

FOTOSSÍNTESE

META

Introduzir os processos da fotossíntese.

OBJETIVO

Ao final da aula, o aluno deverá entender os processos da fotossíntese responsáveis na formação dos carboidratos.

PRÉ-REQUISITO

Conhecer os processos de abertura e fechamento estomático.



Fonte: <http://www.flores-online.com>

INTRODUÇÃO

O termo fotossíntese significa, literalmente, “síntese usando a luz”. Os organismos fotossintéticos captam e utilizam a energia solar para oxidar H₂O, liberando O₂, e para reduzir CO₂, produzindo compostos orgânicos, primariamente açúcares. Essa energia estocada nas moléculas orgânicas é utilizada nos processos celulares da planta e serve como fonte de energia para todas as formas de vida.

A fotossíntese representa o principal mecanismo de entrada de energia no mundo vivo. A capacidade de remover elétrons da água é uma das características que tornam as plantas clorofiladas únicas entre os seres vivos. A despeito da importância indiscutível da fotossíntese para a existência de vida em nosso planeta, as plantas, para realizá-la, utilizam matérias-primas bastante simples e abundantes, a H₂O e o CO₂, e uma fonte de energia barata e inesgotável, a energia solar. Neste fantástico processo de transformação de uma forma de energia física em energia química, as plantas verdes encontraram na atmosfera circundante e no solo em que fincam suas raízes, as demandas de CO₂ e H₂O, respectivamente.

O mesófilo é o tecido mais ativo em termos de fotossíntese. As células desse tecido foliar contêm muitos cloroplastos, organelas circundadas por uma dupla membrana, os quais possuem um pigmento verde especializado, a clorofila.

No caso das algas e plantas verdes, nas quais a água é doadora de elétrons, a equação completa e balanceada para a produção de glicose pela fotossíntese torna-se:



(Fonte: <http://tremderisco.files.wordpress.com>).

RADIAÇÃO UTILIZADA NA FOTOSSÍNTESE

A luz visível corresponde a uma diminuta faixa do espectro das radiações eletromagnéticas emitidas pelo sol: 380 nm (azul) a 750 nm (vermelho). Os seres vivos, provavelmente, se especializaram em utilizar esta banda espectral devido às seguintes razões:

- a) a maior quantidade de radiação que atinge a terra encontra-se dentro desta faixa;
- b) radiações de comprimento de onda menor do que 380 nm (ultravioleta) são muito energéticas e destroem a maioria das ligações químicas importantes em substâncias orgânicas, tais como as pontes de hidrogênio;
- c) radiações de comprimento de onda superior a 750 nm (infravermelho) provocam um aumento excessivo de sua energia cinética, ou calor.

ORGANISMOS FOTOSSINTETIZANTES

As plantas verdes não são os únicos organismos capacitados a realizar fotossíntese. Organismos procariontes e eucariontes unicelulares e coloniais são também capazes de fixar carbono pela via fotossintética. Várias algas tais como as diatomáceas (Chrysophyta), algas verdes (Chlorophyta), algas marrons (Chryptophyta), euglenas (Euglenophyta) podem realizar a fotossíntese. Mais da metade da produção anual global de carbono da biosfera terrestre é devida a estes microorganismos fotossintetizantes. Além disto, outros microorganismos pró-cariontes tais como as cianobactérias e várias famílias de bactérias, como as bactérias sulfurosas purpúreas, podem também realizar a fotossíntese. As cianobactérias são encontradas praticamente em todos os ambientes aquáticos, principalmente na região tropical. Elas são talvez os organismos mais autosuficientes que se conhece, pois além de fixar o CO₂ são também capazes de fixar o nitrogênio atmosférico. *Myrocystis aeruginosa* é um importante representante deste grupo, que ocorre em muitos lagos ricos em nutrientes na região tropical.

FATORES QUE AFETAM A FOTOSSÍNTESE

- Comprimento de onda e intensidade da luz: a velocidade da fotossíntese está diretamente relacionada com a quantidade de luz, até ser atingido o nível de saturação.
- Concentração de dióxido de carbono: é geralmente o fator limitante da fotossíntese para as plantas terrestres em geral, devido a sua baixa concentração na atmosfera, que é em torno de 0,04%.
- Temperatura: para a maioria das plantas, a temperatura ótima para os processos fotossintéticos está entre 30 e 38°C. Acima dos 45°C a velocidade da reação decresce, pois cessa a atividade enzimática.
- Água: a água é fundamental como fonte de hidrogênio para a produção da matéria orgânica. Em regiões secas, as plantas têm a água como um grande fator limitante.
- Morfologia foliar.

PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES

Um pigmento é qualquer substância que absorve a luz. Pigmentos diferentes absorvem a energia luminosa em diferentes comprimentos de onda. Os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas (há 3 tipos delas: a, b, c), os carotenóides e as ficobilinas. A clorofila b, carotenóides e ficobilinas constituem os chamados pigmentos acessórios. Conforme se verá mais adiante, a energia absorvida pelos pigmentos é transferida para sítios bem definidos, localizados sobre a membrana tilacóide, os chamados centros de reação.

Os pigmentos acessórios ampliam o espectro de absorção da luz por um vegetal, já que possuem máximos de absorção em faixas espectrais pouco exploradas pelas clorofilas (Tabela 1).

Os carotenóides absorvem nas bandas de 460 a 550 nm, enquanto as ficobilinas o fazem na faixa de 500-600 nm. Em geral, a cor avermelhada ou alaranjada refletida pelos pigmentos carotenóides é mascarada pelo verde refletido pelas clorofilas. Em determinadas condições climáticas, as folhas das plantas superiores podem adquirir uma tonalidade típica dos carotenos devido à oxidação das clorofilas.

Pigmento	picos de absorção (nm)	ocorrência
clorofila - a	420,660	plantas superiores algas
clorofila - b	435,643	plantas superiores algas
clorofila - c	445,643	diatomáceas, algas pardas
clorofila - d	450,690	algas vermelhas
beta-caroteno	425,450,480	plantas superiores algas
alfa-caroteno	420,440,470	plantas superiores algas
fucoxantol	425, 450, 475	diatomáceas, algas pardas
ficoeritrina	490, 546, 576	algas vermelhas

Tabela 1: Máximos de absorção, ocorrência de clorofila e alguns pigmentos acessórios (FERRI, 1985).

ORGANELA DA FOTOSSÍNTESE: O CLOROPLASTO

O local onde ocorre todas as fases da fotossíntese nas células dos eucariontes é o cloroplasto (Figura 1).

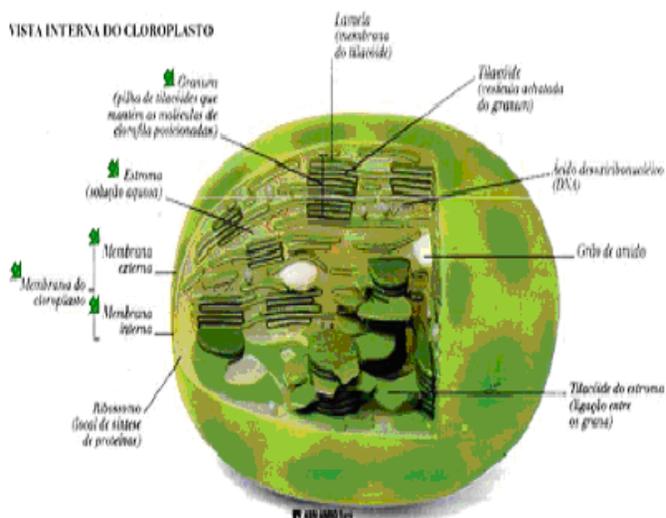


Figura 1: Estrutura interna do cloroplasto (PURVES, 2002).

Estas organelas citoplasmáticas são envoltas por uma frágil membrana fosfolipídica. Um sistema de membrana interno se desenvolveu formando uma série de sacos ou vesículas achatadas que se sobrepõem regularmente, os tilacóides. Ao arranjo destes tilacóides em séries sobrepostas dá-se o nome de grana. Todos os pigmentos fotossintetizantes e todas as enzimas necessárias à fase clara da fotossíntese são encontrados nas membranas dos grana. O fluido do cloroplasto, o estroma, contém a maioria das enzimas requeridas na fase escura, ou a carboxilização que pode terminar formando a glicose, por exemplo.

A fotossíntese ocorre em duas etapas distintas: a fase fotoquímica (ou luminosa), que ocorre nos tilacóides, e a fase química (ou enzimática), no estroma.

FASE FOTOQUÍMICA OU LUMINOSA

Na fase fotoquímica, a energia luminosa, absorvida pelas clorofilas, será utilizada na síntese de dois compostos energéticos, o ATP e o NADPH₂. A síntese de ATP se faz a partir do ADP e fosfato e é chamada fotofosforilação. O NADPH₂ se forma quando a molécula da água é quebrada nos seus componentes, isto é, oxigênio e hidrogênio. O oxigênio é liberado como subproduto da fotossíntese, e o hidrogênio é utilizado na redução do NADP a NADPH₂.

