به نام خدا

بیولوژی کمپبل تنفس سلولی و تخمیر

مؤلفان :

نازنین قربان زاده

مهرسا قیصر کوشکی

انوشاعلی یاری

ثمین قدرتی

نسیم صدوقی مود

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران – ۱۴۰۴)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir

سرشناسه : قربان زاده، نازنین ، ۱۳۹۲
عنوان و نام پدیدآورندگان: بیولوژی کمپیل تنفس سلولی و تخمیر/ مولفان: نازنین قربان زاده ، مهرسا قیصر کوشکی ، انوشاعلی یاری ، ثمین قدرتی ، نسیم صدوقی مود
مشخصات نشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری :۸۲ ص.
شابک : ۹-۷۷۶-۱۱۷-۶۲۲-۹۷۸
شناسه افزوده : قیصر کوشکی، مهرسا ، ۱۳۹۲
شناسه افزوده : علی یاری،انوشا ، ۱۳۹۱
شناسه افزوده : قدرتی، ثمین ،۱۳۹۲
شناسه افزوده : صدوقی مود، نسیم ،۱۳۶۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : بیولوژی کمپیل - تنفس سلولی و تخمیر
رده بندی کنگره : TP ۹۸۳
رده بندی دیویی : ۶۶۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی : ۹۹۷۶۵۸۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : بیولوژی کمپیل تنفس سلولی و تخمیر
مولفان: نازنین قربان زاده - مهرسا قیصر کوشکی -انوشاعلی یاری - ثمین قدرتی -نسیم صدوقی مود
ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول ــ ۱۴۰۴
چاپ : زبرجد
قیمت : ۱۱۰۰۰۰تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان :
https//:chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۹-۷۷۶-۱۱۷-۶۲۲-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir

فهرست

نکته ی مطالعه:..... ۶

مسیر های کاتابولیک و ساخت ATP ۹

واکنش‌های اکسایش-کاهش: اکسیداسیون و کاهش ۱۱

اکسیداسیون مولکول‌های سوخت آلی ۱۴

مهارت‌های بصری ۱۹

مراحل تنفس سلولی: یک پیش‌نمایش..... ۲۱

انیمیشن تسلط بر زیست‌شناسی: مروری بر تنفس سلولی..... ۲۵

گلیکولیز: مرحله‌ی جبران انرژی..... ۳۲

تسلط بر زیست‌شناسی®BioFlix ۳۲

انیمیشن: گلیکولیز ۳۲

چرخه اسید سیتریک ۳۲

انیمیشن تسلط بر زیست شناسی: چرخه اسید سیتریک ۳۴

انیمیشن تسلط بر زیست‌شناسی BioFlix®: چرخه اسید سیتریک ۳۷

بررسی تولید ATP توسط تنفس سلولی..... ۵۱

انیمیشن تسلط بر زیست‌شناسی: تولید ATP از تنفس سلولی..... ۵۲

انیمیشن تسلط بر زیست‌شناسی: زنجیره انتقال الکترون: ۵۵

اهمیت تکاملی گلیکولیز..... ۵۷

کاربردهای گوناگون کاتابولیسم ۵۹

بیوسنتز (مسیرهای آنابولیک)..... ۶۱

مرور فصل ۹ ..... ۶۵
خلاصه‌ای از مفاهیم کلیدی ۶۵
پاسخ پیشنهادی: ۷۸

شکل ۹.۱ این موش خرمای سفید (Marmota caligata) با تغذیه از گیاهان، انرژی مورد نیاز سلول‌های خود را به دست می‌آورد. در فرآیند تنفس سلولی، میتوکندری‌های موجود در سلول‌های حیوانات، گیاهان و سایر موجودات زنده، مولکولی بازیافت می‌شوند.

