

الفصل الثاني:

تعبير الخبر الواثي

تمهيد:

من خلال دراسة تجارب GRIFFITH تبين أن علاقة بين المادة الوراثية (ADN)، وظهور أو غياب صفة معينة. فما هي هذه العلاقة؟ وكيف يتحكم ADN في ظهور صفات وراثية قابلة للملاحظة والقياس؟

1 - مفهوم الصفة، المورثة، الحليل، والطفرة.

① مفهوم الصفة الوراثية.

الصفة الوراثية هي ميزة نوعية أو كمية، تميز فردا عن باقي أفراد نوعه، وتنتقل عبر الأجيال. بعض الصفات تلاحظ بالعين المجردة (لون الأزهار مثلا)، في حين لا تبرز أخرى إلا بواسطة اختبارات أو تحاليل خاصة (الفصيلة الدموية مثلا).

② العلاقة بين الخبر الوراثي والصفة.

أ - تجارب. أنظر نشاط 1، لوحة 1.

اللوحة 1

① نشاط 1 مفهوم الصفة، المورثة، الحليل، والطفرة.

من خلال التجربتين التاليتين نحاول تتبع انتقال بعض الصفات الوراثية .

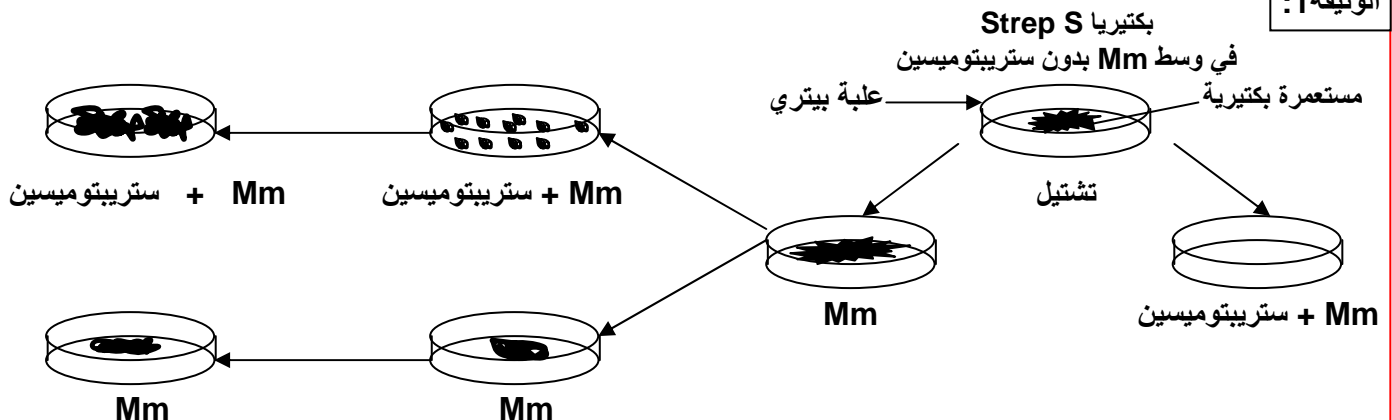
♥ التجربة 1 :

نختار إحدى الكائنات الحية التي لها دورة نمو قصيرة زمنيا مثل بكتريا Echerichia-Coli. إذا كانت الظروف ملائمة تنقسم هذه البكتريا فنحصل على مستعمرة بكتيرية (colonie) تدعى اللمة (clone)، تكون البكتريا بها لها نفس الخصائص والمتطلبات. وقد تتوالد هذه البكتريا في وسط أدنى (أملاح معدنية + غراء + سكر) = (M.m) ومن مميزات هذه البكتيريا أنها غير قادرة على العيش والتكاثر في وسط يحتوي على المضاد الحيوي (Antibiotique) المسمى ستريبتومييسين Streptomycine، حيث تعتبر حساسة لهذا المضاد الحيوي فنرمز لها بـ Strep S.

بعد زرع هذه البكتيريا في وسط بدون ستريبتومييسين، تم تشثيلها (نقلها) إلى أوساط مختلفة كما هو مبين على الوثيقة 1:

- 1) انطلاقا من هذه المعطيات، أعط تعريفا للمة.
- 2) صف هذه التجربة، ثم حدد ما هو المشكل الذي تطرحه هذه النتائج؟
- 3) اقترح تفسيراً لنتائج هذه التجربة.

الوثيقة 1:



♥ التجربة 2 :

نضع بكتريا Strep s غير قادرة على العيش في وسط لا يحتوي على اللاكتوز (Lactose). وتتطلب هذه البكتريا هذا الأخير للعيش ولهذا يرمز إليها ب (- Lac) ، اذن هذه البكتريا سيرمز إليها ب (- Strep s , Lac). إذا تتبعنا هذه التجارب فإننا نحصل بالإضافة للبكتريا المذكورة سابقا على أنواع أخرى والتي هي : (Strep r , Lac -) ، (Strep r , Lac +) ، (Strep s , Lac +) .

- (4) ماذا تستنتج من تحليل معطيات التجربة 2 ؟
 (5) اربط بين نتائج التجريبتين وبنية جزيئة ADN ثم استخلص مفهوم المورثة Le gène و مفهوم الحليل L'allèle .

ب – تحليل واستنتاج.

