

SEC VIII.	<b>Biochemické deje</b>
SEC VIII. 6	<b>Metabolizmus sacharidov</b>

**Cieľové požiadavky**

**Obsahový štandard:** Katabolický dej. Anabolický dej. Endergonický dej, exergonický dej. Makroergická väzba. Glykolýza,  $\beta$ -oxidácia, citrátový cyklus, dýchací reťazec. Replikácia, transkripcia, translácia

**Výkonový štandard:**

- Lokalizovať priebeh citrátového cyklu, dýchacieho reťazca, glykolýzy,
- Vysvetliť priebeh glykolýzy (po vznik kyseliny pyrohroznovej podľa predloženej schémy).
- Vysvetliť podstatu alkoholového a mliečného kvasenia.
- Vysvetliť vzťah medzi glykolýzou, citrátovým cyklom a dýchacím reťazcom.
- Vysvetliť vznik a funkciu ATP v energetickom metabolizme bunky.
- Porovnať glykolýzu a Lypenovu špirálu z hľadiska energie.
- Opísať podstatu a vzťah medzi svetelnou a tmavou fázou fotosyntézy.
- Opísať biochemické deje z hľadiska energetickej bilancie.

**Význam sacharidov**

**1. Energetická-** najrýchlejší zdroje energie- glukóza, fruktóza

**2. Zásobná-** zásoba energie v podobe zásobných cukrov-škrob, glykogén

**3. Stavebná**

- Súčasť buniek, tkanív, pletív- celulóza
- Štruktúrne zložky niektorých bielkovín (glykoproteínov), lipidov (glykolipidy), nukleových kyselín ( ribóza, deoxyribóza)

**4. Metabolická-** súčasť metabolicky aktívnych nízkomolekulových látok- vitamíny, nukleotidy, koenzýmy

**I. Katabolizmus sacharidov**

- Príjem v potrave vo forme polysacharidov ( škrob, glykogén) a oligosacharidov ( sacharóza)
- **Rozklad v TS pomocou** enzýmov **hydroláz** na základné stavebné jednotky- monosacharidy
- Na získanie energie potrebná forma sacharidov- **glukóza**

**Glykolýza**

- **rozklad glukózy na pyruvát a získanie energie vo forme ATP a NADH** ( z 1 molekuly glukózy vznikajú 2 molekuly pyruvátu,  $2\text{NADH} + \text{H}^+$ ,  $2\text{ATP}$ )
- Prebieha za anaeróbných podmienok v cytoplazme ( **anaeróbná substrátová fosforylácia**)

**Etapy glykolýzy**

<b>A. prípravná fáza</b>	<b>B. produkčná fáza</b>
premena 1 glukózy na 2 molekuly glyceraldehyd-3-fosfát	premena 2 molekúl glyceraldehyd-3-fosfátu na 2 molekuly pyruvátu
energetický deficit - $2\text{ATP}$	získanie $4\text{ATP}$ , $2\text{NADH} + \text{H}^+$

**A. prípravná fáza**

<b>1. aktivácia</b> glukózy fosforyláciou	spotreba ATP	glukóza - 6- fosfátu, ADP
<b>2. izomerizácia</b> glukóza- 6- fosfátu		fruktóza-6-fosfát
<b>3. fosforylácia</b> fruktóza -6-fosfátu	spotreba ATP	fruktóza- 1,6- bisfosfátu, ADP
<b>4. štiepenie</b> fruktózy- 1,6- bisfosfátu		dihydroxyacetónfosfát a glyceraldehydfosfát
<b>5. izomerizácia</b> dihydroxyacetónfosfátu		glyceraldehydfosfát

**B. produkčná fáza**

<b>1. oxidácia (dehydrogenácia)</b> 2 molekúl glyceraldehydu	NAD <sup>+</sup> , P	1,3-bisfosfoglycerát, NADH + H <sup>+</sup>
<b>2. defosforylácia</b> 1,3-bisfosfoglycerátu	ADP	3-fosfoglycerát, vznik ATP
<b>3. izomerizácia</b> 3-fosfoglycerátu		2-fosfoglycerát
<b>4. dehydratácia</b> 2-fosfoglycerátu		Fosfoenolpyruvát+ H <sub>2</sub> O
<b>5. defosforylácia</b> fosfoenolpyruvátu	ADP	Pyruvát ( kyselina pyrohroznová), vznik ATP

**Energetická bilancia glykolýzy z 1 molekuly glukózy**

<b>Aktivácia glukózy a vznik fruktóza- 6-fosfátu</b>		-2ATP
Zisk ATP z 1 molekuly glukózy	4ATP	4ATP
	<b>Spolu:</b>	<b>2ATP</b>

