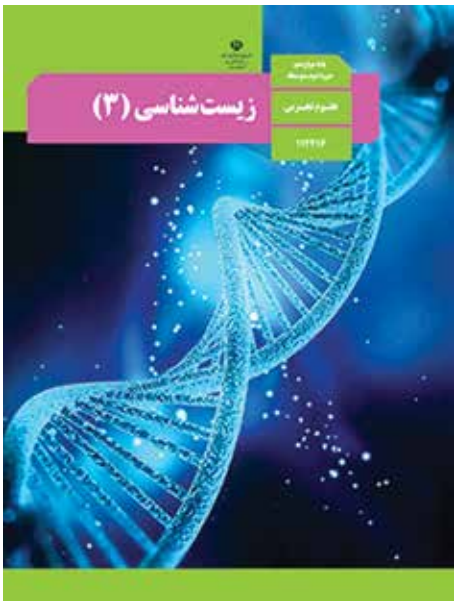
از ماده به انرژی

الهه علوی

اشاره

فرایند یاددهی- یادگیری متأثر از برنامه‌های آموزشی است. آشنایی با اهداف قصد شده در برنامهٔ درسی که در حال حاضر جلوه‌گاه اصلی آن کتاب درسی است؛ نقش تعیین‌کننده‌ای در جهت‌دهی به این فرایند دارد. به همین منظور در اینجا پیشنهادی برای آموزش فصل پنجم کتاب درسی زیست‌شناسی ۳، پایه دوازدهم ارائه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تنفس یاخته‌ای، میتوکندری، ATP، پاداکسنده، تأمین انرژی.



پیامدهای شایستگی‌محور

- با مطالعه این فصل:

دانش‌آموزان فرایندهای تأمین انرژی از ماده را در جانداران گزارش می‌کنند و می‌توانند نتایج آن را در بهبود سلامت خود و نیز تولید محصول به کار ببرند.

- اندیشه‌هایی برای پژوهش دربارهٔ به‌کارگیری این فرایند در تولید محصول ارائه و در صورت امکان انجام می‌دهند.

پیامدهای شایستگی‌محور سمت‌وسوی فعالیت‌های آموزشی را تعیین می‌کنند و همان‌طور که می‌بینید، به‌گونه‌ای است که دربردارندهٔ انتظارات دانشی، مهارتی و نگرشی است.

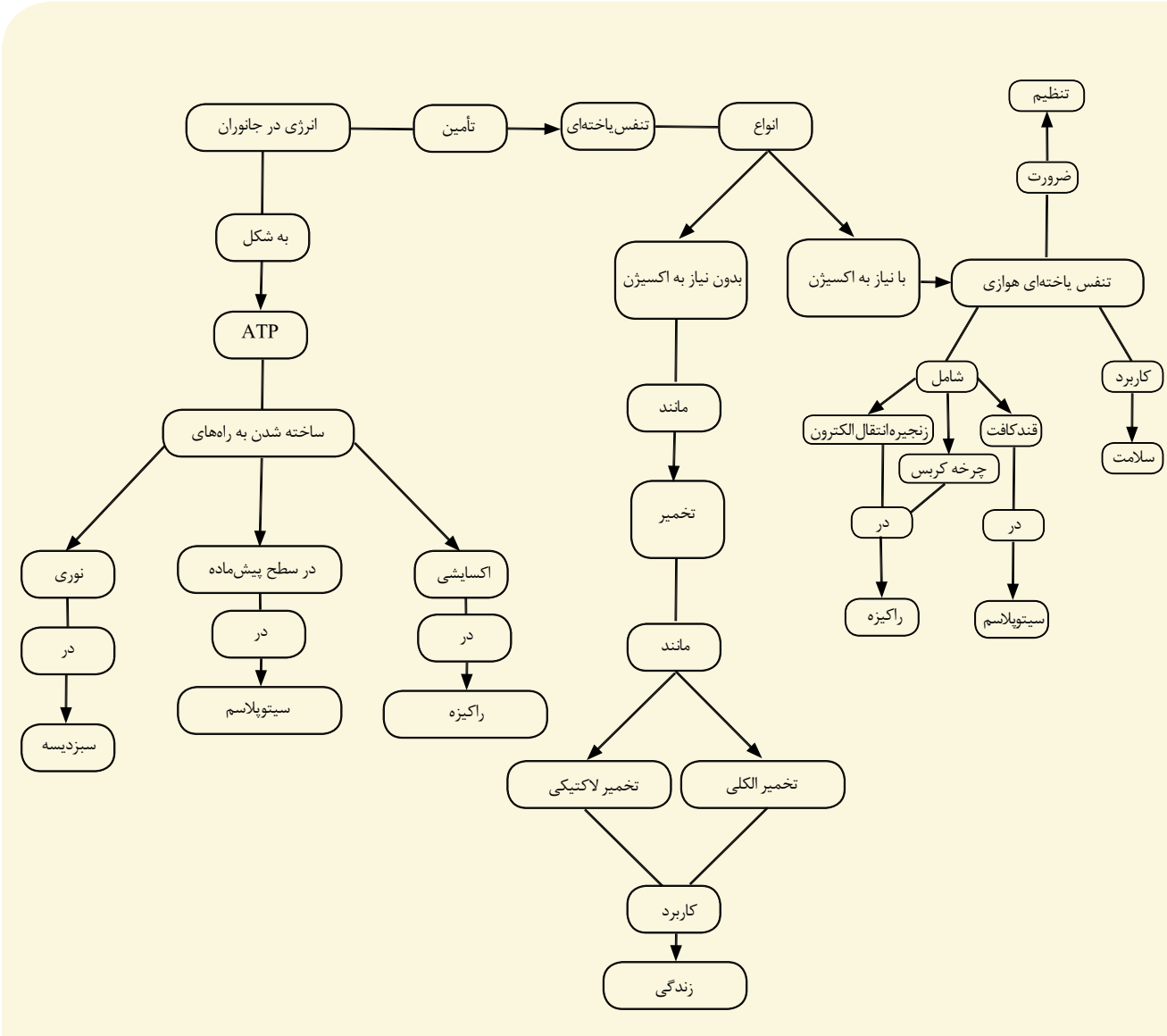
پرسش‌های اساسی

- چه فرایندهایی در دنیای حیات برای تأمین انرژی از ماده در مصرف‌کنندگان وجود دارد؟ به عبارت دیگر، غذاهایی که می‌خوریم، چگونه در بدن ما به انرژی تبدیل می‌شوند؟
- چه عواملی بر فرایندهای تأمین انرژی از ماده تأثیر می‌گذارند؟
- شکل رایج انرژی در بدن جانداران چیست؟
- چه اندامکی در تأمین انرژی نقش دارد؟ این اندامک چه ویژگی‌هایی دارد؟
- تنفس یاخته‌ای چیست و چه انواعی دارد؟
- تنفس یاخته‌ای چه ارتباطی با سلامت ما دارد؟

چه مفاهیم و مهارت‌های کلیدی‌ای در این فصل وجود دارد؟

مفاهیم کلیدی در این فصل عبارت‌اند از تنفس یاخته‌ای، قندکافت، چرخهٔ کربس، زنجیرهٔ انتقال الکترون، تنظیم تنفس، تخمیر و سلامت

نقشهٔ مفهومی بازنمایی مفاهیم، فرایندها و ارتباط آن‌هاست. این نقشه‌ها در همهٔ مراحل فرایند آموزش مؤثرند



شکل ۱. نقشه مفهومی.