- (1) اللمة هي مجموعة من الأفراد لهم نفس الخبر الوراثي، ومن تم نفس الصفات.
 (2) نلاحظ أن البكتيريا لا تتكاثر عند وجود الستريبتوميسين (Strep S)، لكن تظهر تلقائيا بكتيريات أخرى في هذا الوسط، مقاومة للستريبتوميسين، نصلح على تسميتها (Strep R). المشكل المطروح هو كيف أصبحت البكتيريا Strep S بكتيريا Strep R ؟
 (3) بما أن الصفة Strep S وراثية، والصفة Strep R بدورها وراثية، فان المتحكم فيهما هو ADN.
 لا يمكن اذن تفسير تحول البكتيريا Strep S إلى بكتيريا Strep R إلا بحدوث تغير فجائي على مستوى ADN، ونسمي هذا التغير بالطفرة Mutation، فنقول أن البكتيريا Strep R بكتيريا طافرة أما البكتيريا Strep S فهي بكتيريا متوحشة.
 (4) نلاحظ في هذه التجربة صفتين:
 ★ العلاقة بالستريبتوميسين: وتظهر شكلين، الشكل المتوحش Strep S، والطافر Strep R.
 ★ العلاقة باللاكتوز: وتظهر شكلين، الشكل المتوحش Lac⁻، والشكل الطافر Lac⁺.
 وهكذا فالسلالة المتوحشة بالنسبة للصفتين هي: (Strep S, Lac⁺).
 والسلالة الطافرة بالنسبة للصفتين هي: (Strep R, Lac⁻).
 نلاحظ أن ظهور طفرة في صفة ما غير مرتبط بالضرورة بظهور طفرة في الصفة الأخرى، ويمكن تفسير ذلك بأن قطعتي ADN المتحكمتين في الصفتين مختلفتان.
 (5) بما أن التغير على مستوى المادة الوراثية ADN أدى إلى تغير على مستوى الصفة، فهذا يعني أن كل صفة يقابلها جزء خاص من ADN، يسمى مورثة Gène.

③ العلاقة مورثة – بروتين / بروتين - صفة.

أ – مثال أول : تجربة Beadle et Tatum: أنظر نشاط 2، لوحة 1.

اللوحة 1

② نشاط 2 العلاقة صفة – بروتين – مورثة
 قصد الكشف عن هذه العلاقة نعمل على استثمار المعطيات التالية:

♥ تجربة Beadle و Tatum

النوروسبورا Neurospora عفن مجهري على شكل غزل فطري، ينمو عادة على الخبز. يمكن للسلالة المتوحشة أن تعيش في وسط أدنى يحتوي على سكر + ماء + أملاح الأمونيوم. بينما توجد سلالة طافرة غير قادرة على العيش في هذا الوسط. نقوم بزرع السلالة الطافرة في وسط أدنى + الحمض الأميني التريبتوفان L'acide aminé Tryptophane فنلاحظ أن هذه السلالة قادرة على العيش والتكاثر في هذا الوسط وحده.
 (1) ماذا تستنتج من هذه التجربة؟

يتم تركيب التريبتوفان عبر سلسلة من التفاعلات الأنزيمية، يمكن تلخيصها فيما يلي:



(2) ماذا تستخلص إذا علمت أن بعض السلالات الطافرة يكفيها وجود حمض أنترانيليك في الوسط لكي تعيش وتتكاثر؟

(1) نلاحظ أن السلالة الطافرة غير قادرة على تركيب التريبتوفان في وسط أدنى يتكون من أملاح الأمونيوم فقط. لذا نرسم لهذه السلالة بـ Try^- ، ونقول أنها سلالة غير ذاتية التركيب للتريبتوفان Auxotrophe pour la tryptophane. بينما السلالة المتوحشة Try^+ فهي ذاتية التركيب للتريبتوفان Autotrophe pour la tryptophane. نستنتج من هذه الملاحظة أن الصفة مرتبطة بالقدرة على تركيب بروتيني معين.

(2) إن السلالة الطافرة Try^- غير قادرة على تحديد التحول أملاح الأمونيوم ← حمض الأنترانيليك. وذلك لغياب الأنزيم E1. نستخلص ادن أن كل صفة مرتبطة بتركيب بروتيني معين، والذي يرتبط بدوره بتركيب أنزيمي معين.

ب - مثال ثاني : فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme انظر نشاط 1، وثيقة 1 لوحة 2

اللوحة 2

الوثيقة 1

الخضاب الدموي بروتين يوجد داخل الكريات الحمراء و له دورين، وظيفي يتجلى في نقل الغازات التنفسية، و بنيوي يتجلى في إعطاء الشكل الكروي المقعر للكريات الحمراء. فقر الدم المنجلي مرض استقلابي ناتج عن تركيب خضاب دموي Hémoglobine غير عادي (تشوه الكريات الحمراء تصبح منجلية الشكل) يرمز له بـ (HbS)، بينما يرمز لخضاب الدم العادي بـ : (HbA). أنظر الوثيقة 1، شكل 1. عند تحرير (HbS) للأوكسجين يصبح الخضاب غير دوام و يترسب على شكل ابر تشوه مظهر الكريات الحمراء التي تفقد ليونتها وتسد الشعيرات الدموية، مما ينتج عنه فقر في إمداد الخلايا بالأوكسجين. يعطي الشكل 2 تسلسل الأحماض الأمينية المكونة لجزء من جزيئة الخضاب الدموي مع جزء من المورثتين المتحكمتين في تركيبهما.

