فهرست مطالب

مقدمه

فصل اول ـ مقدمه‌ای بر گیاه‌شناسی ۱

تکامل گیاهان ۲

تکامل جوامع ۹

ظهور انسان ۱۲

بخش اول زیست‌شناسی سلول گیاهی ۱۹

فصل دوم ـ ترکیب مولکولی سلول‌های گیاهی ۲۰

مولکول‌های آلی ۲۰

کربوهیدرات‌ها ۲۲

لیپیدها ۲۵

پروتئین‌ها ۲۸

اسیدهای نوکلئیک ۳٤

متابولیت‌های ثانویه ۳۵

فصل سوم ـ سلول گیاهی و چرخه سلولی ۴۵

پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها ۴۷

سلول گیاهی: بررسی اجمالی ۴۹

هسته ۴۹

کلروپلاست‌ها و سایر پلاستیدها ۵۲

میتوکندری‌ها ۵۶

پراکسی‌زوم‌ها ۵۷

واکوئل‌ها ۵۸

شبکه آندوپلاسمی ۵۹

دستگاه گلژی ۶۱

اسکلت سلولی ۶۳

تاژک‌ها و مژک‌ها ۶۴

دیواره سلولی ۶۵

چرخه سلولی ۷۲

اینترفاز ۷۴

میتوز و سیتوکینز ۷۵

فصل چهارم ـ عبور و مرور مواد در سلول‌ها ۸۷

اصول حرکت آب ۸۸

سلول‌ها و فرآیند انتشار ۹۱

اسمز و موجودات زنده ۹۲

ساختار غشاهای سلولی ۹۵

انتقال مواد محلول از عرض غشاء ۹۶

انتقال وزیکولی ۹۹

ارتباطات سلول ـ سلول ۱۰۱

بخش دوم انرژتیک ۱۰۹

فصل پنجم ـ جریان انرژی ۱۱۰

قوانین ترمودینامیک ۱۱۱

اکسیداسیون ـ احیاء ۱۱۵

آنزیم‌ها ۱۱۷

کوفاکتورها در عملکرد آنزیمی ۱۱۸

مسیرهای متابولیک ۱۲۰

تنظیم عملکرد آنزیم ۱۲۰

فاکتور انرژی: ATP ۱۲۲

فصل ششم ـ تنفس ۱۲۷

مروری بر اکسیداسیون گلوکز ۱۲۷
گلیکولیز ۱۲۸
مسیر هوازی ۱۳۱
سایر سوبستراهای تنفس ۱۳۹
مسیرهای بی‌هوازی ۱۳۹
راهکار متابولیسم انرژی ۱۴۰

فصل هفتم ـ فتوسنتز، نور و حیات ۱۴۵

فتوسنتز: دیدگاهی تاریخی ۱۴۵
ماهیت نور ۱۴۸
نقش رنگیزه‌ها ۱۵۰
واکنش‌های فتوسنتز ۱۵۳
واکنش‌های تثبیت کربن ۱۶۰

بخش سوم ژنتیک و تکامل ۱۷۷

فصل هشتم ـ تولید مثل جنسی و وراثت ۱۷۸

تولید مثل جنسی ۱۷۹
کروموزوم یوکاریوتی ۱۸۰
فرآیند میوز ۱۸۱
نحوه توارث صفات ۱۸۶
دو اصل مندل ۱۸۹
پیوستگی ۱۹۱
جهش‌ها ۱۹۱
بسط مفهوم ژن ۱۹۴
تولید مثل غیرجنسی: استراتژی جایگزین ۱۹۹
مزایا و معایب تولید مثل غیرجنسی و جنسی ۱۹۹

فصل نهم ـ شیمی وراثت و بیان ژن ۲۰۵

ساختار DNA ۲۰۵
همانندسازی DNA ۲۰۷
از DNA تا پروتئین: نقش RNA ۲۱۱
کد ژنتیکی ۲۱۲
سنتز پروتئین ۲۱۳
تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها ۲۱۷
DNA کروموزوم یوکاریوتی ۲۲۰
رونویسی و فرآوری mRNA در یوکاریوت‌ها ۲۲۲
مولکول‌های RNA غیر کد کننده و تنظیم ژن ۲۲۴

فصل دهم ـ تکنولوژی DNA نوترکیب، بیوتکنولوژی گیاهی و ژنومیکس ۲۲۷

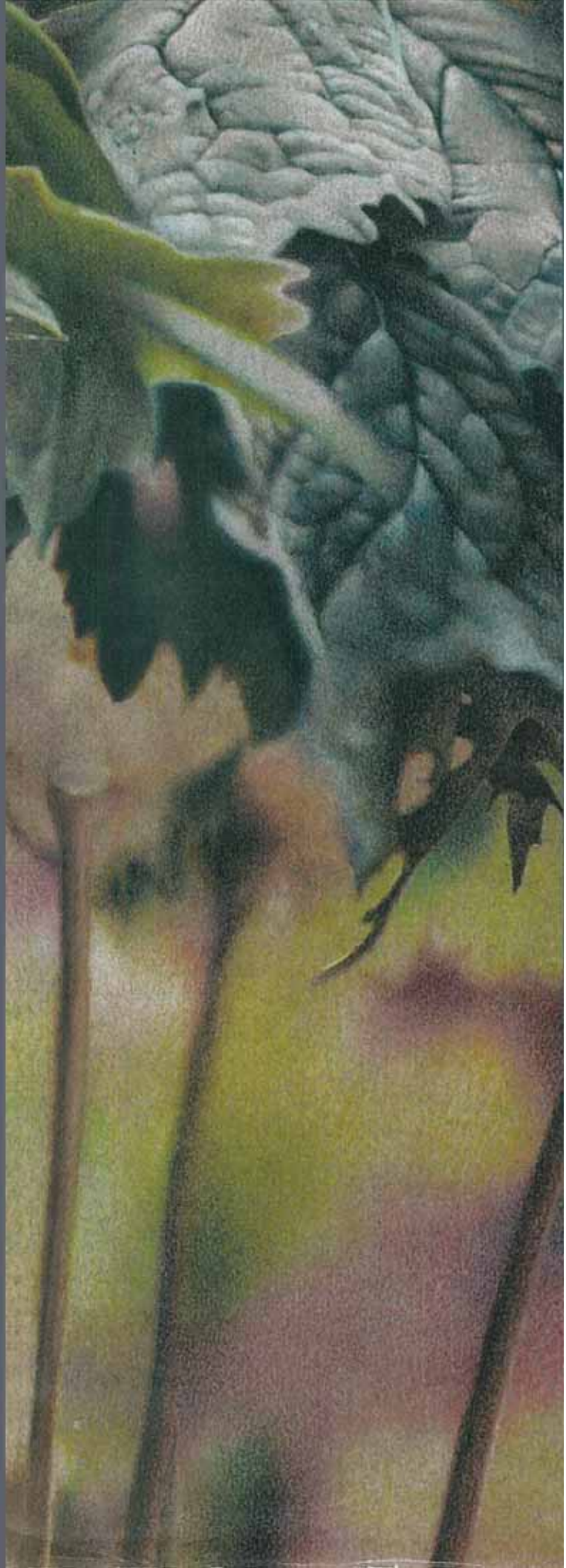
تکنولوژی DNA نوترکیب ۲۲۷
بیوتکنولوژی گیاهی ۲۳۴
ژنومیکس ۲۴۴

