فصل ۲

جریان اطلاعات در یاخته

جهش جانشینی دگرمعنا (کوچک)

تصویر بالا دو گویچه قرمز را نشان می‌دهد. گویچهٔ سمت راست مربوط به شخصی است که دچار نوعی بیماری ارثی به نام **کم‌خونی داسی‌شکل**[۱] است. علت این بیماری نوعی تغییر ژنی است که باعث می‌شود پروتئین هموگلوبین حاصل از آن دچار تغییر شود که نتیجه آن تغییر شکل گویچه قرمز از حالت گرد به داسی‌شکل است. این تغییر ژنی، بسیار جزئی است و در آن تنها یک جفت از صدها جفت نوکلئوتید دنا در افراد بیمار تغییر یافته است. همچنین این بیماری به نوعی، رابطهٔ بین ژن و پروتئین را نشان می‌دهد. به‌نظر شما اطلاعات ژن‌ها چگونه در این یاخته‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد؟ آیا این اطلاعات در سایر یاخته‌ها نیز وجود دارد؟ چرا بعضی ژن‌ها مانند ژن سازنده هموگلوبین فقط در گویچه‌های قرمز بروز می‌کنند و مثلاً در یاخته‌های بافت پوششی پوست بروز نمی‌کنند؟ این موارد نمونهٔ پرسش‌هایی هستند که در این فصل به آنها پاسخ داده می‌شود.

ترکیبی ۲ - ۱۲

قرارگیری نوکلئوتید A به جای آدنین یک کدون خاص در هموگلوبین

نمونه:

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

۱- Sickle cell anemia

باکس نکات:

؟ (جاخالی) علت بیماری کم خونی داسی شکل را بنویسید. (تالیفی)

گفتار ۱ رونویسی

در فصل گذشته دیدید که واحد سازندهٔ مولکول دنا، نوکلئوتید است ولی پلی‌پپتیدها از آمینواسید تشکیل شده‌اند. چون دستورالعمل ساخت پلی‌پپتیدها در مولکول دنا قرار دارد، پس باید بین نوکلئوتیدهای ژن و آمینواسیدهای پلی‌پپتید، ارتباطی وجود داشته باشد.

دنا چگونه نوع آمینواسیدهای پلی‌پپتید را تعیین می‌کند؟

آموختید که در مولکول دنا، ۴ نوع نوکلئوتید وجود دارد که فقط در نوع بازهای آلی تفاوت دارند. درحالی‌که پلی‌پپتیدها از ۲۰ نوع آمینواسید تشکیل شده‌اند. پس از پژوهش‌هایی مشخص شد که هر توالی ۳ تایی از نوکلئوتیدهای دنا، بیانگر نوعی آمینواسید است. با ۴ نوع نوکلئوتید به کار رفته در دنا، ۶۴ توالی ۳ نوکلئوتیدی مختلف ایجاد می‌شود که می‌توانند رمز ساخت پلی‌پپتیدهایی با ۲۰ نوع آمینواسید را داشته باشند؛ به هر یک از این توالی‌های سه نوکلئوتیدی در دنا **رمز** می‌گویند.

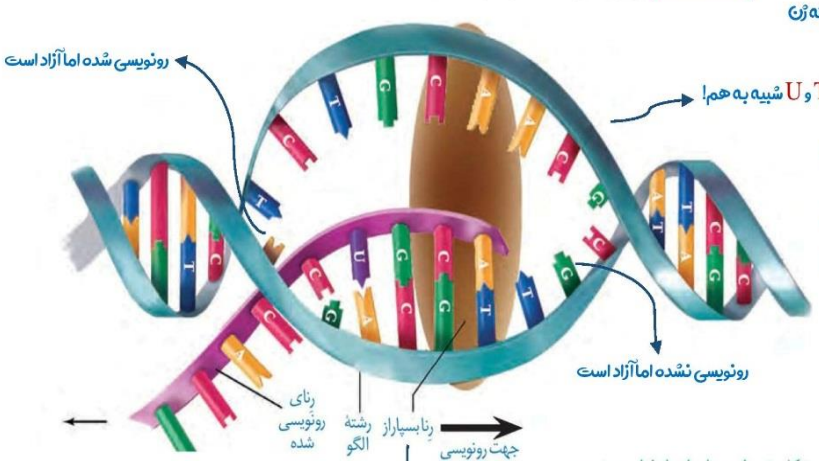
کدون

نقش مولکول رنا به عنوان میانجی

می‌دانید که پلی‌پپتیدها بر اساس اطلاعات دنا و توسط رِناتَن‌ها در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند. در یاخته‌های دارای هسته، چون رِناتَن‌ها درون هسته حضور ندارند، فرایند ساخت پلی‌پپتید در آن انجام نمی‌شود. با توجه به اینکه اطلاعات دنا برای ساخت پلی‌پپتید ضروری است و دنا هم از هسته خارج نمی‌شود، این سؤال پیش می‌آید که دستورات ساخت پلی‌پپتید چگونه به بیرون هسته منتقل می‌شود؟

پاسخ در مولکول رنا است. همان‌طور که دیدید انواعی از رنا در یاخته وجود دارند که در پروتئین‌سازی نقش دارند. این رناها از روی مولکول دنا ساخته می‌شوند. به ساخته شدن مولکول رنا از روی بخشی از یک رشته دنا، **رونویسی**[1] گفته می‌شود (شکل ۱).

یک رشته ژن



شکل ۱ـ طرح ساده‌ای از فرایند رونویسی

* در هر حباب رونویسی ۳ رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی متفاوت دیده می‌شود.
* در هر حباب رونویسی، فقط یک آنزیم RNAپلیمراز فعالیت می‌کند.

باکس نکات:

* در هر چرخهٔ سلولی بارها RNA می‌تواند ساخته شود؛ حتی اگر سلول در مرحلهٔ G_0 باشد.
* محل انجام هردو فرایند رونویسی و همانندسازی درون نوعی اندامک دوغشایی است.

؟ **علت مورد زیر را بنویسید** (شهریور ۱۴۰۰)

در یاخته‌های دارای هسته، فرایند ساخت پلی‌پپتید در هسته انجام نمی‌شود.

اساس رونویسی شبیه همانندسازی است. در این فرایند نیز با توجه به نوکلئوتیدهای رشته دنا، نوکلئوتیدهای مکمل در زنجیره رنا قرار می گیرد و به هم متصل می شوند. برخلاف همانندسازی که در هر چرخهٔ یاخته‌ای یک‌بار انجام می‌شود، رونویسی یک ژن می‌تواند (نه حتما) در هر چرخه بارها انجام شود و چندین رشته رنا ساخته شود. آیا می‌توانید تفاوت‌های دیگری برای این دو فرایند بیان کنید؟

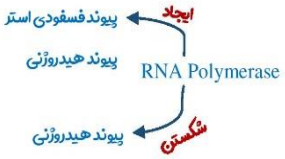
آنزیم‌های ویژه‌ای رونویسی را تسهیل می کنند

در یاخته انواعی از رنا ساخته می‌شود. عمل رونویسی از دنا به کمک آنزیم‌ها انجام می‌شود. این آنزیم‌ها را، تحت عنوان کلی **رنابسپاراز**[1] نام‌گذاری می کنند. (از همه ژن ها رونویسی می کند)

در پروکاریوت‌ها یک نوع رنابسپاراز وظیفهٔ ساخت انواع رنا را بر عهده دارد. در یوکاریوت‌ها، انواعی از رنابسپاراز، ساخت رناهای مختلف را انجام می‌دهند؛ مثلاً رنای پیک توسط رنابسپاراز ۲، رنای ناقل توسط رنابسپاراز ۳ و رنای رِناتَنی توسط رنابسپاراز ۱ ساخته می‌شود. (هرکدوم از ژن خاصی رونویسی می کند)

مراحل رونویسی

رونویسی فرایندی پیوسته است ولی برای سادگی موضوع، آن را به سه مرحلهٔ **آغاز**، **طویل شدن** و **پایان** تقسیم می کنند. در این مراحل، آنزیم رنابسپاراز، عمل رونویسی را از بخشی از یک رشته دنا انجام می‌دهد.



مرحله آغاز[2]: در این مرحله، رنابسپاراز به مولکول دنا متصل می‌شود و دو رشتهٔ آن را از هم باز می کند. به نظر شما برای باز شدن دو رشته کدام پیوندها در این ناحیه شکسته می‌شوند؟ برای اینکه رونویسی ژن از محل صحیح خود شروع شود توالی های نوکلئوتیدی ویژه‌ای در دنا وجود دارد که رنابسپاراز آن را شناسایی می کند. به این توالی‌ها، **راه‌انداز**[3] گفته می‌شود. راه انداز موجب می‌شود رنابسپاراز اولین نوکلئوتید مناسب را به‌طور دقیق پیدا و رونویسی را از آنجا آغاز کند. در این حالت بخش کوچکی از مولکول دنا باز و زنجیره کوتاهی از رنا ساخته می‌شود (شکل ۲ـ الف). نحوهٔ عمل رنابسپاراز به این صورت است که آنزیم با توجه به نوع نوکلئوتید رشته الگوی دنا، نوکلئوتید مکمل را در برابر آن قرار می‌دهد و سپس این نوکلئوتید را به نوکلئوتید قبلی رشته رنا متصل می کند. در رونویسی، نوکلئوتید یوراسیل دار رنا به عنوان مکمل در برابر نوکلئوتید آدنین دار دنا قرار می گیرد.

(خودش رونویسی نمیشود)

(تشکیل پیوند هیدروژنی مقدم بر پیوند فسفودی استر!!!)

مرحله طویل شدن[4]: در این مرحله رنابسپاراز ساخت رنا را ادامه می‌دهد که در نتیجهٔ آن، رنا طویل می‌شود. همچنان که مولکول رنابسپاراز به پیش می‌رود، دو رشته دنا در جلوی آن باز و در چندین نوکلئوتید عقب‌تر، رنا از دنا جدا می‌شود و دو رشتهٔ دنا مجدداً به هم می‌پیوندند (شکل ۲ـ ب). (نه DNA)

(نه بلافاصله عقب تر!)

