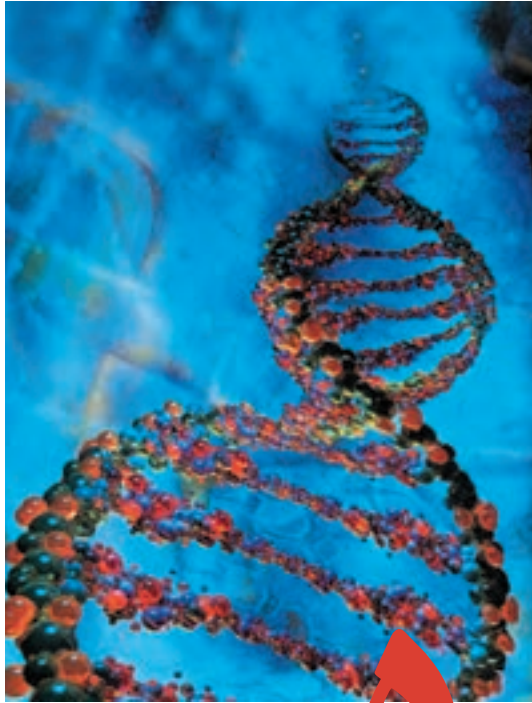


بخش دوم

وراثت، تولید مثل
و رشد و نمو



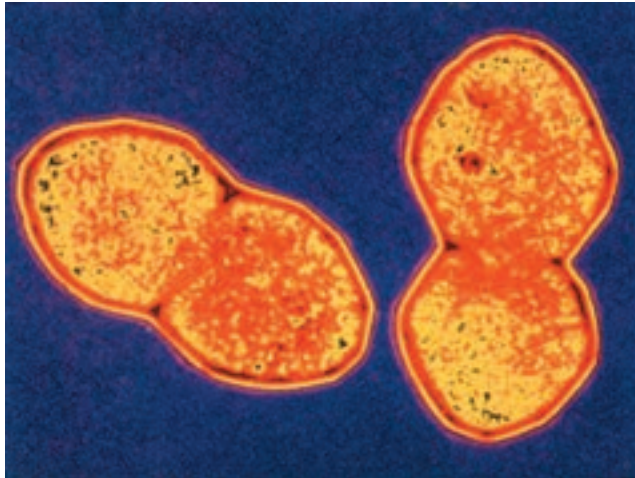
مدل رایانه‌ای DNA

۵ ماده ژنتیک

در سال اول دبیرستان با ساختار کروموزوم‌ها و DNA به طور مختصر آشنا شدید. امروزه می‌دانیم که نوکلئیک اسیدها ماده ژنتیک را تشکیل می‌دهند. زیست‌شناسان عاملی را که باعث انتقال خصوصیات و ویژگی‌های یک نوع جاندار، از نسلی به نسل دیگر می‌شود، ماده ژنتیک می‌نامند. در ماده ژنتیک اطلاعات و دستورالعمل‌هایی نهفته است که بسیاری از ویژگی‌های جاندار به آنها بستگی دارد. در آغاز قرن بیستم تلاش‌های فراوانی برای یافتن ماده ژنتیک در سلول آغاز شد. در آن زمان زیست‌شناسان نمی‌دانستند که ماده ژنتیک کدام یک از مولکول‌های درون سلول است؛ اما می‌دانستند برای آنکه مولکولی بتواند نقش ماده ژنتیک را ایفا کند، باید ویژگی‌های خاصی داشته باشد. مثلاً بتواند اطلاعات ژنتیک را در خود ذخیره کند، آنها را از نسلی به نسل دیگر منتقل کند و در عین حال نسبتاً پایدار باشد تا بتواند در سراسر زندگی فرد، خود را حفظ کند.

۱ در جستجوی ماده ژنتیک

در سال ۱۹۲۸، آزمایشی که ارتباط چندانی با ژنتیک نداشت، منجر به کشف بزرگی دربارهٔ ماده ژنتیک شد. در این سال فردریک گریفیت^۱ که باکتری شناس بود، سعی می‌کرد تا واکنشی علیه باکتری مولد ذات‌الریه، که نام علمی آن استرپتوکوکوس نومونیا^۲ است، تهیه کند (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵- باکتری مولد بیماری ذات‌الریه (×۱۷۲۵۰)

گریفیت روی دو نوع (سویه) از این باکتری‌ها کار می‌کرد. یکی از این سویه‌ها، کپسولی پلی‌ساکاریدی دارد که اطراف باکتری را احاطه می‌کند. این کپسول، باکتری را در برابر دستگاه ایمنی بدن محافظت می‌کند و در نتیجه موجب بیماری‌زایی آن می‌شود. سویهٔ دیگر این نوع باکتری، بدون کپسول پلی‌ساکاریدی است و به این علت موجب بیماری ذات‌الریه نمی‌شود. گریفیت پی برده بود که تزریق باکتری کپسول‌دار به موش‌ها، موجب بیماری و مرگ آنها می‌شود؛

