

## الفصل الثاني

### المادة الوراثية – تخليق البروتينات – البروتيوم

لقد كان الطريق طويلا جدا أمام البشرية لمعرفة كنة الجينات وطبيعة بنائها وآلية قيامها بوظائفها.

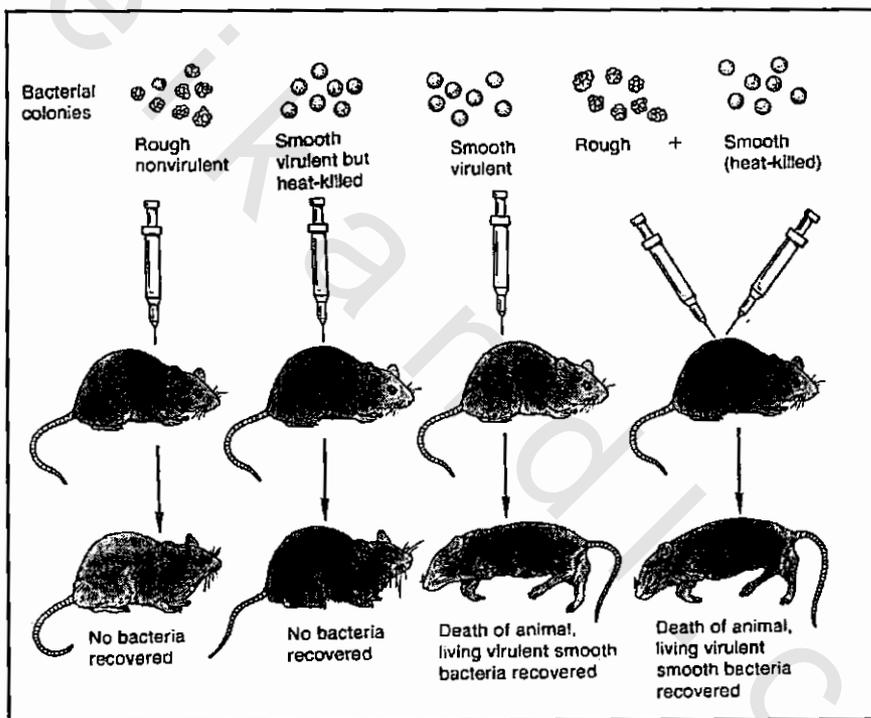
وهناك من الآثار القديمة التي ترجع إلى ٤٠٠٠ سنة قبل الميلاد فى بابلون والصين والتي تدل على إدراك الإنسان لأثر الوراثة فى تحديد صفات الحيوان والنبات، إلا أن ذلك الأثر لم يرتبط فى ذلك الوقت بالخلايا التناسلية. وكان أول من لاحظ تواجد الحيوانات المنوية حول البويضات عند تكوين الأجنة فى الحيوانات هو العالم الهولندى أنتون فان ليفنهوك Anton Van Leeuwenhoek (١٦٣٢ – ١٧٢٣). وكان ليفنهوك أول من استطاع رؤية الحيوانات المنوية وعزى إليها الأساس فى تكوين الجنين والتحكم فى صفاته. إلا أن عالما هولنديا آخر يدعى (جراف) Regnier de Graaf (١٦٤١ – ١٦٧٣) قام بدراسة المبيض وكان هو أول من قال بانفصال البويضات من المبيض لكى تخصب بالحيوان المنوى لتعطى الجنين، ومن ثم سميت الحويصلات التي تحتوى على البويضات باسم حويصلات جراف Graafian follicles. ويعتبر العالم الفرنسى موبيرتياى Pierre-Louis Moreau de Maupertuis المولود عام ١٦٩٨ هو أول من درس فى العصر الحديث خريطة الأنساب Family pedigree لتتبع توريث الصفات عبر عدة أجيال وفق أسس إحصائية، وقد تتبع على سبيل المثال توريث الإصبع الزائد Polydactyly والمهق Albinism.

ويعتبر القس النمساوى جريجور مندل Gregor Mendel (٢٢ يوليو ١٨٢٢ – ٦ يناير ١٨٨٤) أبا علم الوراثة الحديث لوضعه القوانين التي تحكم توريث الصفات من خلال دراسته على نبات البازلاء.

وقد حفل النصف الأول من القرن العشرين بدراسات فى علم الوراثة والخلية بفضل علماء من أمثال الألمانين Erwin Baur و Corl Correns والبريطانيين W. Bateson and R.W. Punnett والأمريكيين Thomas Morgan و E.B. Wilson، ولا يتسع المقام هنا لذكر إنجازاتهم، ولكن لنا أن نقرر أن هذه الفترة وضعت الأساس الصحيح لعلم الوراثة الذى بدأت تتضح أهميته فى تحسين المنتج الزراعى والثروة الحيوانية وأيضا علاقته بالكثير من الأمراض التي تصيب الإنسان.

وخلال ذلك ظل الأساس المادي للوراثة مجهولا، وكان لابيد لعلماء البيوكيمياء وعلماء الكائنات الدقيقة من دور الريادة في هذا الصدد.

وكانت البداية في عام ١٩٢٨ على يد طبيب يعمل في الجيش البريطاني يدعى فريدريك جرفث Frederick Griffith. وفي تجربته المشهورة على بكتيريا *Streptococcus pneumoniae* - والتي يعرف منها سلالة قاتلة Smooth يرمز لها بالحرف (S) وسلالة غير قاتلة Rough يرمز لها بالحرف (R) - وجد أن خليطا من بكتيريا ميتة من السلالة (S) وبكتيريا حية من السلالة (R) إذا ما أصيبت به الفئران فإنه يؤدي إلى موتها. (شكل ١٢).



شكل (١٢): تجارب العالم جرفث باستخدام طرازين من البكتيريا أوضحت انتقال (مادة محولة) من طراز إلى آخر. مهدت هذه التجارب الطريق أمام كشف المادة الوراثية.

وهذا بالطبع لم يكن متوقعا. وقد ازدادت دهشة (جرفث) عند فحص رثات الفئران الميتة ووجد بها بكتيريا حية من الطراز (S) المميت وأدرك أنها هي السبب في موت الفئران. وقد فسر (جرفث) وعلماء آخرون ذلك على أساس أن البكتيريا الحية من السلالة (R) تحولت إلى السلالة القاتلة (S) وذلك بانتقال مركب ما من السلالة الميتة من السلالة القاتلة (S) إلى البكتيريا

الحية من السلالة (R) فحولتها إلى السلالة (S). وقد مات الطبيب الضابط (جرفث) فى عام ١٩٤١ أثناء الغارات الجوية التى قام بها سلاح الجو الألمانى على مدينة لندن قبل أن يصل إلى معرفة ماهية هذه المادة المحولة transforming substance.

وكان العالم الأمريكى فى معهد روكفلر (جيمس ألو واى) James Lionel Alloway قام فى عام ١٩٣٣ باستخلاص محتويات خلايا البكتيريا من السلالة الميتة (S) واستطاع باستخدام هذا المستخلص - الخالى من الخلايا البكتيرية - تحويل البكتيريا من السلالة غير الضارة (R) إلى سلالة ضارة قاتلة (S). واعتقد العالم (ألو واى) وكثير من العلماء أن المادة التى سببت تغيير صفة البكتيريا من السلالة (R) إلى السلالة (S) هى مركب بروتينى.

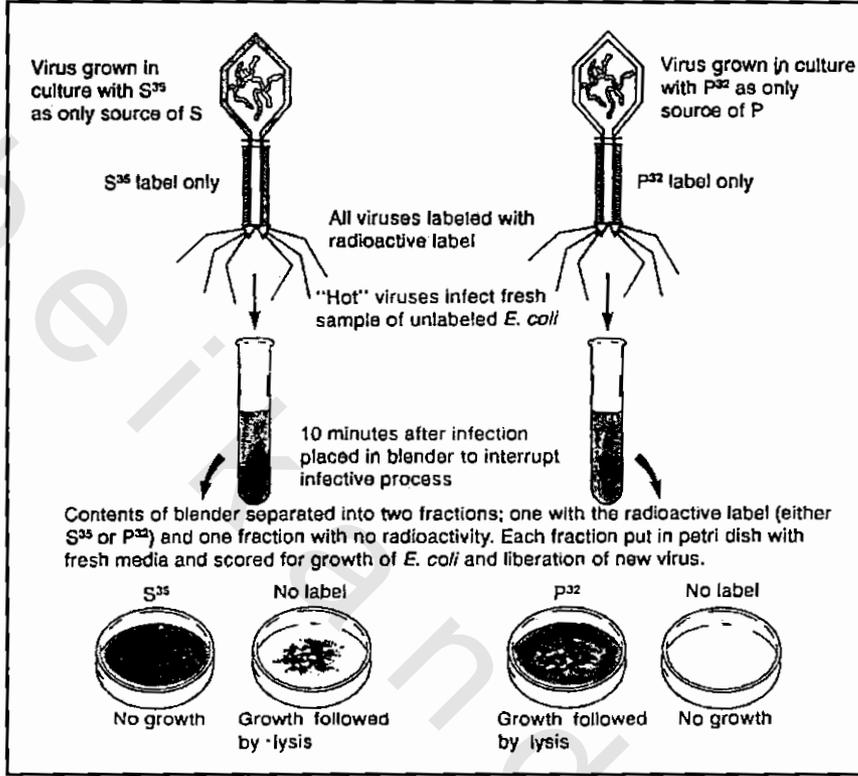
وفى عام ١٩٣٥ بدأ العالم الأمريكى فى معهد روكفلر (أوزوالد أفرى) Oswald Avery تجارب مضمّنية أوضحت فى النهاية أن المادة التى غيرت صفة البكتيريا هى الحمض النووى DNA. ونشر نتائج دراسته التى فتحت الباب أمام سيل من البحوث حول هذا الحمض النووى فى عام ١٩٤٤.

