

# 第五章 植物的光合作用

第一节 光合作用的意义、研究历史与度量

第二节 叶绿体及叶绿体色素

第三节 光合作用的机理

第四节 光呼吸

第五节 影响光合作用的因素

第六节 植物对光能的利用



# 第四节 光呼吸（C<sub>2</sub>循环）

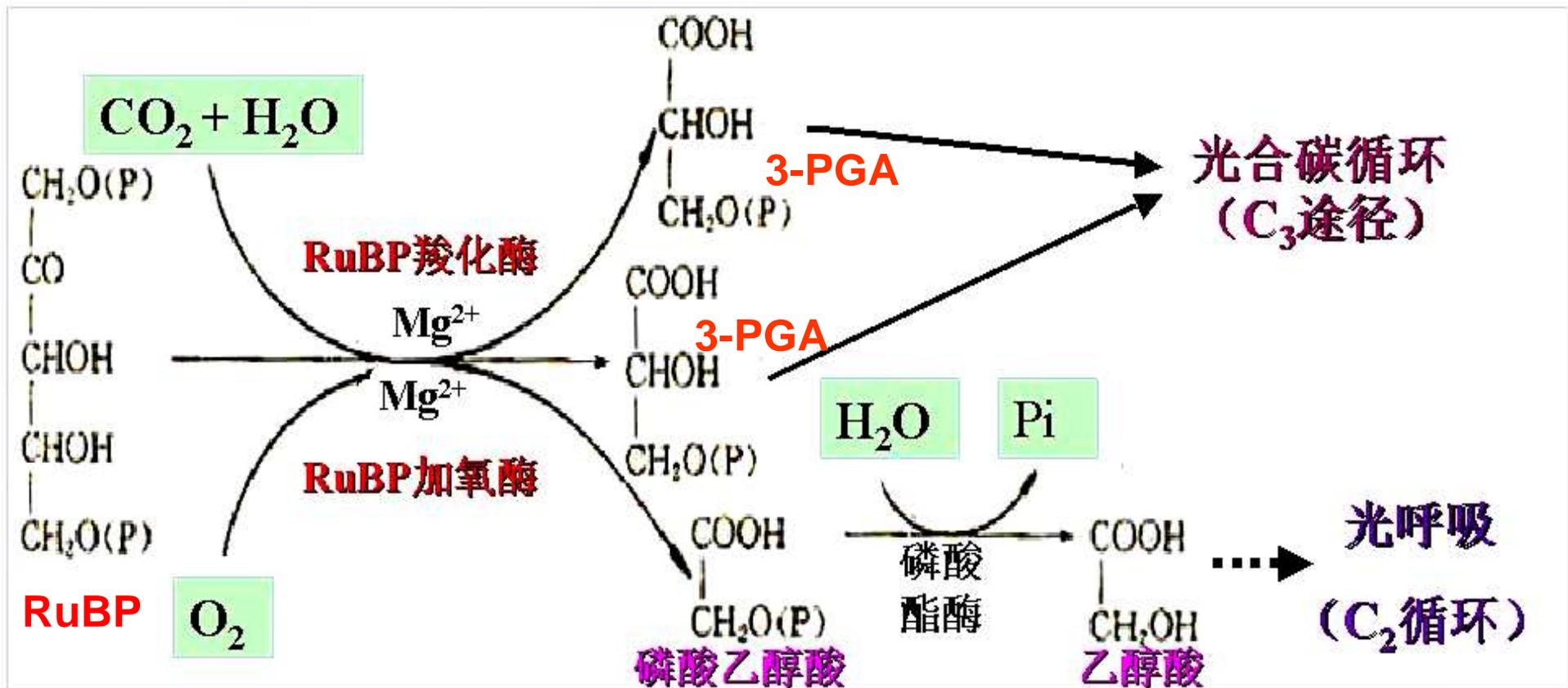
**光呼吸：植物绿色细胞进行依赖光的吸收O<sub>2</sub>、释放CO<sub>2</sub>的过程。**

**特点：光呼吸只能在光下进行**

生活细胞的一般呼吸作用在光下或黑暗中都可以进行, 对应地称为暗呼吸。

# 一、光呼吸的生化过程

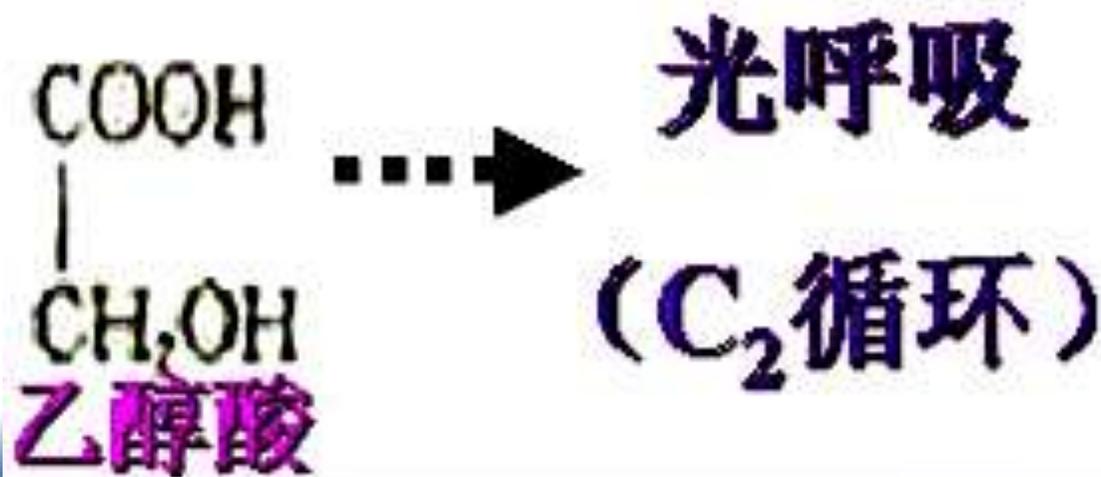
这一切源于：Rubisco具有双重催化功能，  
催化生成①**3-PGA**②**磷酸乙醇酸**



核酮糖-1,5-二磷酸(RuBP); 3-磷酸甘油酸(3-PGA); 甘油醛-3-磷酸(GAP)