۱- Frederick Griffith

۲- *Streptococcus pneumoniae*

در حالی که موش‌هایی که به باکتری بدون کپسول آلوده شده‌اند، سالم باقی می‌مانند (شکل ۲-۵).
 کیفیت برای بررسی اینکه آیا کپسول عامل مرگ موش‌هاست یا خیر، تعدادی باکتری کپسول‌دار
 را با گرما کُشت و سپس آنها را به موش‌ها تزریق کرد. او مشاهده کرد که موش‌ها پس از آن بیمار
 نشدند و زنده ماندند.



- ۱- باکتری‌های کپسول‌دار ۲- باکتری‌های بدون کپسول موش‌ها را می‌کشند.
 ۳- باکتری‌های کپسول‌داری که با گرما کشته شده‌اند، موش را نمی‌کشند.
 ۴- باکتری‌های کپسول‌داری که با گرما کشته شده‌اند، همراه با باکتری زنده بدون کپسول، موش را می‌کشند!

شکل ۲-۵- آزمایش کیفیت

گرفتند دریافت که کپسول باکتری عامل مرگ موش‌ها نیست. او سپس باکتری‌های بدون کپسول
 زنده و باکتری‌های کپسول‌داری را که بر اثر گرما کشته بود، با یکدیگر مخلوط و مخلوط حاصل را به
 موش‌ها تزریق کرد. نتیجه این آزمایش غیرمنتظره بود. او مشاهده کرد که همه موش‌ها در اثر ابتلا به
 بیماری ذات‌الریه مُردند. کیفیت پس از بررسی خون موش‌های مرده، با کمال تعجب مشاهده کرد که در
 خون این موش‌ها، بعضی از باکتری‌های بدون کپسول، کپسول‌دار شده‌اند. به عبارت دیگر، باکتری‌های
 بدون کپسول تغییر شکل داده‌اند و به باکتری‌های کپسول‌دار تبدیل شده‌اند.

آنچه کیفیت مشاهده کرده بود، امروزه ترانسفورماسیون^۱ نامیده می‌شود. در فرایند ترانسفورماسیون، باکتری با دریافت مواد ژنتیک از محیط خارج، در خصوصیات ظاهری خود تغییراتی پدید می‌آورد. با آزمایش‌هایی که کیفیت انجام داد، علت ترانسفورماسیون باکتری‌های بدون کپسول و تبدیل آنها به باکتری کپسول‌دار، مشخص نشد. جستجو برای یافتن عامل ترانسفورماسیون که پژوهشگران مطمئن شده بودند این عامل همان ماده ژنتیک است، تا سال ۱۹۴۴ ادامه یافت.

آزمایش ایوری

یکی از مهم‌ترین آزمایش‌ها در تاریخ زیست‌شناسی، آزمایش اُسوالد ایوری^۲ است که به شناسایی عامل ترانسفورماسیون انجامید و ماهیت ماده ژنتیک را آشکار ساخت. ایوری و همکاران او با انجام این آزمایش، به بحث‌ها و پژوهش‌های چندین ساله درباره ماهیت ماده ژنتیک خاتمه دادند و برگ زرینی به تاریخ زیست‌شناسی افزودند.

ایوری و همکارانش می‌دانستند که در سلول چهار گروه اصلی از مواد آلی وجود دارد. این مواد عبارت‌اند از: کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها. بنابراین، عامل ترانسفورماسیون هرچه باشد، یکی از این چهار گروه است. گروه ایوری، در آن زمان آئزیم‌های تخریب‌کننده این چهار گروه ماده شیمیایی اصلی را در اختیار داشتند. آنان ابتدا عصاره سلولی باکتری‌های کپسول‌دار کشته شده را استخراج کردند. عصاره سلولی، همه مواد شیمیایی درون باکتری را در بردارد. آنها عصاره سلولی را به چند قسمت تقسیم و به هر قسمت آئزیم‌های تخریب‌کننده آن ماده آلی را اضافه کردند و کوشیدند با هر قسمت، به طور جداگانه، باکتری بدون کپسول زنده را وادار به ترانسفورماسیون کنند. ایوری و همکارانش مشاهده کردند که ترانسفورماسیون فقط هنگامی رخ می‌دهد که DNA تخریب نشده باشد و به این ترتیب دریافتند که عامل ترانسفورماسیون، همان DNA موجود در باکتری‌های کپسول‌دار است.