(1) قارن سلسلتي HbS و HbA من جهة ومورثة HbS و HbA من جهة أخرى.
(2) ماذا تستنتج؟

الوثيقة 1	الشكل 1
<p>الشكل 2</p> <p>جزء المورثة المسؤول عن تركيب HbA</p> <p>GTGCACCTTACTCCAGAGGAG</p> <p> </p> <p>CACGTGGAATGAGGTCTCCTC</p> <p>الخطاب الدموي HbA</p> <p>(val) (his) (leu) (thr) (pro) (glu) (glu)</p> <p>1 2 3 4 5 6 7</p> <p>بداية السلسلة β</p>	
<p>جزء المورثة المسؤول عن تركيب HbS</p> <p>GTGCACCTTACTCCAGTGGAG</p> <p> </p> <p>CACGTGGAATGAGGTCACCTC</p> <p>الخطاب الدموي HbS</p> <p>(val) (his) (leu) (thr) (pro) (val) (glu)</p> <p>1 2 3 4 5 6 7</p>	

1) يكمن الاختلاف الوحيد بين السلسلة β للخصاب الدموي HbA والخصاب الدموي HbS، في تعويض الحمض الأميني رقم 6 (Glu) في HbA بالحمض الأميني Val في HbS. وأن متتالية القواعد الأزوتية لجزء المورثة HbA تختلف عن متتالية القواعد الأزوتية لجزء المورثة HbS، إذ استبدل الزوج النيكليوتيدي رقم 17، حيث تم استبدال A – T في HbS بـ T – A في HbA.

2) إن استبدال متتالية القواعد الأزوتية في المورثة، ترتب عنه تغيير في متتالية الأحماض الأمينية في البروتين. نستنتج أن هناك علاقة بين المورثة والبروتين. إن كل تغيير في بنية البروتين، يؤدي إلى تغيير في المظهر الخارجي لصفة معينة (تغير بنية الخصاب تغير شكل الكريات الحمراء)، هذا يدل على وجود علاقة بين الصفة والبروتين.

ج - خلاصة.

إن كل صفة تترجم وجود بروتين بنوي، أو نشاط بروتيني مختص، وأن كل تغيير في تعاقب القواعد الأزوتية (النيكليوتيدات) داخل جزيئة ADN، ينتج عنه تغيير في تعاقب الأحماض الأمينية داخل السلسلة البروتينية. وهذا يعني أن ترتيب النيكليوتيدات في جزيئة ADN، هو الذي يحدد طبيعة وترتيب الأحماض الأمينية في البروتينات. تسمى كل قطعة من ADN تتحكم في صفة وراثية معينة مورثة، وبما أن الصفة لها عدة أشكال، فإن للمورثة المتحركة فيها عدة أشكال كذلك، وكل شكل يسمى حليلا Allele. مثال : صفة العلاقة بالستريبتومييسين لدى البكتيريا E.coli: الحليل المتوحش StrepS، الحليل الطافر StrepR.

II - آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.

المورثات قطع من ADN، وموقعها النواة، أما تركيب البروتينات فيتم على مستوى السيتوبلازم. فما الذي يلعب دور الوسيط بين النواة والسيتوبلازم؟

① الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.

أ - معطيات تجريبية.

انطلاقاً من معطيات الوثيقة 1، نشاط 3، لوحة 2، حدد طبيعة الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.

③ نشاط 3 آلية تعبير الخبر الوراثي :

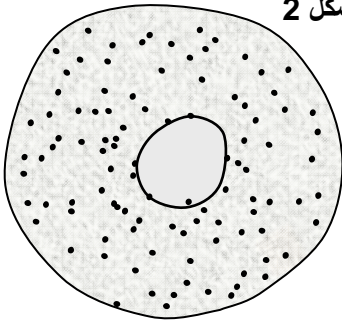
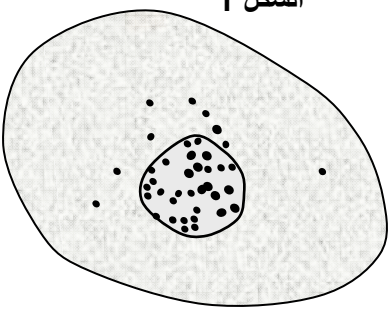
اللوحة 2

إن الخبر الوراثي يتموضع داخل النواة بينما تركيب البروتينات يتم داخل السيتوبلازم. من خلال نتائج تجريبية وملاحظات مجهرية نسعى إلى تحديد العلاقة بين النواة و السيتوبلازم ودورها في تركيب البروتينات .

تضم الخلايا جزيئات يقارب تركيبها الكيميائي تركيب ADN، وتسمى ARN. نكتشف عن تموضع الجزيئتين معا في خلايا البنكرياس، باستعمال خليط من ملونين : أخضر الميتيل الذي يلون ADN بالأزرق المخضر، و البيرونيين الذي يلون ARN بالوردي.

يضاف إلى وسط زرع الخلايا مكون نوعي لـ ARN مشع، ثم نلاحظ تطور الإشعاع داخل الخلية فنحصل على النتائج المبينة على الشكل 1 و 2.

ماذا تستنتج من معطيات التجربة؟ حدد الخاصية المميزة لـ ARN معللا نعتة بـ ARN الرسول.