# 光呼吸底物——乙醇酸

## 因此称为C<sub>2</sub>循环



# 全过程需叶绿体、过氧化体和线粒体

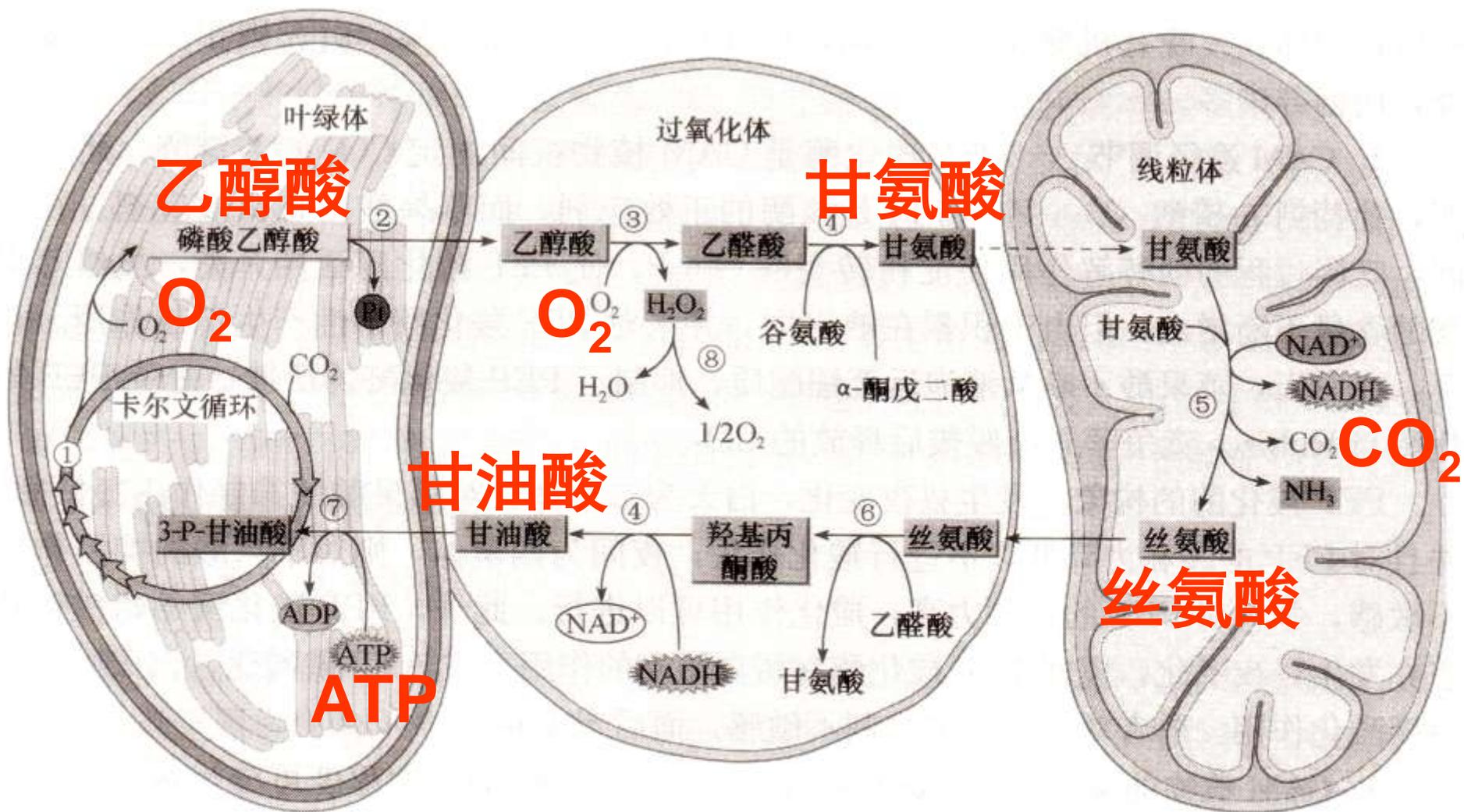


图 5-21 光呼吸的 C<sub>2</sub> 循环

①RuBP 加氧酶；②磷酸乙醇酸磷酸酶；③乙醇氧化酶；④转氨酶；⑤甘氨酸脱氢酶；⑥丝氨酸羟甲基转氨酶；

⑦羟基丙酮酸还原酶；⑧甘油酸激酶

光呼吸是一个**消耗能量**和**O<sub>2</sub>**的过程。  
O<sub>2</sub>的消耗部位是**叶绿体**和**过氧化体**。



## 二、光呼吸的生理功能

**过去的认识**——因为光呼吸可消耗C<sub>3</sub>植物已固定碳素的25%~30%，有时甚至高达50%，人们一度认为，光呼吸是一种浪费，对植物有害无益。

**现在的认识**——许多研究表明，光呼吸在高等植物中普遍存在，从进化的观点出发，光呼吸可能是对内部环境的代谢调整，也可能是对外部条件（如高光强）的主动适应。



# 光呼吸的生理功能：

1. 消除乙醇酸的毒害
2. 防止高光强对光合机构的破坏
3. 消除氧的伤害
4. 是氨基酸生物合成的补充

**逼不得已**



很苦

是药三分毒！



张嘴吃药



# 三、降低光呼吸的措施

希望通过控制光呼吸  
来提高光合效率

1. 提高CO<sub>2</sub>浓度
2. 应用光呼吸抑制剂
3. 选育低光呼吸品种



# 第五节 影响光合作用的因素

## 一、光合作用指标

①光合速率

②光合生产率

**光合速率(photosynthetic rate):** 单位时间、单位叶面积吸收 $\text{CO}_2$ 的量或放出 $\text{O}_2$ 的量,常用单位有 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $\mu\text{mol}/(\text{dm}^2 \cdot \text{h})$ 。



一般测定光合速率的方法,包括**红外CO<sub>2</sub>分析仪法**、**氧电极法**、**半叶法**等,都没有排除叶片呼吸作用的影响,所测结果实际上是光合作用减去呼吸作用的差值,称为**表观光合速率**或**净光合速率**。

**总(真正)光合速率=表观光合速率+呼吸速率**



**光合生产率(photosynthetic production rate)又称为净同化率(net assimilation rate, NAR): 植物在较长时间(一昼夜或一周)内,单位叶面积生产的干物质质量,常用单位 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。**