بـدن. مهارت‌هـای کلیـدی مـورد انتظار نیز شـامل مهارت‌هـای تفکـر ماننـد پیش‌بینـی، اسـتدلال، مقایسـه، گزارش‌نویسـی، طراحـی آزمایـش و پژوهـش علمـی اسـت.

نقشهٔ مفهومی

نقشـهٔ مفهومی بازنمایی مفاهیم، فرایندها و ارتباط آن‌هاسـت. ایـن نقشـه‌ها در همـهٔ مراحـل فراینـد آموزش مؤثرند. از این نقشـه‌ها می‌توانید برای شـروع، جمع‌بنـدی، ارزیابی و ارزشـیابی بهـره ببرید.

توجـه داشـته باشـید کـه تأثیـر ایـن نقشـه‌ها هنگامی بیشـتر اسـت که خـود دانش‌آمـوزان آن‌ها را تولیـد کنند، زیرا دانش‌آموزان هنگام ترسـیم این نقشـه‌ها مفاهیـم و روابـط بیـن آن‌ها را تشـخیص می‌دهنـد و نیـز با پی بـردن به چگونگـی یادگیری به سـطحی از فراشـناخت دسـت می‌یابند. شکل ۱ نقشـه‌ای مفهومـی را نشـان می‌دهد کـه در تدوین محتـوای فصل بـه کار رفته اسـت.

همیشه آموزش را از پیش‌دانسته‌ها و تجارب دانش‌آموزان آغاز کنید

فعالیت‌های یادگیری

گفتار ۱: تأمین انرژی

همیشـه آمـوزش را از پیش‌دانسـته‌ها و تجـارب

دانش‌آموزان آغاز کنید.

دانش‌آموزان براساس آنچه در پایه‌های گذشته در کتاب‌های زیست‌شناسی و علوم تجربی آموخته‌اند، می‌دانند که برای همهٔ فعالیت‌های حیاتی که در بدن انجام می‌شود به انرژی نیاز داریم. بنابراین، می‌توانید آموزش را با پرسش‌هایی مربوط به آنچه قبلاً در این باره آموخته‌اند، آغاز کنید.

آنان به‌طور مشخص با واکنش کلی تنفس در کتاب زیست‌شناسی ۱ پایهٔ دهم در فصل تبادلات گازی آشنا شده‌اند. انتظار داریم که دانش‌آموزان به ضرورت تنفس و علت نیاز به اکسیژن پی برده باشند. در آنجا آموختند که انرژی مواد مغذی، مثل گلوکز در مولکول‌های ATP ذخیره می‌شود. همچنین در کتاب زیست‌شناسی ۲ پایهٔ یازدهم در فصل دستگاه حرکتی، آموختند که انرژی موردنیاز برای انقباض ماهیچه‌ها از ATP به دست می‌آید.

پس از آن پرسش‌های صفحهٔ عنوانی فصل، یا پرسش‌های مشابه را از دانش‌آموزان بپرسید.

از دانش‌آموزان بخواهید، آنچه را دربارهٔ انرژی می‌دانند (انواع انرژی، نیاز به انرژی، تأمین انرژی، منابع انرژی، و...)، در برگه‌ای یادداشت کنند. این دانسته‌ها می‌تواند آموخته‌های آن‌ها از فیزیک را نیز در برگیرد. از آن‌ها بخواهید پرسش‌هایی را بنویسند که دربارهٔ چگونگی تأمین انرژی در بدن موجودات زنده، از جمله انسان دارند. به عبارتی آنچه را می‌دانند و آنچه را می‌خواهند بدانند، یادداشت کنند.

> از دانش‌آموزان بخواهید، آنچه را دربارهٔ انرژی می‌دانند (انواع انرژی، نیاز به انرژی، تأمین انرژی، منابع انرژی، و...)، در برگه‌ای یادداشت کنند

تنفس یاخته‌ای

سعی کنید دانش‌آموزان واکنش کلی تنفس یاخته‌ای را به خاطر آورند. با کمک آن‌ها این واکنش را بنویسید. توجه داشته باشید که در اینجا موازنه واکنش موردنظر نیست، بلکه کافی است که دانش‌آموزان واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌های واکنش را نام ببرند. حتی فرمول شیمیایی قند و آب نیز مدنظر نیست؛ گرچه با توجه به مفاهیمی که دانش‌آموزان در شیمی آموخته‌اند، انتظار می‌رود که تعدادی از دانش‌آموزان این واکنش را به صورت موازنه شده و با فرمول درست بنویسند.

ATP مولکول پرانرژی

برای توضیح مولکول ATP توجه دانش‌آموزان را به شکل ۱ جلب کنید و از آن‌ها بخواهید که درک خود از شکل را ارائه دهند. با توجه به مطالبی که در فصل ۱ همین کتاب دربارهٔ نوکلئوتیدها آموخته‌اند، انتظار داریم که دانش‌آموزان به خوبی ساختار ATP را توضیح دهند. با توجه به شکل ۲ به آن‌ها کمک کنید تا چگونگی ذخیره شدن انرژی را در ATP توضیح دهند.

از دانش‌آموزان دربارهٔ ساخته شدن ATP بپرسید. از آن‌ها بخواهید با توجه به اینکه ATP نوکلئوتیدی است که فسفات به آن اضافه شده است، بگویند که منشأ این گروه‌های فسفات چیست. یا به سادگی از آن‌ها بخواهید یک مثال از ساخته شدن ATP ارائه دهند. انتظار داریم که تعدادی از دانش‌آموزان به ساخته شدن ATP در ماهیچه اشاره کنند. در صورتی که امکان استفاده از رایانه دارید، صفحه مربوط به این مثال را در کتاب زیست‌شناسی ۲ به دانش‌آموزان نشان دهید و از آن‌ها بخواهید که آن را مطالعه کنند.

