



به نام خدا

اهداف این جلسه

۱. تعریف متابولیسم
۲. بررسی تفاوت واکنش های آنابولیسم و کاتابولیسم
۳. بررسی نقش ATP در واکنش های آنابولیسم و کاتابولیسم
۴. بررسی ساختار آنزیم ها و نقش آنها در واکنش های متابولیک
۵. بررسی واکنش های اکسیداسیون - احیا و نقش آنها در متابولیسم
۶. بررسی واکنش ها و مسیرهای مسئول در تولید ATP
۷. بررسی محصولات مسیر گلیکولیز
۸. بررسی عملکرد مسیر پنتوز فسفات
۹. بررسی عملکرد مسیر (Enter - Doudoroff منحصر در باکتری ها)
۱۰. بررسی محصولات چرخه ی کریس
۱۱. بررسی مدل کمواسمتیک تولید ATP
۱۲. بررسی تفاوت های میان تنفس هوازی و غیر هوازی
۱۳. بررسی محصولات فرآیند تخمیر
۱۴. بررسی تغذیه باکتری ها
۱۵. بررسی نیازهای رشد (در باکتری ها)

متابولیسم

که از کلمه یونانی Metaballein منشا گرفته است. به کلیه ی واکنش هایی که درون سلول اتفاق می افتد متابولیسم گفته می شود که خود شامل دو دسته از واکنشهای آنابولیکی و کاتابولیکی می شود .

واکنش های آنابولیک: در طی آن ها انرژی مصرف می شود و ماکروملکول هایی در طی آن تشکیل می شود. (تشکیل پیوند)

واکنش های کاتابولیک: در طی آن ها انرژی آزاد می شود و ماکروملکول های پیچیده شکسته می شوند. (شکسته شدن پیوند)



برخی مسیرهای بیوشیمیایی هم شامل واکنشهای کاتابولیک و هم شامل واکنشهای آنابولیک هستند که مسیرها و یا چرخه های دوگانه نام دارند (مسیرهای آملی بولیک یا دو عملکردی) که چرخه کربس و مسیر پنتوز فسفات از این دسته هستند (شامل تولید ATP، فرآیندی کاتابولیک و تولید ریبوز و دئوکسی ریبوز، فرآیندی آنابولیک).

مهمترین حلقه بین متابولیسم و سوخت و ساز انرژی در جانداران، تجزیه و تولید ATP است.



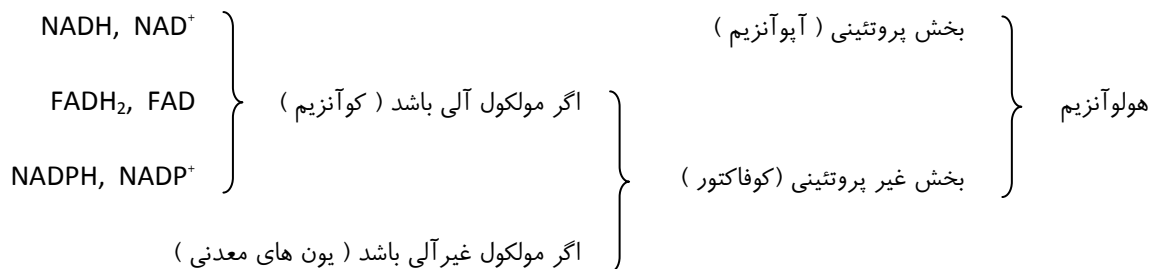
مسیرهای متابولیکی

مجموعه ای از واکنش های پشت سر هم بیوشیمیایی هستند که ممکن است بصورت خطی (مثل گلیکولیز) و یا ممکن است بصورت حلقوی (چرخه مثل چرخه کربس) مشاهده شوند. عامل تاثیرگذار و تعیین کننده در تمام مسیرهای متابولیکی آنزیم ها هستند .

مسیرهای متابولیک اولیه: به مسیرهایی گفته می شود که مسئول اعمال پایه ای حیاتِ باکتری مثل و رشد و تغذیه در سلول هستند.

آنزیم ها

آنزیم ها و یا کاتالیزورهای زیستی، ترکیباتی هستند که سرعت واکنش را بالا برده ولی خود مصرف نمی شوند و علاوه بر آن بصورت اختصاصی عمل می کنند. آنزیم ها از طریق کاهش دادن انرژی فعال سازی اولیه باعث افزایش سرعت واکنش می شوند.