光合生产率比光合速率低,因为在夜间叶片呼吸要消耗部分光合产物。



# 二、影响光合作用的因素

## 内部因素+外部因素

植物自身因素

环境因素



# 内部因素：

(一) 叶龄

(二) 光合产物的输出



# (一) 叶龄

叶片光合速率随叶龄增加呈现“**低-高-低**”的变化规律。

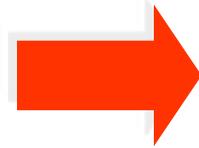


**叶片功能期:** 叶片充分展开后光合速率维持较高水平的时期。

**功能叶:** 处于功能期的叶片。

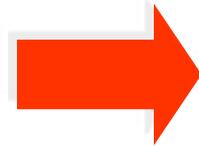
## (二) 光合产物的输出

摘去花或果实等光合产物的接纳器官



叶片的光合速率降低

摘除一些叶片



光合速率增加

**原因:**

① 反馈抑制

蔗糖的积累会反馈抑制磷酸蔗糖合成酶活性

② 淀粉粒的影响

过多的淀粉粒①压迫和损伤叶绿体, ②对光有遮挡作用

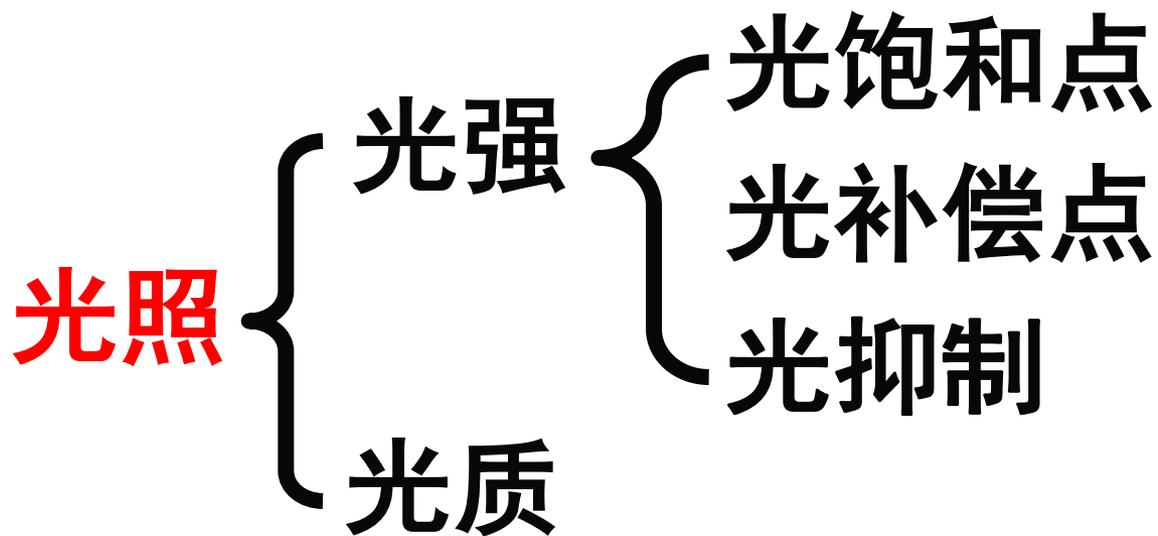
