

Universitatea Bacău
Facultatea de INGINERIE

Proiect Microbiologie

Studentă
Andrei Mara Andreea
IPA 103

Caracterul divergent al anabolismului bacterian
și
utilizarea intermediarilor căilor metabolice centrale
pentru asigurarea constituenților specifici celulei
bacteriene

1. Metabolismul glucidic la microorganisme

Metabolismul glucidelor la microorganisme este complex și se realizează prin căi de catabolism și de sinteză care uneori variază funcție de specie, astfel încât el nu poate fi reprezentat într-o schemă unitară.

Cea mai mare parte a rezervei de C din natură se găsește sub formă de oligo- și mai ales polizaharide, care sunt degradate într-o primă etapă la constituenții lor monozaharidici.

Având rol energetic- în calitate de combustibil electiv al celulei, și rol plastic în sinteza constituenților celulari, ei au o importanță deosebită în metabolismu bacteriilor, reprezentând principala și poate chiar singura sursă de carbon pentru sinteza glucidelor, lipidelor, a aminoacizilor și a altor constituenți organici ai celulei bacteriene.

Metabolismul hidraților de carbon complecși

Hidrații de carbon complecși sunt compuși organici formați prin cuplarea a două sau mai multe molecule monozaharidice legate între ele prin legături glicozidice.

În mediul extern, cel mai răspândit dintre hidrații de carbon este celuloza, ce se găsește în resturile vegetale rămase la suprafața solului după moartea plantelor. Microorganismele descompun întâi zaharurile complexe până la constituenții lor monozaharidici, proces care reprezintă treapta inițială premergătoare folosirii monozaharidelor ca sursă de energie sau ca material de sinteză a protoplasmei.

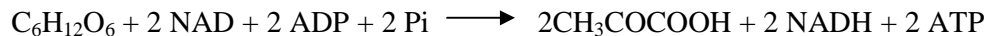
Astfel, într-o primă etapă microorganismele celulozolitice prezente în sol, pe fiundul mărilor și în intestinul ierbivorelor, hidrolizează celuloza sub acțiunea unei exoenzime- celulaza- cu formarea dizaharidului celobioză, care la rândul său este hidrolizat mai departe, sub acțiunea celobiazeei, până la glucoză.

Asemănător, amidonul este hidrolizat inițial de o enzimă extracelulară (diastaza sau amilaza) cu formarea dizaharidului maltoză, care este hidrolizat în continuare până la glucoză, de către maltază.

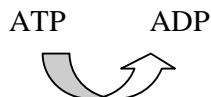
Căile metabolismului glucozei la microorganisme

