من المورثة إلى البروتين (1)

أولاً: جريان (تدفق) المعلومات الوراثية

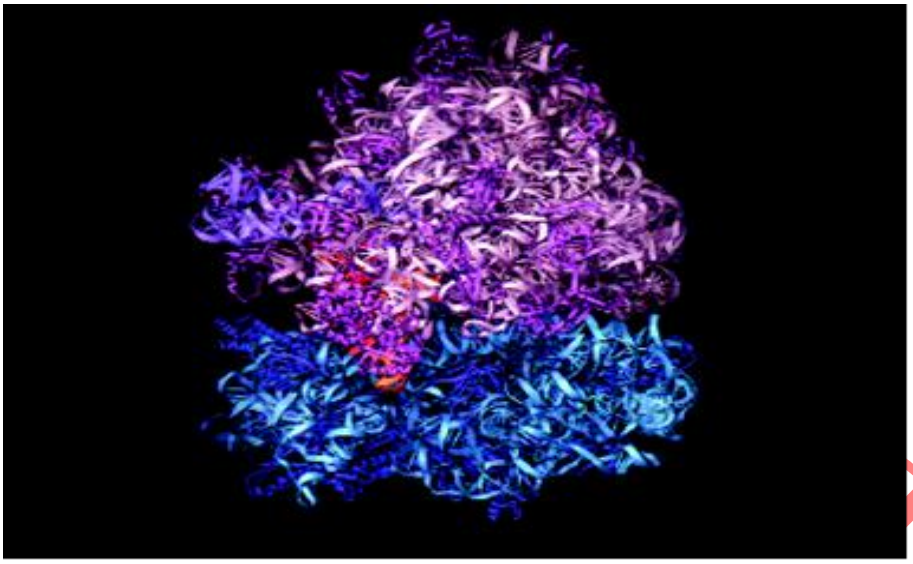
يكون محتوى المادة الوراثية (ال DNA) من المعلومات بشكل متوالية نوعية من النوكليوتيدات على طول سلسلتي ال DNA. ولكن كيف يمكن لهذه المعلومات أن تحدد خصائص الكائن الحي؟ وكيف تُتَرجم رسالتها من قبل الخلية إلى صفات وخصائص محددة مثل الشعر البني أو الزمرة الدموية A؟

لنأخذ كمثال، إحدى الخصائص التي درسها ماندل عند نبات البازلاء وهي طول جذع النبات. لم يكن ماندل يعلم الأسس الفيزيولوجية للاختلاف بين الأصناف الطويلة والقزمة في نبات البازلاء، ولكن علماء النبات قد وجدوا لاحقاً أن نبات البازلاء القزم يفتقد إلى هرمونات نمو تسمى جيبريللين Gibberellins التي تنبه التطويل الطبيعي للجذوع النباتية، حيث ينمو النبات القزم الذي يعامل بالجيبريللين من مصدر خارجي، ليصل إلى الطول الطبيعي.

لماذا يفشل نبات البازلاء القزم في تصنيع الجيبيريللين الخاص بها؟

لأنه يفتقد إلى بروتين رئيسي، هو الأنزيم المطلوب لاصطناع الجيبيريللين، ويكمن سبب افتقادها لهذا البروتين إلى عدم امتلاكها المورثة الوظيفية المناسبة لهذا البروتين. بمعنى آخر، يقود ال DNA الموروث في كائن حي إلى صفات نوعية من خلال الإشراف على اصطناع البروتينات، وبالتالي فإن البروتينات هي الرابط بين النمط الوراثي والنمط الظاهري. تتضمن هذه العملية التي يوجه فيها ال DNA اصطناع البروتين والتي تدعى بالتعبير الوراثي gene expression مرحلتين:

1- الانتساخ transcription . 2- الترجمة translation. ففي الشكل (3:1) نرى طرازاً حاسوبياً للريبوسومات وهو جزء من ماكينة خلوية للترجمة (اصطناع عديد الببتيد).



