فصل اول

مولکول‌های اطلاعاتی

- فصل اول کتاب درسی دوازدهم یکی از مهم‌ترین فصل‌های این کتاب نه از جهت تعداد سؤال در کنکور بلکه از جهت پایه‌ای بودن برای مباحث دیگری است که ادامه کتاب با آن روبه‌رو می‌شوید، بنابراین مفهومی و دقیق خواندن این فصل تا انتهای کتاب کمک زیادی به فهم بهتر شما از بخش های دیگر خواهد کرد.

- در گفتار یک این فصل به ساختار و تاریخچه نوکلئیک اسیدها، در گفتار دو با طرح‌ها و مراحل همانندسازی و تفاوت آن در یوکاریوت و پروکاریوت‌ها و در گفتار سه به ساختار و عمل پروتئین‌ها می‌پردازیم.

- این فصل در کنکور تجربی ۹۸ دو سؤال را به خود اختصاص داده بود.

مولکول‌های اطلاعتی

- ۱– مراحل و چگونگی همانندسازی
- ۲–سطوح ساختاری پروتئین‌ها
- ۳–ساختار مولکول‌های دنا و رنا
- ۴–تفاوت همانندسازی در یوکاریوت و پروکاریوت‌ها

- گریفیت ← باکتری‌شناسی انگلیسی که در تلاش بود تا واکسنی (واکسن میکروب ضعیف‌شده، کشته‌شده، آنتی‌ژن میکروب یا سم خنثی‌شده آن است که با واردکردن آن به بدن یاخته‌های خاطره پدید می‌آید.) علیه بیماری آنفلوآنزا تولید کند.
- در زمان گریفیت تصور می‌شد عامل بیماری آنفلوآنزا نوعی باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا است. در حالی که عامل بیماری آنفلوآنزا نوعی ویروس است (نه باکتری !!!)
- اطلاعات اولیه در ارتباط با مادهٔ وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایشات گریفیت به دست آمد.
- در زمان گریفیت، اسیدهای نوکلئیک کشف شده بودند اما نمی‌دانستند که آن‌ها مادهٔ وراثتی هستند، به عبارتی در زمان گریفیت اطلاعاتی در ارتباط با مادهٔ وراثتی نداشتند و اطلاعات اولیه از فعالیت‌های گریفیت حاصل گشت.
- گریفیت در راستای تلاش برای تولید واکسن با ۲ نوع از باکتری استرپتوکوکوس نومونیا کار می‌کرد.
- گریفیت در آزمایش ۴ مرحله‌ای خود با ۲ جاندار سروکار داشت:

۱ موش: نوعی پستاندار به عنوان میزبان باکتری

۲ باکتری: تک‌سلولی به عنوان عامل بیماری آنفلوآنزا (تصور اشتباه) که خود دو نوع مختلف داشت.

انواع باکتری استرپتوکوکوس نومونیا	۱) فاقد پوشینه	دارای غشای پلاسمایی + دیواره و فاقد هسته و پوشینه مادهٔ وراثتی به جدار داخلی غشا متصل است. توسط سیستم ایمنی انسان نابود میشود و توان بیماری‌زایی ندارد و قبل از بیماری‌زایی از بین می‌رود.
	۲) پوشینه‌دار	دارای غشای پلاسمایی + دیواره + پوشینه و فاقد هسته هستند. مادهٔ وراثتی به جدار داخلی غشا متصل است. سیستم ایمنی نمی‌تواند آن‌ها را از بین ببرد پس بیماری‌زایی می‌کنند.

- استرپتوکوکوس نومونیا در واقع عامل بیماری ذات‌الریه است (نه آنفلوآنزا !!!) و به شش‌ها حمله می‌کند و باعث مرگ می‌شود.
- اندازهٔ این باکتری بر طبق شکل تقریباً ۸۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر است.

مراحل آزمایش گریفیت	مرحله اول: تزریق باکتری زنده پوشینه‌دار به موش که موش دچار ذات‌الریه (نه آنفلوآنزا !!!) شد و مُرد. در ریهٔ موش، باکتری‌های زنده پوشینه‌دار مشاهده شد.
	مرحله دوم: تزریق باکتری زنده فاقد پوشینده به موش که به ذات‌الریه مبتلا نگشت و زنده ماند. سیستم ایمنی موش بر باکتری پیروز شد و طبیعتاً در شش‌ها باکتری یافت نمی‌شود.
	مرحلهٔ سوم: تزریق باکتری پوشینه‌دار کشته‌شده با گرما به موش موش به ذات‌الریه مبتلا نگشت و زنده ماند. در شش موش باکتری یافت نمی‌شود و سیستم ایمنی اجزای باکتری را پاکسازی کرد.
	مرحلهٔ چهارم: تزریق یک مخلوط (باکتری زنده فاقد پوشینه + باکتری کشته شده با گرما پوشینه‌دار) به موش در کمال تعجب، موش به ذات‌الریه مبتلا گشت و مُرد. و در ریهٔ موش باکتری زنده پوشینه‌دار مشاهده شد که در تزریق اولیه نبود.

- علت اجرای آزمایش سوم این بود که گریفیت گمان می‌کرد عامل بیماری‌زایی باکتری‌ها پوشینه است. بنابراین باکتری را کشت تا اثر پوشینه را به تنهایی بررسی کند ولی به این نتیجه رسید که پوشینه به تنهایی عامل بیماری‌زایی باکتری نیست.
- امروز می‌دانیم وجود پوشینه باعث مصون‌ماندن باکتری از سیستم ایمنی موش می‌شود ولی پوشینه به تنهایی عامل بیماری‌زایی نیست.

- در آزمایش چهارم، گریفیت انتظار زنده‌ماندن موش را داشت، زیرا هر کدام از اجزا مخلوط در آزمایش‌های ۲ و ۳ به طور جداگانه سبب مرگ موش نشدند.
- بعد از آزمایش چهارم، از آن جایی که باکتری‌های مرده پوشینه‌دار نمی‌توانستند زنده شده باشند؛ پس حتماً باکتری‌های زنده فاقد پوشینه باید به نوعی پوشینه‌دار شده باشند، به عبارتی ویژگی یک باکتری به باکتری دیگری که آن ویژگی را نداشت، منتقل شد.
- هر یک از یاخته‌های موجود در طبیعت دارای ویژگی‌های به خصوص هستند مثل شکل، اندازه. اگر یاخته دارای هسته باشد، ← در هستهٔ سلول یک‌سری دستورالعمل وجود دارد و این دستورالعمل‌ها باعث ایجاد ویژگی‌های سلول‌ها می‌شوند.
- اگر یاخته فاقد هسته باشد، ← دستورالعمل‌ها در سیتوپلاسم پراکنده‌اند.
- به هر حال این دستورالعمل‌ها در حین تقسیم سلولی از یک سلول به سلول دیگر و در حین تولیدمثل از یک نسل به نسلی دیگر منتقل می‌شود.
- پوشینه یک باکتری یک ویژگی است و ایجاد آن وابسته به دستورالعمل‌های یاخته است.
- ویژگی‌های یک جاندار به دو دسته تقسیم می‌شود: ارثی (رنگ چشم ، گروه خونی) و غیر ارثی (تیره شدن پوست در اثر قرار گرفتن در مقابل نور خورشید)
- در علم ژن شناسی ویژگی های ارثی را صفت مینامند.(فصل ۳ دوازدهم)
- گریفیت از آزمایشات خود به این نتیجه رسید که ماده وراثتی که همان دستورالعمل‌ها در یاخته است و ویژگی پوشینه را ایجاد می‌کند، می‌تواند از یاخته‌ای به یاخته‌ای دیگر منتقل شود. ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد و تا ۱۶ سال بعد از آن نیز همچنان ناشناخته ماند.
- استرپتوکوکوس نومونیا یک باکتری است بنابراین:

آنزیم لیزوزیم که در بزاق وجود دارد می تواند باعث نابودی نوع بدون پوشینه آن شود (فصل ۲ دهم)

ماکروفاژ های مستقر درون حبابک نیز توانایی بیگانه خواری نوع بدون پوشینه آن را دارند. (فصل ۳ دهم)

عرق که حاوی نمک و لیزوزیم است باعث مرگ باکتری بدون پوشینه می‌شود. عرق محیط نامناسب برای باکتری ایجاد می‌کند.(فصل ۵ یازدهم)

در اثر ورود باکتری به بدن ، پادتن ها میتوانند با فعال کردن پروتئین های مکمل و یا به هم چسباندن آن ها به هم و یا خنثی سازی باعث افزایش بیگانه خواری و مرگ باکتری شوند. (فصل ۵ یازدهم)

استرپتوکوکوس نومونیا ممکن است علاوه بر دنای حلقوی اصلی خود دارای دیسک هم باشد که ویژگی هایی چون مقاومت در برابر آنتی بیوتیک را به آن ممکن است بدهد. (فصل ۱ دوازدهم)

ممکن است استرپتوکوکوس نومونیا دارای بیش از یک جایگاه آغاز همانند سازی باشد و همانند سازی آن دوطرفه است. (فصل ۱ دوازدهم)

مقاوم شدن باکتری‌ها نسبت به آنتی بیوتیک نشان دهنده این است که: موجودات زنده در گذر زمان می‌توانند تغییر کنند و مقاوم‌شدن باکتری‌ها در اثر انتخاب طبیعی توجیه می‌شود. (فصل ۴ دوازدهم)

استرپتوکوکوس نومونیا برخلاف سیانوباکتری‌ها و یا باکتری های گوگردی و یا باکتری‌های نیترات ساز توانایی تبدیل مواد معدنی به آلی را ندارند. (فصل ۶ دوازدهم)

ایجاد جانداران تراژن از باکتری ها شروع شد ولی برای سایر جانداران نیز بعدها ممکن شد. (فصل ۷ دوازدهم)