۹.۱ مسیرهای کاتابولیک با اکسیداسیون سوخت‌های آلی انرژی تولید می‌کنند. صفحه ۱۶۵

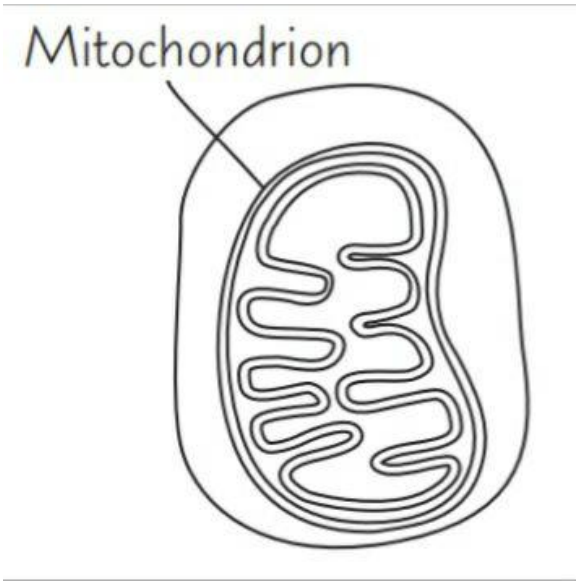
۹.۲ گلیکولیز با اکسیداسیون گلوکز به پیروات، انرژی شیمیایی را جمع‌آوری می‌کند. صفحه ۱۷۰

۹.۳ پس از اکسیداسیون پیروات، چرخه اسید سیتریک، اکسیداسیون مولکول‌های آلی با تولید انرژی را تکمیل می‌کند .صفحه ۱۷۱

۹.۴ در طول فسفوریلاسیون اکسیداتیو،شیمیواسمز، انتقال الکترون را به سنتز ATP جفت می‌کند. صفحه ۱۷۴

۹.۵ تخمیر و تنفس بی‌هوازی سلول‌ها را قادر می‌سازد تا ATP را بدون استفاده از اکسیژن تولید کنند. صفحه ۱۷۹

۹.۶ گلیکولیز و چرخه اسید سیتریک به بسیاری از مسیرهای متابولیکی دیگر متصل می‌شوند .صفحه ۱۸۲



نکته ی مطالعه:

یک راهنمای مطالعه بصری تهیه کنید: یک سلول با میتوکندری بزرگ رسم کنید و قسمت‌های میتوکندری را برچسب‌گذاری کنید. همانطور که فصل را مرور می‌کنید، واکنش‌های کلیدی هر مرحله از تنفس سلولی را اضافه کنید و مراحل را به هم مرتبط کنید. مولکول (های) کربنی را که بیشترین انرژی را دارند و مولکول (های) کربنی را که کمترین انرژی را دارند، برچسب‌گذاری کنید. سلول شما می‌تواند یک طرح ساده باشد، همانطور که در اینجا نشان داده شده است.

دانش‌آموزان (در متن الکترونیکی و منطقه مطالعه) برای فصل ۹ آماده شوید

.انیمیشن :®BioFlix تنفس سلولی

.شکل ۹.۱۲ راهنمای گام به گام: انرژی آزاد

تغییر در طول انتقال الکترون

برای مربیان جهت تعیین تکلیف (در کتابخانه موارد)

·آموزش :®BioFlix گلیکولیز

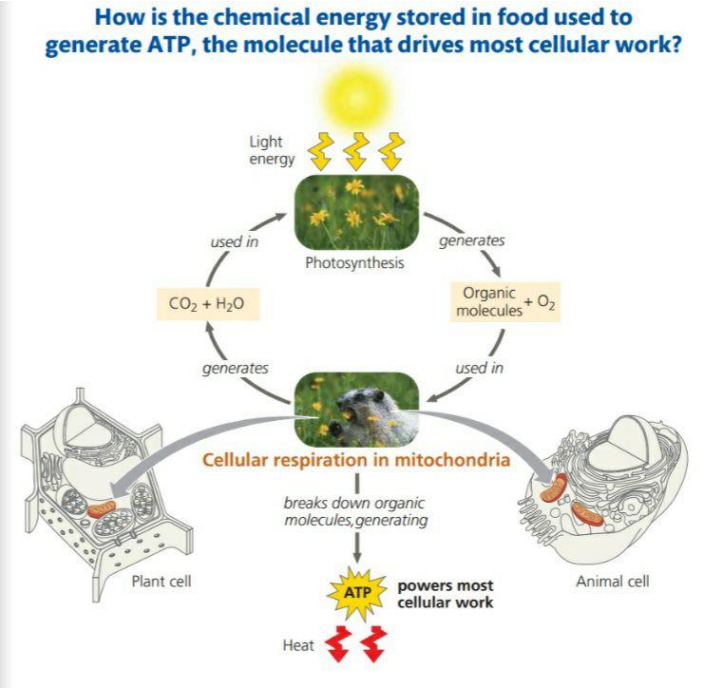
·آموزش :®BioFlix تنفس سلولی:

