



دانشگاه پیام نور

فیزیولوژی گیاهی ۱

(رشته زیست شناسی)

دکتر مه‌لقا قربانلی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک‌درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک‌درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید مواد و تجهیزات آموزشی

فهرست

نه	راهنمای مطالعه
سیزده	مقدمه
۱	گفتار اول : تغذیه، خودخواری و دگرخواری
۲	انواع مختلف تغذیه
۶	خلاصه گفتار اول
۶	خودآزمایی گفتار اول
۹	گفتار دوم : خاک به عنوان منبع آب و مواد کانی
۱۰	تعریف خاک
۱۴	رده بندی بافت خاک
۱۵	ذخایر خاک از نظر عناصر حاصل خیزکننده
۱۸	آب خاک
۱۹	نیروی مکش خاک برای آب: پتانسیل مویینیگی
۲۲	گازهای خاک
۲۲	موجودات زنده خاک
۲۳	خلاصه گفتار دوم
۲۴	خودآزمایی گفتار دوم
۲۵	گفتار سوم : آب و جذب آن توسط گیاه
۲۶	ارتباطات آبی
۲۸	پتانسیل آبی
۳۶	روابط آب در کل اندام ها و پیکر گیاه
۴۴	خلاصه گفتار سوم
۴۵	خودآزمایی گفتار سوم
۴۷	گفتار چهارم: حرکت آب در گیاه
۴۸	مسیر حرکت آب
۵۱	نیروهای مؤثر در حرکت آب
۵۴	شیره خام
۵۶	کشش تعرقی
۵۷	خلاصه گفتار چهارم
۵۸	خودآزمایی گفتار چهارم

۵۹	گفتار پنجم: خروج آب از گیاه
۶۰	تعرق
۶۱	مکانیسم تعرق در برگ‌ها
۶۱	روش‌های اندازه‌گیری تعرق
۶۶	دستگاه روزنه‌ای
۶۹	مکانیسم‌های روزنه‌ای
۷۲	اثرات عوامل محیطی بر روزنه‌ها
۷۹	اثر عوامل ساختاری در تعرق
۷۹	اندازه‌گیری میزان گشودگی روزنه‌ها
۸۱	نقش‌ها و امتیازات تعرق
۸۲	خلاصه گفتار پنجم
۸۳	خودآزمایی گفتار پنجم
۸۵	گفتار ششم: عناصر کانی مورد نیاز گیاه
۸۷	لزوم عناصر کانی و نقش آن‌ها
۸۹	عوامل مؤثر بر تغذیه کافی گیاهان
۹۱	الف) عناصر پرمصرف فلزی
۹۸	ب) عناصر پرمصرف غیرفلزی
۱۰۶	ج) عناصر کم مصرف
۱۱۴	اثرات متقابل بین عناصر
۱۱۶	محلول‌های غذایی
۱۱۹	خلاصه گفتار ششم
۱۲۱	خودآزمایی کلی گفتار ششم
۱۲۳	گفتار هفتم: جذب مواد کانی
۱۲۸	جذب غیرفعال
۱۳۲	مکانیسم تجمع غیرفعال یون‌ها
۱۳۳	نیرو و پتانسیل: پتانسیل الکتروشیمیایی
۱۴۰	اختلاف پتانسیل بین غشایی (ddp)
۱۴۱	سیستم دونان
۱۴۳	خلاصه گفتار هفتم
۱۴۵	خودآزمایی گفتار هفتم
۱۴۷	گفتار هشتم: جذب فعال
۱۴۸	جذب فعال
۱۴۹	مکانیسم‌های جذب از راه غشاء
۱۵۰	انتقال مواد محلول از میان غشاء با واسطه ناقل
۱۵۴	پینوسیتوز
۱۵۵	آنزیم‌های برداری
۱۶۴	خلاصه گفتار هشتم
۱۶۵	خودآزمایی گفتار هشتم

