الفصل الثانى

المادة الوراثية – تخليق البروتينات – البروتيوم

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

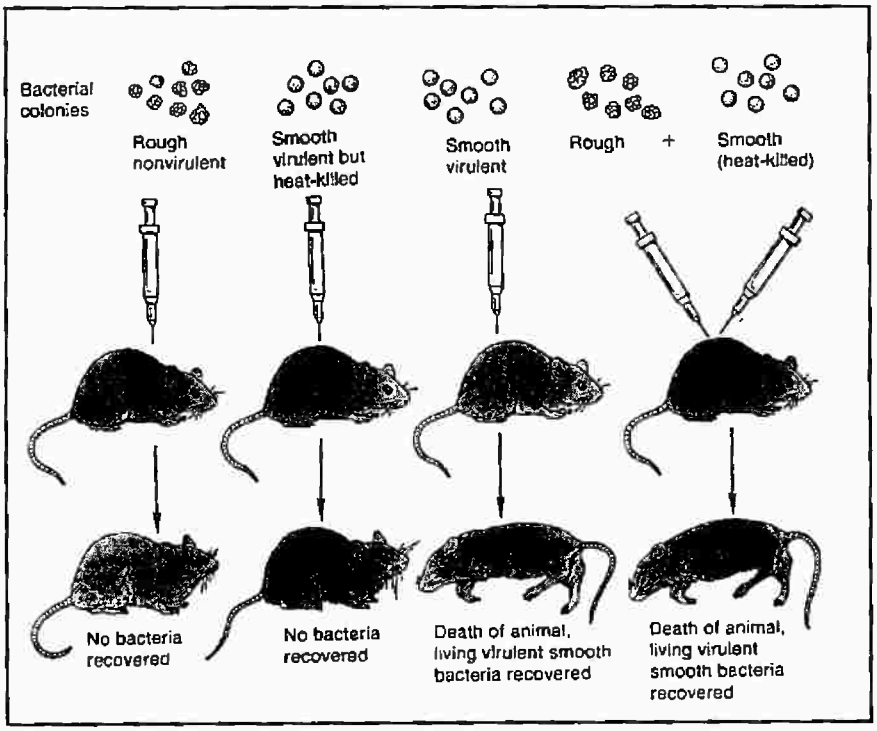
وهناك من الآثار القديمة التى ترجع إلى ٤٠٠٠ سنة قبل الميلاد فى بابليون والصين والتى تدل على إدراك الإنسان لأثر الوراثة فى تحديد صفات الحيوان والنبات، إلاّ أن ذلك الأثر لم يرتبط فى ذلك الوقت بالخلايا التناسلية. وكان أول من لاحظ تواجد الحيوانات المنوية حول البويضات عند تكوين الأجنة فى الحيوانات هو العالم الهولندى أنتون فان ليفنهوك Anton Van Leevwenhoek (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 التى تحتوى على البويضات باسم حويصلات جراف Graafian follicles. ويعتبر العالم الفرنسى موبيرتياس 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 التى 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 الألمانيين 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 التى تصيب الإنسان.

وخلال ذلك ظل الأساس المادى للوراثة مجهولا، وكان لابد لعلماء البيوكيمياء وعلماء الكائنات الدقيقة من دور الريادة فى هذا الصدد.

وكانت البداية فى عام ١٩٢٨ على يد طبيب يعمل فى الجيش البريطانى يدعى فريدريك جرفث Frederick Griffith. وفى تجربته المشهورة على بكتيريا *Streptococcus pneumoniae* – والتى 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 يؤدى 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 رئات الفئران الميتة ووجد بها بكتيريا حية من الطراز (S) المميت وأدرك أنها هى السبب فى 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 تغير صفة البكتيريا من السلالة (R) إلى السلالة (S) هى مركب بروتينى.