**Spracovanie pyruvátu**

**Podstata:** regenerácia NAD<sup>+</sup> redukciou substrátu

**Formy spracovania pyruvátu**

<b>1. anaeróbne (2ATP)</b>		<b>2. aeróbne(32ATP)</b>
<b>A. mliečne kvasenie</b>	<b>B. alkoholové kvasenie</b>	<b>Oxidatívna dekarboxylácia</b>
Produkt: <b>laktát</b>	Produkt: <b>etanol</b>	Produkt: <b>acetylCo A</b>
Regenerácia NAD <sup>+</sup> redukciou <b>pyruvátu</b> na laktát	Regenerácia NAD <sup>+</sup> redukciou <b>acetaldehydu</b> na etanol	Regenerácia NAD <sup>+</sup> redukciou O <sub>2</sub> na vodu ( až v dýchacom reťazci)

**1. anaeróbne spracovanie pyruvátu**

- energeticky menej výhodné, bez energetického zisku (*iba z glykolýzy z 1 glukózy 2x ATP*)
- prebieha v cytoplazme

**A. Mliečne kvasenie**

- V cytoplazme
- v kostrových svaloch, ktoré pracujú na kyslíkový dlh, mikroorganizmy (*výroba mliečnych produktov, kvasenie kapusty*)
- vznikne laktát
- Redukovaný NADH z glykolýzy sa oxiduje samotným pyruvátom

**B. Alkoholové (etanolové) kvasenie**

- V cytoplazme
  - kvasinky
  - Vznik etanolu
1. krok- **dekarboxylácia** CO<sub>2</sub> z karboxylovej skupiny pyruvátu- vznik acetaldehydu
  2. krok- **redukcia** acetaldehydu na etanol, súčasne sa regeneruje NAD<sup>+</sup>

**2.aeróbne spracovanie pyruvátu**

- **úplná oxidácia pyruvátu- oxidatívna dekarboxylácia pyruvátu**
- *energeticky výhodnejšie, z 1 glukózy 32x ATP*
- V matrici mitochondrií
- Odštiepenie CO<sub>2</sub> z karboxylovej skupiny pyruvátu
- Vznik NADH + H<sup>+</sup> a vznik **acetylkoenzýmu A** ( *vstupujú do citrátového cyklu a do dýchacieho reťazca*)

**Energetická bilancia aeróbnej oxidácie z 1 molekuly glukózy**

Priamy zisk ATP v glykolýze		+2ATP
Regenerácia 2 molekúl NADH z glykolýzy v dýchacom reťazci	2x2,5ATP	+5ATP
Regenerácia 2 molekúl NADH z oxidačnej dekarboxylácie pyruvátu v dýchacom reťazci	2x2,5ATP	+5ATP
Oxidácia 2 molekúl acetylkoenzýmu A v citrátovom cykle	2x10ATP	+20ATP
	<b>Spolu:</b>	<b>32ATP</b>

**II. Anabolizmus (biosyntéza) sacharidov**

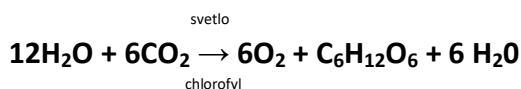
Heterotrofné organizmy	Autotrofné organizmy
Príjem potravou alebo glukoneogenezou	fotosyntéza
Z iných organických látok- pyruvátu, laktátu, glycerolu a medziproduktov citrátového cyklu	z jednoduchých anorganických látok CO <sub>2</sub> a H <sub>2</sub> O

## Glukoneogenéza

- v prípade, že potrava neobsahuje dostatočné množstvo cukrov ( napr. hladovanie)
- tvorba glukózy z nesacharidových substrátov (*aminokyselín alebo glycerolu*)
- v pečeni a menej v obličkách
- v cytoplazme a mitochondriách
- katalýza enzýmami, regulácia hormónmi (*inzulín, glukagón, kortizol*)

## Fotosyntéza

- primárny zdroj sacharidov a zdroj kyslíka pre organizmy (*rastliny, sinice, zelené baktérie*)
- na membránach chloroplastov



### Podstata

- **Súbor biochemických procesov, pri ktorom sa zachytáva slnečná energia a využíva sa na syntézu sacharidov z jednoduchých anorganických látok CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O**

**1.Fyzikálne hľadisko-** premena slnečnej energie na chemickú

**2.Chemické hľadisko-** redukcia CO<sub>2</sub> látky s nízkym obsahom energie na organické molekuly s vysokým obsahom energie