الشكل (3:1): الريبوزوم (نموذج حاسوبي) جزء من ماكينة الاصطناع البروتيني

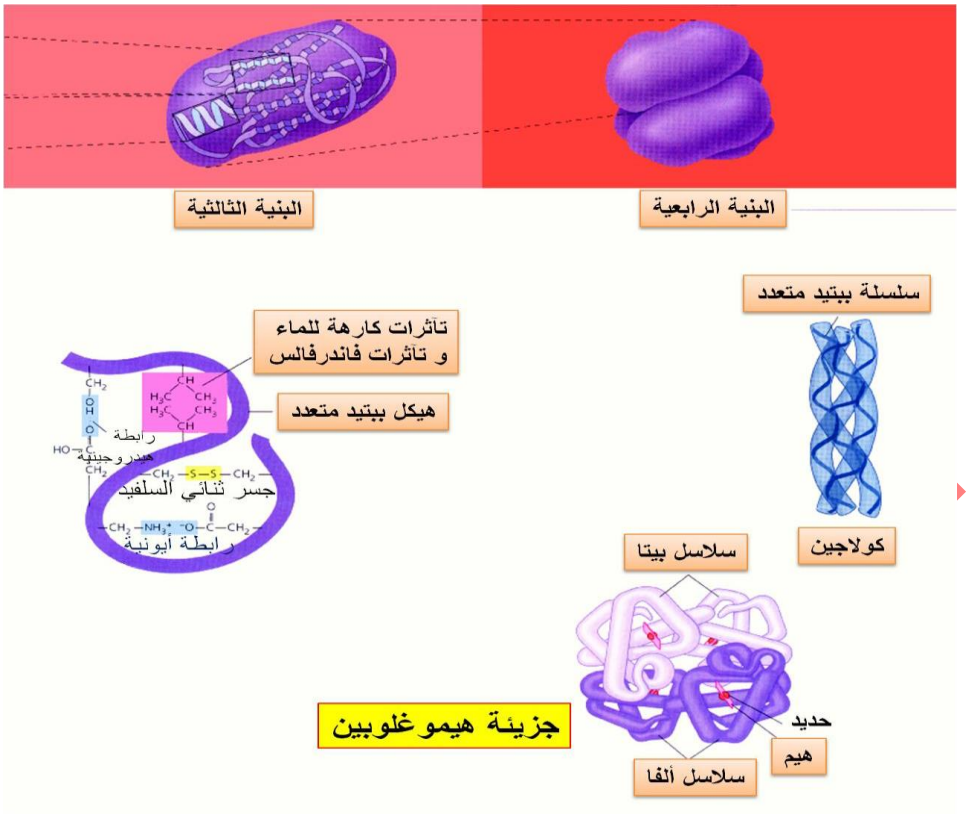
ثانياً: التعبير المورثي

إن فرضية مورثة واحدة – أنزيم واحد one gene-one enzyme hypothesis، تقول إن وظيفة المورثة هي التحكم بإنتاج أنزيماً معيناً. ولكن ليست جميع البروتينات هي أنزيمات، فالكيراتين، وهو البروتين البنيوي لشعر الحيوان، وهرمون الأنسولين هما مثالان على بروتينات غير أنزيمية، وهذه البروتينات مُشفرة من المورثات بالرغم من أنها ليست أنزيمات.

لذلك بدأ علماء البيولوجيا الجزيئية بالتفكير في مصطلح جينة واحدة- بروتين واحد. ولكن، تتشكل العديد من البروتينات من سلسلتين أو أكثر من عديدات الببتيد المختلفة، ويعد كل عديد ببتيد نوعي لمورثة واحدة.

مثلاً، يتم بناء الهيموغلوبين وهو البروتين الناقل للأوكسجين في كريات الدم الحمراء في الفقاريات من نوعين من عديدات الببتيد، وبالتالي من مورثتين ترمزان هذا البروتين(الشكل 3:2).

ولهذا سميت فكرة بيدل وتاتوم فرضية جينة واحدة-عديد ببتيد واحد one gene-one polypeptide، وحتى هذه المقولة ليست دقيقة تماما، إذ أن بعض المورثات تُرمِّز جزيئات من ال RNA ذات وظائف هامة في الخلايا ولا تترجم أبداً الى بروتينات.



الشـكل (3:2): البنية الفراغية للبروتينات، يتم بناء بروتين الهيموغلوبين من نوعين من عديدات الببتيد تُرمّزان من مورثتين مختلفتين

ثالثاً: مبادئ أساسية في الانتساخ والترجمة

تقدم المورثات التعليمات اللازمة لصـــنع البروتينات النوعية. ولكن المورثة لا تبني البروتين مباشـــرة. إن الحمض النووي الريبي (ال mRNA) هو الجســـر بين ال DNA واصـــطناع البروتين. كما رأينا سابقاً، إن ال RNA يشابه ال DNA كيميائياً ولكنه يختلف عنه ب:

- احتوائه على سكر الريبوز ribose بدلاً من الديوكسي ريبوز (منزوع الأكسجين)
- احتوائه على الأساس الآزوتي يوراسيل uracilعوضاً عن التايمين thymine (وبهذا يملك كل نوكليوتيد على طول شريط ال DNA الأسس الآزوتية A.G.C و T.بينما يملك كل نوكليوتيد على شريط ال RNA الأسس الآزوتية C.A.G و U .
- تتألف جزئية ال RNA عادة من شـــريط واحد بينما جزيئة ال DNA عبارة عن شريط حلزوني مزدوج.

يتم وصـــف تدفق المعلومات من المورثة إلى البروتين بتعابير لغوية لأن الحموض النووية والبروتينات هي بوليميرات لها تتاليات نوعية من الموحودات التي تنقل المعلومات. ففي ال DNA أو ال RNA تكون الموحودات هي الأنماط الأربعة من النوكليوتيدات.