# 外部因素：

- (一) 光照
- (二) CO<sub>2</sub>浓度
- (三) 温度
- (四) 水分
- (五) 矿质营养



# (一) 光照

- ① 能量来源
- ② 形成叶绿素和叶绿体的必要条件
- ③ 调节光合碳同化过程中许多酶的活性
- ④ 气孔开度



# 光强:

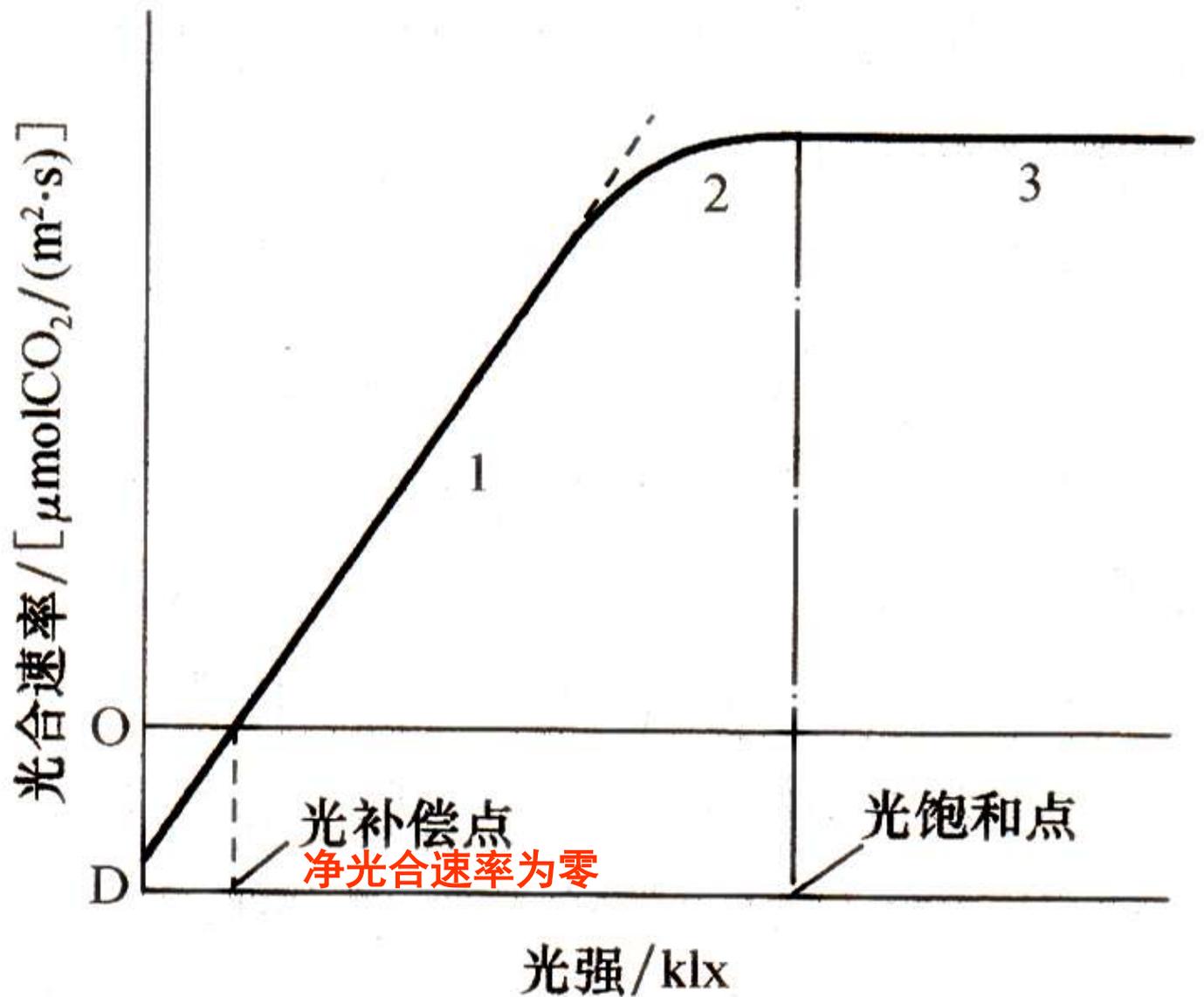


图 5-23 光照强度-光合速率曲线模式图

1. 线性阶段； 2. 过渡阶段； 3. 饱和阶段

# 光强：

**光补偿点：**叶片的光合速率与呼吸速率相等，净光合速率为零时的光照强度。

**光饱和现象：**当达到某一光强时，光合速率就不再随光照强度增强而增加的现象。

**光饱和点：**光合速率开始达到最大值时的光照强度。

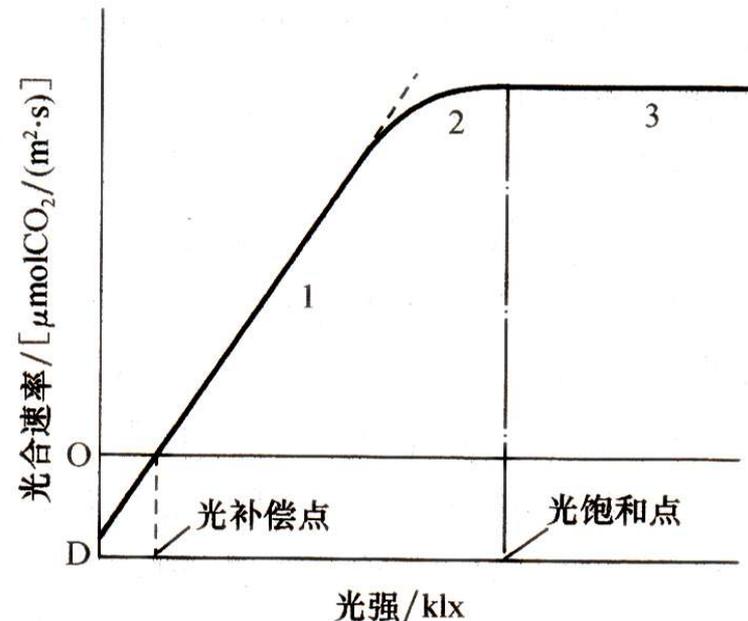
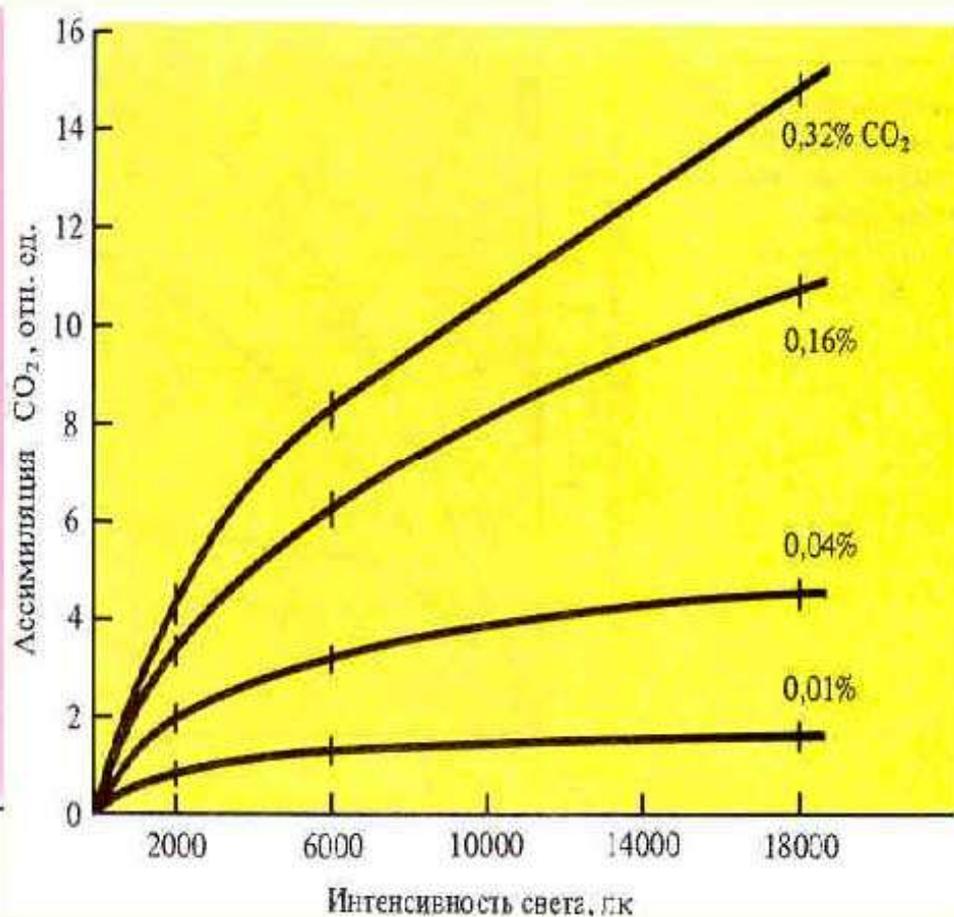
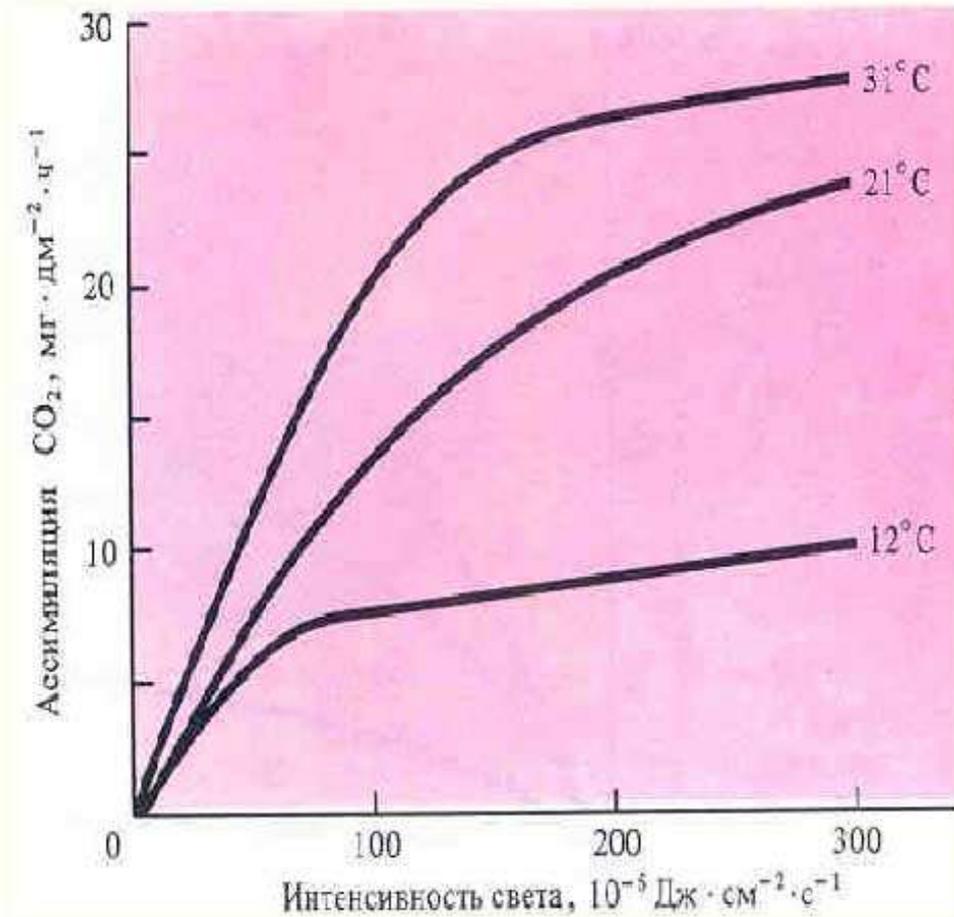


