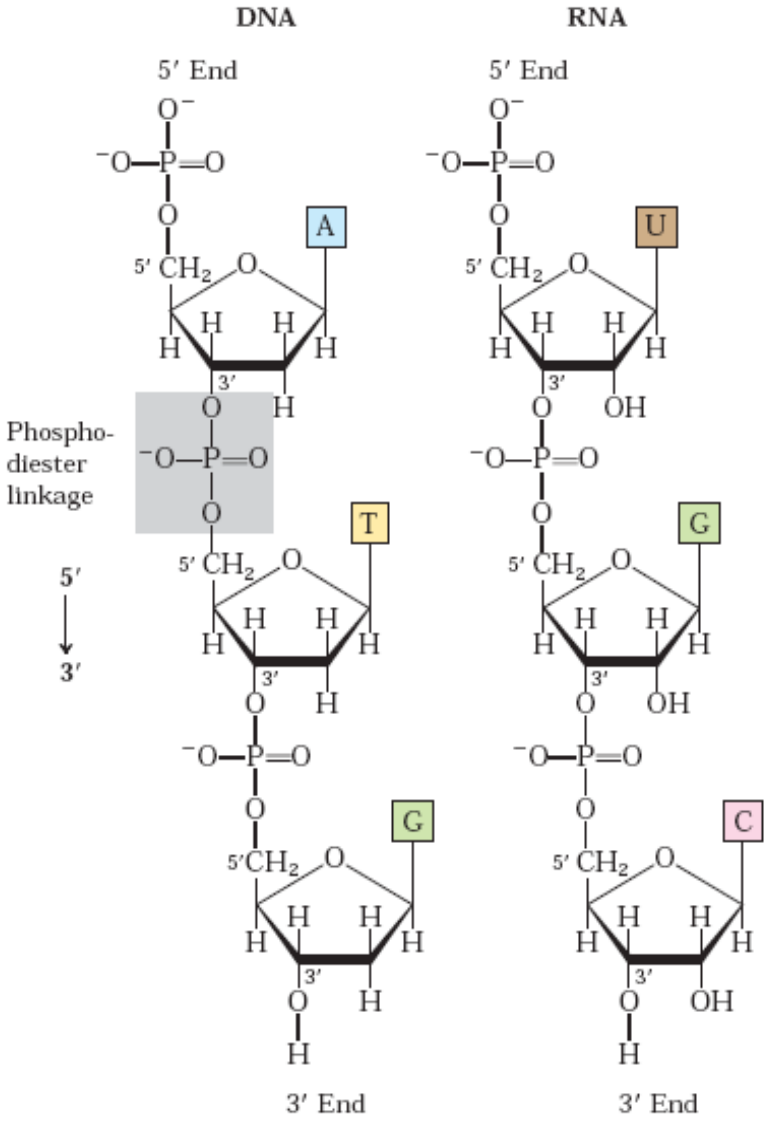
الاحماض النووية

الأحماض النووية Nucleic Acids

تتكون الأحماض النووية من سلاسل Chains طويلة من النيوكليوتيدات (أي متعددة النيوكليوتيدات Polynucleotides) ترتبط مع بعضها بوساطة أواصر ثنائي إستر الفوسفات Posphate diester linkage والتي تزيد عدد وحداتها عن عشرة وكذلك يمكن أن يطلق الأحماض النووية على السلسلة النيوكليوتيدية التي يتراوح عدد وحداتها بين 2-10 وتسمى أيضاً بالنيوكليوتيدات قليلة الوحدات Oligonucleotides. إذ أن القواعد النيتروجينية سواء كانت بيورينا أو بريميدينا مرتبطة بذرة الكاربون رقم واحد للسكر وان ارتباط أي نيوكليوتيد بالنيوكليوتيد الآخر يكون بين ذرة الكاربون 3´ لجزيئة السكر وذرة الكاربون رقم 5´ لجزيئة السكر التالية.

إن السلسلة الطويلة من النيوكليوتيدات والتي يكون فيها السكر الخماسي من نوع ديوكسي رايبوزي تسمى بالحامض النووي الديوكسي رايبوزي Deoxyribonucleic acid (DNA) أما إذا كان السكر الخماسي من نوع رايبوز فيسمى الحامض النووي الرايبوزي Ribonucleic acid (RNA) (**الشكل 20-8**).



الشكل(20-8): الأحماض النووية.

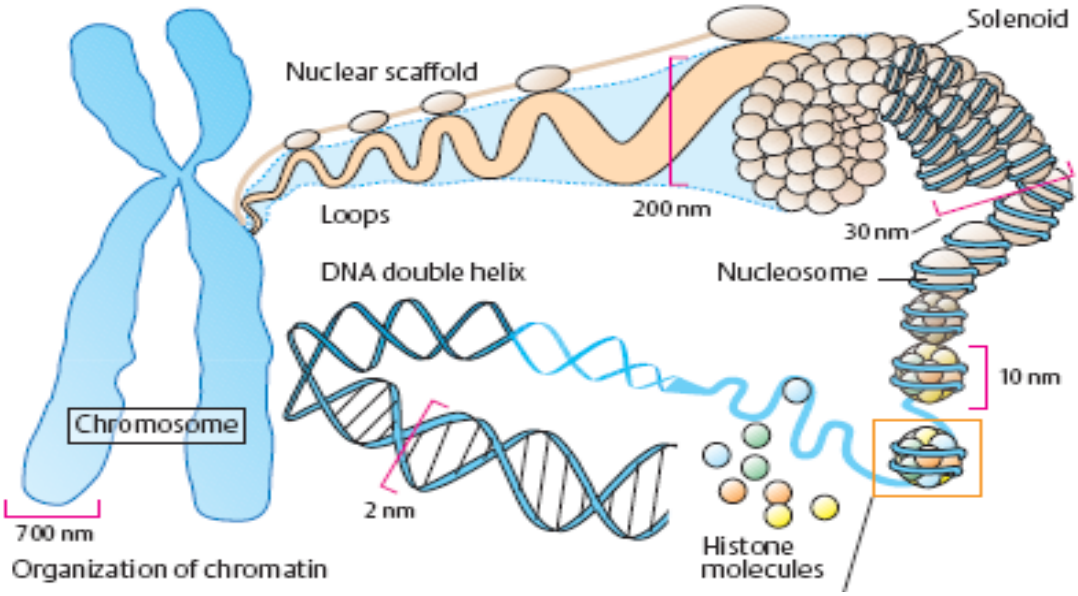
يرجى العلم بأن الــ DNA لا يحتوي على الرايبوز واليوراسيل، وأن الـــ RNA لا يحتــوي علــى ديوكسي رايبوز وثايمين.