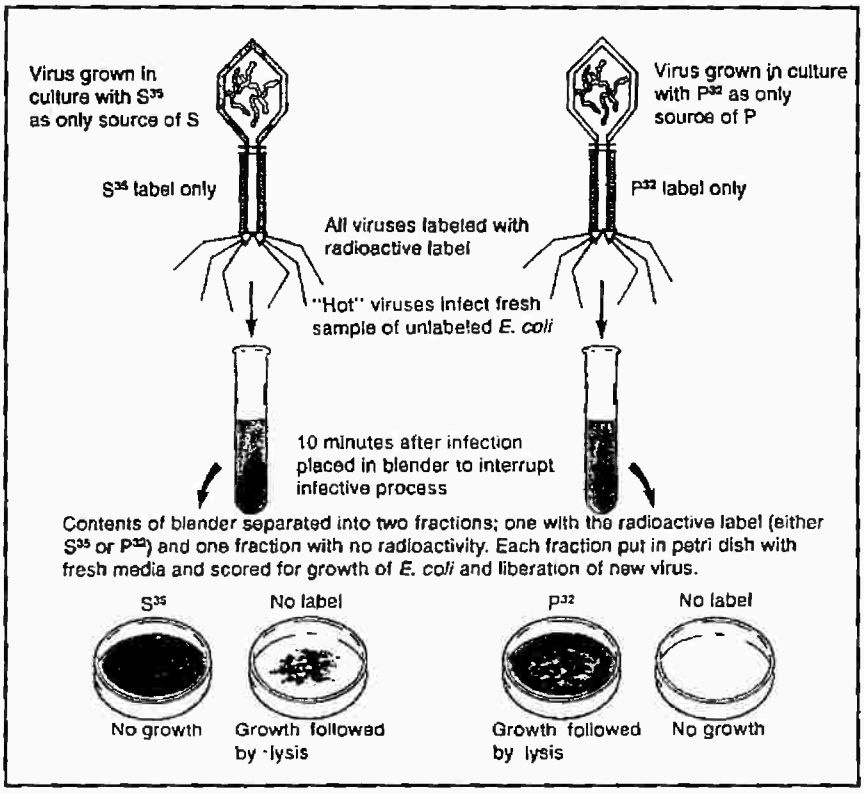
وفى عام ١٩٣٥ بدأ العالم الأمريكى فى معهد روكفلر (أوزوالد أفرى) Oswald Avery تجارب مضنية أوضحت فى النهاية أن المادة التى غيرت صفة البكتيريا هى الحمض النووى DNA. ونشر نتائج دراسته التى فتحت الباب أمام سيل من البحوث حول هذا الحمض النووى فى عام ١٩٤٤.

وفى عام ١٩٥٢ أجرى العالمان الأمريكيان 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 غلافًا من البروتين، وأن المادة الوراثية للفيروس المعروف باسم T-2- والذى يصيب البكتيريا - هى حمض DNA. ومن المعروف أيضا 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 اعتمادًا 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 تم 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 تحتوي على DNA وبروتينات، فإن ذلك يدلل 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 الفيروسى 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 يدلل 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 الأدنين والثايمين كما تتساوى كميتا الجوانين والسيتوسين. كما قدم العالم الأمريكى الشهير لينس بولنج Linus Pauling – والوحيد الذى حصل على جائزتى نوبل منفردًا – نموذجًا لتركيب حمض DNA ولكن هذا النموذج لم يحالفه التوفيق. ومما يذكر أن عالمنا المصرى أحمد زويل يجلس على كرسى 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 فرانسس كريك Francis Crick (شكل ١٤).

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

ومما يذكر أنه فى ٢٨ فبراير ١٩٥٣ أعلن هذان الشابان نموذجهما لتركيب جزىء DNA [١]. وقدماه إلى مجلة Nature لينشر فيها فى العدد (١٧١) الصادر بتاريخ ٢٥ أبريل ١٩٥٣ على الصفحات ٧٣٧ - ٧٣٨، ٩٦٤ - ٩٦٧.

وكان الأمريكى 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. وفى عام ١٩٥١ سافر واطسون إلى بريطانيا والتحق بجامعة كمبردج حيث قابل البريطانى كريك الذى كان حصل على شهادة فى الفيزياء عام ١٩٣٨ واتجه بعد ذلك للدراسات البيولوجية.

لقد فتح الكشف عن تركيب جزىء 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 جزىء DNA يرجع إلى أربعة من العلماء هم الأمريكى واطسون والبريطانى كريك. وقد عملا معا فى معامل كافندش Cavendish labs فى جامعة كمبردج 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 جزىء DNA.