تا پیش از ایوری، زیست‌شناسان اطلاعات زیادی درباره DNA در اختیار نداشتند؛ اما می‌دانستند که پروتئین‌ها بسیار متنوع‌اند و کارهای مختلفی در سلول انجام می‌دهند. به همین علت، تصور عمومی بر این بود که عامل ترانسفورماسیون نیز نوعی پروتئین است. ایوری دریافت که اگر

۱- Transformation

۲- Oswald Avery

پروتئین‌ها را با آنزیم‌های تخریب‌کننده پروتئین از بین ببریم، ترانسفورماسیون همچنان رخ می‌دهد و بنابراین عامل ترانسفورماسیون نمی‌تواند پروتئین باشد و چنانکه دیدیم آنان به این نتیجه رسیدند که عامل ترانسفورماسیون، DNA است.

ایوری برای تحکیم ادعای خود، DNA باکتری‌های کپسول‌دار را به طور خالص تهیه کرد. وی دریافت که اگر به باکتری‌های بدون کپسول، DNA خالص مربوط به باکتری‌های کپسول‌دار، اضافه کنیم، باکتری‌های بدون کپسول به باکتری‌های کپسول‌دار تبدیل می‌شوند. به این ترتیب دیگر تردیدی باقی نماند که عامل ترانسفورماسیون، DNA است. در واقع DNA اطلاعات و دستورالعمل‌های لازم برای ساختن کپسول را به باکتری‌های بدون کپسول منتقل می‌کند و باکتری‌های بدون کپسول براساس این اطلاعات و دستورالعمل‌ها، کپسول می‌سازند. ایوری، بعد از ۱۶ سال آزمایش در سال ۱۹۴۴، گزارش نتایج پژوهش‌های خود را منتشر کرد. با انتشار گزارش ایوری، توجه سایر دانشمندان نیز به DNA جلب شد و آنان با انجام آزمایش‌های دیگری اهمیت نقش DNA را به عنوان عامل ترانسفورماسیون، یا به عبارت دیگر ماده ژنتیک، بیش از پیش استوار کردند.

بیشتر بدانید



استریتوکوکوس نومونیا در کجا زندگی می‌کند؟

استریتوکوکوس نومونیا ممکن است در گلوئی افراد سالم نیز زندگی کند. اگر دستگاه ایمنی بدن در اثر بیماری‌هایی، مانند آنفلوآنزا یا سوء تغذیه، تضعیف شود، آن‌گاه این باکتری به شش‌ها حمله می‌کند و موجب بیماری ذات‌الریه، یعنی التهاب شش‌ها می‌شود.

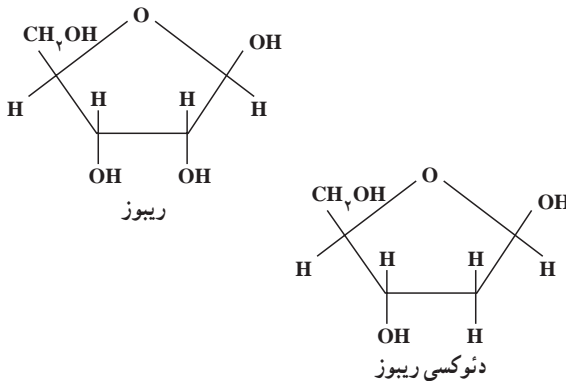
خودآزمایی ۱-۵



- ۱- آزمایش‌های گریفیت را به طور خلاصه بیان کنید.
- ۲- ترانسفورماسیون چیست؟
- ۳- چگونه آزمایش ایوری نشان داد که DNA ماده ژنتیکی است؟ توضیح دهید.

۲ ساختار شیمیایی نوکلئیک اسیدها

اگر چه قبل از یوری، دانشمندان با ساختار شیمیایی نوکلئیک اسیدها آشنا بودند، اما از کار این مولکول‌ها اطلاعی نداشتند. در سال ۱۸۷۰ فردریک میسر^۱ از هسته سلول، ماده‌ای استخراج کرد که خاصیت اسیدی داشت و بر همین اساس، آن را نوکلئیک اسید (به معنی اسید هسته‌ای) نام گذاری کرد. بعد از مدتی معلوم شد که نوکلئیک اسیدهای موجود در سلول بر دو نوع اند: یکی ریبونوکلئیک اسید یا به اختصار RNA که در ساختار آن قند ریبوز به کار رفته است و دیگری دئوکسی ریبونوکلئیک اسید که در ساختار آن قند دئوکسی ریبوز به کار رفته است (شکل ۳-۵).