آزمایشات ایوری	آزمایش اول: ۱) استخراج عصاره درون سلول باکتری پوشینه‌دار کشته‌شده با گرما که حاوی مادهٔ وراثتی است. ۲) تخریب تمامی پروتئین‌های عصاره با استفاده از آنزیم‌های پروتئاز ۳) اضافه‌کردن باقیمانده محصول به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه ۴) انتقال ویژگی رخ داد و باکتری فاقد پوشینه، پوشینه دار شد. در نتیجه: پروتئین، مادهٔ وراثتی نیست.
	آزمایش دوم: ۱) استخراج عصارهٔ درون سلول باکتری کشته‌شده پوشینه‌دار ۲) قراردادن عصاره در سانتریفیوژ سرعت بالا (فراگریزانه) و جداکردن مواد آن به صورت لایه لایه ۳) اضافه‌کردن هر یک از لایه‌ها به صورت جداگانه به محیط کشت باکتری زندهٔ فاقد پوشینه ۴) رخ‌دادن انتقال صفت فقط در لایه‌ای که دِنا در آن وجود داشت. در نتیجه: دِنا مادهٔ وراثتی است و پروتئین، مادهٔ وراثتی نیست.
	آزمایش سوم: ۱) استخراج عصارهٔ باکتری پوشینه‌دار کشته‌شده با گرما و تقسیم‌کردن آن به ۴ قسمت ۲) اضافه‌کردن آنزیم تخریب کننده یک ماده آلی به هر یک از قسمت‌ها ۳) انتقال هر قسمت به محیط کشت حاوی باکتری زندهٔ فاقد پوشینه ۴) انتقال ویژگی در همهٔ ظرف‌ها به‌جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب‌کننده دنا بود در نتیجه: دِنا مادهٔ وراثتی است.

- ایوری و همکارانش آزمایش اول را به این دلیل انجام دادند که به علت کاربرد گسترده پروتئین گمان می‌شد پروتئین مادهٔ وراثتی است.
- با انجام آزمایش دوم واضح بود که پروتئین مادهٔ وراثتی نیست و دِنا مادهٔ وراثتی است اما چون دانشمندهای زیادی مخالف بودند، آزمایش سوم را ترتیب دادند تا ثابت کنند دِنا مادهٔ وراثتی است.
- در آزمایش سوم که عصارهٔ درون سلول به ۴ قسمت تقسیم شد هر قسمت حاوی ۴ گروه آلی اصلی یعنی (کربوهیدرات، لیپید، پروتئین و اسیدهای نوکلئیک) بوده و آنزیم‌های اضافه‌شده تخریب‌کنندهٔ هر یک از گروه‌های اصلی بالا است.
- هرگاه عصاره به محیط کشت اضافه شود، باید اندکی صبر کرد تا فرصتی برای انتقال صفت و رشد و تکثیر باکتری‌ها وجود داشته باشد.
- از آزمایش گریفیت این نتیجه حاصل شده بود که اگرچه باکتری در اثر گرما می‌میرد اما مادهٔ وراثتی سالم می‌ماند.
- در اثر آزمایش‌های ایوری، ماهیت مادهٔ وراثتی مشخص شد که همان دِنا است.
- برای جداسازی اجزای خون نیاز به سانتریفیوژ معمولی داریم ولی برای آزمایش دوم ایوری و آزمایش های مزلسون و استال نیاز به سانتریفیوژ با سرعت بالا (فراگریزانه) ست.

چارگاف:

تا پیش از چارگاف تصور دانشمندان این بود که در یک مولکول دِنا (نه رِنا !!!) ۴ نوع نوکلئوتید با نسبت مساوی توزیع شده‌اند. یعنی برای مثال اگر در یک مولکول دِنا ۱۰۰ نوکلئوتید وجود داشته باشد، ۲۵ نوکلئوتید دارای تیمین، ۲۵ نوکلئوتید دارای آدنین، ۲۵ نوکلئوتید دارای گوانین و ۲۵ نوکلئوتید دارای سیتوزین می‌باشند.

این تصور اشتباه دربارهٔ دِنای هر جانداری بود.

- مشاهدات و تحقیقات چارگاف نشان داد که در مولکول‌های دنا (نه رنا) صرفاً مقدار بازهای آدنین برابر تیمین و مقدار بازهای سیتوزین با گوانین برابر است.
- چارگاف دلیل این برابری را متوجه نشد و تحقیقات بعدی دانشمندان دیگر دلیل این برابری نوکلئوتیدها را مشخص کرد.
- تحقیقات چارگاف منجر به تلاش برای شناسایی و کشف دقیق‌تر ساختار مادهٔ وراثتی شد.

ویلکینز و فرانکلین:

این دو دانشمند با استفاده از پرتو X از مولکول دِنا تصاویری تهیه کردند و از بررسی این تصاویر به نتایجی دست یافتند:

۱ مولکول دِنا دارای حالتی مارپیچی است.

۲ مولکول دِنا بیش از یک رشته دارد. (دقت کنید این دو دانشمند متوجه نشدند مولکول دِنا دقیقاً دو رشته دارد.)

۳ ابعاد مولکول دِنا را نیز تشخیص دادند ← این نتیجه اهمیت کمتری دارد.

- در اثر تلاش‌های مشترک این دو دانشمند ساختار مولکول دِنا تا حدی مشخص شد و دانشمندان بعدی از آن استفاده کردند.

اشعه x در رادیولوژی از آن استفاده می‌شود و برخلاف امواج فراصوت برای جنین ضرر دارد (فصل ۷ یازدهم)

در پرتو های خورشیدی اشعه فرابنفش وجود دارد نه x (فصل ۶ یازدهم)

یکی از راه های پی بردن به شکل پروتئین ها استفاده از پرتو x است.

محققین با استفاده از آن می‌توانند به ساختار سه بعدی پروتئین پی برده و حتی موقعیت هر اتم را مشخص کنند.

واتسون و کریک:

این دو دانشمند تلاش کردند تا مدلی را برای مولکول DNA ارائه کنند و در این مسیر از سه مورد بهره جستند:

۱ نتایج آزمایش‌های چارگاف

۲ داده‌های حاصل از تحقیقات ویلکینز و فرانکلین

۳ یافته‌های خودشان

- این ۲ دانشمند مدل نردبان مارپیچ را برای مولکول DNA ارائه کردند که در سال ۱۹۶۲ به همین دلیل جایزهٔ نوبل را دریافت کردند. این مدل بعدها با پژوهش‌های دانشمندان دیگر نیز تأیید گشت.
- مچنیکو نیز موفق به دریافت جایزه نوبل شده بود. (فصل ۵ یازدهم)

نکات کلیدی مدل واتسون و کریک

- در این مدل، مولکول DNA با نردبانی شبیه‌سازی شده است که حول یک محور فرضی طولی پیچ خورده است.
- در هر ستون نردبان در واقع نوکلئوتیدهای یک رشته و پیوندهای فسفات ـ قند دیده می‌شود.
- پله‌های نردبان، پیوندهای هیدروژنی هستند که بین بازهای مکمل در بین دو رشته دیده می‌شوند.
- آنچه که باعث پایداری مولکول DNA می‌شود، پیوند هیدروژنی است. این پیوندهای هیدروژنی به‌صورت اختصاصی برقرار می‌شوند.
- در مولکول DNA، آدنین (A) با تیمین (T) مکمل است و گوانین (G) با سیتوزین (C) مکمل است.
- بین گوانین و سیتوزین نسبت به آدنین و تیمین پیوند هیدروژنی بیشتری برقرار می‌شود.
- هرچه تعداد سیتوزین و گوانین بیشتر باشد، پایداری مولکول DNA بیشتر می‌شود.

فواید جفت بازها و پیوندهای هیدروژنی بین آن‌ها	۱- در سراسر مولکول DNA یک باز تک‌حلقه‌ای(T یا C) در مقابل یک باز دو حلقه‌ای (A یا G) قرار می‌گیرد؛ بنابراین در هر ردیف ۳حلقه بازی خواهیم داشت که باعث می‌شود قطر مولکول DNA در تمام طول آن ثابت باشد.
	۲- دو رشته DNA مکمل هستند و یکی نیستند اما با دانستن توالی یک رشته می‌توان توالی رشتهٔ مکمل آن را نیز داشت.
	۳- هر پیوند هیدروژنی به تنهایی انرژی کمی دارد اما وجود تعداد زیادی پیوند هیدروژنی پایداری قابل توجهی به DNA داده است. البته این خاصیت پیوند هیدروژنی باعث می‌شود که در هر محل دو رشته بتوانند از هم باز شوند بدون آنکه ساختار کل مولکول به هم بریزد.

- اینکه قطر DNA در سراسر مولکول ثابت است، دو فایده دارد:

۱ اطلاعات ذخیره‌شده، پایدار هستند.

۲ مولکول دِنا بهتر فشرده می‌شود.

- با توجه به آزمایشات چارگاف: $A=T\ ,\ G=C\ ,\ A+G=T+C \Rightarrow \frac{A+G}{T+C}=1$
- ممکن است در یک مولکول DNA، ۴ نوکلئوتید به میزان یکسان یافت شود اما لزومی ندارد.
- پیوند هیدروژنی در کجاها دیده می‌شود:

در ساختار پروتئین ها، در ساختار رنای ناقل، بین رمزه و پادرمزه، بین دو رشته دنا، بین رشته رنای در حال رونویسی و رشته دنای الگو

مزلسون و استال:

۱ هدف آزمایش: مشخص‌کردن نحوهٔ همانندسازی میان فرضیه‌های متعدد مطرح‌شده

۲ روش علمی را به کار گرفتند تا بتوانند به پاسخ قانع‌کننده‌ای دست پیدا کنند.