---

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

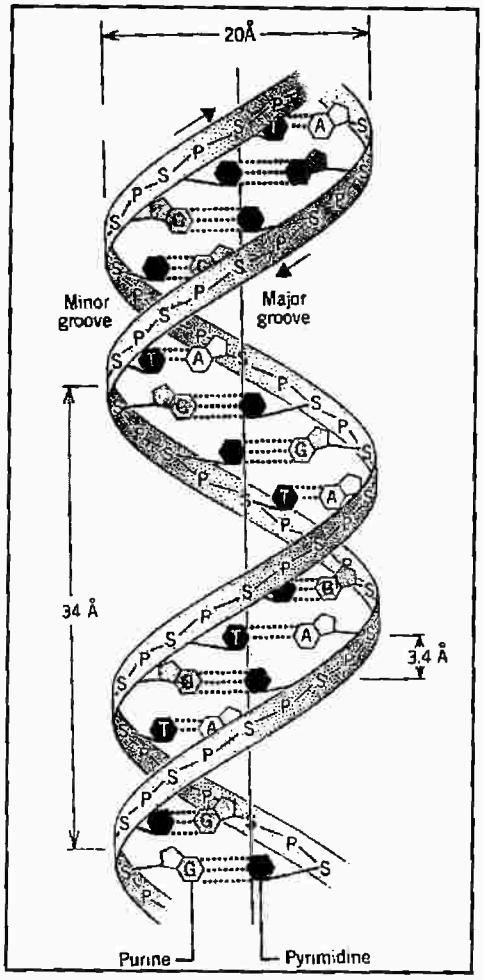
أشعة إكس وذلك فى الكلية المعروفة باسم King's College فى لندن. والحق أن الصور العلمية التى كانت فرانكلين حصلت عليها تتفوق على تلك التى حصل عليها ولكنز. ولكن فرانكلين توفيت فى عام ١٩٥٨ وعمرها ٣٧ عاما متأثرة بمرض سرطان المبيض مما حال دون حصولها على جائزة نوبل – التى لا تمنح لأسماء الراحلين. كما أنها لا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

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

حجم الجينوم فى نماذج من الكائنات الحية

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

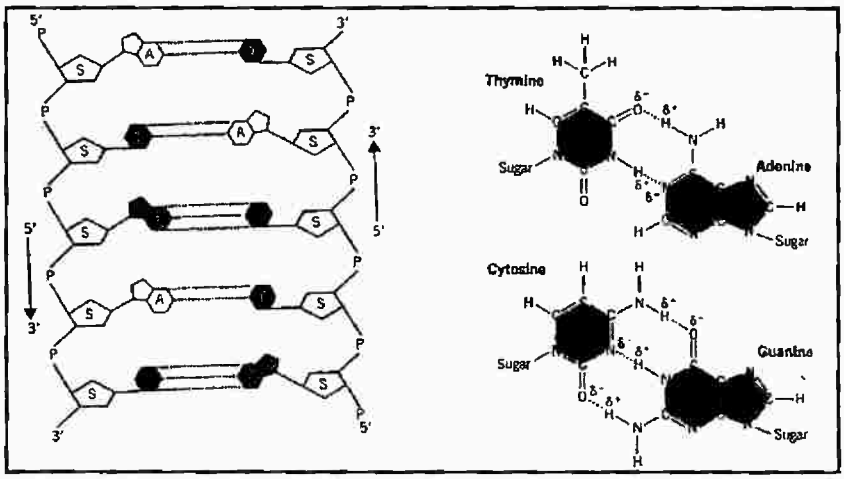
ويتكون جزىء حمض DNA من عدد كبير من الدى أوكسى نيوكليوتيدات، وتكون حزيئات الدى أوكسى نيوكليوتيدات سلسلتين. وتلتوى كل سلسلة لتكون حلزونا - وتلتف السلسلتان حول بعضهما البعض بحيث تكون المسافة بينهما ثابتة. ويوصف شكل الجزىء بأنه حلزون مزدوج Double helix. (شكل ١٦).



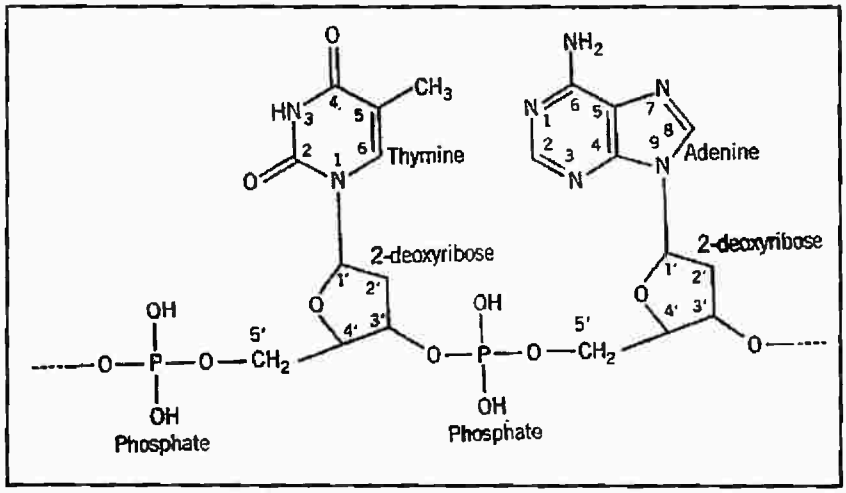
شكل (١٦): تركيب جزىء DNA.