A fase clara da fotossíntese verifica-se na presença da luz, pois é ela que fornece a energia necessária para que ocorra todo o processo. A energia luminosa quebra a molécula de água, formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H₂O), e libera o hidrogênio componente, enquanto o oxigênio se desprende, reação que se denomina fotólise da água. Os hidrogênios serão empregados na formação de uma série de moléculas redutoras (passam elétrons para outras), que mais tarde cedem o mesmo hidrogênio ao dióxido de carbono (CO₂), na fase escura.

Ao mesmo tempo, a luz chega à clorofila e faz com que desta se desprendam elétrons, que passarão aos hidrogênios originados na fotólise da água por meio de uma cadeia de substâncias transportadoras. Na fase clara, portanto, prepara-se o material redutor (que cede elétrons) necessário à segunda fase do processo fotossintético; produz-se oxigênio como resultado da quebra da molécula de água e formam-se, graças à contribuição energética da luz, substâncias ricas em energia conhecidas como ATP (trifosfato de adenosina). Estas contêm átomos de fósforo e, quando se decompõem, liberam a energia nelas encerrada e possibilitam a ocorrência de reações biológicas imprescindíveis à vida do organismo. O ATP pode ser considerado o combustível molecular dos seres vivos.

Esta etapa compreende dois conjuntos de reações em que se realizam as fosforizações (cíclicas e acíclicas) e a conseqüente produção de molécula de ATP. Nessa etapa, a energia luminosa absorvida pela clorofilas

é transferida sob forma de energia química, através dos elétrons, a outros compostos, os aceptores. Nessas condições, a clorofila (que é doadora de elétrons) se oxida e o composto aceptor de elétrons se reduz. Trata-se, portanto, de um processo de oxidorredução, no qual tomam parte um redutor (doador de elétrons, a água) e um oxidante (receptor de elétrons, o CO₂).

Na fotofosforilação cíclica, a luz é absorvida pelo fotossistema, elevando o nível energético dos elétrons que são capturados pela ferredoxina e transportados a citocromos via plastoquinona, retornando depois ao fotossistema.

Fotofosforilação acíclica: nesse caso, os elétrons liberados durante a fotólise da água são capturados pelo fotossistema e não retornam à água. Tais elétrons passam por um sistema de transporte até chegar ao NADP e, juntamente com os prótons provenientes da fotólise da água, são utilizados na síntese da NADPH₂. Uma pequena quantidade de luz provoca a decomposição das moléculas de água que se quebram nos íons H⁺ e OH⁻. Um átomo de hidrogênio tem apenas um elétron e um próton. Os prótons (íons H⁺) serão recolhidos pelas moléculas de NADP reduzido. Os elétrons que vieram dos átomos de hidrogênio serão recolhidos pela clorofila B, que estava até agora oxidada, quer dizer, sem o elétron que perdeu. Cada grupo de quatro deles se organizam naturalmente formando duas moléculas de água e uma de oxigênio livre, que é exatamente o oxigênio liberado. Resumindo, durante a fase luminosa, é liberado o oxigênio e formado o ATP e o NADPH₂ que são de fundamental importância para a fase escura (Figura 2).

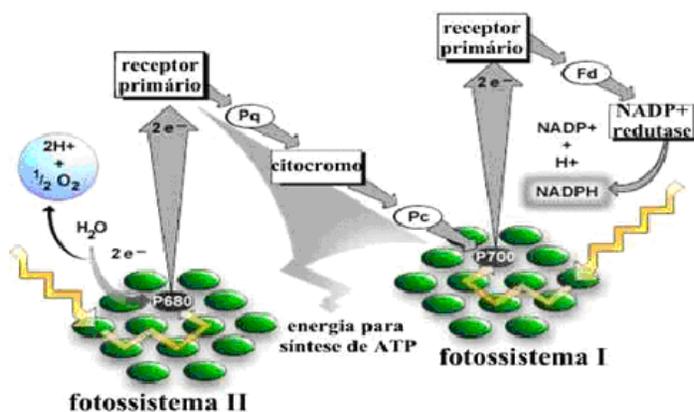


Figura 2: Esquema da Fotofosforilação acíclica (curlygirl.naturlink.pt/uminosa.jpg).