۳ اولین قدم در آزمایش: تشخیص رشته‌های دِنای نوساز از رشته‌های قدیمی؛ در نتیجه ← نشانه‌گذاری دِنای اولیه با ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N)

مراحل آزمایش:

۱ آن‌ها ابتدا باکتری‌ها را در محیط کشتی قرار دادند که حاوی ^{15}N بود. به باکتری‌ها زمان کافی دادند تا تکثیر شوند. تعداد زیادی باکتری حاصل شد که در ساختار DNA آن‌ها ^{15}N در نوکلئوتید شرکت کرده بود؛ بنابراین DNA های جدید تولیدشده با ^{15}N نشانه‌گذاری شده بودند.

۲ سپس این باکتری‌ها را که دارای DNA سنگین‌تر از حالت معمولی بودند، وارد محیط کشتی کردند که ^{14}N قرار داشت. باکتری‌ها هر ۲۰ دقیقه یک‌بار تولیدمثل می‌کنند.

اگر قبل از اینکه باکتری‌ها شروع به همانندسازی کنند، دِنای باکتری‌ها را در محلولی از سزیم‌کلرید فراگریزانه کنیم، در لولهٔ آزمایش یک نوار در انتهای لوله تشکیل خواهد شد.

علت تشکیل این نوار در انتهای لوله این است که دِناهای باکتری‌ها با نوکلئوتیدهای دارای ^{15}N حاصل شده است.

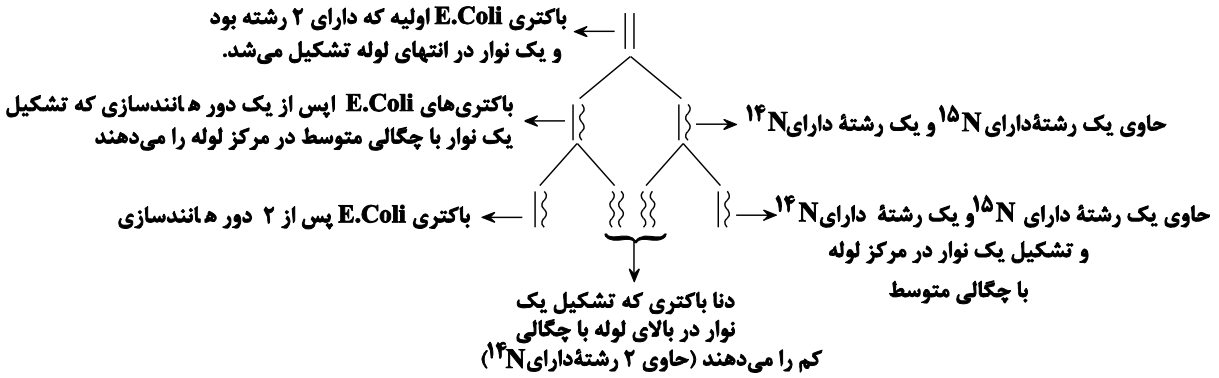
۳ پس از ۲۰ دقیقه باکتری‌های حاضر در محیط کشت، اولین تقسیم سلولی خود را انجام دادند و در این راه از ^{14}N محیط کشت استفاده کردند. در این شرایط با استخراج مولکول‌های DNA و فراسانتریفیوژکردن آن‌ها در محلول سزیم‌کلرید یک نوار در مرکز لوله تشکیل شد که نشان می‌داد چگالی از مرحلهٔ قبل کمتر است و همهٔ مولکول‌های DNA این وزن مولکولی را دارند. تا این قسمت آزمایش واضح بود که همانندسازی حفاظتی نیست چون اگر حفاظتی بود، یک نوار در انتهای بالایی و یک نوار در انتهای پایینی لوله تشکیل می‌شد.

۴ پس از گذشت ۴۰ دقیقه برای دومین‌بار همانندسازی رخ داد و پس از سانتریفیوژ مشاهده گردید دو نوار تشکیل شده است؛ یکی در بالای لوله با چگالی کمتر و دیگری در میان لوله با چگالی متوسط.

- در اینجا واضح گشت که همانندسازی پراکنده نیست چون هرگز در همانندسازی پراکنده ممکن نیست یک مولکول DNA کاملاً سبک تشکیل شود و حتماً قطعاتی از نوکلئوتید سنگین را خواهد داشت.
- باکتری استفاده‌شده در آزمایش باکتری E.coli می‌باشد.
- در سانتریفیوژ با سرعت بالا مواد براساس چگالی جدا می‌شوند. هر چه چگالی بیش‌تر باشد، در مکان پایین‌تری قرار می‌گیرند.
- در آزمایش مزلسون و استال علاوه بر مکان تشکیل نوار ضخامت نوار هم اهمیت دارد. در دور مورد اول سانتریفیوژ فقط یک نوار تشکیل شد اما در مرحلهٔ سوم، ۲ نوار با ضخامت یکسان تشکیل گشت.

$\longrightarrow {}^{15}N \quad \longrightarrow {}^{14}N$

نمایی از همانندسازی در آزمایش مزلسون و استال



- باکتری‌ها در هر محیط کشتی که حضور پیدا می‌کنند، از نیتروژن‌های آن محیط در ساخت نوکلئوتیدهای DNA خود استفاده می‌کنند.
- در ساختار DNA بازهای آلی دارای نیتروژن هستند . در ساختار پروتئین ها نیز نیتروژن حضور پیدا می‌کند.
- در سانتریفیوژ کردن خون یاخته‌های خونی در پایین قرار می‌گیرند یعنی چگالی بالاتری نسبت به پلاسما دارد.
- باکتری E.coli : قند ترجیحی مصرفی آن گلوکز است.
- دارای تنظیم رونویسی مثبت و منفی است. می‌تواند از مالتوز و لاکتوز نیز استفاده کند. در DNA خود دارای اپراتور، جایگاه اتصال فعال‌کننده، و ژن‌های رمز کننده آنزیم‌های تجزیه کننده مالتوز و لاکتوز است.
- در ساختار خود دارای آنزیم‌های برش دهنده است که جزوی از سامانه دفاعی آن محسوب می‌شود.

گزاره‌های «صحیح و غلط»

۱- ژنتیک‌دانی به نام گریفیت سعی در تهیه واکسن علیه یک بیماری وراثتی را داشت.

۲- ترتیب لایه‌هایی که اطراف DNA عامل مولد ذات‌الریه در موش وجود داشته و آن را از محیط پیرامون جدا می‌کند از خارج به داخل (کپسول ← دیواره ← غشای سلول ← غشای هسته)

۳- پیوند بین بازهای یک رشته DNA توسط حرارت در آزمایش سوم گریفیت شکسته نمی‌شد.

۴- بدون وقوع جهش اگر در یک رشته DNA، مجموع $A+C=٪۲۰$ باشد، حتماً در رشتهٔ دیگر نیز، $A+C=٪۲۰$ خواهیم داشت.

۵- در طول برابر از انواع RNA های سلول، پایداری tRNA از سایرین بیشتر است.

۶- در زمان گریفیت هنوز DNA کشف نشده بود.

۷- عامل مولد بیماری ذات‌الریه می‌توانست در برابر لیزوزیم و همچنین ماکروفاژهای ساکن در حبابک‌ها، مصون باشد.

۸- عامل مرگ باکتری‌های بدون پوشینه می‌تواند ماکروفاژ یا نوتروفیل باشد.

۹- در آزمایش های ایوری مشخص شد ماده‌ای از جنس هیستون نمی‌تواند ماده وراثتی باشد.

۱۰- رابطه مکملی بین A با T و نیز C با G پس از چارگاف کشف شد.

۱۱- آخرین آزمایش ایوری همراه بود با تقسیم عصارهٔ سلولی باکتری کپسول‌دار کشته شده در اثر حرارت به ۴ قسمت و اضافه‌کردن آنزیم‌های تخریب‌کننده انواعی از مواد آلی به هر قسمت.

۱۲- چارگاف مقدار ۴ نوع باز آلی را در موجودات مختلف اندازه گرفت و نتیجه گرفت تعداد A با T و C با G در آن‌ها برابر است.

۱۳- DANای با یک رشتهٔ سنگین، ۴ بار پی‌درپی در محیط N^{14} همانندسازی می‌کند در نسل چهارم، $\frac{۱}{۸}$ از نوارهای پلی‌نوکلئوتیدی سنگین خواهند بود.

۱۴- هر DNA مارپیچ دورشته‌ای در سلول جاندار میزبان عامل مولد ذات‌الریهٔ خطی می‌باشد.

۱۵- اگر DNAای با یک رشته N^{15} دو نسل در محیط N^{14} همانندسازی کند، $\frac{۱}{۴}$ از رشته‌ها N^{15} خواهند بود.

۱۶- ذخایر اطلاعات DNA سبب ایجاد تمام ویژگی‌های بدن جاندار می‌شود.

۱۷- در آزمایش سوم گریفیت مشخص شد که کپسول و DNA هیچ نقشی در ایجاد بیماری ندارد.

۱۸- در آزمایش ایوری عصارهٔ سلولی باکتری بدون کپسول مرده که دارای آنزیم کربوهیدراز بود، سبب انتقال ویژگی گشت.

۱۹- عاملی که سبب تغییرشکل باکتری استرپتوکوکوس نومونیای بدون کپسول به دارای کپسول می‌شود، دارای ۵ نوع عنصر در ساختار خود می‌باشد.

۲۰- در شرایط طبیعی در یک مولکول DNA، درصد مجموع $(A+C)$ با درصد مجموع $(G+T)$ همواره برابر است.

۲۱- اگر بنا به فرض همانندسازی DNA حفاظتی بود، پس از سه نسل، تقسیم دوتایی باکتری‌ها، $\frac{۱}{۸}$ از DNA ها قدیمی می‌باشند.

۲۲- در عصارهٔ سلولی تهیه‌شده توسط ایوری تمام نوکلئیک‌اسیدهای موجود دارای پیوند هیدروژنی بودند.