ورودی‌ها و خروجی‌ها

ماژول آموزشی آماده برای شروع

(در منابع مربی)

·فسفوریلاسیون اکسیداتیو (مفهوم ۹.۴)



سلول‌های زنده برای انجام وظایف متعدد خود - به عنوان مثال، مونتاژ پلیمرها، پمپاژ مواد از طریق غشاها، حرکت و تولید مثل - به انتقال انرژی از منابع خارجی نیاز دارند. منبع خارجی انرژی، غذا است و انرژی ذخیره شده در مولکول‌های آلی غذا در نهایت از خورشید می‌آید. همانطور که در شکل ۹.۱ نشان داده شده است، انرژی به صورت نور خورشید به یک اکوسیستم جریان می‌یابد و به صورت گرما خارج می‌شود. در مقابل، عناصر شیمیایی ضروری برای حیات بازیافت می‌شوند. فتوسنتز، اکسیژن و همچنین مولکول‌های آلی مورد استفاده میتوکندری‌های یوکاریوت‌ها را به عنوان سوخت برای تنفس سلولی تولید می‌کند. تنفس، این سوخت را تجزیه می‌کند و با استفاده از اکسیژن (O_2) و تولید ATP، مواد اولیه فتوسنتز را تولید می‌کند.

سلول‌های زنده برای انجام وظایف متعدد خود - به عنوان مثال، مونتاژ پلیمرها، پمپاژ مواد از طریق غشاها، حرکت و تولید مثل - به انتقال انرژی از منابع خارجی نیاز دارند. منبع خارجی انرژی، غذا است و انرژی ذخیره شده در مولکول‌های آلی غذا در نهایت از خورشید می‌آید. همانطور که در شکل ۹.۱ نشان داده شده است، انرژی به صورت نور خورشید به یک اکوسیستم جریان می‌یابد و به صورت گرما خارج می‌شود. در مقابل، عناصر شیمیایی ضروری برای حیات بازیافت می‌شوند. فتوسنتز، اکسیژن و همچنین مولکول‌های آلی مورد استفاده میتوکندری‌های یوکاریوت‌ها را به عنوان سوخت برای تنفس سلولی تولید می‌کند. تنفس، این سوخت را تجزیه می‌کند و با استفاده از اکسیژن (O_2) و تولید ATP، مواد اولیه فتوسنتز را تولید می‌کند.

مسیر های کاتابولیک و ساخت ATP

ترکیبات آلی در نتیجه‌ی آرایش الکترون‌ها در پیوندهای بین اتم‌هایشان، دارای انرژی پتانسیل هستند. ترکیباتی که می‌توانند در واکنش‌های اگزرژونیک شرکت کنند، می‌توانند به عنوان سوخت عمل کنند. از طریق فعالیت آنزیم‌ها (به مفهوم ۸.۴ مراجعه کنید)، یک سلول به طور سیستماتیک مولکول‌های آلی پیچیده‌ای را که سرشار از انرژی پتانسیل هستند، به مواد زائد ساده‌تری که انرژی کمتری دارند، تجزیه می‌کند. مقداری از انرژی گرفته شده از ذخیره شیمیایی می‌تواند برای انجام کار استفاده شود؛ بقیه به صورت گرما تلف می‌شود.