تتكون المورثات من مئات او آلاف النوكليوتيدات، وتمتلك كل مورثة تتالية نوعية من القواعد الآزوتية. ولكل عديد ببتيد من البروتين موحودات منتظمة بترتيب خطي (البنية الأولية للبروتين) ولكن موحوداته هي ال 20 حمض أميني. وبهذا تحتوي الحموض النووية والبروتينات معلومات مكتوبة بلغتين كيميائيتين مختلفتين. والانتقال من ال DNA إلى البروتين يتطلب مرحلتين رئيستين هما الانتساخ والترجمة.

- **الانتساخ Transeription:** هو اصطناع ال RNA بتوجيه من ال DNA حيث يتم نسخ المعلومات الوراثية من جزيئة إلى أخرى. وإن جزيئة ال RNA الناتجة هي عبارة عن نسخ أمين (دقيق) faithful transcript لتعليمات المورثة من أجل بناء البروتين وهذا النمط من جزئيات ال RNA يدعى ال RNA المرسال messenger RNA (mRNA)وذلك لأنها تحمل رسالة وراثية من ال DNA إلى ماكينة اصطناع البروتين في الخلية (يعد الانتساخ التسمية العامة لاصطناع أي نوع من ال RNA على سلسلة قالب من ال DNA).
- **الترجمة** Translation: هي الاصطناع الحقيقي لعديد الببتيد. الذي يحصل بتوجيه من ال RNA المرسال mRNA وخلال هذا إلى تتالية حموض أمينية في الببتيد . وتحدث الترجمة في الريبوزسومات ribosomes وهي جزئيات معقدة تسهل الارتباط المنظم للحموض الأمينية في سلاسل عديد الببتيد.

والسؤال الذي يطرح نفسه هو: لماذا لا يمكن ببساطة ترجمة البروتينات مباشرة من ال DNA؟

<u>هناك أسباب تطورية لاستعمال وسيط من ال RNA أهمها:</u>

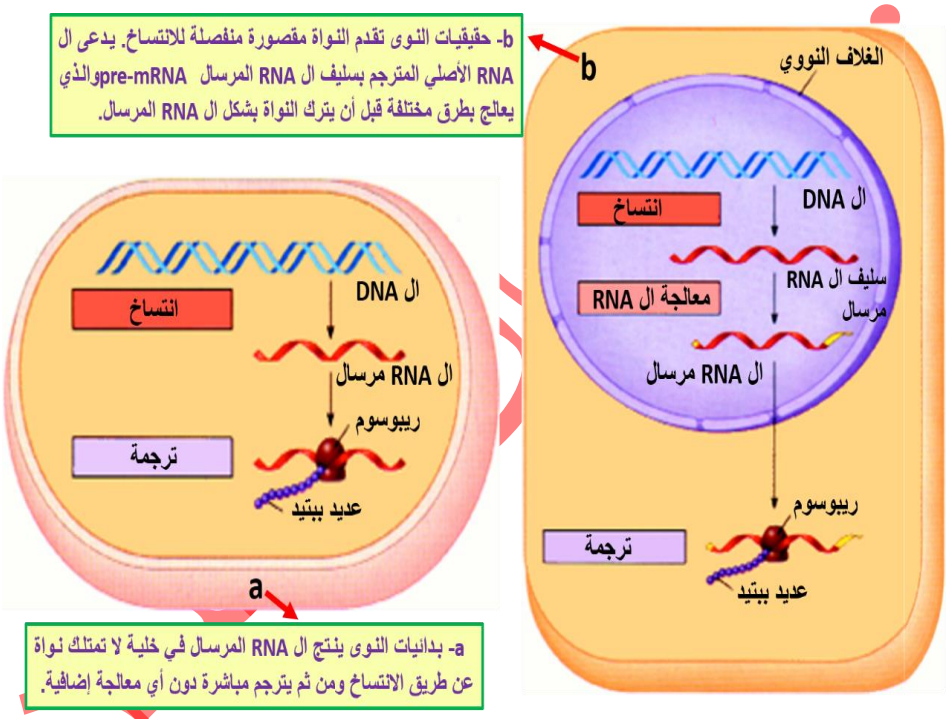
<u>أولاً:</u> تقديم حماية لل DNA ولمعلوماته الوراثية وذلك للمحافظة على الأصـــول ســـليمة غير متضررة.

<u>ثانياً:</u> إن وجود وسيط من ال RNA يسمح بصنع المزيد من النسخ البروتينة في آن واحد، إذ يمكن صنع عدة نسخ من ال RNA اعتباراً من جينة واحدة. كما يمكن ان تترجم كل نسخة من ال RNA بشكل متكرر.

وبالرغم من أن الأليات الأساسية للاستنساخ والترجمة متشابهة في بدائيات النوى وحقيقيات النوى، إلا أن هناك اختلافاً هاماً في تدفق وجريان المعلومات الوراثية في داخل الخلية:

في بدائيات النوى: بسبب عدم احتواء البكتريا على نوى، فإن ال DNA فيها غير مفصول عن الريبوسومات ومعدات تصنيع البروتين الأخرى (الشكل 3:3 a)، وهذا يسمح ببدء ترجمة ال RNA المرسال بينما يكون الانتساخ لا يزال جارياً.