يمكن أن يعبّر عن تركيب سلسلة الحــامض النــووي بــشكل مختــصر فــالحروف T,C,G,A تمثــل نيوكليوسيدات القواعد أدينين وكوانين وسايتوسين وثايمين على التوالي. والحروف p (حرف صغير) يرمــز للفوسفات، اذ عند وضع الحرف p الى يسار مختصر النيوكليوسيدات يعني ان ارتباط الفوسفات بالسكر هــو في الموقع ′5 اما اذا وضع الحرف p إلى يمين المختصر فيعني ارتباط الفوسفات بالسكر هو في الموقــع ′3 فمثلاً dpG يرمز الى ديوكسي كوانوسين′5 فوسفات والرمز dGp هو ديوكسي كوانوسين′3 فوسفات وعندئذ يمكن اختصار تركيب مثلاً رباعي النيوكليوتيد إلى (A-T-C-Gp) الذي يعبر عن قطعــة مــن الحــامض النووي الحاوية على النيوكليوسيدات أدنين وثايمين وسايتوسين وكوانين مرتبطة مع بعضها بأواصر ثنــائي إستر الفوسفات بين كاربون ′3 لجزيئة سكر وكاربون رقم ′5 لجزيئة السكر التالية. وبالاتفاق يكتب تسلــسل القواعد دائماً ابتداءً من النهاية ′5 باتجاه اليسار إلى النهاية ′3 في اليمين والتي تعبر عنها فقــط باســتخدام المختصرات للقواعد النيتروجينية في الجزيئة **كما في المثال الأتي:**

$$^{5'}\mathbf{AGCTTTAGAAA}^{3'}$$

اتجاه القراءة او التسلسل

تتحد الأحماض النووية DNA في الخلايا حقيقية النواة مع بروتينات قاعدية(غنية بالأحمــاض الأمينيــة الأرجنين واللايسين) ويطلق عليها بالهستونات Histones والبروتامينات Protamines وتنظم على شــكل ألياف تسمى الألياف الكروماتينية Chromatin fibers في النواة والتي تحــاط بنظــام غــشائي مــزدوج معقد(**الشكل 21–8**). أما في الخلايا بدائية النواة فهي تحتوي على جزيئة واحدة من DNA متجمعــة فــي منطقة واحدة تسمى بالمنطقة النووية Nuclear zone أو بعبارة أخرى إن الخلايا بدائية النــواة لا تحــوي غشاء يحيط بالمادة الوراثية.



الشكل(21–8): يوضح الكروموسوم ومكوناتها النهائية من الهستونات والــ DNA.

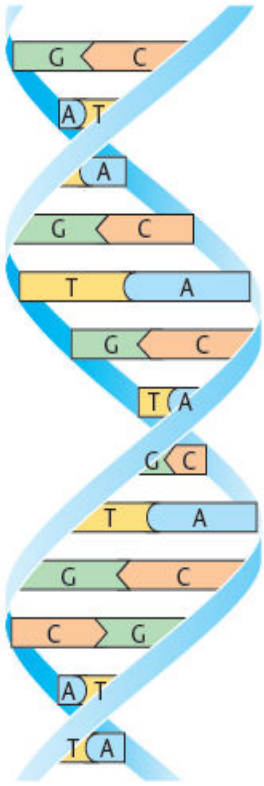
تتكون الأحماض النووية الرايبوزية RNA من خيوط طويلة من متعدد الرايبونيوكليوتيد وأقصر طولاً من DNA ولكنها أكثر انتشاراً في الخلايا. وتتألف من ثلاثة أنواع رئيسة وهي الحامض النووي الرايبوزي المرسل Messenger RNA (mRNA) والحامض النووي الرايبوزي الناقل Transfer RNA (tRNA) والحامض النووي الرايبوزومي Ribosomel RNA (rRNA) ولكل نوع له وظيفة خاصة يؤديها في عملية البناء الحيوي للبروتين والتي سوف يتم ذكرها لاحقاً (الجزء الثاني) .

الحامض النووي الديوكسي رايبوزي Deoxyribonucleic acid (DNA)

الخواص العامة:

1- تتألف جزيئة الـ DNA من سلسلتين طويلتين من متعدد النيوكليوتيد ملفوفتين على بعضهما مكونتين الحلزون المزدوج Double Helix **(الشكل 22-8)** . وتشغل القواعد النيتروجينية المنطقة الداخلية من الحلزون اما الفوسفات وسكر الديكوسي فيشغل المنطقة الخارجية (المحبة للماء) والذي اقترح من قبل العالمين واتسون وكرك (Watson and Crick) عام 1953.

2- وجد العالم جاركاف Chargaff والعاملون معه إن مجموع نيوكليوتيدات البيورين(G + A) في الـ DNA مساوية لمجموع نيوكليوتيدات البيريميدين(T + C) أي أن كمية الأدنينA في السلسلة الأولى مساوية لكمية الثايمين في السلسلة الثانية وكذلك الحال بالنسبة لكمية الكوانين G تكون مساوية لكمية السايتوسين C، ونسبة A على T تساوي واحد، وكذلك نسبة G على C تساوي واحد وتسمى هذه الحالة بتكافؤ القواعد Base equivalences في الـ DNA.

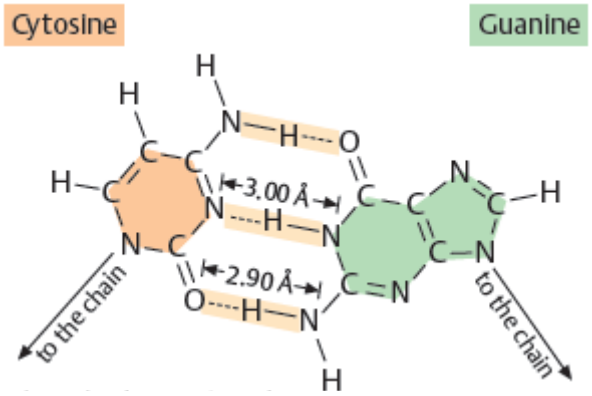


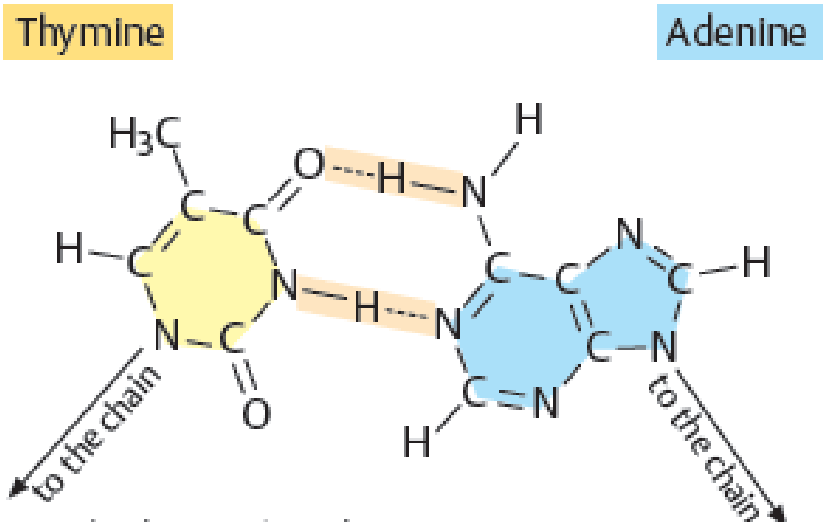
الشكل(22-8): الحلزون المزدوج.

3- **إن استقرار السلسلتين للحلزون المزدوج يعود الى:**

أ- التداخل الهيدروفوبي Hydrophobic interaction بين القواعد النيتروجينية للسلسلتين.

ب- الأواصر الهيدروجينية الثلاثة بين الكوانين والسايتوسين (G≡C) والاصرتين الهيدروجينية بين الأدنين والثايمين (A=T) **(الشكل 23-8)**.