۱۶۷	گفتار نهم: جذب و همانندسازی نیتروژن
۱۶۹	نیتروژن
۱۶۹	اشکال مختلف نیتروژن در خاک
۱۷۱	هوموس
۱۷۲	انواع هوموس
۱۷۵	کودهای نیتروژن دار
۱۷۶	مصرف نیتروژن جوی
۱۸۰	تثبیت نیتروژن از طریق هم‌زیستی
۱۸۶	برقراری هم‌زیستی
۱۸۹	مصرف نیترات‌ها
۱۹۵	مکانیسم جذب نیتروژن مولکولی
۱۹۸	بیوسنتز اسیدهای آمینه
۲۰۳	خلاصه گفتار نهم
۲۰۶	خودآزمایی کلی گفتار نهم
۲۰۷	کتابنامه
۲۰۸	واژه‌نامه

راهنمای مطالعه

کتابی که در دست مطالعه دارید برای یادگیری هر چه بهتر شما به صورت خودآموز تهیه شده است. سازمان‌بندی، ترتیب و توالی و نوع نگارش آن طوری انتخاب شده که بتوانید مطالب بحث شده را آسان‌تر درک کنید، آن‌ها را بهتر به ذهن بسپارید و در موارد مقتضی به کار گیرید. به منظور جلوگیری از اتلاف وقت و درک بهتر این کتاب، به نکات زیر توجه و دقیق کنید:

۱- در محیطی آرام و عاری از عوامل مخلّ تمرکز و توجه، کار مطالعه را آغاز کنید.

۲- پیش از مطالعه کتاب، هدف‌های آموزشی نهایی آن را بخوانید. این هدف‌ها به شما خواهند گفت که هنگام مطالعه باید در پی فهم چه مطالبی باشید و چگونه معلوم کنید که تمام مطالب را فرا گرفته‌اید. هدف‌های آموزشی نهایی به شما نشان می‌دهند که در پایان مطالعه و یادگیری این درس، باید قادر به انجام چه کارهایی باشید. برای این‌که بتوانید کارهای خواسته شده در هدف نهایی را انجام دهید، باید تمام کتاب، یعنی گفتارهای مختلف آن را مطالعه و درک کنید. در هر گفتار نیز هدف‌های آموزشی کلی و جزئی، روش مطالعه و انتظار نهایی ما از شما را تعیین می‌کند. اگر بتوانید به مجموعه هدف‌های کلی و جزئی گفتارهای کتاب دست یابید، در حقیقت به هدف‌های نهایی کتاب رسیده‌اید. در مجموع هدف‌های آموزشی این کتاب، همانند استاد کلاس

درس، به شما می‌آموزند که این درس را باید چگونه مطالعه کنید، روی نکاتی تأکید کنید و آن‌ها را چگونه یاد بگیرید. هدف‌های نهایی کتاب و هدف‌های آموزشی کلی و جزئی گفتارها در عین حال راهنمای شما برای موفقیت در آزمون این درس هستند. بنابراین لازم است که در مطالعه هر گفتار، ابتدا هدف کلی و سپس هدف‌های جزئی آن را مطالعه کنید. هنگامی که نخستین بار هدفی را می‌خوانید ممکن است معنای آن را به‌طور کامل درک نکنید. این مسأله چندان غیرطبیعی نیست. با مراجعات مجدد ضمن مطالعه متن و یا پس از پایان مطالعه، حتماً معنای هدف‌ها را به‌طور کامل خواهید فهمید و به اهمیت آن‌ها پی خواهید برد.