فصل یازدهم ـ فرآیند تکامل ۲۴۹

تئوری داروین ۲۴۹
مفهوم خزانه ژنی ۲۵۱
رفتار ژن‌ها در جمعیت‌ها: ۲۵۲
قانون Hardy-Weinberg ۲۵۲
عوامل تغییر ۲۵۳
پاسخ به انتخاب ۲۵۶
نتایج انتخاب طبیعی: سازگاری ۲۵۸
منشأ گونه‌ها ۲۶۲
گونه‌زایی چگونه رخ می‌دهد؟ ۲۶۳
منشأ گروه‌های اصلی موجودات ۲۷۲

مقدمه

(*Podophyllum peltatum*) که در جنگل‌های باز و مراتع ایالات متحده و کانادا رشد می‌کند، در اوایل ماه می به گل می‌نشیند. گیاه با کمک نور خورشید، سریعاً تولید ساقه و برگ و گل می‌کند. میوه‌های گیاه به هنگام رسیدگی، متمایل به زرد بوده و سته است. میوه گیاه، خوراکی بوده و به عنوان کنسرو و نوشیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، برگ‌ها و ریشه‌های گیاه سمی هستند.



فصل ۱

مقدمه‌ای بر گیاه شناسی

تغییر زیستگاه گرچه گیاهان اصولاً به حیات بر روی خشکی، سازگاری حاصل کرده‌اند، ولی برخی از آنها، همچون این گونه از نیلوفر آبی (*Nymphaea fabiola*) به رویشگاه‌های آبی برگشته است. شواهدی که نشان می‌دهد اجداد این گیاه در خشکی حضور داشته‌اند، شامل یک لایه خارجی واکسی مقاوم در برابر آب یا کوتیکول، روزنه‌هایی است که تبادلات گازی از طریق آنها انجام می‌گیرد. همچنین این گیاهان دارای یک سیستم ترابری داخلی توسعه یافته هستند.

رئوس مطالب

- تکامل گیاهان
- تکامل جوامع
- ظهور انسان

"آنچه موجب حیات در روی کره زمین می‌شود، وقوع جریان کوچکی است که به واسطه تابش آفتاب انجام می‌شود". این بخشی از نوشته Albert Szent- Gyorgyi برنده جایزه نوبل است. با بیان این جمله ساده، وی یکی از بزرگ‌ترین شگفتی‌های تکامل، یعنی فتوسنتز را معرّفی نموده است. طی فرآیند فتوسنتز، انرژی نورانی خورشید به دام افتاده و منجر به تولید قندها می‌شود که تمامی اشکال حیات بر روی کره زمین که شامل انسان نیز می‌شود، به این ترکیبات وابسته هستند. همچنین طی این فرآیند، اکسیژن به عنوان ترکیب ضروری جهت بقای حیات، به عنوان یکی از فرآورده‌های جانبی تولید می‌شود. "جریان کوچک" هنگامی آغاز می‌گردد که نور با برخورد به یک مولکول کلروفیل منجر به انتقال یکی از الکترون‌های موجود در کلروفیل به تراز بالاتری از انرژی می‌شود. این الکترون "برانگیخته"، به نوبه خود، با آغاز جریانی از الکترون‌ها نهایتاً منجر به تبدیل انرژی نورانی خورشید به انرژی شیمیایی موجود در مولکول‌های قندی می‌شود. به عنوان مثال، برخورد نور به برگ‌های نیلوفر آبی که در تصویر بالا نمایش داده شده است، اوّلین مرحله در تولید مولکول‌هایی است که منجر به تشکیل گل، دانه‌های گرده، همچنین برگ‌ها و ساقه و تمامی اجزای مولکولی دخیل در رشد و تکوین می‌شوند.

تنها انواع محدودی از موجودات زنده (گیاهان، جلبک‌ها و برخی باکتری‌ها) دارای کلروفیل هستند که جهت انجام فتوسنتز، ضروری است. با به دام افتادن انرژی نورانی به شکل شیمیایی، این نوع انرژی به صورت منبع انرژی قابل بهره برداری توسط تمامی انواع موجودات زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. انسان وابستگی کاملی به فتوسنتز دارد، فرآیندی که گیاهان سازگاری ظریفی جهت انجام آن کسب نموده‌اند.

واژه گیاه‌شناسی یا "Botany" از کلمه یونانی *botane* به معنای "گیاه" و فعل *boskein* به معنای "تغذیه کردن" گرفته شده است. گیاهان تنها به عنوان منبع غذایی مطرح نبوده و بسیاری از نیازهای انسان را تأمین می‌نمایند. به عنوان مثال، گیاهان در تأمین الیاف مورد نیاز جهت تولید پوشاک؛ چوب مورد نیاز در تولید مبلمان، پناهگاه یا سوخت؛ کاغذ (مثل صفحات کاغذی که در حال مطالعه این مطالب هستید)؛ تأمین ادویه‌جات، دارو و همچنین اکسیژن مورد نیاز جهت تنفّس دخیل هستند. انسان وابستگی کاملی به گیاهان دارد. همچنین گیاهان نقش بسزایی در احساسات انسان داشته و باغ‌ها، پارک‌ها و پوشش‌های طبیعی تأثیر بسزایی در روحیات انسان‌ها ایفاء می‌نمایند. مطالعه گیاهان منجر به افزایش قابل توجّهی در علم ما نسبت به تمام اشکال حیات شده و یقیناً در آینده نیز نتایج بیشتری به دست خواهد آمد. همچنین با پیشرفت تکنیک‌های مهندسی ژنتیک و سایر ابزارهای تکنولوژیکی جدید، وارد مهیج‌ترین دوره در تاریخ گیاه‌شناسی شده‌ایم، به طوری که با بهره‌گیری از این ابزارها، می‌توان گیاهان را طوری تغییر شکل داد که به عنوان مثال، در برابر بیماری پایدار شده، آفات گیاهی را از بین برده، تولید واکسن نموده، مواد پلاستیکی زیستی قابل تجزیه تولید کرده، مقاوم به

خاک‌های با شوری بالا بوده، مقاومت بالایی در برابر یخزدگی داشته و منجر به تولید مقادیر بالایی از ویتامین‌ها و مواد معدنی در گیاهانی همچون ذرّت و برنج شوند.

انتظار می‌رود که با مطالعه این فصل بتوانید به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱- چرا زیست‌شناسان بر این باورند که تمامی جانداران موجود در کره زمین دارای جدّی مشترک هستند؟

۲- تفاوت اصلی بین موجودات هتروتروف و اتوتروف چیست؟ هر یک از این موجودات چه نقشی در مراحل اولیه کره زمین ایفا نموده‌اند؟

۳- فتوسنتز چه اهمیتی طی تکامل داشته است؟

۴- برخی چالش‌های پیش روی گیاهان طی انتقال از محیط آبی به محیط خشکی چیست؟ برخی ساختارهای ایجاد شده در گیاهان جهت رفع این مشکلات را نام ببرید.

