مفاهيم أولية في التقانة الحيوية

١ ـ ماهي التقانة الحيوية؟

تعريف التقانة الحيوية: هي مجمل التقنيات التي تتناول استخدام الكائنات الحية أو مكوناتها تحت الخلوية بغرض إنتاج أو تحوير أو تطوير منتجات ذات قيمة وفائدة للإنسان.

حيث يتم التعامل مع الكائنات الحية (كائنات دقيقة ـ نباتات ـ حيوانات- البشر نفسهم) من أجل تحسين خواص هذه الكائنات وصفاتها الوراثية. وذلك عن طريق المستوى الخلوي و تحت الخلوي وذلك لتحقيق أقصى استفادة منها صناعيًا وزراعيًا و بالتالي اقتصاديا.

مجالات التقانات الحيوية:

مع بداية استخدام المادة الوراثية في الكائنات الحية للحصول على منتجات مفيدة للإنسان، تم تداول واستخدام وتدريس مصطلح التقنية الحيوية الحديثة (لتمييزها عن التقنية الحيوية التقليدية القديمة التي تعنى باستخدام الكائنات الحية في عمليات حيوية مثل التخمر والتعطين). وبدأت تظهر مجالات عديدة للتقنيات الحيوية منها:

- **تقانة حيوية حمراء(Red Biotechnology):** و هي التقانات الحيوية في المجال الطبي، من أمثلتها إنتاج المضادات الحيوية من الكائنات الحية و استخدام الهندسة الوراثية لمعالجة الأمراض و في منابلة(معالجة) الجينات وكذلك إمكانية إنتاج أدوية خاصة بالمحتوى الجيني للفرد.

- **تقانة حيوية خضراء(Green Biotechnology)**: وهي التقانات الحيوية في المجال النباتي ، من أمثلتها إنتاج النباتات المعدلة وراثيًا من أجل زيادة الإنتاج ومقاومة الأمراض ،إنتاج المبيدات الحشرية غير الكيميائية، والأسمدة الحيوية .
- **تقانة حيوية بيضاء(White Biotechnology):** من أكثر المجالات انتشارا و قد أدخلت العديد من التعديلات على صناعات قديمة (كالورق و البلاستيك) وهي المعروفة أيضًا بالتكنولوجيا في المجال الصناعي ،من أمثلتها استخدام الكائنات الحية لإنتاج مواد كيميائية مطلوبة للاستخدام التجاري حيويًا بدلاً من إنتاجها صناعيًا، هناك أيضًا المعالجة الخاصة للأنسجة و الجلود ،إنتاج البلاستيك القابل للتحلل العضوي.
- **تقانة حيوية زرقاء (Blue Biotechnology):** تعتمد على تطبيقات الهندسة الوراثية في مجال البيئة البحرية وكذلك في معالجة مياه الصرف الصحي. من خلال إطلاق بكتريا لها القدرة على استهلاك المواد العضوية.
- **التقنية الحيوية والمعلوماتية الحيوية Bioinformatics:** وتختص باستخدام الحاسبات الآلية لتحليل نتائج الدراسات الحيوية.

- **التقنية الحيوية متناهية الصغرNano-Biotechnology:** وتختص بالأبحاث والأنشطة على مستوى النانو وخاصة في مجال إنتاج الأدوية.

2- بنية وتركيب الـDNA:

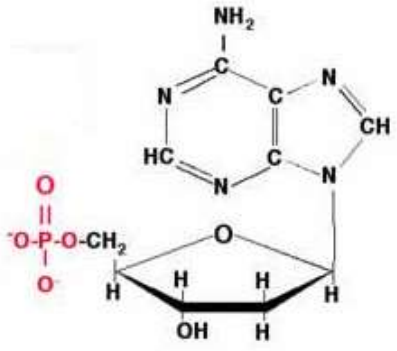
بينت نتائج التحاليل الكيميائية الأولية للمادة الوراثية أن الصبغيات تتألف بنيويا من مكونين هما الDNA والبروتين . يوجد هذان المكونان بكميات متساوية ضمن التركيب الكيميائي لكل صبغي.

ويدعى المركب الكيميائي الحامل للمعلومات الوراثية بالحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين (Deoxyribonucleic acid) ويسمى اختصاراً DNA. وهو مركب جزيئي فائق على شكل حلزون مضاعف (double helix) مكون من خيطين منفردين. وتخزن معظم الكائنات الحية معلوماتها الوراثية في جزيئات ال DNA . وتدعى وحدة بناء الDNA بالنيوكليوتيد (Nucleotide) وتتكون كل نيوكليوتيدة من :

- سكر خماسي الكربون .

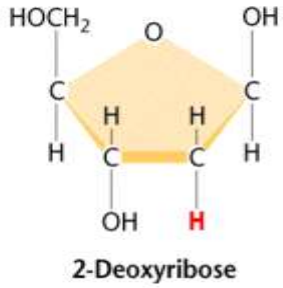
- مجموعة فوسفات (مرتبطة برابطة تساهمية بذرة الكربون الخامسة)

- إحدى القواعد الآزوتية (النيتروجينية) الأربعة (مرتبطة برابطة تساهمية بذرة الكربون الأولى)

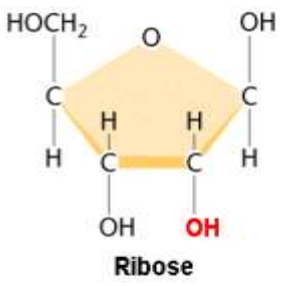


بنية النيوكليوتيدة

يكون السكر عبارة عن دي اوكسي رايبوز أي سكر رايبوز منقوص الأكسجين ، ولهذا يسمى ال DNA دي أوكسي رايبو نيوكلك أسيد (Deoxyribonucleic acid). بينما في الRNA يكون السكر هو الرايبوز(Ribose) ولهذا يعرف باسم رايبونيوكلك أسيد(Ribonucleic aced).