وفى عام ١٩٥٢ أجرى العالمان الأمريكان الفريد هيرشى Alfred Hershey ومارثا تشاس Martha Chase من معمل Cold Spring Harbor فى نيويورك تجربة فاصلة أوضحت دور الحمض النووى DNA فى حمل الصفات وتخليق البروتينات.

من المعروف أن للفيروس غلافاً من البروتين، وأن المادة الوراثية للفيروس المعروف باسم T-2 -والذى يصيب البكتيريا - هى حمض DNA. ومن المعروف أيضاً فى هذا الصدد أن الكبريت يوجد فقط فى البروتين، بينما الفوسفور يوجد فقط فى حمض DNA.

وقد بدأ (هرشى وتشاس) تجاربهما بتنمية الفيروس T-2 فى مزرعة بكتيريا *E. coli* فى وسط غنى بالكبريت المشع، ومجموعة أخرى من الفيروس فى مزرعة بكتيريا فى وسط غنى بالفوسفور المشع (شكل ١٣). وبتوالى تكون أجيال من الفيروسات اعتماداً على المواد المكونة للبكتيريا نتج فى المزرعة الأولى فيروسات تحتوى أغلفتها البروتينية على الكبريت المشع، وفى المزرعة الثانية نتجت فيروسات يحتوى حمض DNA بها على الفوسفور المشع.

وفى الخطوة الثانية استحضرت مزرعة بكتيريا غير مشعة وأضيف إليها فيروسات T-2 ذات الغلاف البروتينى المحتوى على الكبريت المشع، وسمح لهذه الفيروسات بفترة عشر دقائق لحقن حمض DNA الخاص بها إلى داخل البكتيريا ثم فصل الأغلفة البروتينية للفيروسات من على سطح البكتيريا.



شكل (١٣): تجربة العالمين هرشي وتشاس التي أثبتت أن حمض DNA هو المادة الوراثية.

وفي الخطوة الثالثة وضعت الأغلفة البروتينية المحتوية على الكبريت المشع في مزرعة للبكتيريا، كما وضعت البكتيريا المحتوية على حمض DNA الفيروسي في مزرعة أخرى للبكتيريا. وكانت النتيجة هي عدم تكون فيروسات في المزرعة الأولى المحتوية على الكبريت المشع، بينما تكونت فيروسات جديدة في المزرعة غير المحتوية على مادة مشعة. وبما أن الفيروسات المتكونة تحتوى على DNA وبروتينات، فإن ذلك يدل على أن حمض DNA يستطيع تكوين DNA جديدا كما يمكنه تخليق البروتينات.

وفي خطوة مقابلة للخطوة الثانية استحضرت مزرعة بكتيريا غير مشعة وأضيفت إليها فيروسات T-2 ذات الحمض DNA المحتوى على الفوسفور المشع، وسمح لهذه الفيروسات بفترة عشر دقائق لحقن حمض DNA الخاص بها إلى داخل البكتيريا ثم تم فصل الأغلفة البروتينية للفيروسات من على سطح البكتيريا.

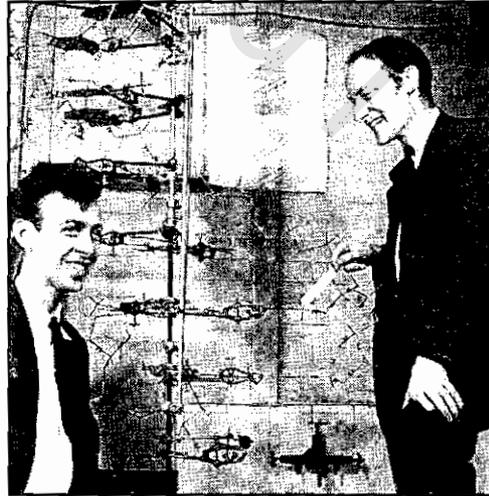
وفى خطوة مقابلة للخطوة الثالثة وضعت الأغلفة البروتينية فى مزرعة للبكتيريا، كما وضعت البكتيريا المحتوية على حمض DNA الفيروسي المشع فى مزرعة أخرى للبكتيريا. وكانت النتيجة هى عدم تكون فيروسات فى المزرعة الأولى، بينما تكونت فيروسات جديدة فى المزرعة المحتوية على مادة مشعة.

ومرة أخرى بما أن الفيروسات المتكونة تحتوى على DNA وبروتينات، فإن ذلك يدل على أن حمض DNA يستطيع تكوين DNA جديدا كما يمكنه تخليق البروتين.

وقد انتقل السباق بعد ذلك بين العلماء للكشف عن تركيب جزىء حمض DNA. ومن أبرز النتائج الأولية فى هذا الصدد ما قال به العالم (تشارجاف) Erwin Chargaff من جامعة كولومبيا من أن فى حمض DNA تتساوى كميتا الأدينين والثايمين كما تتساوى كميتا الجوانين والسيتوسين. كما قدم العالم الأمريكى الشهير لينس بولنج Linus Pauling – والوحيد الذى حصل على جائزتى نوبل منفرداً – نموذجاً لتركيب حمض DNA ولكن هذا النموذج لم يحالفه التوفيق. ومما يذكر أن عالماً المصرى أحمد زويل يجلس على كرسي العالم لينس بولنج فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا Caltech.

### تركيب جزىء حمض DNA:

ينسب كشف تركيب جزىء DNA إلى العالم الأمريكى جيمس واطسون James Watson والعالم البريطانى فرانسيس كريك Francis Crick (شكل ١٤).



شكل (١٤): جيمس واطسون وفرانسيس كريك اكتشفا فى عام ١٩٥٣ تركيب جزىء DNA ، وكان عمر الأول (٢٥) عاماً، وعمر الثانى (٣٧) عاماً. ومنحاً – مع ولكنز – جائزة نوبل عام ١٩٦٢.

ومما يذكر أنه في ٢٨ فبراير ١٩٥٣ أعلن هذان الشابان نموذجهما لتركييب جزيء DNA<sup>(١)</sup>.  
وقدماه إلى مجلة Nature لينشر فيها في العدد (١٧١) الصادر بتاريخ ٢٥ أبريل ١٩٥٣ على  
الصفحات ٧٣٧ - ٧٣٨، ٩٦٤ - ٩٦٧.

وكان الأمريكي واطسون قد تقدم إلى جامعة هارفارد وإلى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا لإجراء  
دراساته العليا ولكن أوراقه رفضت، فتقدم إلى جامعة إنديانا وحصل على الدكتوراه وعمره ٢٣  
عاما. وفي عام ١٩٥١ سافر واطسون إلى بريطانيا والتحق بجامعة كامبردج حيث قابل البريطاني  
كريك الذى كان حصل على شهادة فى الفيزياء عام ١٩٣٨ واتجه بعد ذلك للدراسات البيولوجية.  
لقد فتح الكشف عن تركيب جزيء حمض DNA آفاقا جديدة من البحوث شملت الدراسات  
عن الجينات وما يحمله هذا من تحكم فى صفات الكائنات الحية.  
وقد اعتبرت مجلة تايم الأمريكية واطسون وكريك فى عددها الصادر فى ٢٩ مارس ١٩٩٩  
من ضمن المائة عالم الذين صنعوا القرن العشرين.

والواقع إن الكشف عن تركيب جزيء DNA يرجع إلى أربعة من العلماء هم الأمريكي  
واطسون والبريطانى كريك. وقد عملا معا فى معامل كافندش Cavendish labs فى جامعة  
كامبردج البريطانية - ثم باحثة تدعى روزالند فرانكلين Rosalind Franklin وباحث يدعى  
موريس ولكنز Maurice Wilkins (شكل ١٥) درس كل منهما على حدة مادة DNA باستخدام



(a)



(b)

شكل (١٥): روزالند فرانكلين (a) وموريس ولكنز (b) كان لدراساتهما باستخدام أشعة (X) فضل كبير  
فى كشف تركيب جزيء DNA.