۵- بیوم چیست؟ گیاهان در یک اکوسیستم، چه وظایف اصلی بر عهده دارند؟

تکامل گیاهان

حیات در مراحل اولیه تاریخ زمین‌شناسی زمین آغاز شده است

گیاهان مشابه سایر موجودات زنده، طی مدت زمان طولانی **دستخوش تکامل شده (Evolved)** و تغییرات متعددی را متحمّل شده‌اند. سیاره زمین (توده‌ای از غبار و گاز که در روی محوری به حول ستاره خورشید می‌چرخید)، عمری در حدود ۴/۶ میلیارد سال دارد (شکل ۱-۱). اعتقاد بر این است که زمین متحمل بمباران‌های شهاب سنگی مرگباری شده که تا حدود ۳/۸ تا ۳/۹ میلیارد سال پیش ادامه داشته است. برخورد این قطعات بزرگ به سیاره زمین، به حفظ گرمای آن کمک می‌کرد. با آغاز خنک شدن زمین مذاب، طوفان‌هایی سهمگین به همراه صاعقه و آزادسازی انرژی الکتریکی رخ داده و همچنین آتش‌فشان‌های گسترده منجر به فوران مواد مذاب به درون آب و جوشیدن آب می‌شد.

قدیمی‌ترین فسیل‌های شناخته شده مربوط به حدود ۳/۵ میلیارد سال پیش است که در صخره‌های مناطق غربی استرالیا یافت شده است (شکل ۱-۲). این ریزفسیل‌ها متشکل از انواع مختلفی از میکروارگانیسم‌های رشته‌ای نسبتاً ساده شبیه به باکتری‌ها هستند. **استروماتولیت‌های (Stromatolites)** باستانی نیز عمری تقریباً برابر با این ریزفسیل‌ها دارند. این توده‌های میکروبی فسیل شده متشکل از لایه‌های حاوی میکروارگانیسم‌های رشته‌ای و سایر میکروارگانیسم‌ها به همراه رسوبات به دام افتاده در بین آنها هستند. استروماتولیت‌های امروزی نیز در برخی نواحی،

شکل ۱-۱ حیات بر روی کره زمین. بر اساس اطلاعات موجود، از بین ۹ سیاره موجود در منظومه شمسی، تنها بر روی زمین، حیات وجود دارد. این سیاره، به طور مشخصی با سایر سیارات تفاوت دارد. از فاصله دور، زمین به صورت آبی و سبز مشاهده شده و به مقدار کمی درخشان است. رنگ آبی، به خاطر وجود آب، رنگ سبز به خاطر کلروفیل و رنگ درخشان ناشی از انعکاس نور خورشید از طریق لایه گازی احاطه کننده سطح این سیاره است. حداقل تا جایی که ما اطلاع داریم، حیات وابسته به این خصوصیات نمایان زمین است.

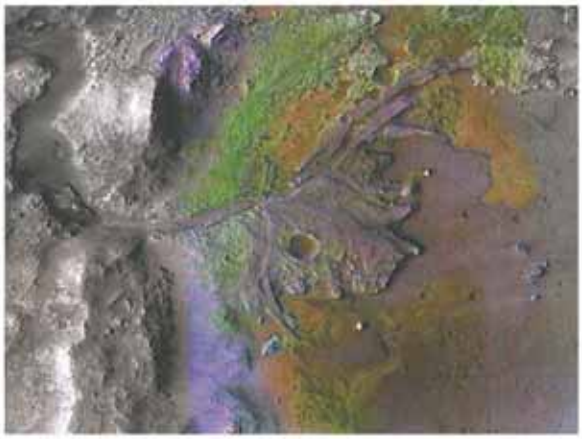
همچون نواحی اقیانوسی کم عمق و گرم موجود در سواحل استرالیا و باهاما تشکیل می‌شوند (فصل ۱۳ ملاحظه گردد). با مقایسه استروماتولیت‌های باستانی با استروماتولیت‌های امروزی که توسط سیانوباکتری‌ها (باکتری‌های رشته‌ای فتوسنتز کننده)

شکل ۱-۲ قدیمی‌ترین فسیل‌های شناخته شده. این فسیل‌های پروکاریوتی قدیمی یافت شده در صخره سنگ‌های موجود در شمال غرب استرالیای غربی قدمتی در حدود ۳/۵ میلیارد سال دارند. گرچه این فسیل‌ها حدوداً یک میلیارد سال جوان‌تر از کره زمین هستند، ولی صخره سنگ‌های محدودی وجود دارند که شواهد قدیمی‌تری از حیات را ثبت کرده باشند. موجودات پیچیده‌تر (موجودات دارای سازماندهی یوکاریوتی) تا ۲/۱ میلیارد سال پیش تکامل پیدا نکرده بودند. بنابراین، تا حدود ۱/۵ میلیارد سال، پروکاریوت‌ها تنها اشکال حیات موجود در روی کره زمین به حساب می‌آمدند. این به اصطلاح ریزفسیل‌ها، با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر نشان داده شده‌اند.

تشکیل می‌شوند، محققین چنین استنباط می‌نمایند که استروماتولیت‌های باستانی نیز توسط باکتری‌های رشته‌ای مشابهی ایجاد شده‌اند.

یک مسأله این است که آیا حیات در خود کره زمین ایجاد شده و یا از طریق فضا و به وسیله اسپورها (سلول‌های زایشی مقاوم) و یا ابزارهای دیگری به روی زمین منتقل شده است؟ به عنوان مثال، ممکن است حیات در روی کره مرّیخ تشکیل شده باشد، سیاره‌ای که تاریخ اولیه موازی با زمین داشته است. شواهد محکم در این ارتباط، اولین بار توسط کاوشگر Opportunity در سال ۲۰۰۴ به دست آمد که با کشف آثاری از آب در این سیاره، زمانی احتمال حیات در این کره را افزایش داد (شکل ۱-۳). در سال ۲۰۰۸، کاوشگر مریخ Phoenix مقادیر زیادی آب یخ را در نزدیکی سطح خاک مریخ کشف نمود. به علاوه، با استفاده از امکانات این کاوشگر، چرخه روزانه آب ثبت شد: هنگام صبح، بخار آب ناشی از آب یخ موجود در بخش‌های تقریباً سطحی مریخ و همچنین آب متصل به ذرّات خاک، به اتمسفر مریخ رها شده و هنگام شب، متراکم شده و به واسطه نیروی جاذبه به سمت سطح مریخ سقوط می‌کند. گرچه بخش عمده کریستال‌های یخ به هنگام سقوط از لایه مرزی اتمسفر مریخ، تبخیر می‌شوند، ولی در سطح مریخ، بارش برف مشاهده شده است.

هیچ نوع مولکول آلی یا اثری از فعالیت زیستی در زمان حال یا گذشته توسط این کاوشگر یافت نشد. با این حال، با توجه به ورود دائمی انواع خاصی از سنگ‌های آسمانی محتوی مقادیر قابل توجه مواد آلی، ممکن است انتظار رود که مولکول‌های آلی در خاک مریخ حضور داشته باشند. سنگ‌های آسمانی که به سمت



شکل ۱-۳ حیات بر روی مریخ؟ این تصویر تقویت شده نشانگر بخشی از حفره Jezero است که حفره‌ای به عرض ۲۵ مایل واقع در شمال مریخ می‌باشد که زمانی به صورت یک دریاچه بوده است. مواد معدنی رس مانند (که به رنگ سبز نمایش داده شده است)، توسط رودخانه‌های قدیمی به دریاچه منتقل شده و تشکیل دلتا داده بودند. به دلیل توانایی ذرّات رس جهت به دام انداختن و حفظ مواد آلی، دلتاها و بستر دریاچه‌ها، مناطقی امیدبخش برای کشف علائم حیات باستانی بر روی مریخ به شمار می‌آیند.