## Fázy fotosyntézy

A.Svetelná (primárna)- fotochemická	B.Tmavá (sekundárna)- syntetická
tylakoidná membrána chloroplastov	strómy chloroplastov

### A.Svetelná fáza

- Prebieha iba počas dňa
- na tylakoidnej membráne chloroplastov

### Podstata

- **Pohltenie svetelnej energie a jej premena na chemickú**
- **chemická energia sa využije na tvorbu ATP a NADPH ( potrebný pre tmavú fázu)**
- **tvorba sekundárneho produktu O<sub>2</sub>**

## Fotosyntetické farbivá

- Podieľajú sa na zachytávaní a premene svetelného žiarenia na chemickú energiu
- 1.chlorofyly-** chlorofyl a, chlorofyl b (*fotosynteticky aktívny iba a*)
- 2.karotenoidy-** karotény, xantofyly (*pomocné farbivá, ktoré zvyšujú efektivitu fotosyntézy, prenos fotónov na chlorofyly*)

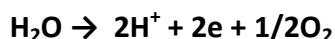
## Fotosystémy

- Tvorené fotosyntetickými farbivami a bielkovinou
- Účinnosť v rôznych oblastiach žiarenia

- Pohlténím žiarenia excitovaný stav – uvoľnenie elektrónu ( *prenos elektrónu pomocou prenášačov a následne jeho doplnenie* )

	Fotosystém II (PSII)	Fotosystém I (PSI)
<b>Reakčné centrum</b>	chlorofyl a P680	chlorofyl a P700
<b>Prenos e</b>	P700	NADP <sup>+</sup> ( <i>redukcia na NADPH</i> )
<b>Prenášače (bielkoviny)</b>	PQ- plastochinón, PC- plastocyanín, cytochrómy	Fd- feredoxín, Fp- flavoproteín
<b>Doplnenie e</b>	z fotolýza vody	z P680

### 1. Fotolýza vody- oxidácia molekuly vody excitovaným PSII (oxidovanou formou PSII)



- Uvoľnené elektróny dopĺňujú excitovaný fotosystém PSII
- Kyslík uniká do ovzdušia
- H<sup>+</sup> prechod zo stromy do lumenu ( *vznik protónového gradientu na membráne tylakoidov* )- **protónová pumpa**

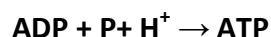
### 2. adsorpcia svetelného žiarenia PSII fotosystémom → excitácia 2 molekúl PSII → uvoľnenie 2 elektrónov

- prenos uvoľnených elektrónov na excitovaný PSI- **necyklický tok elektrónov**
- odčerpávanie H<sup>+</sup> zo strómy do lumenu (*vznik protónového gradientu*)

### 3. adsorpcia svetelnej energie PSI fotosystémom → excitácia PSI → uvoľnenie elektrónu

- Uvoľnené elektróny redukujú NADP<sup>+</sup> na NADPH + H<sup>+</sup> alebo sa vracajú v **cyklickom toku elektrónov**
- uvoľnené elektróny sa doplnia zo PSII
- H<sup>+</sup> odčerpávané zo strómy do lumenu ( *vznik protónového gradientu* )

### 4. Fotofosforylácia ( syntéza ATP) pomocou ATPázy poháňanej protónovým gradientom



- na 1ATP potrebných prenos 4,5H<sup>+</sup> z lumenu naspäť do stromy

### Prenos elektrónov

1.necyklický	2.cyklický
Fotolýza vody → fotosystém II → fotosystém I → NADP <sup>+</sup>	Z fotosystému I → prenášače ( <i>feredoxín, cytochrómy, plastocyanín</i> ) → fotosystém I
elektróny sa nevracajú späť na miesto uvoľnenia	návrat elektrónov na miesto uvoľnenia