في حقيقيات النوى: يحدث العكس في خلايا حقيقات النوى، فالغلاف النووي يفصل الانتساخ عن الترجمة بالمسافة والوقت (الشكل 3:3 b) ويحدث الانتساخ في النواة، وينقل ال RNA المرسال إلى السيتوبلاسما، حيث تحدث الترجمة.



الشكل (3:3): أدوار الانتساخ والترجمة في تدفق المعلومات الوراثية. تتدفق في الخلية المعلومات الموروثة من ال DNA إلى البروتين. يعد الانتساخ والترجمة المرحلتين الرئيسيتين في تدفق المعلومات. **a-** بدائيات النوى ينتج ال RNA المرسال في خلية لا تمتلك نواة عن طريق الانتساخ ومن ثم يترجم مباشرة دون أي معالجة إضافية. **b** - حقيقيات النوى تقدم النواة مقصورة منفصلة للانتساخ. يدعى ال RNA الأصلي المترجم بسليف ال RNA المرسال pre-mRNA والذي يعالج بطرق مختلفة قبل أن يترك النواة بشكل ال RNA المرسال.

ويتم تحوير نسخ ال RNA في حقيقيات النوى بطرق مختلفة لإنتاج الشكل النهائي الوظيفي للرنا المرسال، وذلك قبل ان تتمكن من مغادرة النواة. يُدعي ال RNA الناتج عن انتساخ مورثة

حقيقيات النوى مُرمِّزة للبروتين بسليف ال RNA المرسال (النسخة الابتدائية أو الأولية). وينتج عن معالجة هذا ال RNA ما يُدعى بال RNA المرسال المكتمل. وبشكل عام تدعى النسخة الابتدائية من ال RNA الناتجة عن أية مورثة بالنسخة الأولية.

باختصار: تبرمج الجينات اصطناع البروتين عن طريق رسائل وراثية بشكل RNA مرسال . بطريقة أخرى، تُحكَم الخلية من قبل سلسلة جزيئية من الأوامر:

بروتين _DNA_RNA (DNA → RNA → Protein) **وهو** شرح لتدفق المعلومات الوراثية وفق مسار ثابت داخل النظام الأحيائي.

رابعاً: الشيفرة الوراثية: ثلاثيات من القواعد (الأسس)

عندما بدأ علماء البيولوجيا في الشك بأن تعليمات اصطناع البروتين تُرمَّز في ال DNA، لاحظوا أن هناك مشكلتين: فهناك فقط أربعة أنواع من أسس النكليوتيدات لتحديد 20 حمضاً أمينياً.

المشكلة الأولى: نظرًا لأن الأحماض الأمينية لا ترتبط من الناحية البنيوية بالأسس الآزوتية لل DNA، فإنه من المستحيل الإقتران المتمم المباشر بين mRNA والأحماض الأمينية أثناء تركيب البروتينات. كيف إذن يمكن للأحماض الأمينية أن تتراصف بمحاذاة قالب mRNA أثناء تركيب البروتين؟ تم حل هذا السؤال من خلال اكتشاف أن الحمض النووي الريبي الناقل يلعب دور محولات بين الأحماض الأمينية وال RNA المرسال أثناء الترجمة.

<u>المشكلة الثانية:</u> في ترجمة تسلسل النكليوتيدات إلى سلسلة من الأحماض الأمينية وتحديد الشفرة الوراثية. كيف يمكن تحويل المعلومات الموجودة في تسلسل أربعة نكليوتيدات مختلفة إلى تسلسل مكون من 20 من الأحماض الأمينية المختلفة في البروتينات؟

إذا تُرجم كل أساس نوكليوتيدي إلى حمض أميني، فسوف يتم تحديد أربعة حموض أمينية فقط من أصل 20 حمضاً أمينياً.