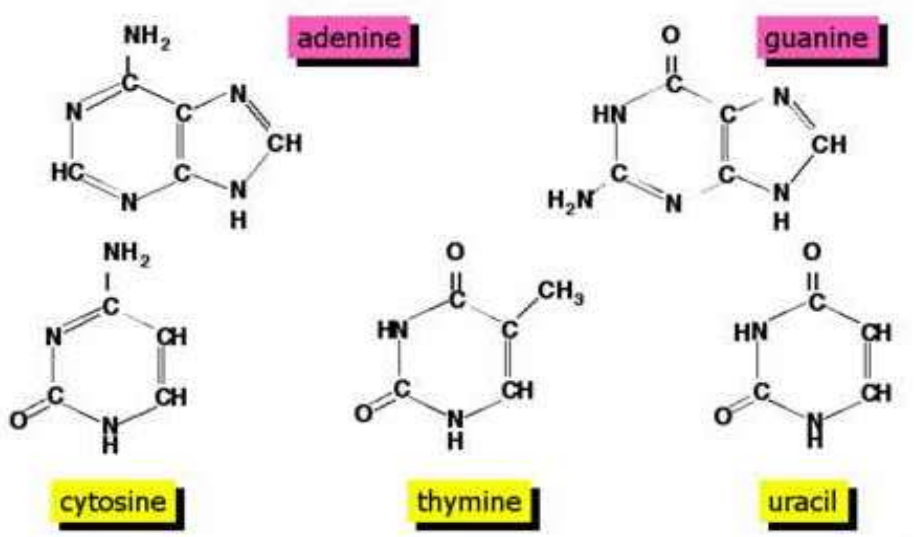
سكر الرايبوز منقوص الأكسجين



سكر الرايبوز

تكون القواعد الآزوتية نوعان :

- من مشتقات البيورين : ذات حلقتين بنزينيتين (الأدنين A ،الجوانين G)
- من مشتقات البيريميدين : ذات حلقة بنزينية واحدة (ثايمين T ، السيتوزين C) في حين أنه في الRNA يحل اليوراسيل(U) محل الثايمين وهو أيضاً(اليوراسيل) ذو حلقة بنزينية واحدة.



وأعطيت ذرات كربون السكر الخماسي الأرقام التالية ١´، ٢´ ،٣´، ٤´ ،٥´ لتمييزها عن الأرقام المعطاة لذرات الكربون والنيتروجين الموجودة في البيريميدين والبيورين. ومن الخصائص الهامة للسكر الخماسي هو قدرة المجاميع الهيدروكسيلية على تكوين إسترات مع حمض الفسفوريك وخاصة تلك المجاميع الموجودة على الكربون الثالث والكربون الخامس.

وتعتبر الأحماض النووية سالبة الشحنة بسبب وجود مجموعة الفوسفات في تركيب الحمض النوي.

٢-١- اكتشاف بنية الـDNA

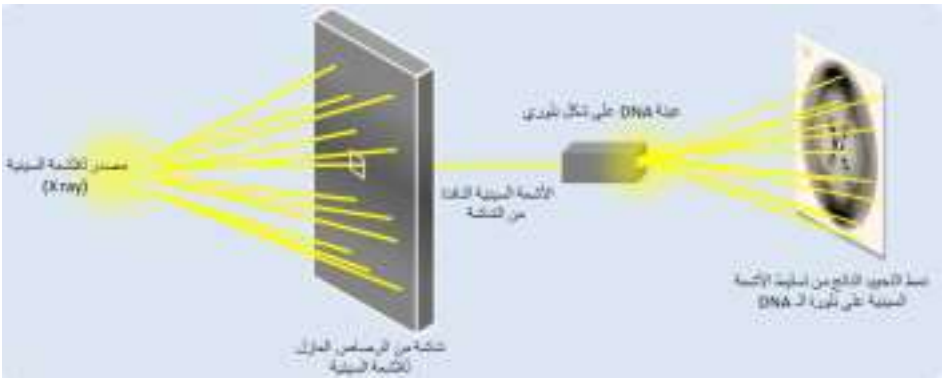
- قاعدة تشار جاف وزملائه: عند تحليل مكونات ال DNA لكثير من الكائنات الحية المختلفة بواسطة تشار جاف وزملائه ؛ لوحظ أن تركيز الأدنين يساوي تركيز الثايمين، وأن تركيز الجوانين يساوى تركيز السيتوزين. يؤكد ذلك بقوة على أن هذه القواعد الآزوتية توجد في الDNA بعلاقة داخلية ثابتة. أي أنه يوجد في الDNA عموماً تطابق بنسبة ١:١ مابين قواعد البيورين وقواعد البيريميدين. وهذا ما يدعى بقاعدة تشارجاف.

فعلى سبيل المثال إذا كان DNA الإنسان يحتوي على ٣٠% أدينين فما هي نسبة السيتوزين؟

الجواب : بما أن الأدينين ٣٠% = الثايمين ٣٠%. إذاً يبقى ٤٠% (سيتوزين + جوانين). وبما أن % للستوزين = % للجوانين، إذاً % للسيتوزين = ٤٠% مقسومة على ٢ = ٢٠%.