مرحله پایان[5]: در دنا توالی‌های ویژه‌ای وجود دارد که موجب پایان رونویسی توسط آنزیم رنابسپاراز

۱ـ RNA Polymerase
۲ـ Initiation
۳ـ Promoter
۴ـ Elongation
۵ـ Termination

باکس نکات:

* در یاخته‌های یوکاریوتی همانند پروکاریوت‌ها هر مولکول DNA دارای چندین جایگاه شروع رونویسی است.

* رنابسپاراز ویرایش انجام نمی‌دهد و پیوند فسفودی‌استر را نمی‌شکند.

* در هیچکدام از مراحل رونویسی، شکسته‌شدن پیوند فسفودی‌استر مشاهده نمی‌شود.

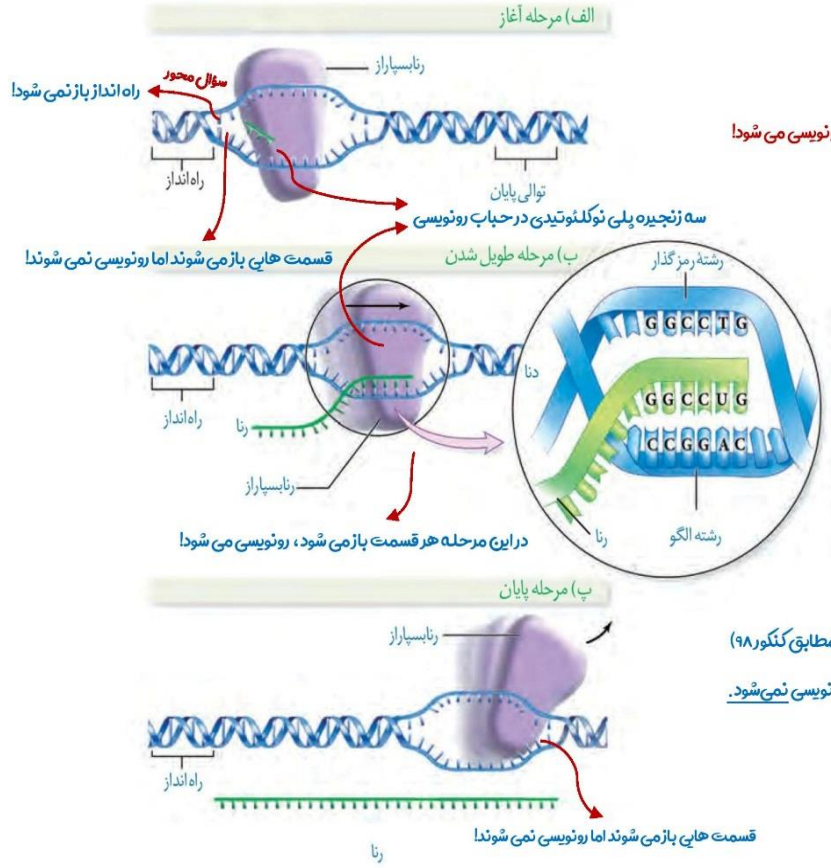
* شکستن پیوند کووالانسی(اشتراکی) در رونویسی، در مراحلهٔ ..... و ..... دیده می‌شود.

؟ (ص/غ) نوع نوکلئوتیدی که در فرایند همانندسازی و رونویسی مقابل نوکلئوتید گوانین‌دار قرار می‌گیرد، یکسان است. (خرداد۱۴۰۲)

(انتخابی) در پروکاریوت‌ها (یک نوع / انواع) رنا بسپار از (RNA پلی‌مراز) وظیفه ساختن انواع رنا را بر عهده دارد. (خرداد ۱۴۰۱)

نام آنزیم باز کننده دو رشته دنا (DNA) در همانندسازی و رونویسی را بنویسید. (خرداد ۱۴۰۲)

می‌شوند. در این محل‌ها، آنزیم از مولکول دنا و رنای تازه ساخت جدا و دو رشتهٔ دنا به هم متصل می‌شوند (شکل ۲ـ پ).



سؤال محور: از توالی پایان رونویسی هم، رونویسی می شود!

شکستن پیوند هیدروژنی در مرحله طویل شدن:

۱) .....

۲) .....

* راه انداز و توالی افزاینده جزو ژن نیستند (مطابق کنکور ۹۸)

* راه انداز برخلاف توالی پایان رونویسی، رونویسی نمی‌شود.

شکل ۲ـ مراحل مختلف رونویسی

فقط یکی از دو رشتهٔ دنا در هر ژن رونویسی می‌شود

همان‌طور که گفته شد، ژن بخشی از مولکول دنای دو رشته‌ای است ولی رونویسی از روی هردو رشته یک ژن انجام نمی‌شود. به نظر شما اگر از روی دو رشتهٔ یک ژن رونویسی انجام می‌شد، محصولات این دو رشتهٔ مکمل نسبت به هم چگونه می‌شدند؟ مسلماً رنا و پلی‌پپتید ساخته‌شده از روی دو رشتهٔ مکمل دنا بسیار متفاوت می‌شدند. بنابراین برای هر ژن خاص، یکی از دو رشته رونویسی می‌شود. به بخشی از رشته دنا که مکمل رشته رنای رونویسی شده است **رشته الگو**[1] می‌گویند (شکل ۲ـ الف). به رشته مکمل همین بخش در مولکول دنا، **رشتهٔ رمزگذار** گفته می‌شود، زیرا توالی نوکلئوتیدی آن شبیه رشته رنایی است که از روی رشته الگوی آن ساخته می‌شود. به نظر شما رشته رنا با رشته رمزگذار چه تفاوت‌هایی می‌تواند داشته باشد؟ پاسخ در نوکلئوتیدهای مورد استفاده است؛ مثلاً به‌جای نوکلئوتید تیمین‌دار در دنا، نوکلئوتید یوراسیل‌دار در رنا قرار دارد.

ژن دو رشته است
↓ اما
رونویسی فقط از یک رشته آن انجام می‌شود

۱ـ Template

۲۴

باکس نکات:

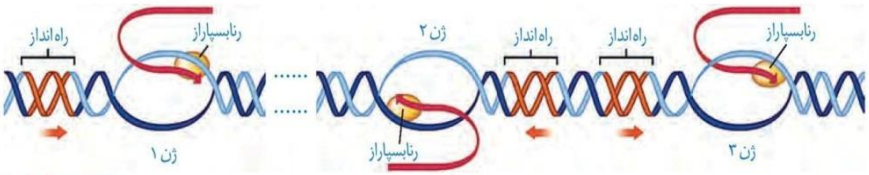
* آنزیم رنابسپاراز در تمام طول رونویسی روی هردو رشتهٔ DNA قرار می‌گیرد ولی رونویسی را فقط از روی یک رشتهٔ DNA انجام می‌دهد.

؟ (جاخالی) رنای رونویسی شده از رشته الگو در ابتدا دارای رونوشت‌های میانه دنا است. به این رنا ..... گفته می‌شود. (خرداد ۱۳۹۹)

رشته رنایی که از روی رشته الگوی دنا ساخته شده است با رشته رمزگذار چه تفاوتی می‌تواند داشته باشد؟ (خرداد ۱۴۰۱)

بسیار مهم!
جهت رونویسی در دو رشته خلاف یکدیگر است!!!
قانون ۳' و ۵'

رشتهٔ مورد رونویسی یک ژن ممکن است با رشته مورد رونویسی ژن‌های دیگر یکسان یا متفاوت باشد (شکل ۳).



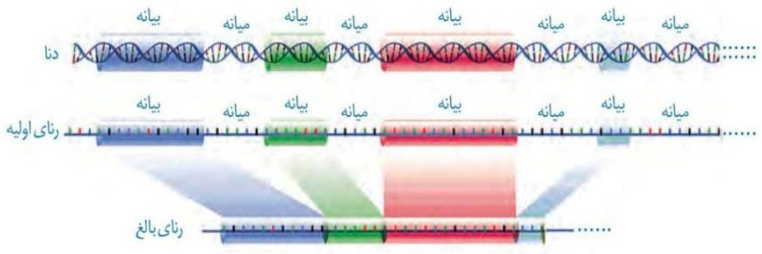
شکل ۳ـ همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، فقط یکی از دو رشته هر ژن رونویسی می‌شود.

رناهای ساخته شده دچار تغییر می‌شوند

در چند دهه گذشته، پژوهشگران دریافتند که در یاخته‌های یوکاریوتی، رنای ساخته شده در رونویسی با رنایی که در سیتوپلاسم وجود دارد تفاوت‌هایی دارد. بعدها مشخص شد که این مولکول‌ها برای انجام کارهای خود دستخوش تغییراتی می‌شوند.

تغییرات رنای پیک

رنای پیک ممکن است دستخوش تغییراتی در حین رونویسی و یا پس از آن شود. یکی از این تغییرات حذف بخش‌هایی از مولکول رنای پیک است. در بعضی ژن‌ها، توالی‌های معینی از رنای ساخته شده، جدا و حذف می‌شود و سایر بخش‌ها به هم متصل می‌شوند و یک رنای پیک یکپارچه می‌سازند. به این فرایند **پیرایش**[1] گفته می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴ـ پیرایش در بخشی از رنای یک ژن

این فرایند هنگامی آشکار شد که دانشمندان یک رنای پیک درون سیتوپلاسم را با رشتهٔ الگوی ژن آن در دنا مجاورت دادند. آنها دریافتند که بخش‌هایی از دنای الگو با رنای رونویسی شده، دو رشته مکمل را تشکیل می‌دهند ولی بخش‌هایی نیز فاقد مکمل باقی می‌مانند. این بخش‌ها به‌صورت حلقه‌هایی بیرون از مولکول دو رشته‌ای قرار می‌گیرند. به این نواحی که درمولکول دنا وجود دارد ولی رونوشت نه خودآن! آن در رنای پیک سیتوپلاسمی حذف شده **میانه (اینترون)**[2] می‌گویند. به سایر بخش‌های مولکول

اینترون و اگزون قسمتی از توالی DNA می‌باشند که توسط آنزیم دنابسپاراز ساخته می‌شوند؛ ولی رونوشت اینترون و اگزون، روی mRNA اولیهٔ یوکاریوتی توسط رنابسپاراز۲ ساخته می‌شوند.