۳- متن هر گفتار را یک بر سریعاً مطالعه کنید، لازم نیست در این مطالعه تمام مطالب را یاد بگیرید. این کار به شما کمک می‌کند تا دیدی جامع نسبت به مطالب هر گفتار به دست آورید و با سازمان کلی آن آشنا شوید. به این ترتیب، مفاهیم درس به صورت پراکنده و بدون ارتباط با یکدیگر به ذهن سپرده نخواهند شد. در پایان مطالعه اول سعی کنید اجمالاً برای خود یا برای دیگران شرح دهید که بحث گفتار درباره چه موضوعی بوده و چه اصول یا قوانینی در آن مطرح شده‌اند. بار دیگر با توجه و دقت کامل به مطالعه و فهم جزئیات مطالب گفتار پردازید. پیش از دو بار مطالعه و نیز در طی آن‌ها و هم‌چنین در پایان کار، به هدف‌های آموزشی کلی و جزئی گفتار رجوع کنید. هدف‌ها رفتارهایی هستند که انتظار می‌رود پس از مطالعه کتاب کسب کرده باشید. به هیچ‌وجه مطالب را بدون درک آن‌ها حفظ کنید. در پایان مطالعه هر گفتار از خود بپرسید که تا چه هدف‌های مورد نظر رسیده‌اید. این پرسش را یک بار دیگر در پایان مطالعه کتاب و در مورد هدف‌های آموزشی نهایی درس از خود به عمل آورید.

۴- با پاسخ دادن به پرسش‌های مطرح شده در خودآزمایی پایان هر گفتار و انجام فعالیت‌های خواسته شده در آن‌ها، دانسته‌های خود را مورد ارزیابی قرار دهید. این خودآزمایا جهت کسب اطمینان از رسیدن به هدف‌های جزئی و نهایتاً دستیابی به هدف‌های آموزشی نهایی کتاب طرح‌ریزی شده‌اند. ضروری است که با صرف وقت و دقت کافی تمام فعالیت‌های خودآزمایا را انجام دهید. بهتر آن است که پاسخ‌های خود را یادداشت کنید. هرگاه احساس کردید که در دادن پاسخ به هر یک از پرسش‌های

خودآزمای‌های پایان گفتار با اشکال روبرو هستید، حتماً با مراجعه به متن مربوطه، اشکال خود را برطرف سازید.

هرگاه پس از مقایسه پاسخ‌های خود و متن پاسخ‌نامه خودآزمای‌ها و یا متن گفتار از درک صحیح مطالب توسط خود اطمینان حاصل کردید و یا پس از این‌که متوجه شدید در پاسخ‌های شما اشکالاتی وجود داشته و آن‌ها را رفع کردید، می‌توانید با مطالعه گفتار بعدی کار یادگیری خویش را در طول کتاب ادامه دهید.

- ۵- در هنگام مطالعه متن کتاب، حتماً از شکل‌های ارائه شده استفاده فرمایید. این شکل‌ها می‌توانند کمک به‌سزایی را در امر یادگیری در اختیار شما قرار دهند.
- ۶- در طول مطالعه کتاب، برای یادآوری، مجدداً این متن را بخوانید.

مقدمه

هر انسانی با جلوه‌هایی از زندگی گیاهی آشناست، چون خواه و ناخواه در خانه یا باغ و یا در پارک‌های عمومی با رستنی‌ها سروکار دارد. بنابراین نادرند افرادی که اطلاعاتی ولو اندک در مورد رشد و نمو گیاهان نداشته باشند.

پدیده‌هایی گوناگونی در زندگی گیاهان وجود دارند که انگیزه حس کنجکاوی بشر است، مثلاً چرا بعضی از گیاهان در بهار گل می‌دهند و برخی در تابستان، بعضی در پاییز و معدودی در تمام سال؟ چرا ریشه گیاهان به طرف پایین گرایش دارد و ساقه به سوی بالا؟ گیاهان از کجا و چگونه غذای خود را به دست می‌آورند؟ مواد کانی محلول، آب و گازها از چه راهی وارد گیاه می‌شوند و چگونه در آن جریان دارند؟ مواد لازم در مراحل مختلف نمو چگونه مصرف می‌شوند و بالاخره مواد غذایی در گیاه به چه صورت از نقطه‌ای به نقطه دیگر حرکت می‌کنند؟ شاخه‌ای از دانش گیاه‌شناسی به نام فیزیولوژی گیاهی پاسخ‌گوی این گونه پرسش‌هاست. با پیشرفتی که این دانش دارد، هر روز افق روشن‌تری در مقابل دیدگان کنجکاو پژوهشگران و متخصصان این فن گشوده می‌شود.