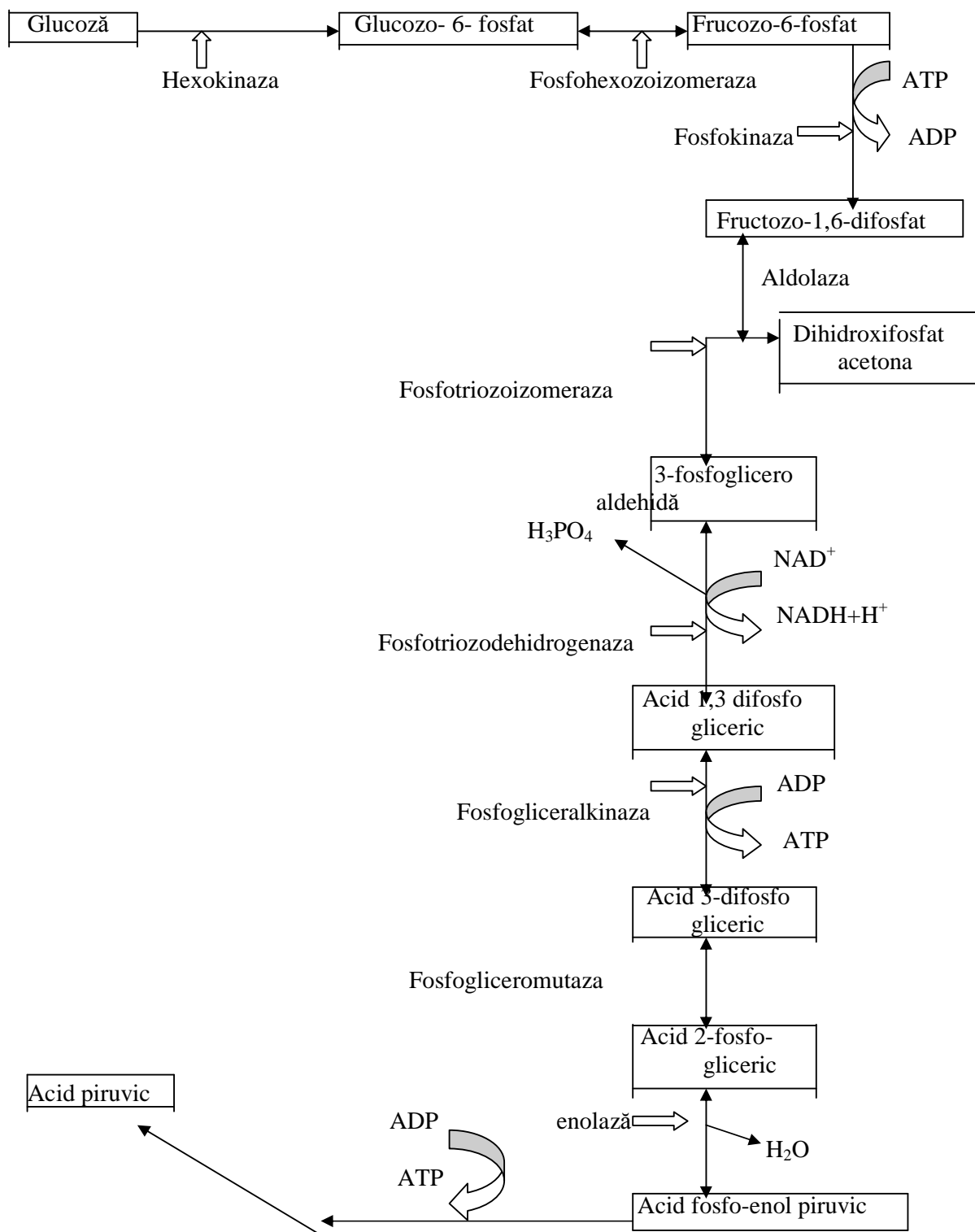
La cele mai multe microorganisme, catabolismul glucozei urmează căi similare acelor utilizate în catabolismul animalelor superioare.

Calea catabolică cea mai frecvent folosită este cea a hexozodifosfaților – calea **EMBDEN-MAYERHOF-PARNAS**- al cărei produs final esențial este acidul piruvic, după reacția globală



Reprezentarea schematică a catabolismului glucozei la bacterii după Calea Embden-Mayerhof- Parnas





Această cale, la microorganisme, ca și la cele mai multe celule vii, utilizează ATP ca purtător de fosfor și de energie.

Prima treaptă a catabolismului glucozei constă în **cuplarea unei molecule de ATP**, care devine astfel ADP, și **transformarea concomitentă a glucozei** – prin fosforilarea la C₆ – **într-un ester fosforic, glucoză – 6- P, treaptă catalizată de hexokinază.**

G – 6- P funcționează, la bacterii ca și la celelalte animale, ca un "macaz metabolic", de la el pornind o serie de reacții, de sinteză sau de degradare.

A doua transformare constă în **modificarea structurii moleculei de G – 6- P, sub acțiunea izomerazei, cu formare de fructozo- 6- fosfat, F-6-P**. Acest compus intră apoi într-o serie de reacții prin care se produc două molecule de compuși cu 3 atomi de C, convertibile la piruvat ($\text{CH}_3\text{-CO- COOH}$).

Fructozo-6- fosfatul cuplează sub acțiunea fructokinazei o moleculă de ATP și formează astfel ADP și o moleculă de fructozo- 1-6-difosfat (sau hexozodifosfat), care sub acțiunea aldolazei, este scindat în două fragmente, cu câte 3 atomi de carbon ,de 3- fosfo- gliceraldehidă.

Aceasta este oxidată în prezența H_3PO_4 cu formare de acid 1-3- difosfoglicerol.

În continuare acesta cuplează o nouă moleculă de ADP, sub acțiunea fosfoglicerolkinazei, cu formare de ATP și acid 3- fosfo-glicerol care este convertit la acid 2- fosfo-glicerol sub acțiunea fosfoglicerolmutazei.