۱ـ Splicing
۲ـ Intron

باکس نکات:

* نکات شکل ۳ :

- ژن‌های مختلف یک مولکول DNA در یک زمان می‌توانند رونویسی شوند؛ ولی رونویسی‌شان جدا از هم است.
- جهت رونویسی در ژن‌های مختلف می‌تواند یکسان یا متفاوت باشد.(رشتهٔ الگو یکسان یا متفاوت.)
- در محل هر ژن قطعا رشته الگو ثابت است؛ زیرا تغییر رشتهٔ الگو محصولات متفاوتی تولید می‌کند.

؟ (ص/غ) رشته مورد رونویسی یک ژن ممکن است با رشته مورد رونویسی ژن‌های دیگر یکسان یا متفاوت باشد. (دی۱۴۰۱)

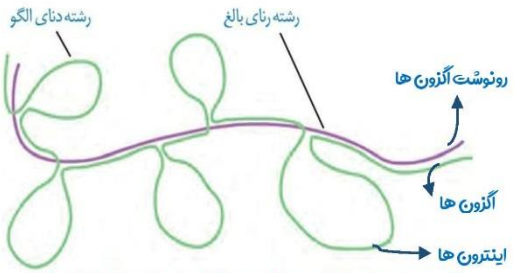
(ص/غ) در یاخته‌های یوکاریوتی رناهای ساخته شده در رونویسی برای انجام کارهای خود، دستخوش تغییراتی می‌شوند.(شهریور۱۳۹۹)

(ص/غ) فقط یکی از دو رشته هر ژن رونویسی می‌شود. (دی ۱۳۹۸)

حذف میانه‌ها در DNA جهش و در RNA پیرایش محسوب می‌شود.

نه خود آن‌ها!

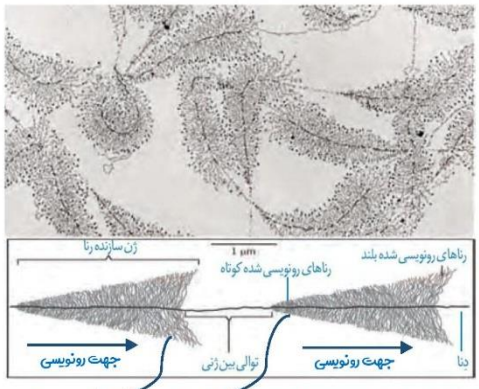
دنا، که رونوشت آنها حذف نمی‌شوند **بیانه (اگزون)**[1] گفته می‌شود (شکل۵). در واقع رنای رونویسی شده از رشته الگو، در ابتدا دارای رونوشت‌های میانهٔ دنا است. به این رنا، **رنای نابالغ** یا **اولیه**[2] گفته می‌شود. با حذف این رونوشت‌ها از رنای اولیه و پیوستن بخش‌های باقی‌مانده به هم، **رنای بالغ**[3] ساخته می‌شود.



شکل ۵ــ طرح ساده‌ای از رشته الگوی مولکول دنا و رنای بالغ حاصل از آن.
به نظر شما حلقه‌های سبز میانه هستند یا بیانه؟

شدت و میزان رونویسی

به‌طور کلی میزان رونویسی یک ژن به مقدار نیاز یاخته به فراورده‌های آن بستگی دارد. بعضی ژن‌ها، مانند ژن‌های سازنده رنای رِناتَنی در یاخته‌های تازه تقسیم شده بسیار فعال‌اند؛ زیرا باید تعداد زیادی از این نوع رِنا را بسازند. در این نوع ژن‌ها، هم‌زمان تعداد زیادی رنابسپاراز از ژن رونویسی می‌کنند. به این دلیل که در هر زمان، رنابسپارازها در مراحل مختلفی از رونویسی هستند، در زیر میکروسکوپ الکترونی، اندازه رناهای ساخته شده متفاوت دیده می‌شود. در این تصاویر رناها از اندازهٔ کوتاه به بلند دیده می‌شود (شکل۶). با توجه به شکل آیا می‌توانید جهت رونویسی هر ژن را مشخص کنید؟



شکل ۶ ــ ساخته شدن هم‌زمان چندین رنا از روی ژن

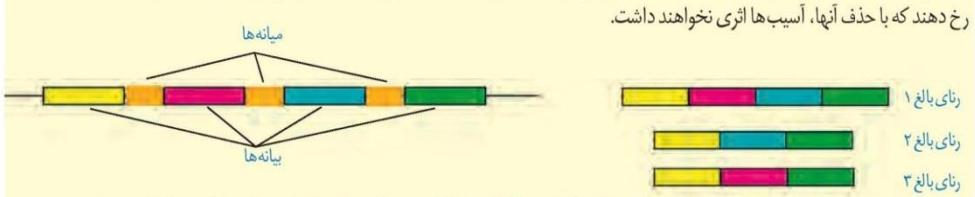
رشته الگوی هر دو یکسان است. چرا؟!

بیشتر بدانید رناهای در حال ساخت در «هر دو سمت» قرار میگیرند

نقش زیستی میانه‌ها و بیانه‌ها

اندازهٔ میانه‌ها ممکن است بخش عمده‌ای از رنای اولیه را تشکیل دهد که در رنای بالغ حذف می‌شود. با توجه به اینکه یاخته برای رونویسی میانه‌ها انرژی زیادی صرف می‌کند، این سؤال پیش می‌آید که نقش زیستی این اجزا در یاخته چیست؟

به نظر می‌رسد یکی از نقش‌های میانه، تنظیم رونویسی و در نتیجه تعداد رونوشت‌ها است. با افزایش تعداد و اندازه میانه‌ها، رونویسی از ژن‌ها بیشتر طول می‌کشد و در نتیجه محصول کمتری تولید می‌شود. نقش دیگر میانه‌ها، ایجاد تنوع در محصول است که نتیجهٔ پیرایش متفاوت رنای پیک است. با اینکه در بعضی ژن‌ها چسبیدن رونوشت‌های بیانه یک ژن، به طور منظم و یکنواخت انجام می‌شود، در بعضی دیگر از ژن‌ها، چسبیدن رونوشت‌های بیانه به‌صورت تصادفی انجام می‌شود (شکل زیر). پیرایش‌های متفاوت از یک ژن منجر به ساخته شدن رناهای مختلف می‌شود که می‌تواند پلی‌پپتیدهای متفاوتی را ایجاد کند. در پیرایش حتی ممکن است بخش‌های بیانه یک رونوشت به بخش‌هایی از بیانه‌های رونوشت دیگر متصل شود و بر گوناگونی محصول اضافه کند. نقش دیگری که برای میانه‌ها در نظر می‌گیرند، کاهش آسیب‌های مؤثر به دِنا است زیرا برخی آسیب‌ها ممکن است در محل میانه‌ها رخ دهند که با حذف آنها، آسیب‌ها اثری نخواهند داشت.



پیرایش‌های متفاوت یک ژن: با کنار هم قرار گیری متفاوت بیانه‌ها، ترکیب‌های متفاوتی حاصل می‌شود.

۱ـ Exon
۲ـ Precursor mRNA (Pre-mRNA)
۳ـ Mature messenger RNA

باکس نکات:

* هیچ دو ژنی در مولکول DNA توالی یکسان ندارند. (توالی ژن‌های مختلف، متفاوت است.)

* تمام رنابسپارازهای در حال فعالیت در یک ساختار پرمانند، از یک نوع اند. ← پس تمام رناهای در حال ساخت، یکسان اند.

(جاخالی) به بخش‌هایی که در مولکول دنا وجود دارند و رونوشت آن‌ها در رنای پیک سیتوپلاسمی حذف نمی‌شوند، ..... می‌گویند. (دی ۱۳۹۷)

شکل زیر طرح ساده ای از رشته الگوی مولکول دنا و رنای بالغ حاصل از آن را نشان می‌دهد. با توجه به شکل به پرسش‌ها پاسخ دهید. (شهریور ۱۴۰۱)

الف) حلقه‌ها میانه (اینترون) هستند یا بیانه (اگزون)؟

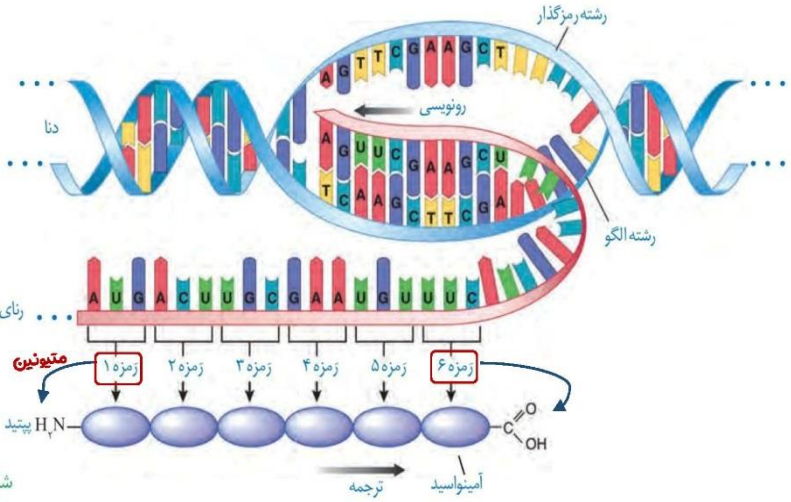
ب) فرایند جداسازی و حذف بخش‌هایی از رنای اولیه و ساخته شدن رنای بالغ را چه می‌گویند؟

گفتار ۲ به سوی پروتئین

پلی پپتیدها از مهم‌ترین فراورده‌های ژن‌ها هستند. پروتئین‌ها اعمال مختلفی را در بدن انجام می‌دهند که پیش از این با برخی از آنها آشنا شده‌اید. اینکه چگونه ژن‌ها و پروتئین‌های حاصل از آن، صفات را ایجاد می‌کنند در آینده مورد بحث قرار می‌گیرند. در این گفتار به نحوهٔ تبدیل اطلاعات وراثتیِ رنا، به پروتئین می‌پردازیم.

تبدیل زبان نوکلئیک اسیدی رنا به زبان پلی پپتیدی

دانستید که در فرایند رونویسی از روی توالی‌های دنا، رنا ساخته می‌شود که هر دو از نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. ولی در ساختار پلی‌پپتیدها، آمینواسید وجود دارد. به ساخته شدن پلی‌پپتید از روی اطلاعات رنای پیک، **ترجمه**[1] می‌گویند. طرح ساده‌ای از ژن تا پلی‌پپتید را در شکل زیر مشاهده می‌کنید (شکل ۷).