پاسخ گزاره‌های «صحیح و غلط»:

۱- نادرست ـ گریفیت یک باکتری‌شناس بود نه ژنتیک‌دان و اینکه به دنبال تهیه واکسن برای بیماری آنفلوآنزا بود که وراثتی نیست.

۲- نادرست ـ عامل مولد ذات‌الریه هسته ندارد. بنابراین غشایی هم ندارد .

۳- نادرست ـ بین بازهای یک رشتهٔ DNA اصلاً پیوند وجود ندارد در حالت طبیعی

۴- نادرست ـ در رشتهٔ دیگر $A+C=۸۰٪$ است.

۵- درست ـ چون tRNA پیوند هیدروژنی دارد برخلاف سایر رناها

۶- نادرست ـ مادهٔ وراثتی ماهیتش ناشناخته بود (نه DNA !!!)

۷- درست ـ اگر پوشینه دار بود میتوانست مصون بماند

۸- درست

۹- درست ـ جنس هیستون پروتئین است و در آزمایش ایوری مشخص شد که پروتئین ماده وراثتی نیست

۱۰- درست – چارگاف تنها متوجه شد A با T و G با C برابر است .

۱۱- نادرست ـ انواعی غلط است فقط یک نوع آنزیم به هر ظرف اضافه کرد.

۱۲- نادرست ـ موجودات نه، جانداران آن هم DNAسلولها(نه در کل ساختارشان !!!)

۱۳- نادرست ـ در اثر ۴ نسل همانند سازی۳۲ رشته پلی نوکلوتیدی خواهیم داشت که فقط یک رشته سنگین است .

۱۴- نادرست ـ در میتوکندری موش DNA حلقوی داریم.

۱۵- نادرست ـ $\frac{۱}{۴}$ غلط است و $\frac{۱}{۸}$ درست است.

۱۶- نادرست ـ تمام ویژگی‌ها غلط است. در برخی ویژگی ها بی تاثیر است .

۱۷- نادرست ـ اولا که نتیجه گیری ای در ارتباط با DNA نشد و ثانیا مشخص شد کپسول به تنهایی عامل بیماری زایی نیست .

۱۸- نادرست ـ کپسول‌دار درست است.

۱۹- درست ـ حاوی عناصر کربن و نیتروژن و اکسیژن و هیدروژن و فسفر است .

۲۰- درست

۲۱- درست

۲۲- نادرست ـ RNA فاقد پیوند هیدروژنی می‌تواند باشد.

طرح‌های پیشنهادی

طرح‌های پیشنهادی برای همانندسازی	حفاظتی: هر دو رشته DNA قبلی بدون تغییر وارد یک یاخته می‌شوند.
	نیمه‌حفاظتی: هر یاخته یک رشته قدیمی و یک رشته جدید دریافت می‌کند.
	غیرحفاظتی: هر یاختهٔ DNA ای را دریافت می‌کند که حاوی قطعاتی از DNA قبلی و نوساز

- **در هر سه طرح همانندسازی(حفاظتی، نیمه‌حفاظتی و غیرحفاظتی) پیوندهای فسفودی‌استر تشکیل می‌شوند ولی فقط در همانندسازی غیرحفاظتی است که پیوندهای فسفودی‌استر میان نوکلئوتیدهای دنای اولیه می‌شکنند.**
- **در همانندسازی نیمه‌حفاظتی بعد از n نسل همانندسازی، همواره ۲^n مولکول به دست می‌آیند که همیشه دو مولکول آن دارای یک رشته از DNA مادری اولیه، یک رشته جدید می‌باشند و در بقیه مولکول‌ها هر دو رشته جدید می‌باشد.**
- **اگر همانندسازی به صورت حفاظتی انجام می‌شد، در یک نسل همانندسازی جهش‌های حاصل از خطاهای DNA پلی‌مرازها فقط به یکی از یاخته‌های دختری منتقل می‌شد (ترکیبی درون فصلی)**

عوامل و مراحل همانندسازی DNA

مهمترین عوامل مؤثر در همانندسازی	۱) وجود DNA به عنوان الگو: هر دو رشته DNA اولیه در همانندسازی نقش الگو را دارند.
	۲) وجود نوکلئوتیدهای سه‌فسفاته: نوکلئوتیدهای آزاد و سه‌فسفاته در لحظهٔ اتصال به رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی در حال ساخت، ۲ گروه فسفات خود را از دست داده و به‌صورت تک‌فسفاته در رشتهٔ دنا قرار می‌گیرد.
	۳) آنزیم‌های لازم برای همانندسازی: آنزیم‌های متفاوتی در همانندسازی نقش دارند که مهم‌ترین آن‌ها، آنزیم هلیکاز (بازکنندهٔ ۲ رشته) و دِنابسپاراز (متصال‌کنندهٔ نوکلئوتیدها به هم)

انواع نوکلئوتید سه‌فسفاته مورد نیاز در فرایند همانندسازی DNA	۱- آدنین‌دار
	۲- گوانین‌دار
	۳- سیتوزین‌دار
	۴- تیمین‌دار

- مولکول‌های DNA در یاخته‌های یوکاریوتی توسط پروتئین‌هایی ازجمله هیستون فشرده شده‌اند. بنابراین در گام اول نیاز است که این هیستون‌ها از DNA جدا شده تا فشردگی‌اش از بین رود. بنابراین دیگر نوکلئوزوم وجود نخواهد داشت.

محل همانندسازی دنا در	پروکاریوت ← سیتوپلاسم		
	یوکاریوت	هسته	
		سیتوپلاسم	میتوکندری
			کلروپلاست

- انواعی از آنزیم‌ها (نه فقط DNA پلی‌مراز) با همدیگر فعالیت کرده تا یک رشتهٔ جدید، در مقابل رشتهٔ DNA الگو قرار گیرد که یکی از مهم ترین آن‌ها DNA پلی‌مراز است.
- DNA پلی‌مراز به طور غیرمستقیم در تشکیل پیوند هیدروژنی بین بازهای مکمل رشتهٔ مادری و جدید نقش دارد. به دلیل اینکه این پیوند با قرارگیری دو جفت باز مکمل در روبه‌روی هم به صورت خودبه‌خودی تشکیل می‌شود.
- انرژی مورد نیاز برای فعالیت هلیکاز از ATP فراهم شده و انرژی مورد نیاز DNA پلی‌مراز از شکسته‌شدن پیوندهای پرانرژی بین گروه‌های فسفات نوکلئوتیدهایی که می‌خواهند در ساختار رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی قرار بگیرند، تأمین می شود.
- با توجه به شکل کتاب، در هر دوراهی همانندسازی یک هلیکاز و دو DNA پلی‌مراز و در هر حباب همانندسازی، در همانندسازی دوطرفه دو هلیکاز و چهار DNA پلی‌مراز وجود دارند.

فعالیت DNA پلی‌مراز در طی همانندسازی	۱- پلی‌مرازی: از DNA مادری الگوبرداری کرده، بین نوکلئوتیدهای مجاور، پیوند فسفودی‌استر تشکیل می‌دهد و رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی جدید را می‌سازد.
	۲- نوکلئازی: برای رفع اشکال در قراردادن نوکلئوتید مکمل، پیوند فسفودی‌استر را می‌شکند تا نوکلئوتید نادرست را بردارد.

اعمال DNA پلی‌مراز	۱- انتقال نوکلئوتید مناسب روبه‌روی رشته الگو
	۲- برقرارکردن پیوند فسفودی‌استر در همانندسازی ← فعالیت پلیمرازی
	۳- شکستن پیوند فسفودی‌استر حین ویرایش ← فعالیت نوکلئازی

اعمال هلیکاز	۱) شناسایی نقطه یا نقاط شروع همانندسازی به طور اختصاصی
	۲) بازکردن مارپیچ DNA
	۳) بازکردن تدریجی دو رشتهٔ DNA با شکستن پیوند هیدروژنی

محتویات و فرایندهای انجام شده در هر دوراهی همانندسازی:	۱) یک آنزیم هلیکاز و دو آنزیم DNA پلی‌مراز و انواعی دیگر از آنزیم‌ها
	۲) شکسته‌شدن پیوندهای هیدروژنی بین دو رشتهٔ DNA مادری توسط آنزیم هلیکاز
	۳) فعالیت پلی‌مرازی DNA پلی‌مراز: قراردادن نوکلئوتید مکمل مقابل نوکلئوتیدهای مادری و اتصال نوکلئوتیدهای جدید به همدیگر با ایجاد پیوند فسفودی‌استر
	۴) فعالیت نوکلئازی DNA پلی‌مراز که طی آن پیوند فسفودی‌استر شکسته می‌شود.