دانش فیزیولوژی گیاهی دانشی پویاست و پیوسته با کشفیات جدید و توسعه مفاهیم تازه تحول می‌یابد. این دانش، علاوه بر اهمیتی که در شناخت کار گیاهان دارد، نقش مهمی در برنامه‌های پژوهشی کشاورزی ایفا می‌کند. از وظایف اصلی فیزیولوژی گیاهی در آینده افزایش مواد غذایی، علوفه، فراورده‌های چوبی، تولید انواع جدید و

بهتر گیاهان زراعی از نظر مقاومت به شوری و خشکی و پایداری در برابر بیماری‌ها و آفات‌ها است. از این دانش می‌توان در بعضی جنبه‌های کشاورزی عملی، از جمله افزایش کارایی فتوسنتز گیاهان زراعی با کاهش میزان تنفس نوری، ایجاد تغییرات ژنتیکی به منظور افزایش سطح برگ‌ی مثلاً برای تولید سیستم‌های بهتر دریافت‌کننده نور، بهبود کیفیت تثبیت زیستی نیتروژن، تکنیک‌های کشت بافت‌های گیاهی، کشت پروتوپلاست و غیره به نحو شایسته‌ای استفاده کرد.

روش‌هایی که در فیزیولوژی گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند بیشتر روش‌هایی هستند که از شیمی، فیزیک و سایر علوم زیستی اقتباس شده‌اند. در سال‌های اخیر، ارتباط تنگاتنگ این دانش با شیمی و زیست شیمی چنان مشخص شده است که نام آزمایشگاه‌های پژوهشی فیزیولوژی گیاهی به آزمایشگاه یا انستیتو بیوشیمی و فیزیولوژی گیاهی تغییر یافته است.

فیزیولوژی گیاهی کلاسیک برای دانشجویان رشته‌های مختلفی که به علوم گیاهی ارتباط دارند، در سه بخش عمده تدریس می‌شود که عبارتند از: تغذیه، متابولیسم و رشد و نمو. با توجه به برنامه‌ریزی که در مورد این درس به عمل آمده است، این مباحث در سه درس فیزیولوژی گیاهی یک، دو و سه ارائه می‌شود. کتاب حاضر اختصاص به فیزیولوژی گیاهی یک دارد و هدف آموزشی نهایی آن عبارت است از «آشنایی با مسائل مربوط به جذب و انتقال آب و مواد کانی و نقش آن‌ها در زندگی گیاه». برای رسیدن به این هدف آموزشی نهایی، مطالب کتاب در ۹ گفتار تنظیم شده است. امید است با مطالعه و یادگیری این کتاب و دستیابی به هدف‌های آموزشی کلی گفتارهای مختلف آن به هدف نهایی فوق نایل شوید.

گفتار اول

تغذیه، خودخواری و دگرخواری

پیشگفتار

در این گفتار به نیازهای غذایی موجودات زنده اشاره می‌کنیم و استعداد گیاهان سبز را در سنتز مواد آلی به کمک مواد ساده کانی و نور و آب توضیح می‌دهیم. اشکال مختلف تغذیه، یعنی اتوتروفی^۱، هتروتروفی^۲ و اگزوتروفی^۳ با ذکر مثال تعریف می‌شود و با بیان تاریخچه‌ای مختصر درباره شناخت نیازهای گیاهان، مقایسه‌ای از نظر انواع تغذیه در بین آن‌ها به عمل می‌آید. هدف آموزشی کلی این گفتار عبارت است از «آشنایی با استعداد شگرف گیاهان سبز در تولید مواد آلی برای خودشان و سایر موجودات زنده و تشخیص تفاوت آن‌ها با هتروتروف‌ها». برای رسیدن به هدف آموزشی کلی فوق، پس از مطالعه این گفتار باید به هدف‌های آموزشی جزئی زیر دست یابید، یعنی بتوانید:

۱- روش زندگی اتوتروفی و هتروتروفی و انواع آن‌ها را تعریف کنید و در هر مورد مثال‌هایی ذکر نمایید.