با توجه به اینکه در همین کتاب در فصل ۱ مفهوم پیش‌ماده توضیح داده شده است، انتظار داریم اگر دانش‌آموزان بخواهند برای این راه یا روش ساخته شدن ATP نامی انتخاب کنند، واژهٔ پیش‌ماده در آن باشد. برای تکمیل آموزش این روش از ساخته شدن ATP توجه دانش‌آموزان را به شکل ۳ جلب کنید.

سپس دو روش دیگر یعنی ساخته شدن اکسایشی و نوری را فقط معرفی کنید. اجازه بدهید چگونگی انجام این دو روش پرسشی باشد که در ذهن دانش‌آموزان بماند، تا در جای مناسب به پاسخ آن دست یابد.

گسترش دانش

انواع تنفس یاخته‌ای

تأمین انرژی از مواد مغذی در جانداران به راه‌های متفاوتی انجام می‌شود.

تخمیر: تجزیه بخشی از قندها یا ترکیبات دیگر است که بدون نیاز به اکسیژن انجام می‌شود.

تنفس هوازی: اکسیژن نیز در کنار موادی مانند گلوکز مصرف می‌شود.

تنفس بی‌هوازی: در این نوع تنفس به

جای اکسیژن، ترکیبات دیگری گیرندهٔ نهایی الکترون هستند.

در این فصل برای سادگی مطلب و به علت اینکه به تنفس بی‌هوازی نپرداخته‌ایم به‌طور ساده، تنفس در دو حالت با استفاده از اکسیژن و بدون استفاده از آن مطرح شده است.

مراحل کلی تنفس یاخته‌ای هوازی

این مراحل را به‌طور کلی می‌توان در مراحل گلیکولیز، اکسایش پیروات، چرخهٔ کربس و زنجیرهٔ انتقال الکترون تقسیم‌بندی کرد. مسلماً چنین تقسیم‌بندی‌هایی واقعی نیستند و فقط برای تسهیل یادگیری انجام می‌شوند، بنابراین، طرح پرسش‌هایی مانند اینکه مثلاً در مرحلهٔ اول چه اتفاقی می‌افتد، نادرست و غیرمجاز است.

زیستن با اکسیژن

دانش‌آموزان می‌دانند که یاخته‌های ما انرژی موردنیاز خود را از مواد مغذی مانند گلوکز تأمین می‌کنند. از آن‌ها بپرسید انرژی مثلاً از گلوکز چگونه تأمین می‌شود. انتظار داریم در پاسخ، به واکنش کلی تنفس یاخته‌ای اشاره کنند. آن‌ها را هدایت کنید تا به این نتیجه برسند که انرژی گلوکز به یکباره آزاد نمی‌شود، بلکه این اتفاق در واکنش‌های متفاوت و به صورت مرحله‌ای رخ می‌دهد.

می‌توانید مراحل تنفس یاخته‌ای را به صورت قندکافت، چرخهٔ کربس و زنجیرهٔ انتقال الکترون روی تابلو یادداشت کنید و سپس مرحله به مرحله با همراهی دانش‌آموزان، آموزش آن‌ها را ارائه دهید.

برای آموزش قندکافت از دانش‌آموزان بخواهید که به شکل ۴ توجه و آن را ترسیم کنند. از شماره‌گذاری مراحل خودداری کنید، مثلاً نپرسید که مرحله اول، دوم یا ... چیست. برای چنین شکل‌هایی این پرسش بی‌معنی است، زیرا چنین مراحلی عملاً وجود ندارند. دانش‌آموزان یا شما می‌توانید این واکنش‌ها را شماره‌گذاری کنید؛ اما توجه داشته باشید که شماره‌گذاری فقط برای آسان کردن یادگیری است و نه دست‌مایه‌ای برای طرح پرسش‌های حافظه‌مدار.

دانش‌آموزان با مطالعهٔ این قسمت می‌آموزند که فسفات‌دار شدن سطح انرژی مولکول‌ها را افزایش می‌دهد و درواقع انرژی موردنیاز برای فعال‌سازی واکنش تأمین می‌شود. همان‌طور که آمده است، علاوه بر پیروات، مولکول‌های حامل الکترون و ATP نیز تشکیل می‌شود.

گسترش دانش

واکنش‌های گلیکولیز

۱. گروه فسفات از ATP به گلوکز منتقل و گلوکز ۶- فسفات تشکیل می‌شود. واکنشگری گلوکز ۶- فسفات از گلوکز بیشتر است. همچنین گلوکز فسفاته درون یاخته می‌ماند، زیرا عبور گلوکز فسفاته از غشای یاخته آسان نیست.

۲. گلوکز ۶- فسفات تبدیل می‌شود.

۳. فروکتوز ۶- فسفات با گرفتن یک فسفات از ATP به فروکتوز ۱-۶ بیس فسفات تبدیل می‌شود. این واکنش با یکی از آنزیم‌های کلیدی قندکافت، به نام فسفوفروکتوکیناز تسهیل می‌شود و از نقاط تنظیم سرعت گلیکولیز است.

۴. فروکتوز ۱-۶ بیس فسفات به دو قند سه‌کربنی، یعنی دی هیدروکسی استن فسفات و گلیسرآلدئید ۳- فسفات تجزیه می‌شود. این دو ایزومر یکدیگرند؛ اما فقط گلیسرآلدئید ۳- فسفات می‌تواند وارد مرحلهٔ بعد شود.

۵. دی هیدروکسی استن فسفات به گلیسرآلدئید ۳- فسفات تبدیل می‌شود. مقدار این دو مولکول در حالت تعادل است، اما در نهایت همه دی هیدروکسی استن فسفات به گلیسرآلدئید ۳- فسفات تبدیل می‌شود.

۶. دو نیمه‌واکنش به‌طور هم‌زمان انجام می‌شوند. در یکی گلیسرآلدئید ۳- فسفات، اکسید می‌شود و در دیگری NAD+ به NADH و H+ کاهش می‌یابد. واکنش به‌طور کلی انرژی‌زاست. این انرژی به مصرف فسفریله شدن مولکول و تشکیل ۱/۳- بیس فسفوگلیسرات (اسید) می‌رسد.

۷. ۱/۳- بیس فسفوگلیسرات یکی از گروه‌های فسفاتش را به ADP می‌دهد در نتیجه ضمن تشکیل ATP، به ۳- فسفوگلیسرات تبدیل می‌شود.

