السهل في تلخيص مادة الأحياء
الفترة الدراسية الثانية

- من التركيب الجيني إلى التركيب الظاهري.
- البروتين والتركيب الظاهري.

2

سلسلة السهل الميسر

إعداد: أ/ ياسر إبراهيم علي

مقدمة:

- يؤدي تناول غذاء خاص إلى إنتاج نوع خاص من النمل، فمعظم يرقات النمل تتحول إلى عاملات مطيعات، ولكن عند الخطر تكثر اليرقات التي تنمو لتصبح جنوداً ضخمة وشرسة.
- تشير الأبحاث إلى أن النمل يغير طعامه أثناء شعوره بالتهديد فيتغير بذلك التوازن الهرموني ما يؤثر بالتالي في الجينات.

تعبير الجين:

- **انتبه:**
- يقوم البروتين بدور هام في العمليات الحيوية داخل الكائنات الحية بدءًا من تنفس البكتيريا وصولاً إلى طرفة عين الفيل.
- تقوم الكائنات الحية بصناعة البروتينات التي تحتاج إليها من خلال عملية تصنيع البروتين حيث يتم فيها ترجمة التركيب الجيني للكائن الحي (تركيب الموروثات) إلى تركيب ظاهري (الصفات).

- **ماذا يقصد بـ(الجينات)؟**
- **الجينات: عبارة عن مقاطع (أو أجزاء) من حمض DNA مكونة من تتابعات من النيوكليوتيدات (القواعد النيتروجينية) ويشكل هذا التتابع شفرة تصنيع البروتينات في الخلية.**
- يتم التعبير عن الجين عندما يصنع البروتين بحسب **الشفرة** التي يحملها الجين.
- **ويتطلب** تصنيع البروتين عمل الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين **DNA** مع الحمض النووي الرايبوزي **RNA**.

- **مم يتكون جزيء حمض RNA؟**
- جزيء حمض RNA يتألف من شريط مفرد من النيوكليوتيدات حيث يؤدي mRNA (الرسول) دوراً مهماً في نقل المعلومات الوراثية من حمض DNA الموجود داخل النواة إلى السيتوبلازم لتصنيع البروتين.
- هناك **ثلاثة** أنواع من حمض RNA هي: (الرسول mRNA، الناقل tRNA، والرايبوسومي rRNA).

- **س: قارن بين DNA و RNA؟**

وجه المقارنة	RNA	DNA
عدد الأشرطة	شريط مفرد	شريط مزدوج
نوع السكر	سكر خماسي الكربون (رايبوز)	سكر خماسي منقوص الأكسجين (ديوكسي رايبوز)
أزواج القواعد	U-A ، G-C	T-A ، G-C

- **س: ما هي مراحل تصنيع البروتين؟**
- تصنع البروتينات على **مرحلتين** تسمى الأولى عملية **النسخ** وتسمى الثانية عملية **الترجمة**.

مراحل تصنيع البروتينات:

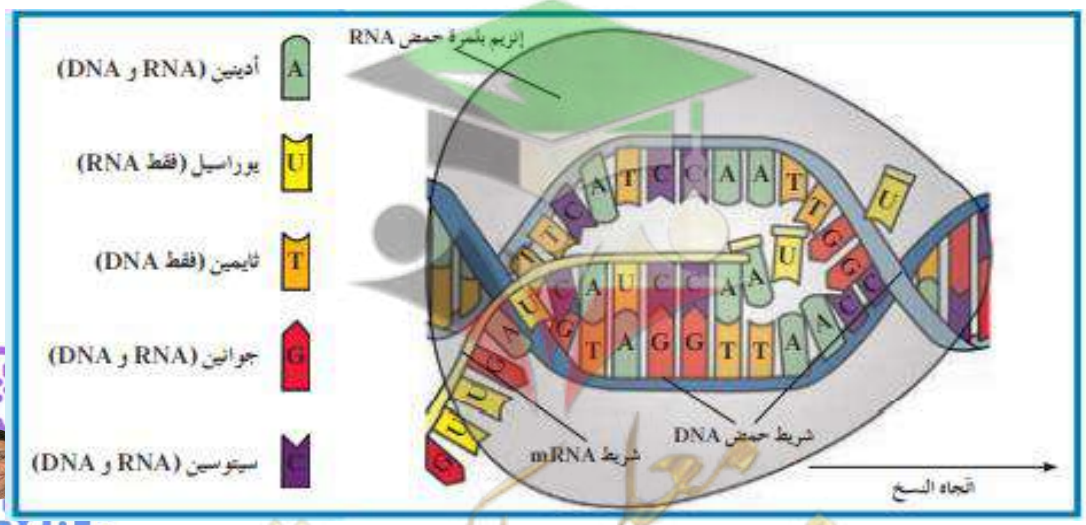
عملية النسخ	عملية الترجمة
عملية نقل المعلومات الوراثية من شريط DNA إلى شريط mRNA.	**العملية التي يتم عن طريقها تتحول لغة قواعد الأحماض النووية إلى لغة البروتينات (الأحماض الأمينية).**

