

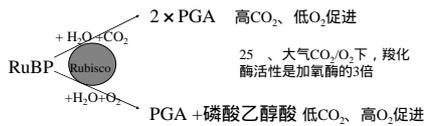
四 光呼吸 Photorespiration

1. 光呼吸的概念：

植物的绿色细胞在光照下吸收 O_2 、释放 CO_2 的现象，称为光呼吸。光呼吸不同于一般的呼吸(暗呼吸)，只有绿色细胞在光照下才能进行。

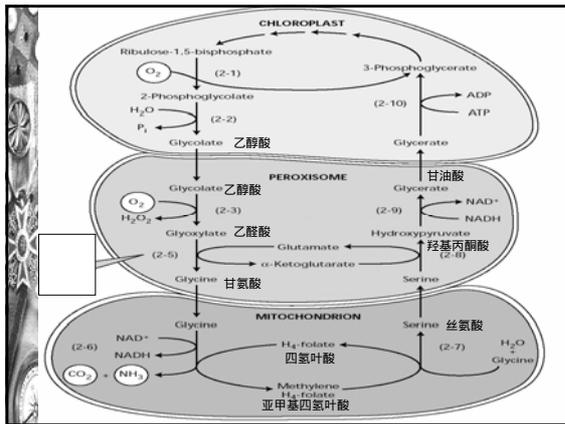
2. 光呼吸的机理：

光呼吸现象存在的根本原因在于Rubisco这个酶是个双向酶：它既具有羧化酶的作用，又具有氧化酶的作用。

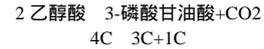


3. 光呼吸与乙醇酸循环的过程

- 光呼吸的底物是磷酸乙醇酸水解生成的乙醇酸
部位：叶绿体： $RuBP + H_2O + O_2 \rightarrow PGA + \text{磷酸乙醇酸}$
 $\text{磷酸乙醇酸} + H_2O \rightarrow \text{乙醇酸} + P_i$
- 2分子乙醇酸经乙醇酸循环(C2 cycle)生成1分子 CO_2 和1分子PGA
 - 过氧化体： $\text{乙醇酸} + O_2 \xrightarrow{\text{乙醇酸氧化酶}} \text{乙醛酸} + H_2O_2$
 $\text{乙醛酸} \xrightarrow{\text{转氨酶}} \text{甘氨酸}$
 - 线粒体： $2 \times \text{甘氨酸} \xrightarrow{\text{丝氨酸羟甲基转移酶}} \text{丝氨酸} + CO_2$
 - 过氧化体： $\text{丝氨酸} \xrightarrow{\text{转氨酶}} \text{羟基丙酮酸} \xrightarrow{\text{甘油酸脱氢酶}} \text{甘油酸}$
 - 叶绿体： $\text{甘油酸} \xrightarrow{\text{甘油酸激酶}} \text{PGA} \rightarrow \text{Calvin Cycle}$
ATP \rightarrow ADP



3) 乙醇酸循环的总反应式：



4. 对光呼吸的看法

- 光呼吸通常把固定的C的1/4~1/2变成 CO_2 又释放出来，而光呼吸的许多过程是耗能过程。因此光呼吸是个耗能的浪费过程。
- 光呼吸本身是个不可避免的过程，因为Rubisco起源于10亿年前的无氧呼吸的光能自养细菌，那时空气中尚无游离氧。且空气中 CO_2 浓度很高(直至1亿年前，空气中的 CO_2 含量是0.3%，为目前的10倍)，Rubisco有无加氧酶的活性对它无影响或影响不大。后来大型光合植物出现，空气中 O_2 增多，光呼吸的消耗不可忽略。植物通过进化产生了乙醇酸循环，这样就使逃出Calvin循环的4个C收回3个，降低了损失。因此乙醇酸循环是不可避免的损失中的挽救过程。

- 光呼吸对植物叶绿体具保护作用，由于光反应，叶绿体内会积累大量的ATP和NADPH，一旦植物处于逆境，气孔关闭， CO_2 不能进入，暗反应无法进行，则光反应产生的高活性电子不能还原 $NADP^+$ ，便与 O_2 生成活性氧，对植物造成伤害；而光呼吸可耗散过多能量，减少自由基的产生。
- 随着大气 CO_2 浓度的不断升高， C_3 植物的光呼吸会不断降低。