دانش‌آموزان می‌دانند که یاخته‌های ما انرژی موردنیاز خود را از مواد مغذی مانند گلوکز تأمین می‌کنند. از آن‌ها بپرسید انرژی مثلاً از گلوکز چگونه تأمین می‌شود

۳.۸-فسفوگلیسرات به‌ایزومرش، یعنی ۲-فسفوگلیسرات تبدیل می‌شود.

۲.۹-فسفوگلیسرات یک مولکول آب از دست می‌دهد و به فسفوانول پیروورات تبدیل می‌شود (PEP). PEP مولکول ناپایداری است و گروه فسفاتش را در پایان قند کافت از دست می‌دهد.

NAD^+ مولکول حامل الکترون و درواقع کوآنزیمی مشتق شده از ویتامین نیاسین است. این مولکول با گرفتن و از دست دادن الکترون به سادگی به دو حالت اکسایش و کاهش وجود دارد. در این تبدیل آنزیم‌های دهیدروژناز عمل می‌کنند. این آنزیم‌ها یک جفت الکترون و یک جفت پروتون را از پیش‌ماده (مثلاً گلوکز) برمی‌دارند و آن را اکسید می‌کنند. آنزیم دو الکترون را همراه با یک پروتون به کوآنزیم خود، یعنی NAD^+ منتقل می‌کند. پروتون دیگر در محیط رها می‌شود.

پاسخ دانش‌آموزان به فعالیت ۱ باید ساخته شدن در سطح پیش‌ماده باشد، زیرا گروه فسفات از ترکیب فسفات‌دار تأمین می‌شود. این پرسش توجه و دقت دانش‌آموزان را در یادگیری مفهوم ساخته شدن در سطح پیش‌ماده می‌سنجد.

پیروووات مولکولی باردار است، بنابراین، در یاخته‌های یوکاریوتی باید از طریق انتقال فعال و با کمک یک پروتئین ناقل وارد میتوکندری شود

پرسش‌های احتمالی دانش‌آموزان

چرا ترکیبات در قندکافت، فسفاته می‌شوند؟

فسفریله شدن کارکردهای متفاوتی دارد؛ مثلاً سبب تجمع قند می‌شود و وجود گروه‌های فسفات از برگشت گلوکز از طریق ناقل‌هایشان جلوگیری می‌کند. یکی دیگر از نتایج فسفریله شدن کاهش انرژی موردنیاز برای فعال‌سازی است.

راکیزه مقصد پیروووات

در این مبحث دانش‌آموزان ضمن مطالعهٔ سرنوشت پیروووات با ساختار راکیزه آشنا می‌شوند. از دانش‌آموزان بخواهید با توجه به شکل ۵، ساختار راکیزه را توضیح دهند. توجه داشته باشید که هدف از شکل ۵-ب توضیح ساختار یاخته گیاهی نیست و فقط به منظور تأکید به این موضوع که گیاهان نیز راکیزه دارند، آمده است.

توجه دانش‌آموزان را به شکل ۶ جلب کنید و از آن‌ها بخواهید تا اتفاقی را که برای پیروووات می‌افتد با توجه به همین شکل توضیح دهند.

گسترش دانش

اکسایش پیروووات

پیروووات مولکولی باردار است، بنابراین، در یاخته‌های یوکاریوتی باید از طریق انتقال فعال و با کمک یک پروتئین ناقل وارد میتوکندری شود. بعد از آن مجموعه‌ای از چندین آنزیم (مجموعه پیروووات دهیدروژناز) واکنش‌های بعدی را تسهیل می‌کند. گروه کربوکسیل پیروووات ($-COO^-$) که کاملاً اکسایش یافته و انرژی شیمیایی ناچیزی دارد، به صورت مولکول کربن دی‌اکسید رها می‌شود. بخش دو کربنی باقیمانده، استات ($-CH_3COO^-$) را تشکیل می‌دهد که شکل یونی استیک اسید است. الکترون‌ها به NAD^+ منتقل می‌شوند و انرژی در $NADH$ ذخیره می‌شود. سرانجام کوآنزیم آ (CoA) که ترکیبی سولفات‌دار و از مشتقات ویتامین B است، از طریق گوگرد به استات متصل و استیل کوآنزیم آ را تشکیل می‌دهد که انرژی پتانسیل بالایی دارد. این مولکول در اکسایش بیشتر، گروه استیل خود را به سیتریک اسید می‌دهد که آغاز کنندهٔ چرخهٔ کربس است.

پرسش‌های احتمالی دانش‌آموزان

هر راکیزه در یاخته‌های بدن ما چند مولکول دنا دارد؟

تعداد دنا در راکیزه‌های یاخته‌های متفاوت فرق می‌کند. تعداد متوسط این مولکول‌ها را ۵ عدد برای هر راکیزه گزارش کرده‌اند. در بعضی یاخته‌های انسانی، مانند یاختهٔ تخم هر راکیزه فقط یک مولکول دنای حلقوی دارد، گرچه یاختهٔ تخم دارای بیشترین تعداد راکیزه است.

اصلاح کج‌فهمی

با توجه به اینکه دانش‌آموزان در پایه‌های قبل با مفهوم تولیدکنندگی گیاهان آشنا شده‌اند، شاید این برداشت نادرست را داشته باشند که در یاخته‌های گیاهی تنفس انجام نمی‌شود. شکل ۵-ب به رفع این کج‌فهمی کمک می‌کند.

گفتار ۲: اکسایش بیشتر

نتیجه نهایی واکنش‌هایی که با مولکول گلوکز آغاز شد، استیل کوآنزیم A است که وارد چرخهٔ کربس می‌شود. این چرخه را برای درک فرایند کلی به‌طور ساده نمایش داده‌ایم.

چرخهٔ کربس

از دانش‌آموزان بخواهید که شکل ۷ را نگاه کنند. سپس به آن‌ها فرصت دهید که متن درس را بخوانند. از آن‌ها بخواهید آنچه از شکل در می‌یابند، به بیان خود ارائه دهند.

در این قسمت دانش‌آموزان با ترکیب نوکلئوتیددار دیگری که حامل الکترون است آشنا می‌شوند.

توجه دانش‌آموزان را به این موضوع جلب کنید که تجزیه مولکول به یکباره انجام نمی‌شود و مولکول‌های کربن دی‌اکسید به تدریج جدا و خارج می‌شوند.

در اینجا دومین مرحله از تنفس یاخته‌ای به پایان می‌رسد. مرحلهٔ آخر با زنجیرهٔ انتقال الکترون در میتوکندری‌ها ارتباط دارد.