زمین سقوط کرده‌اند، محتوی اسیدهای آمینه و مولکول‌های آلی کربنی همچون فرمالدهید هستند. با این حال، ما فرض خود را با محوریت شروع حیات از روی کره زمین ادامه خواهیم داد.

در سال ۲۰۱۱، ماهواره Mars Reconnaissance Orbiter سازمان ناسا شواهدی را مبنی بر وجود آب مایع در حال جریان از شیب‌ها و دیواره حفرات طی ماه گرم در کره مریخ یافت. چنین تصوّر می‌شود که این مایع، شدیداً محتوی املاح بوده و به واسطهٔ استقرار در زیر لایه سطحی، از انجماد ناشی از دمای پایین حاکم بر مریخ و همچنین تبخیر ناشی از حضور فشار هوای پایین موجود در این کره در امان مانده است. این یافته‌ها احتمال کشف حیات در کره مریخ را افزایش می‌دهد.

به احتمال خیلی زیاد، سلول‌های اولیه، در نتیجه تجمّعات ساده مولکولی ایجاد شده‌اند

بر اساس تئوری‌های امروزی، مولکول‌های آلی به واسطه اثرات ناشی از صاعقه، باران و انرژی نورانی بر روی گازهای محیطی و یا به واسطه شکاف‌های آتش‌فشانی ایجاد شده و در اعماق اقیانوس‌ها انباشته شده‌اند. برخی از این مولکول‌های آلی، تمایل به تجمّع در کنار هم داشته و تشکیل قطراتی شبیه قطرات چربی موجود در آب را می‌دادند. به نظر می‌آید که این تجمّعات مولکول‌های آلی، طلایه‌دار ایجاد سلول‌های قدیمی به عنوان اولین اشکال حیات باشند. Sidney W. Fox و همکارانش در دانشگاه میامی پروتئین‌هایی تولید کردند که با گردهمایی در کنار همدیگر، منجر به تشکیل اجسام سلول مانند در داخل آب شدند. این اجسام موسوم به "گویچه‌های شبه پروتئینی" (Proteinoid Microspheres)، به واسطه انباشت مواد شبه پروتئینی دیگر، به آهستگی رشد نموده و نهایتاً با ایجاد جوانه‌هایی باعث تشکیل گویچه‌های کوچک‌تر دیگری شدند. گرچه وی این موضوع را مرتبط با نوعی تولید مثل دانست، ولی موضوع این است که این گویچه‌ها، سلول‌های زنده نیستند. برخی محققین بر این باورند که ذرّات رس و یا حتّی حباب‌ها به واسطه گردآوری مواد شیمیایی و تغلیظ آنها جهت سنتز مولکول‌های پیچیده‌تر، نقش بسزایی در ایجاد حیات داشته‌اند.

بر اساس تئوری‌های موجود، این مولکول‌های آلی همچنین ممکن است به عنوان منبع انرژی برای اشکال اولیه حیات ایفای نقش کرده باشند. سلول‌های قدیمی یا ساختارهای شبه سلولی، توانایی استفاده از این ترکیبات فراوان را به منظور تأمین انرژی مورد نیاز خود داشته‌اند. با افزایش تکامل و همچنین پیچیدگی ساختار، این سلول‌ها توانایی کنترلی بیشتری را کسب کردند. با افزایش پیچیدگی، این سلول‌ها، *توانایی رشد*، *تولید مثل* و *انتقال*

ویژگی‌های خود به *نسل‌های بعدی (وراثت)* را کسب نمودند. این ویژگی‌ها به همراه *سازماندهی سلولی*، مشخصات متمایز کننده تمامی موجودات زنده روی کره زمین به شمار می‌آیند.

امروزه تقریباً تمامی موجودات زنده، شامل قارچ‌ها، گیاهان و جانوران از یک کد ژنتیکی یکسان جهت ترجمه DNA به پروتئین بهره می‌برند (فصل ۹ ملاحظه گردد). بنابراین کاملاً واضح به نظر می‌رسد که حیاتی که ما می‌شناسیم، تنها یک بار در روی کره زمین پدیدار شده و تمام موجودات زنده دارای یک جدّ مشترک هستند و آن یک میکروب دارای ساختار مبتنی بر DNA بوده که بیش از ۳/۵ میلیارد سال پیش زندگی می‌کرده است. چارلز داروین در اواخر کتاب *منشأ گونه‌ها* این چنین می‌نویسد: "احتمالاً تمام موجودات زنده‌ای که تاکنون بر روی زمین زندگی کرده‌اند، از یک شکل ابتدایی ایجاد شده‌اند که اولین بار بر روی زمین ظاهر شده و حیات را آغاز نموده است".

موجودات اتوتروف، مواد غذایی مورد نیاز خود را تولید می‌نمایند، ولی موجودات هتروتروف باید مواد غذایی مورد نیاز خود را از منابع خارجی کسب نمایند

سلول‌هایی که نیازهای انرژی خود را با مصرف ترکیبات آلی تولید شده توسط منابع خارجی تأمین می‌کنند، موسوم به موجودات **هتروتروف** (**Heterotrophs**) هستند (از کلمات یونانی *Heteros* به معنای "دیگری" و *Trophos* به معنای "تغذیه کننده"). یک موجود هتروتروف برای تأمین انرژی مورد نیاز خود به منبع خارجی از ترکیبات آلی وابسته است. جانوران، قارچ‌ها (شکل ۱-۴) و بسیاری از موجودات تک سلولی، همچون برخی باکتری‌ها و آغازیان، جزو هتروتروف‌ها به شمار می‌آیند.

با افزایش تعداد موجودات هتروتروف باستانی، میزان استفاده از مولکول‌های پیچیده جهت تأمین انرژی نیز افزایش یافت، مولکول‌هایی که طی میلیون‌ها سال در زمین انباشته شده بودند. با کاهش پیوسته مولکول‌های آلی موجود در محلول آزاد (یعنی در داخل سلول نیست)، رقابت نیز آغاز شد. با اعمال فشار ناشی از رقابت، سلول‌های دارای توانایی بیشتر جهت استفاده از منابع محدود انرژی، شانس بیشتری برای بقا داشتند. طی یک دوره زمانی و به واسطه فرآیند طولانی و آهسته حذف سلول‌های دارای کمترین سازگاری، سلول‌هایی تکامل پیدا کردند که قادر به تولید انرژی از طریق مواد غیرآلی ساده بودند. چنین موجوداتی موسوم به موجودات **اتوتروف** (خود تغذیه کنندگان) هستند. بدون تکامل این گروه از موجودات، حیات در روی زمین به زودی به اتمام می‌رسید.

موفق‌ترین گروه موجودات اتوتروف، موجوداتی بودند که

شکل ۱-۴ یک موجود هتروتروف امروزی. این قارچ دارای کلاهک نارنجی (*Leccinum* sp.) موسوم به قارچ صنوبر، در حال رشد در کف یک جنگل در کلورادو مشاهده می‌شود. این قارچ، مشابه سایر قارچ‌ها، مواد غذایی مورد نیاز خود را از طریق جذب، تأمین می‌نماید (غالباً از سایر موجودات زنده).