NAD^+ و NADP^+ انتقال دهنده دو الکترون و یک پروتون (H^+ و e^-) و FAD انتقال دهنده دو الکترون و دو پروتون (H^+ و e^-) در حالت احیا شده هستند. (این موضوع در اسلاید های دکتر عینی اشتباه ذکر شده است. - ویراستار)

انرژی

توانایی انجام کار است و باکتری انرژی را برای حرکت، واکنشهای آنابولیکی و جایجایی مواد و ... استفاده می کند.



انرژی در دسترس برای فعالیت های سلول فقط در اثر شکسته شدن و هیدرولیز ATP بدست نمی آید بلکه روش های دیگری هم وجود دارند که در ادامه به آن اشاره می شود.

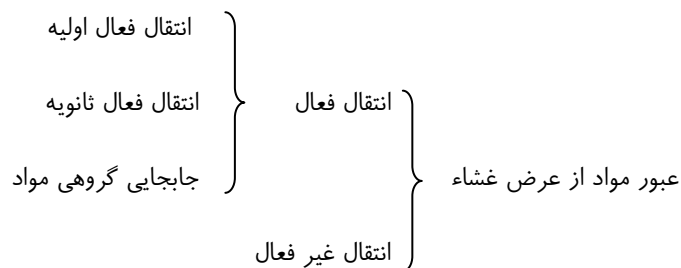
انتقال مواد از عرض غشاء از لحاظ مصرف انرژی به دو دسته کلی تقسیم می شود، انتقال فعال و انتقال غیر فعال.

انتقال فعال مواد، با صرف انرژی در جهت خلاف شیب غلظتی مواد صورت می گیرد، در حالی که انتقال غیر فعال بدون مصرف انرژی و در جهت شیب الکتروشیمیایی است .

در انتقال فعال مواد در صورتی که انرژی مورد نیاز برای انتقال بصورت مستقیم از ATP تامین شود، انتقال ، انتقال فعال اولیه نام می گیرد. ABC یا ATP - Binding Cassette دسته ای از ترانسپورترهای غشایی مسئول برای این فرآیند هستند.

در صورتی که انرژی مورد نیاز برای انتقال فعال مواد از شیب الکتروشیمیایی یون دیگری بدست آید، به آن انتقال فعال ثانویه گفته می شود. یون اولیه (سدیم و یا یون هیدروژن) در ابتدا و با مصرف انرژی در یک سمت از غشاء تجمع پیدا می کند که این اختلاف غلظت یونی باعث به وجود آمدن شکلی از انرژی ذخیره ای به نام انرژی الکترو شیمیایی می شود که در نهایت با ورود و یا خروج ترکیب دیگری جفت می شود. (استاد این قسمت را تنها با نیروی پروتونی توضیح دادند که این موضوع در چرخه انتقال الکترون دوباره مورد بررسی قرار می گیرد. - ویراستار)

نوع دیگر انتقال فعال جابجایی گروهی مواد نام دارد. (استاد در این باره توضیح اضافی ندادند. - ویراستار)



پس یکی دیگر از اشکال انرژی در دسترس علاوه بر ATP گرادیان الکتروشیمیایی پروتون است، که در انتقال مواد دخالت دارد.

واکنش های اکسیداسیون - احیاء (Redox)

در این واکنش ها جابجایی الکترون بین ترکیبات مختلف رخ می دهد، که در آن ها یک ملکول به عنوان دهنده الکترون (احیاء کننده یا Reducing) و دیگری به عنوان گیرنده الکترون (اکسید کننده یا Oxidizing) عمل می کند.

وقتی ملکولی گیرنده الکترون، است یعنی یون هیدروژن را دریافت می کند. (چون در اکثر واکنشهای شیمیایی انتقال الکترون همراه پروتون صورت می گیرد پس وقتی صحبت از انتقال الکترون می کنیم منظور همان جابجایی اتم هیدروژن است.)



ملکولی که الکترون، از دست می دهد اکسید می شود در حالی که خود یک مولکول احیاء کننده (Reductant) است، برعکس ملکولی که الکترون را جذب می کند احیاء می شود و خود ملکولی اکسید کننده (Oxidant) نام دارد. واکنش های اکسایش و احیاء همیشه، با یکدیگر جفت می شوند.