ويلاحظ أن شريطى جزىء DNA يرتبطان معا عن طريق ارتباط القواعد النيتروجينية - حيث يرتبط الأدنين (ثنائى الحلقة) مع الثايمين (أحادى الحلقة)، ويرتبط الجوانين (ثنائى الحلقة) مع السيتوسين (أحادى الحلقة) (شكل ١٧). ويمكن تشبيه الجزىء بالسلم حيث يتكون كل من جانبيه من سلسلة من جزيئات السكر والفوسفات الخاصة بالدى أوكسى

نيوكليوتيدات، أما درجات السلم فى الجزىء - والتى تربط بين السلسلتين - فهى تتكون من القواعد النيتروجينية لهذه الدى أوكسى نيوكليوتيدات. ويطلق على سلسلتى السكر والفوسفات اللتين تكونان جانبى الجزىء اسم (هيكل الجزىء) The molecule backbone(شكل ١٨).



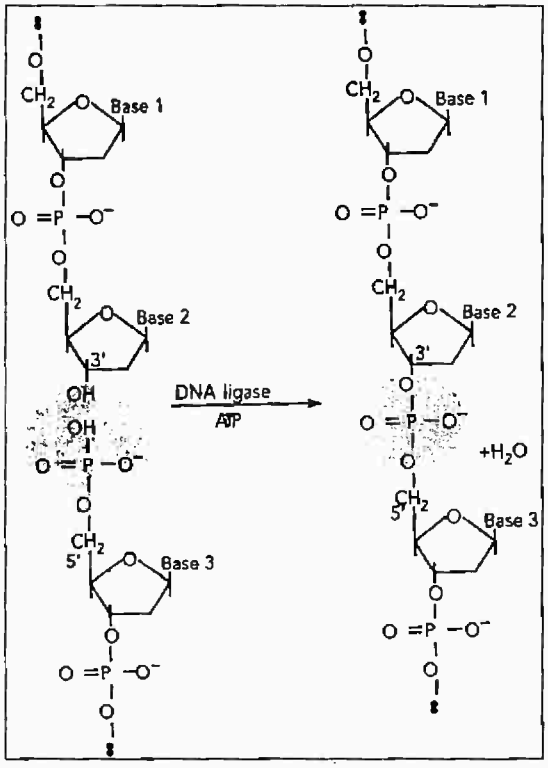
شكل (١٧): نظام ارتباط القواعد النيتروجينية على شريطى جزىء DNA بعضهما ببعض.



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

ويقوم إنزيم DNA ligase بربط الجزيئات 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 النووى بعضها ببعض، حيث يعمل على تكوين رابطة كيميائية بين مجموعة الفوسفات عند ذرة الكربون رقم (5) فى جزىء دى أوكسى ريبوز عن طرف جزىء حمض DNA، وذرة الكربون رقم (3) لجزىء دى أوكسى ريبوز عند طرف جزىء حمض DNA آخر. وهذه رابطة قوية تعرف باسم phosphodiester bond.

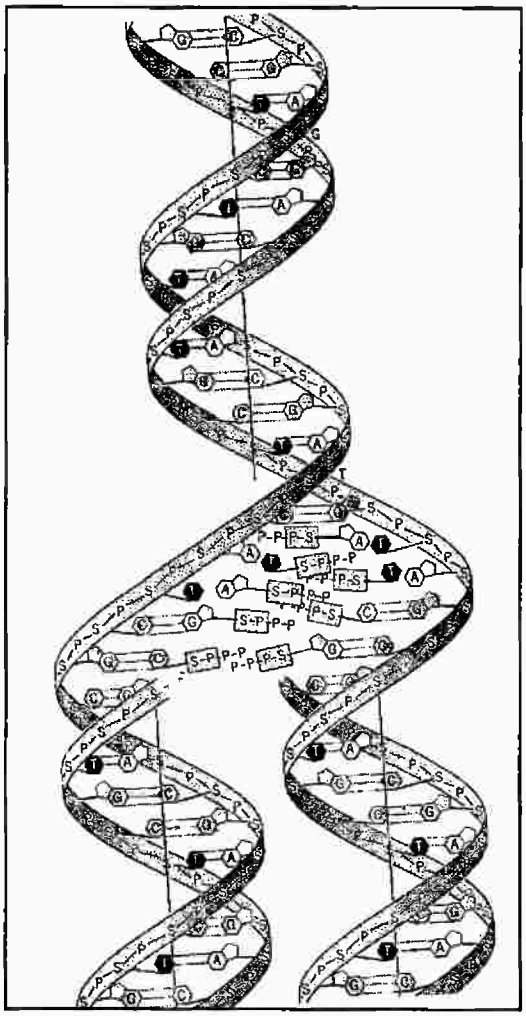


شكل (١٩): إنزيم DNA ligase يربط أجزاء حمض DNA عند الجوانب وذلك بربط مجموعة الفوسفات المرتبطة بذرة الكربون رقم (5) فى جزء مع ذرة الكربون رقم (3) فى جزىء السكر للجزء الآخر.