(١) راجع مقالة للمؤلف فى جريدة الأهرام يوم ٧ مارس ٢٠٠٣ بعنوان: (خمسون عاما على اكتشاف المادة الوراثية).

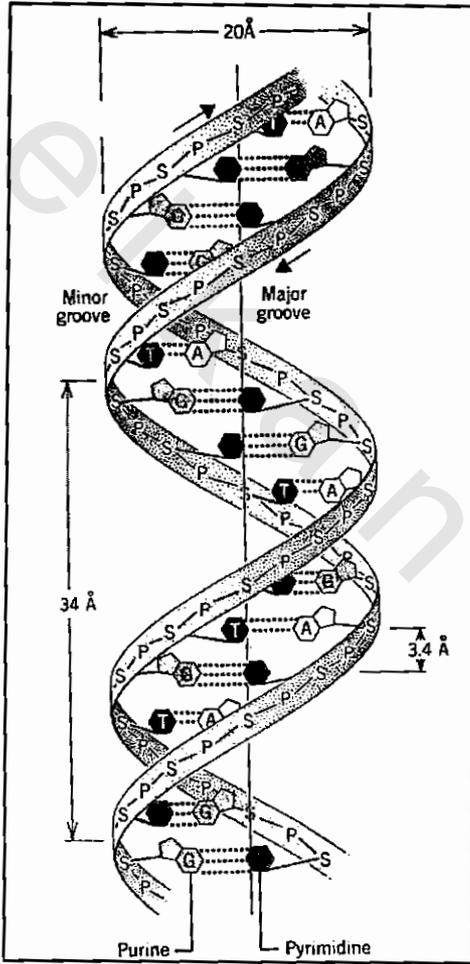
أشعة إكس وذلك في الكلية المعروفة باسم King's College في لندن. والحق أن الصور العلمية التي كانت فرانكلين حصلت عليها تتفوق على تلك التي حصل عليها ولكنز. ولكن فرانكلين توفيت في عام ١٩٥٨ وعمرها ٣٧ عاما متأثرة بمرض سرطان المبيض مما حال دون حصولها على جائزة نوبل - التي لا تمنح لأسماء الراحلين. كما أنها لا تمنح لأكثر من ثلاثة علماء معاً - وبذلك منحت جائزة نوبل في عام ١٩٦٢ للثلاثة الآخرين وهم واطسون وكريك وولكنز.

ويتكون جينوم الكائنات من عدد يقدر عادة بالملايين من الـ دى أوكسى نيوكليوتيدات، وتوضح القائمة عدد هذه النيوكليوتيدات المميز لبعض المخلوقات في المجموعة النصفية من الكروموسومات.

#### حجم الجينوم في نماذج من الكائنات الحية

نماذج من الكائنات الحية	حجم الجينوم في المجموعة النصفية مئات أزواج القواعد
Bacteria	
<i>Mycoplasma</i>	0.6
<i>E. coli</i>	4.7
Unicellular eukaryotes	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Yeast)	14
<i>Dictyostelium discoideum</i>	70
<i>Euglena</i>	3000
Plants	
<i>Arabidopsis thaliana</i>	70
<i>Zea mays</i> (corn)	5000
Animals	
<i>Caenorhabditis elegans</i> (nematode)	100
<i>Drosophila melanogaster</i> (fruit fly)	165
Chicken	1200
Mouse	3000
Human	3000

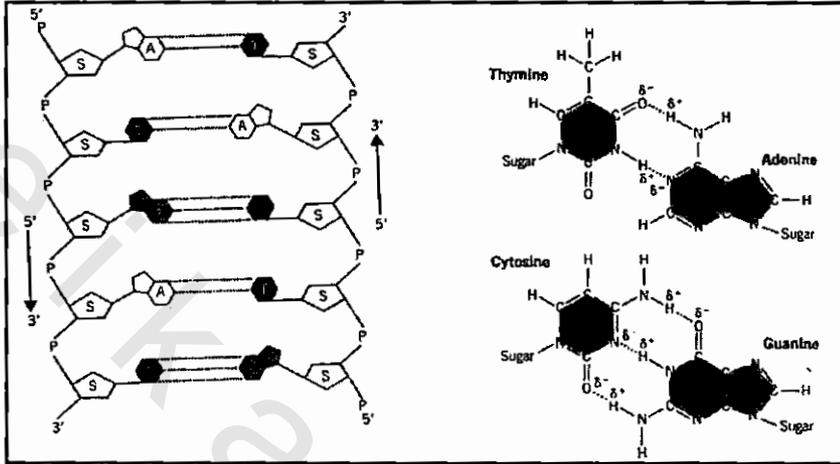
ويتكون جزيء حمض DNA من عدد كبير من الـ أوكسي نيوكليوتيدات، وتكون حزيئات الـ أوكسي نيوكليوتيدات سلسلتين. وتلتوى كل سلسلة لتكون حلزوناً - وتلتف السلسلتان حول بعضهما البعض بحيث تكون المسافة بينهما ثابتة. ويوصف شكل الجزيء بأنه حلزون مزدوج Double helix. (شكل ١٦).



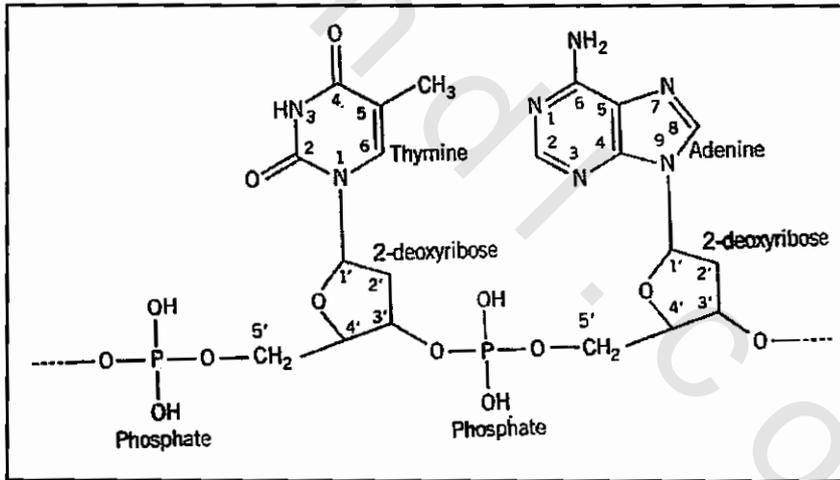
شكل (١٦): تركيب جزيء DNA.

ويلاحظ أن شريطي جزيء DNA يرتبطان معا عن طريق ارتباط القواعد النيتروجينية - حيث يرتبط الأدينين (ثنائي الحلقة) مع الثايمين (أحادي الحلقة)، ويرتبط الجوانين (ثنائي الحلقة) مع السيتوسين (أحادي الحلقة) (شكل ١٧). ويمكن تشبيه الجزيء بالسلم حيث يتكون كل من جانبيه من سلسلة من جزيئات السكر والفوسفات الخاصة بالـ أوكسي

نيوكليوتيدات، أما درجات السلم في الجزىء - والتي تربط بين السلسلتين - فهي تتكون من القواعد النيتروجينية لهذه الذى أوكسى نيوكليوتيدات. ويطلق على سلسلتى السكر والفوسفات اللتين تكونان جانبي الجزىء اسم (هيكل الجزىء) The molecule backbone (شكل ١٨).



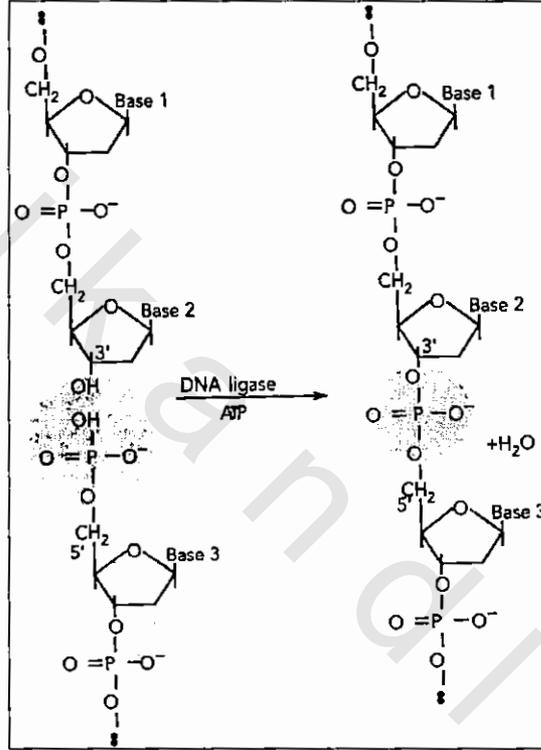
شكل (١٧): نظام ارتباط القواعد النيتروجينية على شريطى جزىء DNA بعضهما ببعض.