图 5-23 光照强度-光合速率曲线模式图

1. 线性阶段；2. 过渡阶段；3. 饱和阶段



**光照强度对光合速率的影响  
(不同温度、不同CO<sub>2</sub>浓度下)**

光补偿点与光饱和点:

草本植物 > 木本植物

阳生植物 > 阴生植物

光饱和点:

$C_4$ 植物 >  $C_3$ 植物



# 植物在强光下出现光饱和现象的原因：

暗反应速度跟不上光反应

拖后腿

① $\text{CO}_2$ 扩散速率

② $\text{CO}_2$ 固定速率

$\text{C}_4$ 植物一般不会出现光饱和现象原因：

主要归根于 $\text{CO}_2$ 泵的作用

使叶片内有较高 $\text{CO}_2$ 浓度



# 拖后腿

暗反应速度跟不上光反应



拖后腿

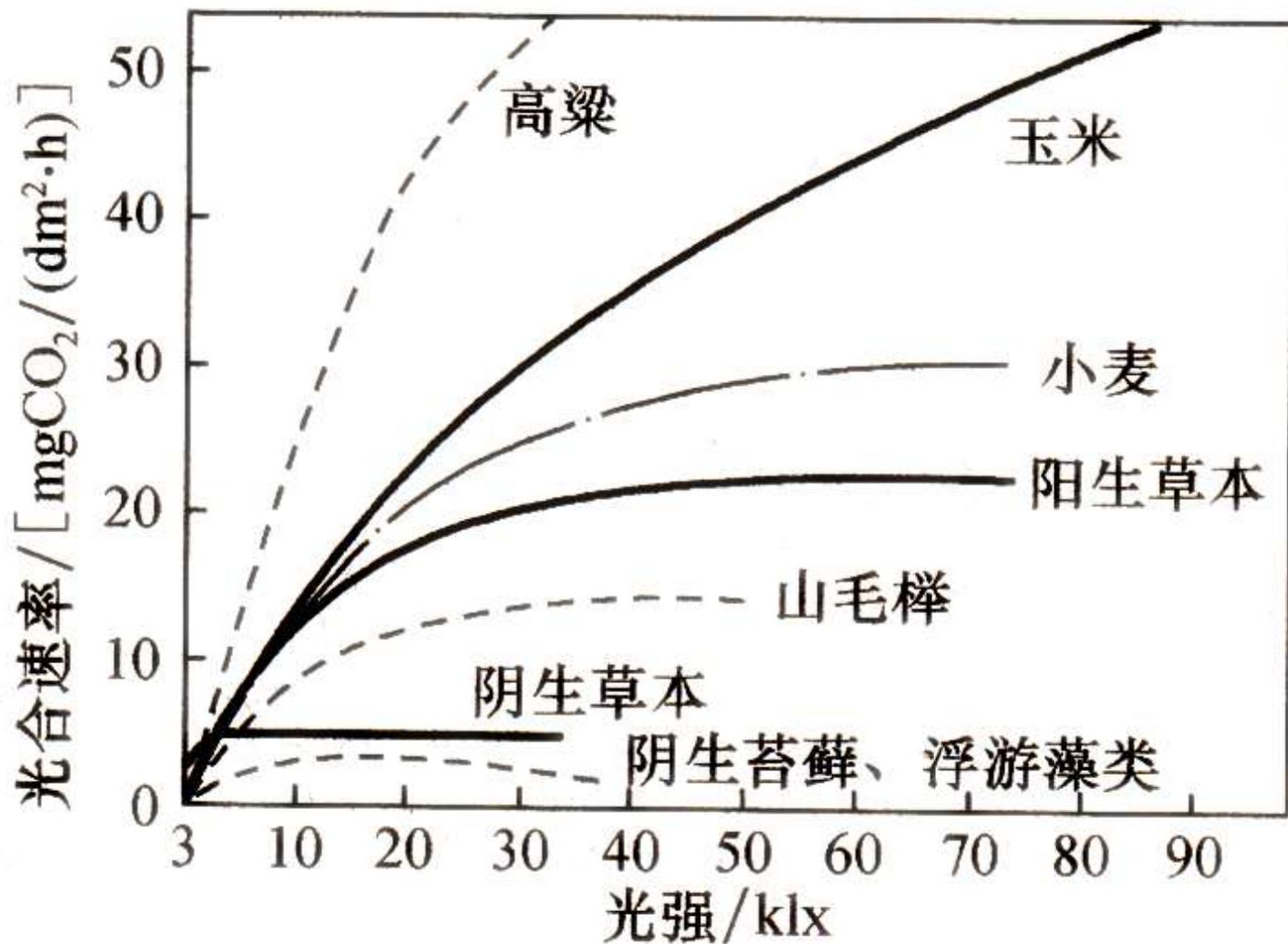


图 5-24 在适宜温度、正常  $\text{CO}_2$  浓度条件下，不同植物光合速率与光照强度的关系



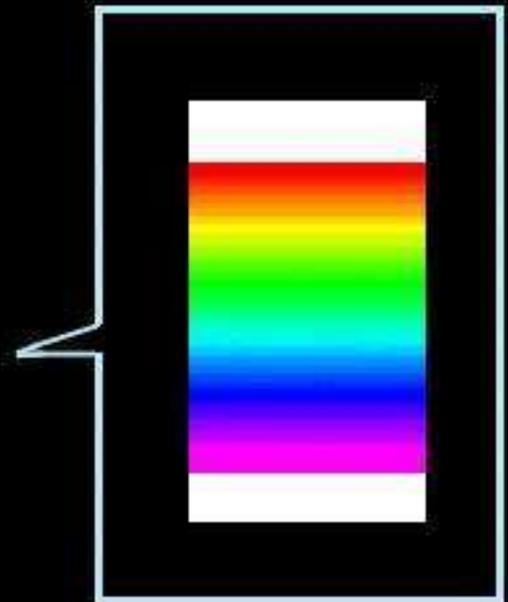
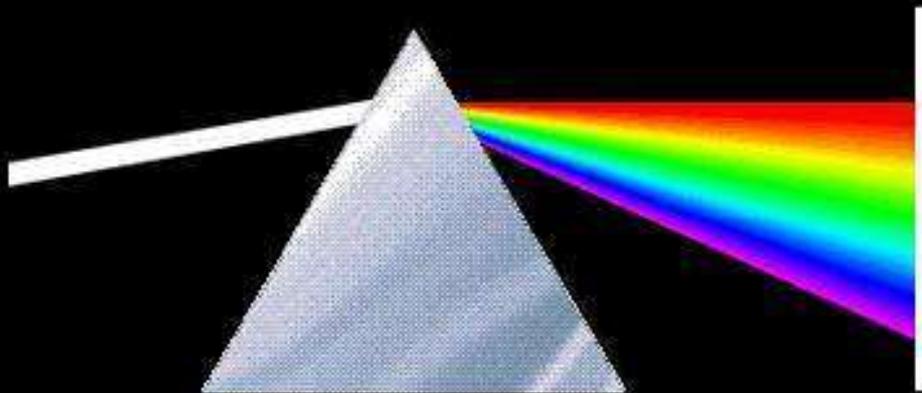
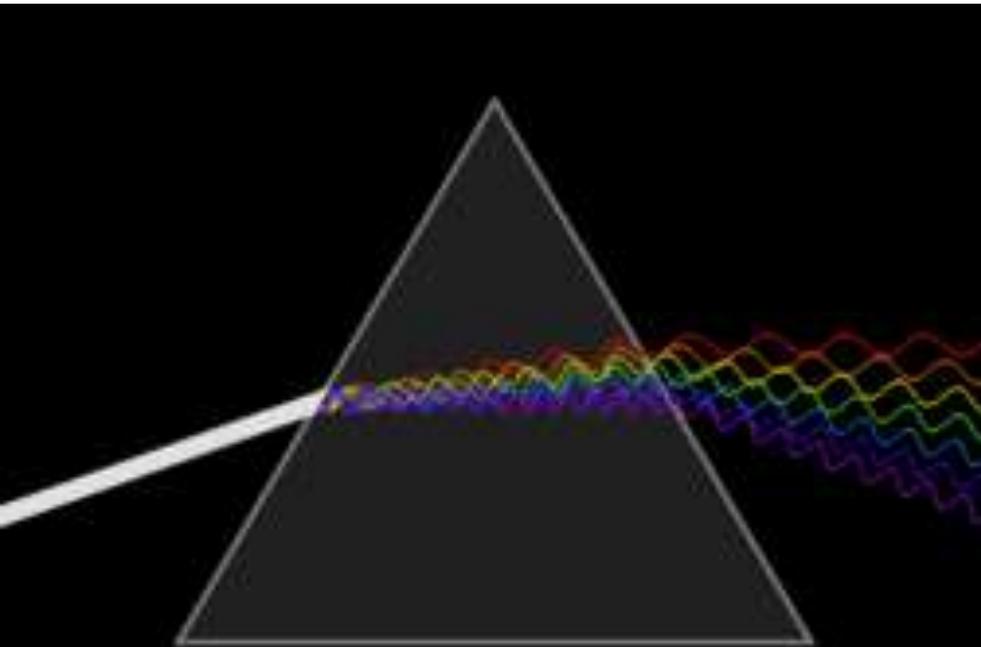
**光抑制：**当植物吸收的光能超过光合作用的需要时,过剩的光能会导致光合强度降低的现象。

