

BIOENERGÉTICA

TEMA 1: APARATO FOTOSINTÉTICO

- **Definición de aparato fotosintético:**

El aparato fotosintético es el lugar donde se realiza la captación de la energía luminosa y la síntesis de moléculas orgánicas reducidas (carbohidratos fundamentalmente) de los organismos fotosintéticos; encontrándose en ellos los pigmentos fotosintéticos. Los aparatos fotosintéticos más evolucionados son orgánulos, mientras que los más primitivos no son verdaderos orgánulos.

Es el lugar donde se realiza la captación de energía luminosa y la síntesis de moléculas orgánicas reducidas (si se reduce gana e-, y si se oxida los pierde).

En los tilacoides se produce la fase luminosa, y en el estroma la “fase oscura”.

Los sumideros son las zonas que no hacen la fotosíntesis y que son los que reciben la energía de los cloroplastos.

- **Tipos de aparato fotosintético:**

- Bacterias fotosintéticas y cianobacterias: no tienen plastos, tienen unas laminillas que son invaginaciones de la membrana donde se colocan encima todos los transportadores de e-. También tienen pigmentos.
- Algas verdes.
- Algas rojas y pardas.
- Plantas superiores.

- **Distribución de pigmentos fotosintéticos:**

Lo fundamental son los pigmentos, que van a ser los primeros en recibir la luz. En bacterias es la bacterioclorofila, en cianobacterias (que producen O₂) es la clorofila.

Hay 4 tipos fundamentales de clorofila, que se diferencian en sus componentes e influye en el tipo de longitud de onda de la luz que van a captar.

La clorofila a está en todas las plantas porque es la básica del centro de reacción. También, a parte de la clorofila, hay otros tipos de pigmentos, como los carotenoides.

La clorofila a es muy importante, porque es la primera en iniciar la cadena de e- y está presente en los dos fotosistemas.

Las ficobilinas también son pigmentos, pero son específicos de las algas rojas.

- **Tipos de plastos en las plantas superiores (plastidoma):**

En las células fotosintéticas hay gran cantidad de cloroplastos. También hay otros tipos de plastos que no tienen clorofila (fotocopia).

- **Estructura del cloroplasto:**
- **Microscopio óptico:**

Son estructuras lenticulares, más largos que anchos (5 μ m de largo por 2 μ m de ancho). El número de

cloroplastos por célula es muy variable, aproximadamente hay unos 20 por célula.

- Meyer y Schimper (1885) teorizó a granular. Cuando se teñían las células con distintos colorantes se podían observar un serie de gránulos, por esto se le denominó teorizó a granular.
- Heitz (1936) utilizó un microscopio de luz ultravioleta y ve que realmente dentro del cloroplasto hay una estructura incluida en el estroma. También observa que estas estructuras se pueden mover (orientación, contracción y dilatación).

- Microscopio electrónico: ultraestructura.

Está rodeado por una doble membrana y dentro están los tilacoides que apilados forman los grana. A estos tilacoides se les llama tilacoides granarios. Interconectando a estos están los tilacoides estromáticos o intergranarios.

Fotografías del microscopio electrónico muestran tres regiones estructurales bien definidas: (i) membranas o envolturas, (ii) estructura tilacoidal altamente organizada y (iii) estroma amorfo:

La función es distinta en cada tipo de tilacoide. Dependiendo del periodo del día observamos más o menos almidón y granos de lípidos (reservorios del sistema de membrana). También hay ADN, ribosomas y un conjunto de proteínas (en el estroma).

- Membranas o envolturas:

La membrana externa es permeable a sustancias como gases y diferentes metabolitos. La selección se hace a nivel de la membrana interna del cloroplasto, que es impermeable a una serie de sustancias. Deja pasar a aa, compuestos iónicos y es impermeable a azúcares.

El intercambio de sustancias se hace por transportadores que son de dos tipos:

- Transportador de fosfatos: se transporta específicamente al Pi y moléculas con un resto fosfórico ligado al carbono 3 terminal. Esta es la manera por donde va a ver un intercambio de azúcares hacia el citoplasma de la célula. Siempre tiene que estar el P en equilibrio en ambos lados.
- Transportador de dicarboxilos: específico para los ácidos dicarboxílicos de 4 y 5 átomos de carbono no necesita un equilibrio.

- Estroma:

Es un líquido transparente, hialino, que baña a todo el sistema de tilacoides. Contiene todas las enzimas relacionadas con el ciclo de Calvin.

La principal proteína (hasta el 50%) es la **rubisco** (ribulosa 1-5 difosfato carboxilasa oxigenasa), que fija el CO₂ y el O₂. Sirve para la fotosíntesis y la fotorrespiración. Es muy abundante.

También hay ADN, granos de almidón, lípidos que forman plastoglobulos y ARN. También hay microelementos como el Mn, Cu, Fe y Zn, que son importantes para la fotosíntesis.

- Estroma: Ácidos nucleicos:

- El ADN del estroma es muy parecido al bacteriano, es circular, sin histonas. Codifica una serie de proteínas y forma ARNt, ARNr y ARNm.
- ARNr: es más característico de procariotas que de eucariotas. Tiene unidades 70S.

