

گفتار ۱ - نوکلئیک اسیدها

هریک از یاخته‌های بدن ما ویژگی‌هایی دارند مانند شکل، اندازه، توانایی‌ها و ... این ویژگی‌ها تحت کنترل

هسته است دستور العمل آنها در حین تقسیم از سلولی به سلول دیگر و در حین تولید مثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. در هسته اطلاعات و دستورالعمل‌های هدایت کننده سلول در کجا ذخیره می‌شود؟ قبلاً آموختیم

که کروموزم‌ها در هسته قرار دارند و در ساختار آنها دنا و پروتئین مشارکت می‌کنند؟

کدامیک از این دو ماده ذخیره کننده اطلاعات وراثتی است؟ DNA

پاسخ این سؤال مشخص شده و آن ماده دنا است که به عنوان ماده ذخیره کننده اطلاعات وراثتی عمل می‌کند.

اما چگونه دانشمندان به این پاسخ رسیده‌اند؟

بیشتر بدانید.

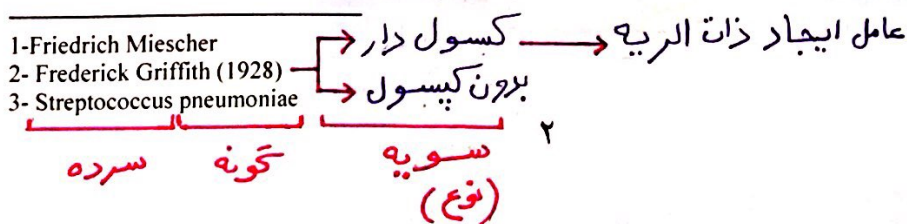


دانشمندی سوئسی به نام میشر^۱ در سال ۱۸۶۹ دنا را کشف کرد. او ترکیبات سفید رنگی را از هسته یاخته‌های بدن انسان و اسپرم ماهی استخراج کرد که نسبت نیتروژن و فسفات در این مواد با نسبت آن در ترکیبات سلولی دیگر متفاوت بود. همین باعث شد که میشر^۲ این ترکیب زیستی جدید را معرفی نماید. او این ماده را نوکلئیک اسید نامید. چون از هسته (Nucleus) استخراج شده بود و خاصیت اسیدی ضعیفی هم دارد.

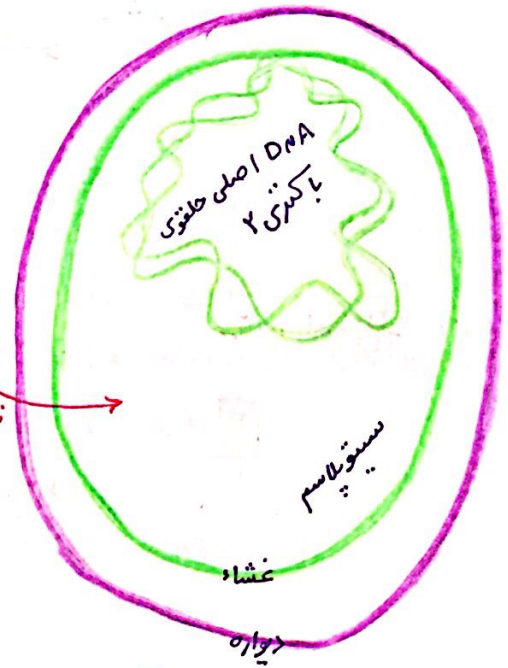
اطلاعات اولیه در مورد ماده وراثتی از کارهای باکتری‌شناسی انگلیسی به نام گریفیت^۳ بدست آمد. او سعی داشت واکسنی بر علیه آنفلوآنزا تولید کند. در آن زمان فکر می‌کردند عامل این بیماری باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا^۳ است. این باکتری بیماری ذات‌الریه را باعث می‌شود. گریفیت با دو نوع از این باکتری آزمایشاتی را روی موش انجام داد. نوع بیماری‌زای آن که کپسول‌دار است در موش ایجاد ذات‌الریه می‌کند و نوع غیر بیماری‌زا و بدون کپسول موش را بیمار نمی‌کند. (شکل ۱)