وتجدر الإشارة إلى أن جزيئات حمض DNA يطوى كل منها على نفسه طيا عظيما فى مستويات متعددة حتى تتسع لها نواة الخلية. فعلى سبيل المثال تحتوى الخلية البشرية الواحدة على ١٧٤سم من جزيئات DNA وتحتوى بعض خلايا حشرة الدروسوفلا على ٩٧ مترا من هذا الحمض فى الخلية الواحدة. ولمزيد من الإيضاح نذكر أن الكروموسوم رقم (١) فى خلايا الإنسان يبلغ طوله (١٠) ميكرومتر ويحتوى على ٧,٢ سم من حمض DNA. ويبلغ مقدار الطى 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.

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



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

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) مثلا، 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.

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

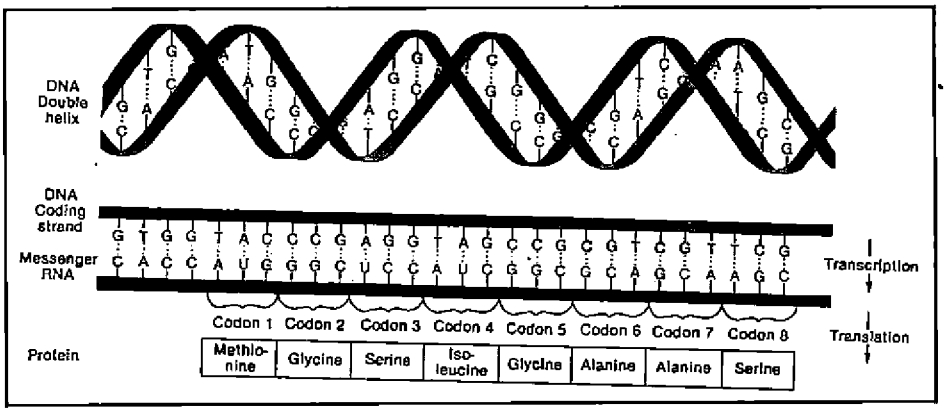
وعملية مضاعفة حمض DNA لنفسه ضرورية وهى تحدث قبل عملية انقسام الخلية، حتى تحصل كل خلية من الخليتين الناتجتين على القدر نفسه من المادة الوراثية ولا يحدث أى نقص فى محتوى المادة الوراثية نتيجة الانقسامات المتتالية لخلايا الجسم، وهى الانقسامات الضرورية لنمو الجسم وتعويض الخلايا التالفة.

حمض الريبونيوكليك (رنا) Ribonucleic Acid (RNA)

يحتاج الجسم للملايين من سلاسل الأحماض الأمينية مختلفة الخصائص والتى تقوم خلاياه بتخليقها، ومن المهم أن ندرك أن ترتيب هذه الأحماض فى كل سلسلة يعتمد على ترتيب الدى 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 الببتيد (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 جزىء حمض DNA

الذى يتكون من سلسلتين من جزيئات تسمى (دى أوكسى نيوكليوتيدات). والفرق الأساسى بين هذه الوحدات يتحدد فى أن السكر الداخل 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 الأدنين والجوانين والسيتوسين بالإضافة إلى قاعدة تسمى يوراسيل (U) Uracil. 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 Thymine، 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 Thymine، فإنه يتم جمع القاعدة Adenine أمامها.

ويعتمد طول جزىء 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 حض 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.

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

وتعرف جزيئات m-RNA المتكونة حديثًا بأنها (حمض ريبوزى نووى مختلط التركيب heterogeneous nuclear RNA (hn RNA). وفى خطوة ثانية – تتم فى النواة – ويحدث قص للأجزاء عديمة الوظيفة من هذا الجزىء الأولى – 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 الجزىء 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 لجزىء حمض m-RNA المنسوخ حديثا. نوجزها فيما يلى:

(أ) فى كثير من الحالات نجد أن الطرف (3') لجزىء m-RNA زود بعدد من جزيئات الدى 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 جزىء m-RNA من التكسر تحت تأثير إنزيمات معينة فى السيتوبلازم.

(ب) كذلك يحدث فى داخل نواة الخلية تحور للطرف (5') لجزىء m-RNA فى حقيقيات النواة وذلك بإضافة مركب 7-methylguanosine فيما يعرف باسم وضع القلنسوة Capping، وكذلك بإضافة مجموعة (ميثيل) CH3 عند ذرة الكربون رقم (٢) فى جزىء السكر فى الدى أوكسى نيوكليوتيد الأول أو الأول والثانى عند الطرف (5') لجزىء m-RNA.