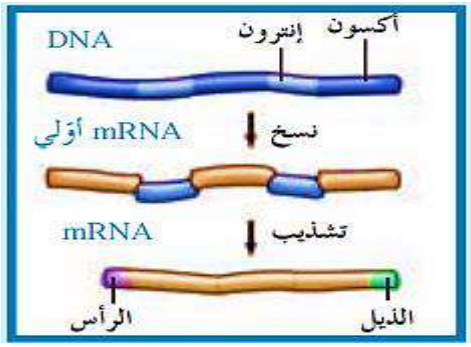
- **كيف تتم عملية (خطوات) النسخ؟**

1- خلال عملية النسخ **يلتحم إنزيم بلمرة حمض RNA مع حمض DNA.**
2- إنزيم بلمرة RNA **يضيف نيوكليوتيدات** للقواعد المكشوفة لشريط حمض DNA بحسب نظام ازدواج القواعد **لإنتاج** شريط حمض **mRNA** أثناء عملية النسخ.
3- ينفصل شريطا حمض DNA الواحد عن الآخر وتنكشف القواعد النيتروجينية، حيث **تستعمل القواعد في أحد شريطي حمض DNA كقالب** لصنع جزيء جديد من حمض RNA.
4- بعد فصل الشريطين يمر إنزيم بلمرة RNA على طول القواعد في شريط الـ DNA هذا **ودائماً في اتجاه واحد**.
5- يقرأ الإنزيم كل نيوكليوتيد ويقرنها مع نيوكليوتيد من نيوكليوتيدات حمض RNA المتكاملة.
6- بعد اكتمال عملية النسخ ينفصل الإنزيم عن شريط حمض DNA **ويطلق** جزيء حمض **mRNA** إلى **السيتوبلازم**.
7- أما شريطا حمض DNA فيرتبطان مجدداً ليعيدا تكوين اللولب المزدوج الأساسي.

- **انتبه**:

1- تتم عملية **النسخ** في **حقيقيات النواة** تكون فيها نيوكليوتيدات حمض RNA موجودة **داخل النواة**، بينما في الخلايا **أولية النواة** تكون النيوكليوتيدات المضافة موجودة **في السيتوبلازم**.
2- تتبع عملية النسخ نظام ازدواج القواعد النيتروجينية نفسه المتبع في عملية تضاعف DNA عدا أن **اليوراسيل (U) يرتبط بالأدينين (A) بدلاً من الثايمين (T).**
3- في الخلايا **حقيقية النواة** تحدث عملية **تشذيب** لحمض mRNA قبل أن يخرج من النواة.





كيف يتم تشذيب حمض RNA ؟

- في الخلايا حقيقية النواة يجب أن يمر mRNA في مرحلة إضافية قبل أن يخرج من النواة لتبدأ عملية الترجمة وهو **يسمى** في هذه المرحلة **mRNA الأولي**.
- وهو يحتوي إلى جانب حمض DNA في الخلايا حقيقية النواة على **أجزاء لا تشفر (لا تترجم) إلى بروتينات تسمى (الإنترونات) وعلى أجزاء تشفر (تترجم) إلى بروتينات تسمى (الإكسونات).**
- **تستنسخ** الإنترونات والإكسونات في حمض DNA إلى mRNA الأولي.
- قبل أن يغادر mRNA النواة تزيل إنزيمات الإنترونات وتربط الإكسونات بعضها ببعض، وتسمى هذه العملية تسمى (**تشذيب حمض RNA**).
- في هذه الطريقة يكون mRNA قد شُذب (أي قُطع وأعيد تجميعه).
- تعتبر عملية التشذيب خطوة مهمة في حقيقيات النواة ليخرج بعدها mRNA من النواة ويتجه نحو الرايبوسومات حيث تتم عملية الترجمة.

الشفرة الوراثية (كودون):

- وحدات بناء البروتين تسمى **الأحماض الأمينية** وعددها (**20**) نوع.
- **تصنع** البروتينات من خلال **اتصال** الأحماض الأمينية في سلاسل طويلة تسمى (**عديدات الببتيد**).
- تحدد خصائص البروتينات تبعاً لأنواع هذه الأحماض الأمينية.
- **اللغة** التي تدخل في تركيب mRNA تسمى (**الشفرة الوراثية**)، **وهي لغة ذات أربعة حروف تمثل أربع قواعد نيتروجينية مختلفة هي (A، U، C، G).**

- **تُقرأ** الشفرة الوراثية **بثلاثة** قواعد في كل مرة تمثل **كودوناً**. أي أن:
- **الكودون** :
- **مجموعة من ثلاثة نيوكليوتيدات على mRNA تحدد حمضاً أمينياً معيناً.**
- تتم إضافته إلى أحماض أمينية أخرى لتشكيل سلسلة عديد الببتيد. مثال: **UCGCACGGU**.
- يجب أن يُقرأ هذا التتابع ثلاث قواعد في كل مرة كما يلي:
- **UCG – CAC – GGU**.
- هذه الكودونات تمثل الأحماض الأمينية (**GGU جليسين**) (**CAC هستدين**) (**GGU سيرين**).
- **انتبه: بعض الأحماض الأمينية تحدد بأكثر من كودون، مثل (الليوسين و الأرجينين).**
- **في حين هناك كودون واحد يحدد البدء وهو (AUG) من خلال استدعاء الحمض (ميثيونين).**
- **ويوجد ثلاث كودونات (لا تترجم) تدل على التوقف هي (UGA، UAA و UAG) وهي تشبه النقطة في نهاية الجملة حيث تحدد نهاية سلسلة عديد الببتيد.**

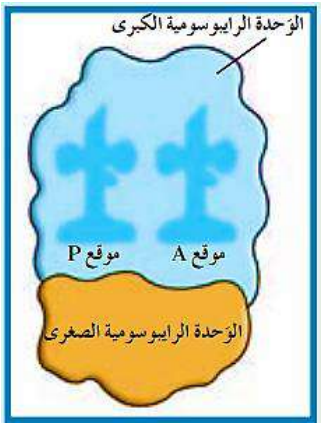
الشفرة الوراثية: (كودونات mRNA والأحماض الأمينية)