L a sfârșit, **prin pierderea unei molecule de apă sub acțiunea enolazei, acidul 2- fosfoglicerol dă naștere formei enolice a acidului fosfopiruvic- acidul fosfoenolpiruvic, care prin defosforilare își cedează fosforul unei molecule de ADP , care devine astfel ATP, dând naștere la acid piruvic.**

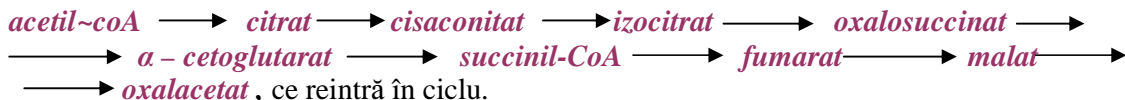
Microorganismele pot însă utiliza și căi alternative. Astfel, la aproape toate bacteriile glucoza poate fi catabolizată **și pe calea pentazofosfaților** sau a „shunt-ului” hexozomonofosfaților, iar la unele grupuri, ca Pseudomonas , Aeromonas etc, **pe calea Entner- Doudoroff (calea 2-oxo- 3 dezoxi-6 fosfogluconat).**

Acidul piruvic, produs final al acestor căi de degradare, reprezintă o substanță cheie a metabolismului, care este folosită în continuare pe mai multe căi, dintre care unele sunt specific microbiene.

Calea principală de metabolizare a piruvatului este calea oxidativă cunoscută sub denumirea de **calea acidului citric** sau **ciclul lui Krebs**, reacție în care intervine un compus special- acidul lipoic – cuplat cu vitamina B_1 (tiamina) și cu acidul fosforic.

Compusul poartă numele de **lipotiaminpirofosfat (LTPP)**. Simultan cu decarboxilarea acidului piruvic, mecanism foarte răspândit la bacterii, coenzima A , descoperită de Lipmann, cuplează restul de acetyl rezultat din decarboxilare și formează un compus macroergic, acetyl ~coA, de la care se produc acizi grași prin reacții de sinteză.

Astfel, se formează din



La microorganismele aerobe, includerea piruvatului în ciclul lui Krebs are două consecințe importante:

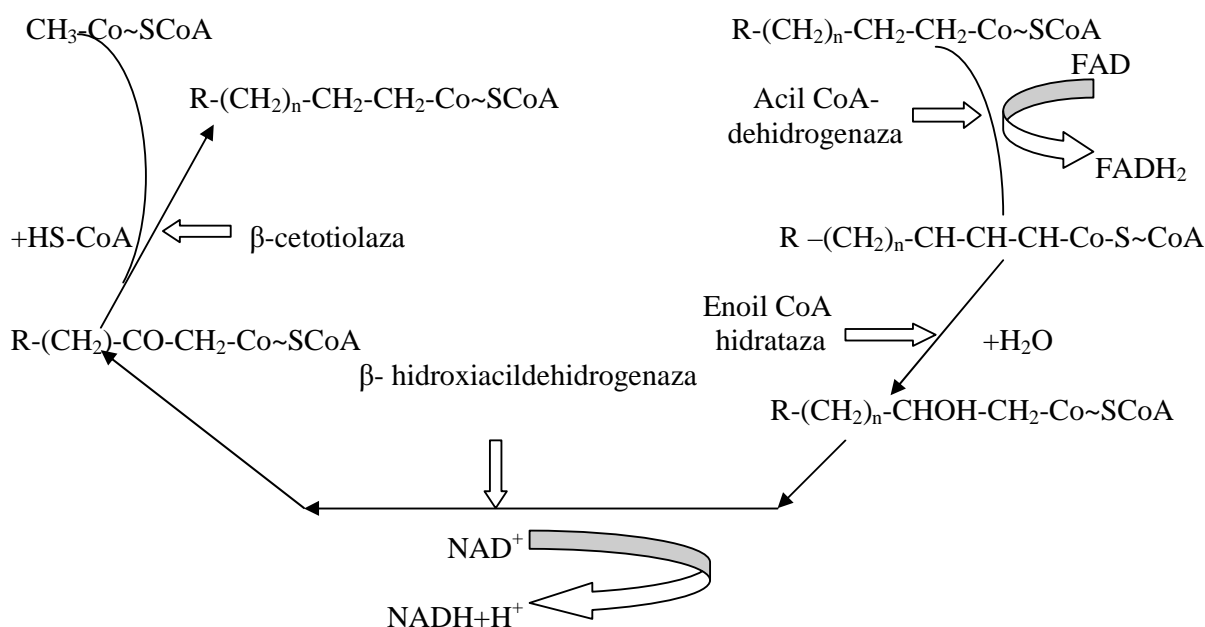
- determină eliberarea unei mari cantități de energie
- furnizează precursori pentru o serie de aminoacizi –lizina, serina, izoleucina, metionina, alanina, valina, leucina etc.)