سیستمی جهت بهره‌برداری مستقیم از انرژی خورشید تعبیه کرده و فرآیند فتوسنتز را انجام می‌دادند (شکل ۱-۵). موجودات فتوسنتز کننده اوّلیه، گرچه در مقایسه با گیاهان، دارای ساختاری ساده بودند، ولی در مقایسه با هتروتروف‌های اوّلیه ساختاری به مراتب پیچیده‌تر داشتند. استفاده از انرژی خورشید، نیازمند سیستم رنگیزه‌ای پیچیده‌ای جهت به دام انداختن انرژی نورانی و همچنین وجود راهکاری برای ذخیره انرژی در یک مولکول آلی بود.

شواهدی دالّ بر فعالیت‌های موجودات فتوسنتز کننده در صخره‌های مربوط به ۳/۴ میلیارد سال پیش، یعنی در حدود ۱۰۰ میلیون سال پس از اولین شواهد فسیلی حاکی از وجود حیات در روی کره زمین به دست آمده است. البته ما تقریباً مطمئن هستیم که هم حیات و هم موجودات فتوسنتز کننده در زمان‌های قدیمی‌تری از آنچه شواهد پیشنهاد می‌کنند، ایجاد شده‌اند. به علاوه، به نظر می‌رسد که هیچ شکّی وجود ندارد که هتروتروف‌ها قبل از اتوتروف‌ها تکامل پیدا کرده‌اند. با ظهور موجودات اتوتروف،

شکل ۱- ۵ موجودات اتوتروف فتوسنتز کننده. گونه‌ای تریلیوم دارای گل‌های درشت (*Trillium grandiflorum*) که یکی از اولین گیاهانی است که در بهار در کف جنگل‌های خزان کننده مناطق شرقی و نیمه غربی آمریکای شمالی، به گل می‌نشیند. این تصویر نشانگر این گیاه در کف جنگلی از درختان غان است. تریلیوم و غان، مشابه اکثر گیاهان آوندی، به وسیله ریشه در خاک مستقر بوده و بخش عمده فتوسنتز در برگ‌های آنها انجام می‌گیرد. تریلیوم قبل از ایجاد برگ‌های درختان پیرامونی و در شرایطی که مقادیر قابل توجهی نور در اختیار دارد، به گلدهی می‌نشیند. بخش‌های زیرزمینی گیاه (ریزوم‌ها) مدت زمانی طولانی بقا داشته و از طریق گسترش خود در زیر پوشش ضخیم مواد در حال فرسایش موجود در کف جنگل، منجر به تکثیر رویشی گیاه در کف جنگل می‌شوند. این گیاه همچنین با تولید بذر نیز مبادرت به تولید مثل نموده که این بذرها توسط مورچه‌ها جابجا می‌شوند.

جریان انرژی در **بیوسفر (Biosphere)** (یعنی جهان زنده و محیط پیرامونی آن) به شکل امروزی آن تبدیل شد: انرژی نورانی خورشید از کانال موجودات اتوتروف فتوسنتز کننده به تمامی اشکال حیات منتقل شد.

فتوسنتز، اتمسفر زمین را تغییر داده و این تغییر به نوبه خود بر تکامل حیات تأثیر گذاشت

با افزایش تعداد موجودات فتوسنتز کننده، سیمای زمین دچار دگرگونی شد. این انقلاب زیستی به این دلیل ایجاد شد که فتوسنتز اصولاً مستلزم شکافت مولکول آب (H_2O) و رهاسازی اکسیژن آن به صورت مولکول‌های آزاد اکسیژن (O_2) است. بیش از ۲/۲ میلیارد سال پیش، اکسیژن به درون اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها آزاد شده و به واسطه واکنش با آهن محلول، منجر به رسوب اکسیدهای آهن شد (شکل ۱-۶). حدود ۲/۷ تا ۲/۲ میلیارد سال پیش، اکسیژن به تدریج شروع به انباشته شدن در اتمسفر نمود. تا حدود ۷۰۰ میلیون سال پیش، میزان اکسیژن موجود در اتمسفر به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد و طی دوره کامبرین (۵۷۰ تا ۵۱۰ میلیون سال پیش) میزان آن به مقادیر امروزی رسید.

این افزایش میزان اکسیژن، دو نتیجه مهم به دنبال داشت: اول اینکه برخی مولکول‌های اکسیژن موجود در لایه خارجی اتمسفر تبدیل به مولکول‌های اوزون (O_3) شدند. وقتی که میزان اوزون موجود در اتمسفر به یک حدّ مناسب رسید، اشعه‌های ماورای بنفش (اشعه‌هایی به شدّت مخرّب برای موجودات زنده) موجود در نور خورشید که به سطح زمین می‌رسیدند، جذب شده و در نتیجه به سطح زمین نمی‌رسیدند. در حدود ۴۵۰ میلیون سال پیش، ظاهراً اوزون به حدّ مناسبی از موجودات زنده محافظت نمود، به طوری که موجودات زنده توانایی بقاء در لایه‌های سطحی آب و حتی نواحی ساحلی را کسب نموده و برای اوّلین بار، حیات بر روی خشکی پدیدار شد.

ثانیاً افزایش اکسیژن آزاد منجر به بهره‌برداری مناسب‌تر از مولکول‌های محتوی کربن غنی از انرژی تولید شده توسط فتوسنتز شد. این موضوع امکان تجزیه این مولکول‌ها توسط فرآیندی موسوم به **تنفّس (Respiration)** را فراهم نمود که طی آن، اکسیژن مصرف می‌شود. همان طور که در فصل ششم بحث

شکل ۱- ۶ لایه‌های مربوط به تشکیلات آهن. این نوارهای قرمز رنگ اکسید آهن (که با نام زنگ نیز شناخته می‌شوند) که قدمتی به اندازه ۲ میلیارد سال دارند، در Jasper Knob واقع در میشیگان یافت شده و شواهدی حاکی از انباشت اکسیژن هستند.

خواهد شد، تنفّس در مقایسه با فرآیند **بی‌هوازی (Anaerobic)** یا فاقد اکسیژن، انرژی به مراتب بیشتری تولید می‌نماید.

قبل از انباشت اکسیژن در اتمسفر و ایجاد شرایطی **هوازی (Aerobic)**، تنها سلول‌های موجود در کره زمین **پروکاریوت‌ها (Prokaryotes)** بودند، که سلول‌های ساده فاقد پوشش هسته‌ای و همچنین فاقد مواد ژنتیکی دارای سازماندهی به صورت کروموزوم‌های پیچیده بودند. به احتمال خیلی زیاد، اوّلین پروکاریوت‌ها موجودات گرمادوستی موسوم به "آرکی‌ها" (Archaea) (به معنای "موجودات باستانی") بوده‌اند که امروزه اشکالی از آنها به طور گسترده در دماهای بسیار بالا و محیط‌های اسیدی نامطلوب برای سایر اشکال حیات، زندگی می‌کنند. باکتری‌ها نیز جزو پروکاریوت‌ها به حساب می‌آیند. برخی از آرکی‌ها و باکتری‌ها هتروتروف و برخی دیگر، همچون سیانوباکتری‌ها، اتوتروف هستند.