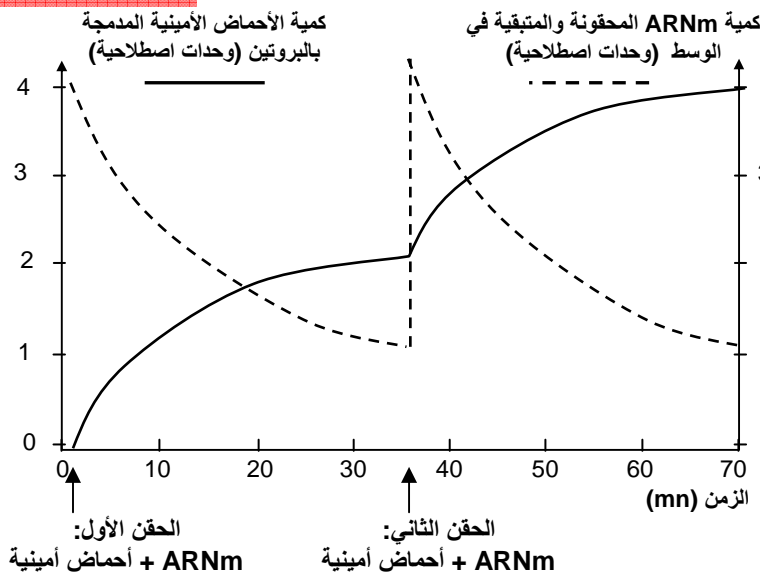
<p>الشكل 2</p> 	<p>الشكل 1 الوثيقة 1:</p> 
<p>صورة إشعاعية ذاتية لخلية مماثلة عرضت مدة 15 mn لنفس البشير المشع، ثم زرعت مدة ساعة ونصف في وسط يحتوي على بشارن أخرى عادية</p>	<p>صورة إشعاعية ذاتية لخلية زرعت مدة 15 mn بوجود بشير مشع نوعي لـ ARN</p>

ب - تحليل واستنتاج.

نلاحظ في المرحلة الأولى من التجربة تركيز الإشعاع في نواة الخلية، وفي المرحلة الثانية من التجربة انتقل الإشعاع نحو السيتوبلازم. نستنتج من هذه الملاحظات أن ARN يركب داخل النواة، وينتقل بعد ذلك إلى السيتوبلازم. وهكذا يمكن افتراض أن الوسيط بين المورثات في النواة، و البروتينات في السيتوبلازم، هو ARN، لذلك سمي ARN الرسول، ونرمز له بـ ARNm. (ARN m éssager).

ج - التحقق من الفرضية. أنظر الوثيقة 2، لوحة 3.

اللوحة 3



الوثيقة 2 : تجربة تركيب البروتينات في الزجاج.

انطلاقاً من عصيات كولونية نعد مستخلصاً يحتوي على جميع المكونات السيتوبلازمية اللازمة لتركيب البروتينات، ما عدا ADN. بعد ذلك نضيف لهذا المستخلص كميتين من ARNm وأحماض أمينية، خلال فترتين مختلفتين. يعطي المبيان أمامه، تطور كمية ARNm والأحماض الأمينية المدمجة في البروتينات بعد كل حقن.

- 1) صف نتائج هذه التجربة.
- 2) ماذا تستنتج؟

1) بعد كل حقن لـ ARNm والأحماض الأمينية، ترتفع كمية الأحماض الأمينية المدمجة في البروتينات، مع انخفاض في كمية ARNm.

2) نستنتج من هذه التجربة أن هناك علاقة مباشرة بين تركيب البروتين ووجود ARNm، أي أن ARNm هو فعلاً الوسيط بين المادة الوراثية على مستوى النواة، و تركيب البروتينات على مستوى السيتوبلازم.

② بنية جزيئة ARN. أنظر الوثيقة 3، لوحة 3.

اللوحة 3

♥ الوثيقة 3 : تعطي الوثيقة التالية جزء المورثة المسؤولة عن تركيب الخضاب الدموي HbA و ARNm المناسب له. قارن الجزئتين.

GTGCACCTTACTCCAGAGGAG
CACGTGGAATGAGGTCTCCTC

جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA

GUGCACCUUACUCCAGAGGAG

ARNm المناسب لـ ADN المسؤول عن تركيب HbA

U = قاعدة ازوتية هي الأوراسيل (Uracile)

ARN هو الحمض النووي الريبوزي Acide ribonucléique، يتكون من سلسلة من النيكليوتيدات على شكل لولب واحد (شريط واحد)، وكل نيكليوتيد يتكون من حمض فوسفوري + سكر الريبوز + قاعدة ازوتية تكون إما الأدينين A، أو الغوانين G، أو السيتوزين C، أو الأوراسيل U.