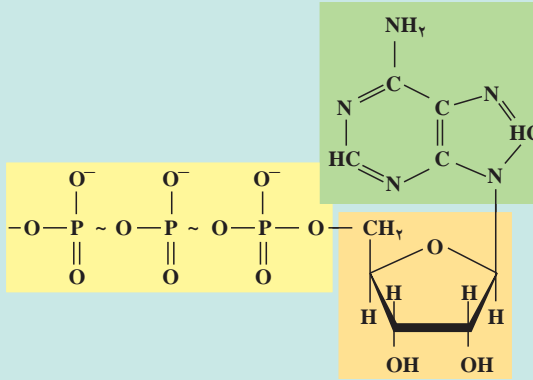
شکل ۳-۵- فرمول ساختاری ریبوز و دئوکسی ریبوز

نوکلئیک اسیدها پلی‌مرند. واحدهای مونومری نوکلئیک اسیدها، نوکلئوتید نام دارد. هر نوکلئوتید از سه بخش تشکیل شده است (شکل ۴-۵): (۱) یک قند پنج کربنی که ریبوز (در RNA) یا دئوکسی ریبوز (در DNA) است، (۲) یک تا سه گروه فسفات (۳) یک باز آلی نیتروژن دار که یا پورینی یا پیریمیدینی است (ساختار بازهای پورینی، دو حلقه‌ای، اما ساختار بازهای پیریمیدینی یک حلقه‌ای است).

^۱ Friedrich Miescher

بازهایی که در ساختار DNA شرکت می‌کنند، عبارت‌اند از آدنین^۱ (A)، تیمین^۲ (T)، سیتوزین^۳ (C) و گوانین^۴ (G). در RNA به جای باز T، باز یوراسیل^۵ (U) وجود دارد. آدنین و گوانین بازپورینی و سه باز دیگر پیریمیدینی‌اند.

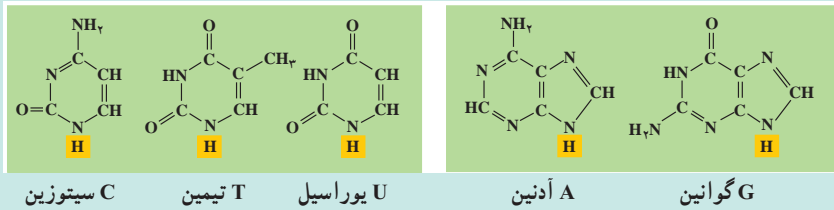
بیشتر بدانید 



شکل ۴-۵ ساختار ATP. AMP یکی از مشتقات این مولکول انرژی‌زاست که در ساختار RNA شرکت دارد.

ب

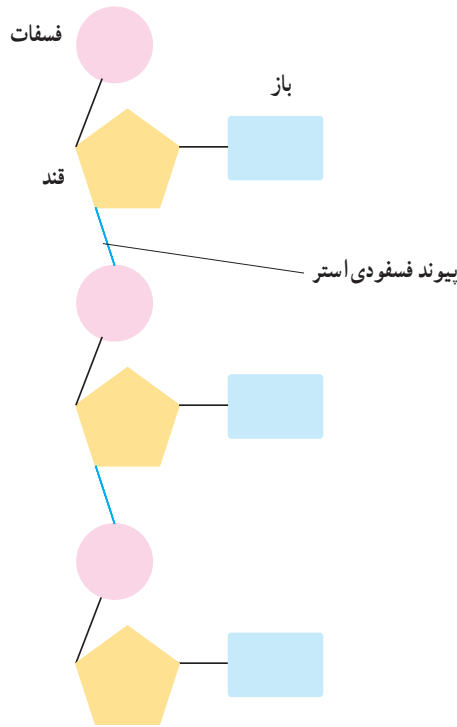
الف



شکل ۵-۵ بازهایی که در ساختار نوکلئیک اسیدها به کار می‌روند. (الف) پورین‌ها و (ب) پیریمیدین‌ها

- ۱_ Adenine
- ۲_ Thymine
- ۳_ Cytosine
- ۴_ Guanine
- ۵_ Uracil

از اتصال نوکلئوتیدها با یکدیگر، پلی مری خطی به وجود می آید (شکل ۵-۶). اتصال نوکلئوتیدها به یکدیگر از طریق برقراری پیوند کووالان بین گروه قند یک نوکلئوتید با گروه فسفات نوکلئوتید دیگر صورت می گیرد. نوکلئوتیدها در ابتدا به صورت آزاد، سه گروه فسفات دارند؛ اما هنگام برقراری پیوند با یکدیگر، دو گروه از سه گروه فسفات خود را از دست می دهند و فقط با یک گروه فسفات خود در رشته پلی نوکلئوتیدی جای می گیرند. پیوند بین دو نوکلئوتید را پیوند فسفودی استر^۱ می نامند.