بر اساس شواهد فسیلی، افزایش میزان اکسیژن نسبتاً فراوان، همراه با پیدایش اوّلیه سلول‌های **یوکاریوتی (Eukaryotic)** (سلول‌های دارای پوشش هسته‌ای، کروموزوم‌های پیچیده، و اندامک‌هایی همچون میتوکندری‌ها (جایگاه تنفّس) و کلروپلاست‌ها (جایگاه فتوسنتز) که توسّط غشا احاطه شده‌اند) بوده است. موجودات یوکاریوت که در مقایسه با موجودات پروکاریوت، دارای سلول‌های معمولاً به مراتب بزرگ‌تری هستند، در حدود ۲/۱ میلیارد سال پیش پدیدار شده و در حدود ۱/۲ میلیارد سال پیش به تنوّع بالایی رسیده و به خوبی در زمین مستقر شدند. به استثنای آرکی‌ها و باکتری‌ها، تمام موجودات زنده اعمّ از آمیب تا گل قاصدک تا درخت بلوط و یا انسان متشکّل از یک تا چندین میلیون سلول یوکاریوتی هستند.

محیط ساحلی در تکامل موجودات فتوسنتز کننده حائز اهمیت بود

در اوایل تاریخ تکاملی زمین، مهم‌ترین موجودات فتوسنتز کننده به صورت سلول‌های میکروسکوپی غوطه‌ور در زیر سطح آب‌های موجود در زیر نور آفتاب بوده‌اند. گرچه این موجودات ذخیره انرژی بالایی داشتند، ولی به هنگام تولید مثل و تکثیر، به سرعت منابع معدنی موجود در اقیانوس را مصرف نموده و باعث کاهش شدید آن می‌شدند (همین موضوع کمبود عناصر معدنی ضروری است که امروزه نیز به عنوان فاکتوری محدود کننده مانع از موفقیت هر گونه طرحی جهت بهره‌برداری از دریاها می‌شود). در نتیجه این محدودیت، حیات بیشتر به سمت سواحل گسترش پیدا کرد، مناطقی که غنی از نیترات‌ها و مواد معدنی حمل شده از نواحی کوهستانی توسط رودخانه‌ها و و سیلاب‌ها بودند که به دنبال وقوع امواج دائمی از سواحل زدوده می‌شدند.

نواحی ساحلی صخره‌ای در مقایسه با دریاهای آزاد، محیطی به مراتب پیچیده‌تر بوده و در پاسخ به این فشارهای محیطی حاکم، موجودات از لحاظ ساختاری و عملکردی پیچیده‌تر شدند. زمانی در حدود ۶۵۰ میلیون سال پیش، موجودات طوری تکامل پیدا کردند که طی آن، تعداد زیادی سلول به هم متصل شده و تشکیل پیکره‌ای یکپارچه و چند سلولی دادند. در این زمان، مراحل اوّلیه تکامل گیاهان، قارچ‌ها و جانوران آغاز شد. فسیل‌های موجودات چندسلولی در مقایسه با موجودات ساده‌تر با سهولت بسیار بیشتری یافت می‌شود. بر همین اساس، بررسی تاریخ تکامل حیات پس از پیدایش این موجودات، با سهولت بیشتری قابل ارزیابی است.

در سواحل متلاطم، موجودات فتوسنتزی چند سلولی، توانایی بیشتری برای حفظ موقعیت خود در برابر امواج داشته و در پاسخ به چالش نواحی ساحلی صخره‌ای، اشکال جدیدی از موجودات تکوین پیدا کردند. اصولاً این اشکال جدید، دیواره‌های سلولی محکم‌تری را جهت حمایت از سلول ایجاد نموده و به علاوه، ساختارهایی اختصاصی برای اتصال پیکره خود به سطوح صخره‌ای تولید نمودند (شکل ۱-۷). با افزایش ابعاد پیکره، موجودات زنده با مشکل تأمین مواد غذایی برای بخش‌هایی از پیکره خود مواجه شدند که به دلیل استقرار در بخش‌های عمیق‌تر و عدم دریافت نور خورشید قادر به انجام فتوسنتز نبودند. نهایتاً بافت‌های اختصاصی هدایت کننده مواد غذایی، تکامل پیدا کرده که در سرتاسر طول

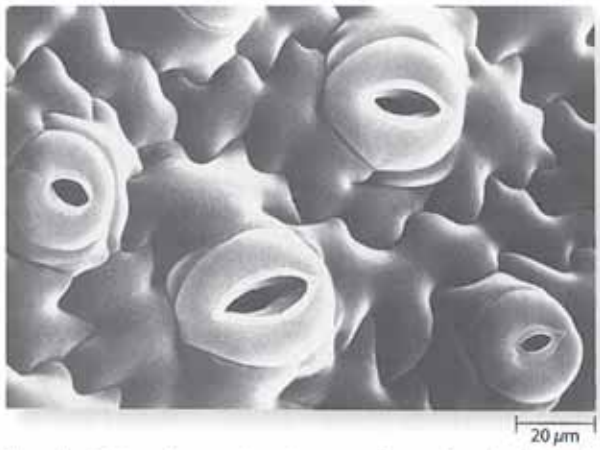
شکل ۱-۷ تکامل موجودات زنده چند سلولی. موجودات فتوسنتزی چند سلولی، در مراحل اولیه تکامل خود، به سواحل صخره‌ای متصل بودند. این کلپ‌ها (*Durvillaea potatorum*) که هنگام جزر و مد خفیف در روی صخره‌های موجود در حاشیه سواحل ویکتوریا و تاسمانیا واقع در استرالیا دیده می‌شوند، مربوط به جلبک‌های قهوه‌ای (رده Phaeophyceae) بوده که ایجاد حالت چند سلولی در این گروه، به طور مستقل از سایر گروه‌های موجودات زنده تکامل پیدا کرده است.

پیکره این موجودات گسترش یافته و باعث ارتباط بین بخش‌های فوقانی فتوسنتز کننده با ساختارهای تحتانی فاقد توانایی فتوسنتز شدند.

استقرار در خشکی، همراه با تکامل ساختارهایی جهت کسب آب و کاهش اتلاف آب بود

پیکره یک گیاه را می‌توان به خوبی با بررسی تاریخ تکامل طولانی آن و بخصوص با بررسی فشارهای تکاملی دخیل در گذار آن به خشکی درک کرد. یک موجود فتوسنتز کننده، نیازهای نسبتاً ساده‌ای دارد: نور، آب، دی‌اکسیدکربن جهت فتوسنتز، اکسیژن جهت تنفّس و برخی مواد معدنی. نور همانند اکسیژن و دی‌اکسیدکربن به وفور در خشکی یافت می‌شود، دو مولکولی که در هوا به نسبت آب، با آزادی بیشتری انتشار پیدا می‌کنند. خاک نیز عموماً غنی از مواد معدنی است. بر همین اساس، آب مهم‌ترین فاکتور جهت گذار به خشکی و از دیدگاه محققین،"به هوا"، است.