در اکسیداسیون، یک ترکیب هیدروژن (و الکترون) از دست داده و یا اکسیژن می گیرد درحالی که در احیاء ترکیب هیدروژن (و الکترون) گرفته و یا اکسیژن از دست می دهد. واکنشهای Redox در کاتابولیسم غالباً برای برداشت انرژی از ترکیبات و مواد غذایی انجام می گیرد .

برای اینکه بخواهیم اکسیژن را از محیط حذف کنیم باید از ترکیبات احیاء کننده استفاده کنیم که اکسیژن را از محیط خارج کرده و پتانسیل واکنش های اکسیداسیون احیاء را پائین می آورد و شرایط را برای رشد باکتری های بی هوازی فراهم می کند.

مکانیسم های تولید ATP در داخل سلول باکتری

ATP در کل چرخه ی حیات از سه طریق تولید می شود

۱. واکنش های شیمیایی

۲. واکنش های الکتروشیمیایی

۳. فرایندهای فتوسنتزی (انرژی نورانی)

منظور از واکنش های شیمیایی، جابجایی گروه فسفات از یک ملکول به ملکول دیگر است که به آن فسفریلاسیون در سطح سوبسترا نیز گفته می شود. واکنشهای شیمیایی عمدتاً در گلیکولیز و همزمان با یک واکنش انرژی زا Exergonic انجام می شود که ۴ ملکول ATP تولید می کند ولی بدلیل مصرف ۲ ملکول ATP بازده خالص آن ۲ ملکول ATP می شود.

جابجایی الکترون در جریان واکنش های شیمیایی در روند تولید ATP بی تاثیر است .

واکنش های الکتروشیمیایی، در اثر جابجایی الکترون ها (پروتون) در عرض غشاء یک شیب پروتونی و یا Proton Motive Force - PMF ایجاد می شود که این شیب در نهایت می تواند باعث تولید ATP شود. واکنش های الکتروشیمیایی غالباً در زنجیره انتقال الکترون رخ می دهند که در سلولهای پروکاریوت در غشاء سلول و در سلولهای یوکاریوت در فضای ماتریکس بین غشای داخلی و خارجی میتوکندری انجام می شوند . نام دیگر تولید ATP در این روش، فسفریلاسیون اکسیداتیو است.

کلمه اکسیداتیو از کجا آمده است؟

گیرنده نهایی الکترون در فرآیندهای الکتروشیمیایی اکسیژن است.

فتوفسفریلاسیون، شکل دیگری از سنتز ATP است که در جریان آن از انرژی نورانی به عنوان منبع انرژی برای برانگیختن الکترون ها استفاده و در نهایت تولید انرژی در دسترس برای سلول می شود.

برای استخراج انرژی از ترکیبات آلی، ارگانیسم ها الکترون را از یک ترکیب به ترکیب دیگر در طی واکنشهای اکسیداسیون احیاء پشت سر هم منتقل می کند. این مسیرها براساس نوع نهایی گیرنده الکترون به سه دسته تقسیم می شود:



۱. تخمیر: گیرنده نهایی الکترون، ترکیبات آلی خود باکتری هستند.
 ۲. تنفس هوازی: گیرنده نهایی الکترون اکسیژن است.
 ۳. تنفس بی هوازی: گیرنده نهایی الکترون چیزی غیر از اکسیژن مثل نیترات، سولفات، فومارات، CO₂ و ...
- ✗ با اینکه گیرنده نهایی در تنفس بی هوازی اکسیژن نیست ولی باز هم به واکنش های آن فسفریلاسیون اکسیداتیو گفته می شود.

کاتابولیسم کربوهیدرات

باکتری ها کربوهیدرات ها را به عنوان منبع کربن، الکترون و از همه مهمتر انرژی اکسید می کنند. رایج ترین فرم کربوهیدرات در سلول ها گلوکز است. باکتری ها از دو روش کلی کربوهیدرات ها را می سوزانند :

تنفس: شامل گلیکولیز ، چرخه کربس و زنجیره انتقال الکترون.

تخمیر: شامل گلیکولیز و واکنش های متعاقب آن که به نوع تخمیر را بستگی دارند. (تخمیر اسیدی، تخمیر الکلی و ...)

✗ پس گلیکولیز مترادف تخمیر نیست.

تخمیر

در تنفس گیرنده نهایی الکترون یک ماده غیر آلی در حالی که در تخمیر گیرنده نهایی الکترون یک ماده ی اندوژن است (منظور از اندوژن این است که گیرنده نهایی الکترون محصول آن مسیر است.) در صورتی که در تنفس (هم هوازی و غیرهوازی) گیرنده نهایی ترکیباتی اگزوژن مثل اکسیژن ، نیترات ، سولفات و ... است.