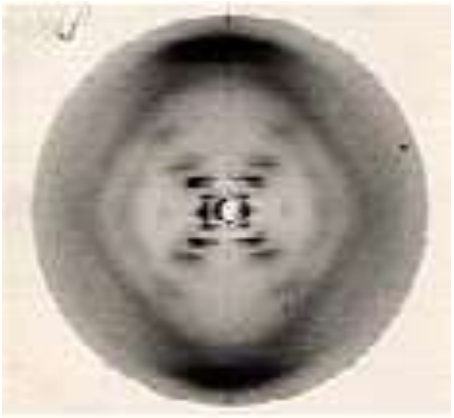
- بحوث ودراسات فرانكلن: استخدمت فرانكلن وزملائها، في بداية الخمسينات من القرن الماضي، تقنية انكسارات الأشعة السينية (أشعة X). وذلك بتمرير أشعة (X) على الDNA . وبتشتت هذه الأشعة أمكن الحصول على توزيع نقط يظهر أن الDNA عبارة عن تركيب معقد التنظيم متعدد الخيوط وتكرر فيه الوحدات المكونة له على مسافات منتظمة قدرها ٣,٤ أنغستروم (انغستروم = 10^{-8}سم) على طول محور الجزيء.

حيث يمكن تسجيل نمط التبدد(التشتت) على فيلم فوتوغرافي.



شكل يوضح خطوات تقنية X-ray crystallography DNA(انكسارات الاشعة السينية)

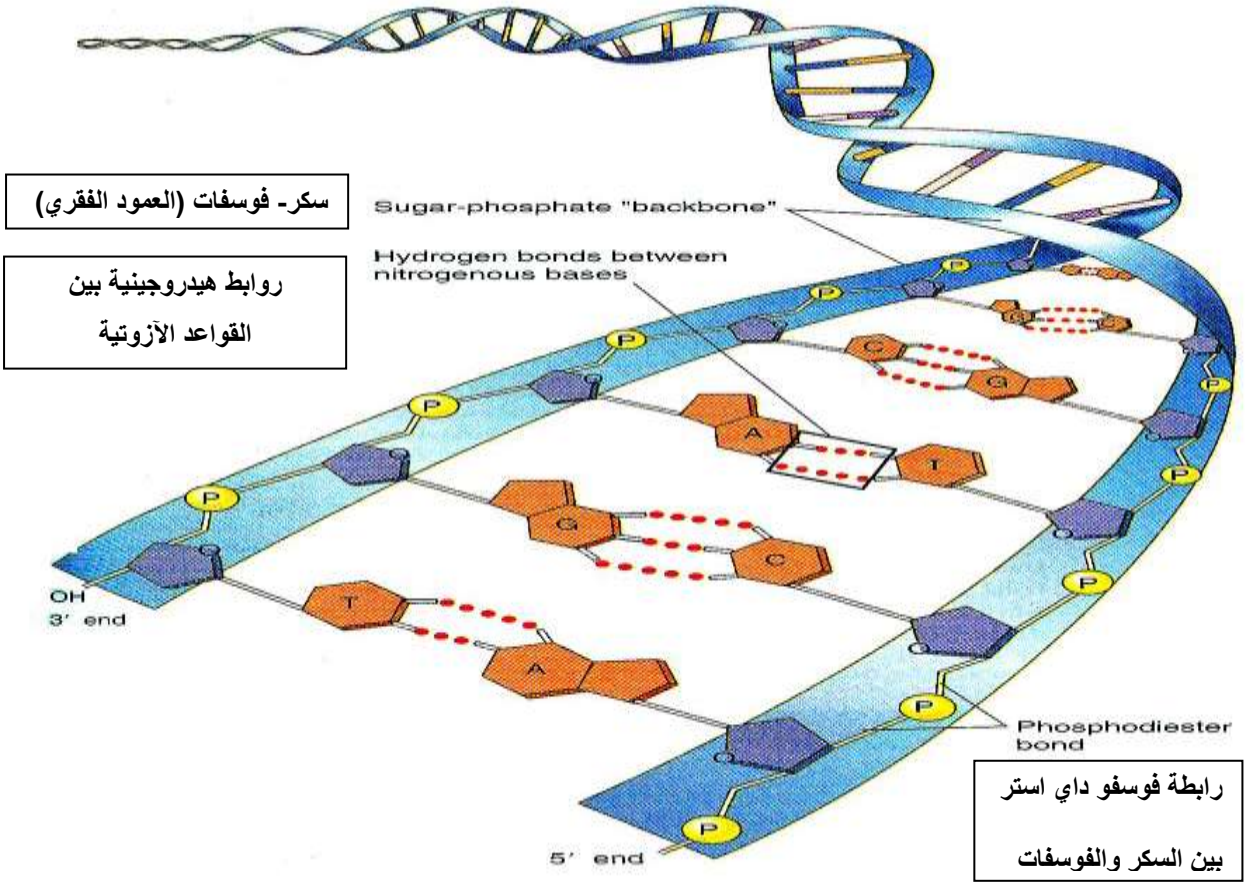
وهي تقنية تستخدم لمعرفة التركيب ذو الأبعاد الثلاثية للجزيئات.



وقد جد أن التصالب الموجود في مركز الصورة الفوتوغرافية (الشكل المرافق) يدل على أن الجزيئة حلزونية Hehix أما المناطق السوداء في القمة والقعر فتدل على القواعد bases المتراصة عمودياً على المحور الرئيسي للجزيئة.

شكل: النمط المتبدد لحزمة أشعة X المار خلال الـDNA المتبلور

نموذج واطسن وكريك Watson– Crick model : بناءً على النتائج السابقة تمكن واطسن وكريك من معرفة تركيب ال DNA في جامعة كامبردج عام ١٩٥٣، حيث اقترحا ما يلي:



شكل بنية جزئ الDNA. يمثل شريطي هيكل الDNA المؤلف من ارتباط ما بين السكر والفوسفات Sugar-phosphate.