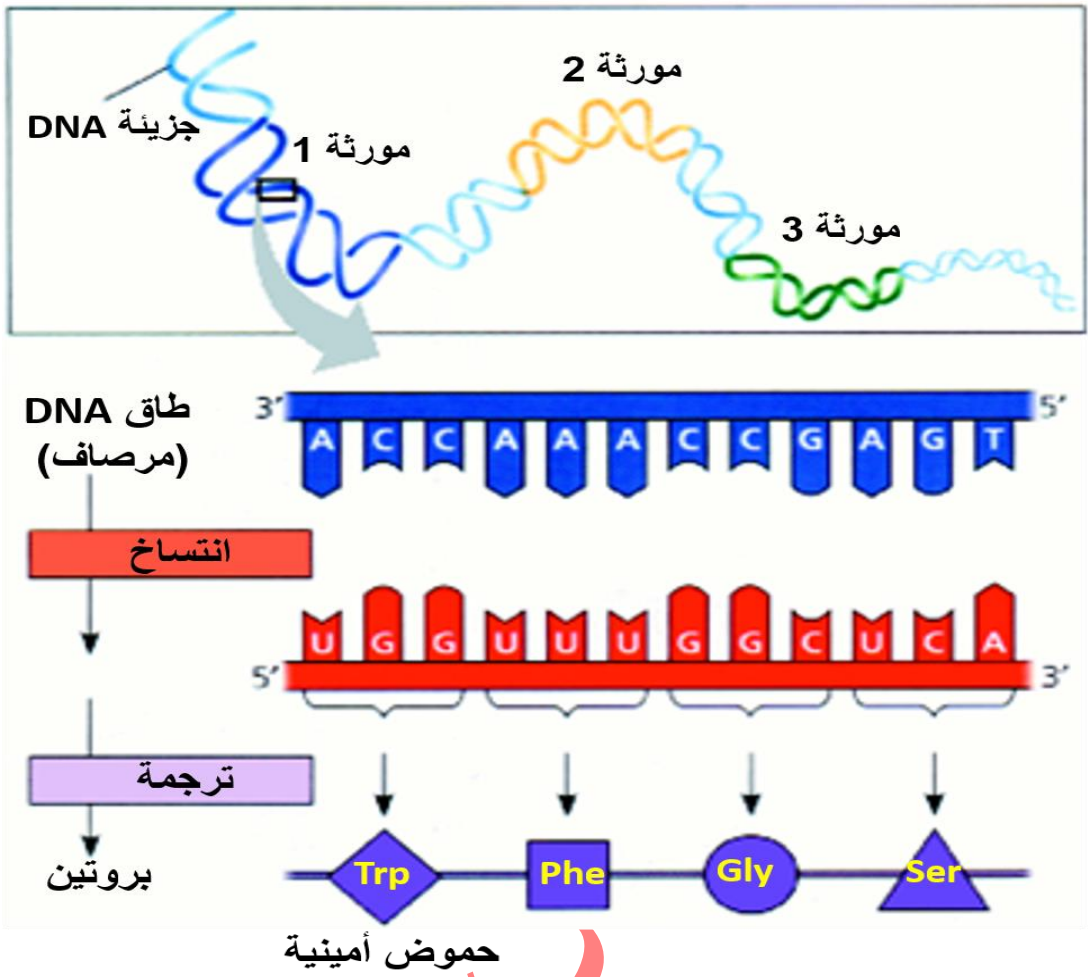
فهل تكفي لغة الكلمات ذات الشيفرات المؤلفة من حرفين؟ قد تحدد تتالية الأسس AG مثلاً حمضاً أمينياً واحداً . كما قد تحدد GT حمضاً أمينياً أخر وبما أن هناك أربعة اسس، فهذا يعطي 16 ترتيباً ممكناً (أي 4^2)، وهذا غير كافي لترميز 20 حمضاً أمينياً.

إن ثلاثية من النكليوتيدات هي أصغر وحدات ذات أطوال موحدة قادرة على ترميز كل الحموض الأمينية. فإذا حددت تراتيب من ثلاثة أسس متتابعة حمضاً أمينياً. فسوف يكون هناك (4^3) أي 64 كلمة (شيفرة) وهذا أكثر من كافي لتحديد جميع الحموض الأمينية.

لقد بينت التجارب مايلي: إن تدفق المعلومات من المورثات إلى البروتين يعتمد على الشيفرة الثلاثية حيث تكتب التعليمات الوراثية لسلسة عديد الببتيد في ال DNA كسلسلة من كلمات تتألف كل منها من ثلاث نوكليوتيدات. فمثلاً تؤدي الثلاثية AGT في موقع معين على طول سلسلة ال DNA إلى توضّع الحمض الأميني السيرين في الموضع المناسب في عديد الببتيد الذي سيتم إنتاجه.

خلال عملية الانتساخ:

- تحدد المورثة سلسلة تتالي الأسس على طول جزيئة ال RNA المرسال (الشكل 3:4) وينسخ لكل مورثة سلسلة واحدة من سلسلتي ال DNA. وتُدعى هذا السلسلة بالسلسة القالب أو المرصاف Template strand لأنها تقدم القالب لترتيب سلسلة النوكليوتيدات في نسخة ال RNA.
- يمكن لسلسلة ال DNA أن تكوّن السلسلة القالب لبعض المورثات على طول جزيئة ال DNA. بينما تعمل السلسلة المتممة كقالب بالنسبة لمورثات أخرى، ولكن نلاحظ أن السلسلة تُستعمل كقالب للمورثة نفسها في كل مرحلة تتم فيها ترجمة هذه المورثة.
- تعد جزيئة ال RNA المرسال متممة أكثر من كونها مماثلة للسلسلة القالب من ال DNA وذلك لأن أسس ال RNA تتجمع على القالب حسب قاعدة ازدواج الأسس base-pairing.
- تكون الأزواج مماثلة لتلك التي تتشكل خلال تنسخ ال DNA، باستثناء أن اليوراسيل U، في ال RNA الذي يستبدل بالتايمين T في ال DNA يقترن مع الأدنين A كما أن نوكليوتيدات ال RNA المرسال تحتوي على الريبوز بدلا من الريبوز منقوص الأوكسجين.
- يتم اصطناع جزيئة ال RNA باتجاه عكسي التوازي Antiparallel direction بالنسبة لسلسلة ال DNA القالب. مثلا، ثلاثية الأسس ACC على طول ال DNA (تكتب 5`-ACC-3`) تشكل قالب للتسلسل 3`-UGG-5` في جزيئة ال RNA المرسال.