شكل (١٨): وضع الجزئيات على أحد شريطى حمض DNA.

ويقوم إنزيم DNA ligase بربط الجزئيات عند جوانب جزىء DNA لتكوين هيكل الجزىء backbone (شكل ١٩). وكان قد تم فصل هذا الإنزيم من الفيروس الذى يصيب البكتيريا المعروفة باسم T4 فى أواخر الستينيات من القرن الماضى. ويستخدم هذا الإنزيم فى ربط أجزاء

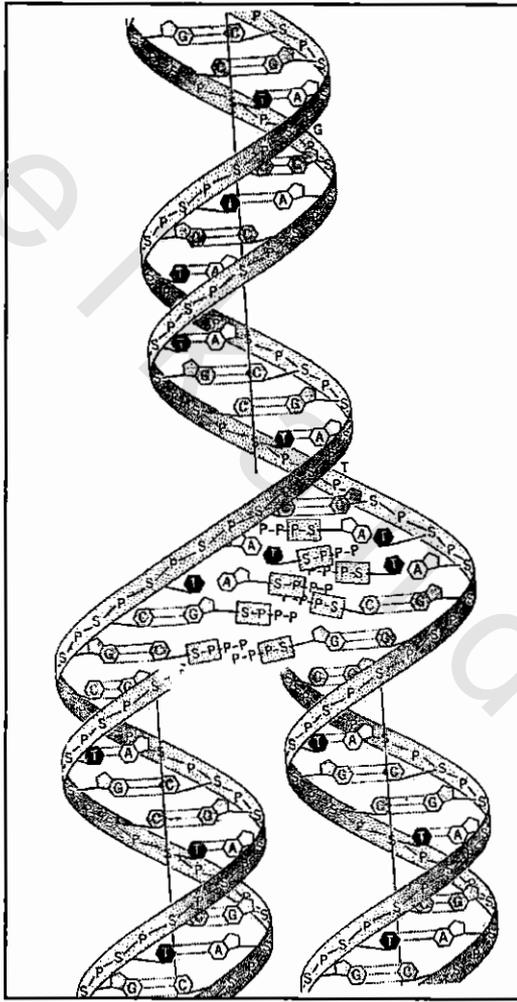
من الحمض النووي بعضها ببعض، حيث يعمل على تكوين رابطة كيميائية بين مجموعة الفوسفات عند ذرة الكربون رقم (5') في جزيء دي أوكسي ريبوز عن طرف جزيء حمض DNA، وذرة الكربون رقم (3') لجزيء دي أوكسي ريبوز عند طرف جزيء حمض DNA آخر. وهذه رابطة قوية تعرف باسم phosphodiester bond.



شكل (١٩): إنزيم DNA ligase يربط أجزاء حمض DNA عند الجوانب وذلك بربط مجموعة الفوسفات المرتبطة بذرة الكربون رقم (5') في جزء مع ذرة الكربون رقم (3') في جزيء السكر للجزء الآخر.

وتجدر الإشارة إلى أن جزيئات حمض DNA يطوى كل منها على نفسه طيا عظيما في مستويات متعددة حتى تتسع لها نواة الخلية. فعلى سبيل المثال تحتوى الخلية البشرية الواحدة على ١٧٤ سم من جزيئات DNA وتحتوى بعض خلايا حشرة الدروسوفلا على ٩٧ مترا من هذا الحمض في الخلية الواحدة. ولزيد من الإيضاح نذكر أن الكروموسوم رقم (١) في خلايا الإنسان يبلغ طوله (١٠) ميكرومتر ويحتوى على ٧,٢ سم من حمض DNA. ويبلغ مقدار الطي هنا ٧٢٠٠ مرة. وقد قدر أن وزنا يساوى واحد بيكوجرام من حمض DNA يمتد طولا إلى حوالى ٣١ سم.

ويلاحظ أن جزيئات DNA فى صورتها عالية الطى لا تعمل عليها الإنزيمات اللازمة لمضاعفته أو لنسخه إلى جزيئات DNA حيث إن الطى يحول دون ذلك، وعلى هذا فإن مضاعفة جزيئات DNA أو نسخها يستلزم انبساط هذا الطى لتصبح الجزيئات غير ملتفة unwound.



شكل (٢٠): تضاعف جزيء DNA عن طريق بناء شريط جديد أمام كل شريط قديم.

ومن المهم أن نذكر أن فصل الشريطين القديمين بعضهما عن بعض يلزمه إنزيم يسمى DNA-helicase وأن إضافة النيوكليوتيدات واحداً تلو الآخر لبناء الشريط الجديد يلزمه إنزيم DNA-Polymerase.

ولجزيء حمض DNA القدرة على مضاعفة Replication نفسه ويتم ذلك عن طريق فك ارتباط شريطى الجزيء عن بعضهما البعض وذلك بكسر الروابط الضعيفة التى تربط بين الـ دى أوكسى نيوكليوتيدات المتقابلة، ويتبع ذلك تراص دى أوكسى نيوكليوتيدات جديدة أمام كل شريط وارتباطها بالنيوكليوتيدات المكونة للشريط القديم وكذلك ارتباطها بعضها ببعض لتكون شريطاً جديداً وبهذا ينتج لدينا جزيئان من حمض DNA، وفى كل جزيء شريط قديم وشريط جديد. (شكل ٢٠).

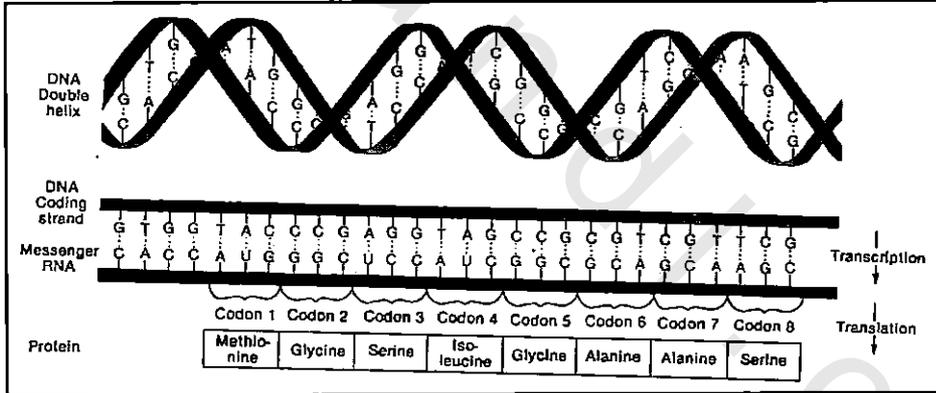
وغنى عن البيان أن تتابع القواعد النيتروجينية فى الشريط القديم هو الذى يحدد تتابعها على الشريط الجديد - فإذا كانت القاعدة النيتروجينية على الشريط القديم (A) مثلاً، جاءت أمامها القاعدة (T) على الشريط الجديد، والعكس بالعكس، كذلك إذا كانت القاعدة (G) على الشريط القديم، جاءت أمامها القاعدة (C) على الشريط الجديد والعكس بالعكس.

وعملية مضاعفة حمض DNA لنفسه ضرورية وهي تحدث قبل عملية انقسام الخلية، حتى تحصل كل خلية من الخليتين الناتجتين على القدر نفسه من المادة الوراثية ولا يحدث أى نقص فى محتوى المادة الوراثية نتيجة الانقسامات المتتالية لخلايا الجسم، وهي الانقسامات الضرورية لنمو الجسم وتعويض الخلايا التالفة.

### حمض الريبونوكليك (رنا) (Ribonucleic Acid (RNA))

يحتاج الجسم للملايين من سلاسل الأحماض الأمينية مختلفة الخصائص والتي تقوم خلاياه بتخليقها، ومن المهم أن ندرك أن ترتيب هذه الأحماض فى كل سلسلة يعتمد على ترتيب الذى أوكسى نيوكليوتيدات داخل جزء معين من حمض DNA المنوط به تخليق هذه السلسلة بذاتها. ولا يقوم حمض DNA بهذا الدور الهام مباشرة، فالذى يحدث هو أن حمض DNA يعمل على تخليق حمض نووى آخر يعرف باسم الحمض الريبوزى النووى الرسول messenger RNA (m-RNA) وتعرف هذه العملية باسم (النسخ Transcription).