تمثل الأعمدة الأفقية إلى الداخل الأسس الآزوتية التي ترتبط بروابط هيدروجينية hydrogen bonds.

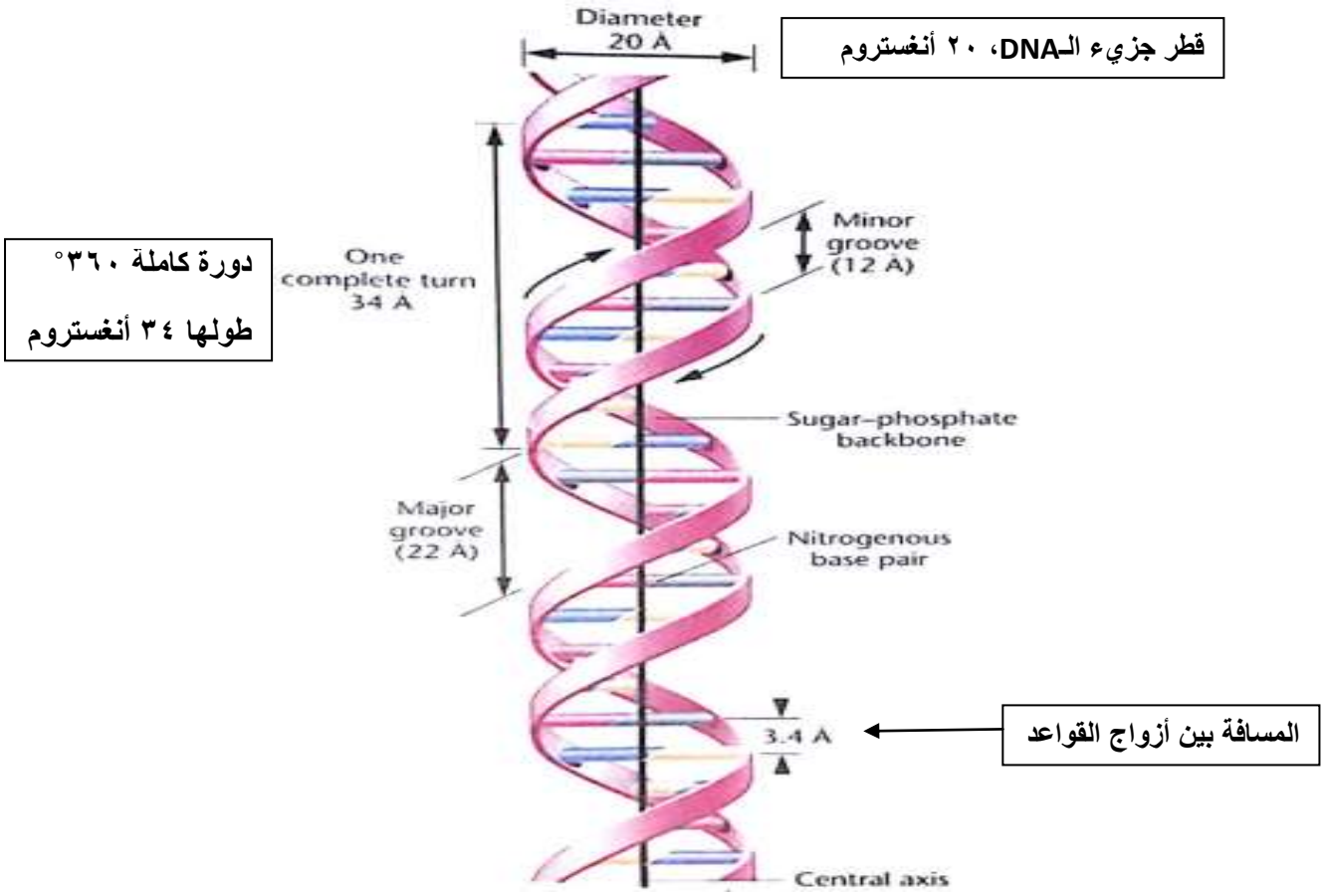
- يتركب النموذج من شريطين من الDNA يترتبان كالسلم – جانباه يمثلهما هيكل السكر فوسفات وتمثل القواعد النيتروجينية درجات السلم .

- يتكون الدرج الواحد إما من T=A بينهما رابطتان هيدروجينيه ،وإما من C ≡ G بينهما ثلاث روابط هيدروجينية.

- عرض درجات السلم على امتداد الجزيء يكون متساويا.. لأن كل درج يتكون من ارتباط قاعدتين أحدها ذات حلقة واحدة والأخرى ذات حلقتين .

- يوجد الDNA في صورة حلزون مزدوج يتكون من خيطين يلتفان حول بعضهما حلزونيا ويتكون كل خيط من سلسلة من النيوكليوتيدات المتتابعة التي ترتبط مع بعضها بواسطة روابط فوسفو داي استر(رابطة الفوسفات ثنائية الاستر) التي تصل بين وحدات السكر المتجاورة.

- يلتف سلم الـ DNA لفة كاملة كل ١٠ أزواج من القواعد وحيث أن اللولب يتكون من شريطين يلتفان حول بعضهما فإن جزئ الDNA يسمى باللولب(الحلزون) المزدوج.



مخطط يوضح أبعاد الحلزون المزدوج. تبلغ المسافة بين أزواج القواعد ٣,٤ أنغستروم ويبلغ طول اللفة الكاملة ٣٤ أنغستروم. يتشكل نتيجة التفاف شريطي الDNA ما يسمى بالأخدود الرئيسي Major groove والأخدود الثانوي Minor groove.