القاعدة الأولى في الكودون	U			C			A			G			القاعدة الثالثة في الكودون
	U	UUU	فينيل ألانين Phe	U	UCU	سيرين Ser	U	UAU	تيروسين Tyr	U	UGU	سيستيين Cys	U
		UUC			UCC			UAC			UGC		C
		UUA	ليوسين Leu		UCA			UAA	كودون التوقف Stop		UGA	كودون التوقف Stop	A
		UUG			UCG			UAG			UGG	تريبتوفان Trp	G
	C	CUU	ليوسين Leu	C	CCU	برولين Pro	C	CAU	هستيدين His	C	CGU	أرجنين Arg	U
		CUC			CCC			CAC			CGC		C
		CUA			CCA			CAA	جلوتامين Gln		CGA		A
		CUG			CCG			CAG			CGG		G
	A	AUU	إيزولوسين Ile	A	ACU	ثريونين Thr	A	AAU	أسبرجين Asn	A	AGU	سيرين Ser	U
		AUC			ACC			AAC			AGC		C
		AUA			ACA			AAA	ليسين Lys		AGA	أرجنين Arg	A
		AUG	ميثيونين(كودون البدء) Met		ACG			AAG			AGG		G
	G	GUU	فالين Val	G	GCU	ألانين Ala	G	GAU	حمض الأسبارتيك Asp	G	GGU	جليسين Gly	U
		GUC			GCC			GAC			GGC		C
		GUA			GCA			GAA	حمض جلوتاميك Glu		GGA		A
		GUG			GCG			GAG			GGG		G

الترجمة:

- يُعرف فك الشفرة في mRNA لتكوين سلسلة عديد الببتيد بالترجمة ، أي أنها العملية التي يتم عن طريقها تتحول لغة قواعد الأحماض النووية إلى لغة البروتينات، وهي عملية تحدث في الرايبوسومات.

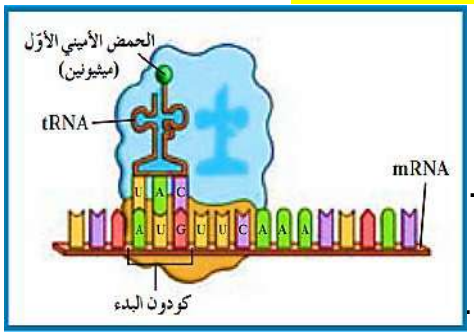
- **تركيب الرايبوسوم** :



- يتألف الرايبوسوم من وحدتين وحدة كبيرة والأخرى صغيرة ترتبطان ببعضهما بعضاً فقط أثناء عملية الترجمة.
- يوجد في الرايبوسوم موقعين للارتباط متجاورين هما (A) و (P) يؤديان دوراً مهماً في عملية الترجمة، إذ يرتبط بكل منهما (tRNA) الذي يحمل حمضاً أمينياً خاصاً به، وستشكل هذه الأحماض فيما بعد سلسلة عديد الببتيد.

- **تصنيع البروتين** :
- تتم عملية تصنيع البروتين على ثلاث مراحل هي:

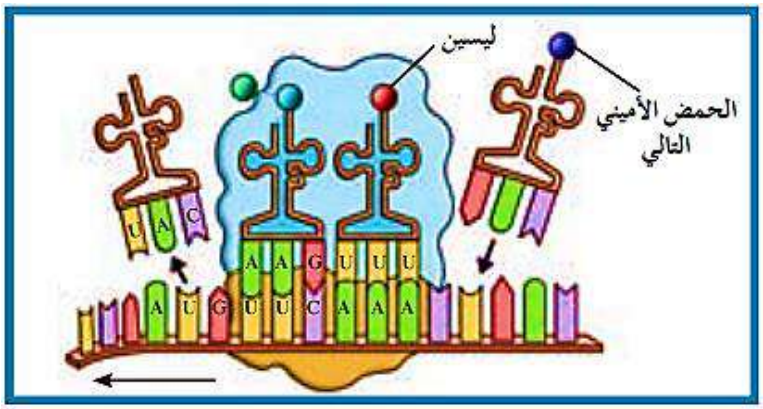
(أ) مرحلة البدء (ب) مرحلة الاستطالة (جـ) مرحلة الانتهاء



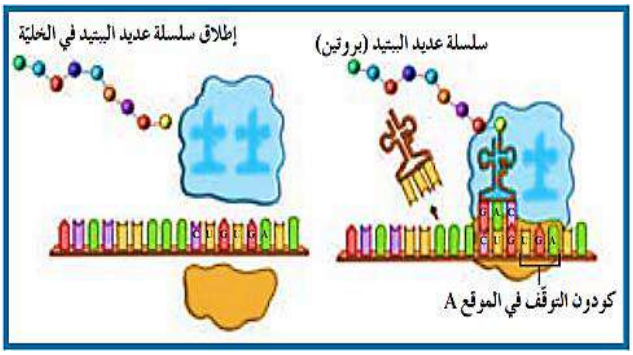
- **(أ) مرحلة البدء:**
- **تبدأ** عملية الترجمة عندما يرتبط mRNA **بالوحدة الرايبوسومية الصغرى** في السيتوبلازم ويكون موجهاً بحيث يتمركز كودون البدء **AUG** الذي يشفر للحمض الأميني (**ميثونين**) عند الموقع (**P**).
- **يرتبط** بكودون **mRNA** جزئ **tRNA** الذي يحمل في **أحد** طرفيه (**مقابل الكودون**) وفي طرفه **الثاني** الحمض (الأميني المشفر له).
- **مقابل الكودون: هو مجموعة من ثلاث نيوكليوتيدات يحملها tRNA خلال عملية الترجمة وتكون متكاملة مع الكودون الذي يحمله mRNA.**
- **وبالتالي يكون (مقابل الكودون الأول) في بناء أي بروتين هو UAC (علل):**
- **لأن الكودون الأول لأي بروتين هو AUG ويدل على الحمض الأميني (الميثونين).**
- بعد ارتباط أول tRNA مع الكودون الخاص به على mRNA في الموقع P على الرايبوسوم ترتبط الوحدة الصغرى من الرايبوسوم مع الوحدة الكبرى ويسمى (**الرايبوسوم المفعل**).