وهذا الأخير يعمل على ترتيب سلسلة من الأحماض الأمينية بنظام معين وفقا لترتيب ما يحمله من نيوكليوتيدات، وتسمى هذه العملية الأخيرة باسم الترجمة Translation.



شكل (٢١): شريط DNA ينسخ إلى حمض m-RNA ، وهذا الأخير يحمل شفرات يترجم كل منها إلى حمض أمينى لتتكون سلسلة عديد البيبتيد (البروتين).

وكان الفرنسيان جاكوب ومونود Jacob & Monod هما أول من قال بوجود حمض m-RNA وبآلية دوره فى عملية تخليق البروتينات، وكان ذلك فى العدد الثالث من مجلة J. Molecular Biology فى عام ١٩٦١.

ويختلف حمض RNA عن حمض DNA فى عدة اعتبارات، منها أن حمض RNA يتكون من سلسلة واحدة من جزيئات تسمى (نيوكليوتيدات)، وذلك على عكس جزيء حمض DNA

الذى يتكون من سلسلتين من جزئيات تسمى (دى أوكسى نيوكليوتيدات). والفرق الأساسى بين هذه الوحدات يتحدد فى أن السكر الداخلى فى تركيب النيوكليوتيدات هو الريبوز Ribose، أما فى الدى أوكسى نيوكليوتيدات فهو ريبوز تنقصه ذرة أوكسيجين يسمى دى أوكسى ريبوز Deoxyribose. كما أن هناك فرقا آخر فى تركيب هذه الوحدات يتحدد فى القواعد النيتروجينية، حيث إن القواعد النيتروجينية فى حمض DNA هى الأدينين والجوانين والسيتوسين بالإضافة إلى قاعدة تسمى يوراسيل (Uracil (U). وهذه القاعدة الأخيرة لا توجد فى DNA - حيث يوجد بدلا منها القاعدة (ثايمين) التى لا توجد بدورها فى حمض RNA.

ويتم تخليق حمض m-RNA فى نواة الخلية - ثم يتجه إلى السيتوبلازم ليقوم بتخليق سلاسل الأحماض الأمينية التى منها يتم بناء البروتينات.

وتفصيل بناء حمض m-RNA هو أن الجزء من حمض DNA المسئول عن بناء سلسلة معينة من الأحماض الأمينية تنكسر الروابط بين شريطيه ليتكون أمام أحدهما شريط من حمض m-RNA. ولتحقيق ذلك فإن تتابع الدى أوكسى نيوكليوتيدات على شريط حمض DNA يحدد تتابع النيوكليوتيدات على شريط m-DNA المزمع بناؤه - فإذا وجدت على شريط حمض DNA القاعدة Guanine، يتم جمع القاعدة Cytosine عند بناء شريط m-RNA. وإذا وجدت على شريط حمض DNA القاعدة Cytosine، يتم جمع القاعدة Guanine عند بناء شريط m-RNA. وأود أن أذكر هنا أن حمض m-RNA لا يحتوى القاعدة النيتروجينية Thymin، ولكنه يحتوى بدلا منها القاعدة Uracil، وهذا يعنى أنه إذا وجدت على شريط حمض DNA القاعدة Adenine يتم جمع القاعدة Uracil أمامها، أما إذا وجدت على شريط حمض DNA القاعدة Thymin، فإنه يتم جمع القاعدة Adenine أمامها.

ويعتمد طول جزيء m-RNA بصفة عامة على طول جزء سلسلة الأحماض الأمينية المطلوب بناؤها.

ويوصف شريط حمض m-RNA الذى سيقوم بتخليق سلسلة عديد الببتيد بأنه Sense Strand، ويوصف شريط حمض DNA الذى خلق هذا الشريط بأنه antisense.

ويعتمد تحديد الشريط من حمض DNA الذى سيقوم بعملية النسخ إلى RNA على إحتوائه على تسلسل معين من دى أوكسى نيوكليوتيدات يطلق عليه اسم الدافع Promoter قبل موقع الجزء من حمض DNA المراد نسخه.

وعند نسخ الجين، فإن النسخ يتم لكل أجزائه إلى حمض m-RNA يوصف بأنه (أولى) primary m-RNA.

والجزء الناتج عن النسخ يحتوى على إنترونات introns وهى مناطق لا يستلزم ترجمتها عن تخليق البروتينات. (شكل ملون ٢٢)

وتعرف جزيئات m-RNA المتكونة حديثاً بأنها (حمض ريبوزى نووى مختلط التركيب heterogeneous nuclear RNA (hn RNA). وفى خطوة ثانية - تتم فى النواة - ويحدث قص للأجزاء عديمة الوظيفة من هذا الجزيء الأولي - وهى الأجزاء الناتجة عن نسخ الإنترونات - لينتج لدينا فى النهاية m-RNA يحتوى على نسخ للإكسونات فقط. وتسمى هذه الخطوة الثانية باسم RNA-Splicing. ويوصف الجزيء الناتج بأنه ناضج mature.

ويطلق على الإنزيمات التى تقوم بعملية Splicing اسم Spliceosomes. ومن الجدير بالذكر أن عدم انضباط حدوث هذه العملية على وجهها الصحيح يؤدى إلى أمراض وراثية منها ما يصيب الدم مثل thalassaemias ومنها ما يصيب الألياف العصبية بالجهاز العصبى المركزى مثل Jimpy Mutation.

ويحدث فى داخل نواة الخلية تعديلات ثلاثة لجزيء حمض m-RNA المنسوخ حديثاً. نوجزها فيما يلى :

( أ ) فى كثير من الحالات نجد أن الطرف (3') لجزيء m-RNA زود بعدد من جزيئات الـ أوكسى نيوكليوتيد المحتوية على القاعدة النيتروجينية Adenine يتراوح عددها بين ٢٠-٢٠٠ فيما يعرف باسم (الذيل عديد الأدينيلين Polyadenylic tail). ويعتقد العلماء أن هذا التتابع يحمى جزيء m-RNA من التكسر تحت تأثير إنزيمات معينة فى السيتوبلازم.

(ب) كذلك يحدث فى داخل نواة الخلية تحور للطرف (5') لجزيء m-RNA فى حقيقيات النواة وذلك بإضافة مركب 7-methylguanosine فيما يعرف باسم وضع القلنسوة Capping، وكذلك بإضافة مجموعة (ميثيل) CH<sub>3</sub> عند ذرة الكربون رقم (٢) فى جزيء السكر فى الـ أوكسى نيوكليوتيد الأول أو الأول والثانى عند الطرف (5') لجزيء m-RNA.

(ج) يحدث فصل للإنترونات من الجزيء.

ويخرج جزيء m-RNA من النواة إلى السيتوبلازم بعد تحور نهايته وحذف الإنترونات. ومن الجدير بالذكر أن كلا من ذيل الأدينيلين والقلنسوة عن طرفى الجزيء لا يحدث لهما ترجمة فى السيتوبلازم عند تخليق البروتين. وتعتبر القلنسوة (m-RNA cap) هى الوسيلة التى تتعرف بها الريبوسومة على جزيء هذا الحمض فترتبط به ثم تنتقل الريبوسومة بعد ذلك إلى الشفرة البادئة لتبدأ عملية الترجمة.

وفى النهاية نذكر أن الفيروسات التى تتكون مادتها الوراثية من حمض RNA تقوم عندما تغزو الخلايا بعملية نسخ عكسى Reverse transcription يستخدم فيها حمض RNA فى تخليق DNA.

## الشفرة الوراثية The Genetic Code

اتضح من الدراسات المختلفة أن تتابع النيوكليوتيدات على جزيء حمض m-RNA يكون ما يسمى بالشفرة الوراثية genetic codes - حيث تتكون كل شفرة من ثلاثة نيوكليوتيدات متتابعة على هذا الجزيء - وتدل كل شفرة على حمض أميني معين عند بناء سلسلة الأحماض الأمينية. فتتابع النيوكليوتيدات AUG مثلا يستحضر الحمض الأميني ميثيونين - Methionine وتتابع النيوكليوتيدات UGG مثلا يستحضر الحمض الأميني تريبتوفان Tryptophan، وهكذا. ويمكن أن يكون للحمض الأميني أكثر من شفرة واحدة. بحد أقصى ست شفرات، وفي هذه الحالة نجد أن النيوكليوتيد الأولين من الشفرة ثابتان في معظم الشفرات الدالة على حمض أميني واحد. وفي الواقع فإن هناك ٦١ شفرة مختلفة تدل على العشرين حمض أميني المعروفة. وهناك ثلاث شفرات لا تدل على أي من الأحماض الأمينية - وهذه يطلق عليها اسم شفرات الإيقاف Stop Codons أو شفرات غير دالة Non-sense codons. وقد نال العلماء الثلاثة كورانا ونيرنبرج وهولي H.G. Khorana, M.Nirenberg & R. Holley جائزة نوبل في عام ١٩٦٨ تقديرا لجهودهم في ابتكار طرق لتحديد الشفرات الوراثية الخاصة بكل حمض أميني.