گسترش دانش

واکنش‌های چرخهٔ کربس

چرخهٔ کربس، چرخهٔ سیتریک‌اسید هم نامیده می‌شود؛ زیرا اولین ترکیبی است که بعد از ورود استیل کوآنزیم A به چرخه تشکیل می‌شود. سیتریک‌اسید ترکیبی ۶ کربنی است. در چرخهٔ کربس از انرژی حاصل از اکسایش اتم‌های کربن که به صورت CO_2 آزاد می‌شوند، در هر چرخه یک مولکول ATP از ADP تشکیل می‌شود. بیشترین بخش انرژی آزادشده در این چرخه برای ایجاد NADH و $FADH_2$ مصرف می‌شود. ارسنیک مانع از تشکیل استیل کوآنزیم‌آ و بنابراین، سبب توقف چرخهٔ کربس می‌شود.

تشکیل ATP بیشتر

از دانش‌آموزان بپرسید حاصل تنفس یاخته‌ای چیست. انتظار داریم که پاسخ آن‌ها مبتنی بر نیاز به انرژی باشد. توجه دانش‌آموزان را به این نکته جلب کنید که ATPهای ساخته شده تا به اینجا نیاز انرژی بدن را تأمین نمی‌کند. بنابراین، باید راهی برای تأمین انرژی بیشتر از مواد مغذی باشد.

به آن‌ها بگویید که مولکول‌های حامل الکترون نیز می‌توانند در تأمین ATP نقش داشته باشند.

با این مقدمه وارد مبحث بعدی شوید.

زنجیره انتقال الکترون

از دانش‌آموزان بخواهید به شکل ۸ توجه کنند و چیزی را که از شکل در می‌یابند به بیان خود توضیح دهند. از آن‌ها بخواهید توضیح دهند چه اتفاقی در بستره رخ می‌دهد. آن‌ها باید به تشکیل آب و ATP اشاره کنند. با توجه به اینکه دانش‌آموزان پدیدهٔ انتشار را در سال دهم آموخته‌اند، از آن‌ها بپرسید آیا انتظار دارند که اتم‌های هیدروژن به بستره برگردند. در اینجا آنزیم ATP ساز را به‌عنوان راه عبور پروتون‌ها معرفی کنید. از آن‌ها بخواهید که بیشتر بدانید مربوط به این آنزیم را مطالعه کنند. گرچه طرح پرسش برای ارزشیابی از آن ممنوع است.

سپس بخواهید متن را بخوانند و خلاصه‌ای از عملکرد و ماهیت زنجیره انتقال الکترون بنویسند. سپس از آن‌ها بخواهید که فعالیت ۲ را انجام دهند. در پاسخ به قسمت الف باید به اکسایش مولکول‌های حامل الکترون در این زنجیره اشاره کنند

در پاسخ به قسمت ب باید به این نکته بپردازند که چین‌خوردگی‌ها به افزایش سطح و در نتیجه امکان وجود بیشتر زنجیره‌های انتقال الکترون می‌انجامد.

گسترش دانش

مجموعه‌های زنجیره انتقال الکترون

در زنجیره انتقال الکترون، مولکول‌ها الکترون را از مولکول‌های قبلی می‌گیرند و به مولکول‌های بعدی می‌دهند. بیشتر این مولکول‌ها در چهار مجموعه قرار دارند و با اعداد رومی I تا IV نشان داده می‌شوند. همهٔ این مجموعه‌ها در غشای داخلی میتوکندری قرار دارند و در واقع آنزیم‌اند. این مجموعه‌ها عمدتاً از پروتئین‌ها تشکیل شده‌اند.

مجموعه NADH:I دهیدروژناز نیز نامیده می‌شود. این مجموعه الکترون‌ها را از NADH می‌گیرد. مولکول‌های حامل الکترون در این مجموعه شامل کوفاکتور فلاوین‌مونونوکلئوتید (FMN) و چند پروتئین آهن ـ گوگردی است. این مجموعه الکترون‌ها را به یوبی‌کوئینین منتقل می‌کند. به ازای هر جفت الکترون که

از ایـن مجموعـه عبـور می‌کنند، چهـار پروتون از بسـتره به فضای بین دوغشـا پمپ می‌شـود. یوبی‌کوئینیـن یـک مولکـول حامـل الکتـرون و کوچـک اسـت کـه در لیپیـد قابل حل اسـت و در غشـای داخلـی قـرار دارد. اتصـال محکمی با پروتئین‌هـا نـدارد و بنابراین، می‌توانـد آزادانه در غشـای فسـفولیپیدی جابه‌جا شـود.

مجموعـه II: سوکسـینات دهیدروژنـاز. در ایـن مجموعه سوکسـینات اکسـایش می‌یابد. در این مجموعـه FADH۲ و گروهـی از پروتئین‌های آهـن ـ گوگـردی عمـل می‌کننـد و الکترون‌هـا را بـه یوبی‌کوئینیـن می‌دهنـد. ایـن مجموعـه پروتونـی را پمـپ نمی‌کند.

مجموعـه III: مجموعـه سـیتوکروم bc۱. ایـن مجموعـه یوبـی کوئینیـن کاهش‌یافتـه را اکسـایش می‌کنـد و الکترون‌هـا را از طریـق هسـته پروتئین‌هـای آهـن ـ گوگـردی خـود، دو نـوع سـیتوکروم b (b۵۶۶ و b۵۶۰) و سـیتوکروم c۱ متصـل به غشـا به سـیتوکروم c می‌دهـد. در ایـن مجموعـه بـه ازای یک جفت الکتـرون، چهار پروتـون منتقـل می‌شـود.

سـیتوکروم c یک پروتئین کوچک است که اتصال سسـتی به سـطح خارجی غشـای داخلـی دارد و به‌عنـوان یـک حامـل (carrier) متحـرک بـرای انتقـال الکترون‌ها بیـن مجموعـه III و IV عمل می‌کند.

مجموعـه IV: سـیتوکروم c اکسـیداز. این مجموعه شـامل دو هسـته مـس (CuB و CuA) و سیتوکروم‌های a و a۳ است. مجموعه IV اکسیداز انتهایی است و چهار الکترون برای کاهش اکسیژن بـه دو مولکول آب فراهم مـی‌آورد. به ازای هر جفت الکتـرون دو پروتـون را پمـپ می‌کند.

سـیتوکروم: سـیتوکروم‌ها، پروتئین‌هایـی دارای حلقـه پورفیرینی‌انـد کـه در سـاختار آن آهن یا گـروه هـم وجـود دارد. آهـن در این ترکیبـات از حالـت فریـک (آهـن سـه بار مثبـت) بـه فروس (آهـن دو بـار مثبت) تبدیل می‌شـود و در نتیجه می‌تواننـد الکترون بدهند یا بگیرنـد. البته انتقال الکتـرون بـدون انتقـال پروتـون اسـت. انواعی از سـیتوکروم بر اسـاس سـطح انرژی الکترونی که انتقـال می‌دهند و نیز سـاختار پروتئینـی، وجود دارد.