- در طی همانندسازی، هلیکاز فقط در یک جهت برای شکستن پیوند هیدروژنی، و DNA پلی‌مراز در دو جهت برای پلی‌مرازی و نوکلئازی حرکت می‌کنند.
- اگر ویرایش صورت نگیرد و نوکلئوتید اشتباه در رشتهٔ دنا بماند، جهش ایجاد شده است که می‌تواند سبب ایجاد بیماری‌های ژنتیکی شود (ترکیبی بین فصلی)

آنزیم‌هایی که توانایی آبکافت (هیدرولیز) پیوند فسفودی‌استر را دارند:	آنزیم DNA پلی‌مراز ← در فرایند همانندسازی طی عمل ویرایش
	آنزیم‌های برش‌دهنده ← مانند آنزیم ECOR۱ که در مهندسی ژنتیک به منظور ساخت DNA نوترکیب کاربرد دارد.
آنزیم‌هایی که توانایی ایجاد پیوند فسفودی‌استر را دارند:	آنزیم DNA پلی‌مراز ← در طی همانندسازی بین دئوکسی ریبونوکلئوتیدها
	آنزیم RNA پلی‌مراز ← در فرایند رونویسی بین ریبونوکلئوتیدها
	لیگاز ← بین دئوکسی ریبونوکلئوتیدها در مهندسی ژنتیک به منظور ساخت DNA نوترکیب
آنزیم‌هایی که توانایی شکستن پیوند هیدروژنی را دارا می‌باشند:	آنزیم هلیکاز ← بین دئوکسی ریبو نوکلئوتیدها به منظور بازکردن مولکول DNA در فرایند همانندسازی
	آنزیم RNA پلی‌مراز ← بین دئوکسی ریبونوکلئوتیدهای دو رشتهٔ DNA به منظور جدا کردن دو رشته دنا از هم برای رونویسی

- توجه شود که هیچ آنزیمی توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی را ندارد و این پیوندها خودبه‌خود تشکیل می‌شوند. (برخلاف تجزیهٔ پیوند هیدروژنی)
- همانندسازی DNA فقط در یاخته‌هایی انجام می‌شود که می‌خواهند تقسیم شوند.(همچنین در میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها در صورت نیاز)؛ بنابراین موارد مربوط به همانندسازی (آنزیم‌های هلیکاز و DNA پلی‌مراز، ایجاد دوراهی همانندسازی، تشکیل حباب همانندسازی و ...) در یاخته‌هایی که پس از همانندسازی DNA آن‌ها، تقسیم‌شدن برای مدتی به تعویق می‌افتد مانند اووسیت اولیه و در یاخته‌های فاقد توانایی تقسیم مانند یاخته‌های ماهیچه‌ای، یاخته‌های عصبی (البته به ندرت تقسیم می‌شوند)، گویچهٔ قرمز بالغ و یاخته‌های آوند چوبی بالغ مشاهده نمی‌شوند (ترکیبی بین فصلی)
- گروهی از سلول‌ها سرعت تقسیم زیادی دارند؛ بنابراین باید سریع از DNA خود همانندسازی کنند و فعالیت آنزیم‌های هلیکاز و DNA پلی‌مراز در آن‌ها بالا است. از جملهٔ این سلول‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

یاخته‌های بنیادی مغز استخوان، یاخته‌های مریستمی در گیاهان (کامبیوم آوندساز و چوب‌پنبه‌ساز، مریستم نوک ساقه‌ها) و نزدیک نوک ریشه‌ها و مریستم‌های بین گرهی)، یاخته‌های سرطانی، سلول تخم تشکیل شده و یاخته‌های مورولا و بلاستوسیست (ترکیبی بین فصلی)

- در یوکاریوت‌ها همانندسازی DNA خطی در مرحلهٔ S و همانندسازی DNA حلقوی (میتوکندری و کلروپلاست) در مرحلهٔ G_2 صورت می‌پذیرد (ترکیبی با فصل ۶ یازدهم)

دوراهی همانندسازی	یعنی چه؟	در محلی که دو رشتهٔ DNA از هم جدا می‌شوند، دو ساختار Y مانند شکل می‌گیرد که به هر یک از آن‌ها یک دوراهی همانندسازی گویند.
	ویژگی‌ها	تعداد آن با سرعت همانندسازی نسبت مستقیم دارد، هر چه جایگاه آغاز و دوراهی‌های همانندسازی بیشتر باشد، سرعت همانندسازی نیز بیشتر است.
		ابتدا فعالیت هلیکاز پیوندهای هیدروژنی از هم گسیخته و دو رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی در محلی از هم باز می‌شوند، همچنین با فعالیت آنزیم‌های دیگر که یکی از مهم‌ترین آنهاDNAپلی مراز است، رشته پلی‌نوکلئوتیدی جدید ساخته می‌شود.
	آنزیم‌ها	در هر دوراهی همانندسازی یک آنزیم هلیکاز و دو آنزیمDNAپلی مراز فعالیت می‌کنند (به همراه آنزیم‌های دیگر).

	همانندسازی	رونویسی
تعریف	ساخته‌شدن مولکول DNA جدید از روی DNA قدیمی	ساخته‌شدن RNA از روی بخشی از یک رشتهٔ DNA
آنزیم‌های مؤثر	مهم ترین‌ها: هلیکاز ← بازکردن دورشتهٔ DNA DNA پلی‌مراز ← تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدهای رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی در حال تشکیل	RNA پلی‌مراز: ← جداسازی ۲ رشتهٔ DNA ← ایجاد پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدهای RNA و بدون توانایی ویرایش
الگو	هر دو رشته مولکول DNA	بخشی از یک رشتهٔ DNA
محصول	مولکول DNA با نوکلئوتیدهای حاوی دئوکسی ریبوز و بازهای A , T , C , G	مولکول RNA با نوکلئوتیدهای حاوی قند ریبوز و بازهای A , G , C , U
دفعات تکرار در هر چرخهٔ یاخته‌ای	همانندسازی DNA اصلی یک‌بار در هر چرخه و در مرحلهٔ S	می‌تواند چندین‌بار در هر چرخهٔ یاخته انجام شود. همچنین ساخته‌شدن همزمان چندین RNA از روی یک ژن انجام می‌شود که RNA پلی‌مرازها در مراحل مختلف رونویسی قرار دارند

گزاره‌ها «صحیح و غلط»

۱- در مدل غیرحفاظتی همانندسازی برخلاف مدل حفاظتی و نیمه‌حفاظتی نیاز به شکستن پیوند فسفودی‌استر در DNA مادری وجود دارد.

۲- در همانندسازی نیمه‌حفاظتی و حفاظتی در همهٔ رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی مولکول DNA جدید، امکان مشاهدهٔ نوکلئوتیدی جدید وجود دارد.

۳- در فرایند همانندسازی DNA، DNA پلی‌مراز همواره نوکلئوتیدها را براساس رابطهٔ مکملی روبروی هم قرار می‌دهد.

۴- فقط دو نوع آنزیم در همانندسازی رشته‌های DNA نقش مستقیم دارند.

۵- در همانندسازی DNA بازکردن پیچ و تاب DNA و جداکردن دو رشتهٔ آن توسط یک آنزیم صورت می‌گیرد.

۶- هلیکازهای موجود در حباب همانندسازی در خلاف جهت یکدیگر حرکت می‌کنند.

۷- در فرایند همانندسازی حین فعالیت آنزیم هلیکاز، دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی به صورت کامل از هم جدا می‌شوند.

۸- آنزیم DNA پلی‌مراز برخلاف آنزیم هلیکاز فاقد توانایی تشخیص جایگاه آغاز همانندسازی است. ولی برخلاف آن می‌تواند ویرایش انجام دهد.

۹- پس از تشکیل چند پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدها، DNA پلی‌مراز رابطهٔ مکملی بین آن‌ها را بررسی می‌کند.

۱۰- در فرایند همانندسازی دنا، آنزیمی که نوکلئوتیدهای مکمل را با نوکلئوتیدهای رشتهٔ الگو جفت می‌کند، ضمن تشکیل هر پیوند اشتراکی، پیوند اشتراکی دیگری را می‌شکند.

۱۱- همانندسازی دوجهتی در دِنای یوکاریوت‌ها منجر به افزایش فاصلهٔ بین هر دو دوراهی همانندسازی می‌شود.

۱۲- در طی همانندسازی، آنزیمی که در اثر اشتباه در فعالیت آن می‌تواند جهش ایجاد شود، در شرایطی می‌تواند رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی را کوتاه کند.

۱۳- به طور معمول در بدن انسان سالم فعالیت دِنابسپاراز را می‌توان در یاخته‌های پوشاننده سطح درونی مری همانند یاخته‌های پوششی سطح اپیدرم پوست مشاهده کرد.

۱۴- در صورت تحریک گیرنده‌های میزان O_2 خون ممکن است سرعت تشکیل دوراهی‌های همانندسازی دِنا در یاخته‌های میلوئیدی کاهش می‌یابد.

۱۵- در صورت کاهش میزان ذخایر ید ممکن است فعالیت آنزیم دِنابسپاراز در یاخته‌های تیروئید افزایش می‌یابد.

پاسخ گزاره‌ها «صحیح و غلط»:

۱- درست. بدلیل اینکه بخش هایی از دنای مادری در همه رشته های دختری وجود دارد بنابراین پیوند های فسفودی استر دنای مادری باید شکسته شوند.

۲- نادرست. در هر دو طرح رشته‌های DNA مادری بدون نوکلئوتید جدید یافت می‌شوند.

۳- نادرست. گاهی اوقات اشتباه رخ داده و ویرایش انجام می‌شود.

۴- نادرست. علاوه بر هلیکاز و DNA پلی‌مراز، آنزیم‌های دیگری هم هستند.
۵- درست. هر دو توسط هلیکاز
۶- درست.
۷- نادرست. این آنزیم به صورت تدریجی پیوندها را باز می‌کند.
۸- درست.
۹- نادرست. این آنزیم پس از برقراری هر پیوند فسفودی‌استر رابطهٔ مکملی را بررسی می‌کند.
۱۰- درست. نوکلئوتیدهای سه‌فسفاته، توسط آنزیم دنابسپاراز یک پیوند اشتراکی آن‌ها شکسته شده و با تشکیل پیوند اشتراکی به نوکلئوتید دیگری متصل می‌شوند.
۱۱- نادرست. دوراهی‌های ایجاد شده از دو نقطهٔ آغاز مجاور هم به هم نزدیک می‌شوند.
۱۲- درست. آنزیم دنابسپاراز در فرایند ویرایش
۱۳- نادرست. یاخته‌های سطح اپیدرم پوست، مرده‌اند و فاقد هیچ‌گونه فعالیتی می‌باشند.
۱۴- نادرست. در زمان کاهش O_2، این گیرنده‌ها فعال شده و با ترشح اریتروپویتین از کبد و کلیه سرعت تقسیم و تعداد دوراهی‌های همانندسازی در یاخته‌های میلوئیدی افزایش می‌یابد.
۱۵- درست. بدلیل اینکه اندازه غده تیرویید بزرگ‌تر شده تا بتواند ید بیشتری جذب نماید.