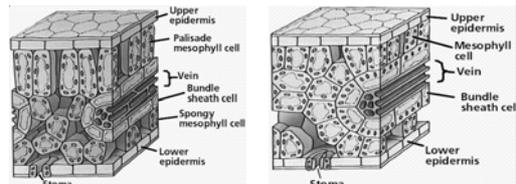
五 C_3 、 C_4 、CAM植物光合特点的比较

- C_3 、 C_4 、CAM植物光合特点的比较
- 为什么说 C_4 植物比 C_3 植物具有较高的光合效率

I. 从结构上看：

C_4 植物维管束鞘细胞发达，排列成花环状，内含大的叶绿体，叶绿体内无基粒或未发育好的基粒，维管束鞘外叶肉细胞排列紧密，叶绿体小，有基粒，维管束鞘与叶肉细胞间有丰富的胞间连丝连接。

C_3 植物维管束鞘细胞不发达，不排成花环状，内无叶绿体或叶绿体很小，维管束鞘外叶肉细胞排列松散，内有叶绿体，二者之间胞间连丝少。

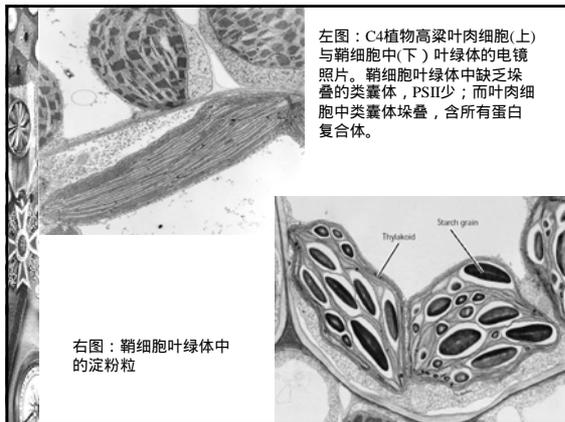


II. 从生理上看：

1. PEPCase 对 CO_2 的亲合力高， $k_m=7\mu\text{M}$ ，而 RuBPCase 对 CO_2 的亲合力弱， $k_m=450\mu\text{M}$ ，因此 C4 植物的 PEPCase 就可把外界低浓度的 CO_2 运到鞘细胞中，起到 CO_2 泵的作用。
2. C4 植物 CO_2 补偿点低，为 0~10ppm，而 C3 植物 CO_2 补偿点高，为 50~150ppm。因此 C4 植物在低 CO_2 浓度下仍可进行光合。

3. C4植物比C3植物光呼吸低

- 1) 由于叶肉细胞中的 PEPCase 对 CO_2 的高亲和力，使 CO_2 暂时固定，然后运输到维管束鞘中释放，提高了鞘细胞的 CO_2/O_2 比，使其中的 RuBPCase 易于朝羧化方向进行。
- 2) C4 作用光呼吸在维管束鞘细胞中进行，一旦有少量 CO_2 放出，即可被周围排列紧密的叶肉细胞俘获，被高亲和力的 PEPCase 固定，重新运往鞘细胞。
- 3) 在维管束鞘细胞中的基粒缺乏 PSII，因此不能产生氧，使光呼吸不易进行。因此，C4 植物又称为低光呼吸植物。



4. C4植物耐高光强，耐高温，耐干旱。

- 1) C4植物的光饱和点高，达全日照10万lux，C3植物的光饱和点低，4 - 5万lux。
 - 2) C4植物起源于热带，耐高温，PEPCase以 HCO_3^- 为底物，高温对其溶解度影响不大，C3植物的 RuBPCase 以 CO_2 为底物，高温下溶解度降低。C4最适温度30~40，C3最适温度10~25。
 - 3) C4植物耐干旱，干旱时气孔关闭，C3植物无 CO_2 来源，而C4植物仍可利用细胞间隙 CO_2 及胞内 Mal, OAA 脱羧时放出的 CO_2 。因此C4植物具有更高的水分利用效率：C4：300，C3：600
5. C4植物耐高氧（不受氧抑制）
- RuBP羧化加氧酶之比随 O_2 的升高而下降，而PEPCase不受 O_2 分压影响。

6. C4植物光合产物运输快

- 1) C4植物叶肉细胞排列紧密，鞘细胞与叶肉细胞间胞间连丝发达，易于光合产物的运输，而C3植物叶肉细胞排列松散，鞘细胞与叶肉细胞间胞间连丝不发达，同化产物运输慢。
- 2) C4植物光合产物在维管束鞘细胞内形成，离维管束近，产物就近运输，而C3植物光合产物在叶肉细胞内形成，离维管束远，属远距离运输。