شکل اضافه می‌شود

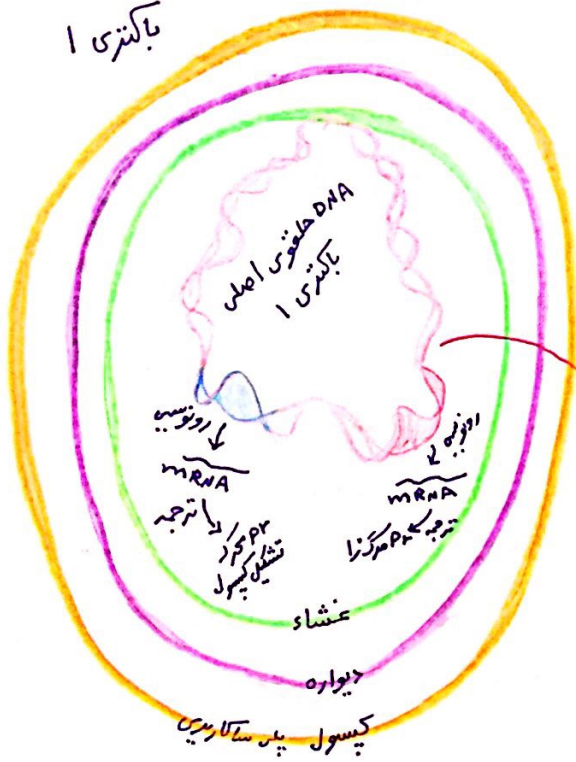
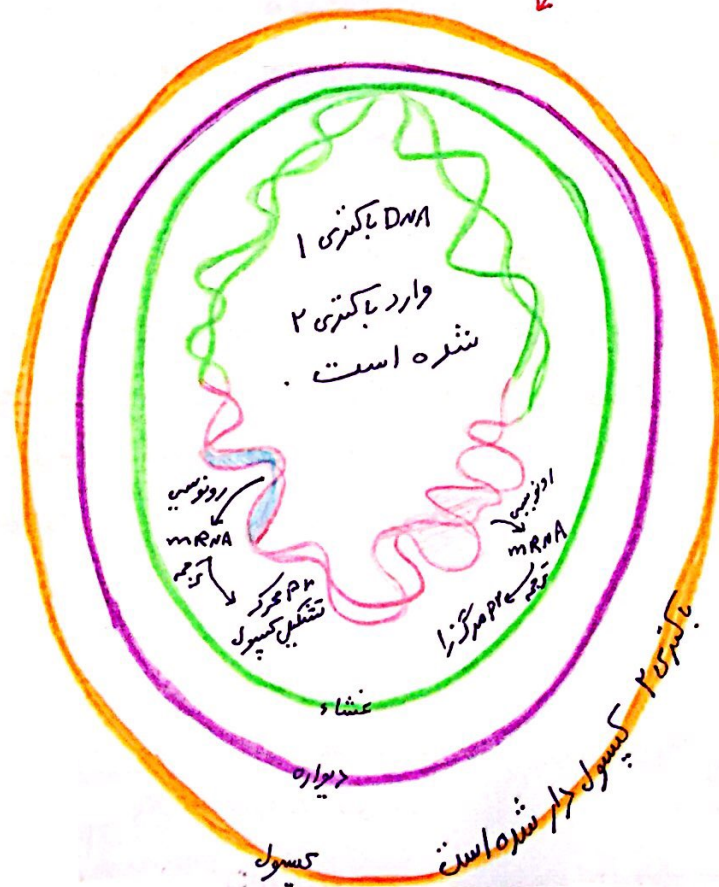
شکل ۱ - شکل رسامی شده از باکترهای کپسول‌دار و بدون کپسول



باکتری ۲

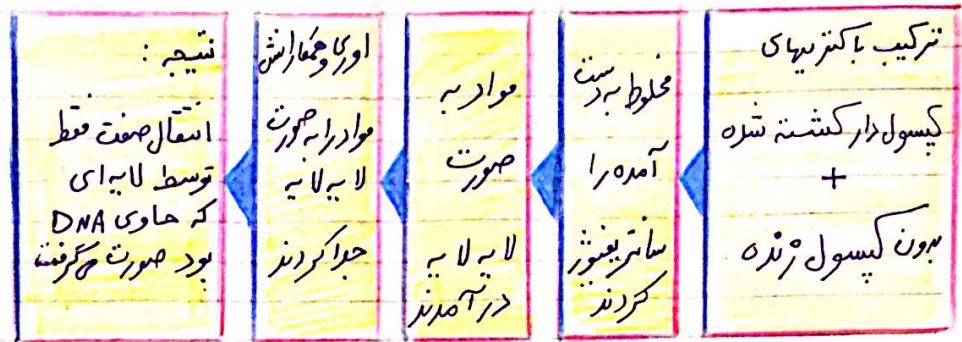


باکتری ۱



- 5

Oswald Avery



وقتی مخلوط بدست آمده را در یک سانتریفوژ (گریزانه) با سرعت بالا قرار داده و مواد آن را به صورت لایه لایه جدا کردند با استفاده از آنها مشاهده کردند که انتقال صفت فقط با لایه‌ای که در آن دنا وجود دارد انجام می‌شود.

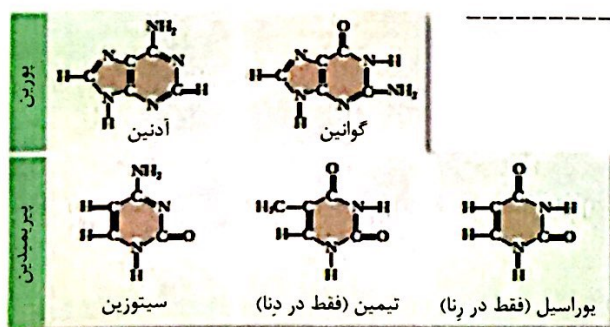
نتایج این آزمایشات انکارناپذیر بود و آوری و همکارانش را به این نتیجه رساند که عامل اصلی مؤثر در این انتقال دنا است و به عبارت ساده‌تر دنا همان ماده وراثتی است. با این حال نتایج بدست آمده مورد قبول عده‌ای قرار نگرفت چون بسیاری از دانشمندان این عقیده را داشتند که پروتئین‌ها ماده وراثتی هستند.