أنواع الروابط الكيميائية في جزيء الـDNA

- الرابطة بين مجموعة الفوسفات والسكر الخماسي تسمى الرابطة الاسترية.

- الرابطة بين السكر والقاعدة الأزوتية تسمى الرابطة الجلايكوزيدية Glycosidic bond.

- الروابط بين القواعد الآزوتية المتقابلة تسمى بالروابط الهيدروجينية:

رابطتان بين الأدينين والثايمين (A = T) ، ثلاث روابط بين الجوانين والسيتوزين (G ≡ C).

كيفية ارتباط النيوكليوتيدات ببعضها:

- مجموعة الفوسفات المتصلة بذرة الكربون (٥´) في سكر أحد النيوكليوتيدات ترتبط برابطة تساهمية مع ذرة الكربون (٣´) في سكر النيوكليوتيد الذي يسبقه.

- يسمى الشريط الذي يتبادل فيه السكر والفوسفات بهيكل السكر والفوسفات.

- توجد عند نهايته مجموعة فوسفات طليقة مرتبطة بذرة الكربون (٥´) أي عند الطرف ٥´ ، وعند النهاية الأخرى توجد مجموعة هيدروكسيل OH طليقة مرتبطة بذرة الكربون (٣´) أي عند الطرف (٣´). وهو ما يعرف بالقطبية Polarity في كل شريط.

ومن المهم أن نلاحظ أيضاً بأن اتجاه تخليق النيوكليوتيدات هو من ٥´ إلى ٣´ لذلك أصبح لزاماً علينا أن نقرأ تسلسل القواعد في الDNA أو حتى في الRNA من ٥´ إلى ٣´

كذلك يتقابل شريطي الDNA بشكل عكسي التوازي Antiparallel(أي أن الشريطين متضادي الاتجاه).

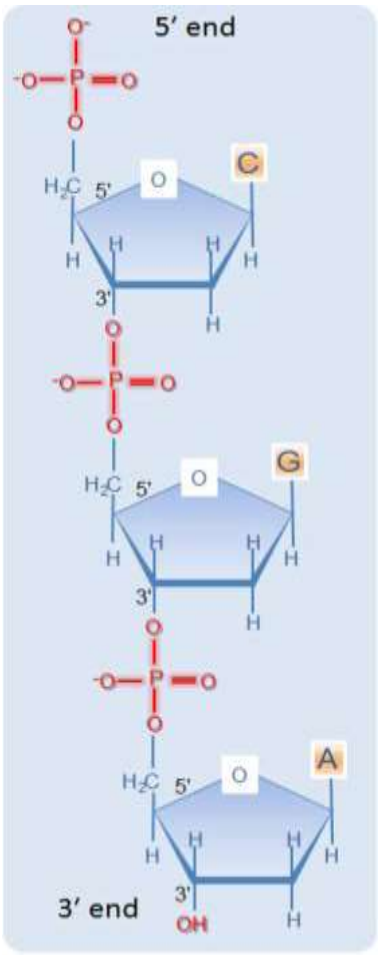
لذلك توصف سلسلتي الDNA بأنهما متوازيتان بالتعاكس حيث يكون:

اتجاه أحد السلستين:

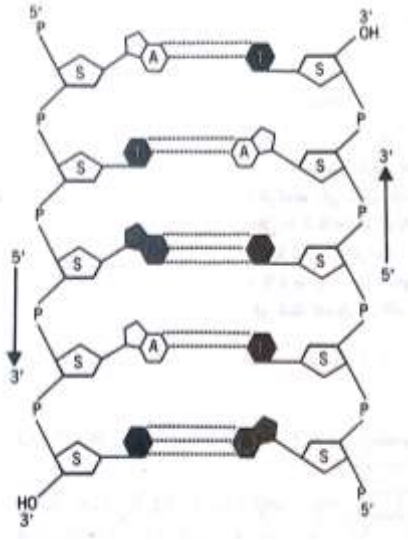
مجموعة الهيدروكسيل ٣´--------- مجموعة الفوسفات ٥´

اتجاه السلسلة المقابلة:

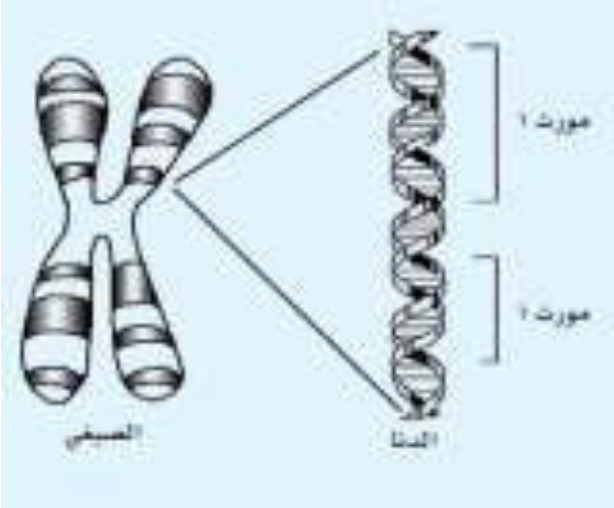
مجموعة فوسفات ٥´---------- مجموعة هيدروكسيل ٣´



الشكل(). ارتباط النيوكليوتيدات



الشكل(). صفة عكسي التوازي antiparallel لجزيئة الـDNA



كل مجموعة من النيوكليوتيدات على امتداد الحمض النووي منقوص الاكسجين (DNA) تكون وحدة مستقلة تسمى المورث(Gene) وكل مورث له طول وتتابع محدد من النيوكليوتيدات. يبلغ طول الجينات عادة ١٠٠٠ – ٤٠٠٠ نيكليوتيد مع العلم أن العلماء استطاعوا ايجاد جينات أصغر أو أكبر من ذلك.