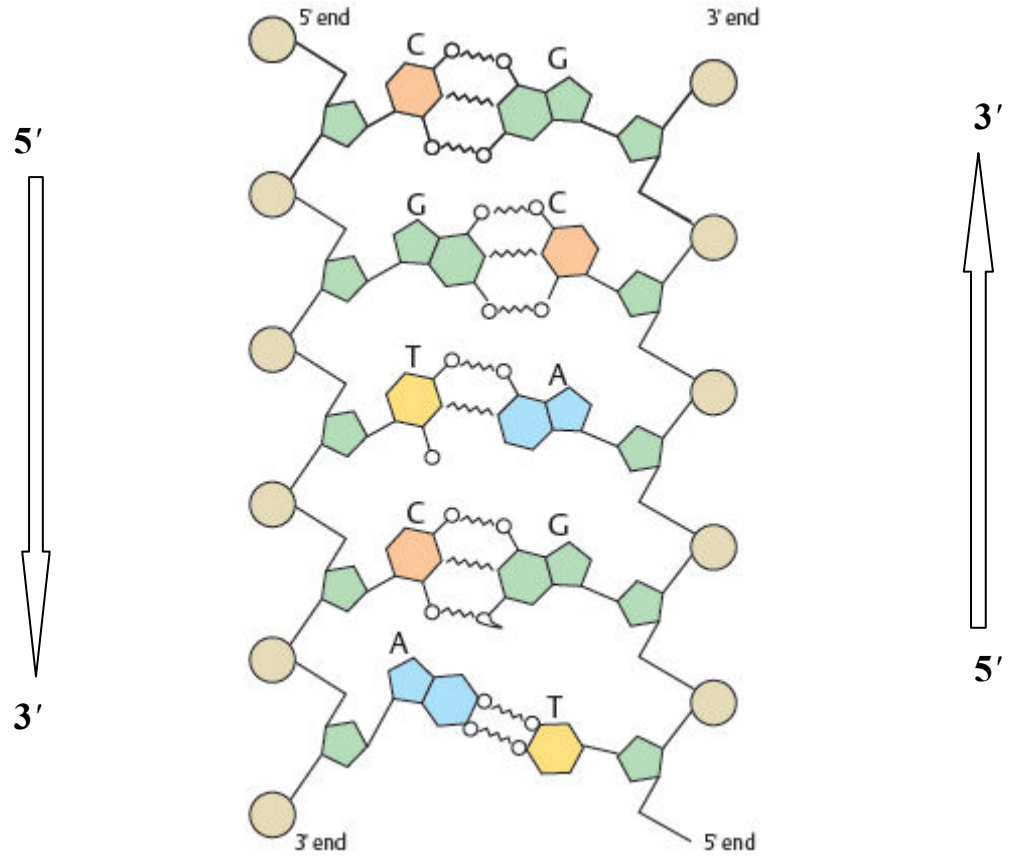
الشكل(23-8): الأواصر الهيدروجينية المتكونة بين القواعد النيتروجينية.

جـ- الأواصر التساهمية في تركيب السلسلة الحلزونية الواحدة.

د- الأواصر الأيونية.

هـ- تركيب السلسلتين الحلزونيتين يكون بشكل حلقتين (لقاعدة البيورين A او G) مع حلقة واحدة (لقاعدة البريميدين T او C) مشكّلةً بذلك تناسقاً حجمياً ساعد على زيادة الإستقرارية **(الشكل 24-8)**.

و- وجود البروتينات القاعدية (كالهستونات) ساعد على زيادة إستقرار الـ DNA بإلتفاف السلاسل الحلزونية المزدوجة حول هذه البروتينات.



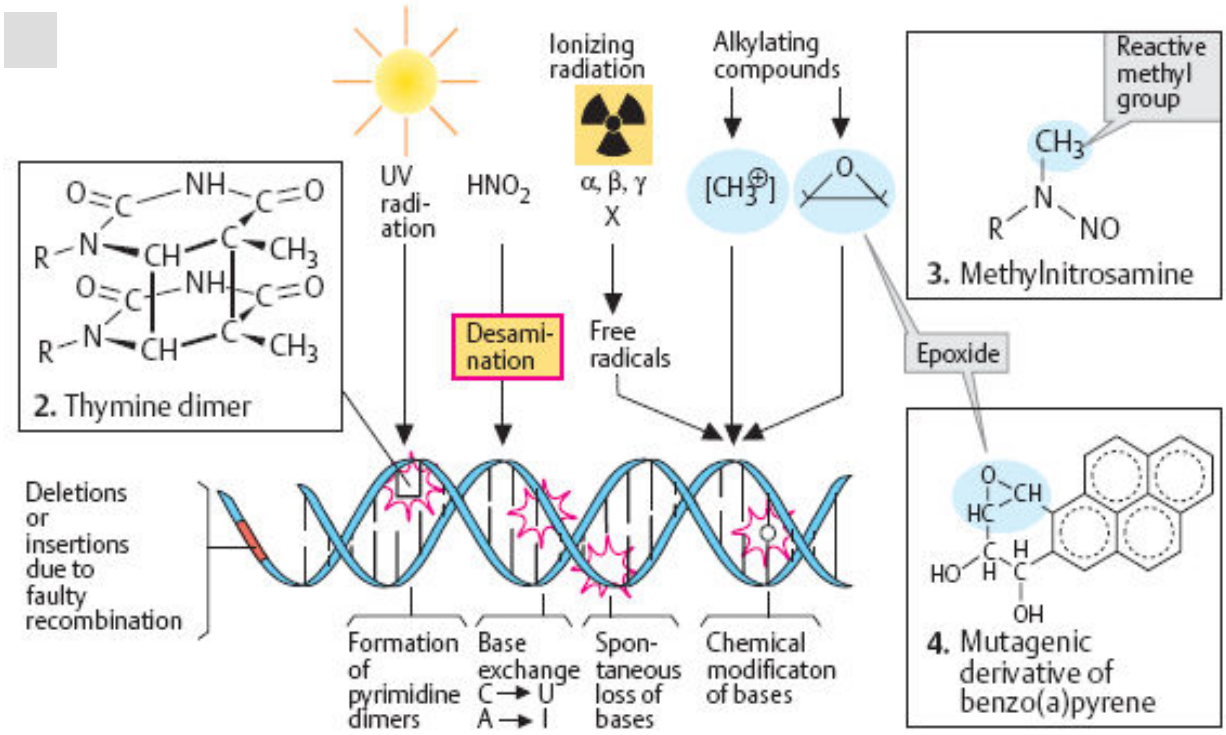
الشكل(24-8): اتجاه النهايتين للحلزون المزدوج في الـ DNA .

4- يحتوي الـــ DNA علـــى النيوكليوتيـــدات الأربعـــة الأساســـية بوصـــفها وحـــدات بنائيـــة وهـــي (dAMP, dGMP, dTMP, dCMP) مرتبطة مع بعضها وبتعاقب مختلف باختلاف الكائنـــات الحيـــة وأجناسها وأنواعها.

5- يختلف تركيب الـــ DNA ووزنه الجزيئي وكذلك نسب النيوكليوتيدات المختلفة في الكائنات الحية بدائية النواة عن حقيقة النواة اذ تزداد أوزانها الجزيئية كلما زاد تعقيد (تطور) الخلية في الكائنات الحية ويوجـــد الـــ DNA في النواة بكميات كبيرة وفي المايتوكوندريا بكميات قليلة.

6- يحتوي الـــ DNA على قطع صغيرة تسمى الجين Gene إذ يمثل تسلسلاً من متعـــدد النيوكليوتيـــدات التي قد تصل إلى عدة ألاف والذي يكون له تسلسل من القواعد النيتروجينية خاص مـــسؤول عـــن أداء وظيفة معينة كبناء بروتينات (إنزيمية أو غير إنزيمية) أو بناء هورمونات وغير ذلك. إذ أن الجين عبارة عن ترتيب معين من النيوكليوتيدات (القواعد النيتروجينية) في الحامض النووي DNA ويختلـــف هـــذا الترتيب من جين لجين آخر وذلك لاختلاف في إما عدد أو نوعية أو تسلسل القواعد النيتروجينية في الـــ DNA.