۲- اگزوتروفی و پروتوتروفی را تعریف کنید و برای هر یک مثال‌هایی ذکر نمایید.

۳- با توجه به منبع انرژی مورد استفاده، انواع تغذیه اتوتروفی را تعریف کنید.

۴- موجودات اتوتروف و هتروتروف را از جنبه‌های گوناگون با یکدیگر مقایسه

نمایید.

1. autotrophy
2. heterotrophy
3. auxotrophy

انواع مختلف تغذیه

نیازهای غذایی و انرژی موجودات زنده از راه‌های مختلف تأمین می‌شود. گیاه کلروفیل‌دار پروتوپلاسم خود را با جذب نمک‌های کانی، دی‌اکسیدکربن، آب و نور می‌سازد. انسان و جانوران توانایی چنین کاری را ندارند و سهم خودسازی در تغذیه آن‌ها زیاد نیست و چون به مواد غذایی آلی نیازمندند، لذا نوع زندگی آن‌ها دگرخواری است. پدیده دگرخواری خود بر چند نوع است: نوعی قارچ می‌تواند از قند، نیتрат، سولفات و چند نمک دیگر تغذیه کند، در حالی که نوع دیگر آن که در اثر جهش مثلاً از قارچ اول مشتق شده است علاوه بر مواد ذکر شده به یک عامل رشد مانند یک ویتامین نیاز دارد که خود قادر به ساختن آن نیست. در این صورت این قارچ نسبت به این عامل اگر تروف^۱ است، در حالی که قارچ نوع اول پروتوتروف^۲ است.

در گیاهان کلروفیل‌دار مواد کانی از آب و خاک و CO_2 از هوا گرفته می‌شود. نور انرژی لازم را تأمین می‌کند. می‌توان چنین تصور کرد که زندگی این موجودات از نظر تغذیه کاملاً مستقل از سایر موجودات زنده است. مفهوم این استقلال از آخر سده هجدهم با ملاحظات پریستلی^۳ (۱۷۷۲ - ۱۷۷۹)، سنبیه^۴ (۱۷۸۲)، اینگن‌هوس^۵ (۱۷۹۶)، دو سوسور^۶ (۱۸۰۴) توضیح داده شده است. بعد از پاستور و شاگردانش در نیمه سده نوزدهم، روش «کشت خالص»^۷ که در آن فقط یک موجود زنده یا یک گونه یا یک سویه رشد می‌کند توسعه پیدا کرد. توانایی گیاهان در ساختن غذا تحت عنوان اتوتروفی توصیف می‌شود (که در آن auto به یونانی به مفهوم خودش و troph به معنی تغذیه است). این خودسازی به آن معناست که این موجودات تمام مواد غذایی مورد نیاز خود را بدون استثناء می‌سازند. اتوتروف‌های حقیقی قادرند کربن، نیتروژن و گوگرد را به شکل اکسید، یعنی CO_2 ، NO_3^- و SO_4^{2-} مصرف کرده و آن‌ها را احیا نمایند. موجوداتی که نسبت به کربن اتوتروف‌اند دی‌اکسیدکربن اتمسفری را جذب کرده قادر به انجام فتوسنتز و یا شیمیوسنتز هستند. موجوداتی که نسبت به نیتروژن

1. auxotroph
2. prototroph
3. Priestly
4. Senebier
5. Ingen - Housz
6. De Saussure
7. axenic