شکل ۵-۶- یک رشته پلی نوکلئوتیدی

اگر به دو انتهای رشته پلی نوکلئوتیدی شکل ۵-۶ نگاه کنید، خواهید دید که دو انتهای این رشته، مثل هم نیستند. در یک انتها، گروه فسفات وجود دارد، حال آنکه در انتهای دیگر، گروه فسفات یافت نمی شود. از آنجا که دو انتهای رشته مثل هم نیست، می گویند رشته پلی نوکلئوتیدی دارای قطبیت است.

^۱ Phosphodiester bond



- ۱- با رسم شکل ساختار عمومی یک نوکلئوتید را مشخص کنید و انواع نوکلئوتیدها را نام ببرید.
- ۲- چه تفاوتی بین DNA و RNA از نظر نوع قند و باز به کار رفته در ساختار آنها وجود دارد؟
- ۳- پیوند بین دو نوکلئوتید را چه می نامند؟
- ۴- منظور از اینکه گفته می شود، رشته پلی نوکلئوتیدی دارای قطبیت است، چیست؟

کشف ساختار DNA

تا دهه ۱۹۵۰ اطلاعاتی که درباره نوکلئیک اسیدها در دست بود، عمدتاً به اجزای تشکیل دهنده آن محدود می شد و درباره ساختار سه بعدی (فضایی) این مولکول اطلاعات چندانی در دست نبود. آزمایش های بعدی توانست ساختار سه بعدی مولکول DNA را مشخص کند. مشاهدات چارگف یکی از این موارد بود.

مشاهدات چارگف: در آغاز دهه ۱۹۵۰، اروین چارگف^۱، مقدار بازهای A، T، C و G را در DNA جانداران مختلف اندازه گرفت. او مشاهده کرد که بین نسبت بازهای DNA، رابطه جالبی برقرار است: در همه DNAهایی که او بررسی کرده بود، نسبت A به T و C به G تقریباً برابر ۱ بود. این آزمایش نشان داد که در مولکول DNA، مقدار A با مقدار T (A=T) و نیز مقدار C با مقدار G (C=G) برابر است. به راستی این مشاهده چارگف، چه مفهومی می تواند داشته باشد؟

داده های حاصل از پراش پرتو X

زمانی که دانشمندان شروع به بررسی ساختار مولکولها با کمک پراش پرتو ایکس کردند، اهمیت یافته های چارگف روشن تر شد. در این روش، پرتو X مستقیماً به بلور جسمی که می خواهند به ساختار آن پی ببرند، تابانده می شود. پرتوهای X پس از برخورد به جسم پراکنده می شوند و پرتوهای پراکنده شده روی صفحه حساس فیلم که در پشت بلور قرار دارد، ثبت می شوند. پژوهشگران با تجزیه و تحلیل الگوهای پیچیده ای که روی فیلم ثبت می شود، می توانند ساختار مولکول را تعیین کنند. این کار مثل آن است که بخواهیم با تجزیه و تحلیل سایه یک جسم به شکل و ساختار آن پی ببریم.

^۱-Erwin chargaff

موریس ویلکینز^۱ و روزالین فرانکلین^۲، تصاویری از بلورهای مولکول DNA با روش پراش پرتو ایکس تهیه کردند (شکل ۷-۵). براساس این تصاویر معلوم شد که مولکول DNA به صورت مولکولی مارپیچی است که از دو یا سه زنجیره تشکیل شده است.



شکل ۷-۵- تصویری که با روش پراش اشعه X از مولکول DNA گرفته شده است.

مدل واتسون و کریک : واتسون و کریک سرانجام در سال ۱۹۵۳ با کمک یافته‌های چارگف و داده‌های حاصل از روش پراش پرتو ایکس که حاصل کارهای علمی فرانکلین و ویلکینز بود و نیز با شناختی که خود از پیوندهای شیمیایی داشتند، مدلی برای DNA پیشنهاد کردند. مدلی که امروزه از DNA ارائه می‌شود، همان مدل واتسون و کریک است. شکل ۸-۵ واتسون و کریک را در کنار مدل گوی و میله‌ای خود از مولکول DNA نشان می‌دهد. در سال ۱۹۶۲ واتسون و کریک به خاطر این کشف خود، موفق به دریافت جایزه نوبل شدند.