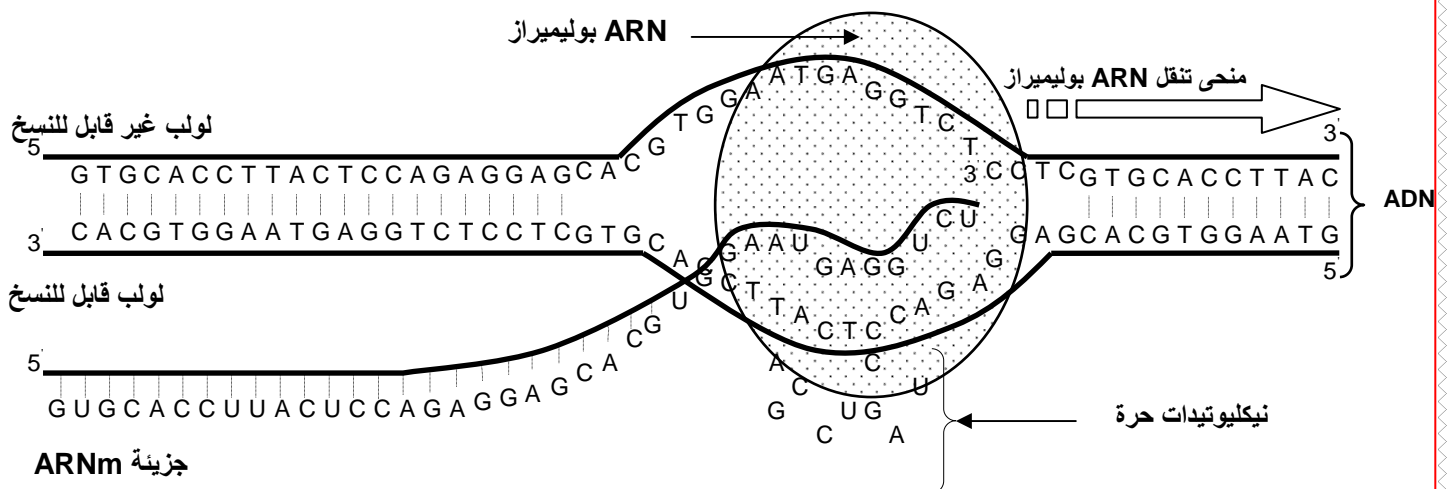
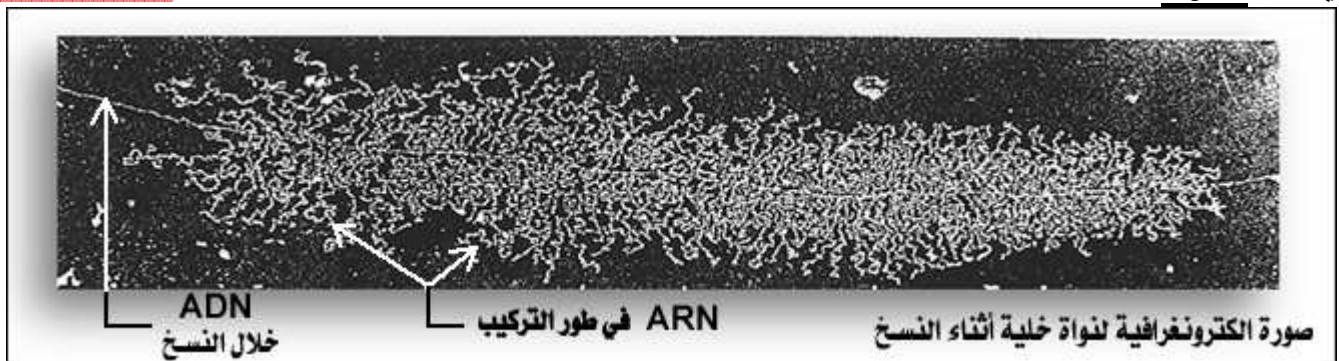
③ مراحل تعبير المورثة.

أ - مرحلة نسخ ARN: من المورثة إلى ARNm.

☒ انطلاقا من الوثيقة 4، لوحة 3، قارن بين بنية جزيئة ARNm و ADN، ثم حدد مراحل تركيب ARNm انطلاقا من ADN.

اللوحة 3

الوثيقة 4 . الشكل 1:



☑ إن تركيب ARNm يتم داخل النواة، ثم ينتقل إلى السيتوبلازم حاملا الخبر الوراثي، أو الشفرة الضرورية لتركيب البروتين.

إن ARNm هو نسخة لأحد شريطي ADN، وتسمى عملية تركيب ARNm بالاستنساخ والتي تتم كما يلي:

- يتعرف أنزيم ARN polymérase على الإشارات الوراثية المسؤولة عن انطلاق تركيب ARNm ويلتصق بها.
- يعمل ARN polymérase على تفريق لولبي جزيئة ADN على اثر انفصام الروابط الكيميائية التي تجمع القواعد الازوتية المتاكلمة فيما بينها.
- تعمل ARN polymérase على بلمرة النيكلوتيدات الخاصة بـ ARNm، وذلك حسب تكامل القواعد الازوتية لـ ARNm، (G أمام C و U أمام A).
- تتعرف ARN polymérase على الوحدات الرمزية المسؤولة عن نهاية الاستنساخ، فتتوقف عن البلمرة، وتستعيد جزيئة ADN حالتها الأصلية.

ب - مرحلة الترجمة في السيتوبلازم: من ARNm إلى البروتين.

a - معطيات حول الطفرات: أنظر الوثيقة 1، لوحة 4.