انواع نوکلئیک‌اسیدها

نوع نوکلئیک‌اسید	DNA حلقوی	DNA خطی	tRNA	rRNA	mRNA	RNA (رناهای کوچک)
یافت‌شدن در پروکاریوت‌ها	✓	× ولی نوکلئیک‌اسید خطی یافت می‌شود.	✓	✓	✓	×
یافت‌شدن در یوکاریوت‌ها (هسته / سیتوپلاسم / اندامک)	✓ بعضی قارچ‌ها مثل مخمرها در قالب دیسک (خارج از هسته) + درون میتوکندری و کلروپلاست (در تست‌های کنکور در نظر گرفته نمی‌شود.)	✓ هسته؛ و در هنگام میتوز: سیتوپلاسم	✓	✓	✓	✓
تعداد رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی	۲	۲	۱	۱	۱	۱
محل ساخته‌شدن	سیتوپلاسم باکتری، میتوکندری و کلروپلاست	هسته	هسته (یوکاریوت‌ها) سیتوپلاسم (پروکاریوت‌ها)	هسته (یوکاریوت‌ها) سیتوپلاسم (پروکاریوت‌ها)	هسته (یوکاریوت‌ها) سیتوپلاسم (پروکاریوت‌ها)	هسته
امکان تشکیل پیوند هیدروژنی (با خود یا رشته‌ای از مولکول دیگر)	با خود ✓ با رنای در حال ساختن ✓	با خود ✓ با رنای در حال ساختن ✓	با خود ✓ با دِنا ✓ با رِنای پیک ✓	هنگام ساخته‌شدن از روی دنا	با دِنا ✓ با رنای ناقل ✓ با رنای کوچک (یوکاریوت‌ها)	با دِنا ✓ با رِنای پیک ✓
خطی یا حلقوی	حلقوی	خطی	خطی	خطی	خطی	خطی
دارابودن دوسر متفاوت	×	✓	✓	✓	✓	✓

نوع نوکلئیک‌اسید	DNA حلقوی	DNA خطی	tRNA	rRNA	mRNA	RNA (رناهای کوچک)
دارابودن حلقه	✓	×	✓	×	×	×
نوع بازهای آلی به کار رفته در سطح کتاب درسی	A T C G	A T C G	A U C G	A U C G	A U C G	A U C G
قند سازنده	دئوکسی‌ریبوز	دئوکسی‌ریبوز	ریبوز	ریبوز	ریبوز	ریبوز
آنزیم سازنده	دنابسپاراز پروکاریوتی یا میتوکندریایی و کلروپلاستی	دنابسپاراز یوکاریوتی	رنابسپاراز پروکاریوتی + رنابسپاراز نوع III یوکاریوتی	رنابسپاراز پروکاریوتی + رنابسپاراز نوع I یوکاریوتی	رنابسپاراز پروکاریوتی + رنابسپاراز نوع II یوکاریوتی	رنابسپاراز II یا III
قطبیت	×	✓	✓	✓	✓	✓

نکات تکمیلی

- نوکلئیک‌اسیدها که شامل دئوکسی ریبونوکلئیک‌اسیدها (دِنا) و ریبونوکلئیک‌اسیدها (رِنا) هستند، همگی بسپارهایی (پلیمرهایی) از واحدهای تکرارشونده به نام نوکلئوتید (شامل یک قند پنج‌کربنه، یک باز آلی نیتروژن‌دار (تک (C , U , T) / دو (G , A) حلقه‌ای) و گروه فسفات) هستند.
- امکان مشاهده‌شدن نوکلئیک اسید خطی (rRNA، tRNA و mRNA) در پروکاریوت‌ها وجود دارد.
- هر نوع دِنایی (خطی یا حلقوی) توسط نوعی غشای فسفولیپیدی احاطه شده است.

یوکاریوت‌ها ← غشای دو لایهٔ هسته ← DNA خطی

یوکاریوت‌ها ← غشای دو لایهٔ میتوکندری یا کلروپلاست ← DNA حلقوی

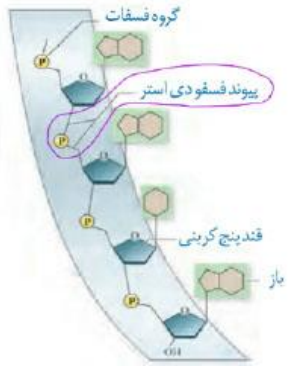
پروکاریوت‌ها ← غشای یاخته (نه هسته !!!) ← DNA حلقوی

- در پیش‌هسته‌ای‌ها که شامل همه باکتری‌ها می‌شوند، مولکول‌های وراثتی اصلی آن‌ها در هسته محصور نشده است و به غشای پلاسمایی یاخته متصل است.
- امکان ساخته‌شدن هر دو نوع دِنای حلقوی و خطی در خارج از مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم (درون نوعی اندامک) (محصور در غشا) وجود دارد:

DNA حلقوی ← اندامک میتوکندری یا کلروپلاست

DNA خطی ← اندامک هسته

- (ATP , NADH , $FADH_2$, NADPH) نوکلئیک‌اسید به حساب نمی‌آیند.
- ATP تنها از یک نوکلئوتید تشکیل شده است.
- ($NADH$, $NADPH$, $FADH_2$) از دو نوکلئوتید تشکیل شده‌اند.
- در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود.
- با توجه به شکل مقابل، در پیوند فسفودی‌استر، دو پیوند قند ـ فسفات مشاهده می‌شود.
- نوکلئوتیدها علاوه بر نقش ساختاری، در واکنش‌های سوخت‌وسازی نیز دخالت دارند.
- رِنا مولکولی تک‌رشته‌ای است و از روی بخشی از یکی از رشته‌های دِنا ساخته می‌شود.



نقش انواع رِنا:

۱ رنای پیک (mRNA) ← اطلاعات را از دِنا به رِناتن‌ها می‌رساند. رِناتن با استفاده از اطلاعات رِنای پیک، پروتئین‌سازی می‌کند.

۲ رنای ناقل (tRNA) ← آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رناتن‌ها می‌برد.

۳ رِنای رناتنی (rRNA) ← در ساختار رِناتن‌ها حضور داشته و نقش آنزیمی را برعهده دارد.

۴ رِناهای کوچک ← دخالت در تنظیم بیان ژن

- ATP علاوه بر آنکه در رونویسی به عنوان پیش‌مادهٔ آنزیم رِنابسپاراز مورد استفاده قرار می‌گیرد، منبع رایج انرژی در یاخته است و در فعالیت‌های مختلف استفاده می‌شود:

۱ جذب کلسیم و آهن در رودهٔ باریک

۲ جذب ویتامین B_{12} به همراه فاکتور داخلی معده به روش درون‌بری

۳ بازجذب و ترشح بیشتر مواد در نفرون

۴ بازگشت کلسیم به شبکهٔ آندوپلاسمی در پایان انقباض ماهیچه

۵ طی فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم

۶ بارگیری و باربرداری آبکشی در گیاهان

- منافذ پلاسمودسم آن‌قدر بزرگ است که پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسید و حتی ویروس‌های گیاهی از آن عبور می‌کند.
- همهٔ انواع دِناهای حلقوی در یوکاریوت‌ها می‌توانند به طور مستقل از هسته همانندسازی می‌شوند:

۱ دِنای حلقوی در میتوکندری

۲ دِنای حلقوی در کلروپلاست

۳ پلازمید یا دیسک

- با ساختار و عملکرد انواع رناها (tRNA و ...) در فصل ۲ دوازدهم به طور دقیق‌تر آشنا می‌شوید.

گزاره‌های «صحیح و غلط»

۱- هر نوکلئیک‌اسید دورشته‌ای که در هسته وجود دارد، امکان ندارد با مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم در تماس قرار بگیرد

۲- امکان مشاهدهٔ نوکلئیک‌اسید خطی در باکتری‌ها وجود ندارد

۳- هر نوع دِنایی می‌تواند توسط نوعی غشا احاطه شده باشد

۴- نوکلئیک‌اسیدهای سه‌فسفاته تنها در واکنش‌های ساختاری به عنوان پیش‌ماده استفاده می‌شوند.

۵- در یاختهٔ یوکاریوتی فاقد میتوکندری و کلروپلاست، هیچ‌گاه ممکن نیست دِنای حلقوی مشاهده شود.

۶- هر نوع نوکلئیک‌اسیدی که واجد حلقه می‌باشد، حین مراحل ساخت آن به نوعی آنزیم هیدرولازکنندهٔ پیوندهای هیدروژنی نیاز است.

۷- هر نوع نوکلئیک‌اسید که فاقد قطبیت می‌باشد، تنها می‌تواند توسط یک نوع رِنابسپاراز به عنوان الگو قرار گیرد.

۸- هر نوع پیوند قند ـ فسفات حین تشکیل رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی می‌تواند ساخته یا شکسته شود.

۹- هر نوکلئیک‌اسید خطی که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی با مولکول رِنای پیک را دارد، برای ورود به سیتوپلاسم باید از عرض غشاهای هسته عبور نماید.

۱۰- هر نوع نوکلئیک‌اسیدی که توانایی برقراری پیوند هیدروژنی با نوکلئوتیدهای خود را دارد، فاقد قند ریبوز است.