شکل ۷ـ طرح ساده‌ای از تشکیل شدن پلی‌پپتید

آمینواسید آغازگر (متیونین) فقط با گروه کربوکسیل خود و آمینواسید پایانی فقط با گروه آمینی خود در ساختار پلی‌پپتید شرکت می‌کند.

توالی‌های ۳ نوکلئوتیدی رنای پیک تعیین می‌کند که کدام آمینواسیدها باید در ساختار پلی‌پپتید قرار بگیرد. به این توالی‌ها، **رمزه** (کُدون)[2] گفته می‌شود. در یاخته ۶۴ نوع رَمزه وجود دارد. نکته قابل توجه این است که رَمزه آمینواسیدها در جانداران یکسان‌اند. به نظر شما این موضوع بیانگر چه واقعیتی است؟

۶۴ = ۴ * ۴ * ۴

رَمزه‌های UAA، UGA و UAG هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کنند که به آنها **رَمزهٔ پایان** می‌گویند، زیرا حضور این رَمزه‌ها در رنای پیک موجب پایان یافتن عمل ترجمه می‌شود. **رَمزهٔ آغاز** یا AUG رَمزه‌ای است که ترجمه از آن آغاز می‌شود. این رَمزه، معرف آمینواسید متیونین نیز است.

همیشه اولین aa، متیونین است

پادرمزه‌های AUC, ACU, AUU اصلا نداریم.

۱ـ Translation
۲ـ Codon

باکس نکات:

(جاخالی) رمزه UAG هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کند و به آن ..... می‌گویند. (خرداد ۱۴۰۰)

(انتخابی) رمزه (UAG - AUG) هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کند که به آن رمزه پایان می‌گویند. (شهریور ۱۴۰۱)

(انتخابی) رمزه (کدون) (UAG / AUG) هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کند. (خرداد ۱۴۰۱)

باکس نکات:

بیشتر بدانید

انواع رَمزه و آمینواسیدهای مربوط به آنها

حرف اول	حرف دوم U	حرف دوم C	حرف دوم A	حرف دوم G	حرف سوم
U	UUU, UUC فنیل آلانین	UCU, UCC, UCA, UCG سرین	UAU, UAC تیروزین	UGU, UGC سیستئین	U
	UUA, UUG لوسین		UAA, UAG زمزه پایان	UGA زمزه پایان / UGG تریپتوفان	C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG لوسین	CCU, CCC, CCA, CCG پرولین	CAU, CAC هیستیدین	CGU, CGC, CGA, CGG آرژنین	U C A G
			CAA, CAG گلوتامین		
A	AUU, AUC, AUA ایزولوسین	ACU, ACC, ACA, ACG ترئونین	AAU, AAC آسپاراژین	AGU, AGC سرین	U C A G
	AUG (متیونین) زمزه آغاز		AAA, AAG لیزین	AGA, AGG آرژنین	
G	GUU, GUC, GUA, GUG والین	GCU, GCC, GCA, GCG آلانین	GAU, GAC آسپارتیک اسید	GGU, GGC, GGA, GGG گلیسین	U C A G
			GAA, GAG گلوتامیک اسید		

طرح پرسش از این جدول در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

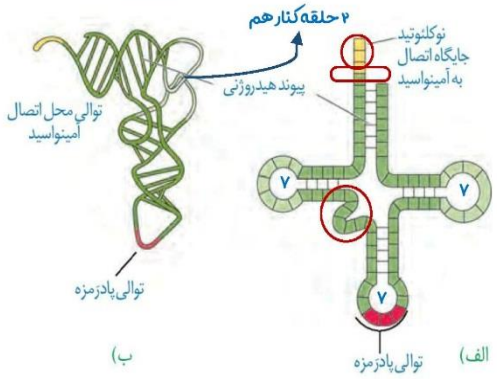
عوامل لازم در ترجمه

ترجمه نیازمند عوامل مختلفی است. ترجمه را می‌توان به یک فرایند آشپزی از روی کتاب آن تشبیه کرد. براساس دستورالعمل این کتاب، مواد اولیه به مقدار و ترتیب خاصی استفاده و غذای خاصی درست می‌شود. در ترجمه هم براساس رَمزه‌های رنای پیک، پلی‌پپتید خاصی ساخته می‌شود. مواد اولیه مصرفی در ترجمه، آمینواسیدها هستند. رِناتَن‌ها و رناهای ناقل از دیگر عوامل لازم در ترجمه هستند. انرژی لازم برای تهیه پلی‌پپتید هم از مولکول‌های پر انرژی مانند ATP به‌دست می‌آید.

نه فقط!

ساختار رنای ناقل

رنای ناقل پس از رونویسی دچار تغییراتی می‌شود. در ساختار نهایی رنای ناقل، نوکلئوتیدهای مکمل می‌توانند پیوند هیدروژنی ایجاد کنند. به همین علت رنای تک رشته‌ای، روی خود تا می‌خورد (شکل ۸ ـ الف). رنای ناقل تاخوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند که ساختار سه‌بعدی را



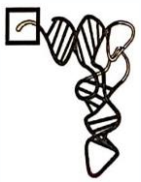
شکل ۸ ـ رنای ناقل
الف) تاخوردگی اولیه
ب) ساختار سه بعدی

آمینواسیدها از طریق گروه کربوکسیل خود به جایگاه اتصال آمینواسید متصل می‌شوند.

(ص/غ) رنای ناقل [tRNA] تاخوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند که ساختار سه بعدی را به وجود می‌آورد. (خرداد ۱۴۰۱)

(ص/غ) مواد اولیه مصرفی در ترجمه، ..... هستند. (شهریور ۱۴۰۰)

شکل روبه‌رو ساختار سه بعدی رنای ناقل را نشان می‌دهد. (شهریور ۱۴۰۱)



محل مشخص شده با مربع چه نام دارد؟

چند نوع توالی مشابه برای tRNA داریم نه یک نوع!

درون مشابه ها فقط ۳ نوکلئوتید متفاوت است

سؤال محور

به‌وجود می‌آورد. در این ساختار یک بخش محل اتصال آمینواسید و دیگری توالی ۳ نوکلئوتیدی به نام **پادرمزه (آنتی کدون)**[۱] است (شکل ۸). به نظر شما علت این نام‌گذاری چیست؟ هنگام ترجمه، این توالی با توالی رَمزه مکمل خود پیوند هیدروژنی مناسب برقرار می‌کند.

در همه رناهای ناقل، به جز در ناحیه پادرَمزه‌ای، انواع توالی‌های مشابهی وجود دارند. انتظار این است که به تعداد انواع رَمزه‌ها، پادرَمزه وجود داشته باشد ولی تعداد انواع پادرَمزه‌ها کمتر از رَمزه‌ها است؛ مثلاً برای رَمزه‌های پایان، رنای ناقل وجود ندارد.

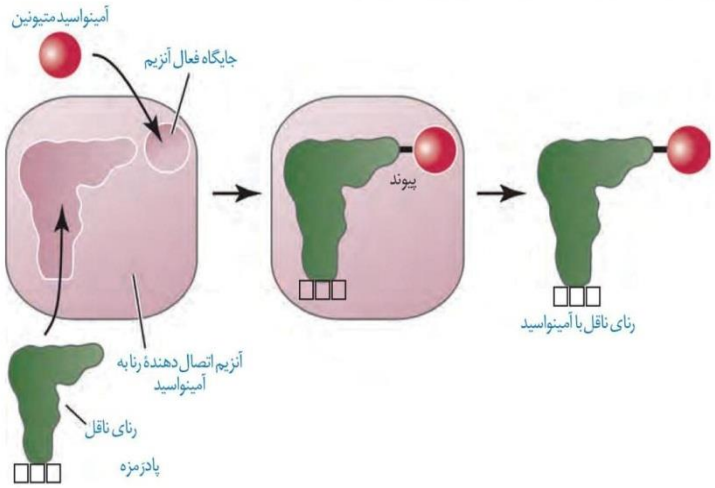
۶۱ نوع tRNA

نحوهٔ عمل رنای ناقل: همان‌طور که گفته شد، آمینواسید به رنای ناقل متصل می‌شود. حال پرسش این است که آیا هر نوع آمینواسید به هر نوع رنای ناقل می‌تواند متصل شود؟ اهمیت بخش پادرَمزه‌ای در این اتصال چیست؟

ریبوزوم: آزاد درون سیتوسل؛ درون میتوکندری و کلروپلاست؛ روی غشای بیرونی هسته؛ روی شبکهٔ آندوپلاسمی زبر

در واقع در یاخته‌ها، آنزیم‌های ویژه‌ای وجود دارند که براساس نوع توالی پادرَمزه، آمینواسید مناسب را به رنای ناقل متصل می‌کنند؛ یعنی آنزیم با تشخیص پادرَمزه در رنای ناقل، آمینواسید مناسب را یافته و به آن وصل می‌کند. این فرایند نیازمند انرژی است (شکل ۹).

حال بر اساس آنچه تاکنون دربارهٔ رَمزه‌ها خوانده‌اید آیا می‌توانید حدس بزنید رنای ناقل با چه توالی پادرَمزه‌ای می‌تواند به آمینواسید متیونین متصل شود؟



شکل ۹ـ نحوهٔ پیوستن آمینواسید به رنای ناقل مربوط به خود توسط آنزیم ویژه آن

دارای ۲ جایگاه فعال

ساختار رِناتَن

دانستید که رِناتَن در ساخت پلی‌پپتید نقش دارد. رِناتَن‌ها از دو زیرواحد تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰). هر زیرواحد نیز از رنا و پروتئین تشکیل شده است. به‌یاد می‌آورید که رنای رِناتَنی به‌وسیله کدام رنابسپاراز‌ها ساخته می‌شود؟ در یاخته، پروتئین‌های رِناتَنی ساخته شده و رنای مربوط به آنها در کنار هم قرار گرفته و زیرواحد کوچک و بزرگ رِناتَن را می‌سازد. رِناتَن در ساختار کامل سه جایگاه به نام P، A و E دارد که با آنها در ادامه آشنا خواهیم شد.

نه در زیرواحد خاص

شکل ۱۰ـ ترتیب قرارگیری زیرواحدهای رِناتَن

۱ـ Anticodon

باکس نکات:

* در ساختار رناتن(ریبوزوم) عناصر P,O,H,N,C حتما وجود دارد.