گلیکولیز

در طی این فرآیند گلوکز (۶ کربنه) تبدیل به دو مولکول پیرووات (سه کربنه) می شود . در این فرآیند یک پیوند در گلوکز شکسته می شود. (به نظر می رسد منظور استاد فرم خطی گلوکز است در غیر این صورت در فرم حلقوی ۲ پیوند شکسته می شود. - ویراستار) در این فرآیند علاوه بر پیرووات به عنوان محصول نهایی، ATP و NADH تولید می شود. ATP تولید شده در گلیکولیز از طریق فسفریلاسیون در سطح سوبسترا تشکیل می شود و NADH در نهایت وارد زنجیره ی انتقال الکترون می شود. پس تولید انرژی در گلیکولیز از طریق دو مکانیسم زیر اتفاق می افتد.

۱. واکنش های شیمیایی
۲. واکنش های الکتروشیمیایی



از طریق واکنش های شیمیایی ۲ مولکول ATP تشکیل می شود و از طریق مکانیسم الکتروشیمیایی نیز ۶ مولکول ATP تولید می شود (۲ مولکول NADH و از هر مولکول آن ۳ مولکول ATP و در نهایت، ۶ مولکول ATP) البته این در صورتی است که در ادامه فرآیند گلیکولیز، تنفس صورت بگیرد.



ممکن است گیرنده ی نهایی الکترون در تنفس بی هوازی یک ماده ی اگزوژن آلی هم باشد، اما در تخمیر گیرنده ی نهایی الکترون یک ماده ی آلی اندوژن (درون زاد) است.

در داخل سلول گلوکز فقط از مسیر گلیکولیز تجزیه نمی شود و مسیرهای دیگری هم وجود دارد که ۲ تا از مهمترین و شایع ترین های مسیر تجزیه و متابولیسم گلوکز مسیر پنتوز فسفات و مسیر Entener - Doudoroff (ED) هستند. گلیکولیز و پنتوزفسفات هم در سلول های پروکاریوتی اتفاق می افتد هم در سلول های یوکاریوتی ولی مسیر Entener - Doudoroff فقط در پروکاریوت ها انجام می گیرد.

مسیر پنتوز فسفات

یک مسیر Amphibolic یا دو عملکردی است که در آن هم واکنش های آنابولیک و هم کاتابولیک صورت می گیرد. نام دیگر این مسیر، شانت هگزوزمنوفسفات است. این مسیر در تنها در باکتری های خاصی که به آنها باکتری های هترولاکتیک اسید می گوئیم، اتفاق می افتد. (اگر در یک باکتری محصول نهایی تخمیر فقط لاکتات باشد به آن همی لاکتیک اسید و اگر علاوه بر لاکتات، اتانول و CO₂ هم تولید کنند به آنها هترولاکتیک اسید می گوئیم که در این دسته از باکتری ها، مهمترین راه برای تجزیه گلوکز مسیر پنتوز فسفات است، از باکتری های هترولاکتیک به *E.coli*, *Enterococcus faecalis* و *Bacillus subtilis* اشاره کرد.)

در مسیر پنتوزفسفات یک مولکول ATP به روش فسفریلاسیون در سطح سوپسترا تولید می شود، علاوه بر آن ترکیبات واسطه ای این مسیر در تولید انواع قندها به ویژه قندهای با تعداد کربن فرد (مثل ریبوز، دئوکسی ریبوز و هپتولوز) به کار می روند. در این مسیر یک مولکول NADPH هم تولید می شود که در واکنش های بیوستری (آنابولیک) به عنوان دهنده ی الکترون (نیروی احیاکننده) عمل می کند. (در اینجا استاد گفتند ما به این دلیل وارد جزئیات نمی شویم که شما در بیوشیمی اینها را خوانده اید و آقای سجاد امیری هم به استاد متذکر شدند که در بیوشیمی به ما اینها را نگفتند و گفتند در باکتری می خوانید! - پیاده ساز)

مسیر Entener - Doudoroff

این مسیر فقط در باکتری ها دیده می شود و ممکن است در غیاب یا همراه با گلیکولیز انجام شود.

