硝基苯粉剂9g + 细土4~5kg
- 25%甲霜灵可湿性粉剂9g + 70%代森锰锌可湿性粉剂1g + 细土4~5kg

用法：

打透底水 → 1/3药土撒在床面 → 播种 → 2/3药土覆盖

(一) 药剂消毒

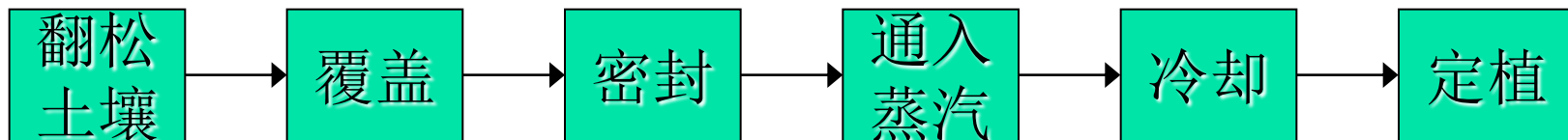
硫磺粉

- 用于温室及床土消毒
- 消灭白粉病菌、红蜘蛛等
- 一般在播种前或定植前2~3天进行熏蒸，熏蒸时要关闭门窗，熏蒸一昼夜即可

(二) 蒸汽消毒

- ▶ 利用高温蒸汽杀死土壤中的病菌和虫卵
- ▶ 优点：无污染和残毒
- ▶ 缺点：能耗较大，成本高

▶ 过程：



(三) 太阳能消毒

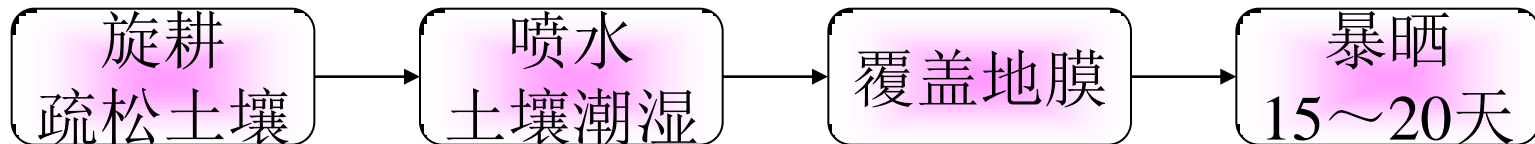
在温室高温休闲季节，利用强日照暴晒土壤，产生高温杀死病菌和虫卵

优点：无污染，节能

缺点：有时温度不够高，消毒效果较差

方法一

适用于大面积机械化露地作业



方法二

适用于小面积日光温室或塑料大棚