* زیرواحد بزرگ و کوچک رناتن فقط هنگام ترجمه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و در غیر از زمان ترجمه، جدا از هم قرار دارند.

(ص/غ) به تعداد انواع رمزه‌ها پادرمزه وجود دارد. (خرداد ۱۴۰۰)

(جای خالی) در ساختار سه بعدی رنای ناقل یک بخش محل اتصال آمینواسید و دیگری توالی 3 نوکلئوتیدی به نام ..... است. (دی ۱۳۹۸)

در مورد رناتن (ریبوزوم) به پرسش‌های زیر پاسخ دهید. (دی ۱۳۹۹)

الف) جنس هر زیرواحد آن از چیست؟

ب) در ساختار کامل چند جایگاه دارد؟

ورود tRNA به جایگاه A ← فقط در مرحلهٔ طویل‌شدن

ورود tRNA به جایگاه P ← هم در مرحلهٔ طویل‌شدن و هم آغاز

ورود tRNA به جایگاه E ← فقط در مرحلهٔ طویل‌شدن

P : Peptidyl site

A : Acceptor site

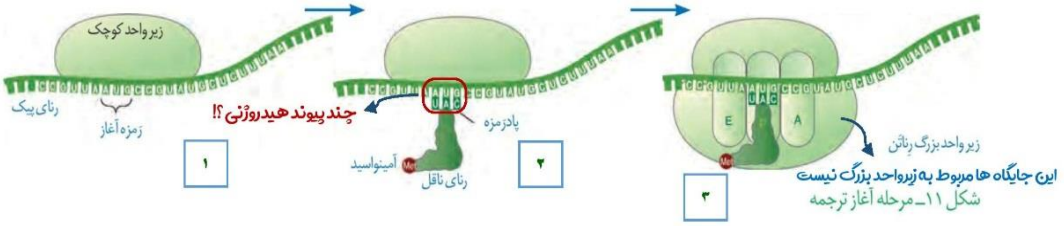
E : Exit site

مراحل ترجمه

ترجمه نیز فرایندی پیوسته است که برای سادگی در یادگیری آن را به سه مرحلهٔ **آغاز**، **طویل شدن** و **پایان** تقسیم می کنند.

مرحله آغاز: در این مرحله بخش هایی از رنای پیک، زیرواحد کوچک رِناتن را به‌سوی رَمزهٔ آغاز، هدایت می کند. سپس در این محل رنای ناقلی که مکمل رَمزه آغاز است به آن متصل می‌شود. با افزوده شدن زیرواحد بزرگ رِناتن به این مجموعه، ساختار رِناتن کامل می‌شود.

در این مرحله جایگاه P در رِناتن، محل قرارگیری رنای ناقل دارای آمینواسید است. این جایگاه در ابتدا توسط رنای ناقل متیونین اشغال می‌شود. جایگاه A محل قرارگیری رنای ناقل بعدی و آمینواسید متصل به آن خواهد بود. پیوند پپتیدی در جایگاه A برقرار می‌شود. جایگاه E محل خروج رنای ناقل بدون آمینواسید است. در مرحله آغاز فقط جایگاه P پر می‌شود و جایگاه A و E خالی می‌ماند (شکل ۱۱).



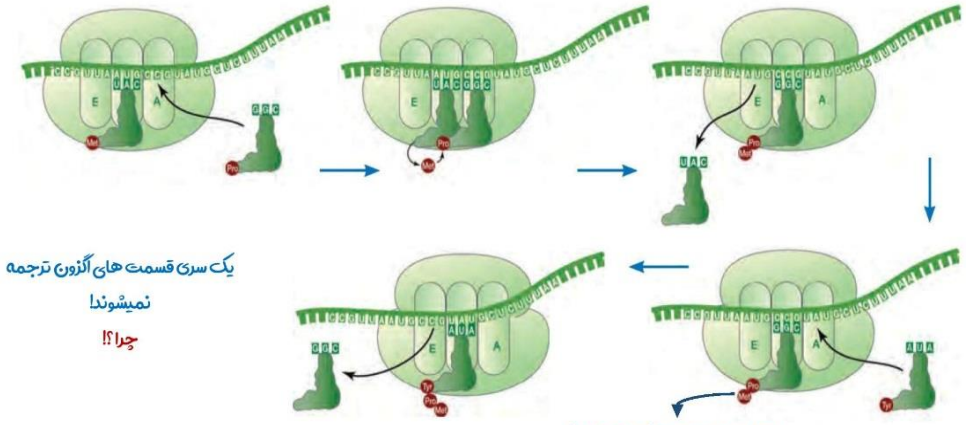
شکل ۱۱ــ مرحله آغاز ترجمه

مرحلهٔ طویل شدن: در این مرحله ممکن است رناهای ناقل مختلفی وارد جایگاه A رِناتن شوند ولی فقط رنایی که مکمل رَمزهٔ جایگاه A است، استقرار پیدا می کند؛ در غیر این صورت جایگاه را ترک می کند. سپس آمینواسیدِ جایگاهP از رنای ناقل خود جدا می‌شود و با آمینواسید جایگاه A پیوند بر قرار می کند. آیا می‌دانید پیوند حاصل چه نام دارد؟ پس از آن رِناتن به اندازهٔ یک رَمزه (نه رنا) به سوی رَمزه پایان پیش می‌رود. در این موقع رنای ناقل که حامل رشته پپتیدی در حال ساخت است در جایگاه P قرار می‌گیرد (علت نام‌گذاری جایگاهP) و جایگاه A خالی می‌شود تا پذیرای رنای ناقل بعدی باشد. رنای ناقل بدون آمینواسید نیز در جایگاه E قرار می‌گیرد و سپس از این جایگاه خارج می‌شود. این فرایند بارها تکرار می‌شود و طول زنجیرهٔ آمینواسیدی بیشتر می‌شود تا رِناتن به یکی از رَمزه‌های پایان برسد (شکل ۱۲).

* در مرحله طویل‌شدن هردو پیوند پپتیدی و هیدروژنی در جایگاه A تشکیل می‌شود.

* در مرحله طویل شدن پیوند هیدروژنی در جایگاه E و پیوند اشتراکی در جایگاه P شکسته می‌شوند

شکل ۱۲ــ مرحله طویل شدن ترجمه



باکس نکات:

* اگر هنگام ترجمه nتا tRNA از جایگاه E خارج شده باشد، می‌توان گفت ..... tRNAهم وارد جایگاه A شده است.

* برای تولید پپتیدی با n آمینواسید، ..... جابه‌جایی صورت می‌گیرد.

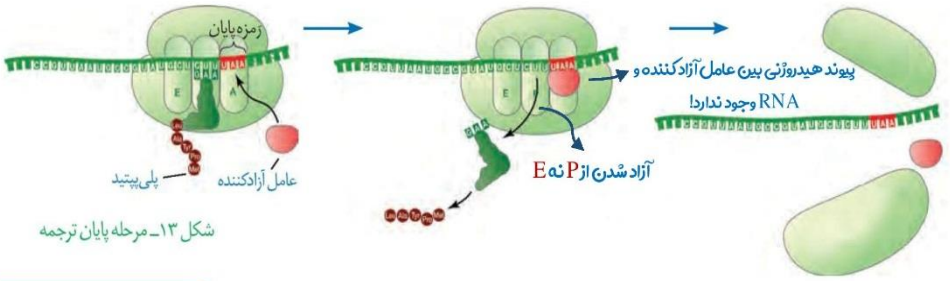
(جاخالی) رمزه (کدون) آغاز هرگز وارد جایگاه ..... نمی‌شود. (خرداد ۱۴۰۲)

(انتخابی) در مرحله (آغاز – پایان) ترجمه فقط جایگاه P پر می‌شود و جایگاه A و E خالی می‌ماند. (شهریور ۱۴۰۰)

کامل شدن ساختار رناتن (ریبوزوم) در کدام مرحله از فرایند ترجمه رخ می‌دهد؟ (دی ۱۴۰۰)

سوال محور: آخرین حرکت در مرحله پایان است!

مرحلهٔ پایان: با ورود یکی از رَمزه‌های پایان ترجمه در جایگاه A، چون رنای ناقل مکمل آن وجود ندارد، این جایگاه توسط پروتئین‌هایی به نام عوامل آزادکننده[1] اشغال می‌شود. عوامل آزادکننده باعث جدا شدن پلی‌پپتید از آخرین رنای ناقل می‌شوند؛ همچنین باعث جدا شدن زیرواحدهای رِناتَن از هم و آزاد شدن رنای پیک می‌شوند. زیرواحدهای رِناتَن‌ها می‌توانند مجدداً این مراحل را تکرار کنند تا چندین نسخه از یک پلی‌پپتید ساخته شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳ـ مرحله پایان ترجمه

محل پروتئین‌سازی و سرنوشت آنها

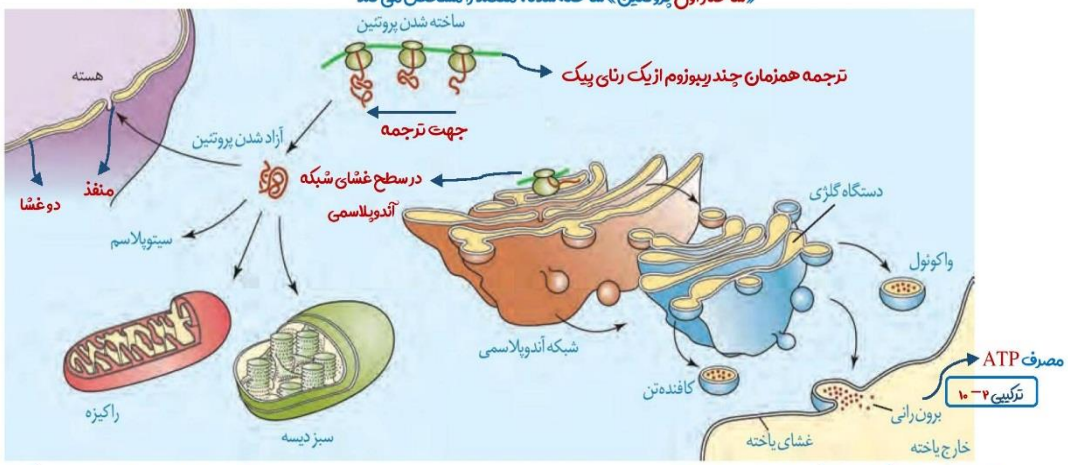
پروتئین‌ها در بخش‌های مختلفی از یاخته ساخته می‌شوند. به‌طور کلی پروتئین‌سازی در هر بخشی از یاخته که رِناتَن‌ها حضور داشته باشند می‌تواند انجام شود.