الشكل (3:4): الراموز الثلاثي. يعمل طاق دنا واحد في كل جينة كمرصاف للانتساخ كما تعمل قاعدة ازدواج الأسس لاصطناع ال DNA على قيادة الانتساخ، ويحل اليوراسيل (U) محل الثايمين(I) في ال RNA، ويُقرأ ال RNA المرسال خلال الترجمة كتتالية ثلاثية الأساس تدعى روامز Codons تحدد كل رامزة الحمض الأميني الذي سوف يضاف إلى سلسلة عديد الببتيد الآخذة بالنمو. ويُقرأ ال RNA المرسال بالاتجاه `3 → `5.

- تدعى ثلاثية قواعد ال RNA المرسال بالشيفرات (الروامز)، وتكتب عادة بالاتجاه `3 → `5. ففي مثالنا هذا تكون UGG هي شيفرة الحمض الأميني تربتوفان Tryptophan (يختصر ب Trp).
- يستعمل تعبير الشيفرة (الراموز) codon في بعض الأحيان لثلاثية أسس ال DNA على طول السلسلة غير القالب nontemplate. وتعد الروامز متممة للسلسلة القالب، وبهذا فهي مماثلة في تتاليها لل RNA المرسال عدا احتوائها على T بدلا من U (ولهذا السبب تدعى سلسلة ال DNA غير القالب في بعض الأحيان بالسلسلة المرمِّزة Coding strand).

خلال عملية الترجمة:

- يُزال ترميز تتالية الشـيفرات (الروامز) على طول جزيئة ال RNA المرسـال أو تتم ترجمتها إلى تتالي من الحموض الأمينية فتتكون بذلك سلسلة من عديد الببتيد.
- تتم قراءة الشيفرات (الروامز) من قبل ماكينة الترجمة بالاتجاه `3 ← `5 على طول ال RNA المرسال.
- تحدد كل شيفرة واحد من الحموض الأمينية العشرين الذي يتوضع في الموقع المناسب على طول عديد الببتيد.
- بما ان الشيفرات ثلاثية القواعد فيجب أن يكون عدد النوكليوتيدات التي تصنع الرسالة الوراثية ثلاثة أضـعاف عدد الحموض الأمينية التي تصـنع المنتج البروتيني، مثلا، يتطلب ترميز عديد ببتيد مؤلف من 100 حمض أميني 300 نكليوتيد على طول طاق ال RNA المرسال.

تم الحصول على دليل تجريبي مباشر للشيفرة الثلاثية من خلال دراسات على الفيروسات البكتيرية T4 التي تحمل طفرات في مورثة تمت دراستها على نطاق واسع تسمى *rII*. يمكن تمييز الفيروسات التي تحمل طفرات في هذه المورثة بسهولة عن النوع T4 الذي يفتقد إلى هذه الطفرات عندما تنمو على E. coli المستنبتة في وسط آغار. وبالتالي كان عزل ورسم خرائط عدد من طفرات *rII* سهلاً وأدى إلى إنشاء خريطة وراثية مفصلة لهذا الموقع المورثي.

كشفت دراسة الاستبدالات بين طفرات *rII* التي نشأت عن طريق إضافات أو حذف النكليوتيدات أن الفيروسات التي تحتوي على إضافات أو حذف واحد أو اثنين من النكليوتيدات نمطاً ظاهرياً متحوراً. والفيروسات التي تحتوي على إضافات أو عمليات حذف لثلاث نكليوتيدات في الغالب من النمط البري الشائع.

تشير هذه النتائج إلى أن:

- المورثة تُقرأ في مجموعات من ثلاث نكليوتيدات، بدءًا من نقطة ثابتة. إن الإضافات أو الحذف لواحد أو اثنين من النكليوتيدات من شأنها أن تغير إطار القراءة للمورثة بأكملها، مما يؤدي إلى ترميز الأحماض الأمينية غير الطبيعية في جميع أنحاء البروتين المشفر.
- في المقابل، فإن الإضافات أو الحذف لثلاث نكليوتيدات تؤدي إلى إضافة أو حذف حمض أميني واحد فقط؛ سيبقى باقي تسلسل الأحماض الأمينية دون تغيير، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى بروتين نشط.