اللوحة 4

④ نشاط 4 العلاقة بين نكلوتيدات ADN ومتتالية الأحماض الأمينية و أدوات تعبير الخبر الوراثي :
♥ الوثيقة 1 : معطيات حول الطفرات
كشفت دراسة الطفرات عن ما يلي:

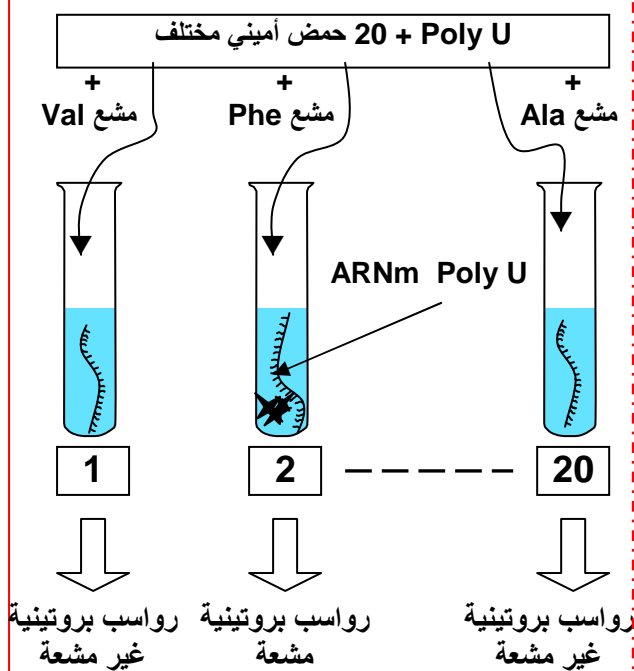
- يؤدي تغيير نكلوتيد واحد أو اثنان أو ثلاثة نكلوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النكلوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير حمض أميني واحد في البروتين.
 - يؤدي تغيير أربع أو خمس أو ست نكلوتيد متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النكلوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير حمضين أميين في البروتين.
- عن ماذا تكشف هذه المعطيات ؟

تبين هذه المعطيات ما يلي:

- هناك علاقة بين النكلوتيدات المكونة لـ ARNm والأحماض الأمينية للبروتين.
- إن الإشارة لحمض أميني واحد في البروتين، يتم بواسطة ثلاثة نكلوتيدات في ARNm.

b - تجارب Nirenberg و Matthaei أنظر الوثيقة 2، لوحة 4.

اللوحة 4



عزل مستخلص خلوي من بكتيريا E.coli يتوفر على كل العناصر السيتوبلازمية اللازمة لتركيب البروتينات، (ريبوزومات، ATP، GTP، Mg2+، أنزيمات). ماعدا ADN، و ARNm.

وضع المحتوى الخلوي تحت حرارة 37°C في 20 أنبوب اختبار، ثم أضيف لكل أنبوب اختبار 20 حمض أميني . حيث أن كل أنبوب يتميز بكون حمض أميني واحد موسوم بالكربون المشع 14C . بعد ذلك تضاف إلى كل وسط جزيئات ARNm اصطناعية، ذات متتالية نكلوتيدية معروفة، مثلا متتالية مكونة من نكلوتيدات لا تحتوي إلا على قاعدة ازوتية واحدة هي الأوراسيل - U - وبذلك يرمز له بـ Poly U ARNm.

في آخر التجربة وسط واحد من هذه الأوساط يظهر سلسلة عديد الببتيد مشعة، هذا الوسط يتميز بتوفره على الحمض الأميني الفينيلالانين .

1) ماذا تستنتج من هذه المعطيات ؟
عندما نستعمل ARN Poly-C نحصل على متتالية من البرولين .Pro

عندما نستعمل ARN Poly-A نحصل على متتالية من الليزين Lys .
عندما نستعمل ARN Poly-GU نحصل على متتالية من حمضين أميين السيستين - الفالين Val-Cys .

2) حدد الوحدة الرمزية التي تطابق كل حمض أميني من الأحماض الأمينية التي تكشف عنها التجارب السابقة.

(1) يتبين من هذه المعطيات أن الطابع الوراثي الأساسي يوجد على شكل ثلاثي من النيكلوتيدات، حيث أن الثلاثي UUU يرمز للحمض الأميني الفينيلالانين.

(2) الوحدة الرمزية CCC ترمز للحمض الأميني البرولين. والوحدة الرمزية AAA ترمز للحمض الأميني الليزين. والوحدة الرمزية GUG ترمز للحمض الأميني الفالين، والوحدة الرمزية UGU ترمز للحمض الأميني السيستين.

نستخلص من هذه التجارب أن كل ثلاثي نيكلوتيدي يشكل وحدة رمزية Codon، ويرمز لأحد الأحماض الأمينية. وباستعمال نفس التقنية التجريبية السابقة، تمكن الباحثون من تحديد الوحدات الرمزية التي تشير إلى 20 نوعا من الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات، فتم تجميع النتائج المحصل عليها في جدول الرمز الوراثي الممثل على الوثيقة 3، لوحدة 4.

اللوحة 4

♥ الوثيقة 3 :

تبعاً لتجارب مماثلة للتجارب السابقة تم الحصول على نتائج الجدول الممثل على الوثيقة 3 (جدول الرمز الوراثي) Code génétique الذي يعطي مختلف التوافقات الممكنة لأربع نيكلوتيدات مأخوذة بثلاثة بثلاثة ومعاني هذه التركيبات.