یک فرآیند کاتابولیک، تخمیر، تجزیه جزئی قندها یا سایر سوخت‌های آلی است که بدون استفاده از اکسیژن رخ می‌دهد. با این حال، کارآمدترین مسیر کاتابولیک، تنفس هوازی است که در آن اکسیژن به عنوان یک واکنش‌دهنده همراه با سوخت آلی مصرف می‌شود (هوازی از کلمه یونانی aer به معنای هوا و bios به معنای زندگی گرفته شده است).

سلول‌های اکثر موجودات یوکاریوتی و بسیاری از موجودات پروکاریوتی می‌توانند تنفس هوازی انجام دهند. برخی از پروکاریوت‌ها از موادی غیر از اکسیژن به عنوان واکنش‌دهنده در فرآیندی مشابه استفاده می‌کنند که انرژی شیمیایی را بدون اکسیژن برداشت می‌کند؛ این فرآیند تنفس بی‌هوازی نامیده می‌شود (پیشوند an- به معنی «بدون» است). از نظر فنی، اصطلاح تنفس سلولی شامل هر دو فرآیند هوازی و بی‌هوازی می‌شود.

با این حال، به دلیل ارتباط این فرآیند با تنفس ارگانیسمی، که در آن حیوان اکسیژن را تنفس می‌کند، این اصطلاح به عنوان مترادف تنفس هوازی به کار می‌رود. بنابراین، تنفس سلولی اغلب برای اشاره به فرآیند هوازی استفاده می‌شود، روشی که ما در بیشتر این فصل دنبال می‌کنیم. اگرچه تنفس هوازی از نظر مکانیسم بسیار متفاوت است، اما در اصل شبیه احتراق بنزین در موتور خودرو پس از مخلوط شدن اکسیژن با سوخت (هیدروکربن‌ها) است. غذا سوخت تنفس را فراهم می‌کند و خروجی آن دی اکسید کربن و آب است. فرآیند کلی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد :

ترکیبات آلی + اکسیژن =S دی اکسید کربن + آب + انرژی

کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌های موجود در غذا همگی می‌توانند به عنوان سوخت فرآوری و مصرف شوند. در رژیم غذایی حیوانات، منبع اصلی کربوهیدرات‌ها نشاسته است، یک پلی‌ساکارید ذخیره‌ای که می‌تواند به زیر واحدهای گلوکز ($C_6H_{12}O_6$) تجزیه شود. در اینجا، ما مراحل تنفس سلولی را با ردیابی تجزیه قند گلوکز یاد خواهیم گرفت:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O$$ + انرژی (ATP + گرما)

این تجزیه گلوکز، انرژی‌زا است و تغییر انرژی آزاد آن -۶۸۶ کیلوکالری (-۲۸۷۰ کیلوژول) به ازای هر مول گلوکز تجزیه شده است ($\Delta G = -686$ کیلوکالری بر مول). به یاد بیاورید

که منفی بودن ΔG۱ ٦ ۰۲Δ G نشان می‌دهد که محصولات فرآیند شیمیایی انرژی کمتری نسبت به واکنش‌دهنده‌ها ذخیره می‌کنند و واکنش می‌تواند به صورت خودبه‌خودی - به عبارت دیگر، بدون ورودی انرژی - رخ دهد (به مفهوم ۸.۲ مراجعه کنید).

مسیرهای کاتابولیک مستقیماً تاژک‌ها را حرکت نمی‌دهند، مواد حل‌شده را از غشاها پمپ نمی‌کنند، مونومرها را پلیمریزه نمی‌کنند یا سایر کارهای سلولی را انجام نمی‌دهند. کاتابولیسم توسط یک محور محرک شیمیایی - ATP - به کار مرتبط است (به مفهوم ۸.۳ مراجعه کنید). برای ادامه کار، سلول باید منبع ATP خود را از ADP و ~P i بازسازی کند (شکل ۸.۱۲ را ببینید). برای درک اینکه تنفس سلولی چگونه این کار را انجام می‌دهد، بیایید فرآیندهای شیمیایی اساسی معروف به اکسیداسیون و کاهش را بررسی کنیم.