چرا باکتری ها از مسیر های متعددی برای تجزیه گلوکز استفاده می کنند که در یوکاریوت ها هم وجود ندارد؟

یکی به دلیل اینکه مشاهده تنوع و Diversity بیشتر در باکتری ها و در محیط های مختلف زندگی آن ها ست، و دیگر به این دلیل که کارآیی تولید انرژی در باکتری ها در مقایسه با یوکاریوت ها کمتر است. (به علت داشتن زنجیره ی انتقال الکترون خاص خودشان). نکته ی دیگر اینکه در انتقال گروهی مثل فسفات به گلوکز تغییری در مولکول ایجاد می شود مثلا گلوکز به گلوکز ۶- فسفات تبدیل می شود که این برای سلول ۲ فایده دارد:

۱. غلظت گلوکز در داخل سلول بیش از حد زیاد نمی شود که انتقال آن دچار مشکل شود. ۲. گلوکز ۶- فسفات مستقیما وارد مسیرهای متابولیکی می شود.



نکته ی دیگر این که باکتری ها بر خلاف سلول های یوکاریوتی (البته به جز قارچ ها) توانایی استفاده از منابع کربن مختلف را دارند که برای استفاده از این منابع، در فرآیند تکاملی مسیرهای هیدرولیز هیدروکربن ها در آنها ایجاد شده که این مسیرها در یوکاریوت ها دیده نمی شود.

در مسیر Entener - Doudoroff یک مولکول ATP به روش فسفریلاسیون در سطح سوبسترا، ۲ مولکول پیرووات و همچنین یک مولکول NADH تولید می شود. در نتیجه و در مجموع حداکثر ۴ مولکول ATP تولید می شود که این میزان کمتر از گلیکولیز است و این یکی از دلایلی است که (همان طور که گفتیم) بازده تنفس در باکتری ها کمتر است.

این مسیر برای مثال در باکتری های Pseudomonas, Rhizobium, Agrobacterium دیده می شود و آنزیم های 6 - Phosphogluconate Dehydratase و 2 - Keto - 3 - Deoxy - 6 - Phosphogluconate Aldolase در آن نقش کلیدی ایفا می کنند.

تنفس

پس از گلیکولیز، به ترتیب مراحل زیر انجام می شود: واکنش واسطه ای (Transition Reaction)، چرخه ی کربس و پس از آن زنجیره ی انتقال الکترون، که به مجموع این مراحل تنفس گفته می شود. پس اولین تفاوت بین تخمیر و تنفس عدم وجود مراحل بالا در تخمیر است. پس به همین خاطر بازده تخمیر در مقایسه با تنفس بسیار کمتر است.

تنفس به ۲ شکل کلی انجام می شود:

۱. هوازی: که گیرنده ی نهایی الکترون در آن اکسیژن است.

۲. بی هوازی: که گیرنده ی نهایی الکترون، ترکیبات آلی و گاهی غیرآلی به جز اکسیژن مثل نیترات، آب، فومارات، سولفات است که این ترکیب به نوع باکتری بستگی دارد. در تنفس بی هوازی چرخه ی کربس یا انجام نمی شود و یا ناقص انجام می شود، پس به همین دلیل بازده تنفس هوازی بیشتر از بی هوازی است. (و بازده هر دو آن ها از تخمیر بیشتر است.)

در جدول زیر محصول نهایی را بر اساس، گیرنده الکترون در این تنفس مشاهده می کنید.

Electron Acceptor	Products
NO_3^-	NO_2^- , N_2 , H_2O
SO_4^{2-}	H_2S , H_2O
CO_3^{2-}	CH_4 , H_2O

واکنش واسطه ای: تبدیل پیرووات به استیل کوآنزیم A که در جریان آن ۱ مولکول NADH تولید می شود و چون به ازای هر مولکول گلوکز، ۲ مولکول پیرووات داریم پس ۲ مولکول NADH هم به ازای هر مولکول گلوکز تولید می شود پس تا اینجا مسیر (در اثر گلیکولیز و واکنش واسطه ای پس از آن) ۴ مولکول NADH تولید شده است.