الشكل() العلاقة بين الصبغي والـDNA والمورث

والمورث هو أساس تصنيع البروتين الموجود في الخلية. حيث يتم تصنيع البروتين عن طريق حلقة وصل بين المورث والبروتين. وهذه الحلقة هي الحمض النووي الريبوزي (RNA) الذي يوجد في سيتوبلازم الخلية. ونتيجة تحكم الجينات باصطناع البروتين فهي بالتالي تؤثر على مظهر الخلايا والنسج والأعضاء وأيضاً على السلوك.

أما الجينوم: فهو عبارة عن مجموع مورثات النوع البشري أو الحيواني أو النباتي الموجودة في الخلية، وهو ثابت في جميع خلايا الكائن الحي. ويحوي الجينوم البشري على ٢٠ ألف جين موزعة على حوالي ٣٠ بليون زوج من أسس الـDNA.

يقاس طول الـDNA بعدد القواعد (الأسس) النتروجينية، حيث تستعمل أزواج الأسس المتتامة (Complementary base pairs)، وهي الأدينين مع الثايمين(AT) والسيتوزين مع الغوانين(CG)، لتحديد طول جزيئة الـDNA التي تقاس بوحدة زوج من الأسس(Base pair) ويرمز لها اختصاراً bp.

ومن مضاعفات هذه الواحدة كيلو أساس (Kilo base) ، وهو ألف زوج من الأسس ويرمز له اختصاراً Kb. والميغا أساس (Mega base)، وهو مليون زوج من الأسس، ويرمز له اختصاراً Mb.

٣- الحمض النووي الريبي (RNA)

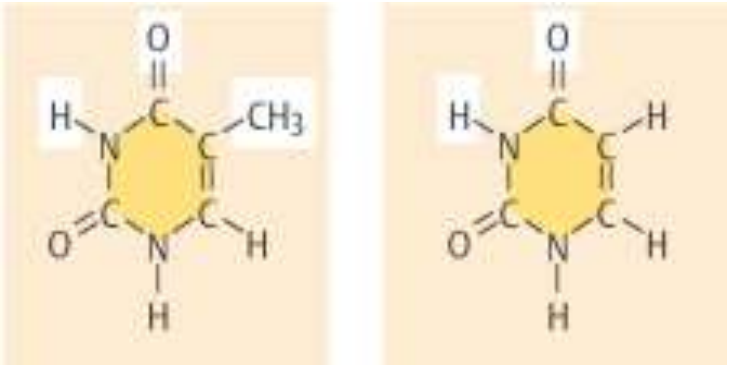
٣-١- البنية الكيميائية للحمض النووي الريبي (RNA):

يتألف الـRNA من تتالي نيوكليوتيدات مرتبطة الواحدة بالأخرى كما في الـDNA لتشكيل سلسلة متعددة النيوكليوتيدات. ومع ذلك يختلف الـRNA عن الـDNA بثلاثة مظاهر:

١- السكر الخماسي في البنية هو الرايبوز Ribose وليس الرايبوز منقوص الأكسجين.

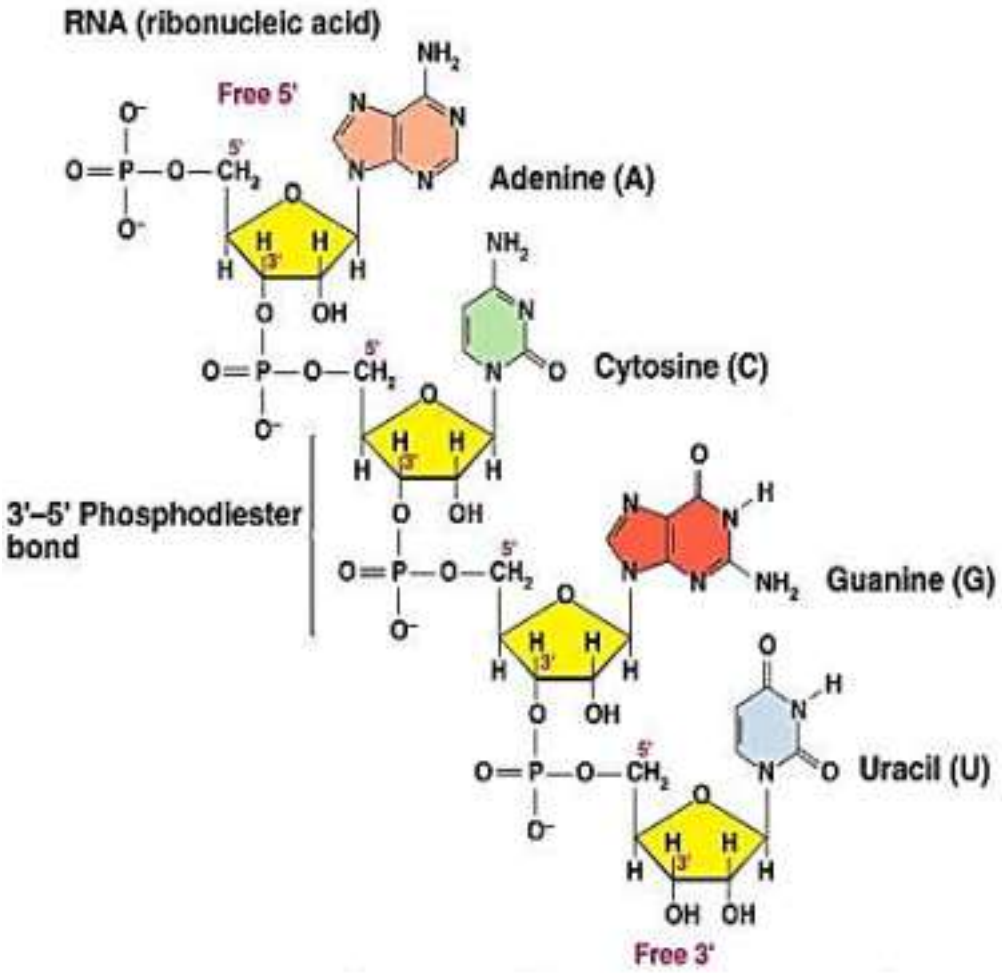
٢- يختلف في أحد الأسس الآزوتية الأربعة وهو اليوراسيل (U) الذي يحل محل الثايمين في الـDNA، وبنية اليوراسيل قريبة من بنية الثايمين، لذا يستطيع اليوراسيل مثل الثايمين أن يتحد بالأدينين بروابط هيدروجينية. والأسس الثلاثة الباقية تتشابه بين الـDNA والـRNA.