پروتئین‌هـای آهن ـ گوگردی نیـز در زنجیره انتقال الکتـرون وجـود دارد. این پروتئین‌ها سـاختار هم ندارند.

تنظیم تنفس یاخته‌ای: تولید اقتصادی

سـرعت تنفـس یاختـه‌ای به میـزان نیـاز یاخته‌ها و جانـدار بسـتگی دارد و یکـی از راه‌هـای تنظیم آن موازنـه بیـن ATP و ADP اسـت. همچنیـن توجـه دانش‌آمـوزان در اینجـا به این مطلب جلب می‌شـود کـه قندها تنها منبع انرژی نیسـتند و مـواد دیگری نیـز می‌تواننـد به این مصـرف برسـند. از این فرصت بـرای جلـب توجـه دانش‌آمـوزان بـه اهمیـت تغذیه متنـوع و اسـتفاده مناسـب از مـواد مغذی اسـتفاده کنید.

در پاسـخ بـه فعالیـت ۳ دانش‌آمـوزان در واقـع نقشـهٔ مفهومی را براسـاس آنچه آموخته‌اند، ترسـیم می‌کنـد.

در پاسـخ به فعالیـت ۴ دانش‌آمـوزان باید با توجه به واکنـش کلی تنفـس، آب تولید شـده در این واکنش را مطـرح کننـد، به این نکته توجه داشـته باشـید که حتی مواد خشـک نیـز مقـداری آب دارند.

گسترش دانش

تنظیم تولید ATP

ATP مولکولـی ناپایدار اسـت و اگـر به مقدار بیش از نیـاز سـاخته شـود و تجمع یابـد، خودبه‌خود به ADP تبدیـل می‌شـود؛ بنابراین، منطقی اسـت که سـاخته شـدن آن در بدن متناسب با نیاز بدن بـه ایـن مولکول تنظیـم شـود. در صورت نیـاز به ایـن مولکـول، گلوکز به سـرعت تجزیه می‌شـود و اگـر نیـاز نباشـد سـرعت تجزیه گلوکـز کاهش می‌یابد.

اثـر محصـولات واکنش‌هـای تنفسـی: تنظیـم هر واکنشـی بـا تنظیـم فعالیـت آنزیم‌هـای دخیـل در آن واکنـش انجـام می‌شـود، بـه ویـژه فعالیت آنزیم‌هایـی که در تسـهیل مسـیری نقـش دارند کـه بـه سـادگی قابـل برگشـت نیسـت. اتصـال تنظیم‌کننـده بـه آنزیـم بـا تغییـر در سـاختار آنزیـم، سـبب کاهش یـا افزایـش فعالیـت آنزیم می‌شـود. ADP، ATP و NADH مثال‌هایـی از مولکول‌هایی‌اند کـه آنزیم‌های تنفس یاخته‌ای را تنظیـم می‌کننـد. مثـلاً ATP فـراوان باشـد به‌عنـوان علامـت توقـف تنفـس یاختـه‌ای عمل می‌کنـد.

تنظیم میـزان ورود قند به یاخته: گلوکـز در حضور انسـولین و به واسطه یک ناقل پروتئینی به یاخته

منتقل می‌شود که در ریزکیسه‌هایی درون یاخته وجود دارد. با اتصال انسولین به گیرنده انسولین در غشای یاخته، علائمی به یاخته منتقل و سبب اتصال ریزکیسه‌های دارای ناقل گلوکز، به غشای یاخته و در نتیجه ورود گلوکز از طریق پروتئین ناقل می‌شود.

تأثیر هورمون‌های تیروئیدی: این هورمون‌ها از طریق تأثیر بر ژن‌ها و یا به‌طور مستقیم با تأثیر بر میتوکندری‌ها در تنفس یاخته‌ای نقش دارند.

پرسش‌های احتمالی دانش‌آموزان

آیا ATPای که در راکیزه ساخته می‌شود، همان‌جا می‌ماند؟ ATP ساخته شده در میتوکندری به خارج از آن منتقل می‌شود و برای این کار نیز انرژی مصرف می‌شود.

اصلاح کج‌فهمی

چربی‌ها انرژی بیشتری ایجاد می‌کنند، بنابراین، چربی‌ها برای انجام تنفس یاخته‌ای مناسب‌ترند.

ممکن است دانش‌آموزان شنیده باشند که به ازای هر گرم گلوکز حدود ۴/۵ کیلوکالری انرژی، در حالی که به ازای هر گرم چربی حدود ۹ کیلوکالری انرژی به دست می‌آید و نتیجه بگیرند که چربی‌ها منبع بهتری برای انرژی هستند.

توجه دانش‌آموزان را به این مسئله جلب کنید که نقش چربی‌ها حفاظت است و در ارتباط با تأمین انرژی نقش ذخیره انرژی دارد. اگر میزان کالری دریافتی ما بیش از میزان نیاز باشد، قندها برای ساختن چربی‌ها و به عبارتی ذخیره انرژی به کار می‌روند. همچنین ورود چربی‌ها به تنفس یاخته‌ای به سادگی ورود گلوکز نیست و باید واکنش‌های دیگری انجام شود.

در حالت معمول گلوکزی که از طریق روده‌ها جذب و وارد گردش خون می‌شود، مسیر تنفس یاخته‌ای را طی می‌کند. در حالتی که قند خون کاهش می‌یابد، ذخیره گلیکوژن کبد، تجزیه و قند خون را تأمین می‌کند. در فعالیت‌های بدنی و نیاز بالا به انرژی و نیز گرسنگی‌ها ذخیره‌های چربی مصرف می‌شوند. در گرسنگی‌ها و سوءتغذیه‌های شدید بدن برای تأمین انرژی به سراغ پروتئین‌ها می‌رود.

گفتار ۳: زیستن مستقل از اکسیژن

در این گفتار به راه‌های دیگر تأمین انرژی می‌پردازیم. می‌توانید از دانش‌آموزان بپرسید که سرکه چگونه تولید می‌شود یا اینکه توجه آن‌ها را به فرایند تهیه خمیر نان جلب کنید. در ساده‌ترین حالت می‌توانید دانش‌آموزان را با پرسش‌هایی که در ابتدای این گفتار آمده است، مواجه کنید.

دانش‌آموزان با مخمرها و تخمیر نان در سال‌های قبل در درس علوم و به‌طور مشخص در پایه هشتم آشنا شده‌اند.