7- ان حدوث أي تغيير في تركيب القواعد النيتروجينية (تحوير) أو تسلسل القواعد نتيجةً لحذف أو إضافة قاعدة نيتروجينية في الـ DNA يسبب حدوث الطفرة Mutation لتعرضه الى العديد من العوامل المسببة للطفرة كعوامل إشعاعية (X-ray, UV) او تعرضه لمواد كيميائية مختلفة (مثل حامض النيتروز HNO_2 وغيرها) (**الشكل 25-8**).



الشكل(25-8): أنواع المركبات التي تهاجم الـ DNA التي تؤدي الى حدوث العديد من الطفرات.

أن العديد من الطفرات التي تحدث داخل الكائن الحي في الـ DNA يمكن ترميمها (DNA Repair) داخل الجسم ولكن هناك طفرات قاسية يصعب ترميمها كطفرات الحذف او الإضافة للقواعد والتي تحدث فيها ازاحة Frame shift للشفرات الوراثية في الـ DNA وتعمل على حدوث العديد من الأمراض السرطانية او الأمراض الوراثية المختلفة.

8- أن نماذج الـ DNA المعزولة من أنسجة مختلفة لنفس النوع تمتلك نفس المكونات من القواعد النيتروجينية ولا تتغير مع تغير عمر الكائن او حالته الغذائية او التغيرات في المحيط.

9- ان السلسلتين الحلزونية في الـ DNA غير متشابهتين ولكنهما مكملتان (متتامتان) Complementary واحدة للأخرى، اذ وجود الأدنين في السلسلة الأولى يقابله الثايمين في السلسلة الثانية والكوانين يقابله السايتوسين وهكذا.

10- إن السلسلتين لا تجريان باتجاه واحد(نفس الاتجاه) بل السلسلة الواحدة تجري عكس اتجاه السلسلة الأخرى(**الشكل 24-8**)أي أن السلسلة تجري في اتجاه 5′ ⟵ **3′** والأخرى تجري في اتجاه 3′ ⟵ **5′** .

11- تزداد ثباتية السلسلتين لعوامل المسخ بزيادة نسبة G≡C في الـ DNA مقارنة بنسبة A=T (لوجود ثلاثة أواصر هيدروجينية في الأولى) وبالتالي تحتاج إلى طاقة أكبر(حرارية أو استخدام مذيبات مثل الكحول او اليوريا) لفك الارتباط بين السلسلتين عن بعضهما البعض.

12- إن المعلومات الوراثية Genetic informations التي هي عبارة عن تسلسل القواعد النيتروجينية في الـ DNA والتي تسمى بالمعلومات الخطية Linear informations تنتقل إلى الحامض النووي الرايبوزي المرسل mRNA بعملية الإستنساخ ثم يتم ترجمة هذه المعلومات لبناء البروتين. يطلق على هذا التسلسل للقواعد النيتروجينية في DNA اسم البصمة الوراثية للإنسان The DNA finger print إذ عرّفت بأنها وسيلة من وسائل التعرّف على الشخص عن طريق مقارنة مقاطع الـ DNA وتسمى في بعض الأحيان الطبعة الوراثية(DNA typing) ويكفي لاختبار البصمة الوراثية قطرة دم (أو شعرة أو لعاب) الشخص للتعرف عليه وذلك من خلال فك سلسلة الـ DNA ومعرفة تسلسل ونوعية وكمية القواعد النيتروجينية فيها .

13- وجود الثايمين بدل اليوراسيل في DNA (الثايمين هو عبارة عن يوراسيل دخلت عليه مجموعة مثيل) وذلك من اجل المحافظة على التسلسل الوراثي والمعلومات الوراثية في DNA فضلا عن ان وجود مجموعة المثيل في الثايمين تجعل عملية ترميم الـ DNA سهلة في حالة حدوث طفرات بسيطة.

14- وجود السكر الديوكسي رايبوزي بدلاً من الرايبوز في DNA يجعل الـ DNA أكثر ثباتاً تجاه المواد الكيميائية الحامضية أو القاعدية أو إنزيمات النيوكليز Nuclease التي يمكن أن تهاجم مجموعة الهيدروكسيل في الموقع 2′ في السكر الرايبوزي.

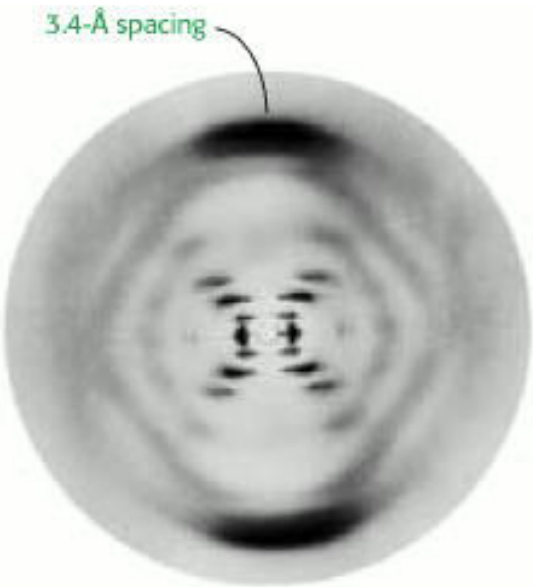
تراكيب الأحماض النووية

1- التركيب الأولي Primary structure

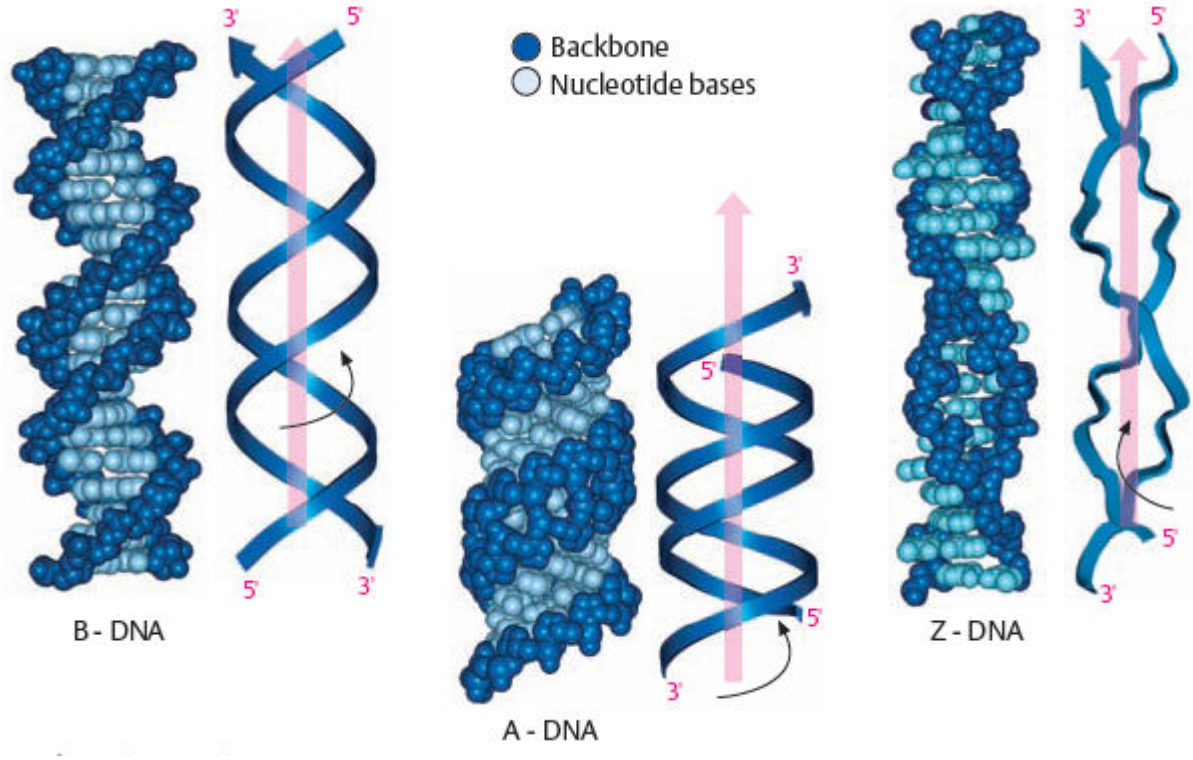
إن تسلسل أو تعاقب النيوكليوتيدات في سلسلة متعدد النيوكليوتيد وباتجاه 5′←3′ يمثل التركيب الأولي للحامض النووي، وإن في هذا التركيب تخزّن المعلومات الوراثية إذ أن الجين Gene هو عبارة عن تسلسل قطعة منفردة صغيرة في الـ DNA.