O altă modalitate de descompunere a piruvatului o constituie **decarboxilarea lui neoxidativă**, care duce la formarea de acetaldehidă pornind de la care, în aerobioză, procesul evoluează în sensul așa numitei „fermentații acetice” specifice bacteriilor din genul Acetobacter, iar în anaerobioză în sensul fermentației alcoolice specifice levurilor din genul Saccharomyces și unor bacterii.

În sfârșit, *o ultimă cale de utilizare a piruvatului*- specifică bacteriilor din genul *Lactobacillus* – corespunde *metabolizării acidului piruvic la acid lactic în procesul de fermentație lactică, sub acțiunea lactico- dehidrazei.*

2. Metabolismul lipidelor la bacterii

Deși bacteriile au capacitatea de a sintetiza activ și de a degrada acizii grași, fosfolipidele și sterolii, modul prin care se realizează aceste transformări este puțin cunoscut.



Reacțiile biochimice de degradare a acizilor grași la bacterii - *Ciclul lui Lynen.*

Degradarea și sinteza acizilor grași – proces al cărui mecanism nu este încă elucidat la bacterii – urmează probabil în mare și la aceste microorganisme căile metabolice clasice, de-a lungul ciclului lui Lynen stabilit la celulele animale.

În acest metabolism, un rol important revine, și la bacterii, acetil-CoA, care joacă rolul unui intermediar cheie.

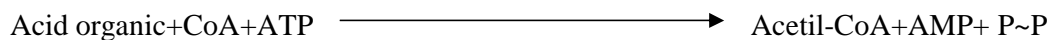
Inițial, grăsimile sunt atacate de lipaze – în general extracelulare – care le scindează în acizi grași și glicerol, compus preluat în procesul de degradare a glucidelor. Acizii grași rezultați variază după natura grăsimilor de origine, dar în general, este vorba despre acizi grași saturați cu 14-18 atomi de carbon, în special palmitic și stearic.

După cum reiese din schemă, într-o primă fază CoA activează acidul gras, formând un compus macroergic(cu legătura puternic energetică ~).

Compusul activat se degradează apoi de-a lungul unor reacții intermediare ale ciclului, până la un acid gras cu doi atomi de carbon mai puțin și un fragment dicarbonic cu CoA.

Ciclul continuă până când, prin același mecanism de formare a unor acizi grași cu 2 atomi de carbon mai puțin și unui fragment dicarbonic – întreg lanțul acidului gras supus degradării este transformat în fragmente de acetyl-CoA.

În sens invers, reacțiile duc la sinteza compușilor complecși (acizi grași cu lanț carbonic lung). Ele comportă participarea aceluiași transportor catalitic- coenzima A- și a acizilor organici activați sub forma derivatelor lor acetyl-CoA. Energia necesară este furnizată de ATP cu eliberare de pirofosfat, după reacția globală :



3. Metabolismul proteinelor la bacterii

În general, moleculele de proteină din mediul de cultură nu pot pătrunde în interiorul celulei bacteriene și de aceea sunt în prealabil hidrolizate în molecule mai mici, sub acțiunea enzimelor proteolitice.

Aceste enzime sunt de două feluri:

- *proteinaze*, care scindează macromoleculele proteice în peptide
- *peptidaze*, în special intracelulare, care hidrolizează peptidele la aminoacizi.

În celula bacteriană aminoacizii se găsesc cel mai frecvent în constituția proteinelor și mai puțin în stare liberă sau legați în molecule specifice. Ei nu reprezintă o importantă sursă de energie pentru bacterii, cu excepția germenilor anaerobi proteolitici.

Capacitatea de degradare a aminoacizilor este foarte răspândită la bacterii, în special la cele Gram-negative, care pot ataca toți aminoacizii întâlniți în natură, în timp ce la cele Gram-pozitive capacitatea de metabolizare a aminoacizilor este mult mai limitată.

În general, între capacitatea de a degrada aminoacizii și aceea de a-i sintetiza există o corelație netă. Metabolismul bacterian al aminoacizilor nu poate fi prezentat într-o schemă generală, deoarece diversitatea structurii lor chimice face ca atât degradarea cât și sinteza lor să se realizeze prin mai multe mecanisme diferite.