(جـ) يحدث فصل للإنترونات من الجزىء.

ويخرج جزىء m-RNA من النواة إلى السيتوبلازم بعد تحور نهايتيه وحذف الإنترونات. ومن الجدير بالذكر أن كلا من ذيل الأدينيلين والقلنسوة عن طرفى الجزىء لا يحدث لهما ترجمة فى السيتوبلازم عند تخليق البروتين. وتعتبر القلنسوة (m-RNA cap) هى الوسيلة التى تتعرف بها الريبوسومة على جزىء 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 جزىء حمض m-RNA يكون ما يسمى بالشفرات الوراثية genetic codes – حيث تتكون كل شفرة من ثلاثة نيوكليوتيدات متتابعة على هذا الجزىء – وتدل كل شفرة على حمض أمينى معين عند بناء سلسلة الأحماض الأمينية. فتتابع النيوكليوتيدات AUG مثلا يستحضر الحمض الأمينى مثيونين – Methionine وتتابع النيوكليوتيدات UGG مثلا يستحضر الحمض الأمينى تربتوفان Tryptophan، وهكذا. ويمكن أن يكون للحمض الأمينى أكثر من شفرة واحدة. بحد أقصى ست شفرات، وفى هذه الحالة نجد أن النيوكليوتيدين الأولين من الشفرة ثابتان فى معظم الشفرات الدالة على حمض أمينى واحد. وفى الواقع فإن هناك ٦١ شفرة مختلفة تدل على العشرين حمض أمينى المعروفة. وهناك ثلاث شفرات لا تدل على أى من الأحماض الأمينية – وهذه يطلق عليها اسم شفرات الإيقاف Stop Codons أو شفرات غير دالة Non-sense codons. وقد نال العلماء الثلاثة كورانا ونيرنبرج وهولى H.G. Khorana, M.Nirenberg & R. Holley جائزة نوبل فى عام ١٩٦٨ تقديرا لجهودهم فى ابتكار طرق لتحديد الشفرات الوراثية الخاصة بكل حمض أمينى.

ويوضح الجدول التالى الشفرات الخاصة بالأحماض المختلفة وكذلك شفرات الإيقاف:

الشفرة الوراثية Genetic Codes on m-RNA	اسم الحمض مختصرا		Amino Acid	الحمض الأمينى
GCA GCU GCC GCG	Ala	L	Alanine	ألانين
CGA CGG AGA AGG CGC CGU	Arg	R	Argininc	أرجنين
AAU AAC	Asn	N	Aspargine	أسبرجين
GAU GAC	Asp	A	Aspartic acid	حمض الأسبرتك
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 الأمينى
CAU CAC	His	H	Histidine	هستدين
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	