واکنش‌های اکسایش-کاهش: اکسیداسیون و کاهش

چگونه مسیرهای کاتابولیکی که گلوکز و سایر سوخت‌های آلی را تجزیه می‌کنند، انرژی تولید می‌کنند؟ پاسخ بر اساس انتقال الکترون‌ها در طول واکنش‌های شیمیایی است. جابجایی الکترون‌ها، انرژی ذخیره شده در مولکول‌های آلی را آزاد می‌کند و این انرژی در نهایت برای سنتز ATP استفاده می‌شود.

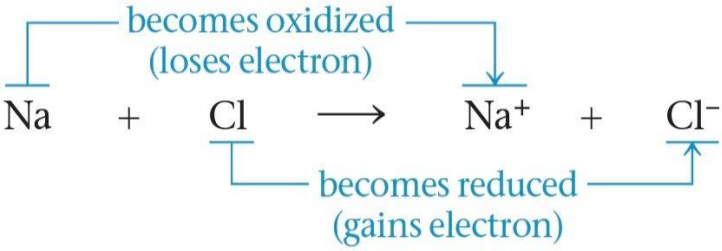
اصل اکسایش و کاهش

در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی، انتقال یک یا چند الکترون (e-) از یک واکنش‌دهنده به واکنش‌دهنده دیگر وجود دارد. این انتقال‌های الکترونی، واکنش‌های اکسایش-کاهش یا به اختصار واکنش‌های اکسایش-کاهش نامیده می‌شوند. در یک واکنش اکسایش-کاهش، از دست دادن الکترون‌ها از یک ماده، اکسیداسیون نامیده می‌شود و افزودن الکترون به ماده دیگر، کاهش نامیده می‌شود. (توجه داشته باشید که افزودن الکترون،

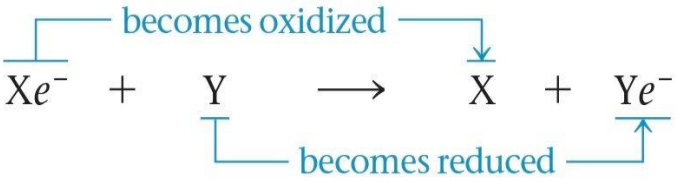
کاهش نامیده می‌شود؛ افزودن الکترون‌های با بار منفی به یک اتم، مقدار بار مثبت آن اتم را کاهش می‌دهد.)

برای یک مثال ساده و غیرزیستی، واکنش بین عناصر سدیم(Na) و کلر (Cl) را که نمک طعام را تشکیل می‌دهد، در نظر بگیرید:

ما می‌توانیم یک واکنش اکسایش-کاهش را به این صورت تعمیم دهیم:



could generalize a redox reaction this way:

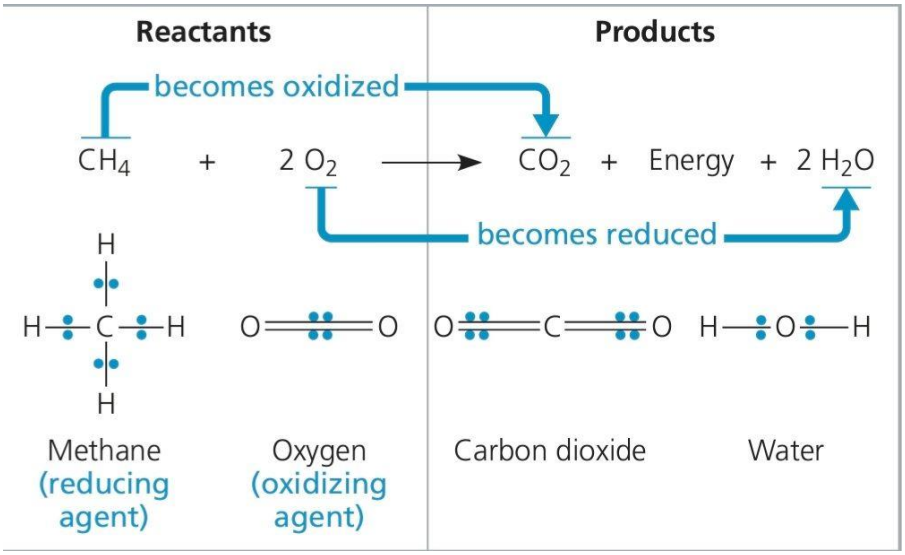


در واکنش عمومی، ماده Xe-، دهنده الکترون، عامل کاهنده نامیده می‌شود؛ این ماده Y را که الکترون اهدا شده را می‌پذیرد، کاهش می‌دهد. ماده Y، گیرنده الکترون، عامل اکسیدکننده است؛ با حذف الکترون، Xe-

را اکسید می‌کند. از آنجا که انتقال الکترون به هر دو ماده دهنده الکترون و پذیرنده نیاز دارد، اکسیداسیون و کاهش همیشه با هم انجام می‌شوند.

همه واکنش‌های اکسایش-کاهش شامل انتقال کامل الکترون‌ها از یک ماده به ماده دیگر نیستند؛ برخی درجه اشتراک الکترون در پیوندهای کووالانسی را تغییر می‌دهند. احتراق متان، که در شکل ۹.۲ نشان داده شده است، نمونه‌ای از این واکنش‌ها است. الکترون‌های کووالانسی در متان تقریباً به طور مساوی بین اتم‌های پیوندی به اشتراک گذاشته می‌شوند، زیرا کربن و هیدروژن تقریباً میل ترکیبی یکسانی برای الکترون‌های ظرفیت دارند. آنها تقریباً به طور مساوی الکترونگاتیو هستند (به مفهوم ۲.۳ مراجعه کنید). اما هنگامی که متان با O_2 واکنش می‌دهد و CO_2 تشکیل می‌دهد، الکترون‌ها به طور مساوی بین اتم کربن و شرکای کووالانسی جدید آن، اتم‌های اکسیژن، که بسیار الکترونگاتیو هستند، به اشتراک گذاشته نمی‌شوند. در واقع، اتم کربن تا حدی الکترون‌های مشترک خود را «از دست داده» است؛ بنابراین، متان اکسید شده است.حال بیایید سرنوشت واکنش‌دهنده O_2 را بررسی کنیم. دو اتم O_2 الکترون‌های خود را به طور مساوی به اشتراک می‌گذارند. اما پس از واکنش با متان، هنگامی که هر اتم O به دو اتم H_2O در H_2O متصل می‌شود، الکترون‌های آن پیوندهای کووالانسی زمان بیشتری را در نزدیکی اکسیژن می‌گذرانند (شکل ۹.۲ را ببینید). در واقع، هر اتم O تا حدی الکترون «به دست آورده» است، بنابراین مولکول اکسیژن (O_2) کاهش یافته است. از آنجا که اتم O بسیار الکترونگاتیو است، O_2 یکی از قدرتمندترین عوامل اکسیدکننده است. برای جدا کردن یک الکترون از یک اتم، باید انرژی اضافه شود، همانطور که برای هل دادن یک توپ به سمت بالا انرژی لازم است. هرچه اتم الکترونگاتیوتر باشد (کشش آن بر الکترون‌ها قوی‌تر باشد)، انرژی بیشتری برای جدا کردن یک الکترون از آن لازم است. یک الکترون وقتی از یک اتم با الکترونگاتیوی کمتر به سمت یک اتم با الکترونگاتیوی بیشتر جابجا می‌شود، انرژی پتانسیل خود را از

دست می‌دهد، درست همانطور که یک توپ وقتی از تپه به پایین می‌غلتد، انرژی پتانسیل خود را از دست می‌دهد. یک واکنش اکسایش-کاهش که الکترون‌ها را به اتم اکسیژن نزدیک‌تر می‌کند، مانند این واکنش انرژی را به محیط اطراف آزاد می‌کند، زیرا الکترون‌ها وقتی به طور نابرابر به اشتراک گذاشته می‌شوند، انرژی پتانسیل خود را از دست می‌دهند و زمان بیشتری را در نزدیکی اتم‌های الکترونگاتیو مانند اکسیژن می‌گذرانند.