ويوضح الجدول التالي الشفرات الخاصة بالأحماض المختلفة وكذلك شفرات الإيقاف:

الشفرة الوراثية Genetic Codes on m-RNA	اسم الحمض مختصرا	Amino Acid	الحمض الأميني
GCA GCU GCC GCG	Ala L	Alanine	ألانين
CGA CGG AGA AGG CGC CGU	Arg R	Arginine	أرجنين
AAU AAC	Asn N	Asparagine	أسبرجين
GAU GAC	Asp A	Aspartic acid	حمض الأسيرتك
UGC UGU	Cys C	Cysteine	سيتئين
GAA GAG	Glu G	Glutamic acid	حمض الجلوتاميك
CAA CAG	Gln Q	Glutamine	جلوتامين
GGU GGC GGA GGG	Gly Y	Glycine	جليسين

الشفرة الوراثية Genetic Codes on m-RNA	اسم الحمض مختصرا	Amino Acid	الحمض الأميني
CAU CAC	His H	Histidine	هستيدين
AUU AUC AUA	Ile W	Isoleucine	أيزوليوسين
UUA UUG CUU CUC CUA CUG	Leu U	Leucine	ليوسين
AAA AAG	Lys I	Lysine	ليسين
AUG	Mct M	Methionine	مثيونين
UUU UUC	Phe F	Phenylalanine	فينيل ألانين
CCU CCC CCA CCG	Pro P	Proline	برولين
UCU UCC UCA UCG AGU AGC	Ser S	Serine	سيرين
ACU ACC ACA ACG	Thr E	Threonine	ثريونين
UGG	Trp T	Tryptophan	ثريوفان
UAU UAC	Tyr O	Tyrosine	تيروسين
GUU GUG GUA GUG	Val V	Valine	فالين
UAA, UAG, UGA	(تتابعات ثلاثية يوقف كل منها عملية تخليق البروتين)		Stops

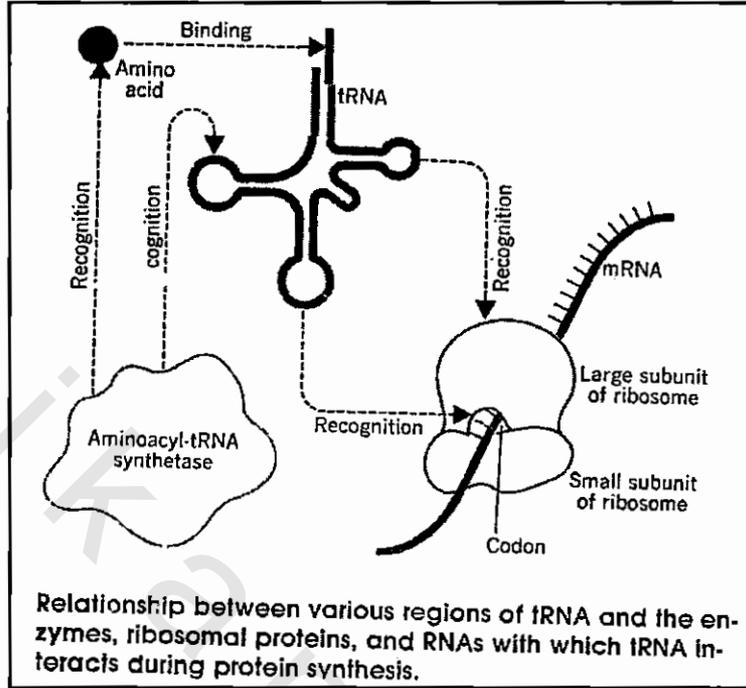
#### الشفرة الوراثية للأحماض الأمينية

(عادة يرمز لكل حامض أميني بثلاثة حروف أو حرف واحد)

وتجدر الإشارة إلى أن الشفرات الوراثية الناتجة عن نسخ حمض DNA الموجود في الميتوكوندريا في الخلايا البشرية يترجم بعضها إلى أحماض أمينية بطريقة مختلفة عن هذا النسق العام. وعلى وجه التحديد فإن الشفرة UGA تعني الحمض الأميني تريبتوفان بدلا من كونها شفرة إيقاف، كما أن الشفرة AUA تعني الحمض الأميني مثيونين بدلا من الحمض الأميني أيزوليوسين، والشفرتان AGA & AGG يعني كل منهما شفرة إيقاف بدلا من الحمض الأميني أرجنين.

#### حمض t-RNA وحمض r-RNA

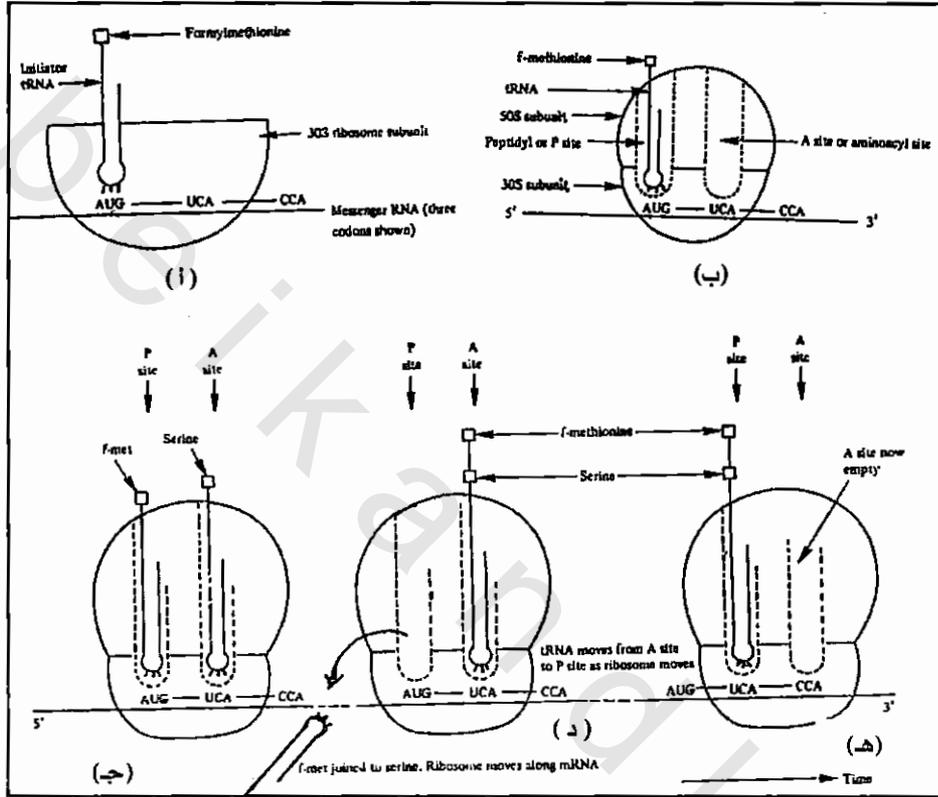
من الجدير بالذكر أن حمض DNA يقوم بتخليق طرازين آخرين من الأحماض النووية الريبوزية، أي التي يدخل في تركيبها سكر الريبوز: الأول منهما يسمى الحمض النووي الريبوزي الناقل (Transfer RNA (t-RNA) (شكل ٢٣)، وكان العالمان (هوجلاند وزامكنك) M. Hoagland & P.Zamcchnik من جامعة هارفارد قد اكتشفا هذا الحمض في منتصف الخمسينات.



شكل (٢٣): يرتبط m-RNA مع الريبوسومة. يعمل إنزيم aminoacyl-t-RNA Synthetase على ربط الحمض الأميني مع t-RNA. عقب ذلك يرتبط حمض t-RNA بحمض m-RNA عن طريق ارتباط الشفرة المضادة في حمض t-RNA مع الشفرة في حمض m-RNA.