**光能过剩产生的不利效应**

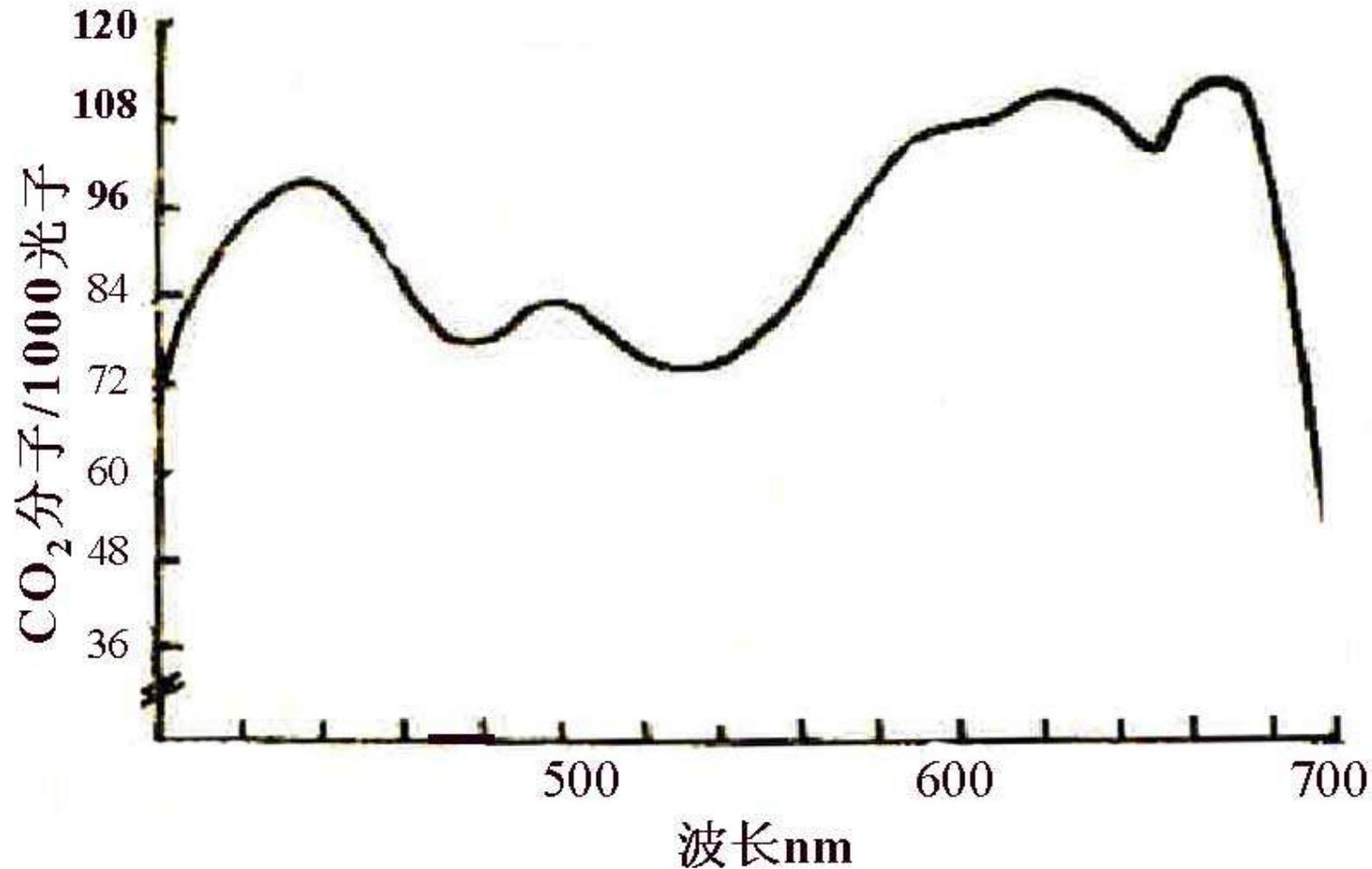
**即：强光下产生的活性氧损伤光合机构**



# 光质：



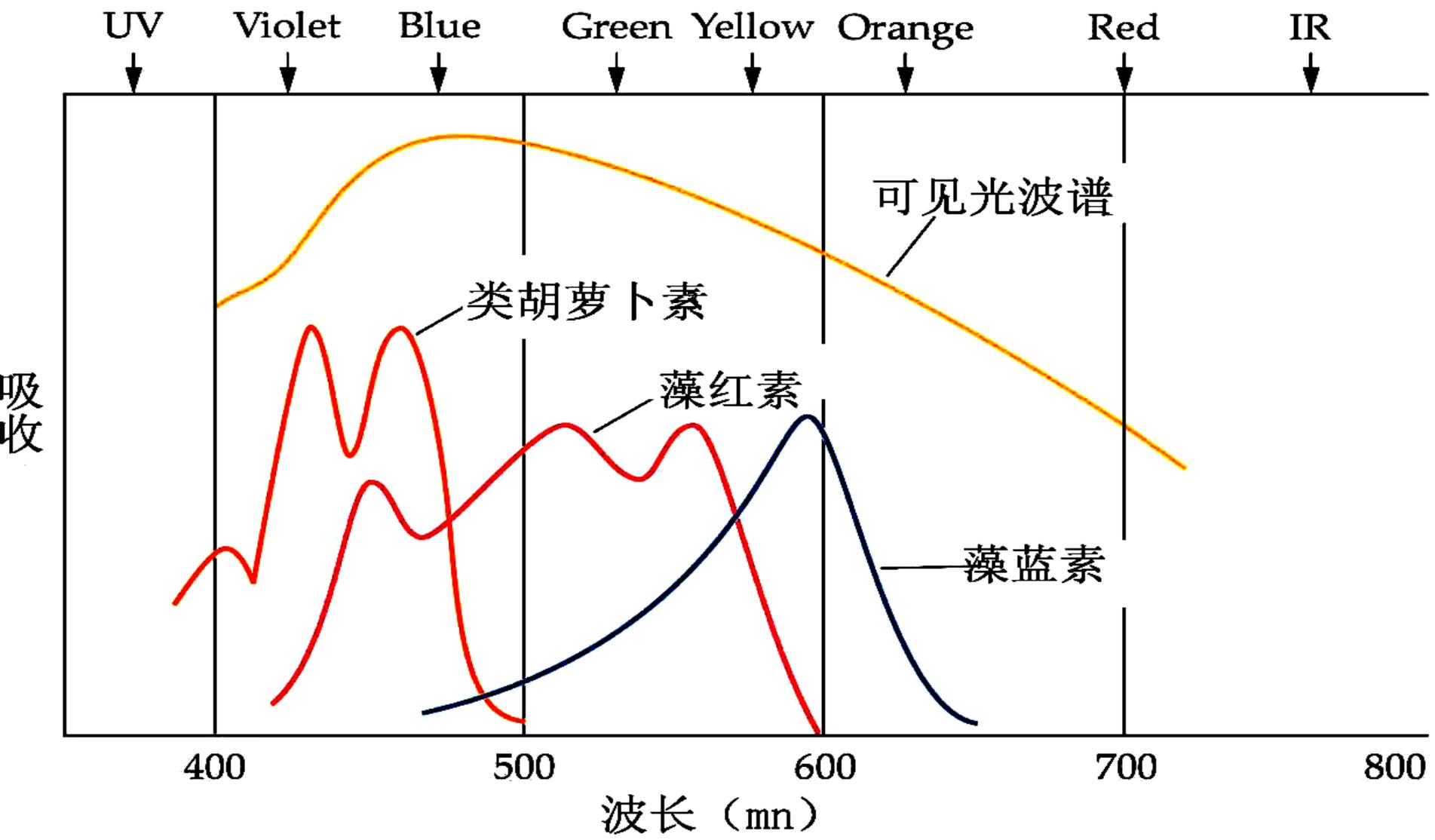
# 光质：



不同光波下菜豆的光合速率



# 原因：主要受光合色素的吸收光影响



吸收

可见光波谱

类胡萝卜素

藻红素

藻蓝素

波长 (nm)