در آزمایش‌های دیگری عصاره‌ی باکتری‌های کپسول‌دار را استخراج و آن را به چند قسمت تقسیم کردند. به هر قسمت آنزیم تخریب کننده یک ماده آلی را اضافه کردند. هر کدام را به محیط کشت حاوی باکتری بدون کپسول منتقل و اجازه دادند تا فرصتی برای انتقال صفت و رشد و تکثیر داشته باشند. مشاهده شد که در همه ظروف انتقال صورت می‌گیرد به جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب کننده دنا است.

ساختار اسیدهای نوکلئیک

نوکلئیک اسیدها که شامل **دئوکسی ریبونوکلئیک اسید (دنا - DNA)** و **ریبونوکلئیک اسید (رنا - RNA)** هستند همه پلی‌مرهایی از واحدهایی تکرارشونده به نام **نوکلئوتید** می‌باشند. با توجه به شکل ۴ هر نوکلئوتید شامل سه بخش است.

یک قند ۵ کربنه یا پنتوز که در دنا **دئوکسی ریبوز** و در رنا **ریبوز** است. دئوکسی ریبوز یک اکسیژن کمتر از ریبوز دارد. بخشی که دارای یک تا سه گروه فسفات (PO_4^-) است و یک باز آلی نیتروژن‌دار که می‌تواند **پورین** باشد که ساختار دو حلقه‌ای دارند شامل آدنین (A) یا گوانین (G) یا می‌تواند **پیریمیدین** باشد که ساختار تک حلقه‌ای دارد شامل تیمین (T) سیتوزین (C) و یوراسیل (U). در دنا باز یوراسیل کاربرد ندارد و به جای آن تیمین وجود دارد.



شکل - انواع بازهای آلی نیتروژن‌دار

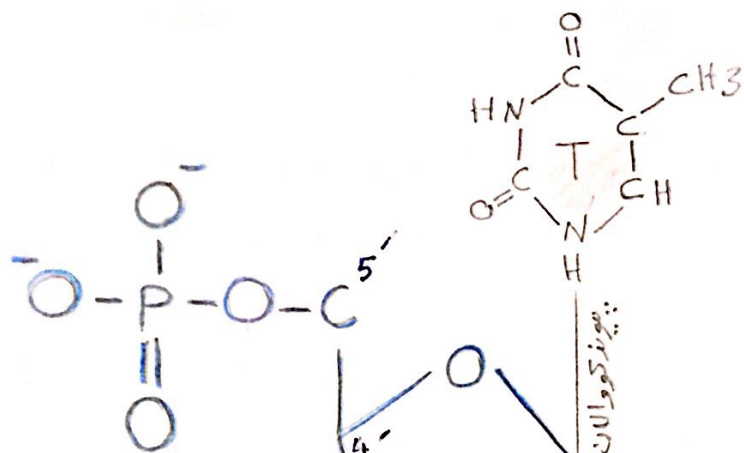
پورین (دو حلقه‌ای): **G گوانین** - **A آدنین**
پیریمیدین (تک حلقه‌ای): **C سیتوزین** - **U (یوراسیل)** - **T تیمین**

۴

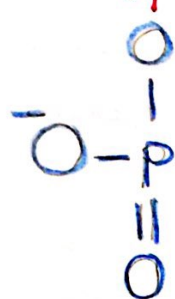
A-T-G-C : DNA

A-U-G-C : RNA

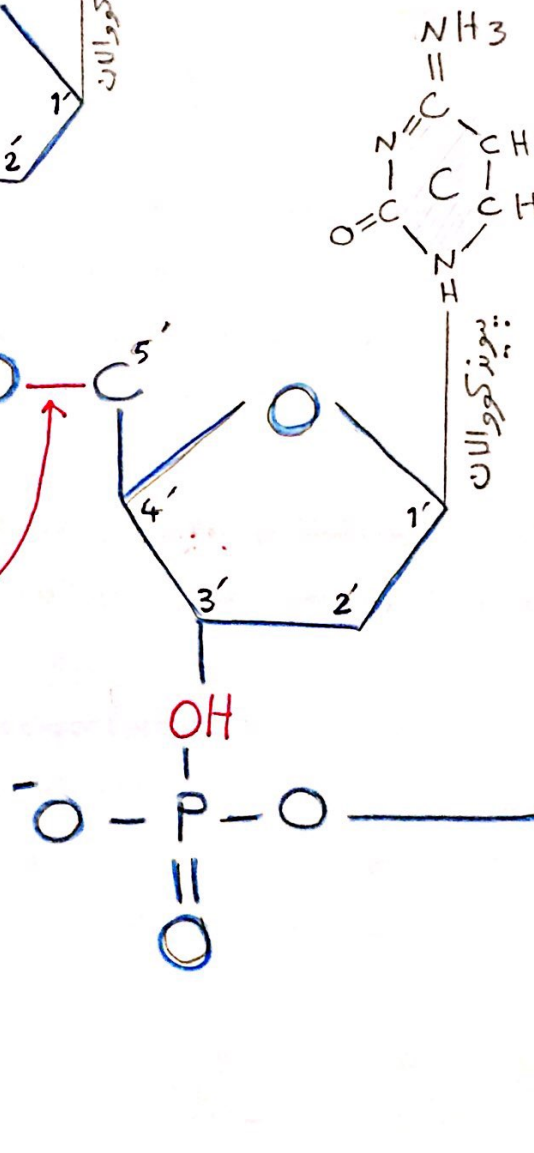
phosphodiester bond



ester bond



ester bond



• افزوده شدن نوکلئوتید به زنجیره پلی نوکلئوتیدی در حال رشد با طول n نوکلئوتید، به صورت واکنش زیر نمایش داده می شود: $xTP + (xMP)_n \rightarrow (xMP)_{n+1} + p-p$

برای تشکیل یک نوکلئوتید باز آلی نیتروژندار و گروه فسفات به دو طرف قند با پیوند کوالان متصل می شوند

(شکل ۴)

پیوند کوالان با کربن ۱ قند

• شرط افزوده شدن نوکلئوتید به نوکلئوتید قبلی،

وجود $3'OH$ آزاد است.