- **الرايبوسوم مفعل:**

- **هو اسم يطلق على الرايبوسوم بعد ارتباط وحدته الصغرى مع الكبرى، وأول tRNA في الموقع (P) ويصبح الكودون الشاغر في الموقع (A) جاهزاً لتلقي tRNA التالي.**
- **يصل جزئ tRNA حاملاً مقابل الكودون المتكامل مع الكودون الشاغر في الموقع (A) فيرتبطان بحيث يصبح الموقعين (A و P) حاملين لحمضين أمينيين.**
- **يساعد إنزيم معين في ربط الحمضين الأمينيين برابطة ببتيدية مكوناً أول حمضين أمينيين في سلسلة الببتيد.**



- **(ب) مرحلة الاستطالة:**
- بعد **ربط** الحمض الأميني الأول والثاني **ينفصل** جزئ tRNA الموجود في الموقع (**P**) تاركاً حمضه الأميني وراءه.
- **ثم يندفع** جزئ **tRNA** الموجود في الموقع (**A**) ليحل الموقع (**P**) **الشاغر**.
- **ثم يتحرك** جزئ tRNA و mRNA عبر الرايبوسوم إلى الموقع (P) **كوحدة واحدة**، نتيجة لذلك يظهر كودون جديد في الموقع (**A**) ويكون جاهزاً لتلقي جزيء **tRNA** التالي مع الحمض الأميني الخاص به.
- وبهذه الطريقة يتم نقل الأحماض الأمينية إلى الموقع (**A**) ويتم ربطها **بسلسلة الببتيد** بواسطة **رابطة ببتيدية** حتى يتم الوصول إلى **نهاية mRNA**.



- **(جـ) مرحلة الانتهاء:**
- تنتهي عملية الترجمة حين يصل **كودون التوقف** إلى الموقع (**A**) وهو **كودون ليس له مقابل كودون ولا يشفر (لا يترجم) لأي حمض أميني ما يؤدي إلى انتهاء عملية تصنيع البروتين.**

- **عملية تصنيع البروتين:**
- **هي العملية التي يتم فيها تجميع الأحماض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد في خلال عملية الترجمة.**
- **انتبه: بعد انتهاء عملية تصنيع البروتين يتفكك الرايبوسوم إلى وحدتيه الأساسيتين وينفصل عديد الببتيد (البروتين) ويطلق في الخلية.**

الجينات والبروتينات:

- لتصنيع البروتين تنسخ الخلية حمض DNA إلى حمض RNA الذي يتوجه إلى مواقع تصنيع البروتين في السيتوبلازم أي في الرايبوسومات في حين يبقى حمض DNA آمناً داخل النواة.
- تحتوي الجينات على تعليمات تصنيع البروتينات وهي موجودة في الكائنات الحية بالملايين ما يظهر أهمية البروتينات.
- تذكر أن العديد من البروتينات هي إنزيمات تحفز التفاعلات الكيميائية وتنظمها.
- الجين الذي يحمل شفرة إنزيم يحفز تفاعل إنتاج صبغة معينة يمكنه أن يتحكم بلون الزهرة، في حين يحتوي جين آخر على تعليمات تصنيع إنزيم يختص بإنتاج (الأنتيجينات) التي تحدد فصيلة الدم على سطح كريات الدم الحمراء.
- إلى ذلك تحتوي جينات أخرى على تعليمات تصنيع بروتينات معينة تنظم معدل النمو ونمطه في الكائن الحي فتتحكم بحجم هذا الأخير وشكله.

- **باختصار (البروتينات هي مفاتيح معظم ما تقوم به الخلية من وظائف).**

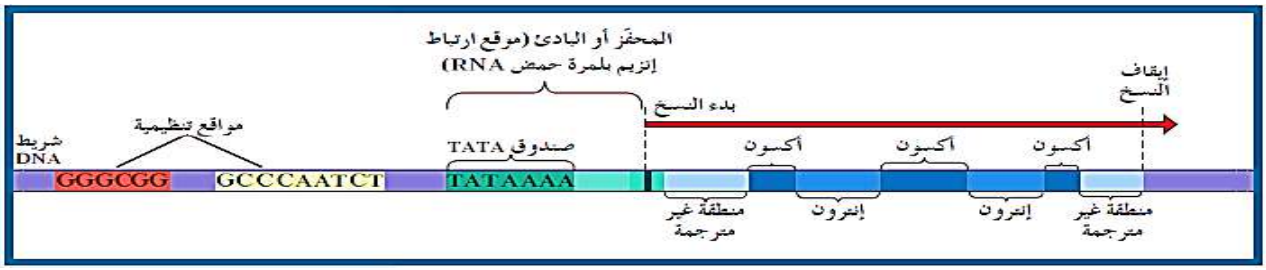
الدرس (1 – 4) : البروتين والتركيب الظاهري

مقدمة:

- تتصل أصابع أقدام البط بأغشية، أما أصابع الدجاج فلا يوجد (فسر)؟
- لوجود بروتينات تسمى **بروتينات تخليق العظام** تحول دون نمو أغشية بين أصابع الدجاج.
- عند إخال **جين طافر** يسد مستقبلات الخلية لبروتينات تخليق العظام (BMP) في القدم اليسرى لجنين الدجاجة يظهر لها أغشية في الرجل اليسرى.