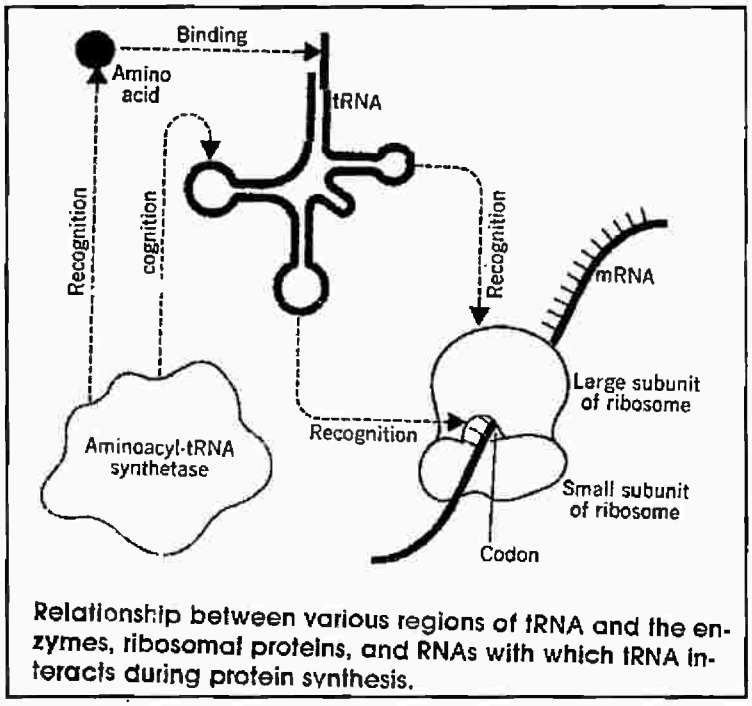
الشفرات الوراثية للأحماض الأمينية

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

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

حمض t-RNA وحمض r-RNA

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

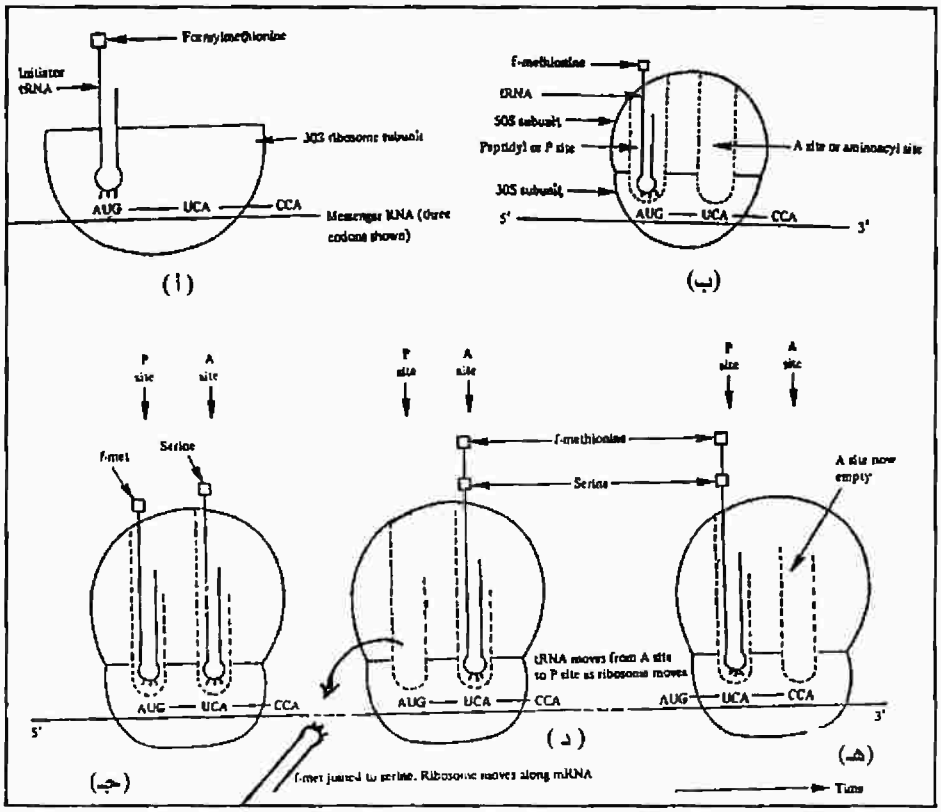


Relationship between various regions of tRNA and the enzymes, ribosomal proteins, and RNAs with which tRNA interacts during protein synthesis.

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 الذي كشف طبيعة تنشيط كل حمض أميني وهي العملية التي تسبق تخليق سلسلة من الأحماض الأمينية. أما الحمض الريبوسومي Ribosomal RNA (r-RNA) فهو يتكون في النواة ليستقبل بروتينات معينة تم تخليقها في السيتوبلازم حيث تتحد جزيئات هذا الحمض مع هذه البروتينات في موقع النوية mucleolus داخل النواة، وبذلك تنشأ حبيبات تعرف باسم ريبوسومات Ribosomes – وهذه تخرج إلى السيتوبلازم، وتتكون كل ريبوسومة من وحيدة صغيرة ووحيدة كبيرة small subunit and large subunit. والريبوسومات هي مواقع

تخليق سلاسل الأحماض الأمينية والتى عندها يلتقى 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 الذى يحمل حمض أمينى مع m-RNA عند الشفرة الأولى على هذا الحمض وهى AUG. الوحيدة الصغيرة فقط للريبوسومة هى التى ترتبط بحمض m-RNA.

(ب) ارتباط الوحيدة الكبيرة للريبوسومة مع الوحيدة الصغيرة. الريبوسومة تحتوى على موقع لشفرة ثانية.

(جـ) حمض t-RNA ثان – محمل بحمض أمينى – يرتبط بالشفرة الثانية. لاحظ أن للريبوسومة موقعين هما A-site و P-site.

(د) الحمض الأمينى الأول يرتبط بالحمض الأمينى الثانى فى 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.

بتكرار ما سبق عن طريق استيعاب الريبوسومة لشفرة تلو الأخرى، وارتباط الأحماض الأمينية بعضها ببعض واحدًا 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 جزىء 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 الاستهلالية. وبعد ذلك تأتى الوحيدة الكبيرة للريبوسومة لتتحد مع الوحيدة الصغيرة.

ثم يأتى جزىء آخر لحمض RNA الناقل والذى يحمل حمضا أمينيا ثانيا لترتبط شفرته المضادة مع الشفرة الثانية على جزىء 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 شاغرًا، 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.