2- التركيب الثانوي Secondary structure

أهم تركيب ثانوي للأحماض النووية هو ما أفترضه العالمان واتسن وكرك عام 1953 إذ أخذ بنظر الاعتبار من أشعة اكس(**الشكل 26-8**) وتماثل القواعد والعديد من الملاحظات عن الخصائص الكيميائية والفيزيائية للـ DNA والذي أعطي تركيباً يسمى بتركيب B(**B-DNA**)، وبعد توفر المعلومات الحديثة إضافة إلى معلومات واتسن وكريك وجد أن القواعد لا تكون عمودية بصورة تامة على محور الحلزون ولكن مبتعدة عنه(تقريباً 6°) وإن هيئة السكر تختلف قليلاً عما ذكره واتسن وكريك إذ أعطت ألياف الـ DNA تحت ظروف واطئة الرطوبة تركيباً يختلف تماماً وسمي بتركيب A (**A-DNA**) (**الشكل 27-8**).

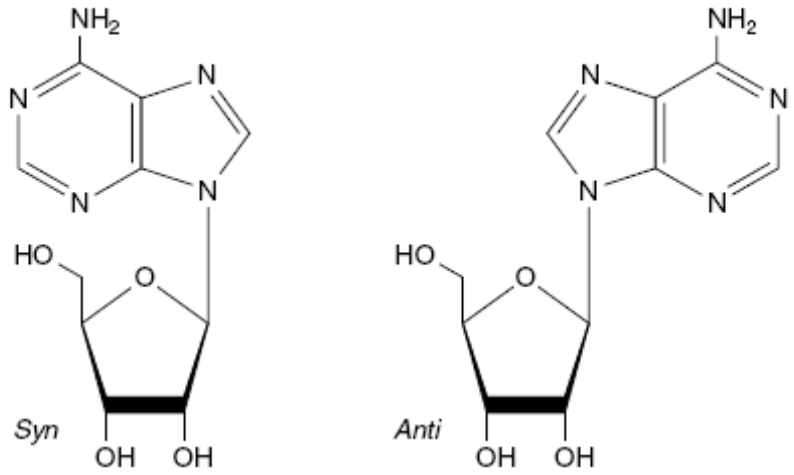


الشكل(26-8): شكل أشعة X التي من خلالها تم تحديد تركيب الـ DNA من قبل العالمـــان واتـــسن وكرك عام 1953.



الشكل(27-8): التراكيب الثانوية للـــ DNA.

استطاع العالم الكسندر ريج Alexander Rich عام 1979 من اكتشاف تركيب أخر للـــ DNA يكـــون فيه المنحنيان الحلزوني المزدوج باتجاه اليسار وسمي بتركيب Z **(Z - DNA)**، ففي كلٍ من أشكال A ، B لمتعدد النيوكليوتيد تكون جميع القواعد ثابتة باتجاه المضاد Anti فقط، أما فـــي الـــشكل Z فتكـــون قواعـــد البيريميدينات دائماً باتجاه مضاد (Anti) وقواعد البيورينات باتجاه مع (Syn) **(الشكل 28-8)**.



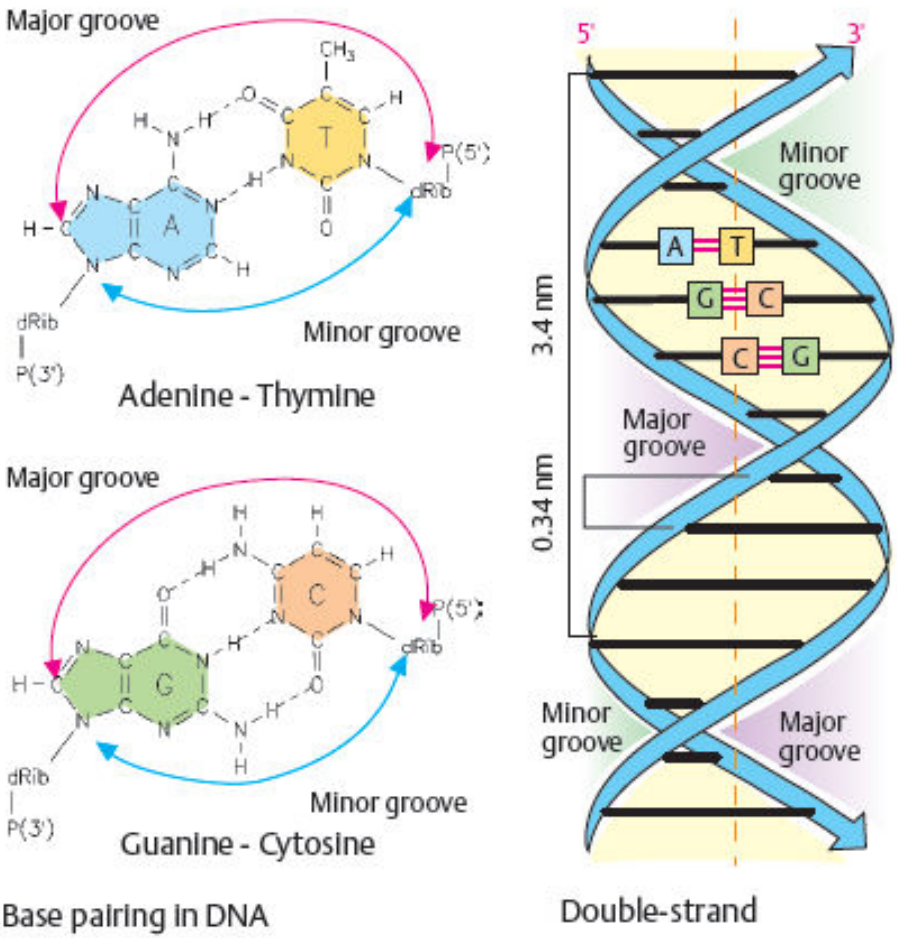
الشكل(28-8) : اتجاه القواعد البيورينية بشكل مضاد Anti أو بشكل مع Syn.