د. حسان حسن

وهكذا أصبح فك رموز الشفرة الوراثية مشكلة في تعيين التتاليات الثلاثية للنكليوتيدات الخاصة بالأحماض الأمينية المقابلة لها.

خامساً: فك الشيفرة الوراثية

من أجل فك الشيفرة الوراثية تم استخدام الأنظمة المختبرية التي يمكنها إجراء تركيب البروتين (في الترجمة المختبرية). يمكن تحفيز دمج الأحماض الأمينية وتركيب البروتينات عندما تتوفر المستخلصات الخلوية التي تحتوي على:

- الريبوسومات.
- الأحماض الأمينية.
- الحمض الريبي النووي الناقل.
- الأنزيمات المسؤولة عن ربط الأحماض الأمينية بالحمض النووي الريبي الناقل الخاص بها. وجود ال RNA المرسال المرتبط إلى الريبوسومات.

ويمكن إضافة ال RNA المرسال المُنقى (ذو التسلسل النكليوتيدي المعروف) لتركيب البروتين المباشر في مثل هذه الأنظمة. لقد سمح ذلك بفك رموز الشيفرة الوراثية من خلال دراسة ترجمة ال RNA المرسال الاصطناعي المكون من تتابع شيفرة واحدة متكررة معروفة.

لقد قام علماء البيولوجيا الجزيئية بفك راموز الحياة في بداية الستينات، عندما كشفت سلسلة من التجارب الأنيقة عن ترجمة الحموض الأمينية من شيفرات ال RNA، إذ تم فك أول شفرة عام 1961 من قبل مارشال نيرينبيرغ وزملائه.

- لقد قام مارشال نيرينبيرغ mRNA بربط نكليوتيدات متماثلة من اليوراسيل كأساس متكرر UUU وصنع سلسلة من ال RNA التي تحتوي على اليوراشيل فقط.
- أضاف مارشال نيرينبيرغ عديد -U هذا إلى مزيج في أنبوب اختبار يحتوي على حموض أمينية وريبوسومات ومكونات أخرى مطلوبة لاصطناع البروتين. لقد ترجمت منظومته الاصطناعية عديد -U إلى عديد ببتيد يحتوي حمض أميني واحد هو الفينيل ألانين Phenylalnine(phe) مصطفا مع بعضه البعض كسلسلة عديد فينيل ألانين طويلة.
- وبهذا حدد نيرينبيرغ أن الشيفرة UUU على mRNA تحدد الحمض الأميني فينيل ألانين. وسرعان ما تم تعيين الحموض الأمينية التي تحددها الشيفرات AAA. GGG. CCC.

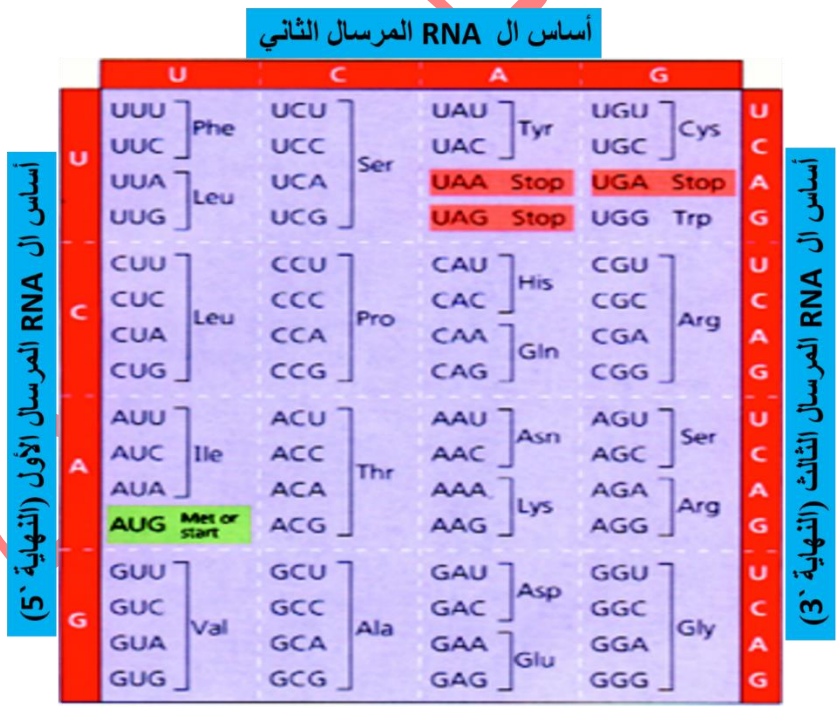
- وبالرغم من الحاجة إلى تقنيات أكثر تطوراً لتحديد الثلاثيات المختلطة مثل CGA وAUA فقد تم فك ال 64 شيفرة في منتصف الستينات. وكما يظهر في الشكل (3:5) فإن 61 شيفرة ثلاثية من أصل ال 64 ترمز حموض أمينية.
- إن الشيفرات الثلاث (UAA، UAG، وUGA) التي لا تُرمِّز حموض أمينية هي إشارات توقف Stop signals أو روامز إنهاء. تصم نهاية الترجمة.