همان‌طور که در شکل ۱۴ می‌بینید، پروتئین‌های ساخته شده در سیتوپلاسم سرنوشت‌های مختلفی پیدا می‌کنند. بعضی از این پروتئین‌ها به شبکهٔ آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می‌روند و ممکن است برای ترشح به خارج رفته یا به بخش‌هایی مثل واکوئل (کُریچه) و کافنده‌تن بروند. بعضی پروتئین‌ها نیز در سیتوپلاسم می‌مانند و یا اینکه به راکیزه‌ها، هسته و یا دیسه‌ها می‌روند. در هر یک از این موارد براساس مقصدی که پروتئین باید برود، توالی‌های آمینواسیدی در آن وجود دارد که پروتئین را به مقصد هدایت می‌کند (شکل ۱۴).

ترکیبی ۱ـ ۱۲

«ساختار اول پروتئین» ساخته شده، مقصد را مشخص می‌کند

طرح سؤال از توالی‌های رمزه، پادرمزه و آمینواسیدهای مربوط به آنها در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.



شکل ۱۴ـ سرنوشت پروتئین‌های ساخته‌شده در سیتوپلاسم

تولید پروتئین‌های هسته، دیسه، و راکیزه توسط ریبوزوم‌های آزاد سیتوپلاسم

تولید پروتئین‌های کافنده‌تن، کُریچه‌ها، و پروتئین‌های ترشحی توسط ریبوزوم‌های سطح شبکهٔ آندوپلاسمی

۱ـ Release Factors

باکس نکات:

* هم در مرحله آغاز و هم در مرحله پایان، کدون(رمزه)های دو جایگاه EوA بدون مکمل باقی می‌مانند.
* در هنگام ترجمه، تعداد پادرمزه‌ها با تعداد آمینواسیدها برابر است.
* کدون(رمزه) پایان هرگز به جایگاه‌های EوP وارد نمی‌شود.(فقط جایگاهA)

؟ (جاخالی) اولین آمینواسید در انتهای (آمینی - کربوکسیلی) رشته پلی‌پپتید تازه ساخته شده، متیونین است. (خرداد۱۴۰۲)

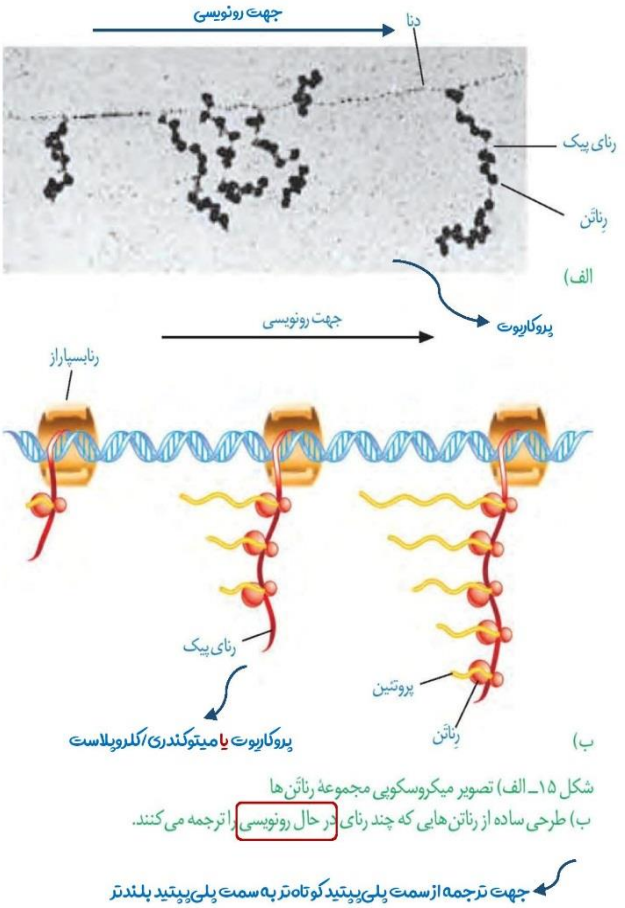
(انتخابی) در مرحله پایان ترجمه آخرین رنای ناقل بدون آمینواسید، از جایگاه (E - P) خارج می‌شود. (دی۱۴۰۱)

پروتئین‌های ساخته شده در سیتوپلاسم که به شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می‌روند چه سرنوشت‌هایی پیدا می‌کنند؟ (یک مورد) (دی ۱۴۰۱)

سرعت و مقدار پروتئین‌سازی

به‌طور کلی سرعت و مقدار پروتئین‌سازی در یاخته‌ها بسته به نیاز تنظیم می‌شود. در پروکاریوت‌ها پروتئین‌سازی حتی ممکن است پیش از پایان رونویسی رنای پیک آغاز شود؛ زیرا طول عمر رنای پیک در این یاخته‌ها کم است. برای پروتئین‌هایی که به مقدار بیشتری مورد نیازند، ساخت پروتئین‌ها، به‌طور هم‌زمان و پشت سر هم توسط مجموعه‌ای از رِناتَن‌ها انجام می‌شود تا تعداد پروتئین بیشتری در واحد زمان ساخته‌شود (شکل ۱۵). در این مجموعه، رِناتَن‌ها مانند دانه‌های تسبیح و رنای پیک شبیه نخی است که از درون این دانه‌ها می‌گذرد. همکاری جمعی رِناتَن‌ها به پروتئین‌سازی سرعت بیشتری می‌دهد.

تجمع رِناتَن‌ها در یاخته‌های یوکاریوتی نیز دیده می‌شوند. البته در این یاخته‌ها سازوکارهایی برای حفاظت رنای پیک در برابر تخریب وجود دارد. بنابراین، فرصت بیشتری برای پروتئین‌سازی هست. در مجموع، این عوامل موجب طولانی‌تر شدن عمر رنای پیک پیش از تجزیه می‌شود.



شکل ۱۵ـ الف) تصویر میکروسکوپی مجموعهٔ رِناتَن‌ها
ب) طرحی ساده از رناتن‌هایی که چند رنای در حال رونویسی را ترجمه می‌کنند.

جهت ترجمه از سمت پلی‌پپتید کوتاه‌تر به سمت پلی‌پپتید بلندتر

فعالیت ۱

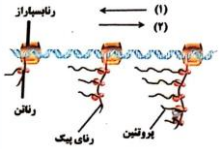
الف) چه رابطه‌ای بین طول عمر رنای پیک یاخته‌ها با میزان پروتئین‌سازی آنها برقرار است؟ طول عمر ↑ ، پروتئین سازی ↑

ب) رونویسی و ترجمه در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها را با هم مقایسه کنید.

؟ (ص/غ) طول عمر رنای پیک (mRNA) در پروکاریوت‌ها بیشتر از یوکاریوت‌ها است. (خرداد ۱۳۹۸)

(انتخابی) آنزیم‌های رنابسپار از جاندارانی که فرصت بیشتری برای پروتئین‌سازی دارند، دارای تنوع (بیشتری – کمتری) هستند. (شهریور۱۴۰۲)

شکل زیر طرح ساده ی از رناتن‌ایی (ریبوزوم‌هایی) است که چند رنای در حال رونویسی را ترجمه می‌کنند با توجه به شکل به سؤالات پاسخ دهید. (خرداد۱۴۰۲)



کدام شماره، جهت رونویسی را نشان می‌دهد؟

همه جا «تنظیم بیان ژن» رو داریم، مثل:
!؟

گفتار ۳ تنظیم بیان ژن

در سال گذشته آموختید که همه یاخته‌های پیکری بدن از تقسیم رِشتمان (میتوز) یاخته تخم منشأ می‌گیرند. یاخته‌های حاصل، از نظر فام‌تنی و ژن‌ها یکسان‌اند. با این حال در ادامهٔ تقسیمات و رشد جنین، یاخته‌های متفاوتی ایجاد می‌شوند که اعمال مختلفی انجام می‌دهند؛ مثلاً یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ای بدن یک فرد، ژن‌های یکسانی دارند ولی دارای عملکرد و شکل متفاوتی هستند. حال این سؤال مطرح می‌شود که چگونه ممکن است یاخته‌هایی با ژن‌های یکسان تا این حد متفاوت باشند؟ پاسخ این است که در هر یاخته تنها تعدادی از ژن‌ها فعال و سایر ژن‌ها غیر فعال هستند. هرگاه اطلاعات ژنی در یک یاخته مورد استفاده قرار بگیرد، می‌گوییم آن ژن بیان شده و به‌اصطلاح روشن است و ژنی که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد خاموش و به‌اصطلاح بیان نشده است. مقدار، بازه و زمان استفاده از ژن در یاخته‌های مختلف یک جاندار ممکن است فرق داشته باشد و حتی در یک یاخته هم بسته به نیاز متفاوت باشد. به فرایندهایی که تعیین می‌کنند در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌ها بیان شوند و یا بیان نشوند، فرایندهای **تنظیم بیان ژن**[1] می‌گویند. تنظیم بیان ژن فرایندی بسیار دقیق و پیچیده است و عوامل متعددی ممکن است بر آن اثر بگذارند. تنظیم بیان ژن موجب می‌شود تا جاندار به تغییرات پاسخ دهد؛ مثلاً در گیاه، نور می‌تواند باعث فعال شدن ژن سازندهٔ آنزیمی شود که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نبود نور این ژن بیان نمی‌شود. همچنین تنظیم بیان ژن می‌تواند موجب ایجاد یاخته‌های مختلفی از یک یاخته شود. یاخته‌های متفاوتی که از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان ایجاد می‌شوند، مثالی مناسب در این مورد هستند. در مورد این یاخته‌ها در کتاب دهم مطالبی را فرا گرفتید. آیا می‌توانید برخی یاخته‌های حاصل از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان را نام ببرید؟

روبیسکو، آنزیم سنتزکننده NADPH و ...