La bacterii, metabolismul aminoacizilor decurge fie după mecanisme specifice de degradare- care formează obiectul de studiu al unor discipline de specialitate – fie după scheme comune cu cele întâlnite la animale.

a. Degradarea aminoacizilor de către bacterii

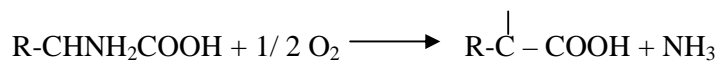
La bacterii, metabolismul aminoacizilor decurge fie prin procese specifice de degradare, fie după două mecanisme fundamentale, comune și altor organisme vii, și anume

- prin *dezaminare*
- prin *decarboxilare*

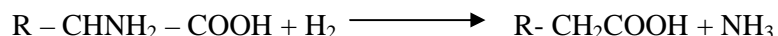
Mecanismul dezaminărilor microbiene

Degradare aminoacizilor prin reacții de dezaminare au ca rezultat formarea cetoacidului corespunzător și eliberarea de NH₃, care poate fi ulterior folosit pentru sinteza altor substanțe azotate. Mecanismul dezaminărilor microbiene nu este în întregime clarificat. Dezaminarea se poate produce în mai multe moduri, cu formarea unor produși de reacție diferiți.

- 1) *Dezaminarea oxidativă*, care are ca rezultat formarea NH₃ și a cetoacidului corespunzător, după reacția generală



- 2) *Dezaminare reductivă* care duce la formarea unui acid gras saturat, după reacția



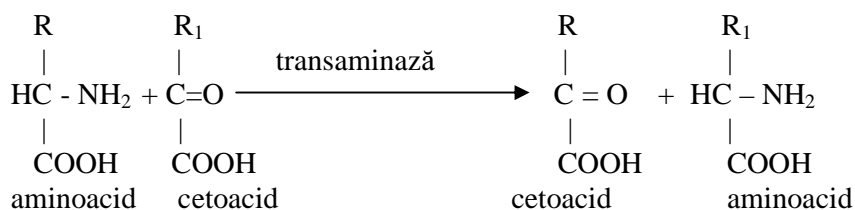
- 3) *Dezaminare desaturantă*, prin care se formează un acid gras nesaturat, după ecuația



- 4) *Dezaminare hidrolitică*, prin care se formează un hidroxiacid, după reacția generală

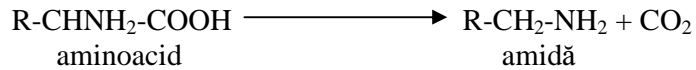


Transaminarea reprezintă o reacție specială de dezaminare produsă sub acțiunea unor enzime specifice – transaminazele – prin care gruparea NH₂ a unui aminoacid este transferată în poziția α a unui α – cetoacid, care în felul acesta devine aminoacid, în timp ce primul aminoacid, care a pierdut NH₂, devine cetoacid, după reacția generală



Mecanismul decarboxilării aminoacizilor

Bacteriile decarboxilează anaerob aminoacizii cu scindarea grupei carboxilice – COOH și formare de CO₂ și amidă corespunzătoare, după ecuația generală



Reacția este catalizată de enzime inductibile specifice, numite decarboxilaze, și reprezintă unul din mecanismele importante prin care se formează CO₂ la microorganisme.

4. Ciclul ureei la bacterii

Amoniacul produs de celulele bacteriene, prin unul din cele 2 mecanisme amintite, este utilizat în bună parte în ciclul ornitino- citrulina – arginic, similar aceluia din celula animală.

Într-o primă etapă, ornitina cupleză o moleculă de NH₃ și una de CO₂, formând citrulina, cu eliminarea unei molecule de apă .

Citrulina cupleză o altă moleculă de NH₃, elimină o moleculă de apă și formează arginina. În celula animală arginina dă naștere la uree și reface ornitina, în timp ce la majoritatea bacteriilor ea servește drept precursor pentru formarea acidului glutamic și a lizinei, trecând prin acidul α –ceto–adipic.

Trecerea citrulinei în arginină se face prin fixarea de NH₃. Aceasta provine din acidul aspartic care se formează astfel în acid fumaric (produs intermediar în ciclul lui Krebs).

În felul acesta, ciclul ureei se cupleză cu ciclul energetic glucidic, aspartatul regenerându-se din oxal-acetat.