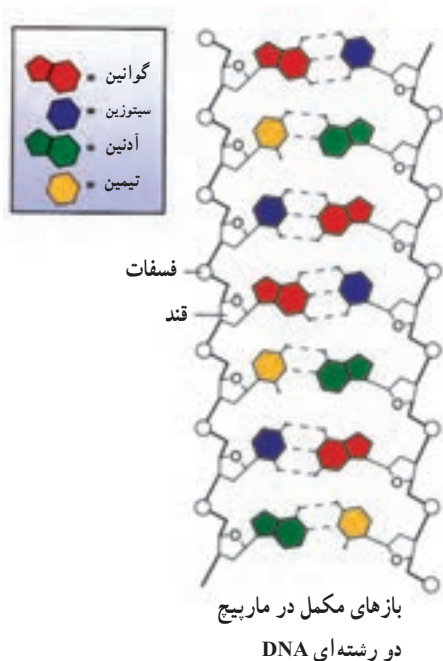


شکل ۸-۵- واتسون و کریک در کنار مدل گوی و میله DNA

۱- Maurice Wilkins

۲- Rosalind Franklin

طبق مدل پیشنهادی واتسون و کریک، DNA از دو رشته پلی نوکلئوتیدی تشکیل شده است که حول یک محور فرضی، به دور یکدیگر پیچیده اند (شکل ۹-۵). این مدل، به مدل مارپیچ دو رشته ای (یا مارپیچ دوگانه) معروف شده است. مارپیچ دو رشته ای در واقع شبیه نردبانی است که حول محور طولی خود پیچ خورده است. نرده های این نردبان را گروه های قند - فسفات تشکیل می دهند. بازهای یک رشته در مقابل بازهای دیگر قرار دارند و پله های این نردبان را می سازند. بین بازهایی که مقابل هم هستند، پیوند هیدروژنی وجود دارد.



مدل مارپیچ دورشته ای (دوگانه) DNA در این مدل دو رشته DNA را پیوندهای هیدروژنی به یکدیگر متصل می کنند.

شکل ۹-۵ - ساختار مولکول DNA

پیوند هیدروژنی بین بازها، دو رشته را کنار یکدیگر نگه می دارد. دو بازی را که با یکدیگر پیوند هیدروژنی دارند، جفت باز می نامند. جفت شدن بازها از قوانین خاصی پیروی می کند.



فعالیت ۱-۵- چگونه می توان DNA را از سلول های پیاز استخراج کرد؟

شما می توانید به کمک اتانول (الکل اتیلیک) و یک میله همزن، DNA را از سلول های پیاز استخراج کنید.

وسایل و مواد لازم : عینک ایمنی، دستکش پلاستیکی، ۵ میلی لیتر عصاره پیاز، لوله آزمایش، ۵ میلی لیتر اتانول سرد، پیپت پلاستیکی، میله همزن شیشه ای و جالوله ای.

روش کار

۱- ۵ میلی لیتر عصاره پیاز را در یک لوله آزمایش بریزید.

توجه : اتانول ماده ای است که قابلیت اشتعال دارد و نباید در مجاورت شعله از آن استفاده کنید.

۲- لوله آزمایش را به طوری در دست بگیرید که با خط افق زاویه ۴۵° بسازد. با کمک پیپت،

اتانول سرد را قطره قطره به آن بیفزایید. دقت کنید که اتانول را به آرامی از کناره های لوله به عصاره پیاز اضافه کنید تا الکل به صورت یک لایه مجزا روی عصاره تشکیل شود.

۳- به مدت ۲-۳ دقیقه لوله آزمایش را به صورت قائم نگاه دارید.

۴- یک همزن شیشه ای را در مرز بین عصاره پیاز و اتانول وارد کنید و آن را به آرامی حول

محور آن بچرخانید.

۵- میله همزن را از مایع خارج کنید و به بررسی موادی که به آن چسبیده اند بپردازید. ب لوله

لوله آزمایش این مواد را از همزن جدا کنید. به خواص فیزیکی این مواد دقت کنید.

۶- قبل از ترک آزمایشگاه، ظروف و وسایل را تمیز بشوید و در محل خود قرار دهید.

تجزیه و تحلیل

ماده ای که به همزن می چسبد، DNA است. خواص فیزیکی آن را شرح دهید.

جفت شدن بازها : همان طور که در شکل ۹-۵ می بینید، در مولکول DNA، آدنین یک

زنجیره با تیمین زنجیره مقابل و سیتوزین آن با گوانین زنجیره مقابل جفت می شود. علت این نحوه جفت شدن را باید در ساختار بازها جستجو کرد. بازهای A و T از نظر ساختار سه بعدی مکمل یکدیگرند.

بازهای C و G نیز همین طورند. همچنین پایدارترین حالت در اتصال باز G به C در مولکول DNA، زمانی است که سه پیوند هیدروژنی بین آنها تشکیل شود. این حالت درباره بازهای A و T با دو پیوند

هیدروژنی ایجاد می‌شود. برای آنکه مفهوم ساختار مکمل را در مورد این بازهای آلی دریابید، به شکل ۵-۹ توجه کنید.