ويتكون هذا الحمض في النواة ثم يخرج إلى السيتوبلازم ليتحد كل جزيء من جزيئاته مع أحد الأحماض الأمينية بمساعدة الإنزيم aminoacyl-t-RNA synthetase - وفق نظام خاص فيما يعرف باسم تنشيط الأحماض الأمينية Amino acid activation، ويحمل كل جزيء من جزيئات هذا الحمض تتابعا من ثلاثة نيوكليوتيدات يطلق عليه اسم (مقابل الشفرة) "Anticodon" ويرتبط (مقابل الشفرة) مع الشفرة المناظرة التي يحملها حمض m-RNA وذلك عند ترتيب وحدات سلسلة الأحماض الأمينية اللازمة لتخليق بروتين معين. وكان العالم الأمريكي (برج Paul Berg) هو الذى كشف طبيعة تنشيط كل حمض أميني وهى العملية التى تسبق تخليق سلسلة من الأحماض الأمينية. أما الحمض الريبوسومى (r-RNA) Ribosomal RNA فهو يتكون فى النواة ليستقبل بروتينات معينة تم تخليقها فى السيتوبلازم حيث تتحد جزيئات هذا الحمض مع هذه البروتينات فى موقع النوية nucleolus داخل النواة، وبذلك تنشأ حبيبات تعرف باسم ريبوسومات Ribosomes - وهذه تخرج إلى السيتوبلازم، وتتكون كل ريبوسومة من وحدة صغيرة ووحيدة كبيرة small subunit and large subunit. والريبوسومات هى مواقع

تخليق سلاسل الأحماض الأمينية والتي عندها يلتقي حمض m-RNA مع حمض t-RNA المرتبط بأحد الأحماض الأمينية (شكل ٢٤، شكل ملون ٢٥).



شكل (٢٤): خطوات ترجمة m-RNA إلى سلسلة من الأحماض الأمينية.

- (أ) ارتباط t-RNA الذي يحمل حمض أميني مع m-RNA عند الشفرة الأولى على هذا الحمض وهي AUG. الوحدة الصغيرة فقط للريبوسومة هي التي ترتبط بحمض m-RNA.
- (ب) ارتباط الوحدة الكبيرة للريبوسومة مع الوحدة الصغيرة. الريبوسومة تحتوي على موقع لشفرة ثانية.
- (ج) حمض t-RNA ثان - محمل بحمض أميني - يرتبط بالشفرة الثانية. لاحظ أن للريبوسومة موقعين هما A-site و P-site.
- (د) الحمض الأميني الأول يرتبط بالحمض الأميني الثاني في الموقع A ثم ينفصل حمض t-RNA الأول من موقع الشفرة الأولى.
- (هـ) تتحرك الريبوسومة لتخرج من نطاقها الشفرة الأولى وتستوعب شفرة ثالثة وبذا يصبح الحمضان الأمينيان عند الموقع P.
- يتكرر ما سبق عن طريق استيعاب الريبوسومة لشفرة تلو الأخرى، وارتباط الأحماض الأمينية بعضها ببعض واحداً تلو الآخر حسب تسلسل الشفرات على حمض m-RNA تتم عملية الترجمة.

## تخليق البروتينات (الترجمة) (أشكال ٢٣، ٢٤، ٢٥ ملون)

تبدأ عملية الترجمة بارتباط طرف جزئى حمض m-RNA بالوحيدة الصغيرة للريبوسومة التى تتسع لشفرتين على الحمض. ثم يأتى حمض RNA الناقل وهو يحمل الحمض الأمينى ميثيونين، ذلك أن الشفرة الأولى على حمض m-RNA هى AUG، وهى تسمى الشفرة الاستهلاكية. وبعد ذلك تأتى الوحيدة الكبيرة للريبوسومة لتتحد مع الوحيدة الصغيرة.

ثم يأتى جزئى آخر لحمض RNA الناقل والذى يحمل حمضا أمينيا ثانيا لترتبط شفرته المضادة مع الشفرة الثانية على جزئى m-RNA. ويعرف الموقع من الريبوسومة الذى ارتبط عنده حمض RNA الناقل الأول باسم الموقع (P)، بينما يعرف الموقع من الريبوسومة الذى ارتبط عنده حمض RNA الناقل الثانى باسم الموقع (A). عندئذ ينتقل الحمض الأمينى من الموقع (P) إلى الموقع (A) ليرتبط بالحمض الأمينى الواقع عند (A). وعقب ذلك ينفصل حمض RNA الناقل عن الشفرة الوراثية فى الموقع (P) ويتجه إلى أرضية السيتوبلازم. بعد ذلك تنتقل الريبوسومة على حمض m-RNA لتستوعب الشفرة الثانية وبذلك يصبح حمض RNA الناقل الذى يحمل حمضين أمينيين فى الموقع (P)، بينما يصبح الموقع (A) فى الريبوسومة شاغرا، ويستدعى هذا الموقع الشاغر حمض RNA ناقلا يحمل حمضا أمينيا يتآلف مع الشفرة على حمض m-RNA الواقعة فى الموقع (A) لترتبط هذه الشفرة مع الشفرة المضادة التى يحملها حمض RNA الناقل. وبعد ذلك ينتقل الحمضان الأمينيان فى الموقع (P) إلى الموقع (A) ليرتبطا بالحمض الأمينى عند هذا الموقع ليصبح لدينا ثلاثة أحماض أمينية مرتبطة معا عند الموقع (A)، وعقب ذلك ينفصل حمض RNA الناقل الموجود فى الموقع (P) عن الشفرة الوراثية فى الموقع (P)، وبذلك يصبح الموقع (P) شاغرا. بعد ذلك تتحرك الريبوسومة من جديد لتستوعب الشفرة التالية من حمض m-RNA. وهكذا تتم ترجمة الشفرات الوراثية الواقعة على حمض m-RNA واحدة تلو الأخرى إلى سلسلة من الأحماض الأمينية. حتى تأتى إحدى شفرات الإيقاف وبذلك تنتهى عملية تخليق سلسلة الأحماض الأمينية.

ولضمان تخليق عدة سلاسل من الأحماض الأمينية فى وقت وجيز فإن عددا من الريبوسومات يتولى ترجمة شفرات حمض m-RNA ريبوسومة تلو الأخرى.

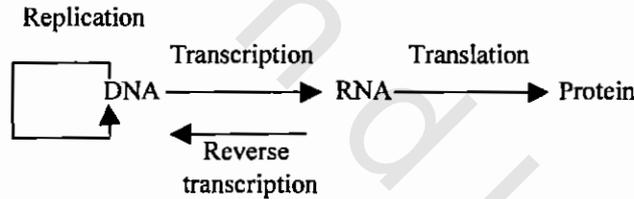
وقد تنمو سلسلة الأحماض الأمينية فى أرضية السيتوبلازم Cytosol أو يتم بناؤها فى داخل أكياس الشبكة الإندوبلازمية. ويحدث داخل شبكة الإندوبلازمية إضافة بعض المكونات إلى سلسلة الأحماض الأمينية، كما قد يحدث حذف مكونات أخرى. وينتقل المركب الناتج عبر حويصلات تقتطع من الشبكة الإندوبلازمية إلى جهاز جولجى حيث تحدث تعديلات أخرى للمركب حتى يصل إلى صورته النهائية.

وقد يحدث اضطراب في المادة الوراثية - أى فى حمض DNA لأسباب مختلفة، بما يؤدي إلى خلل فى جزيئات دى أوكسى نيوكليوتيدات ذلك الحمض يتمثل فى نقص أو استبدال أحدها أو بعضها أو إضافة واحد أو أكثر من الدى أوكسى النيوكليوتيدات فينعكس ذلك بدوره على عمليتي النسخ والترجمة فيؤدي إلى عدم تكون سلاسل الأحماض الأمينية وفقا للمواصفات المطلوبة، فينتج عن ذلك أمراض متعددة يصعب علاجها.

ومن العوامل التي تؤدي إلى اضطراب المادة الوراثية التعرض للإشعاع أو لبعض المواد الكيميائية أو لبعض الفيروسات.

ويطلق على عملية بناء سلسلة الأحماض الأمينية اعتمادا على ترتيب الشفرات فى جزيء حمض m-RNA اسم (ترجمة) Translation لأنها تبنى سلسلة من الأحماض الأمينية اعتمادا على سلسلة من الشفرات التي تتكون من نيوكليوتيدات، وبمعنى آخر فإن ترتيب الأحماض الأمينية فى سلسلة يعتمد على ترتيب الشفرات الوراثية فى حمض m-RNA - وتقف عملية الترجمة عند وصولها إلى أحد الشفرات غير الدالة، وتتم عملية الترجمة هذه فى منطقة السيتوبلازم بمشاركة الريبوسومات وحمض t-RNA.

ويمكن تلخيص ما سبق فى البيان الآتى:



وخلاصة القول أن سلسلة ما من الأحماض الأمينية - التي تعتبر أساس تكوين المادة البروتينية - يعتمد بناؤها على ترتيب الشفرات على جزيء حمض m-RNA، وهذا الترتيب بدوره يعتمد على ترتيب الدى أوكسى نيوكليوتيدات فى الجزء من حمض DNA المسئول عن تكوين هذه السلسلة من الأحماض الأمينية.