اتوتروف‌اند نیتروژن آزاد (ازتوباکتر)^۱ نیتروژن آمونیاکی (بسیاری از قارچ‌ها) و یا نیترات‌ها (گیاهان سبز) را مصرف می‌کنند. موجوداتی که نسبت به گوگرد اتوتروف‌اند گوگرد را به صورت SO_4^{2-} ترجیح می‌دهند؛ مانند آسپرژیلوس^۲. از نظر منبع انرژی مورد نیاز جهت احیای شکل اکسیدۀ کربن، یعنی CO_2 ، اتوتروف‌ها را به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

۱- فتوتروف‌ها^۳: این گروه از موجودات زنده انرژی لازم برای سنتز مواد را از واکنش‌های فتوشیمیایی به دست می‌آورند، مانند گیاهان سبز و بعضی از باکتری‌ها که آن‌ها را باکتری‌های فتوسنتتیک (فتوسنتزکننده) گویند. باکتری‌های فتوسنتتیک از نظر استفاده از مواد شیمیایی و یا آلی به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

الف) فتولیتوتروف‌ها^۴: جذب و تحلیل (همانندسازی) CO_2 در این باکتری‌ها با اکسایش (اکسیداسیون) ترکیبات کانی نظیر سولفیدها صورت می‌گیرد، مانند کلروبیوم^۵ و کروماسیوم^۶.

ب) فتوآرگانوتروف‌ها^۷: در این گروه از باکتری‌ها، جذب و تحلیل (همانندسازی) دی‌اکسیدکربن با اکسایش ترکیبات آلی (اسیدهای آلی) همراه است که نقش‌دهنده الکترون را ایفا می‌کنند، مانند رودوسپیریلوم^۸ و رودوپسودوموناس^۹. این باکتری‌ها CO_2 را در روشنایی جذب کرده و مالات، سوکسینات، اسیدهای چرب و الکل‌های مختلف را اکسید می‌کنند. به عنوان مثال الکل ایزوپروپیلک را به عنوان دهنده الکترون به کار می‌برند.



باکتری‌های فتوسنتتیک فتوسنتز را در نبود اکسیژن انجام می‌دهند.

-
1. Azotobacter
 2. Aspergillus
 3. phototrophs
 4. photolithotrophs
 5. Chlorobium
 6. Chromatium
 7. photoorganotrophs
 8. Rhodospirillum
 9. Rhodopseudomonas

۲- شیمیوتروف‌ها^۱: این گروه از موجودات زنده انرژی لازم برای سنتز مواد را از مواد شیمیایی به‌دست می‌آورند و به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

الف) شیمیولیتوتروف‌ها^۲: این گروه از باکتری‌ها، جذب و تحلیل CO_2 را همراه با اکسایش مواد کانی مانند گوگرد، سولفیدها، نمک‌های آهن، آمونیاک و نیتريت و هیدروژن مولکولی انجام می‌دهند. از باکتری‌های گوگردی، آکروماسیوم و از نیتروباکتری‌ها، که انرژی لازم را از آمونیاک و نیتريت‌ها به‌دست می‌آورند، ازتوباکتر را نام می‌بریم.

ب) شیمیوآرگانوتروف‌ها^۳: این گروه از باکتری‌ها، جذب و تحلیل CO_2 را با اکسایش مواد آلی انجام می‌دهند؛ مانند بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌ها. در مقابل موجودات زنده مذکور که اتوتروف هستند، انسان و جانوران نیاز مطلق به تغذیه آلی دارند و مواد مورد نیاز خود را از بدن موجودات زنده دیگر یا موجودات مرده به‌دست می‌آورند. به این دسته موجودات هتروتروف^۴ می‌گویند (hetero به معنای «دیگر»). در این موجودات توانایی سنتز مواد سازنده نسبت به اتوتروف‌ها بسیار کمتر است.