ترکیبی ۶-۱۲

تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها

محصول ژن، رنا و پروتئین است. بنابراین، تغییر در فعالیت ژن‌ها، بر ساخت این محصولات نیز اثر می‌گذارد. تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها می‌تواند در هر یک از مراحل ساخت رنا و پروتئین تأثیر بگذارد ولی به‌طور معمول تنظیم بیان ژن در مرحلهٔ رونویسی انجام می‌شود. در مواردی هم ممکن است یاخته با تغییر در پایداری (طول عمر) رنا یا پروتئین، فعالیت آن را تنظیم کند.

تنظیم رونویسی در پروکاریوت‌ها

در این نوع تنظیم عواملی به پیوستن رنابسپاراز به توالی راه‌انداز کمک و یا مانعِ حرکت رنا بسپاراز می‌شوند. در نتیجه، رونویسی ژن تسهیل یا ممانعت می‌شود؛ مثلاً با اتصال پروتئین‌های خاصی به بخشی از دنا که سر راه رنابسپاراز است، از انجام رونویسی جلوگیری می‌شود. نمونهٔ این نوع تنظیم، در نوعی باکتری به نام **اشرشیا کلای**[2] شناخته شده است. قند مصرفی ترجیحی این باکتری گلوکز است.

۱- Regulation of gene expression
۲- *Escherichia coli*

بیشتر بدانید

در باکتری‌ها ژن‌هایی که محصولات آنها چند فرایند مرتبط به هم را اداره می‌کند در واحدهایی به نام اُپران[1] قرار گرفته‌اند و بیان یا عدم بیان آنها به‌طور هماهنگ انجام می‌شود. برای مثال برای جذب و تجزیه لاکتوز در باکتری اشرشیاکلای، ۳ آنزیم مورد نیاز است که ژن‌های سازندهٔ آنها در کنار هم قرار دارند و توسط یک بخش تنظیمی اداره می‌شوند. به مجموعهٔ این ژن‌ها و بخش تنظیمی آن اُپران گفته می‌شود. مثال دیگر، ژن‌های مسئول ساخت آمینواسید تریپتوفان است. ۵ ژن در ساخت این آمینواسید دخالت دارند که در یک اُپران قرار دارند.

۱_ Operons

باکس نکات:

* هیچ ژنی برای کربوهیدرات‌ها و لیپیدها در DNA وجود ندارد. تولید کربوهیدرات‌ها و لیپیدها توسط آنزیم‌های پروتئینی انجام می‌شود.

* بیان ژن فقط در سلول سازنده‌ی محصول انجام می‌شود.

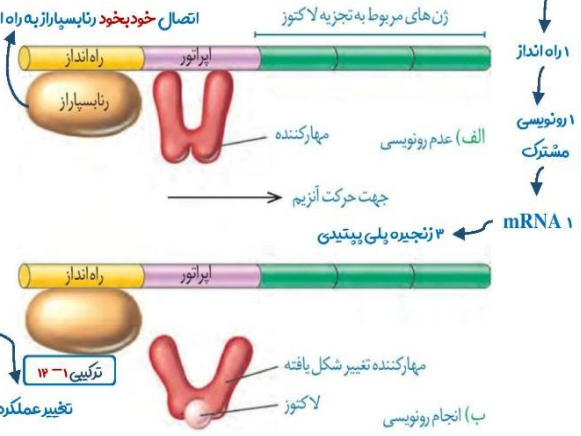
؟ (ص/غ) تنظیم بیان ژن موجب ایجاد یاخته‌های متفاوتی از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان می‌شود. (شهریور ۱۳۹۹)

چرا یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ی بدن یک فرد ژن‌های یکسانی دارند ولی دارای عملکرد و شکل متفاوتی هستند؟ (خرداد ۱۴۰۲)

مراحل تجزیهٔ قند گلوکز در یاخته را در فصول بعد خواهید آموخت. اگر گلوکز در محیط باکتری وجود نداشته باشد ولی قند دیگری به نام **لاکتوز**[1] در اختیار باکتری قرار بگیرد، باکتری می‌تواند از این قند استفاده کند. این قند متفاوت از گلوکز بوده است و آنزیم‌هایی لازم برای مصرف آن نیز متفاوت است. بنابراین وقتی لاکتوز در محیط وجود دارد باکتری باید آنزیم‌های تجزیه‌کننده آن را بسازد و در نبود یا کاهش لاکتوز نیز ساخت آنزیم‌های تجزیه کننده آن متوقف یا کاهش پیدا کند. حال این پرسش پیش می‌آید که باکتری چگونه می‌تواند حضور لاکتوز را در محیط تشخیص دهد و آنزیم‌های تجزیه کننده آن را بسازد؟ ژن‌هایی که این آنزیم‌ها را می‌سازند چگونه روشن و یا خاموش می‌شوند؟ در پروکاریوت‌ها بیان ژن به دو صورت منفی و مثبت تنظیم می‌شود.

اگر هر دو باشند، گلوگز استفاده می‌شود

تنظیم منفی رونویسی: در گفتار ۱ آموختید که رونویسی با چسبیدن رنابسپاراز به راه‌انداز مربوط به ژن شروع می‌شود. حال اگر مانعی بر سر راه رنابسپاراز وجود داشته باشد، رونویسی انجام نمی‌شود. به این نوع تنظیم، تنظیم منفی رونویسی گفته می‌شود. مانع پیش روی رنابسپاراز نوعی پروتئین به نام **مهارکننده**[2] است. این پروتئین به توالی خاصی از دنا به‌نام **اپراتور**[3] متصل می‌شود و جلوی حرکت رنابسپاراز را می‌گیرد (شکل ۱۶ــ الف). لاکتوز موجود در محیط به باکتری وارد می‌شود و با اتصال به مهارکننده، شکل آن را تغییر می‌دهد. تغییر شکل مهارکننده، آن را از اپراتور جدا می‌کند و نیز مانع از اتصال آن به اپراتور می‌شود. با برداشته شدن مانع سر راه، رنابسپاراز می‌تواند رونویسی ژن‌ها را انجام دهد (شکل ۱۶ــ ب). محصولات این ژن‌ها تجزیه لاکتوز را ممکن می‌کند.



شکل ۱۶ــ الف) عدم رونویسی ژن‌ها در غیاب لاکتوز ب) رونویسی ژن‌ها در حضور لاکتوز

تنظیم مثبت رونویسی: در این نوع تنظیم، پروتئین‌های خاصی به رنابسپاراز کمک می‌کنند تا بتواند به راه‌انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند. مثال این نوع تنظیم نیز در باکتری اشرشیاکلای وجود دارد. مشخص شده که اگر در محیط باکتری، قند **مالتوز**[4] وجود داشته باشد، درون باکتری آنزیم‌هایی ساخته می‌شوند که در تجزیهٔ آن دخالت دارند. در عدم حضور مالتوز این آنزیم‌ها ساخته نمی‌شوند چون باکتری نیازی به آنها ندارد. نه تشکیل!

تنظیم رونویسی در مورد این ژن‌ها به‌صورت مثبت انجام می‌شود. در حضور قند مالتوز، انواعی از پروتئین به نام **فعال کننده**[5] وجود دارند که به توالی‌هایی خاصی از دنا متصل می‌شوند. به این توالی‌ها **جایگاه اتصال فعال کننده**[6] (توالی DNA) گفته می‌شود. (شکل ۱۷ــ الف) در حضور مالتوز در محیط، پروتئین فعال کننده به جایگاه خود متصل می‌شود و پس از اتصال به رنابسپاراز کمک می‌کند تا به راه‌انداز متصل

۱ــ Lactose
۲ــ Repressor
۳ــ Operator
۴ــ Maltors
۵ــ Activator
۶ــ Activator Binding Site

بیشتر بدانید

تنظیم منفی در پروکاریوت به دو صورت **القایی**[1] و **مهاری**[2] انجام می‌شود. در حالت القایی، حضور یک ماده موجب بیان ژن‌ها می‌شود. تنظیم بیان ژن در حضور لاکتوز مثالی از تنظیم منفی از نوع القایی است. در حالت مهاری، حضور یک ماده موجب خاموش شدن ژن و عدم بیان آنها می‌شود. مثال این نوع تنظیم در مورد آمینواسید **تریپتوفان** دیده می‌شود. در باکتری اشرشیاکلای با حضور تریپتوفان، ژن‌هایی که در ساخت آن دخالت دارند خاموش می‌شوند. وقتی تریپتوفان در محیط نیست، این ژن‌ها روشن می‌شوند تا آنزیم‌های سازندهٔ تریپتوفان ساخته شوند.

۱ــ Inducer
۲ــ Repressor

باکس نکات:

* در ژن یک mRNA سه ژنی، یک محل شروع رونویسی و یک محل پایان رونویسی وجود دارد. (DNA)

* در یک mRNA سه ژنی، ۳ کدون(رمزه) آغاز و ۳ کدون پایان وجود دارد.

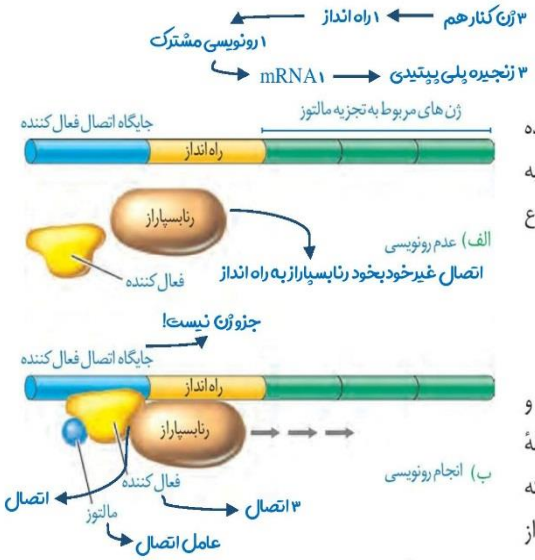
* وجود یا عدم وجود لاکتوز و مالتوز در محیط، ارتباطی با بیان ژن‌های مهارکننده و فعال‌کننده ندارد.

* پروتئین مهارکننده سبب جداشدن رنابسپاراز از راه‌انداز نمی‌شود؛ فقط مانع از حرکت آن می‌شود.