الجينات والبروتينات:

- جزء صغير فقط من الجينات في الخلية يعبر عنه بشكل دائم وهو الجين الذي يُنسخ إلى mRNA.
- تحدد الخلية أي الجينات سوف تنشط وأي الجينات يبقى ساكناً.
- وجد عند تحليل عمل القواعد النيتروجينية التي تمثل DNA أن هناك **تتابعات معينة** تعمل **كمحفزات لمواقع ارتباط إنزيمات بلمرة RNA**.
- في حين تعمل **تتابعات أخرى كإشارات لبدء عملية النسخ أو توقفها**.
- **تمتلئ الخلايا ببروتينات ترتبط بتتابعات DNA محددة تساعد في تنظيم وضبط عمل الجين.**
- يشبه الجين الموضح في الشكل التالي **محفز** في جانب واحد من الجين إلى جانب **المواقع التنظيمية** حيث ترتبط بروتينات تنظم عملية النسخ وتحدد ما إذا كان الجين يعمل أم لا يعمل.
- **يحتوي** المحفز على **تتابعات محددة TATAAAA** تسمي **صندوق TATA** وهي تؤدي دوراً عند إطلاق عملية النسخ.



البروتينات ووظائف الخلية:

- يحتوي الجسم على أكثر من 50.000 بروتين مختلف، وقد تحتوي كل خلية على مئات البروتينات المختلفة التي تتحكم الجينات بإنتاجها.
- **يؤدي تغير الجين إلى تغير البروتين ما يؤدي إلى تغير تركيب الخلية ووظيفتها وهذا يؤدي إلى تركيب ظاهري مختلف.**
- **جميع خلايا الجسم تحتوي على الجينات نفسها لكنها لا تنتج كلها البروتينات نفسها (علل).**

لأن الجينات في كل خلية من خلايا الكائنات الحية لديها **آليات تنظيمية** تحفز بدء عمل الجينات أو توقفه.

انتبه:

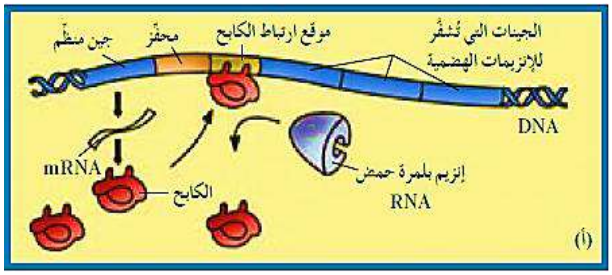
- **يبدأ عمل الجين عند تنشيطه ويؤدي إلى تصنيع الخلية للبروتين الذي يتحكم هذا الجين بإنتاجه وهذا ما يُعرف بـ(التعبير الجيني).**
- **أما إيقاف عمل الجين** فهو العكس تماماً ويُمثل **بوقف صنع البروتين** الذي يُشفر (يُترجم) له الجين، أي **عدم تعبير الجين عن نفسه**.
- **تختلف طريقة ضبط التعبير الجيني بين أوليات النواة وحقيقيات النواة كما يلي:**

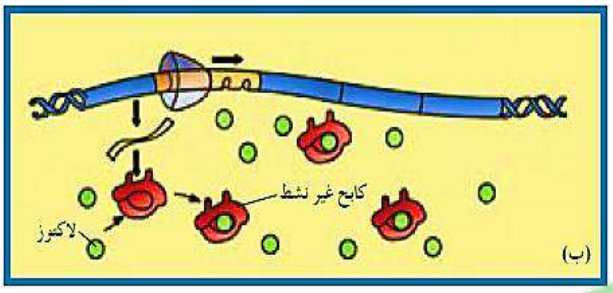
التعبير الجيني في أوليات النواة	التعبير الجيني في حقيقيات النواة
بدء عمل الجين أو وقفه مرتبط بأي تغيير حاصل كاستجابة للعوامل البيئية	غالباً ما يتضمن عمل الجين أنظمة عديدة معقدة مختلفة.