• DNA پلیمرز III فقط در صورت وجود $3'OH$

آزاد، قادر به اضافه کردن نوکلئوتید به نوکلئوتید قبلی

قبله (با داشتن الگو) است.

• آنزیم می تواند بدون وجود $3'OH$ آزاد و

با داشتن الگو، نوکلئوتیدهای RNA ای را در زنجیره قرار دهد پرایماز است.

نوکلئوتیدها با پیوند فسفودی استر به هم متصل و رشته های

پلی نوکلئوتیدی را می سازند. در پیوند فسفودی استر

فسفات یک نوکلئوتید به هیدروکسیل قند نوکلئوتید دیگر

متصل می شوند. رشته های پلی نوکلئوتیدی یا به تنهایی

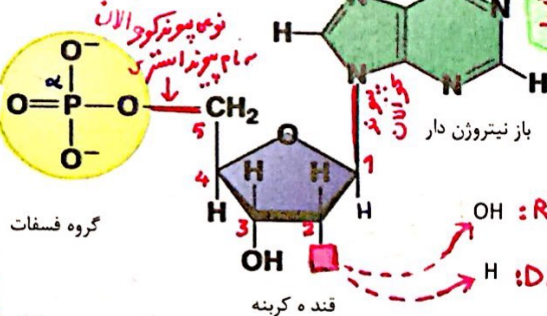
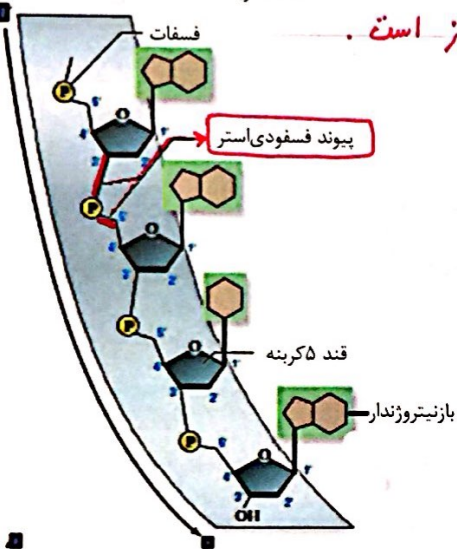
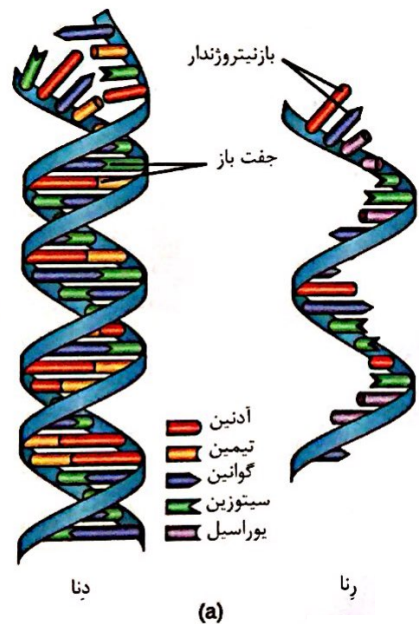
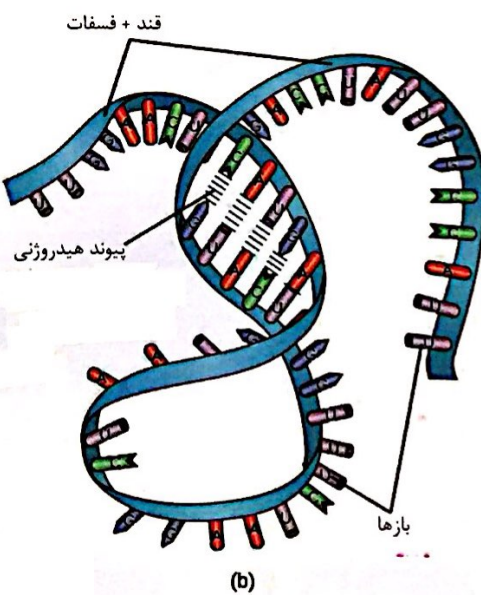
نوکلئیک اسیدها را می سازند مثل RNA یا به صورت دوتایی در

کنار هم قرار گرفته و نوکلئیک اسیدها را می سازند مثل DNA.