٣- يوجد الـRNA طبيعياً بشكل سلسلة منفردة متعددة النيوكليوتيدات. وفي حال وجود سلاسل متممة على نفس الذراع تنثني السلسلة على نفسها بوساطة الروابط الهيدروجينية، حيث يلعب هذا المظهر دوراً هاماً في بعض أنواع الـRNA.



Thymine (T) Uracil (U)

الشكل ( ). بنية اليوراسيل وبنية الثايمين.



الشكل ( ). بنية الـRNA

والرابطة بين النيوكليوتيدات هي رابطة الفوسفات ثنائية الاستر Phosphodiester، وأيضاً لسلسلة الـRNA اتجاه كما في الـDNA، فالكربون `5 على الرايبوز في النيوكليوتيد الأول يكون مفسفراً وحراً وتدعى هذه النهاية بالطرف `5 من سلسلة الـRNA، وفي النهاية الأخرى من السلسلة يكون الهيدروكسيل على ذرة الكربون `3 من الرايبوز حراً وتدعى بالطرف `3 لسلسلة الـRNA.

٣-٢- أنماط الـRNA: نميز ثلاثة أنواع رئيسية من الـRNA وهي :

- الـRNA المرسال Messenger RNA (mRNA) - الـRNA الرايبوزومي Ribosomal RNA (rRNA) - الـRNA الناقل Transfer RNA (tRNA)، ويلعب كل منها دوراً خاصاً في تركيب البروتينات.

٤- شفرة الوراثة وتصنيع البروتين

٤-١- شفرة الوراثة: Genetic code

تعد القواعد النتروجينية (Cytosine -Thymine – Guanine – Adenine) أبجديات الوراثة الأربعة في الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA)، أما في الحمض النووي الريبوزي (RNA) فيحل اليوراسيل (Uracil) محل الثايمين (Thymine).

ويبلغ عدد الأحماض الأمينية التي تدخل في بناء سلسلة أي بروتين؛ عشرون. وعليه فقد ثبت أن الحروف الأربعة في شفرة الوراثة تقرأ في كلمات (كودونات) كل منها ثلاثية ($٤^{٣}$). أي تتكون من تتابع ثلاث نيوكليوتيدات لتكون ٦٤ كلمة وراثية (شفرة وراثية)، منها كلمة للبداية (AUG)، وتعبر عن الحمض الأميني الميثيونين (Methionine) وثلاثة للنهاية (UAG, UGA,UAA) : وهذه لا تشفر لأي حمض أميني لذلك سميت شفرات النهاية أو التوقف أي تتوقف عندها عملية الترجمة. وبقية الكودونات تعبر عن بقية الأحماض الأمينية العشرين (١٩ حمض أميني)؛ وعليه يكون لكل حمض أميني شفرة أو أكثر.

الحرف الثاني

الحرف الأول

الحرف الثالث

First letter (5′ end)	U	C	A	G	Third letter (3′ end)
U	UUU phe UUC phe UUA leu UUG leu	UCU ser UCC ser UCA ser UCG ser	UAU tyr UAC tyr UAA stop UAG stop	UGU cys UGC cys UGA stop UGG trp	U C A G
C	CUU leu CUC leu CUA leu CUG leu	CCU pro CCC pro CCA pro CCG pro	CAU his CAC his CAA gln CAG gln	CGU arg CGC arg CGA arg CGG arg	U C A G
A	AUU ile AUC ile AUA ile AUG met	ACU thr ACC thr ACA thr ACG thr	AAU asn AAC asn AAA lys AAG lys	AGU ser AGC ser AGA arg AGG arg	U C A G
G	GUU val GUC val GUA val GUG val	GCU ala GCC ala GCA ala GCG ala	GAU asp GAC asp GAA glu GAG glu	GGU gly GGC gly GGA gly GGG gly	U C A G

جدول() شفرة الوراثة ذات الكودونات الثلاثية توضح ٦٤ شفرة وراثية منها شفرة للبداية وثلاثة للنهاية وبقية الكودونات تعبر عن الأحماض الأمينية الباقية.

والسؤال هنا هو لماذا تكون الشفرة الثلاثية ضرورية لبناء البروتين؟

الجواب : بما أنه يوجد عشرون حمض أميني مختلف يدخل في بناء البروتينات، وأن هناك أربع نيوكليوتيدات فقط تدخل في بناء كل من الDNA وRNA. لذلك فاللغة الوراثية تحتوي على أربعة حروف أبجدية هي هذه النيوكليوتيدات الأربعة التي يجب أن تشكل عشرين حمض أميني كلمة تدل كل منها على حمض أميني معين.