چرخه ی کربس: استیل کوآنزیم A که در مرحله قبلی تولید شده است، وارد چرخه ی کربس می شود. در این چرخه ۱ مولکول GTP به روش فسفریلاسیون در سطح سوبسترا تولید می شود که معادل یک مولکول ATP هست. در هر بار چرخه همچنین ۱ مولکول $FADH_2$ و ۳ مولکول NADH تولید می شود که چون چرخه به ازای هر مولکول گلوکز، ۲ بار انجام می شود، پس در مجموع برای هر گلوکز:

- ۲ مولکول GTP معادل ۲ مولکول ATP، به روش فسفریلاسیون در سطح سوبسترا.
- ۲۲ مولکول ATP به روش الکترو شیمیایی.
- ۲ مولکول $FADH_2$ که هر یک از آن ها معادل ۲ مولکول ATP، پس در نهایت ۴ مولکول ATP.
- ۶ مولکول NADH که هر یک از آن ها معادل ۳ مولکول ATP، پس در نهایت ۱۸ مولکول ATP.

تولید می شود.

زنجیره ی انتقال الکترون ETC, Electron Transport Chain: این زنجیره در باکتری ها، در غشای سیتوپلاسمی انجام می شود و حاوی مولکول های متعددی با عنوان ناقل الکترون و پروتون است که در ۳ گروه قرار می گیرند:

- Flavoproteins
- Ubiquinones or Coenzyme Q
- Cytochromes

در زنجیره ی انتقال الکترون مجموعه ای از واکنش های اکسیداسیون- احیا انجام می شود که در جریان آن ها مولکولی که وارد زنجیره می شود (و سطح انرژی بالایی دارد) مرحله به مرحله انرژی اش کاهش یافته و صرف پمپ پروتون در عرض غشا می شود و در نهایت الکترون آن به گیرنده ی نهایی منتقل می شود که سطح انرژی پایینی دارد.

۱. Flavoproteins: ۲ الکترون و ۲ پروتون می گیرند، ولی فقط یکی از الکترون ها را منتقل می کنند و پروتون را به سمت لایه ی خارجی غشا منتقل می کنند. در ساختار آن ها فلاوین، شرکت دارد. (مثل FMN)
۲. Coenzyme Q: مثل Flavoproteins ۲ الکترون و ۲ پروتون می گیرد و فقط الکترون ها را منتقل می کند ولی تفاوتش با Flavoproteins در این است که Coenzyme Q هر ۲ الکترونی را که گرفته به مولکول بعدی منتقل می کند ولی Flavoproteins فقط یکی از الکترون هایش را منتقل می کند. این ترکیب غیرپروتئینی و هیدروفوب است.
۳. Cytochromes: انواع مختلفی از Cytochromes بر حسب نوع باکتری در غشای سیتوپلاسمی وجود دارد و حاوی هم در ساختمان خود هستند و به آنها پروتئین های هم دار می گویند و فقط می توانند ۱ الکترون را منتقل کنند. (Fe^{3+} الکترون می گیرد و Fe^{2+} تولید می شود و بالعکس.)

با فعالیت این زنجیره، نیروی پروتونی PMF, Proton Motive Force در عرض غشای خارجی تولید می شود. آنزیم های فلاوین دار، کوینون ها، کمپلکس سایتوکروم bc1 و سایتوکروم اکسیداز در تولید این نیرو دخیل هستند.

این ترکیبات در غشا، در غالب چهار کمپلکس سازمان یافته اند:



• Complex I: NADH:quinone oxidoreductase

• Complex II: succinate dehydrogenase

• Complex III: cytochrome bc1

• Complex IV: cytochromes a & a3

NADH در کمپلکس اول تجزیه شده و یک مول H^+ و دو مول الکترون تولید می کند، H^+ به کمک کمپلکس اول به خارج از غشا منتقل می شود و الکترون ها به کمپلکس بعدی می روند. در هر یک از این کمپلکس ها الکترون باعث پمپ پروتون ها به خارج از غشا می شود که در نهایت این روند باعث ایجاد یک شیب الکتروشیمیایی در عرض غشا می گردد.

پروتون هایی که از سیتوپلاسم خارج شده اند، باید به نوعی به داخل سلول برگردند. این عمل از طریق یک سری کانال های خاص صورت می گیرد که به آن ها F_0, F_1-5 گفته می شود. این انتقال و نیروی حاصل از آن برای تولید ATP از ADP و P_i استفاده می شود که به این پدیده، کمواسمز میشل گفته می شود. این پدیده ها هم در تنفس هوازی هم در بی هوازی اتفاق می افتد، اما در تنفس بی هوازی گیرنده ی نهایی الکترون، اکسیژن نیست.