شکل ۴ و ۵ RNA ← تک رشته ای پلی نوکلئوتیدی

شکل ۴ و ۵ DNA ← دو رشته ای پلی نوکلئوتیدی

شکل ۴- تشکیل رشته نوکلئیک اسید



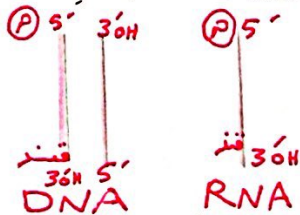
شکل ۵- DNA دورشته ای و RNA تک رشته ای

• پرایماز می تواند قطعات درج ۱۲-۸ نوکلئوتید را (از جنس RNA) تحت عنوان پرایمر بسازد.
• DNA پلیمرز III بعد از عملکرد پرایماز، با وجود $3'OH$ آزاد، می تواند ادامه رشته را بسازد. (با داشتن الگو)
• آنزیم ها یک DNA تک رشته ای را می سازند به الگو احتیاج ندارند مثل آنزیم پلی A پلیمرز - پلی نوکلئوتید پرایمازها

بیشتر باکتری ها
در بعضی ویروس ها
در یوکاریوت ها (درون میتوکندری - درون کلروپلاست)
بیشتر بدانید

در مورد پیوند فسفودی استر اضافه می شود

دو انتهای رشته های پلی نوکلئوتید نیز می توانند با پیوند فسفودی استر به هم متصل شوند و نوکلئیک اسید **حلقوی** را ایجاد کنند برای مثال در باکتری ها دنا به صورت حلقوی است. در نوکلئیک اسیدهای خطی یا گروه فسفات در یک انتها و گروه هیدروکسیل در انتهای دیگر آزاد است. بنابراین رشته های دنا و رنا خطی جدا از اندازه و تعداد مونومرهایشان همیشه دو سر متفاوت دارند.



ساختار ملکولی دنا

در ابتدا تصور می شد که چهار نوع نوکلئوتید موجود در دنا به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده اند. بر این اساس دانشمندان انتظار داشتند که مقدار ۴ نوع باز در تمامی ملکول های دنا از هر جاندار که به دست آمده باشد با یکدیگر برابر باشد.

اما مشاهدات و تحقیقات شارگاف^۱ بر روی دناهای طبیعی نتیجه زیر را بدنبال داشت:

مقدار آدنین موجود در دنا همیشه با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن همیشه با مقدار سیتوزین برابری می کند. تحقیقات بعدی دانشمندان دلیل این برابری نوکلئوتید ها را مشخص کرد

بیشتر بدانید

برخی از نتایج آزمایش های شارگاف (درصد)

گونه	A	T	G	C	$\frac{A+G}{T+C}$	$\frac{A+T}{G+C}$
انسان	۳۱/۰	۳۱/۵	۱۹/۱	۱۸/۴	۱/۰۰	۱/۶۶
مگس سرکه	۲۷/۳	۲۷/۶	۲۲/۵	۲۲/۶	۰/۹۹	۱/۲۲
ذرت	۲۵/۶	۲۵/۳	۲۴/۵	۲۴/۶	۱/۰۰	۱/۰۴

$$A=T \quad G=C \quad \frac{A}{T} = \frac{G}{C} = 1$$

مشاهدات Chargaff:

در مقایسه انسان و مگس سرکه و ذرت:
بیشترین A و T در انسان (۳۱)
بیشترین G و C در ذرت (۲۴)

$$\frac{A+G}{T+C} \rightarrow \begin{cases} = 1 \text{ در انسان} \\ = 1 \text{ در مگس سرکه} \\ = 1 \text{ در ذرت} \end{cases} \quad A+G = T+C$$

مجموع پریمین ها = مجموع پورین ها

$$\frac{A+T}{G+C} \rightarrow \begin{cases} 1 \text{ در مگس سرکه} \\ 1.66 \text{ در انسان} \\ 1.04 \text{ در ذرت} \end{cases}$$

کمترین A و T در ذرت (۲۵)
کمترین G و C در انسان (۱۸-۱۹)

۱- Erwin Chargaff

کل نوکلئوتید = $A+T+G+C$
کل نوکلئوتید = $A+A+G+G$
 $A=T$ $G=C$

کل نوکلئوتیدها = $2A+2C$
" $2T+2C$
" $2A+2G$
" $2T+2G$

در انسان بیشترین (۱.۶۶)
در مگس سرکه (۱.۲۲)
در ذرت کمترین (۱.۰۴)

نسبت $\frac{A+T}{G+C}$

استفاده از پرتو X برای تهیه تصویر از دنا (روزالدین فرانکلین و مورس و ویلیکینز)
با استفاده از تصاویر تهیه شده با کمک پرتو X نیز نتایجی بدست آمد (شکل ۶)



b.



۱. مهمترین نتیجه بدست آمده از آن این بود که دنا حالت مارپیچی دارد و بیش از یک رشته دارد با استفاده از این روش ابعاد ملکول ها را نیز تشخیص دادند.