پاسخ گزاره‌های «صحیح و غلط»:

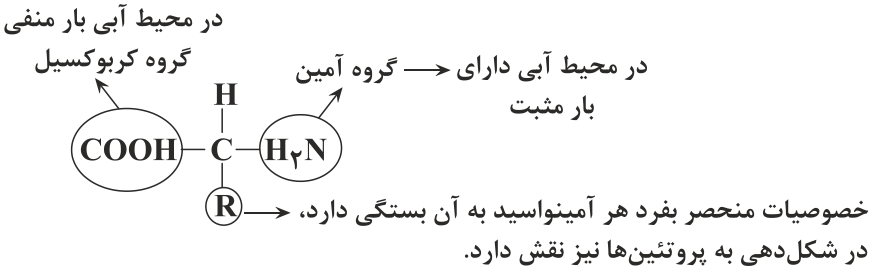
۱- غلط. تحت شرایطی و هنگام میتوز این امکان وجود دارد. هنگام که غشای هسته از بین رفته و کروموزوم‌ها در تماس با محتویات سیتوپلاسم قرار می‌گیرند.

۲- غلط. رِنا نوعی نوکلئیک‌اسید خطی است.
۳- صحیح. دِنای حلقوی در میتوکندری و دِنای خطی در هسته توسط غشا احاطه شده‌اند. همچنین این موضوع برای دِنای حلقوی پروکاریوت‌ها نیز صادق است که توسط غشای پلاسمایی یاخته احاطه شده‌اند. هم‌چنین دنای حلقوی کمکی (دیسک) در بعضی قارچ‌ها توسط غشای پلاسمایی یاخته احاطه شده است.
۴- غلط. برای مثال، ATP در واکنش‌های سوخت‌وسازی نقش دارد.
۵- غلط. در یاختهٔ مخمر می‌توان دیسک (نوعی دنای حلقوی) مشاهده کرد.
۶- غلط. در مورد دِنای حلقوی و تاخوردگی اولیهٔ رنای ناقل باید توجه شود که به ترتیب هلیکاز و رِنابسپاراز پیوندهای هیدروژنی را می‌شکنند. ولی نام این فرایند هیدرولیز نیست !!!
۷- غلط. در مورد دیسک مخمر صادق نیست.
۸- غلط. در مورد پیوند داخل نوکلئوتیدی صادق نیست.
۹- غلط. در مورد رِنای ناقل پروکاریوتی و رنای ناقل میتوکندری و کلروپلاست صادق نیست.
۱۰- غلط در مورد رِنای ناقل صادق نیست.

سطوح ساختاری پروتئین

ساختار و عمل پروتئین‌ها بستگی دارد به	۱) نوع آمینواسیدها
	۲) تعداد آمینواسیدها
	۳) ترتیب آمینواسیدها

ساختار آمینواسید



برای ایجاد پیوند پپتیدی، OH از گروه کربوکسیلی و H از آمین خارج شده و با هم یک مولکول آب تولید می‌کنند.

همچنین آمینواسیدها از طریق پیوند $-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-\underset{\underset{\displaystyle O}{||}}{C}-$ به هم متصل می‌شوند.

در فرایند ایجاد پیوند پپتیدی چون مولکول‌های آب تولید می‌شوند. داخل سلول رقیق‌تر شده و در نتیجه آن فشار اُسمزی محیط کاهش می‌یابد (ترکیبی فصل ۲ دهم)

ساختار اول پروتئین	۱) براساس ترتیب قرارگیری خطی آمینواسیدها در رشتهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد.
	۲) تعداد ،انواع و ترتیب آمینواسیدها در آن بسیار مهم می‌باشد.
	۳) با توجه به این‌که ۲۰ نوع آمینواسید و بدون محدودیت در رشتهٔ پلی‌پپتیدی شرکت می‌کنند تنوع این ساختار بسیار زیاد است.
	۴) بقای ساختارهای دیگر پروتئین، به این ساختار بستگی دارد.
	۵) در ایجاد آن پیوندهای پپتیدی (نوعی پیوند کووالان) نقش دارند.

ساختار دوم (الگوهایی‌هایی از پیوند هیدروژنی)	علاوه بر پیوند کووالان پپتیدی، دارای پیوند هیدروژنی می باشد که اساس ایجاد ساختار دوم است.
	در یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی می‌باشد.
	دو نمونهٔ معروف آن (نه تنها نمونه‌ها) به صورت مارپیچ یا صفحه‌ای دیده می‌شود.

ساختار سوم (تاخورده و متصل به هم)	ساختاری کروی در اثر تاخوردگی بیشتر صفحات و مارپیچ‌ها
	گروه‌های R آمینواسیدهایی که آب‌گریزند، به یکدیگر نزدیک می‌شوند تا در معرض آب نباشند.
	با تشکیل پیوندهایی مانند پیوند هیدروژنی، یونی و اشتراکی این ساختار تثبیت می‌شود و دارای ثبات نسبی است.
	میوگلوبین نمونه‌ای از پروتئین‌ها با ساختار سوم است.

ساختار چهارم (آرایش زیرواحدها)	هنگامی شکل می‌گیرد که دو یا چند زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی در کنار هم قرار بگیرند.	
	نحوهٔ آرایش زیرواحدها را ساختار چهارم پروتئین می‌نامند. این ساختار در بعضی پروتئین‌ها مشاهده می‌شود.	
	مثال: هموگلوبین	۱) ترتیب خاصی از آمینواسیدها در ساختار اول ۲) در ساختار دوم به شکل مارپیچ درمی‌آید. ۳) در ساختار سوم هر کدام از زنجیره‌ها تا خورده و شکل خاصی پیدا می‌کنند. ۴) زیرواحدها کنار هم قرار می‌گیرند و هموگلوبین را می سازند.

- پروتئین‌ها از یک یا چند زنجیرهٔ بلند و بدون شاخه از پلی‌پپتیدها ساخته شده‌اند. از آنجا که زنجیره‌های پلی‌پپتیدی پروتئین‌ها بدون شاخه‌اند، هر آمینواسید حداکثر ۲ پیوند پپتیدی تشکیل می‌دهد.
- پیوند هیدروژنی بین هیدروژن گروه آمین و اکسیژن گروه کربوکسیل برقرار می‌شود.
- یک زنجیره پلی‌پپتیدی می‌تواند در بخش‌های مختلف خود، ساختارهای دوم متفاوتی داشته باشد، مثلاً در بعضی بخش‌های آن ساختار صفحه‌ای و در بعضی بخش‌های دیگر ساختار مارپیچ موجود داشته باشد.
- تشکیل ساختار سوم ← پیوندهای آب‌گریز

  تثبیت ساختار سوم ← پیوندهایی مانند هیدروژنی، اشتراکی و یونی
- هموگلوبین دارای ۲ زنجیرهٔ آلفا و ۲ زنجیرهٔ بتا می‌باشد. هر زنجیره، یک گروه هم دارد که یک اتم آهن (Fe^{2+} نه Fe^{3+}) به آن متصل است. اکسیژن می‌تواند به صورت برگشت‌پذیر به این اتم آهن متصل شود.
- پروتئین‌های میوزین، انسولین فعال و هموگلوبین دارای سطوح ساختاری چهارم هستند.

پروتئینی که برای اولین‌بار ساختار آن مشخص شد (میوگلوبین)	۱) شبیه هموگلوبین است و در ماهیچه‌ها وجود دارد.
	۲) کار آن ذخیره اکسیژن است تا در مواقع لزوم آن را در اختیار تار ماهیچه ای قرار دهد.
	۳) تارهای ماهیچه‌ای کند (قرمزتر) به مقدار بیشتری از آن دارند.

پروتئینی که از از دو زیرواحد آلفا و بتا تشکیل شده(هموگلوبین) (ترکیبی با فصل ۲، ۳ و ۴ دهم)	۱) گلبول‌های قرمز هنگام تشکیل در مغز استخوان، هستهٔ خود را از دست داده و ازهموگلوبین پُر می‌شوند.
	۲) غلظت اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید در اطراف آن تعیین می‌کند که باید به آن‌ها بچسبد یا از آن‌ها جدا شود.
	۳) کربن‌دی‌اکسید به محلی غیر از محل اتصال O_2 به هموگلوبین، متصل می‌شود.
	۴) به جای اکسیژن، کربن‌مونوکسید می‌تواند قرار گیرد که ظرفیت حمل اکسیژن را کاهش می‌دهد.
	۵) ۹۷٪ اکسیژن و ۲۳٪ کربن‌دی‌اکسید را حمل می‌کند.
	۶) از تخریب هموگلوبین‌های گویچهٔ قرمز در کبد بیلی‌روبین تولید می‌شود که می‌تواند منجر به یرقان شود.

آمینواسیدها	گروه آمین	هنگامی که در محیط آبی در یاخته قرار می‌گیرند، گروه آمین، بار مثبت و گروه کربوکسیل بار منفی به خود می‌گیرد، این دو گروه در آمینواسیدهای مختلف می‌توانند در حضور آنزیم‌ها به هم نزدیک شده و واکنش سنتز آبدهی انجام دهند.	گروه آمین و کربوکسیل به همراه یک هیدروژن و گروه R همگی به یک کربن مرکزی متصل‌اند.	$H_2N-\underset{H}{\overset{R}{C}}-COOH$
	گروه کربوکسیل			
	گروه R	در آمینواسیدهای مختلف متفاوت است و ویژگی‌های منحصربه‌فرد هر آمینواسید به آن بستگی دارد.		
	اهمیت	اجزای سازندهٔ پروتئین‌ها هستند، هر آمینواسید می‌تواند در شکل‌دهی پروتئین مؤثر باشد و تأثیر آن به ماهیت شیمیایی گروه R بستگی دارد.		
	آمینواسیدها با پیوند پپتیدی که نوعی پیوند اشتراکی است و با حضور آنزیم و در طی واکنش سنتز آبدهی به هم متصل می‌شوند. پیوند پپتیدی با خروج یک مولکول آب و پیوستن دو آمینواسید در جایگاه A ریبوزوم تشکیل می‌شود.			
	انواع گوناگونی دارند، اما فقط ۲۰ نوع از آن در ساختار پروتئین‌ها به کار می‌روند.			