- **ARNm:** se sintetizan dentro del propio cloroplasto. Ej.: la rubisco, está formada por dos subunidades (una grande y otra pequeña), la subunidad grande está sintetizada dentro del cloroplasto y la pequeña viene de fuera.

- **Estroma: modelo de incorporación de proteínas al cloroplasto:**

Las proteínas nucleares se sintetizan con unos péptidos señal específicos para llegar hasta el cloroplasto. El péptido señal se coloca en el extremo amino de la proteína.

Si la proteína va al tilacoide tiene que tener otro péptido señal para poder entrar en el tilacoide, a parte del que tiene para poder entrar al cloroplasto.

- **Estructura tilacoidal:**
- **Composición química de los tilacoides:**

Contienen proteínas, lípidos, azúcares, transportadores de e- y una serie de micro elementos. Las proteínas van a estructurar los complejos fotosintéticos. Los lípidos van a formar parte de las membranas. También, a veces, las proteínas pueden ser transportadores.

- **Polipéptidos o proteínas:** las proteínas están en la membrana del tilacoide. Se agrupan en 4 complejos proteicos que son:
 - ◆ **Fotosistemas I y II:** los complejos que reciben la luz. Cada uno con clorofila y generan la respuesta para el transporte de e-.
 - ◆ **Complejo citocromo b6 / f.**
 - ◆ **Complejo ATP- sintetasa CF0 /CF1.**
 - ◆ **Complejo LHC clorofila a/b.**

Alrededor de los fotosistemas I y II hay una gran cantidad de complejos con muchos pigmentos que los LHC y ayudan a recoger toda la luz que les llega a los fotosistemas.

- **Lípidos:** son especiales, diacilglicéridos, que son glicolípidos. Forman la membrana. Tienen carácter anfipático. Entre los glicolípidos destacan: monogalactosil diacil glicerol, digalactosil diacil glicerol, fosfatidil glicerol, etc.
- **Pigmentos:** clorofila a y b. Presentan dobles enlaces alternados, que son los que reaccionan con la luz. La clorofila a es el pigmento principal del PSI y PSII. Ambas clorofilas forman parte del complejo LHC clorofila a/b. La clorofila a presenta un núcleo tetrapirrólico con Mg en el centro. Perpendicularmente a este centro tiene una cola de fitol. En los cloroplastos, las clorofilas están asociadas a polipéptidos, en complejos más o menos voluminosos. Los más conocidos son el P680 y el P700, con máximo de absorción a 680 y 700 nm respectivamente.
- **Pigmentos, carotenoides:** carotenos y xantofilas. Tienen distintas funciones; recolectan luz que no pueden recolectar las clorofilas, también fijan mucho CO₂ y liberan mucho O₂. Y también presentan una **función protectora** de la fotosíntesis. En el proceso de la fotosíntesis, el oxígeno formado puede llegar a convertirse en una forma altamente reactiva (oxígeno singlete), que puede causar daños. Los carotenoides son eficaces a la hora de absorber esta energía. Así se pierde en forma de calor (ciclo de zeaxantina).
- **Transportadores de e- y de H+:**
 - ◆ **Citocromos (proteínas):** de los cloroplastos de plantas superiores se han aislado el cti. f, b6 y b3 o b559. contienen un anillo nitrogenado (porfirina) con un átomo metálico (Fe o Cu). Su papel deriva de la capacidad de pasar de la forma oxidada a la reducida y viceversa. Sólo transportan electrones.
 - ◆ **Plastocianinas:** proteína pequeña con dos átomos de Cu, uno de los cuales puede

cambiar su valencia. Solo se transportan electrones.

- ♦ Ferredoxina: sulfoferroproteína con Fe no hemo y S libre, que también puede aceptar o ceder electrones.
- ♦ Quinonas: no son proteicas. Son moléculas capaces de absorber o liberar electrones y también protones. Sirve luego para formar ATP. La más abundante en los cloroplastos es la plastoquinona (PQ).

- Nomenclatura de las membranas de los tilacoides:

La diferenciación espacial más importante de los tilacoides de plantas superiores y de muchas algas es su organización en regiones “apiladas” (stacked, s) y “no apiladas” (unstacked, u).

Los tilacoides estromáticos siempre son u (no apilados) porque su superficie contacta con el estroma, y los tilacoides granarios siempre son s (apilados).

Un granum es un conjunto de tilacoides estrechamente apretados, conteniendo regiones de membrana apilada y no apilada.

- Subestructuras de los tilacoides:

Por el método de la criofractura se obtienen dos planos de fractura complementarios.

- Origen y evolución de la estructura cloroplasmática:

Teoría endosimbiótica. Parece que los cloroplastos se originaron a partir de una bacteria fotosintética que fue engullida por una célula eucariota. Esta bacteria va perdiendo parte de su información genética y esta información va pasando progresivamente al núcleo. Es como una especie de simbiosis.

Plastos con doble membrana. Con verdadero órgano fotosintético.

(S: tilacoides apilados

U: tilacoides no apilados)

PFs, PFu, EFs, EFu

- Planos de fractura

PF: Plano de fractura periplásmica

EF: Plano de fractura exoplásmica

- Superficies naturales:

PS: superficie peri o protoplásmica

hacia el estroma

ES: superficie exoplásmica

hacia el lumen o espacio

Intratilacoidal

CITOCROMO B (con Fe)