• اشعه X را به بلور DNA (جامد) تابانند پس از برخورد به DNA، اشعه متفرق شده و در روی فیلم حساس عکاسی (که در پشت بلور DNA قرار داده شده بود) شکل مقابل را ایجاد کرد

شکل ۶- تصویر تهیه شده با پرتو X از دنا

مدل ملکولی دنا

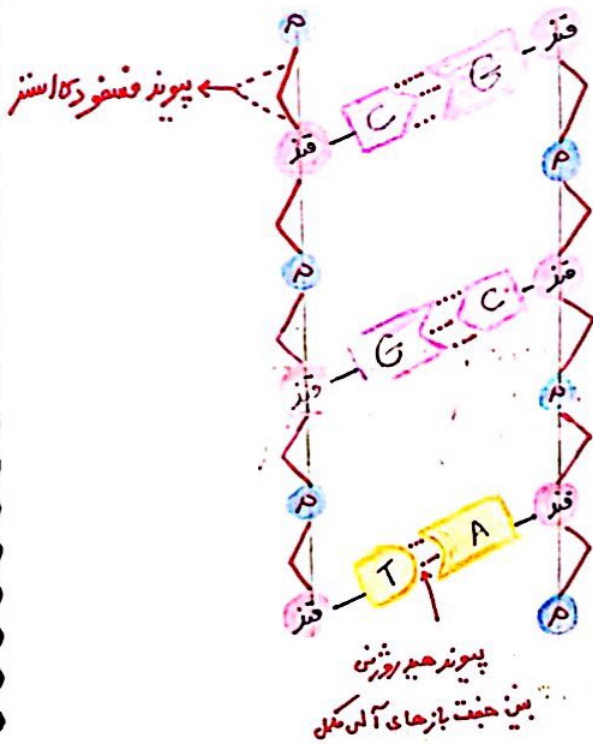
واتسون^۱ و کریک^۲ با استفاده از نتایج آزمایش های شارگاف و داده های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتوهای X و با استفاده از یافته های خود مدل ملکولی را ساختند که باعث شد سال ۱۹۶۲ جایزه نوبل را دریافت کنند. نتایج حاصل از این تحقیقات مورد تأیید تحقیقات امروزی نیز هست.

شکل ۷- واتسون و کریک و مدل دنا ی پیشنهادی آنها

دو مورد وجود دارند که سبب پایداری مارپیچ DNA می شوند: (۱) نیروهای پیوندهای هیدروژنی (۲) نیروهای انباشتگی حفته بازها

(base pair stacking forces)

پیوند هیدروژنی - بین جفت بازهای آلکلی کامل
 در ناحیهی پله های نردبان مارپیچی DNA
 وجود دارد و یکی از عواملی هستند که سبب
 می شوند دو رشته ی DNA در کنار هم
 باقی بمانند. $\left\{ \begin{array}{l} \text{بین A و T} \\ \text{بین G و C} \end{array} \right.$ ۲ تا ۳
 تعداد پیوند هیدروژنی



$$\text{تعداد پله در یک مولکول DNA} = \left(\begin{array}{c} \text{تعداد} \\ \text{A} \\ \text{T} \end{array} \times 2 \right) + \left(\begin{array}{c} \text{تعداد} \\ \text{G} \\ \text{C} \end{array} \times 3 \right)$$

تعداد نوکلئوتیدها - تعداد پیوند هیدروژنی = تعداد نوکلئوتید G و یا C

$$\begin{aligned} \text{تعداد پیوند هیدروژنی در DNA} &= 2A + 3G \\ &= 2A + 3C \\ &= 2T + 3G \\ &= 2T + 3C \end{aligned}$$

تعداد رشته (۱) - تعداد نوکلئوتید = (در یک رشته ی بین نوکلئوتید خط) - تعداد پیوند فسفوردی استر
 تعداد رشته (۲) - تعداد نوکلئوتید = (در DNA خط) -
 تعداد نوکلئوتید = (در DNA حلقوی) -

محور فرضی طولی

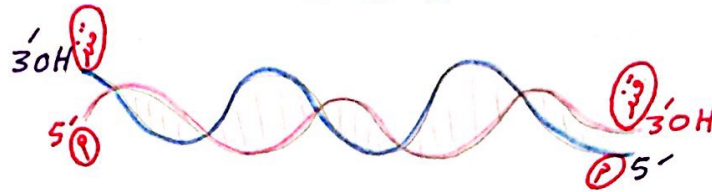


تکات کلیدی مدنظر در این مدل:

ناهمسو

- هر ملکول دنا در حقیقت از دو رشته پلی نوکلئوتیدی ساخته شده است که به دور محوری فرضی پیچیده شده و ساختار مارپیچ دو رشته‌ای را ایجاد می‌کند. این مارپیچ اغلب با یک نردبان پیچ خورده مقایسه می‌شود که در آن دو رشته نرده‌های کنار نردبان را تشکیل می‌دهند و در آن قند و فسفات تکرار شده و با پیوند فسفودی استری به هم وصل شده‌اند. پله‌های این نردبان نیز بازهای آلی مکمل متصل به قند هستند که هر کدام با باز آلی رشته دیگر پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند. شکل ۸

مکمل خود در

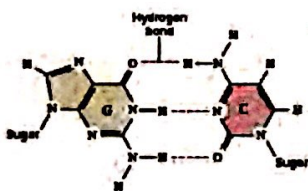


در رشته‌ی DNA، ناهمسو هستند

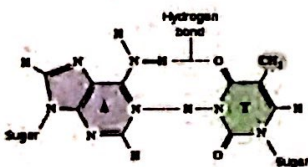
شکل ۸- مدل مارپیچ دو رشته ای دنا

- پیوندهای هیدروژنی بین بازها، دو رشته دنا را در مقابل هم نگه می‌دارد. این پیوندها بین جفت بازها به صورت اختصاصی تشکیل می‌شوند. آدنین (A) با تیمین (T) در کنار هم قرار می‌گیرند و گوانین (G) با سیتوزین (C) جفت می‌شوند. به این جفت بازها بازهای مکمل می‌گویند. بین C و G بیشترین پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود.