		الحرف الثاني								
		U		C		A		G		
ر م ز ال أ م ر ا ت	U	UUU	الفينيلالانين	UCU	Ser سيرين	UAU	تيروزين	UGU	سيستين	U
		UUC	Phe	UCC		Tyr	UGC	Cys	C	
		UUA	لوسين	UCA		STOP بدون معنى	UGA	STOP	A	
		UUG	Leu	UCG			UGG	Trp تريبتوفان	G	
	C	CUU	لوسين	CCU	برولين	CAU	هستدين	CGU	أرجينين	U
		CUC		CCC		His	CGC	C		
		CUA		CCA		Gln غلوتامين	CGA	Arg		A
		CUG		CCG			CAG			CGG
	A	AUU	ازولوسين	ACU	ثريونين	AAU	أسبارجين	AGU	سيرين	U
		AUC		ACC		Asn	AGC	Ser		C
		AUA		ACA		ليزين	AGA	أرجينين	A	
		AUG	Met ميثيونين	ACG			AAG		Arg	G
	G	GUU	فالين	GCU	فالين	GAU	حمض أسبارتيك	GGU	غليسين	U
		GUC		GCC		Asp	GGC	Gly		C
		GUA		GCA		حمض الغلوتاميك	GGA	Glu		A
		GUG		GCG		GAG	GGG			G

يتبين من هذه الوثيقة أن الرمز الوراثي يتكون من 4^3 أي 64 وحدة رمزية تتكون من ثلاثيات من النيكلوتيدات، حيث أن عدة ثلاثيات ترمز لنفس الحمض الأميني، وبعض الثلاثيات لا ترمز لأي حمض أميني نقول أنها بدون معنى أو وقف، هي (UGA , UAG , UAA).

c - مراحل الترجمة: أنظر الوثائق، لوحدة 5.

★ العناصر اللازمة للترجمة:

يحتاج تركيب البروتينات بالإضافة إلى ARNm و المورثة إلى:

← ريبوزومات و هي عضيات سيتوبلازمية صغيرة يتشكل كل واحد منها من وحدة صغيرة و وحدة كبيرة، وتتكون كل وحدة من ARN ريبوزومي (ARNr) و من بروتينات. وتتكون الريبوزومات داخل النوية.

← **ARN ناقل (ARnt) الموجود بالسيتوبلازم، ويختص بنقل الأحماض الأمينية الحرة المطابقة**

- للوحدة الرمزية. تتكون جزيئة ARnt من نيكليوتيدات وتتضمن موقعين: أنظر الوثيقة
- موقع يحتوي على ثلاث نيكليوتيدات مكمل للوحدة الرمزية المشيرة لحمض أميني معين، ويسمى هذا الثلاثي النيكليوتيدي مضاد الوحدة الرمزية Anticodon.
- موقع لتثبيت الحمض الأميني المناسب للوحدة للوحدة الرمزية.

← **أحماض أمينية و هي 20 حمض أميني طبيعي.**

← **طاقة لمختلف مراحل التركيب ، مصدرها الاستقلاب الطاق.**

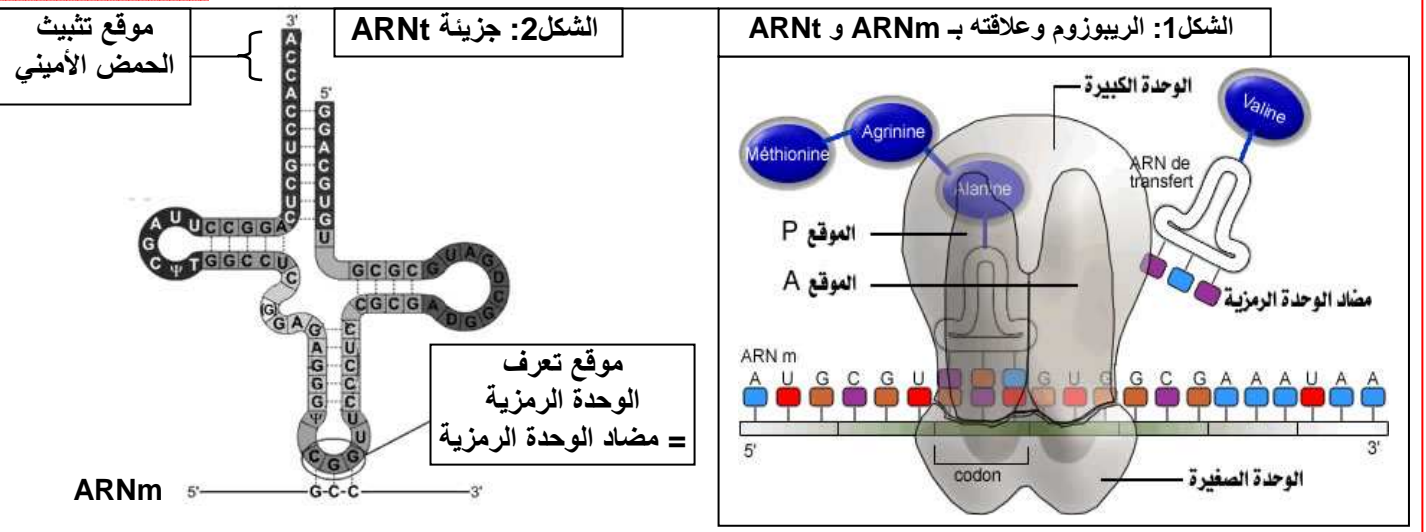
← **عوامل منشطة**

★ **مراحل الترجمة:**

يمكن تلخيص ظاهرة تركيب البروتينات في ثلاثة مراحل أساسية و هي:

← **المرحلة الأولى: البداية**

اللوحة 5



خلال هذه المرحلة تلتصق وحدتي الريبوزومات بـ ARNm، على مستوى الوحدة الرمزية AUG، التي تمثل إشارة البدء، وترمز للحمض الأميني الميثيونين الذي يرتبط بـ ARnt خاص يسمى ARnt المبتدئ، والحامل لمضاد الوحدة الرمزية UAC.