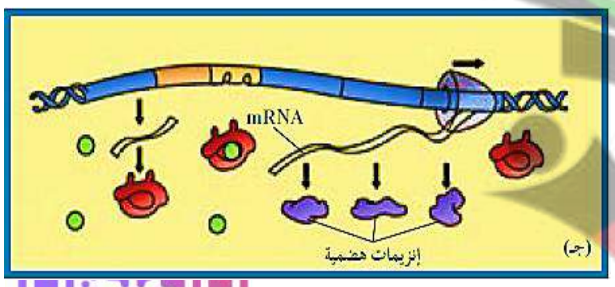
ضبط التعبير الجيني في أوليات النواة:

- في خلية البكتيريا توجد بروتينات تحتاج إليها الخلية طوال الوقت، بينما هناك بروتينات أخرى لا تحتاج إليها الخلية إلا في ظروف بيئية معينة.
- تملك البكتيريا القدرة على إنتاج البروتين حسب حاجتها.
- تحتاج **بكتيريا ايشيريشيا كولاي** إلى **ثلاث إنزيمات** لهضم سكر اللاكتوز في حالة وجوده، والجينات المتحكمة بهذه الإنزيمات مُجمعة على كروموسومها.
- وعلاقة كمية اللاكتوز والإنزيمات في الخلية هي جزء من نظام بدء عمل الإنزيمات الهضمية أو توقف عملها.
- يوجد داخل حمض DNA للبكتيريا جين منظم يشفر لإنتاج بروتين معين يسمى (**الكابح**).
- **الكابح**: هو بروتين يرتبط بحمض DNA ليوقف عمل الجينات التي تشفر لإنزيمات الهضم.
- إلى جانب الجينات المنتجة للإنزيمات الهضمية يوجد (**محفز**).
- **المحفز**: هو جزء من حمض DNA يعمل كموقع لارتباط إنزيم بلمرة حمض RNA الذي يقوم بنسخ DNA إلى mRNA.

- **كيفية ضبط التعبير الجيني في أوليات النواة (بكتيريا E.coli):**







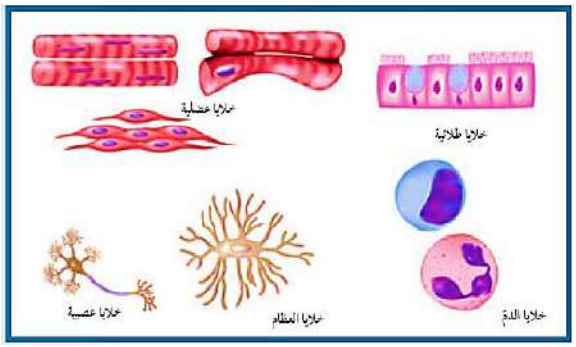
- يمنع **الكابح** إنزيم بلمرة **RNA** من الارتباط **بالمحفز**، أي **يمنع** تصنيع الإنزيمات الهضمية لأن هذا الإنزيم ضروري لعملية النسخ.
- **كيف يُفعل دور الجين مجدداً؟**
- هنا يأتي دور **سكر اللاكتوز**، فعندما **تدخل** البكتيريا **E.coli** إلى محيط غني بسكر اللاكتوز **يرتبط** هذا **السكر بالكابح** مغيراً شكله ليتحول الكابح إلى **غير نشط** ولا يعود قادراً على الارتباط بحمض **DNA**.
- وهكذا **يرتبط إنزيم بلمرة حمض RNA بالمحفز** مجدداً ويتحرك على طول حمض **DNA** ناسخاً الجين الذي يشفر للإنزيمات الهضمية.
- **يترجم** حمض **mRNA** بعدئذ وتصنع الإنزيمات الهضمية.
- **بعد هضم** كمية **اللاكتوز** كلها **ينشط الكابح** من جديد ويصبح حر **للارتباط بحمض DNA** ويتوقف عمل الجينات التي تتحكم بتصنيع الإنزيمات الهضمية من جديد.

- (أذكر السبب العلمي) علل:
- **تكتفي بكتيريا E. coli بإنتاج الإنزيمات الهضمية عند وجود سكر اللاكتوز.**
- **لكي توفر على نفسها خسارة الطاقة لتصنيع إنزيمات ليست بحاجة إليها.**

ضبط التعبير الجيني في حقيقيات النواة:

انتبه:

- يوجد **تشابه** أساسي بين خلايا **أولية** النواة وخلايا **حقيقية** النواة فيما يخص حقيقة **إنزيم بلمرة حمض mRNA يرتبط بالمحفز لبدء عملية النسخ إلا أن خلايا حقيقية النواة تضبط تمايز الخلايا في خلال التنظيم المعقد والدقيق للتعبير الجيني.**



- مجموع جينات خلايا حقيقية النواة أكبر من مجموع جينات خلايا أولية النواة، وهذه الجينات منظمة في كروموسومات متعددة وبتتابعات أكثر تعقيداً عن أوليات النواة.
- تحمل جميع أنواع خلايا الجسم الكروموسومات نفسها ولكن هناك خلايا **متمايزة** ولكل نوع من الخلايا تركيب ووظيفة مختلفين.
- بعض هذه الخلايا **متخصصة** (نتيجة الاختلاف في التحكم بالتعبير الجيني في حقيقيات النواة) وهي عملية معقدة مقارنة بأوليات النواة.
- إحدى طرق التعبير الجيني هي (**التعبير الجيني الانتقائي**) وهذا يعني أن بعض الجينات فقط في كروموسومات حقيقيات النواة تعمل فعلياً أي تنشط ويحدث لها نسخ، أما باقي الجينات فمتوقفة عن العمل بشكل دائم أي مثبطة ولا يحدث لها نسخ.
- وبذلك يكون لكل خلية وظيفة محددة.
- **ما هي العوامل التي تتحكم في إيقاف عمل الجينات أو تفعيلها للخلايا حقيقية النواة؟**

أ - مرحلة نمو الكائن. ب - العوامل البيئية المحيطة.