مکمل بودن باز های آلی نتایج آزمایشات شارگف را نیز تایید می‌کند. تعداد پیوندهای هیدروژنی بین C و G ۳ است. چارگف خود موضوع مکمل بودن بازها را تأیید کرد. بین A و T ۲ است. بیشتر بدانید



۳ پیوند هیدروژنی بین G و C



۲ پیوند هیدروژنی بین A و T

شکل ... بازهای مکمل (بیشتر بدانید است)

• در مولکول DNA : همواره در پله ها ، یک پیوسته در مقابل یک پیوسته قرار می گیرد و قطر DNA ثابت می ماند

A در مقابل T
G در مقابل C

قرارگیری جفت بازها به این صورت باعث ثبات قطر دو رشته نیز می شود چون در هر صورت یک باز تک حلقه ای در مقابل یک باز دو حلقه ای قرار می گیرد. ثبات قطر دنا باعث پایداری اطلاعات آن شده و در فشرده شدن بهتر کروموزوم ها مؤثر است.

• دو رشته ای DNA مکمل هستند نه مشابه •

جفت شدن بازهای مکمل نتیجه دیگری هم دارد، اگر چه دو رشته یک مولکول دنا یکسان نیستند ولی شناسایی ترتیب نوکلئوتیدهای هر کدام می تواند ترتیب نوکلئوتیدهای رشته دیگر را هم مشخص کند. مثلاً اگر ترتیب نوکلئوتیدها در یک رشته ATGC باشد ترتیب نوکلئوتیدها در رشته مکمل آن باید TACG باشد.

اگر چه پیوند هیدروژنی به تنهایی انرژی پیوند کمی دارد ولی وجود هزاران یا میلیون ها نوکلئوتید و برقراری پیوند هیدروژنی بین آن ها به مولکول دنا حالت پایداری می دهد. در عین حال در موقع نیاز هم می توانند در بعضی از نقاط از هم جدا شوند و بدون اینکه پایداری آن به هم بخورد وظایف خود را انجام دهند.

• پیوندهای هیدروژنی

← به تنهایی انرژی پیوند کمی دارند
← هزاران یا میلیون ها از این پیوند ← پایداری مولکول DNA

ژن چیست؟ توالی نوکلئوتیدی در DNA

در بعضی نقاط DNA ، پیوند هیدروژنی قطع می شود مثلاً در پروسه های DNA (برون آید پایداری DNA به هم بخورد)
در پروسه های DNA ، پیوند هیدروژنی قطع می شود مثلاً در پروسه های DNA (برون آید پایداری DNA به هم بخورد)
در پروسه های DNA ، پیوند هیدروژنی قطع می شود مثلاً در پروسه های DNA (برون آید پایداری DNA به هم بخورد)

که دستور ساخت mRNA را در خود دارد •

با ساختار دنا آشنا شدید. طبق آزمایشات آوری و همکاری اش اطلاعات وراثتی در دنا قرار دارند و از نسلی به نسل دیگر منتقل می شود. این اطلاعات در واحدهایی به نام ژن سازماندهی شده اند. ژن بخشی از مولکول دنا است که دستورالعمل بروز صفات را در خود ذخیره دارد. از روی آن رنا ساخته می شود. اینکه رنا چگونه دستورالعمل های دنا را اجرا می کند، در فصل های آینده با آن آشنا خواهید شد. تعداد ترتیب بازها کد آلی در DNA

چگونه دستورالعمل های دنا را اجرا می کند، در فصل های آینده با آن آشنا خواهید شد. تعداد ترتیب بازها کد آلی در DNA

چگونه دستورالعمل های دنا را اجرا می کند، در فصل های آینده با آن آشنا خواهید شد. تعداد ترتیب بازها کد آلی در DNA

رنا (RAN) و انواع آن

گفتیم که نوع دیگری از نوکلئیک اسیدها رنا است. مولکول رنا معمولاً تک رشته ای است و از روی بخشی از یکی از رشته های دنا ساخته می شود. با چگونگی این فرایند در فصل بعد آشنا خواهید شد.

رناها نقش های متعددی دارند که به بعضی از آن ها اشاره می کنیم.

رنا پیک (mRNA¹) - اطلاعات را از دنا به ریبوزوم ها می رساند. ریبوزوم با استفاده از اطلاعات رنا پیک پروتئین سازی می کند که در فصل بعد با آن آشنا خواهید شد.

رنا ناقل (tRNA²) - آمینو اسیدها را برای استفاده در پروتئین سازی به سمت ریبوزوم ها می برند.

رنا ریبوزومی (rRNA³) - در ساختار ریبوزوم ها علاوه بر پروتئین رنا ریبوزومی نیز شرکت دارد.

علاوه بر نقش های بالا است برای رنا نقش آنزیمی و دخالت در تنظیم بیان ژن نیز مطرح می شود.