**B. Tmavá fáza fotosyntézy**

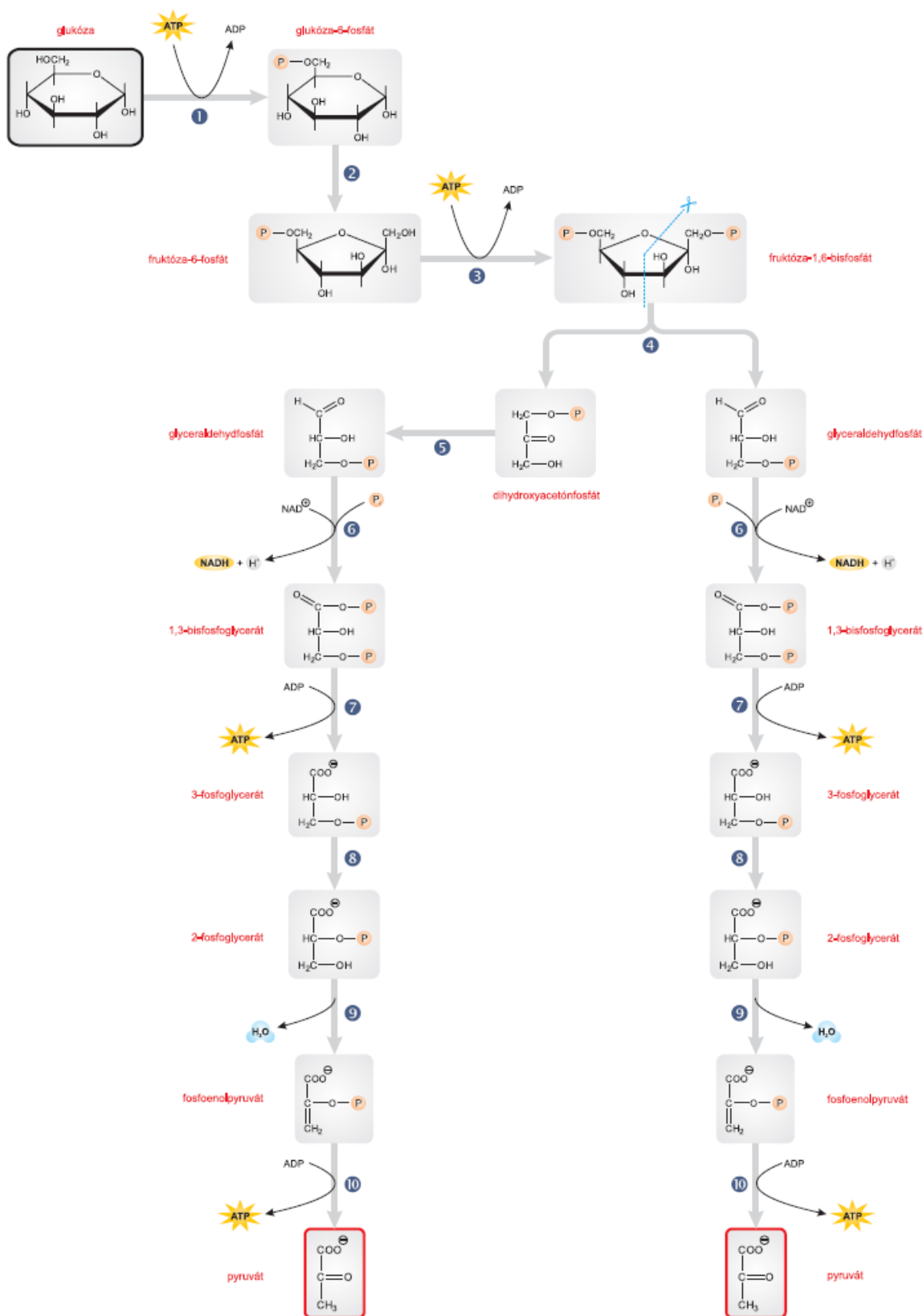
- Nie je priamo potrebné svetelné žiarenie
- V strome chloroplastov

**Podstata-** syntéza sacharidov z  $\text{CO}_2$  s využitím energie ATP a redukovačla NADPH získaných v svetelnej fáze

Metabolická dráha tmavej fázy	
<b>A. Calvinov- Bensonov cyklus C3 rastliny</b>	
<b>1. Fixácia <math>\text{CO}_2</math></b>	Primárny akceptor <b>ribulóza- 1,5-bisfosfát</b> → 3-fosfoglycerát (C3)
<b>2. Redukcia</b>	3-fosfoglycerát (C3) za účasti NADH+ $\text{H}^+$ a ATP → glycerinaldehyd-3-fosfát → glukóza
<b>3. Regenerácia</b>	Obnova primárneho akceptora

**B. Hatchovo-Slackov cyklus- C4 rastliny (niektoré tropické a subtropické rastliny)**

- primárny akceptor **fosfoenolpyruvát** → oxálacetát (C4) → glukóza



Obr. 10.1 Schéma glykolýzy

Zdroj schémy: KMEŤOVÁ, J., SKORŠEPA, M., VYDROVÁ, Mária.: Chémia pre 3.ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 7.ročník gymnázia s osemročným štúdiom. Martin: Vydavateľstvo Matice slovenskej, 2011. 93s. ISBN 978-80-8115-042-5