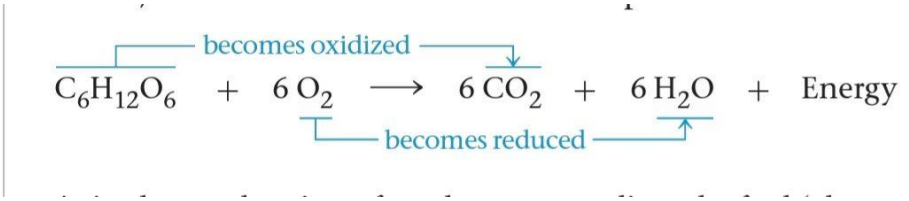


سوختن (اکسیداسیون) متان، انرژی شیمیایی آزاد می‌کند که می‌تواند به کار گرفته شود.

اکسیداسیون مولکول‌های سوخت آلی

در طول تنفس سلولی= اکسیداسیون متان توسط O۲ واکنش احتراق اصلی است که در مشعل اجاق گاز رخ می‌دهد. احتراق بنزین در موتور خودرو نیز یک واکنش اکسایش-کاهش است؛ انرژی آزاد شده پیستون‌ها را به حرکت در می‌آورد. اما فرآیند اکسایش-کاهش انرژی‌زا که بیشترین علاقه را برای زیست‌شناسان دارد، تنفس است: اکسیداسیون

گلوکز و سایر مولکول‌های موجود در غذا. معادله خلاصه تنفس سلولی را دوباره بررسی کنید، اما این بار آن را به عنوان یک فرآیند اکسایش-کاهش در نظر بگیرید:



همانطور که در احتراق متان یا بنزین، سوخت (گلوکز) اکسید می‌شود و O۲ کاهش می‌یابد. الکترون‌ها در طول مسیر انرژی پتانسیل خود را از دست می‌دهند و انرژی آزاد می‌شود. به طور کلی، مولکول‌های آلی که هیدروژن فراوانی دارند، سوخت‌های عالی هستند زیرا پیوندهای آنها منبع الکترون‌های "تپه" هستند که انرژی آنها ممکن است با "سقوط" این الکترون‌ها در طول انتقال به اکسیژن، آزاد شود. معادله خلاصه تنفس نشان می‌دهد که هیدروژن از گلوکز به اتم‌های O در O۲ منتقل می‌شود. اما نکته مهم، که در معادله خلاصه قابل مشاهده نیست، این است که با انتقال هیدروژن (با الکترون خود) به اکسیژن، حالت انرژی الکترون تغییر می‌کند. در تنفس، اکسیداسیون گلوکز الکترون‌ها را به حالت انرژی پایین‌تری منتقل می‌کند و انرژی آزاد می‌کند که برای سنتز ATP در دسترس قرار می‌گیرد. بنابراین، به طور کلی، سوخت‌هایی با پیوندهای C-H متعدد را می‌بینیم که به محصولاتی با پیوندهای C-O متعدد اکسید می‌شوند.غذاهای اصلی تولیدکننده انرژی - کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها - مخازن الکترون‌های مرتبط با هیدروژن هستند که اغلب به شکل پیوندهای C–H می‌باشند. تنها مانع انرژی فعال‌سازی، سیل الکترون‌ها را به حالت انرژی پایین‌تری بازمی‌گرداند (شکل ۸.۱۳ را ببینید). بدون این مانع، یک ماده غذایی مانند گلوکز تقریباً بلافاصله با O۲ ترکیب می‌شود.اگر انرژی فعال‌سازی را با احتراق گلوکز تأمین کنیم، در هوا می‌سوزد و ۶۸۶ کیلوکالری (۲۸۷۰ کیلوژول) گرما به ازای هر مول