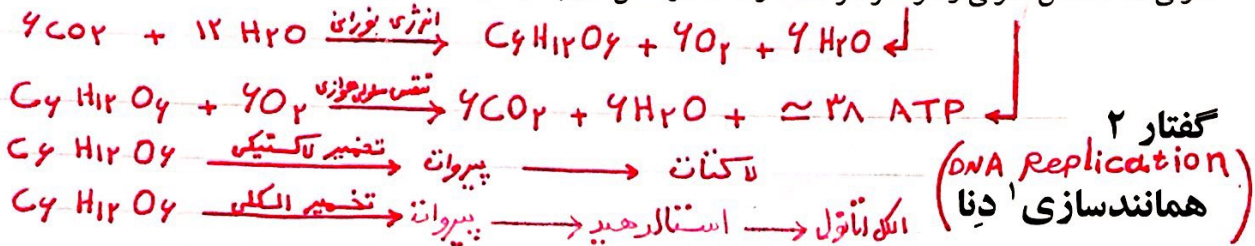
مثلاً mRNA ها که در مهار mRNA نقش دارند
مثلاً mRNA را به دو قطعه می شکند و یا دم پله A را کوتاه می کند و یا ترجمه را آغاز می کند و یا این ترتیب ماخ از بیان کامل ژن می گذرند.
1- messenger RNA
2- transfer RNA
3- ribosomal RNA

مثلاً: نوعی rRNA
در مرحله ای ترجمه ، تشکیل پیوندهای پپتیدی بین آمینو اسیدها را کاتالیز می کند.

- نقش نوکلئوتید ۱. ساخت اسید نوکلئیک : به منظور انتقال صفات وراثتی
۲. ساخت ATP : شکل رایج انرژی شیمیایی قابل مصرف در سلول
۳. ساخت مولکولهای ناقله الکترون (مثل NAD و FAD و NADP) : به منظور پیشبرد واکنشهای نظیر تنفس سلولی (برای تولید انرژی) و فتوسنتز (برای تولید مواد آلی)
- دخالت نوکلئوتیدها در واکنشهای سوخت و سازی

علاوه بر اینکه نوکلئوتیدها واحدهای سازنده دنا و رنا هستند نقشهای اساسی دیگری نیز در یاخته برعهده دارند. برای مثال نوکلئوتید آدنین دار ATP انرژی رایج در سلول است و سلول در فعالیتهای مختلف از آن استفاده می کند.

انواع دیگری از ملکولها که نوکلئوتیدها در ساختار آنها شرکت دارند و به صورت ناقل الکترون در فرایندهای سلولی مانند تنفس سلولی و فتوسنتز شرکت دارند که در فصلهای بعد با آنها آشنا خواهید شد.



با توجه به اینکه دنا به عنوان ماده وراثتی، حاوی اطلاعات یاخته است چگونه این اطلاعات برای انتقال به سلولهای دیگر آماده می شوند؟ مدل واتسون و کریک و وجود رابطه مکملی بین بازها این امکان را بوجود می آورد که از روی هر یک از رشتهها، رشتهای مکمل ساخته شود. به ساخته شدن ملکول دنا جدید از روی دنا قدیمی همانندسازی گویند. اگر چه با وجود رابطه مکملی بین بازها تا حد زیادی همانندسازی دقیق دنا

قابل توضیح است ولی بر همین اساس هم طرحهای مختلفی برای همانندسازی دنا پیشنهاد شده بود. شکل ۹ در مکانیسم حفاظتی، دو رشتهی دختر یک مولکول دوگانه ای (duplex) جدید، مولکول DNA را ساخته و مارپیچ والرن دست نخورده می ماند.



حفاظتی نیمه حفاظتی غیر حفاظتی

۱- همانندسازی حفاظتی - در این طرح هر دو رشته دنا قبلی به صورت دست نخورده باقی مانده و وارد یکی از یاختههای حاصل از تقسیم می شوند و دو رشته دنا جدید هم وارد یاخته دیگر می شود. چون دنا اولیه در یکی از یاختهها حفظ شده است به آن همانندسازی حفاظتی می گویند.

۲- همانندسازی نیمه حفاظتی - در این طرح در هر یاخته یکی از دو رشته دنا آن مربوط به دنا اولیه است و رشته دیگر با نوکلئوتیدهای جدید ساخته شده است. چون در هر یاخته حاصل فقط یکی از دو رشته دنا قبلی وجود

دارد به آن نیمه حفاظتی می گویند.

شکل ۹- طرحهای مختلف برای همانندسازی

در مکانیسم نیمه حفاظتی رشتههای والرن موقتاً از هم جدا شده و هر یک از رشتهها با رشتهی دختر جفت شده با آن، یک مولکول دوگانه را می سازد.

طی آزمایشات معتبر انجام شده توسط مزلسون و اسال، شواهدی قطعی حاصل شد که DNA در رشتهای توسط مکانیسم نیمه حفاظتی همانندسازی می کند. (تکثیر DNA از محیط N^{15} به محیط N^{14} برده شد - E. coli)

بنابر این رونویسی یک رشته DNA الگو به یک رشتهی مکمل و ویژگی عمومی همانندسازی DNA رونویسی DNA به RNA و ویژگی ترمیم و نوترکیب DNA محسوب می شود.

۱- Replication

در روشی که در این تصویر نشان داده شده است، DNA در رشتهای توسط مکانیسم نیمه حفاظتی همانندسازی می کند. (تکثیر DNA از محیط N^{15} به محیط N^{14} برده شد - E. coli)

بنابر این رونویسی یک رشته DNA الگو به یک رشتهی مکمل و ویژگی عمومی همانندسازی DNA رونویسی DNA به RNA و ویژگی ترمیم و نوترکیب DNA محسوب می شود.