جفت شدن بازهای مکمل اصل چارگف را توجیه می‌کند. براساس نحوه جفت شدن بازها، می‌توان گفت که هر رشته مکمل رشته مقابل است. به عبارت دیگر ترتیب بازهای یک رشته ترتیب بازهای رشته دیگر را تعیین می‌کند. مثلاً اگر ترتیب بازهای یک رشته DNA، به صورت TCGAACT باشد، ترتیب بازهای رشته دیگر AGCTTGA است.

تحقیقات نشان داده‌اند که اطلاعات وراثتی را ترتیب و تعداد بازها، تشکیل می‌دهند. هیچ محدودیتی برای تعداد و ترتیب بازها در یک رشته وجود ندارد؛ اما به محض آن که توالی بازها در یک رشته تعیین شد، توالی بازها در رشته مکمل آن نیز براساس رابطه مکملی تعیین می‌شود.

خودآزمایی ۳-۵



- ۱- کیفیت و پوری در آزمایش‌های خود به چه نتایجی دست یافتند؟
- ۲- جدول زیر درصد بازهای نیتروژنی را در DNA انسان، گندم و باکتری اشریشیاکلی نشان می‌دهد.

درصد هر باز نیتروژنی

A	T	G	C	
۳۰/۴	۳۰/۱	۱۹/۶	۱۹/۹	انسان
۲۷/۳	۲۷/۱	۲۲/۷	۲۲/۸	گندم
۲۴/۷	۲۳/۶	۲۶/۰	۲۵/۷	اشریشیاکلی E. coli

- الف) در هر یک از این جانداران نسبت پورین‌ها به پیریمیدین‌ها چقدر است؟
- ب) در هر یک از این جانداران درصد چه بازهایی به یکدیگر نزدیک‌تر است؟
- ج) آیا نسبت و درصد پرسش‌های الف و ب از اصول چارگف تبعیت می‌کنند؟
- ۳- چه ارتباطی بین جفت شدن بازها و ساختار DNA وجود دارد؟

- ۴- دانستن چه اطلاعاتی در کشف ساختمان مارییج مضاعف DNA به واتسون و کریک کمک کرد؟
- ۵- نسبت بازهای DNA گونه‌های مختلف جانداران چه تفاوت و تشابهی با یکدیگر دارند؟
- ۶- چرا می‌گوییم دو رشته مارییج مضاعف، مکمل یکدیگرند؟
- ۷- فرض کنید ردیف نوکلئوتیدی یک رشته DNA به صورت CCAGTTG است، ردیف نوکلئوتیدی رشته مکمل آن چیست؟
- ۸- روزالین فرانکلین در سن ۳۷ سالگی بر اثر سرطان درگذشت. آیا ممکن است کار با روش تفرق اشعه X در مرگ وی دخالت داشته باشد؟ بحث کنید.

همانندسازی DNA

واتسون و کریک همزمان با پیشنهاد مدل خود برای DNA، چنین بیان داشتند که وجود رابطه مکملی بین بازها می‌تواند در فرایند همانندسازی DNA نقشی اساسی داشته باشد. تحقیقات بعدی نشان داد که در همانندسازی DNA، دو رشته آن به کمک آنزیم هلیکاز^۱ مانند زیپ از یکدیگر جدا می‌شوند و سپس از روی هر رشته، رشته جدیدی ساخته می‌شود. همانندسازی DNA به کمک آنزیم DNA پلی‌مراز^۲ صورت می‌گیرد. این آنزیم در طول DNA حرکت می‌کند و نوکلئوتیدها را در مقابل نوکلئوتیدهای مکمل خود قرار می‌دهد. به این ترتیب که با استفاده از نوکلئوتیدهای آزاد که در سیتوپلاسم وجود دارند، در مقابل A، باز T و در مقابل C باز G قرار می‌گیرد (شکل ۱۰-۵). چون هر DNA دختر یک رشته جدید و یک رشته قدیمی دارد، می‌گویند همانندسازی DNA به طریقه نیمه حفظ شده است.

در فرایند همانندسازی DNA، دو مولکول DNA تولید می‌شود که هر یک، دارای یک رشته DNA جدید و یک رشته DNA قدیمی هستند. ترتیب و تعداد نوکلئوتیدها در مولکول‌های DNA حاصل (دختری)، همانند مولکول DNA مادری است.