FASE BIOQUÍMICA OU ESCURA

Na fase escura da fotossíntese ocorre uma série de reações com absorção e redução de dióxido de carbono, inversas da glicólise, com formação de compostos orgânicos (açúcares, aminoácidos, ácidos gordos, glicerol etc.). No decorrer desta fase há gasto de NADPH₂ e ATP, formadas na fase luminosa, as quais se transformam em NADP e ADP e voltam às reações da fase luminosa.

Foram as experiências de Calvin, Bassham e Benson, entre 1954 e 1960, que permitiram determinar as diferentes etapas desta fase da fotossíntese. Por esse motivo, a série de reações que permitem a síntese de glicose a partir de dióxido de carbono, ATP e NADPH₂ é conhecida por ciclo de Calvin-Benson ou ciclo das pentoses.

O ciclo das pentoses pode ser resumido da seguinte forma: uma molécula de dióxido de carbono é fixada num açúcar fosforilado, a ribulose 1,5-difosfato, originando um composto instável com 6 carbonos, que se decompõem imediatamente originando duas moléculas de ácido fosfoglicérico. A partir daqui, decorrem as reações inversas da glicólise que originam glicose e regeneram a ribulose 1,5-difosfato para que o ciclo recomece (Figura 3).

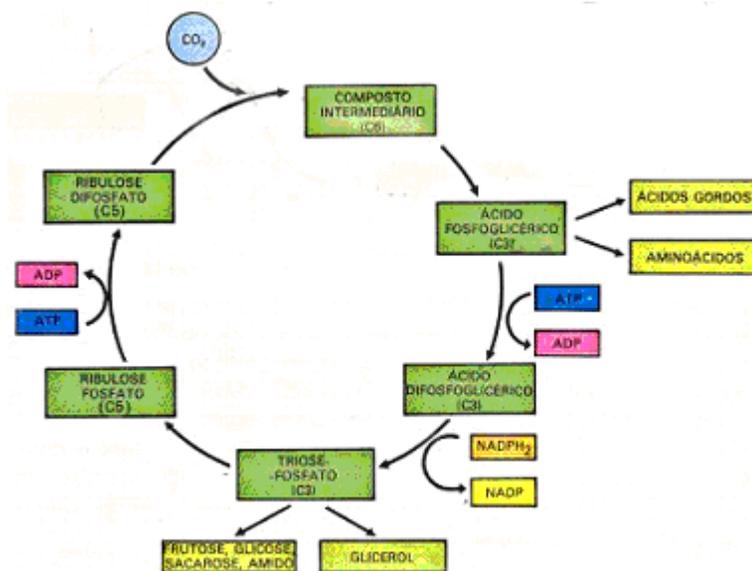


Figura 3: Ciclo de Calvin ou das Pentoses (curlygirl.naturlink.ptluminosa.jpg).

Atendendo a que por cada volta do ciclo de Calvin uma molécula de dióxido de carbono (logo um átomo de carbono) é reduzida (fixada), são necessárias 6 voltas do ciclo para se formar uma molécula como a de glicose.

O produto primário do ciclo de Calvin é o gliceraldeído 3-fosfato, a molécula transportada do cloroplasto para o citoplasma da célula. Esta é exatamente a mesma molécula produzida pela quebra da frutose 1,6-difosfato na glicólise.

A enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase, vulgarmente designada Rubisco, a enzima catalisadora da reacção inicial do ciclo de Calvin (fixação do dióxido de carbono na ribulose) é muito abundante nos cloroplastos, correspondendo a mais de 15% do seu conteúdo protéico total. É, por este motivo, considerada por muitos bioquímicos a proteína mais abundante do mundo.

Assim, os fenômenos da fotossíntese podem ser resumidos, considerando apenas os produtos iniciais e finais, da seguinte forma (Figura 4).

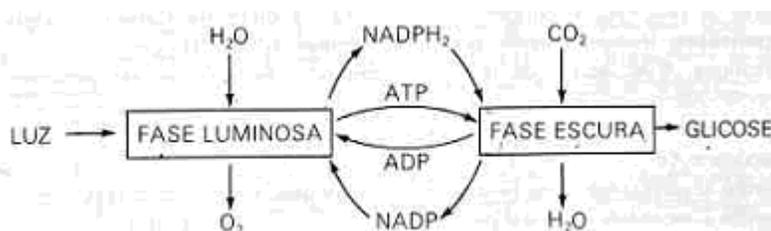


Figura 4: Fase clara e escura da fotossíntese (curlygirl.naturlink.ptluminosa.jpg).