إن تسلسل البيورينات والبريميدينات في كل سلسلة(شكل Z-DNA)هو الذي أعطي الشكل المتعرج Zig zag للفوسفات وأعطي الاسم Z-DNA وان لهذا الشكل قد تكون له وظيفة محتملة هي تنظيم التعبير الوراثي. يوضح الجدول **(3-8)** بعض مميزات التركيبية لـ Z , B , A للـ DNA.

الجدول(3-8): الصفات التركيبية لـ DNA-Z, B, A.

الخواص	A	B	Z
1- اتجاه الحلزون	يمين	يمين	يسار
2- القطر	25.5°A	23.7°A	18.4°A
3- عدد أزواج القواعد لكل لفة منحني حلزوني	11	10	12 (ثنائيDimer)
4- التواء المنحني الحلزوني لكل زوج قاعدة	33	36	60 (ثنائيDimer)
5- ارتفاع كل لفة منحني حلزوني	28°A	34°A	45°A
6- ارتفاع المنحني الحلزوني لكل زوج قاعدة	2.6°A	3.4°A	3.7°A
7- الانحدار الطبيعي للقاعدة بالنسبة لمحور الحلزون	20	6	7
8- *الأخدود الرئيسي	ضيق وعميق	واسع وعميق	سطحي
9- *الأخدود الثانوي	واسع وسطحي	ضيق وعميق	ضيق وعميق
10- الآصرة الكلايكوسيدية	مضاد	مضاد	مضاد للبريميدينات ومع البيورينات

* الأخدود الرئيسي Major groove والأخدود الثانوي Minor groove ينشأن بسبب عدم استقامة زوج القواعد في سلسلتي الـDNA لتكوين الأواصر الهيدروجينية **(الشكل 29-8)**.

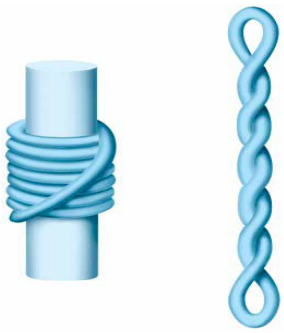


الشكل(29-8): الأخدود الرئيسي Major groove والأخدود الثانوي Minor groove في DNA.

3- التركيب الثالثي Tertiary Structure

هناك بعض جزيئات الـ DNA توجد بشكل دائري لا تحتوي على النهايتين 5′ ، 3′ مثال ذلك DNA الفايروس سرطان سيميان *Simian tumor* او بكتريا القولون *E. coli* إذ تحوي على كروموسوم مفرد دائري كبير. ان مثل هذه الجزيئات من الـ DNA الدائرية لها صفة مهمة تسمى بالالتفاف المفرط Super coiled **(الشكل 30-8)** الذي تكون فيه السلاسل تتقاطع فيما بينها عدة مرات لتكوّن هذه الدائرة المغلقة من الحلقات او الالتواء Linking number والتي تختلف فيما بينها حسب طريقة الالتواء.

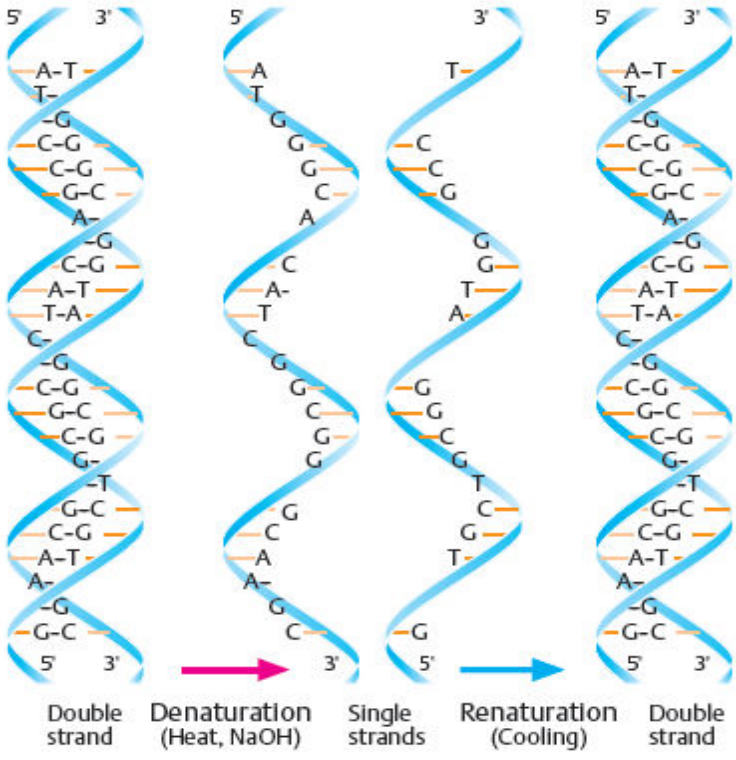
يعبر عن الالتفاف المفرط لجزيئات الـ DNA بمصطلح كثافة الالتفاف المفرط Super helix density ولمعظم جزيئات DNA الطبيعية قيم معينة من كثافة الالتفاف المفرط والذي يتم التعرف عليه بوساطة تقنية الهجرة الكهربائية Electrophoresis.



الشكل(30-8): الالتفاف المفرط للـ DNA.

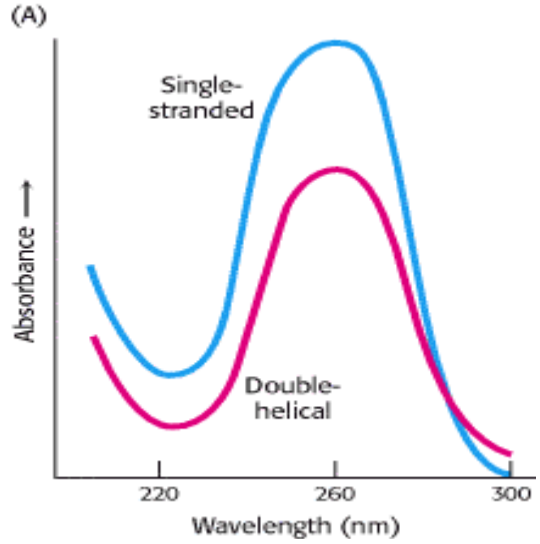
مسخ الحامض النووي الديوكسي رايبوزي DNA Denaturation

عند حدوث تغيير في قيمة الأس الهيدروجيني pH عن (4-11) أو زيادة درجة الحرارة (أكثر من 80 درجة مئوية) أو التعرض لتراكيز عالية من الكحول أو الفورميد أو اليوريا وغيرها يمكن أن يحدث للـ DNA تغير في الصفات الطبيعية (المسخ Denaturation) والذي سوف يعاني الحلزون المزدوج من انفكاك التوائاته نتيجة إزالة الأواصر الهيدروجينية والتداخلات الهايدروفوبية بين السلسلتين مع عدم حدوث انكسار في الأواصر التساهمية في السلسلة الواحدة للـ DNA (**الشكل 31-8**) وان هذه السلسلة الواحدة المتكونة يمكن أن تتحول إلى شكل التفاف عشوائي Random coil. عند استخدام الحرارة في عملية الانفكاك بين السلسلتين تدعى بالانصهار Melting، ولكن عند خفض درجة الحرارة دون درجة حرارة الانصهار يمكن أن يعاد الحلزون المزدوج إلى وضعه السابق وهذه العملية تدعى إعادة الهيئة الطبيعية Renaturation وتطلق عليها في بعض الأحيان التلدين Annealing.