(جاخالی) در باکتری اشرشیاکلای تنظیم رونویسی در مورد ژن‌های مؤثر در تجزیه مالتوز به صورت ..... انجام می‌شود. (دی ۱۴۰۱)

(جای خالی) در باکتری اشرشیاکلای توالی خاصی از دنا که بین راه انداز و ژن‌های مربوط به تجزیه لاکتوز قرار گرفته است، توسط پروتئین ..... اشغال می‌شود. (شهریور ۱۴۰۲)

(انتخابی) در تنظیم منفی رونویسی در باکتری اشرشیاکلای، مانع پیش روی رنا بسپار از نوعی پروتئین به نام (مهار کننده / عوامل رونویسی) است. (خرداد۱۴۰۱)



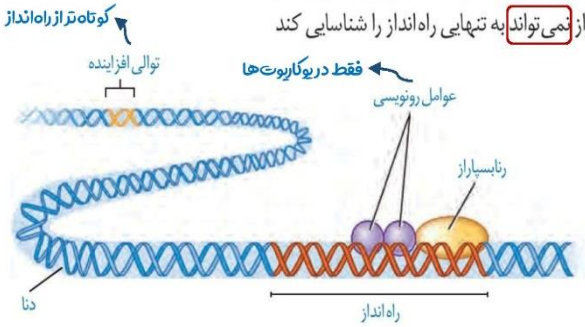
شکل ۱۷ـ تنظیم مثبت رونویسی ژن های مؤثر در تجزیه مالتوز

شود و رونویسی را شروع کند. چه عاملی سبب می شود که فعال کننده به جایگاه خود بچسبد؟ این عامل مالتوز است. اتصال مالتوز به فعال کننده باعث پیوستن آن به جایگاه اتصال شده و رونویسی شروع می شود (شکل ۱۷ـ ب).

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت ها

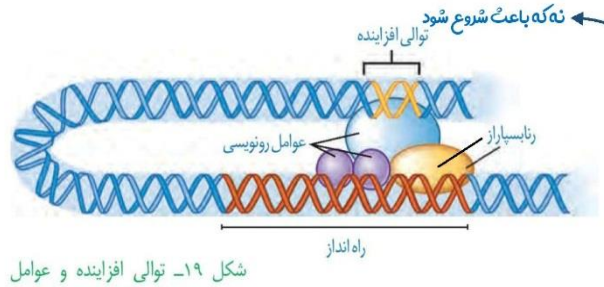
تنظیم بیان ژن در یوکاریوت ها پیچیده تر از پروکاریوت هاست و می تواند در مراحل بیشتری انجام شود. یاخته های یوکاریوتی به وسیلهٔ غشاها به بخش های مختلفی تقسیم شده اند. بنابراین، برای آنکه یاخته نسبت به یک ماده واکنش نشان دهد، آن ماده باید به طریقی از غشاها عبور کند و ژن ها را تحت تأثیر قرار دهد. در یاخته های یوکاریوتی، بیشتر ژن ها در هسته و برخی در راکیزه ها و دیسه ها قرار دارند. در هر یک از این محل ها، یاخته می تواند بر بیان ژن نظارت داشته باشد. بنابراین تنظیم بیان ژن می تواند در مراحل متعددی انجام شود.

تنظیم بیان ژن در مرحلهٔ رونویسی: در یوکاریوت ها نیز مانند پروکاریوت ها، رونویسی با پیوستن رنابسپاراز به راه انداز آغاز می شود. در یوکاریوت ها رنابسپاراز نمی تواند به تنهایی راه انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین هایی به نام **عوامل رونویسی**[1] هستند. گروهی از این پروتئین ها با اتصال به نواحی خاصی از راه انداز، رنابسپاراز را به محل راه انداز هدایت می کند، چون تمایل پیوستن این پروتئین ها به راه انداز در اثر عواملی تغییر می کنند، مقدار رونویسی ژن آن هم تغییر می کند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸ـ تنظیم بیان ژن در یوکاریوت ها

در یوکاریوت ها ممکن است عوامل رونویسی دیگری به بخش های خاصی از دنا به نام **توالی افزاینده**[2] متصل شوند. با پیوستن این پروتئین ها به توالی افزاینده و با ایجاد خمیدگی در دنا، عوامل رونویسی در کنار هم قرار می گیرند. کنار هم قرارگیری این عوامل، سرعت رونویسی را افزایش می دهند. توالی های افزاینده متفاوت از راه انداز هستند و ممکن است در فاصلهٔ دوری از ژن قرار داشته باشند. اتصال این پروتئین ها بر سرعت و مقدار رونویسی ژن مؤثر است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹ـ توالی افزاینده و عوامل رونویسی متصل به آن

۱ـ Transcription Factors
۲ـ Enhancer

باکس نکات:

* راه انداز ژن های آنزیم های تجزیه کنندهٔ مالتوز برخلاف راه انداز ژن های آنزیم های تجزیه کنندهٔ لاکتوز، در مجاورت محل شروع رونویسی است.

* در یوکاریوت ها تنظیم بیان ژن در میتوکندری و کلروپلاست هم انجام می شود.

؟ (انتخابی) در باکتری اشرشیاکلای در تنظیم (مثبت – منفی) رونویسی، مانع پیش روی رنابسپار از نوعی پروتئین به نام مهار کننده است. (دی ۱۳۹۹)

(انتخابی) در باکتری اشرشیاکلای، تنظیم مثبت رونویسی در مورد ژن های مؤثر در تجزیه (مالتوز – لاکتوز) انجام می شود. (شهریور ۱۳۹۹)

(انتخابی) در تنظیم (منفی – مثبت) رونویسی، پروتئین های خاصی به رنابسپار از RNA پلی مراز کمک می کنند تا بتواند به راه انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند. (خرداد ۱۳۹۸)

بیشتر بدانید

بعضی ژن‌ها در یاخته‌ها به‌طور دائم بیان می‌شوند. ژن‌های سازنده اجزای رِناتَن از این جمله‌اند. این ژن‌ها رنای رِناتَن و پروتئین‌های آن را می‌سازند. با توجه به نیاز یاخته‌های درحال تقسیم به تعداد زیادی رِناتَن، این ژن‌ها به‌طور دائم روشن هستند.

تنظیم بیان ژن در مراحل غیررونویسی: در یوکاریوت‌ها تنظیم بیان ژن می‌تواند پیش از رونویسی یا پس از آن هم انجام شود. اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک مثالی از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی است. با اتصال این رناها، از کار رِناتَن جلوگیری می‌شود. در نتیجه، عمل ترجمه متوقف و رنای ساخته شده پس از مدتی تجزیه می‌شود.

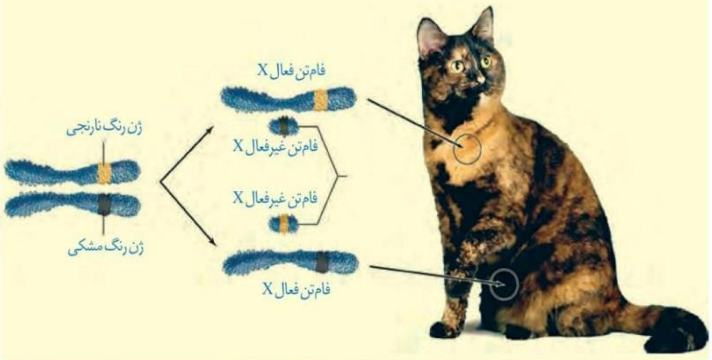
روش تنظیم دیگر در سطح فام‌تنی است. به‌طور معمول بخش‌های فشرده فام‌تن کمتر در دسترس رنابسپارازها قرار می‌گیرند بنابراین یاخته می‌تواند با تغییر در میزان فشردگی فام‌تن در بخش‌های خاصی، دسترسی رنابسپاراز را به ژن مورد نظر تنظیم کند. به نظر شما این تنظیم بیان ژن پیش از رونویسی است یا پس از آن؟ ← تعداد نوکلئوزوم‌های یک کروموزوم، ثابت نیست.

از روش‌های دیگر تنظیم بیان ژن طول عمر رنای پیک است. افزایش طول عمر رنای پیک موجب افزایش محصول می‌شود. این فرایندها در میزان پروتئین‌سازی مؤثر خواهند بود. شیوه‌های دیگری نیز در تنظیم بیان ژن مؤثرند که نحوه عمل بسیاری از آنها ناشناخته است.

بیشتر بدانید

بیان ژن به روش‌های مختلفی ممکن است کاهش یا افزایش یابد. یکی از این روش‌ها افزایش تعداد ژن‌هایی است که به محصولات آنها به مقدار زیادی نیاز است. در این موارد ممکن است یاخته چندین کپی از یک ژن داشته باشد. در نتیجه رونویسی از تعداد بیشتری ژن انجام شود. این حالت موجب ساخت محصول بیشتر در زمان کمتر می‌شود. نمونهٔ این ژن‌ها، ژن‌های سازندهٔ رنای رِناتَنی است. نوعی از این رنای رِناتَنی هزاران ژن در یک یاخته دوزیست دارد.

روش دیگر فعال یا غیرفعال کردن برخی فام‌تن‌ها مانند فام‌تن X در انسان است. چون در یاخته‌های پیکری زن، دو نسخه از فام‌تن X و در مرد یک نسخه وجود دارد، برای بیان متعادل در دو جنس، یکی از فام‌تن‌های X در یاخته‌های زن غیرفعال می‌شود تا ژن‌های آن بیان نشوند. در اثر این فرایند ژن‌های فام‌تن X در زن و مرد، به یک نسبت بیان می‌شود. مثالی از بیان ژن‌های روی فام‌تن X و اثرات آن بر صفات را در تصویر زیر مشاهده می‌کنید. در یاخته‌ها، یکی از فام‌تن‌های X به صورت تصادفی غیرفعال می‌شوند.



باکس نکات:

* هورمون‌ها کل عملکردشان را با تغییر بیان ژن انجام می‌دهند.
* حساسیت رنای پیک هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها می‌تواند تغییر کند.

؟ (ص/غ) اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک (mRNA) مثالی از تنظیم بیان ژن پیش از رونویسی است.(شهریور ۱۴۰۱)

(ص/غ) در یوکاریوت‌ها، اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک مثالی از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی است. (دی ۱۳۹۷)

(انتخابی) اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای (پیک – ناقل) مثالی از تنظیم بیان ژن، پس از رونویسی است. (خرداد ۱۴۰۰)