باکتری Pseudomonas هوازی مطلق است، یعنی نمی تواند تخمیر انجام دهد. اما می تواند در شرایط بی هوازی هم رشد کند (با مکانیسم تنفس بی هوازی، یعنی نیاز به اکسیژن ندارد و با نیترات هم می تواند تنفس انجام دهد).

تخمیر

در تخمیر گیرنده ی نهایی الکترون، یک ماده ی اندوژن است (پیروات یا مشتقات آن).

چرا بعد از گلیکولیز باکتری نیاز دارد واکنش ادامه پیدا کند؟

تا NAD^+ در جریان آن بازتولید شود (در باکتری هایی که تنفس انجام می دهند این اتفاق در زنجیره ی انتقال الکترون می افتد).

باکتری ها می توانند انواع مختلفی از تخمیر بر حسب محصول فرآیند انجام دهند، برای مثال اگر محصول الکل باشد به آن تخمیر الکلی می گویند. تولید ماست، پنیر، شراب و سرکه مثال هایی از فرآیندهای تخمیری هستند.

تخمیر لاکتیک اسید:

• تخمیر همولاکتیک اسید Homolactic: محصول نهایی فقط لاکتات باشد.

• تخمیر هترولاکتیک اسید Heterolactic: علاوه بر لاکتات، در جریان آن اتانول و CO_2 هم تولید شود.

به طور کلی دو نوع تخمیر اهمیت زیادی در شناسایی باکتری ها در آزمایشگاه دارند: تخمیر اسیدی مخلوط و تخمیر بوتانیدیول که هر دوی این ها زیرمجموعه ی تخمیر اسید فرمیک هستند. عمده ی باکتری های این گروه (تخمیرکننده از نوع اسید فرمیک) جز خانواده انتروباکتریاسیه (Enterobacteriaceae) می باشند.

در واقع در این مسیر ابتدا فرمیک اسید تشکیل می شود که:

• یا به مجموعه ای از اسیدها تبدیل می شود (تخمیر اسیدی مخلوط).



○ در تخمیر اسیدی مخلوط اسید استیک، لاکتیک، سوکسینات و فرمیک اسید محصولات نهایی هستند. در آزمایشگاه از تست MR. Methyl Red برای تشخیص این نوع تخمیر استفاده می شود. در این تخمیر باکتری های انتروباکتریاسیه انواع مختلفی از اسیدها را تولید می کنند پس به این دلیل شرایط اسیدی است و وقتی متیل رد (Methyl Red) را اضافه کنیم قرمز می شود (کل محیط قرمز می شود).

● یا به بوتاندیول تبدیل می شود (تخمیر بوتاندیول).

○ گروه دیگری از باکتری های خانواده ی Enterobacteriaceae از مسیر بوتاندیول استفاده می کنند که محصول نهایی آن یک ترکیب خنثی است و از تست VP, Voges-Proskauer برای تشخیص آن استفاده می کنند.

تست MR - VP: در آزمایشگاه ۲ لوله با ترکیبات مشابه برمی داریم و باکتری را به آنها منتقل می کنیم. به یک لوله متیل رد اضافه می کنیم اگر رنگ محیط قرمز شد می گوئیم باکتری + MR و - VP. برای مسیر بوتاندیول از معرف های دیگری مثل KOH و Alpha-Naphtol استفاده می کنیم. که باعث ایجاد یک هاله ی قرمز در سطح محیط می شود.

● باکتری های Enterobacteriaceae یا + MR هستند یا + VP و اگر هر دو + شدند تست غلط است.

● باکتریهای زیر + MR هستند:

○ *Salmonella typhi* (عامل حصبه یا تب تیفوئید)

○ *E.coli dysenteriae* (عامل اسهال خونی)

○ *Shigella*

● باکتری های زیر + VP هستند:

○ *Enterobacter*

○ *Serratina*

○ *Erwinia*

باکتری هایی که از تخمیر برای تولید انرژی استفاده می کنند: معمولاً رشد می کنند و بوی خیلی نامطبوعی ایجاد می کنند، برای مثال اسید بوتیریک بوی تخم مرغ گندیده می دهد. یا در چاه فاضلاب چون شرایط بی هوازی است، بر اثر تخمیر باکتری ها بوی گند تولید می شود.

منتقدان من اگر مرا ببینند که دارم بر روی آب رودخانه تایمز راه می روم، خواهند گفت:

دلیلش این است که شنا بلد نیست.

مارگارت تاچر