جانوران خشکی‌زی، توانایی حرکت داشته و قادر به جستجوی آب و مواد غذایی مورد نیاز خود هستند. قارچ‌ها علیرغم عدم توانایی حرکت، به طور وسیعی در زیر سطح خاک و یا در درون هر منبع آلی غذایی مرطوبی که از آن تغذیه می‌نمایند، باقی می‌مانند. گیاهان از استراتژی تکاملی متفاوتی بهره می‌برند. **ریشه‌ها (Roots)** باعث اتصال گیاه به زمین شده و آب مورد نیاز جهت حفظ پیکره گیاه و همچنین فتوسنتز را جمع‌آوری نموده، در حالی که **ساقه‌ها (Stems)** از اندام‌های فتوسنتز کننده یعنی **برگ‌ها (Leaves)** حمایت می‌کنند. جریانی پیوسته از آب از طریق ریشه و ساقه به سمت بالا در حرکت است که نهایتاً از طریق برگ‌ها از گیاه خارج می‌شود. بیرونی‌ترین لایه سلولی

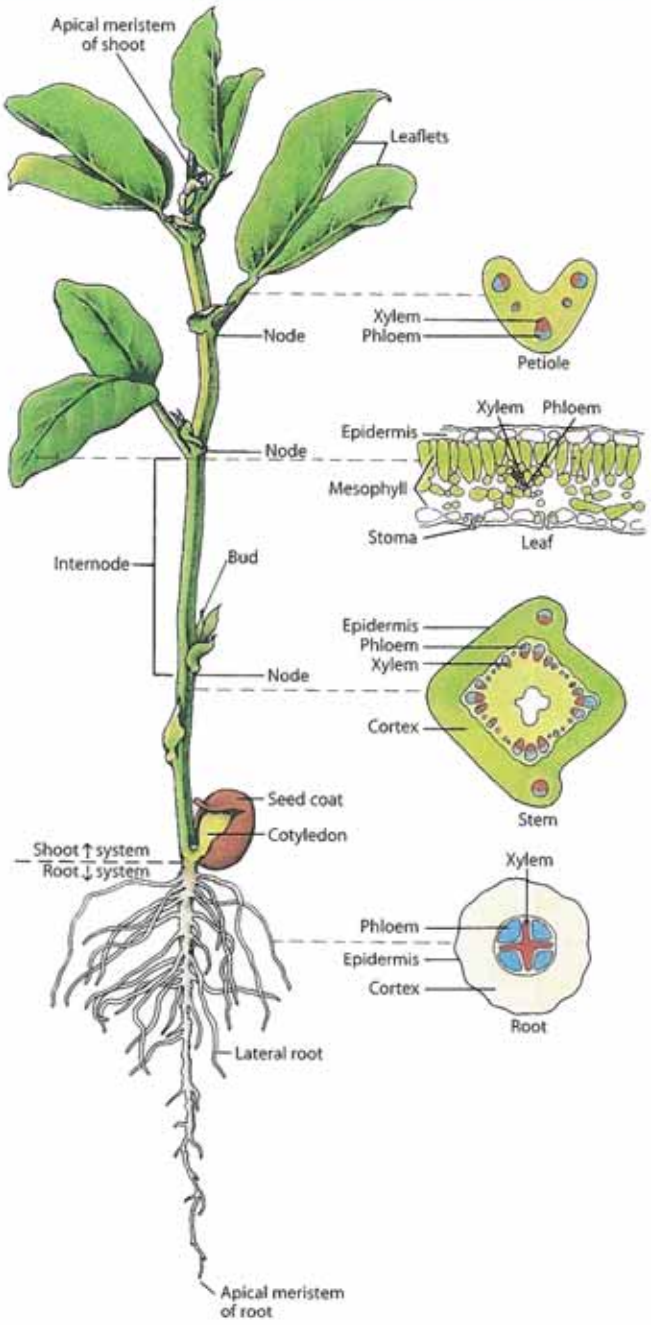


شکل ۱-۸ روزنه‌ها. روزنه‌های باز در سطح برگ گیاه تنباکو (*Nicotiana tabacum*). هر روزنه در بخش‌های فوقانی گیاه توسط دو سلول نگهبان، محافظت می‌شود.

موسوم به **اپیدرم (Epidermis)** توسط **کوتیکول (Cuticle)** واکسی پوشانده می‌شود که این لایه باعث کاهش اتلاف آب می‌شود. این لایه همچنین مانع از تبادل گازهای ضروری جهت انجام فتوسنتز و تنفّس بین گیاه و محیط پیرامونی می‌شود. راه حلّ این معضل، **روزنه‌ها (Stomata)** (مفرد: Stoma) هستند. هر روزنه متشکل از یک جفت سلول اپیدرمی اختصاصی (سلول‌های نگهبان) به همراه یک منفذ در بین آنها است. روزنه‌ها در پاسخ به سیگنال‌های محیطی و فیزیولوژیکی، باز و بسته شده و بدین ترتیب، به حفظ توازن بین اتلاف آب و نیازمندی‌های اکسیژن و دی‌اکسیدکربن کمک می‌کنند (شکل ۱-۸).

در گیاهان جوان و همچنین گیاهان یکساله **(Annuals)** که گیاهانی با دوره حیات یکساله هستند، ساقه نیز به عنوان اندام فتوسنتزکننده عمل می‌کند. در گیاهان دارای طول عمر بیشتر، موسوم به **گیاهان چندساله (Perennials)**، ساقه ممکن است ضخیم و چوبی شده و توسط **چوب پنبه (Cork)** پوشانده شود که این بخش همچون اپیدرم، مانع از اتلاف آب می‌شود. هم در گیاهان یکساله و هم در گیاهان چند ساله، **سیستم آوندی (Vascular System)** یا سیستم هدایتی ساقه باعث هدایت طیف متنوّعی از ترکیبات بین بخش‌های فتوسنتز کننده و غیرفتوسنتز کننده پیکره گیاه می‌شود. سیستم آوندی دارای دو جزء اصلی است: **آوند چوبی (Xylem)** که باعث انتقال آب به بخش‌های فوقانی گیاه شده و **آوند آبکشی (Phloem)** که باعث انتقال مواد سنتز شده در درون برگ‌ها و سایر بخش‌های فتوسنتز کننده گیاه به سراسر آن می‌شود. به واسطه وجود چنین سیستم هدایتی کارآمدی است که مهم‌ترین گروه گیاهان، موسوم به **گیاهان آوندی (Vascular Plants)** هستند (شکل ۱-۹).

گیاهان بر خلاف جانوران، در سرتاسر عمر، رشد خود را ادامه می‌دهند. تمام رشد گیاه ناشی از **مریستم‌ها (Meristems)** است. مریستم‌ها نواحی بافتی جنینی هستند که قادر به اضافه کردن نامحدود سلول‌ها به پیکره گیاه هستند. مریستم‌هایی که در رأس تمام ریشه‌ها و ساقه‌ها قرار دارند و موسوم به **مریستم‌های رأسی (Apical Meristems)** هستند، در توسعه پیکره گیاه دخالت دارند. بنابراین ریشه‌ها دائماً در مجاورت منابع جدیدی از آب و مواد معدنی قرار گرفته و نواحی فتوسنتز کننده نیز دائماً به سمت نور گسترش پیدا می‌کنند. نوع رشد ناشی از عملکرد مریستم‌های رأسی، موسوم به **رشد اوّلیه (Primary Growth)** است. از سویی دیگر، نوع رشدی که ناشی از ضخیم شدگی ساقه‌ها و ریشه‌ها بوده، موسوم به **رشد ثانویه (Secondary Growth)** بوده و به واسطه فعالیت دو **مریستم جانبی (Lateral Meristems)** یعنی