آنزیم DNA پلی‌مراز توانایی دیگری نیز دارد و آن ویرایش است: در صورتی که نوکلئوتید اشتباهی به DNAهای دختر اضافه شود، یعنی مکمل نباشد، آنزیم DNA پلی‌مراز برمی‌گردد و نوکلئوتید اشتباه را جدا و آن را با نوکلئوتید درست تعویض می‌کند. با این حال به ندرت ممکن است نوکلئوتیدهای اشتباه در DNAهای دختر باقی بمانند و به نسل بعد سلول منتقل شوند. این اشتباه‌های تصحیح نشده

۱- helicase

۲- DNA polymerase



بیشتر بدانید

چگونه دانشمندان پی بردند که همانندسازی DNA به روش نیمه‌حفظ شده انجام می‌شود؟

در سال ۱۹۵۸ «مزلسون و استال» آزمایش‌هایی را برای بررسی چگونگی همانندسازی DNA طراحی و اجرا کردند. آنان سلول‌های نوعی باکتری را در محیط دارای نیتروژن رادیواکتیو N^{15} کشت دادند. در این محیط باکتری‌ها رشد کردند و تقسیم سلولی انجام دادند و پس از چند نسل باکتری‌هایی به دست آمد که DNA آنها به جای نیتروژن معمولی، نیتروژن رادیواکتیو داشتند. چگالی این مولکول‌ها از مولکول‌های DNA دارای نیتروژن معمولی (N^{14}) بیشتر است.

در مرحله بعد دانشمندان این باکتری‌ها را در محیط دارای N^{14} کشت دادند و تعدادی از سلول‌های دختر را پس از یک دور همانندسازی به عنوان سلول‌های دختر نسل اول و تعداد دیگری را پس از دو دور همانندسازی به عنوان سلول‌های دختر نسل دوم در نظر گرفتند و DNA این سلول‌ها را خالص‌سازی و چگالی آنها را تعیین کردند. این دو دانشمند فرض کردند که اگر همانندسازی DNA نیمه‌حفظ شده باشد، چگالی مولکول‌های DNA سلول‌های دختر این باکتری‌ها باید مقدار متوسط چگالی مولکولی DNA دارای N^{14} و N^{15} باشد.

بررسی چگالی مولکول‌های DNA سلول‌های دختر نسل اول و دوم نشان داد که چگالی مولکول‌های DNA آنها مقدار متوسط مولکول‌های DNA دارای N^{14} و N^{15} است. انجام آزمایش‌های دیگر بر روی سلول‌های مختلف، نشان داد که همانندسازی DNA به روش نیمه‌حفظ شده انجام می‌شود.

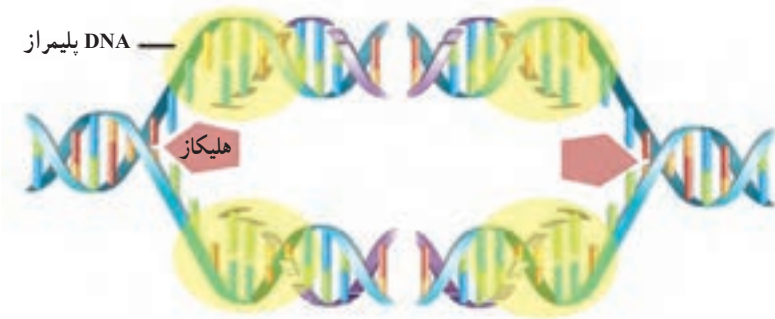
دوراهی همانندسازی

همانندسازی از یک انتهای DNA شروع نمی‌شود تا در انتهای دیگر پایان یابد. باکتری‌ها که دارای DNA حلقوی هستند، معمولاً دو دوراهی همانندسازی ایجاد می‌کنند. مولکول بسته یا حلقوی، مولکولی است که دو انتهای آن آزاد نیست و اگر تاشدگی‌های آن باز شود، حلقوی شکل می‌شود. دوراهی‌های همانندسازی در محلی خاص به نام جایگاه آغاز همانندسازی به وجود می‌آیند. دوراهی‌های همانندسازی به تدریج از یکدیگر دور می‌شوند، تا اینکه در نقطه مقابل جایگاه همانندسازی به هم می‌رسند (شکل ۱۰-۵).



شکل ۱۰-۵- همانندسازی در باکتری

در سلول‌های یوکاریوتی، هر کروموزوم از یک مولکول DNA طولی تشکیل شده است. اما DNA آن قدر طولی است که اگر قرار بود یک کروموزوم انسان، مانند باکتری همانندسازی را از یک نقطه آغاز کند، همانندسازی هر کروموزوم روزها طول می‌کشد! از این رو همانندسازی در سلول‌های انسانی و سایر سلول‌های یوکاریوتی در نقاط مختلف انجام می‌شود. دوره‌های همانندسازی مختلف، سبب می‌شوند تا یک کروموزوم انسانی فقط در چند ساعت به طور کامل همانندسازی کند.



شکل ۱۱-۵- همانندسازی DNA در یوکاریوت