الشكل(31-8): المسخ وإعادة الهيئة الطبيعية للحامض النووي الديوكسي رايبوزي.

إن حدوث المسخ أو عدم حدوثه يمكن معرفته من خلال استخدام إنزيمات النيوكليز Nucleases التي لها القابلية على تحليل سلسلة واحدة من DNA فقط وليس سلسلتين او استخدام المطياف الضوئي Spectrophotometer لقياس الامتصاصية عند الطول الموجي 260 نانوميتر اذ تزداد الامتصاصية في السلسلة المنفردة عن السلسلتين المزدوجة والزيادة العالية بالامتصاصية تدعى بالمصطلح Hyperchromicity (**الشكل 32-8**).



الشكل(32-8): يوضح زيادة قيمة الامتصاصية للشريط المنفرد Single stranded عن الشريطين المزدوجين Double helical.

الحامض النووي الرايبوزي (RNA)

الخواص العامة:

1- يتركب RNA من سلسلة طويلة من متعدد النيوكليوتيدات ذات وزن جزيئي يتراوح مابين 25 X 10^4 إلى 1 X 10^6 دالتون والذي يتكون من سكر الرايبوز وأربع قواعد نيتروجينية هي الأدينين والكوانين واليوراسيل والسايتوسين.

2- الحامض النووي الرايبوزي يكون بشكل سلسلة منفردة ولو أن جزءاً منه يحتوي على التواءات مع نفسها مكونة حلزوناً مزدوجاً والذي تكون فيه القواعد النيتروجينية (U, C, G, A) غير متممة الواحدة مع الأخرى فان عدد قواعد الأدنين لا يساوي عدد قواعد اليوراسيل والكوانين لا يساوي السايتوسين C، وكذلك من الممكن أن الكوانين يرتبط مع اليوراسيل ولكن بكمية قليلة وذات إستقرارية أقل من الكوانين مع السايتوسين.

3- يوجد الحامض النووي الرايبوزي بصورة موزعة في الخلية فالجزء الأكبر في السايتوبلازم و 10% تقريباً في النواة وجزءاً قليلاً في المايتوكوندريا.

4- **توجد ثلاثة أنواع من RNA** وهي الحامض النووي الرايبوزي المرسل Messenger RNA (mRNA) والحامض النووي الرايبوزي الرايبوزومي Ribosomal RNA (rRNA) والحامض النووي الرايبوزي الناقل Transfer RNA (tRNA) وتشترك جميعاً بصورة فعالة في بناء البروتين.

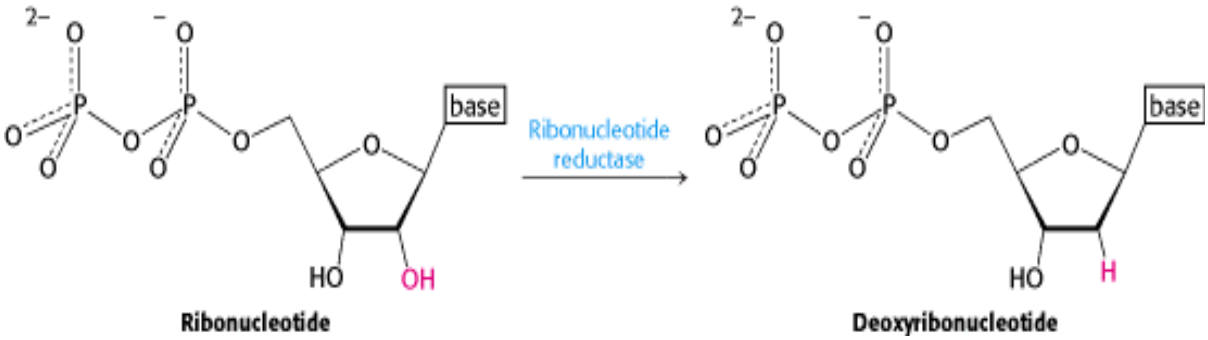
5- وجد **أن الخلايا حقيقية النواة تحتوي على نوعين أضافيين من RNA وهما:**

أ- RNA النووي غير المتجانس Heterogeneous nuclear RNAs (hnRNAs) الذي هو عبارة عن مادة أولية Precursor للحامض النووي الرايبوزي المرسل أثناء تكوينه لأداء وظيفة معينة ويعتقد أن له وسيلة تنظيمية للحامض النووي المرسل أثناء بنائه.

ب- الحامض النووي الرايبوزي النووي الصغير Small nuclear RNAs الذي يساهم في تصنيع الـ mRNA (في عملية الربط او الوصل Splicing التي تتم على الـ mRNA) والذي يرتبط بالبروتين الحديث التشكيل ليكون Splicosomes. وتكون نسبة snRNAs اقل من 1% من RNA الكلي وأطول من tRNA فضلا عن انه متباين في الحجم والشكل وله نصف عمر طويل.

6- توجد جميع أنواع RNA في الخلايا البكترية في السايتوبلازم ولكن في الخلايا اللبنية فأن الـRNA يكون موزعاً بين مختلف عضيّات الخلية على سبيل المثال: في خلايا الكبد يلاحظ ان النواة تحوي 11% من مجموع الـ RNA الكلي والمايتوكوندريا تحتوي 15% والرايبوزم يحوي 50% وأن ~ 24% يكون على شكل حر في السايتوبلازم.

7- أن DNA يتم بناؤه من الوحدات الأساسية لـ RNA باستخدام إنزيمات تدعى رايبونيوكليوتيد ردكتيز Ribonucleotide reductase اذ تحول الرايبونيوكليوتيدات (الحاوية على سكر الرايبوز) إلى ديوكسي رايبونيوكليوتيدات **كما في المعادلة الآتية:**



الحامض النووي الرايبوزي المرسل (mRNA)

الخواص العامة:

4- يتكون mRNA بطريقة الإستنساخ من الـ DNA .

2- بمشاركة rRNA و tRNA مع mRNA تتم عملية بناء البروتين Protein synthesis في السايتوبلازم.

3- تقدر نسبة mRNA 5% من الحامض النووي الرايبوزي الكلي في الخلية وتعد الجزيئة غير ثابتة إذ يتراوح نصف عمرها Half life مابين 7- 24 ساعة.

4- هناك عدة أنواع من mRNA ولكل نوع يحمل تسلسلاً للقواعد النيتروجينية تحدد تكوين نوع واحد من البروتين، وفي بعض الأحيان هناك جزيئات الـ mRNA تحمل تسلسلاً تحدد تكوين أكثر من نوع واحد من جزيئات البروتين وهذه تدعى بـ mRNA متعدد السيستيرونيك Polycistronic mRNA.

الحامض النووي الرايبوزي الرايبوزومي (rRNA)

الخواص العامة:

4- تكون نسبة rRNA أعلى من بقية أنواع الـ RNA في الخلية بـ 80% من RNA الكلي ويكون 65% من وزن الرايبوزومات. والرايبوزومات عبارة عن حامض نووي مرتبط مع بروتين يسمى رايبونيوكليوبروتين Ribonucleoprotein. قد تتجمع عدد كبير من الرايبوزومات على جزيئة واحدة من mRNA بالتالي تسمى Polyribosomes او قد تسمى اختصاراً Polysomes وتوجد في الخلايا حقيقية النواة.

2- يوجد عدة أنواع من rRNA إعتماداً على الوزن الجزيئي وهي 5S و 16S و 23S و 30S ...الخ ويرمز الحرف S إلى وحدة سفيد بيرك Svedberg وهي عبارة عن الوحدة الأساسية لقياس معامل الترسيب Sedimentation coefficient في مجال الطرد المركزي الفائق السرعة Ultracentrifuge.