### البروتيوم:

من الجدير بالذكر أن سلاسل الأحماض الأمينية الناتجة عن عملية الترجمة يجرى لها عملية تصميم Construction لتحقيق بنيان يقوم بنشاط وظيفي معين. ويشمل هذا التصميم طي folding سلاسل عديد الببتيد، وارتباط عدد من سلاسل عديد الببتيد مع بعضها البعض، واتخاذ جزيء البروتين شكلا ثلاثي الأبعاد مميزا.

وقد دلت الدراسات العلمية على أن طريقة طي سلسلة عديد الببتيد تعتمد على تتابع الأحماض الأمينية الداخلة في تركيب هذه السلسلة. ومن أبرز الدراسات التي أجريت في هذا الشأن تلك التي قام بها ثلاثة علماء معاً هم M. Sela; F. White; C. Anfinsen. وقد وجد أن هناك بروتينات تساعد في عملية الطي يطلق عليها اسم Chaperones.

وتتباين طريقة بناء جزيء البروتين تبانياً كبيراً، وقد أوضحت الدراسات المعتمدة على حيود أشعة إكس X-ray diffraction بصورة أساسية على أن هناك أربعة مستويات لبناء جزيء البروتين هي: البناء الأولي، البناء الثانوي (طراز ألفا هلكس، طراز بيتا)، البناء الثلاثي، البناء الرباعي.

في عام ١٩٩٤ ظهر مصطلح بروتيوم Proteome لأول مرة في أمريكا - وحتى الآن لم يتردد في قاعات محاضراتنا. وقد تم صك هذا المصطلح بالموازاة لكلمة (جينوم) Genome التي تعني مجمل التركيب الجيني بالخلية الحية. أما المصطلح الجديد - بروتيوم - فهو يعنى مجمل خصائص وأنشطة جميع المركبات البروتينية في مختلف خلايا أنسجة الجسم التي يخلقها الكائن الحي خلال حياته.

ويرى العلماء أن الكشف عن البروتيوم في الخلايا الحية يساعد على تفهم آليات شبكة العلاقات بين البروتينات المختلفة وآليات استثارته عن طريق الإشارات الخلوية Cell Signals. ويترتب على الكشف عن البروتيوم في الإنسان وبعض الكائنات الممرضة له التوصل إلى عقاقير تستهدف تماما المركبات البروتينية ذات العلاقة بكل مرض من الأمراض مما يحقق ضمان الشفاء، وفي الوقت نفسه يساعد على تجنب الأعراض الجانبية الناشئة عن تناول العقاقير التقليدية، ويساعد الكشف عن البروتيوم في تخليق لقاحات Vaccines ضد الأمراض المختلفة، كما يساعد في الكشف عن البروتينات التي لها علاقة بالأمراض.

ويدرك العلماء أن الكشف عن البروتيوم أكثر مشقة من الكشف عن الجينوم لأسباب نذكر منها:

□ أن عدد المركبات البروتينية يفوق عدد الجينات، حيث إن جزيئاً واحداً من حمض m-RNA يمكنه أن يخلق أكثر من مركب بروتيني واحد - ذلك أن سلسلة الأحماض الأمينية المخلقة يمكنها أن تتحور بطرق مختلفة لإنتاج بروتينات متنوعة. فعلى سبيل المثال نجد الكائن الدقيق المعروف باسم *Mycoplasma genitalium* يحوى تنوعات بروتينية تزيد بمقدار ٢٤٪ عن عدد الجينات به. كما أن تنوعات المركبات البروتينية في الإنسان تزيد بأكثر من ثلاثة أضعاف عدد الجينات.

- أن البروتينات تختلف بطبيعتها فى الأنسجة المختلفة بالجسم على عكس البرنامج الجينى.
- أن البروتينات تختلف طبيعتها فى الحالات المرضية.
- أن البروتينات دائمة التغير فى الخلايا وتنتظم فى أنماط شكلية متعددة تختلف تبعاً لها وظائفها.

□ أن الطرق التكنولوجية المتوفرة للكشف عن البروتينات أقل كفاءة من التكنولوجيا المستخدمة فى الكشف عن الجينوم. فلا زالت هذه الطرق قاصرة عن الكشف عن الكثير من طرز البروتينات خاصة تلك الكارهة للماء hydrophobic المرتبطة بالأغشية الخلوية، كما أنها لا تستطيع الكشف عن البروتينات الموجودة إذا كان قدرها أقل من واحد نانو جرام، وليس هناك تقنية تماثل تقنية PCR المستخدمة مع المادة الوراثية - تعمل على مضاعفة كمية البروتينات الضئيلة للتمكن من التعامل التقنى معها بعد إكثارها.

وتتحكم البروتينات فى الكثير من خصائص الجسم ووظائفه. وتلعب الانزيمات - التى هى مواد بروتينية - دوراً أساسياً فى التفاعلات الكيميائية اللازمة للعمليات الحيوية للمواد البروتينية والدهنية والكاربوهيدراتية. فعلى سبيل المثال فإن إنزيم phenylalanine hydroxylase يقوم بتحويل الحمض الأمينى phenylalanine إلى الحمض الأمينى Tyrosine. وتحدث إضافة الهيدروكسيل هذه فى الكبد. ولكن بسبب خلل فى الجين المسئول عن إنتاج هذا الإنزيم - وهو يقع على الكروموسوم رقم ١٢ - لا يتكون الإنزيم بصورة سوية. وتؤدى هذه الحالة إلى زيادة مركب phenylalanine فى الدم والبول والعرق والسائل المخى الشوكى، كما أن هذا الحمض الأمينى يمر بمسار من التحولات الكيميائية البديلة التى تؤدى إلى تكون مواد ضارة بالجسم مثل مركب phenyl pyruvic acid ومن الأعراض التى تظهر على الأطفال المصابين بهذه الحالة نقص صبغ الميلانين مما يؤدى إلى بهتان لون الجلد والشعر والقزحية. كما يصاب الأطفال بتخلف عقلى. وكان (جرفيس) Jervis هو الذى كشف علاقة هذا المرض بنقص إنزيم phenylalanine hydroxylase فى عام ١٩٥٣.

وفى مثال آخر، يؤدى نقص إنزيم galactose-1-phosphate uridyl transferase إلى اضطراب فى التمثيل الغذائى لسكر الجالاكتوز. ويرجع ذلك إلى خلل فى جين هذا الإنزيم الذى يقع على الكروموسوم رقم (٩)، وللتعامل مع الوليد المصاب يعطى لبناً خالياً من الجالاكتوز واللاكتوز. وإذا لم تعالج الحالة يصاب الطفل بتخلف عقلى وتليف تدميرى cirrhosis بالكبد، وإعتماد عدسة العين cataract.

وقد يحدث خلل في التحويلات الغذائية للمواد الكربوهيدراتية أو المواد الدهنية بالجسم نتيجة عدم توفر الإنزيم اللازم لأحد التفاعلات الخاصة بهذه المواد. وبالإضافة إلى الإنزيمات هناك البروتينات التركيبية مثل الكيراتين والكولاجين، وهناك البروتينات الواقية مثل الأجسام المضادة antibodies، كما أن معظم الهرمونات مواد بروتينية. وهناك البروتينات الانقباضية مثل الميوسين والأكتين اللذين يدخلان في تركيب الألياف العضلية. وهناك بروتينات النقل مثل الهيموجلوبين، وغير ذلك الكثير.

ويتضح مما سبق الأهمية القصوى لحمض DNA وما يحمله من جينات.

ومن ناحية أخرى فقد وجد أن البروتينات المتناظرة في أنواع الحيوانات المتقاربة تكون أكثر شبها لبعضها البعض في التركيب عن نظائرها في الحيوانات المتباعدة تصنيفياً. ولهذا فإن تتابع الأحماض الأمينية في جزيء البروتين له أهمية في الدراسات التطورية والتصنيفية.

وقد بادرت جهات علمية في أمريكا وأوروبا بالإهتمام بالبروتيوم، أذكر منها:

□ قيام كل من الشركة الأمريكية المعروفة باسم Large Scale Biology Corp والشركة البريطانية المعروفة باسم Oxford Glyco Science (OGS) بتطوير تقنيات متقدمة للكشف عن البروتينات.

□ قيام شركة فايزر pfizer بالتعاون مع شركة (OGS) في الكشف عن بروتينات السائل المخي الشوكي لدى مرضى الزهايمر في مراحل مختلفة.

□ تعاون معهد السرطان القومي (NCI) The National Cancer Institute في الولايات المتحدة مع كل من مدرسة الطب بجامعة متشجان وإدارة العقاقير والغذاء Food and Drug Administration في مجال البروتينات المتعلقة بمرض السرطان.

وإذا كنا نتحدث عن الجينات وما قد يصيبها من خلل نستهدف علاجه، فإننا في حقيقة الأمر نستهدف الحصول على بروتيوم سليم البناء يؤدي وظائفه على الوجه الأكمل بما يوفر لنا الصحة والعافية.