## (二) 二氧化碳

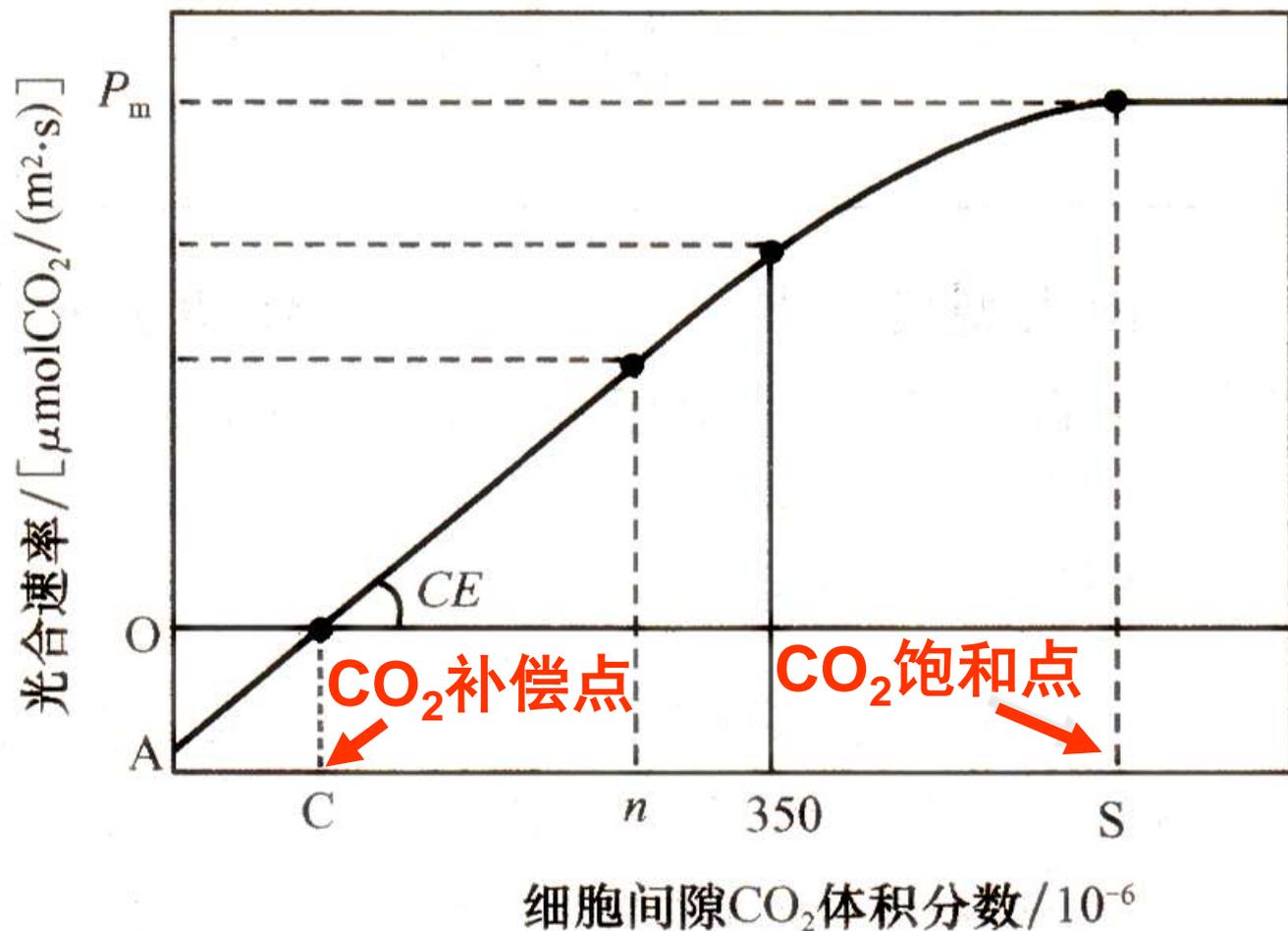


图 5-26 CO<sub>2</sub>-光合速率曲线模式图

$n$  点为空气浓度下细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度，

其他各点含义见正文

**CO<sub>2</sub>补偿点：**叶片的光合速率与呼吸速率相等，净光合速率为零时的CO<sub>2</sub>浓度。

**CO<sub>2</sub>饱和点：**光合速率开始达到最大值时的CO<sub>2</sub>浓度。

C<sub>4</sub>植物的CO<sub>2</sub>补偿点一般低于C<sub>3</sub>植物。

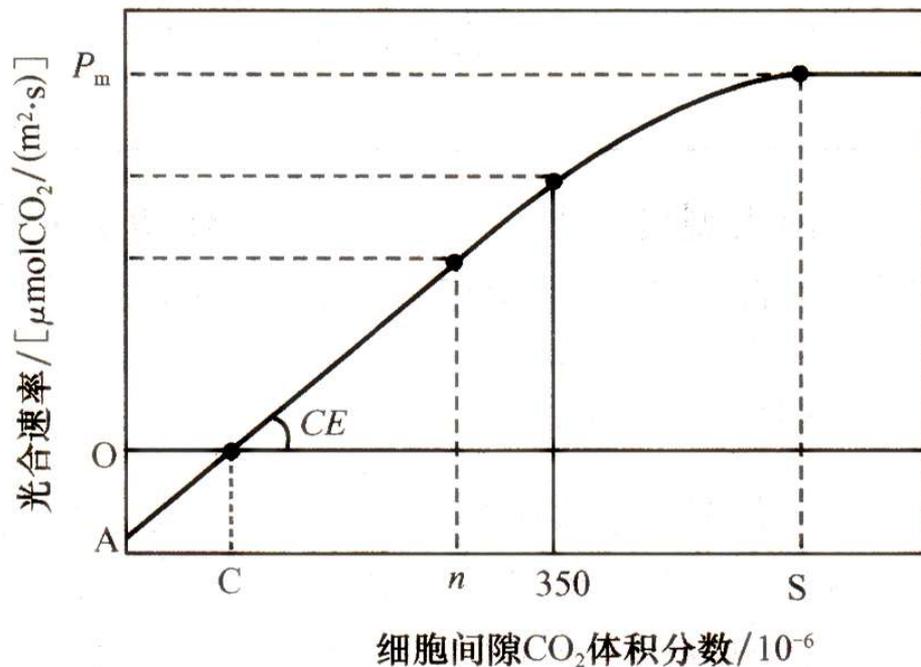
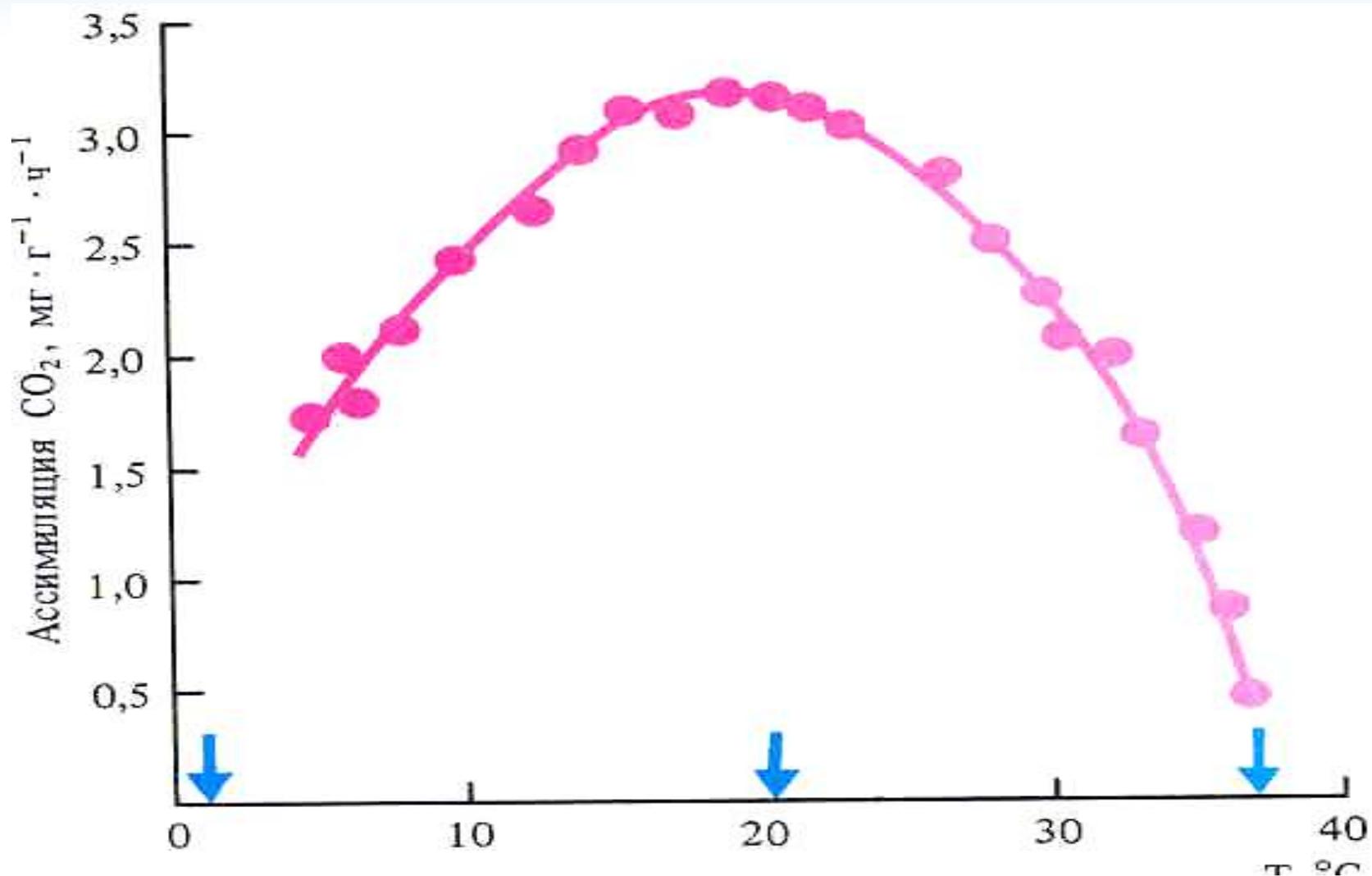


图 5-26 CO<sub>2</sub>-光合速率曲线模式图

n 点为空气浓度下细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度，

其他各点含义见正文

# (三) 温度



温度对光合速率的影响

光合作用的暗反应是一系列酶促反应,其反应速度受**温度**影响,因此温度也是影响光合速率的重要因素。

光合作用温度三基点:

- ①最低温度
- ②最适温度
- ③最高温度

光合作用的温度三基点因植物种类而异



表 5-2 在自然 CO<sub>2</sub> 浓度和光饱和条件下不同植物光合作用的三基点温度 (°C)

	植物种类	最低温度	最适温度	最高温度
草本植物	热带 C <sub>4</sub> 植物	5~7	35~45	50~60
	C <sub>3</sub> 农作物	-2~0	20~30	40~50
	阳生植物 (温带)	-2~0	20~30	40~50
	阴生植物	-2~0	10~20	约 40
	CAM 植物 (夜间固定 CO <sub>2</sub> )	-2~0	5~15	25~30
木本植物	春天开花植物和高山植物	-7~2	10~20	30~40
	热带和亚热带常绿阔叶乔木	0~5	25~30	45~50
	干旱地区硬叶乔木和灌木	-5~1	15~35	42~55
	温带冬季落叶乔木	-3~1	15~25	40~45
	常绿针叶乔木	-5~3	10~25	35~42