شکل ۱- ۹ یک گیاه آوندی امروزی، تصویری از یک گیاه جوان باقلا (*Vicia faba*) که نشانگر اندام‌ها و بافت‌های اصلی موجود در پیکره یک گیاه آوندی امروزی است. اندام‌ها شامل ریشه، ساقه و برگ، متشکّل از بافت‌ها هستند که شامل گروهی از سلول‌ها با ساختار و عملکرد مجزاً می‌باشند. مجموعاً، ریشه‌ها تشکیل سیستم ریشه‌ای و ساقه و برگ‌ها تشکیل سیستم ساقه‌ای گیاه را می‌دهند. ساقه بر خلاف ریشه، به گره و میانگره تقسیم‌بندی می‌شود. گره محلّی از ساقه است که یک یا چند برگ از آن خارج می‌شود. به بخش بین دو گره متوالی، میانگره اطلاق می‌گردد. در باقلا، چندین برگ اوّل، به دو برگچه تقسیم می‌شوند. جوانه‌ها یا ساقه‌های جنینی، عموماً در محور برگ‌ها (زاویه فوقانی بین برگ و ساقه) ایجاد شده و ریشه‌های جانبی از بافت‌های داخلی ریشه نشأت می‌گیرند. بافت‌های آوندی (آوند چوب و آوند آبکش) در کنار هم قرار داشته و تشکیل سیستم آوندی پیوسته‌ای در سرتاسر پیکره گیاه می‌دهند. این بخش، بلافاصله در زیر کورتکس ریشه و ساقه قرار دارد. بافت مزوفیل برگ، جهت انجام فتوسنتز اختصاص یافته است. در این تصویر، یک لپه یا برگ بذری به واسطه کنار زدگی پوسته بذر قابل تشخیص است.

کامبیوم آوندی و کامبیوم چوب پنبه ایجاد می‌گردد.

طی گذار "به هوا"، گیاهان همچنین متحمّل سازگاری‌های بیشتری جهت انجام تولید مثل شدند. اوّلین سازگاری در این راستا، تولید اسپورهای مقاوم به خشکی بود. به دنبال این سازگاری، ساختارهای پیچیده و چند سلولی تکامل پیدا کردند که گامت‌ها یا سلول‌های تولید مثلی در درون آنها نگهداری شده و به واسطه حضور یک لایه سلولی عقیم، از گزند خشکی در امان می‌ماندند. در **گیاهان دانه‌دار (Seed Plants)** که شامل تقریباً تمامی گیاهان شناخته شده به استثنای سرخسیان، خزه‌ها و جگرواش‌ها هستند، گیاه جوان یا جنین توسط پوشش محافظ (پوسته دانه) ایجاد شده توسط والد خود، احاطه می‌شود. جنین در داخل چنین حفاظی، از گزند خشکی و شکارچیان در امان مانده و توسط مواد غذایی ذخیره شده، تغذیه می‌شود. جنین و منبع غذایی ذخیره شده و پوسته دانه، اجزای سازنده **دانه (Seed)** هستند.

بنابراین به طور خلاصه باید عنوان نمود که یک گیاه آوندی (شکل ۱-۹) متشکّل از یک سیستم ریشه‌ای اتصال دهنده گیاه به بستر و جمع‌آوری کننده آب و مواد معدنی موجود در خاک؛ یک سیستم ساقه‌ای بالا برنده بخش‌های فتوسنتز کننده گیاه به سمت منبع نور یعنی خورشید و همچنین برگ‌هایی است که اندام‌های کاملاً تخصصی شده جهت انجام فتوسنتز هستند. ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها توسط سیستم آوندی پیچیده و کارآمدی با هم در ارتباط بوده و آب و مواد غذایی را بین همدیگر انتقال می‌دهند. سلول‌های تولید مثلی گیاهان در درون ساختارهای چند سلولی محافظی احاطه شده و در گیاهان دانه‌دار، جنین توسط پوششی مقاوم نگهداری می‌شود. تمامی این ویژگی‌ها، سازگاری‌هایی جهت حضور موجودات فتوسنتز کننده در خشکی هستند.

تکامل جوامع

یورش گیاهان به خشکی، سیمای قارّه‌ها را دستخوش تغییر کرد. با نگاه کردن به پایین از درون یک هواپیمای در حال گذر از یکی از مناطق بیابانی گسترده موجود در روی زمین و یا یکی از نواحی کوهستانی، می‌توان تصوّر نمود که زمین قبل از ظهور گیاهان، به چه شکلی بوده است. حتّی با پیاده‌روی در این نواحی، می‌توان تنوّع حیرت انگیزی از گیاهان را مشاهده نمود که نواحی صخره‌ای و شنی را پوشانده‌اند. در نواحی از زمین که اقلیمی معتدل‌تر و بارندگی بیشتری حاکم است، جوامع گیاهی بخش غالب خشکی را به خود اختصاص داده و ویژگی‌های منطقه را تعیین می‌نمایند. در حقیقت باید این گونه عنوان نمود که تا حدّ زیادی جوامع گیاهی به عنوان آنچه که ما خشکی می‌شناسیم مطرح هستند. هر یک از کلمات جنگل بارانی، ساوان، درختزار، بیابان و توندرا، بخشی از

(a)

(b)

(c)

(d)

شکل ۱- ۱۰ مثال‌هایی از تنوع بالای بیوم‌های موجود در کره زمین. (**a**) جنگل خزان کننده معتدله، که بخش اعظم شرق ایالات متحده و جنوب شرق کانادا را دربرگرفته است، توسط درختانی پوشانده می‌شود که طی فصل سرد زمستان، برگ‌های خود را از دست می‌دهند. در این تصویر که در کوهستان Adirondack واقع در ایالت نیویورک گرفته شده است، گونه‌ای غان و یک پایه افرای قرمز مشاهده می‌شود. (**b**) مشخصه توندرای قطبی که بر روی لایه منجمد داخلی زمین قرار گرفته است، وجود فصل رویشی کوتاه مدت است. این تصویر در فصل پاییز در دژه Tombstone در Yukon کانادا گرفته شده است. (**c**) در آفریقا، گله‌های بزرگی از پستانداران علفخواری همچون گورخر و گوزن یال‌دار در ساوان‌ها مشاهده می‌شوند. یک درخت آکاسیا در تصویر مشاهده می‌شود. (**d**) جنگل‌های مرطوب حاره که این تصویر از کاستاریکا گرفته شده است، غنی‌ترین و متنوع‌ترین بیوم موجود در روی کره زمین بوده و شاید نیمی از تمام گونه‌های موجودات زنده موجود در کره زمین را در خود جای داده باشند. (**e**) در بیابان‌ها غالباً سالانه بارشی کمتر از ۲۵ سانتی‌متر رخ می‌دهد. در این تصویر که مربوط به بیابان Sonoran در آریزونا است، غالباً توسط گونه‌ای کاکتوس اشغال شده است. این کاکتوس جهت بقاء در این اقلیم خشک، دارای سازگاری‌هایی همچون ریشه‌های کم عمق و گسترده و همچنین ساقه‌هایی ضخیم جهت ذخیره آب است. (**f**) اقلیم مدیترانه‌ای در مقیاس جهانی، به صورت نادر یافت می‌شود. در این اقلیم، گیاهان طی زمستان‌های خنک و مرطوب رشد کرده و طی تابستان‌های خشک و گرم وارد مرحله خفتگی می‌شوند. این تصویر که نشانگر یک درختزار بلوط همیشه سبز است، از کوهستان Diablo در کالیفرنیا گرفته شده است.