در این گفتار می‌توانید با ارائه مثال‌هایی مانند ورآمدن خمیر نان، سرکه‌سازی و ماست‌بندی، انواع و اهمیت تخمیر در زندگی را مطرح کنید و تخمیر الکلی و لاکتیکی را آموزش دهید. توجه داشته باشید که انواعی از باکتری‌ها در فرایندهای تخمیر نقش دارند.

تخمیر در گیاهان: شاید دانش‌آموزان چنین تجربه‌ای داشته‌اند که آبیاری فراوان گیاه سبب مرگ گیاه می‌شود. از آن‌ها بپرسید چرا اگر بیش از حد نیاز به گیاه آب بدهیم، گیاه پژمرده می‌شود و از بین می‌رود. اگر چنین گیاهی را از خاک خارج کنیم، می‌بینیم که ریشه‌ها پوسیده‌اند. در واقع آبیاری فراوان سبب جانشین شدن هوای خاک با آب می‌شود. کمبود اکسیژن سبب به راه افتادن واکنش‌های تخمیری و تغییر pH خاک و در نتیجه نامناسب شدن شرایط برای زیست یاخته‌ها می‌شود.

پرسش‌های احتمالی دانش‌آموزان

چرا بعضی گیاهان در آب زنده می‌مانند؟

در صورتی که چنین پرسشی از سوی دانش‌آموزان در کلاس مطرح شد، به آن‌ها کمک کنید تا آنچه را در کتاب زیست‌شناسی ۱ در پایه دهم خوانده‌اند، به یادآورند. آن‌ها در پایه دهم، برش‌هایی از بافت پارانشیمی دیده‌اند که دارای حفرات فراوان هواست. همچنین با شش‌ریشه در درخت حرا آشنا شده‌اند. بنابراین، انتظار داریم حداقل تعدادی از دانش‌آموزان به این موارد اشاره کنند. همچنین تجربه نگه‌داری بعضی گیاهان

دانش‌آموزان با مخمرها و تخمیر نان در سال‌های قبل در درس علوم و به‌طور مشخص در پایه هشتم آشنا شده‌اند

در آب بـه پاسـخ این پرسـش کمـک می‌کند. اگـر به چنیـن گیاهانی توجه کنیـد، می‌بینید کـه به‌طور مرتب ریشـه‌های جدید تشـکیل و جانشـین ریشـه‌های از بیـن رفته می‌شـود.

می‌دانیـم از نمـک بـرای نگـه‌داری خوراکی‌هـا و ضدعفونـی کـردن اسـتفاده می‌شـود. چـرا در تهیـه خیارشـور نمـک بـه کار مـی‌رود، امـا در کتاب درسـی آمده اسـت کـه در این فراینـد، تخمیر لاکتیکی نقـش دارد؟

لاکتیک‌اسـید باکتری‌هـا (LAB)، انواعـی از باکتری‌هـا هسـتند کـه بـا تخمیـر لاکتیکـی در آماده شـدن خیارشـور نقـش دارند ایـن باکتری‌ها در مقدار مشـخصی از نمـک می‌توانند زنده بمانند و فعالیـت کنند. اگـر نمک زیاد باشـد، مخمرهای نمک‌دوسـت رشـد می‌کننـد و از سـرعت تخمیر لاکتیکـی کـم می‌شـود. اگـر نمـک کـم باشـد باکتری‌هایـی رشـد می‌کننـد کـه سـبب لیـز و تخریب خیـار می‌شـوند. انواعـی از باکتری‌هـا و از جملـه لاکتیک‌اسـید باکتری‌هـا و مخمرهـا روی خیـار وجـود دارنـد کـه تعـدادی از آن‌هـا حتـی بعـد از شسـت‌وشـو باقـی می‌مانند. مخمرهـا مواد مغذی موردنیاز لاکتیک‌اسـید باکتری‌هـا را فراهم می‌کنند. در فرایند آماده‌سـازی خیارشـور، به علت افزایـش این میکروارگانیسـم‌ها، فرایند رقابت مانع از فعالیـت باکتری‌هـای دیگر می‌شـود. مـزه ترش خیارشـور به علت تشکیل لاکتیک‌اسید در فرایند تولید خیارشـور اسـت.

سلامت‌بدن: پاداکسنده‌ها

هـدف از ارائـه ایـن محتـوا پرداختـن بـه مباحـث کاربـردی در سـلامت و مرتبـط با تنفـس یاخته‌ای اسـت. دانش‌آمـوزان در ارتبـاط بـا رادیکال‌هـای آزاد و پاداکسـنده در کتاب‌هـای شـیمی خـود مطالبـی خوانده‌انـد. همچنیـن در زیست‌شناسـی دهـم آموختنـد کـه بعضـی ترکیبـات رنگـی در گیاهـان پاداکسنده‌اند و در پیشـگیری از سرطان نقش دارند.

آمـوزش ایـن مفاهیـم را می‌توانیـد بـا پرسـش از دانش‌آمـوزان دربـارهٔ پاداکسـنده‌ها و رادیکال‌هـای آزاد آغـاز کنیـد. بـه عبارتـی از پیش‌دانسـته‌های دانش‌آمـوزان اسـتفاده کنیـد.

بـا توجـه بـه زمان‌بندی آمـوزش فصل، دو جلسـه قبـل از رسـیدن بـه ایـن موضـوع، از دانش‌آمـوزان بخواهید که متن را مطالعه و پرسش‌هایی که برایشان مطرح می‌شـود، بنویسـند. بعضی از این پرسـش‌ها را به‌عنـوان موضوعـی بـرای ارائـه انتخـاب و بـه صورت گروهـی، مطالـب کوتاهی با مراجعه بـه منابع متفاوت از جملـه مثلاً پزشـک متخصص آمـاده و در کلاس به شـیوه دلخواه ارائـه دهند.

سرعت تنفس یاخته‌ای به میزان نیاز یاخته‌ها و جاندار بستگی دارد و یکی از راه‌های تنظیم آن موازنه بین ATP و ADP است

گسترش دانش

رادیکال‌های آزاد و آنتی‌اکسیدان‌ها

دیدیـم کـه در فراینـد تنفـس یاختـه‌ای هـوازی، الکترون‌ها نهایتاً به اکسـیژن می‌رسـند. این فرایند بی‌خطـر نیسـت. اکسـیژن مولکولـی دی‌رادیکال اسـت، و تمایل به گرفتن دو الکترون دارد. بنابراین، می‌توانـد در واکنـش با مولکول‌های دیگـر رادیکال آزاد ایجـاد کند.