← **المرحلة الثانية: الاستطالة**

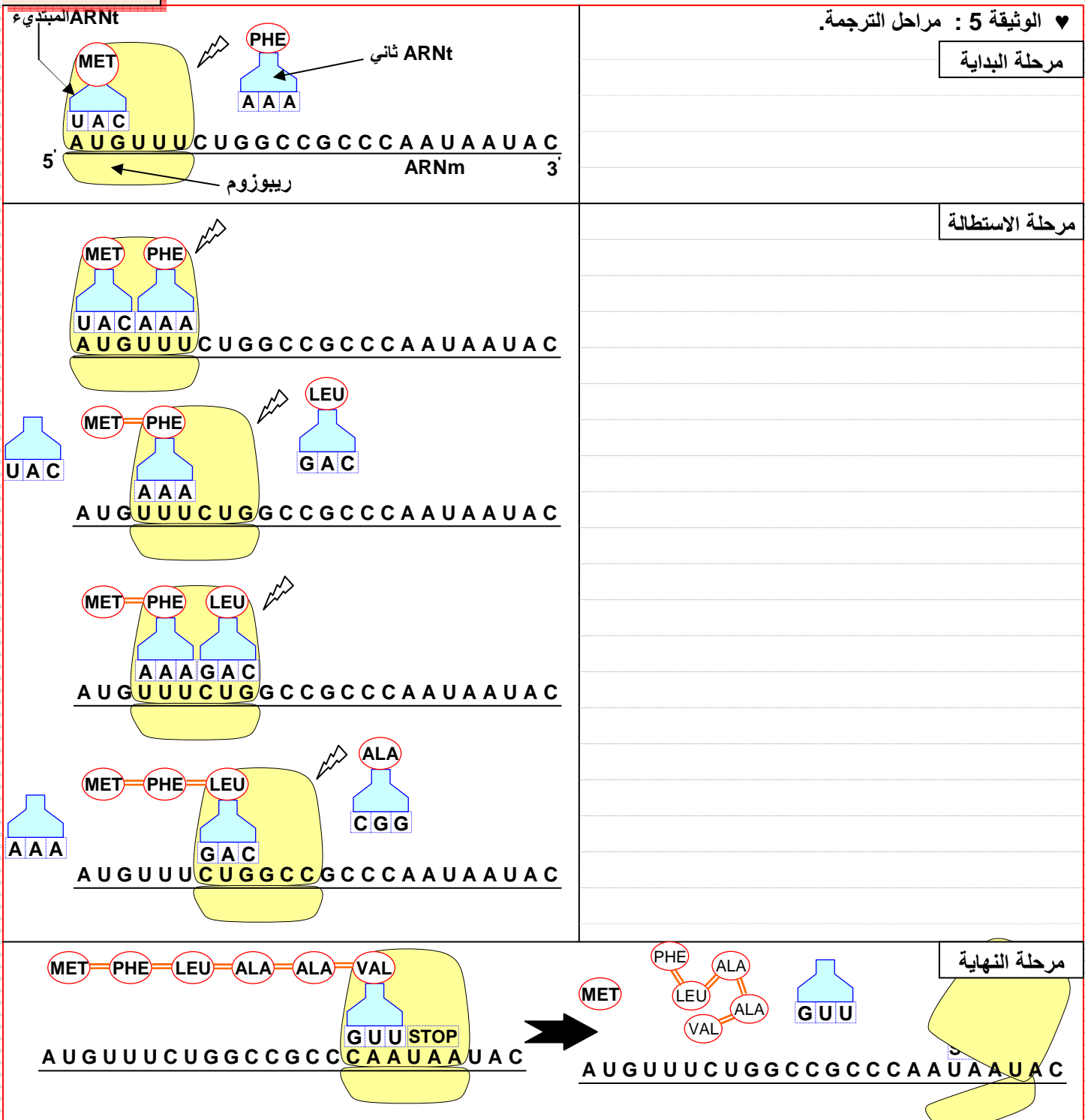
- وصول ARnt آخر حاملا معه حمض أميني ثاني مطابق للوحدة الرمزية الموالية على ARNm . تتشكل رابطة بيبتيديية بين Met و الحمض الأميني الموالي، فتتفصل الرابطة بين Met و ARnt المبتدئ الذي يغادر الريبوزوم.
- يتحرك الريبوزوم بوحدة رمزية واحدة، ليصل ARnt ثالث، وهكذا تتضاعف الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيديية.

← **المرحلة الثالثة: النهاية**

عندما يصل الريبوزوم إلى الوحدة الرمزية قف (UAA أو UAG أو UGA) لا يدمج أي حامض أميني، إذ لا يوجد أي ARnt متكامل مع هذه الوحدات الرمزية. فتفترق وحدتي الريبوزوم عن

بعضهما البعض و عن ARNm و يتم تحرير السلسلة البيبتيدية. كما ينفصل الحمض الأميني Met عن باقي السلسلة البيبتيدية .

اللوحة 5



ملحوظة:

إن جزيئة واحدة من ARNm تتم ترجمتها في نفس الوقت بواسطة عدة جسيمات ريبية، تنتقل على طول خييط ARNm، مما يسمح بتكون عدة بروتينات في نفس الوقت.