انتبه:

- **عند الخلايا أوليات النواة يُضبط التعبير الجيني قبل عملية النسخ وبعدها.**
- **الخلايا حقيقيات النواة تُحجب عملية (النسخ) عن عملية (الترجمة) لوجود غلاف نووي، وبالتالي يتم ضبط التعبير الجيني خلال مراحل مختلفة.**
- **من إحدى طرق ضبط عملية التعبير الجيني:**

أ - ضبط عملية النسخ بتحديد كمية mRNA التي تنتج من جين محدد.

ب – تحديد سلسلة من الأحداث التي تحدث بعد عملية النسخ وتنظم بدورها عملية ترجمة mRNA إلى بروتينات.

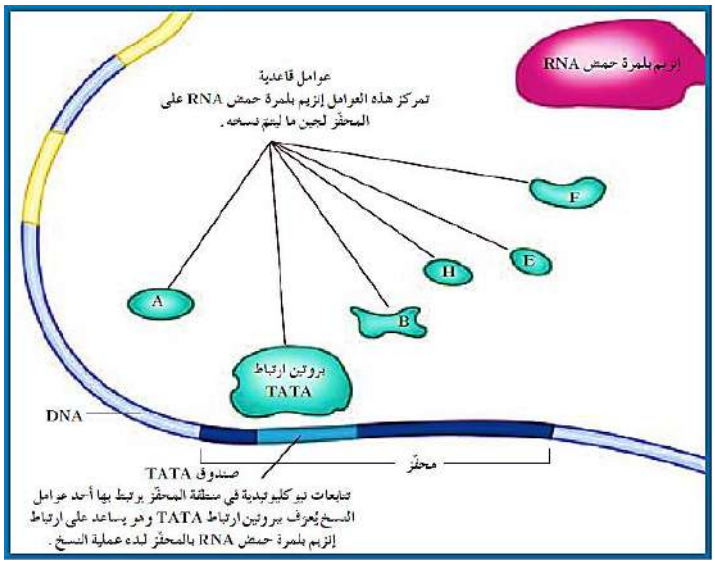
جـ - حتى ما بعد عملية تصنيع البروتين أي بعد عملية الترجمة تؤثر التعديلات والتحولات التي تحدث في عمل هذا البروتين.

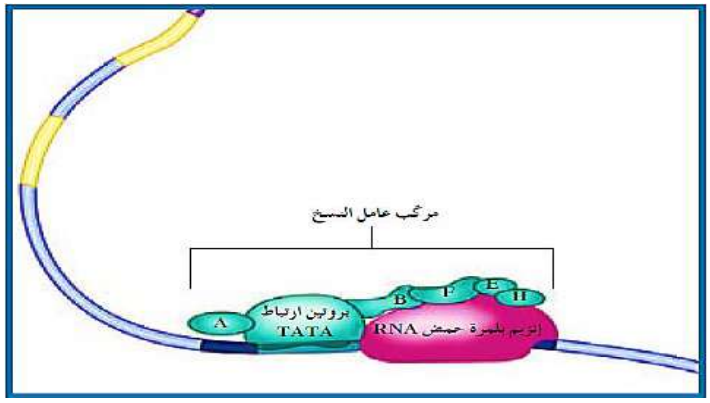
- **تُنظم خلايا حقيقيات النواة التعبير الجيني في خلال ضبط عملية النسخ بشكل رئيسي من خلال ضبط متى يرتبط إنزيم بلمرة حمض RNA بالمحفز بمساعدة مجموعة من البروتينيات تسمى (عوامل النسخ).**

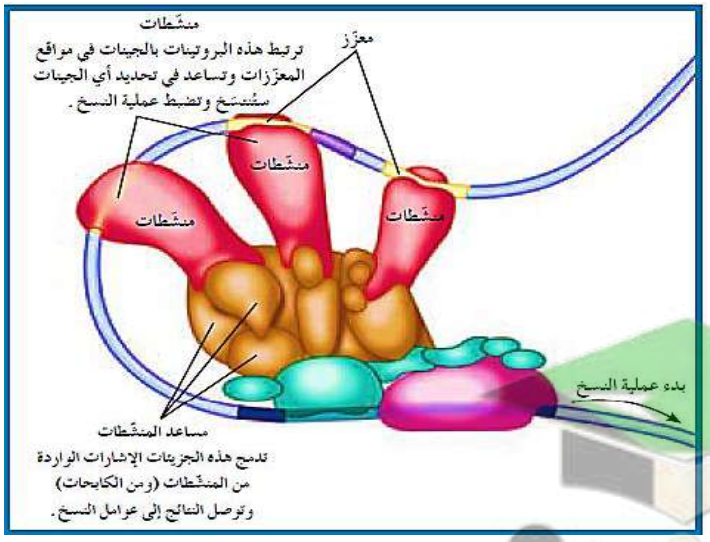
- **عوامل النسخ: هي بروتينات منظمة وظيفتها تنشيط عملية نسخ حمض DNA.**
- ولكي يستطيع إنزيم بلمرة RNA الارتباط بنجاح بالمحفز في خلايا حقيقية النواة والبدء بعملية النسخ تتجمع (عوامل النسخ) وترتبط بداية بالمحفز.