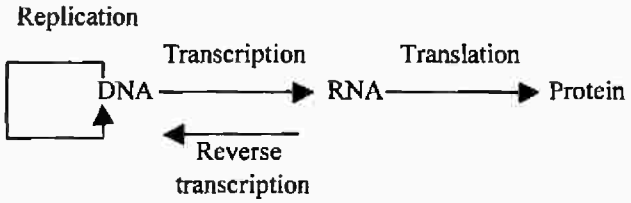
وقد تنمو سلسلة الأحماض الأمينية فى أرضية السيتوبلازم Cytosol أو يتم بناؤها فى داخل أكياس الشبكة الإندوبلازمية. ويحدث داخل شبكة الإندوبلازمية إضافة بعض المكونات إلى سلسلة الأحماض الأمينية، كما قد يحدث حذف مكونات أخرى. وينتقل المركب الناتج عبر حويصلات تقتطع من الشبكة الاندوبلازمية إلى جهاز جولجى حيث تحدث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

وقد يحدث اضطراب فى المادة الوراثية – أى فى حمض DNA لأسباب مختلفة، بما يؤدى 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 عمليتى النسخ والترجمة فيؤدى إلى عدم تكون سلاسل الأحماض الأمينية وفقا للمواصفات المطلوبة، فينتج عن ذلك أمراض متعددة يصعب علاجها.

ومن العوامل التى تؤدى 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 جزىء حمض m-RNA اسم (ترجمة) Translation لأنها تبنى سلسلة من الأحماض الأمينية اعتمادا على سلسلة من الشفرات التى 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 – التى تعتبر أساس تكوين المادة البروتينية – يعتمد بناؤها على ترتيب الشفرات على جزىء 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 وظيفى معين. ويشمل هذا التصميم طى folding سلاسل عديد الببتيد، وارتباط عدد من سلاسل عديد الببتيد مع بعضها البعض، واتخاذ جزىء البروتين شكلا ثلاثى الأبعاد مميزا.

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

وتتباين طريقة بناء جزىء البروتين تباينا كبيرًا، وقد أوضحت الدراسات المعتمدة على حيود أشعة إكس X-ray diffraction بصورة أساسية على أن هناك أربعة مستويات لبناء جزىء البروتين هى: البناء الأولى، البناء الثانوى (طراز ألفا هلكس، طراز بيتا)، البناء الثلاثى، البناء الرباعى.

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

ويرى العلماء أن الكشف عن البروتيوم فى الخلايا الحية يساعد على تفهم آليات شبكة العلاقات بين البروتينات المختلفة وآليات استثارتها عن طريق الإشارات الخلوية Cell Signals. ويترتب على الكشف عن البروتيوم فى الإنسان وبعض الكائنات المرضة له التوصل إلى عقاقير تستهدف تماما المركبات البروتينية ذات العلاقة بكل مرض من الأمراض مما يحقق ضمان الشفاء، وفى الوقت نفسه يساعد على تجنب الأعراض الجانبية الناشئة عن تناول العقاقير التقليدية، ويساعد الكشف عن البروتيوم فى تخليق لقاحات Vaccines ضد الأمراض المختلفة، كما يساعد فى الكشف عن البروتينات التى 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 جزيئا واحدا من حمض m-RNA يمكنه أن يخلق أكثر من مركب بروتينى 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 فى 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 تبعا 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 - دورًا أساسيا فى التفاعلات الكيميائية اللازمة للعمليات الحيوية للمواد البروتينية والدهنية والكربوهيدراتية. 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 إلىتكون 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 لبنا خاليا من الجالاكتوز واللاكتوز. وإذا لم تعالج الحالة يصاب الطفل بتخلف عقلى وتليف تدميرى cirrhosis بالكبد، وإعتام عدسة العين cataract.

وقد يحدث خلل فى التحولات 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 فى 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 فى أنواع الحيوانات المتقاربة تكون أكثر شبها لبعضها البعض فى التركيب عن نظائرها فى الحيوانات المتباعدة تصنيفيا. ولهذا فإن تتابع الأحماض الأمينية فى جزىء البروتين له أهمية فى الدراسات التطورية والتصنيفية.

وقد بادرت جهات علمية فى 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) فى الكشف عن بروتينات السائل المخى الشوكى لدى مرضى الزهايمر فى مراحله المختلفة.
- تعاون معهد السرطان القومى The National Cancer Institute (NCI) فى الولايات المتحدة مع كل من مدرسة الطب بجامعة متشجان وإدارة العقاقير والغذاء Food and Drug Administration فى مجال البروتينات المتعلقة بمرض السرطان.

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