سطح ساختاری	نحوهٔ ایجاد	شکل	ساختارِ چه پروتئین‌هایی؟	توضیحات
اول	ایجاد پیوند پپتیدی (نوعی پیوند کووالان) بین آمینواسیدها	زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی بلند و بدون شاخه	همهٔ پروتیئن‌ها	نوع، تعداد و ترتیب آمینواسیدها مطرح است. همهٔ سطوح دیگر به این ساختار بستگی دارند.
دوم	در اثر ایجاد پیوند هیدروژنی بین بخش‌های مختلف زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی	دو شکل معروف: صفحه‌ای و مارپیچی	همهٔ پروتئین‌ها	برای مثال ساختار دوم هموگلوبین مارپیچی است.
سوم	ایجاد آن ← به دلیل پیوندهای آبگریز؛ با تشکیل این پیوندها، آمینواسیدهای آبگریز در داخل و دور از آب و آمینواسیدهای آبدوست در خارج و در تماس با آب قرار می‌گیرند.	کروی	همهٔ پروتئین‌ها؛ ساختار سوم دارند.	پیوندهایی مانند یونی، هیدروژنی و کووالانسی، باعث تثبیت این ساختار می‌شوند.
چهارم	در اثر نحوهٔ آرایش زیرواحدها در کنار هم ایجاد می‌شود.	شکل‌های متفاوت	بعضی پروتئین‌هاکه از بیش از یک زنجیره تشکیل شده باشند.	مانند هموگلوبین که از ۲ نوع زنجیرهٔ آلفا و بتا تشکیل شده است.

	ساختار نهایی	تعداد زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی	تعداد گروه هم و اتم آهن	مکان قرارگیری
میوگلوبین	سوم	۱	۱	(تارهای تند و کند) (فیبرهای آهسته و سریع)
هموگلوبین	چهارم	۴	۴	گویچه‌های قرمز ← خون

پیوند	نوع پیوند	مونومر	گروه‌های شرکت‌کننده در تشکیل پیوند	واکنش
پپتیدی	کووالانسی	آمینواسیدها	گروه کربوکسیل یک آمینواسید و گروه آمینی آمینواسید دیگر	سنتز آبدهی
فسفودی‌استر	کووالانسی	نوکلئوتیدها	فسفات یک نوکلئوتید و گروه هیدروکسیل از قند نوکلئوتید دیگر	سنتز آبدهی

گزاره‌های «صحیح و غلط»

۱- پروتئین‌ها، پلیمرهای منشعب و از مولکول‌های دارای گروه‌های کربوکسیلی و آمینی هستند.

۲- گروه‌های اسیدی برخلاف گروه‌های آمینی آمینواسیدها هنگام تشکیل پیوند پپتیدی گروه OH خود را از دست می‌دهد.

۳- هر آمینواسیدی که در ساختار پروتئین‌ها قرار می‌گیرد، تنها از طریق عامل آمینی و یا کربوکسیل خود در تشکیل پیوند با آمینواسیدهای دیگر شرکت می‌کند.

۴- تأثیر شکل‌دهی آمینواسیدها به پروتئین‌های مختلف، به ماهیت شیمیایی گروهی بستگی دارد که در ساختار پیوند پپتیدی شرکت ندارد.

۵- در ساختار نهایی پروتئین‌های دارای یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی، پیوندهای پپتیدی بین گروه‌های اسیدی و آمینی به وجود می‌آید.

۶- در ساختار دوم متنوع‌ترین مولکول‌های زیستی، امکان دارد آمینواسیدی همزمان دو پیوند هیدروژنی برقرار کند.

۷- پیوندهای تشکیل‌دهندهٔ ساختار دوم پروتئین‌ها برخلاف پیوندهای تشکیل‌دهندهٔ ساختار اول آن همراه با آزادشدن مولکول آب تشکیل می‌شوند.

۸- هموگلوبین همانند میوگلوبین دارای پیوندهای یونی و آبگریز و ساختاری می‌باشد و از طریق بخش پروتئینی خود توانایی تشکیل پیوند با مولکول O_2 را دارد.

۹- سطحی از سطوح ساختاری پروتئین‌ها که حاصل تاخوردگی رشتهٔ مارپیچی پلی‌پپتیدی است، می‌تواند تعیین‌کنندهٔ شکل فضایی میوگلوبین باشد.

۱۰- سطحی از سطوح ساختاری پروتئین‌ها که حاصل تاخوردگی رشته‌های با ساختارهایی مانند ساختار مارپیچی یا صفحه‌ای پلی‌پپتیدی است، می‌تواند وابسته به ایجاد پیوندهای آبگریز باشد.

۱۱- وجه مشترک مولکول‌هایی که متنوع‌ترین مولکول‌های زیستی از نظر ساختار شیمیایی و عملکردی به شمار می‌روند، این است که ساختار چهارم آن‌ها وابسته به توالی آمینواسیدها است.

۱۲- هر پروتئینی که دارای سطح ساختاری سوم می‌باشد، در پی ترجمه یک مولکول mRNA در سیتوپلاسم تولید شده است.

۱۳- ساختاری از پروتئین‌ها که در آن نوع، تعداد و تکرار آمینواسیدها مطرح است، برخلاف ساختار ریبونوکلئیک‌اسیدها، هیچ‌گاه نمی‌تواند پیوند غیراشتراکی داشته باشد.

۱۴- مولکول‌های پروتئینی که در گویچه‌های قرمز به فراوانی یافت می‌شوند، دارای ساختار چهارم پروتئین هستند. در انتقال پنی‌سیلین نقش ندارند.

۱۵- اولین مولکول پروتئین که ساختار آن شناسایی شد، همانند مولکول‌های میوزین و هیستون، دارای ساختار سوم پروتئینی است.

پاسخ گزاره‌ها «صحیح و غلط»:

۱- نادرست. پروتئین ها،پلیمر خطی‌اند

۲- درست. گروه اسیدی OH و گروه آمینی H خود را از دست می‌دهد.

۳- نادرست. بین آمینواسید پیوندهای هیدروژنی، یونی و ... نیز تشکیل می‌شود.

۴- درست. منظور گروه R است.

۵- نادرست. ساختار نهایی پروتئین‌های دارای یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی ساختار سوم است که در آن پیوند پپتیدی تشکیل نمی‌شود.

۶- درست.

۷- نادرست. پیوندهای پپتیدی در ساختار اول همراه با آزادشدن آب تشکیل می‌شوند.

۸- نادرست. این دو مولکول از طریق گروه هم و اتم آهن که غیرپروتئینی است، به O_2 متصل می‌شوند.

۹- درست. منظور ساختار سوم است؛ و میوگلوبین هم ساختار سوم دارد.

۱۰- درست. منظور ساختار سوم است که در اثر پیوندهای آبگریز تشکیل می شود.

۱۱- نادرست. فقط بعضی پروتئین‌ها ساختار چهارم دارند.

۱۲- نادرست. پروتئینی که ساختار سوم دارد، می‌تواند ساختار چهارم نیز داشته باشد و از چند رشته تشکیل شده باشد، بنابراین بیش از یک mRNA برای ساخت آن نیاز است. (ترکیبی فصل ۲)

۱۳- درست. منظور ساختار اول است که فقط پیوند اشتراکی دارد، در حالی که برخی ریبو نوکلئیک‌اسیدها پیوند هیدروژنی نیز دارند. (ترکیبی درون فصلی)

۱۴- درست. منظور هموگلوبین است و پنی‌سیلین توسط آلبومین حمل می‌شود. (ترکیبی فصل ۴ دهم)

۱۵- درست. منظور میوگلوبین است که همانند بخش کروی میوزین و هیستون ساختار سوم دارد. (ترکیبی فصل ۳ و ۶ یازدهم)

نقش پروتئین‌ها

- **پروتئین‌های متنوع‌ترین گروه مولکول‌های زیستی از نظر ساختار شیمیایی و عملکردی هستند. بسیاری از فرایندهای یاخته ای بر عهده آن ها است.**

۱ **فعالیت آنزیمی: در این فعالیت به عنوان کاتالیزورهای زیستی عمل می‌کنند سرعت واکنش شیمیایی خاصی را زیاد می‌کنند مثل هلیکاز، DNA پلی‌مراز، RNA پلی‌مراز**

۲ **به عنوان گیرنده در سطح یاخته‌ها: مثل گیرنده‌های آنتی‌ژنی در سطح لنفوسیت‌ها یا گیرنده‌های هورمونی در سطح سلول‌ها**

۳ **انتقال و ذخیره گازهای تنفسی: مثال هموگلوبین در خون و میوگلوبین در ماهیچه**

۴ **شرکت در ساختار غشای سلولی: مثل پمپ سدیم ـ پتاسیم که با صرف انرژی زیستی یون‌های سدیم را خارج و یون‌های پتاسیم را وارد می‌کنند یا کانال‌های پروتئینی مسئول جابه‌جایی یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم.**

- **البته پمپ سدیم ـ پتاسیم فعالیت آنزیمی ATP آزی نیز دارد.**
- **پروتئین‌های ساختاری مانند کلاژن که در ساختار زردپی (تاندون)، رباط‌ها و سایر بافت‌های پیوندی شرکت می‌کنند.**
- **پروتئین‌های انقباضی: مانند اکتین و میوزین که در ساختار ماهیچه‌ها شرکت می‌کنند و لغزش آن ها در مجاورت یکدیگر سبب انقباض عضله می‌گردد.**
- **فعالیت هورمون: اکثر هورمون‌های بدن مثل اکسی‌توسین یا انسولین از جنس پروتئین هستند و برای تنظیم فعالیت‌های مختلف بدن پیام‌های لازم را رد و بدل می‌کنند.**