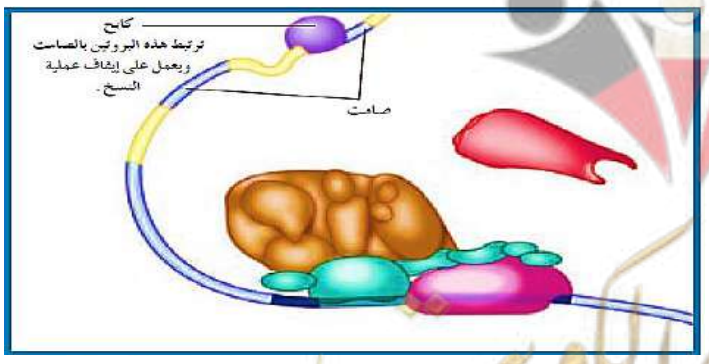
• عملية النسخ في حقيقيات النواة:

- لكي يستطيع إنزيم بلمرة RNA الارتباط بنجاح بالمحفز في خلايا حقيقية النواة والبدء بعملية النسخ يحدث التالي:
- تتجمع عوامل النسخ وترتبط بداية بالمحفز.
- تبدأ عملية التجمع بعيداً عن موقع انطلاق عملية النسخ.
- توجد بروتينات تسمى (عوامل قاعدية) ترتبط بواسطة (بروتين ارتباط TATA) بتتابع قصير من النيوكليوتيدات يسمى (صندوق TATA) موجود على المحفز ليتكون (مركب عامل نسخ كامل) قادر على التقاط (إنزيم بلمرة RNA).
- العوامل القاعدية ضرورية لعملية النسخ ولكنها غير كافية لزيادة سرعة النسخ أو تخفيضها، لذلك هناك مجموعة ثانية من عوامل النسخ تسمى (مساعد منشطات) تستطيع أن تربط العوامل القاعدية بمجموعة ثالثة من عوامل النسخ تسمى (منشطات).
- **المنشطات**: هي بروتينات منظمة تعمل على ضبط عملية النسخ. وترتبط بتتابعات على DNA تسمى (معززات).
- **المعززات**: هي عبارة عن قطع من DNA مكونة من الآلاف من النيوكليوتيدات في السلسلة المشفرة، وظيفتها تحسين عملية النسخ وضبطها.
- ليس ضرورياً وجود المعزز في المنطقة القريبة من المنطقة المراد نسخها.
- هذا التفاعل بين البروتينات المنشطة ووحدات عوامل النسخ يؤدي إلى بدء عملية النسخ وتسريعها.
- هناك عدة معززات منتشرة على الكروموسوم قادرة على الارتباط بعدة أنواع من المنشطات التي توفر مجموعة متنوعة من الاستجابات أو ردود أفعال على الإشارات المختلفة.
- عند ارتباط نوع ثان من بروتين منظم يسمى (الكابح) بتتابعات نيوكليوتيدية على DNA تسمى (صامتات) لا تعود المنشطات قادرة على الارتباط بـ DNA وهكذا تتوقف عملية النسخ.









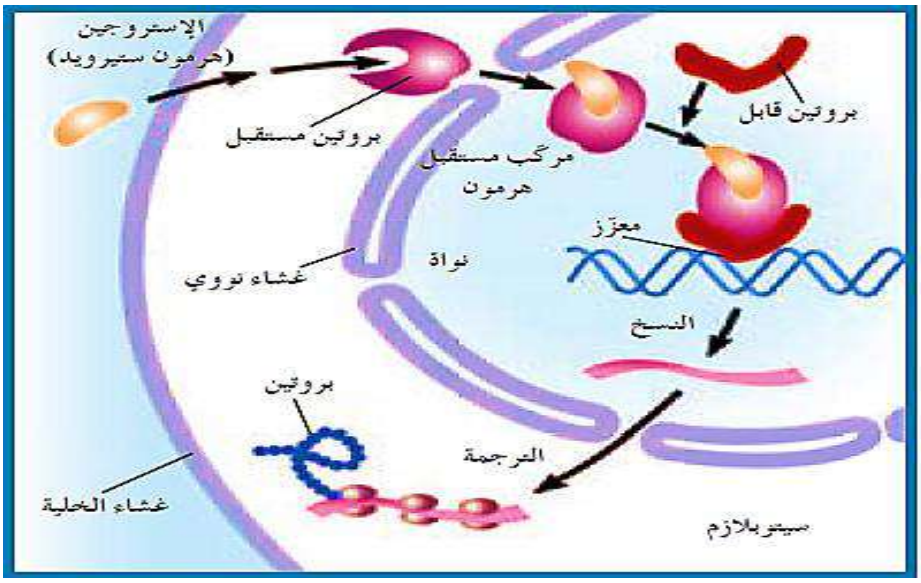
- **كيف يحفز هذا المعزز عملية النسخ: مثال كيفية عمل الهرمونات (ستيرويدات) في خلايا الفقاريات؟**
- **الستيرويدات: هي جزيئات مركبة من مادة دهنية تعمل كإشارة كيميائية.**
- **مثال عليها (الأستروجين) المسؤول عن ظهور الخصائص الجنسية الثانوية عند الإناث.**

1- عندما يعبر هذا الهرمون (الأستروجين) الغشاء الخلوي لخلية معينة يرتبط ببروتين مستقبل موجود على الغشاء النووي وينتج (مركب مستقبل للهرمون).

2- لهذا المركب شكل موائم للارتباط ببروتين معين يسمى (بروتين قابل).

3- يرتبط البروتين القابل بالمناطق المعززة في حمض DNA.

4- ما ينبه إنزيم بلمرة حمض RNA لبدء عملية النسخ.



انتبه:

- **في بعض الأحيان تفشل آلية ضبط التعبير الجيني ما يؤدي إلى إنتاج بروتين خاطئ وبالتالي إلى تغيير في نمو الخلية وتركيبها ووظيفتها، وقد يسبب في بعض الأحيان إنتاج خلايا سرطانية.**