إن للشيفرة AUG وظيفتان هما:

أ- إنها تُرمِّز الحمض الأميني الميثيونين Methionine (MET).

ب- تعمل أيضا كإشارة بدء start signal أو رامزة استهلالية.

تبدأ الرسالة الوراثية ب رامزة AUG mRNA. والتي تعطي إشارة لماكينة اصطناع البروتين لتبدأ بترجمة ال RNA المرسال في هذا الموقع (بما ان ال AUG يرمز الميثيونين أيضاً، فإن سلاسل عديد الببتيد تبدأ بالميثيونين عندما يتم اصطناعها، ولكن قد يقوم بعد ذلك أنزيماً ما بإزالة هذا الحمض الأميني البادئ من السلسلة).



الشكل (3:5): قاموس الراموز الوراثي، يشار هنا إلى الأسس الثلاثة لرامزة ال RNA المرسال بالأساس الأول والثاني، والثالث يُقرأ بالاتجاه `3→`5. على طول ال RNA المرسال. (تدرب باستعمال هذا القاموس على إيجاد الروامز في الشكل 17.4). لا تمثل الرامزة AUG الحمض الأميني ميثيونين (Met) وحسب فهي

تعمل أيضا كإشارة البدء للريبوسومات لتبدأ بترجمة ال RNA المرسال في هذه النقطة. تعمل ثلاث روامز فقط من 64 كإشارات توقف محددة في نهاية الرسالة الوراثية.

لاحظ في الشـــكل (3:5) بأن هناك فائض من الشـــيفرات (الروامز) الوراثية. ولكن لا يوجد التباس. فمثلا، بالرغم من أن الشـــيفرتين GAG وGAA تحددان الحمض الأميني الغلوتاميك Glutamic ولا تحددان أي حمض أميني آخر. إن فائض الرامزة ليس عشـــوائيا ففي حالات كثيرة تختلف الشيفرات المرادفة لحمض أميني معين فقط في الأساس الثالث من الثلاثية وهذا له فائدة محتملة لهذا الفائض.

تعتمد قدرتنا على استخلاص الرسالة المقصودة من اللغة المكتوبة على قراءة الرموز بالتجميع الصحيح – وهذا يعني في الإطار الصحيح reading frame. إن الامتداد القصير لعديد الببتيد الظاهر في الشكل (3:4) مثلا، سوف يصنع بشكل صحيح فقط إذا تمت قراءة نوكليوتيدات ال RNA المرسال من اليسار إلى اليمين (`3→`5) في المجموعات الثلاثية الظاهرة في الشكل UGG UUU GGC UCA، وبالرغم من أن الرســـالة الوراثية تكتب دون فراغات بين الروامز، فإن الماكينة الخلوية لاصـــطناع البروتين تقرأ الرســـالة كســـلســـلة من الكلمات غير المتراكبة والمؤلفة من ثلاثة أحرف. ولا تقرأ الرسالة كسلسلة UGGUUU.

سادساً: تطور الشيفرة الوراثية عند الكائنات الحية

إن **الشـيفرة الوراثية** شـاملة تقريبا. تتشـارك فيها الكائنات الحية بدءاً من البكتريا الأبسـط إلى الحيوانات الأكثر تعقيداً، فشـيفرة ال RNA ذات التسـلسـل CCG مثلاً، تُترجم كحمض أميني برولين Proline في جميع الكائنات الحية التي تم اختبار شـــيفراتها الوراثية. ففي التجارب المخبرية، يمكن أن تنتســـخ المورثات وتترجم بعد نقلها من نوع إلى آخر. ويمكن أن تُبرمج البكتريا عن طريق إدخال مورثات بشـــرية محددة بقصـــد الاســـتعمال الطبي، وقد أنتجت هكذا تطبيقات العديد من التطورات المثيرة في التكنولوجيا البيولوجية.

هناك اســـتثناءات لشـــمولية الشـــيفرة الوراثية، حيث تختلف بعض الشـــيفرات عن الشـــيفرات المعيارية. وتوجد اختلافات بســـيطة في الشـــيفرة الوراثية في حقيقات نوى محددة وحيدة الخلية وفي مورثات العضيات في بعض الأنواع.

فمثلاً: تستطيع بعض بدائيات النوى أن تترجم روامز التوقف إلى واحد من حمضين أمينين اثنين غير موجودين في غالبية الكائنات الحية. وعلى الرغم من هذه الاستثناءات فإن الأهمية التطورية لما يقارب الشمولية للشيفرة تبدو واضحة. إن وجود لغة مشتركة بين جميع الأشياء الحية يعني أنها كانت فعالة باكراً في تاريخ الحياة بما يكفي لجعلها موجودة في الأنسال المعروفة لجميع الكائنات الحية الحديثة. إن المفردات الوراثية المشتركة هي دليل على القرابة التي تربط كل الحياة على الأرض.

د. حسان حسن