# 高温使光合速率下降的原因:

- ①光合膜结构和酶蛋白的热变性
- ②高温下光呼吸和暗呼吸速率加强, 净光合速率下降

较大的昼夜温差有利于光合产物积累



甜



洛浦观景 摄影



吐鲁番的葡萄

# 新疆哈密瓜



甜



## (四) 水分

水是光合作用的原料之一。但是,植物一生中用于光合作用原料的水只占植物吸水量的1%左右,因此,缺水对光合作用的影响主要是间接原因。

- ①气孔开度下降,影响 $\text{CO}_2$ 进入叶内
- ②造成光合产物积累
- ③缺水较严重时,光合磷酸化过程解偶联



# (五) 矿质元素

## 直接或间接的影响

### 直接

- ① N、Mg、Fe和Mn等是叶绿素生物合成所必需的
- ② Cu、Fe、S、Mn和Cl参与电子传递和光合放氧过程

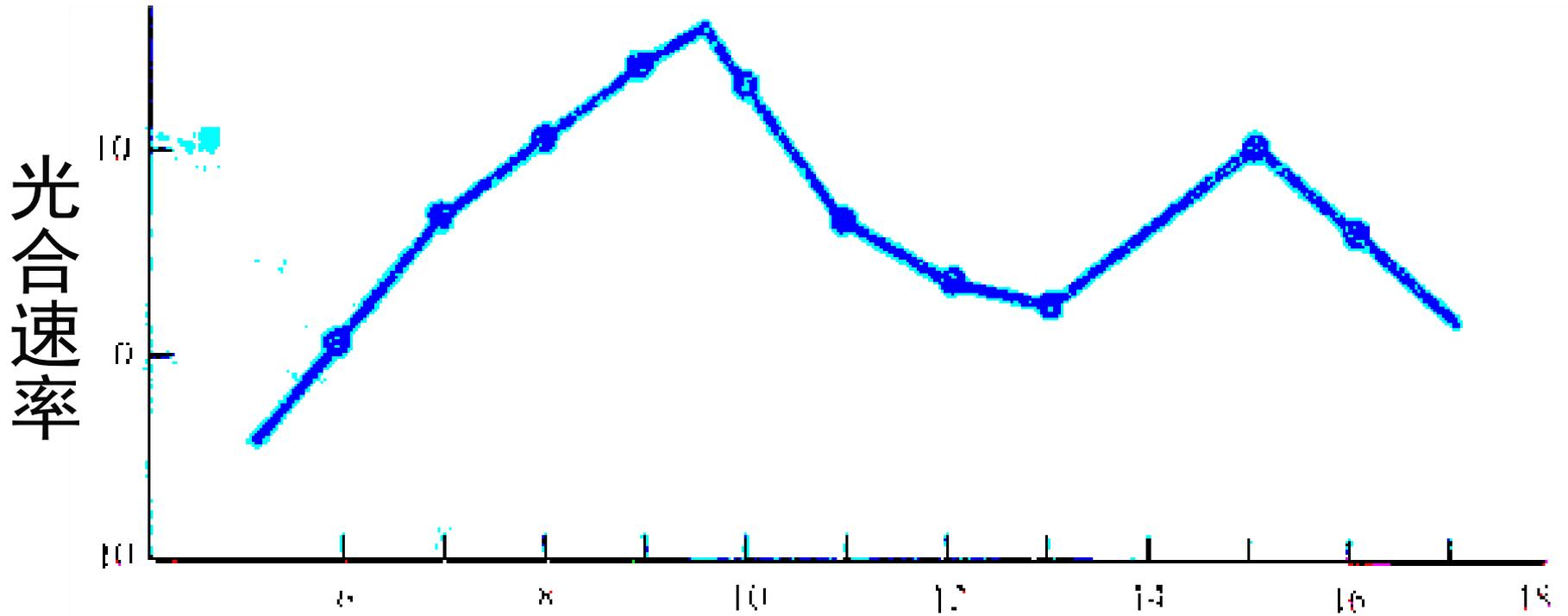
### 间接

- ③ K和P等参与糖类代谢,缺乏时影响糖的转化和运输



# 三、光合作用日变化

气温高,光照强烈,光合速率日变化呈双峰曲线;大的峰出现在上午,小的峰出现在下午,中午前后光合速率下降,呈现光合“午休”现象。



**“午休”现象**

# 原因：

①高温和缺水，引起气孔开度降低或部分气孔关闭,使进入叶片内的CO<sub>2</sub>减少

②光呼吸增强

由光合“午休”造成的光合产物损失可达30%以上,是影响作物产量的一个重要因素。在生产上可采取适时灌溉等措施,避免或减轻光合“午休”现象。



# 第六节 植物对光能的利用率

## 一、光能利用率与产量的关系

### 1. 光能利用率：

单位地面上的植物光合作用积累有机物所含能量占照射在同一地面上的日光能量的百分比。

### 2. 光能利用率与产量的关系：

单位面积作物干物质所含热量（J）

$$\text{光能利用率（\%）} = \frac{\text{单位面积作物干物质所含热量（J）}}{\text{单位面积太阳平均总辐射能（J）}} \times 100\%$$



**表 5-3 照射到作物冠层日光全辐射在光合过程中的能量损耗**

能量损耗	损耗占总能量/%
到叶片表面日光辐射	0
光合无效辐射 (<400nm, >700nm)	47
吸收不完全 (反射、透射) 及非叶绿体组织吸收损失约 30%	16
吸收的光能在传递到光合反应中心色素过程中损失约 24%	9
反应中心色素激发态能量在转化成葡萄糖等过程中损失 68%	19
光、暗呼吸损失 34%~45%	4
被光合作用固定的能量	5

**实际上，目前高产田的年光能利用率仅为1%~2%，而一般低产田的年光能利用率只有0.5%左右。**



## 二、作物光能利用率低的原因

实际光能利用率比理论光能利用率低的主要原因有两个：

### ①漏光损失

估计水稻或小麦等作物田间漏光损失在50%以上

### ②环境条件不适

在逆境条件下作物的光合生产率要比顺境下低得多



# 三、提高光能利用率的途径

## (一)植物机能的遗传改良

杂交(超级杂交稻)、转基因

## (二)避免环境胁迫

在逆境条件下作物的光合生产率要比顺境下低得多

## (三)改进栽培方法

创造合理的群体结构



# 超级杂交稻



海南大学应用科技学院





6月17日晚，世界杂交水稻之父、中国工程院院士袁隆平邀请来到华南热带农业大学作题为“崇尚科学，追求真理”的主题报告。

报告定于晚上8时开始，但7点30分，影剧院已是座无虚席，过道上和大门处都挤满了人。更有很多老师和同学在主席台下1米之处席地而坐。

地球上一切生物所消耗的能量,绝大部分都来自于绿色植物的光合作用

**光合作用:** 利用太阳光能, 将CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O合成有机物质, 并释放O<sub>2</sub>的过程

**意义:** 把无机物变为有机物; 把光能转变成化学能; 维持大气O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的相对平衡

器官: 叶片; 场所: 叶绿体; 叶绿体的前身: 前质体;

光合色素: **叶绿素类**(叶绿素a, 叶绿素b); **类胡萝卜素类**(胡萝卜素, 叶黄素); **藻胆素**

叶绿素: 类胡萝卜素 ≈ 3:1; 叶绿素a: 叶绿素b ≈ 3:1; 叶黄素: 胡萝卜素 ≈ 2:1

荧光 (fluorescence) 与磷光 (phosphorescence)

**机理:** 光反应: 光能吸收与转换(**原初反应, 电子传递和光合磷酸化**);

暗反应: CO<sub>2</sub>的固定与还原(**碳素同化**)

光能的吸收与转换: 反应中心色素, 天线色素(聚光色素)

光合电子传递和光合磷酸化: ①光系统II(PSII)复合体, ②细胞色素b6/f复合体,  
③光系统I(PSI)复合体, ④ATP合成酶

光合电子传递: ①非环式; ②环式; ③假环式

光合磷酸化: 化学渗透机制(ATP合成酶)

**CO<sub>2</sub>同化: C<sub>3</sub> 途径; C<sub>4</sub> 途径; CAM 途径**

**光呼吸**  
**影响光合作用的因素**  
**植物对光能的利用**

海南大学应用科技学院