3- يحوي rRNA على عدد قليل من القواعد النيتروجينية غير الشائعة والتي تختلف عن القواعد النيتروجينية (A,U,C,G) باحتوائها على مجموعة المثيل.

4- يحوي rRNA في الغالب على القواعد النيتروجينية C و G بنسبة 50 – 60% من التركيب الكلي.

الحامض النووي الرايبوزي الناقل (tRNA)

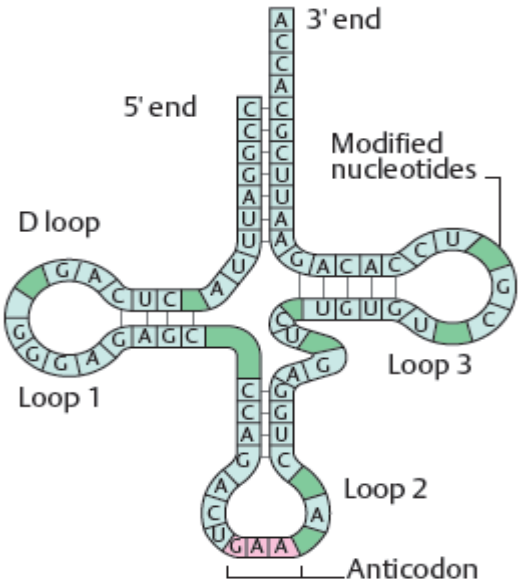
يسمى هذا الحامض أيضاً بالحامض النووي الرايبوزي الذائب Soluble RNA (sRNA) ويشبه ورق البرسيم في شكله الخارجي ويحتوي على ثلاث حلقات Loops **(الشكل 33-8)**.

الخواص العامة :

1- تكون جزيئات tRNA صغيرة نسبياً مقارنةً بالأحماض النووية الرايبوزية mRNA و rRNA ولكن توجد بأعداد كثيرة (أكثر من 60 نوع) من tRNA تستخدم لعملية نقل الأحماض الامينية المنشطة أثناء عملية بناء البروتين.

2- تحوي tRNA على نيوكليوتيدات غير طبيعية فضلاً عن احتوائه على 10% من القواعد النيتروجينية غير الشائعة.

3- توجد في tRNA منطقة خاصة تحتوي على ثلاثة نيوكليوتيدات وتسمى هذه المنطقة الشفرة المضادة (عكس الشفرة الوراثية) Anticodon تكون متممة في تركيبها للنيوكليوتيدات الثلاثة المسماة بالشفرة Codon (التي هي عبارة عن تسلسل ثلاث قواعد نيتروجينية في mRNA) **(الشكل 33-8)**.



الشكل(33–8): الحامض النووي الرايبوزي الناقل.

4- للـــ tRNA نهايتان، النهاية في الموقع ′5 تحتوي قواعد نيتروجينية إما G أو C والنهاية فـــي الموقع ′3 تحتـــوي تعاقب لنيوكليوتيدات (-C-C-A) وفي نهاية A مجموعـــة الهيدروكـــسيل (HO) للـــسكر الخماسي الرايبوزي الذي يرتبط بوساطة أصرة إستر مـــع الحامض الأميني الـــذي يقوم بنقله في عملية البناء الحيوي للبروتين **(الشكل33–8)**.

5- يحوي tRNA على تركيب ثالثي يتضمن مناطق حلزونية والتفافات والذي يمكن أن يكون تركيباً عالي الإستقرارية على شكل ورقة البرسيم Clover leaf بسبب التآصر الهيدروجيني بين القواعد النيتروجينية التي فيه و**الجدول(4–8)** يوضح بعض صفات أنواع الـــ RNA العائدة للبكتريا *E. coli* .

الجدول(4–8): يوضح بعض صفات أنواع الـــ RNA العائدة للبكتريا E.coli .

النوع	نسبته المئوية في RNA الكلي	عدد النيوكليوتيدات	معامل الترسيب S	موقع البناء	الوزن الجزيئي كيلو دالتون	أنواعه
rRNA	80	120 1700 3700	5 16 23	النوية	35 550 1100	3
tRNA	15	90-75	4	النواة	30-23	أكثر من 60
mRNA*	5	3000-75	25-6	النواة	1000-25	أكثر من 10^5
snRNA	اقل من 1%	~ 10	–	النواة	–	30

*يعتبر mRNA غير متجانس Heterogeneous لاحتواء الخلية على العديد مـــن mRNA متكونة حســـب نوع البروتين الذي سوف يتـــم بناؤه ولذلك يظهر بعدة وحدات S.

مقارنة بين الاحماض النووية DNA و RNA

إن الحامض النووي الديوكسي رايبوزي لديه عدة اختلافات عند مقارنته مع الحامض النووي الرايبوزي وهذه الاختلافات ناتجة عن اختلافات تركيبية وبنائية ووظيفية والتي يمكن إجمالها بشكل عام كما في **الجدول(5-8) الآتي:**

جدول(5-8) يوضح مقارنة بين الأحماض النووية DNA و RNA

الحامض النووي الديوكسي رايبوزي DNA	الحامض النووي الرايبوزي RNA
1- يحتوي على القواعد النيتروجينية A,G,T,C	1- يحتوي على القواعد النيتروجينية A,G,U,C
2- يحتوي على سكر ديوكسي رايبوز (منقوص الأوكسجين في موقع ´2 للسكر الخماسي) وبالتالي فهو مستقر في المحاليل القاعدية.	2- يحتوي على سكر الرايبوز (غير منقوص الأوكسجين) ويكون معرضاً للمحاليل القاعدية ولإنزيمات النيوكليز.
3- يعد مركباً أساسياً (أصلياً) يحتوي على جميع المعلومات الوراثية.	3- يعد مركباً وسطياً في عملية التعبير الوراثي Gene expression.
4- يكون على شكل سلسلتين حلزونيتين مزدوجة وتكون كل سلسلة متممة للأخرى (أي أن أعداد C = G ، T = A).	4- يكون على شكل سلسلة واحدة يمكن ان تكون حلزوناً مزدوجاً حول نفسها ولكن لا تكون متممة.
5- يعد أكثر ثباتاً إذ يبقى في داخل الخلية دون تغير في تركيبه.	5- اقل ثباتاً ويتحلل بعد أداء وظيفته بالإنزيمات الهاضمة Degradation.
6- أكثر استقراراً لاحتوائه على أواصر هيدروجينية وتداخلات هايدروفوبية فضلاً عن وجود البروتينات القاعدية (مثل الهستونات) التي تزيد من استقرارية الـ DNA.	6- أقل استقراراً.
7- ذو وزن جزيئي عالٍ.	7- ذو وزن جزيئي أقل.
8- لا يحتوي على عدة أنواع إنما DNA واحد يؤدي وظيفة واحدة.	8- يحتوي على ثلاثة أنواع هي: RNA, rRNA, mRNA . ولكل نوع له وظيفة خاصة الهدف منها بناء البروتين.
9- له تراكيب ثانوية مثل B-DNA وA-DNA و Z-DNA.	9- لا يحوي على مثل هذه التراكيب.
10- يحتوي على مواقع تنظيمية(gene On و gene Off).	10- لا يحتوي على هذه المواقع التنظيمية.
11- يتضاعف بالاستنساخ الذاتي.	11- لا يتضاعف بالاستنساخ الذاتي.