هتروتروف‌ها نوعی نیاز مطلق به مواد آلی دارند، در حالی‌که اتوتروفي برای اتوتروف‌ها نوعی توانایی است. اما در هر صورت یک گیاه سبز را می‌توان در محیطی که واجد قند به عنوان منبع کربن است نیز کشت داد. بهتر است که هنگام بحث از اتوتروفي و هتروتروفي از روش زندگی اتوتروفي و هتروتروفي گفتگو شود. از طرفی این تعاریف خیلی هم دقیق نیستند. بسیاری از باکتری‌ها و تعداد زیادی از قارچ‌ها می‌توانند در محیط کشتی که فقط به آن گلوکز داده می‌شود، رشد کنند. سایر مواد غذایی لازم مواد کانی هستند که شامل نیترات برای نیتروژن و سولفات برای گوگرد و غیره‌اند. گلوکز غذای کربن‌دار را نیز تشکیل می‌دهد. اگر این روش تغذیه در مورد کربن هتروتروفي است، در مورد نیتروژن و گوگرد از نوع اتوتروفي است.

1. Chemotrophs
2. Chemolithotrophs
3. Chemoorganotrophs
4. heterotroph

اوگلنا^۱، جلبک تک‌یاخته‌ای مرداب‌ها که دارای کلروفیل است، با انجام فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن را جذب و همانندسازی می‌کند ولی نمی‌تواند در محیطی که منحصرأً کانی است زندگی کند و به چند ماده آلی نیاز دارد که عبارتند از ویتامین B_۱ (تيازول^۲ و پیریمیدین^۳). اگرچه به نظر می‌رسد که این جلبک‌ها توانایی اتوتروفي چند ماده لازم برای زندگی را داشته باشند ولی امکان سنتز چند ماده لازم برای رشد را ندارند و این کمبود آن‌ها را به زندگی هتروتروفي نزدیک می‌سازد. بیشتر موجودات زنده توانایی ساختن مواد لازم برای رشد خود را دارند، مانند گیاهان کلروفیل‌دار اتوتروف و بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌ها. کافی است که ماده کرین‌دار نسبتاً ساده‌ای مانند گلوکز یا اسید آلی در اختیار داشته باشند. این موجودات را با اتوتروف‌ها به نام پروتوتروف^۴ (proto به معنای اولین) می‌نامند. برعکس، موجودات زنده‌ای مانند اوگلنا را که قادر به سنتز یک یا چند ماده متابولیت اصلی نیستند به نام اُگزوتروف^۵ (auxo به معنای رشد کردن) می‌نامند. برای این‌که نوع تغذیه بهتر مشخص شود، می‌توان به‌طور دقیق مثلاً تعیین کرد که موجود زنده به کدام ویتامین اُگزوتروف است.

در مقابل، بین اتوتروف و هتروتروف می‌توان پروتوتروف و اُگزوتروف را نیز اضافه کرد. پروتوتروف‌ها می‌توانند اتوتروف یا هتروتروف باشند. جدول ۱ انواع تغذیه را مشخص می‌کند.

جدول ۱- انواع مختلف تغذیه

		غذاها			
		الی		کانی	
					عوامل رشدی ضروری
		هتروتروف		پروتوتروف	اگزوتروف
		اتوتروف			
منبع انرژی	نور	فتولیتوتروف گیاهان و باکتری های کلروفیل دار مانند کروما سیوم	فتوآرگانوتروف چندباکتری کلروفیل دار مانند رودومیکروبیوم (Rhodomicrobium)	فتوآرگانوتروف چند گیاه و باکتری کلروفیل دار مانند رودوسپریلوم	
	مواد شیمیایی	شیمیولیتوتروف باکتری هایی که شیمیوسنتز انجام می دهند مانند ازتوباکتر	شیمیوآرگانوتروف بسیاری از قارچ ها و باکتری ها مانند اشریشیاکولی (Escherichia coli)	شیمیوآرگانوتروف جانوران و بسیاری از قارچ ها و باکتری ها	

1. Euglena
2. thiazol
3. Pyrimidine
4. Prototroph
5. auxotroph