O destino dos produtos finais da fotossíntese é variado, dependendo do organismo e das suas necessidades imediatas. Podem ser utilizados na respiração celular, fornecendo energia aos processos vitais, ou podem ser convertidos em moléculas orgânicas de vários tipos.

CONCLUSÃO

Caro(a) aluno(a), nesta aula abordamos os mecanismos utilizados na fotossíntese das plantas. Fotossíntese é o processo através do qual as plantas, seres autotróficos (seres que produzem seu próprio alimento) e alguns outros organismos transformam energia luminosa em energia química, processando o dióxido de carbono (CO₂) e outros compostos, água (H₂O) e minerais em compostos orgânicos e produzindo oxigênio gasoso (O₂). A equação simplificada do processo é a formação de glicose: $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow 6\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. A fotossíntese inicia a maior parte das cadeias alimentares na Terra. Sem ela, os animais e muitos outros seres heterotróficos seriam incapazes de sobreviver porque a base da sua alimentação estará sempre nas substâncias orgânicas proporcionadas pelas plantas verdes.

A importância da fotossíntese para a vida na Terra é enorme. A fotossíntese é o principal processo de transformação de energia na biosfera. Ao alimentarmos-nos, parte das substâncias orgânicas produzidas graças à fotossíntese entram na nossa constituição celular, enquanto outras (os

nutrientes energéticos) fornecem a energia necessária às nossas funções vitais, como o crescimento e a reprodução. Além do mais, ela nos fornece oxigênio para a respiração. O ponto de compensação acontece para manter o sistema fotossintético ativo, dissipando parte da energia luminosa recebida pela planta, permitindo sua sobrevivência nestas condições estressantes. Tudo isto se pode verificar nos ecossistemas existentes na Terra.

RESUMO

Ao final desta aula, você é capaz de entender que a fotossíntese realiza-se mediante duas etapas: a primeira, dependente de luz, isto é, as “reações à luz” (processo fotoquímico); e a segunda etapa, independente da presença da luz, ou seja, as “reações à obscuridade” (processos bioquímicos).

Nas reações à luz, a energia luminosa é convertida em energia elétrica - fluxo de elétrons - e esta energia é convertida, por sua vez, em energia química armazenada nas ligações do NADPH e ATP.

Na segunda etapa da fotossíntese (fase escura), a energia produzida pelas reações à luz é utilizada para incorporar o carbono nas moléculas orgânicas.

Os pigmentos envolvidos na fotossíntese são a clorofila a e b e os carotenóides que estão localizados nas lamelas intergranulares e vesículas tilacoides dos cloroplastos onde ocorrem as reações de luz; já as reações à obscuridade ocorrem no estroma dos cloroplastos e não necessitam da presença da luz para sua deflagração.

ATIVIDADES

1. Todos os organismos fotossintéticos contêm um ou mais pigmentos orgânicos capazes de absorver radiação visível, que iniciará as reações fotoquímicas da fotossíntese. Qual o único pigmento fotossintético é responsável diretamente pela fotossíntese?

COMENTÁRIO SOBRE A ATIVIDADE

Questão 1- Existem vários tipos diferentes de clorofila que diferem uns dos outros apenas por discretos detalhes nas suas estruturas moleculares. A clorofila ocorre em todos os eucariontes fotossintéticos e nas algas azuis procarióticas, sendo considerada como essencial para a fotossíntese. A clorofila b, os carotenóides e as ficobilinas são considerados pigmentos acessórios que ampliam o espectro de absorção de luz na fotossíntese.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, iremos estudar a respiração.



AUTOAVALIAÇÃO

1. Qual o nome da estrutura celular responsável pela fotossíntese?
2. Quais os seres vivos responsáveis pela fotossíntese?
3. Explique o processo fotoquímico da fotossíntese.
4. Explique a ação cooperativa entre o fotosistema I e II.
5. Plantas de deserto têm necessidade de adaptações para diminuir a perda de água. Em algumas espécies, as folhas são dotadas de cutículas impermeáveis e os estômatos permanecem fechados durante o dia. Como estas plantas conseguem realizar fotossíntese?



REFERÊNCIAS COMPLETAS

- FERREIRA, L. G. R. **Fisiologia vegetal**: relações hídricas. 1 ed. Fortaleza: Edições UFC, 1992.
- FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. São Paulo: Edusp, 1985.
- HOPKINS, W. G. **Introduction to plant physiology**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- PURVES, W. K. et al. **Vida**: a ciência da biologia. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- RAVEN, P. H., EVERT, R. F., EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Editora Artmed, 2004.