گاه پیـش می‌آید کـه مولکول اکسـیژن با گرفتن یـک الکتـرون بـه رادیـکال آنیـون سوپراکسـید ($O_2^{\bullet-}$) تبدیـل می‌شـود. ایـن رادیـکال می‌تواند بـه پراکسـیدهیدروژن (H_2O_2) و یـا بـه رادیکال هیدروکسـیل ($HO^{\bullet}$) تبدیل شـود.

رادیکال‌هـای آزاد کمبـود الکترونی خود را با حمله به مولکول‌هـای دیگر و گرفتن الکترون‌هـا از آن‌ها جبران می‌کنند.

رادیکال‌هـای آزاد بـه سـاختارهای زیسـتی حمله می‌کنند و سـبب تخریب آن‌ها می‌شـوند. در بدن عـلاوه بر سیسـتم‌های آنزیمـی که بـرای مقابله با رادیکال‌هـای آزاد وجـود دارد، آنتی‌اکسـیدان‌ها نیز در خنثی‌سـازی ایـن مولکول‌هـا عمـل می‌کنند. آنتی‌اکسـیدان‌ها بـه رادیکال‌هـای آزاد الکتـرون می‌دهند.

آنتی‌اکسـیدان‌ها مولکول‌هایی‌انـد کـه در واکنش بـا رادیکال‌هـای آزاد مانع از عملکرد مخـرب آن‌ها بـر یاخته می‌شـوند. ویتامین E، ویتامیـن C و بتا کاروتن از این آنتی‌اکسـیدان‌ها هسـتند.

رادیکال‌هـای آزاد در ایجـاد سـرطان نقـش دارنـد. بنابرایـن، مصرف میوه‌ها و سـبزیجات تازه به علت داشـتن آنتی‌اکسـیدان می‌توانـد در پیشـگیری از سـرطان مؤثر باشد.

مهارکننده‌های ساخته شدن اکسایشی ATP (مهارکننده‌هـای زنجیره انتقال الکترون)

مـوادی ماننـد سـیانید و کربـن مونواکسـید بـا اتصـال قـوی بـه مرکز آهـن- مس در سـیتوکروم

C اکسیداز (مجموعه IV) سبب توقف انتقال الکترون می‌شوند. آنتی‌بیوتیک الیگومایسین با تأثیر بر آنزیم ATP ساز باکتریایی، مانع شارش پروتون‌ها از این آنزیم می‌شوند.

پرسش‌های احتمالی دانش‌آموزان

آیا رادیکال‌های آزاد هیچ عملکرد مفیدی برای بدن ندارند؟ رادیکال‌های آزاد در حفظ سلامت ما نقش دارند. مثلاً یاخته‌های ایمنی بدن با استفاده از رادیکال‌های آزاد باکتری‌ها را می‌کشند. بنابراین، مهم این است که رادیکال‌های آزاد از حدی بیشتر نشوند.

چه چیزهایی سبب افزایش رادیکال‌های آزاد می‌شوند؟

افزایش رادیکال‌های آزاد در بدن، وضعیتی را ایجاد می‌کند که تنش اکسیداتیو نامیده می‌شود. هوای آلوده، دود سیگار، الکل و افزایش قند خون از عواملی‌اند که در ایجاد این تنش نقش دارند.

آیا دانه میوه‌هایی مانند سیب سیانید دارند و خوردن آن‌ها سبب مسمومیت می‌شود؟

دانه گیاهانی مانند سیب، بادام، هلو دارای سیانوگلیکوزید هستند که در طی گوارش در بدن، سیانید آزاد می‌کنند. این ترکیب در این گیاهان آمیگدالین نامیده می‌شود. با توجه به تعداد اندک دانه‌های سیب، مقدار سیانیدی که تشکیل می‌شود، بسیار کمتر از آنی است که برای فرد مشکلی ایجاد کند. همچنین بدن می‌تواند این مقدار اندک را تجزیه کند. اما اگر مقدار آن زیاد باشد، می‌تواند باعث مسمومیت شود.

اصلاح کج‌فهمی

مخمرها می‌توانند در الکل زنده بمانند.

الکل حاصل فرایند کسب انرژی در مخمرهاست. بنابراین، ممکن است دانش‌آموزان به این نتیجه برسند که مخمرها می‌توانند در الکل زنده بمانند؛ در حالی که الکل برای این جانداران نیز مرگ‌آور و مضر است. به‌طوری که آستانه تحمل الکل در مخمرها حدود دوازده درصد الکل در محیط زندگی آن‌هاست.

با توجه به نقش آنتی‌اکسیدان‌ها، مصرف فراوان آنتی‌اکسیدان‌ها به ویژه به شکل مکمل‌های غذایی، برای سلامت ما خطری ندارد.
در بعضی موارد آنتی‌اکسیدان‌ها، الکترون‌هایی را که به رادیکال‌های آزاد داده‌اند با گرفتن الکترون از مولکول‌های دیگر جبران می‌کنند و به عبارتی خود باعث آسیب به ساختارهای زیستی می‌شوند. بنابراین، زیاده‌روی در مصرف این ترکیبات به ویژه در قالب مکمل‌های غذایی می‌تواند تنش اکسیداتیو ایجاد کند.

تکالیف عملکردی

این تکالیف در واقع بخشی از فعالیت‌های آموزشی است که دانش‌آموزان به شکل‌های متفاوتی ارائه می‌دهند و از ملاک‌های ارزیابی دانش‌آموزان است. اگر به مدرسه و آموزش مدرسه‌ای به‌عنوان فرصتی برای تربیت و رشد ابعاد متفاوت شخصیتی دانش‌آموزان به ویژه تقویت روحیه همکاری و جمع‌گرایی نگاه کنیم، پس این تکالیف باید به شکل گروهی و با همکاری واقعی تک‌تک افراد گروه انجام شود. شما می‌توانید با توجه به توانایی‌های متفاوت دانش‌آموزان و شرایط اجرا تکالیف را طراحی و سامان‌دهی کنید.

- گزارش‌هایی دربارهٔ ارتباط سلامت و تنفس یاخته‌ای ارائه دهند.
- نقشه‌های مفهومی برای مفاهیم و فرایندهایی که در این فصل آموخته‌اند، ارائه و خلاصه‌هایی به زبان خود ارائه می‌دهند که نشان‌دهنده درک آن‌ها از مفاهیم علمی فصل باشد.
- طرح‌هایی برای پژوهش در ارتباط با مفاهیم و موضوعات این فصل ارائه دهند.

منابع

۱. زیست‌شناسی ۳، وزارت آموزش‌وپرورش، چاپ ۱۳۹۸.
2. Solomon Eldera, Beg Linda, Martin Diana, *Biology, 10th Edition,* Thomson,2015.
3. *Campbell Biology,* 11th Edition, Pearson,2017.