- ولا يمكن أن يتكون الحمض الأميني من نيوكليوتيدة واحدة لأن ذلك يعني وجود أربعة احماض أمينية فقط على صورة شفرة هي A, G, C, U.

- وبالمثل فإن الأحماض الأمينية لا يمكن أن تترجم من نيوكليوتيدتين فقط وذلك لأن النيوكليوتيدات الأربعة إذا رتبت في كل الاحتمالات الممكنة لاثنين فإنها ستنتج ($٤^{٢} = ١٦$) كلمة (شفرة codon) مختلفة . وهذا لا يزال غير كاف للعشرين حمضاً أمينياً التي تدخل في بناء البروتين.

- أما إذا رتبت الأربعة نيوكليوتيدات على شكل ثلاثيات فإنها ستنتج ($٤^{٣} = ٦٤$) كلمة (شفرة) ولذلك فإن أصغر حجم لكلمة شفرة DNA هو ثلاث نيوكليوتيدات.

تترجم الخلية ترتيب النيوكليوتيدات في المورثة إلى سلسلة من الأحماض الأمينية وهذه السلسة تؤلف بروتين معين. ويتوافق ترتيب الأحماض الأمينية في البروتين مع ترتيب النيوكليوتيدات في المورثة. والعلاقة بين ترتيب النيوكليوتيدات وترتيب الأحماض الأمينية تدعى بالشفرة الوراثية Genetic cod.

فالشيفرة الوراثية: هي مجموعة التعليمات التي تحدد للخلية الحموض الامينية التي سترتبط مع بعضها البعض لتكون البروتين.

١-١- صفات الشفرة الوراثية: يمكن اجمال المواصفات العامة للشفرة الوراثية بالآتي:

١-١-١- التشفير الثلاثي Triple coding: الشيفرة الوراثية هي شيفرة ثلاثية حيث يقرأ التسلسل النيوكليوتيدي كثلاثيات تعرف بالكودونات في mRNA.

١-١-٢- التخصص Specificity: كل شفرة (كودون) مخصصة لحمض أميني معين.

١-١-٣- ترادف الشيفرة Degeneracy: يتحدد كل حمض أميني بأكثر من كودون. جميع الأحماض الأمينية ماعدا الميثيونين والتربتوفان لها أكثر من كودون.

١-١-٤- العمومية Universality: الشفرة الوراثية عامة وذلك لأن نفس الكودونات تمثل شفرات لنفس الأحماض الأمينية في جميع الكائنات الحية من الفيروسات إلى البكتريا و النبات والحيوانات والفطريات. وهذا يعني أن تخصص الشفرة قد حوفظ عليه منذ المراحل المبكرة للتطور، و أن الكائنات الحية الموجودة الآن على وجه الأرض قد نشأت من أسلاف مشتركة.

١-١-٥- غير متداخلة : تقرأ كتسلسل مستمر من القواعد ثلاثة ثلاثة وذلك من بداية محددة بدون أي توقف بين الكودونات لحين الوصول إلى كودون التوقف.

١-١-٦- تبدأ جميع السلاسل البروتينية بالحمض الأميني (ميثيونين) أي تبدأ بالترجمة من الكودون AUG.

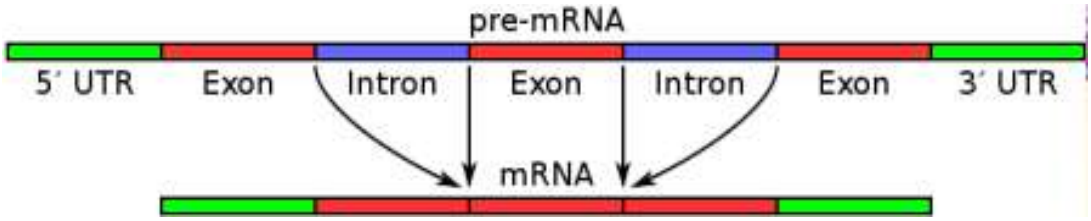
١-١-٧- يوجد ثلاثة كودونات (UAG, UGA, UAA) من أصل ٦٤ لا تحدد حمضاً أمينياً تسمى كودونات التوقف تنهي السلسلة الببتيدية المتشكلة.

٤-٢- تصنيع البروتين:

تساهم في عملية تصنيع البروتينات في الخلية المركبات التالية: DNA، RNA مرسال (mRNA)، RNA ناقل(tRNA)، الريبوزومات(الجسيمات الريبية). وهناك عمليتان اساسيتان : نقل الشيفرة الوراثية من الـ DNA إلى mRAN (النسخ transcription) ، وتركيب البروتين من الشفرة الموجودة على mRNA (الترجمة translation).

١-٢- النسخ: يتم في النواة حيث يفك جزئ الـ DNA شريطيه لكي يكشف عن القواعد ويتم نسخ mRNA الذي تطرأ عليه بعد ذلك سلسلة تغييرات قبل أن يغادر النواة باتجاه السيتوبلازم بغية إعطائه شكله النهائي حيث يتم:

١-١-٢- حذف الانترونات: ان الجينات كثيراً ما لا تكون تتابعات مشفرة مستمرة على طول جزئ الـDNA بل تعترض المناطق المشفرة فيها التي تسمى الاكسونات Exons مناطق أخرى غير مشفرة تسمى الانترونات Introns. تستأصل مناطق الانترونات من mRNA مباشرة عن طريق أنزيمات تقطع على جانبي منطقة الانترون ثم تصل مناطق الاكسونات سوية لينتج عن ذلك جزيئات من mRNA تحمل تتابعات مستمرة مشفرة (أي تحمل الاكسونات فقط).



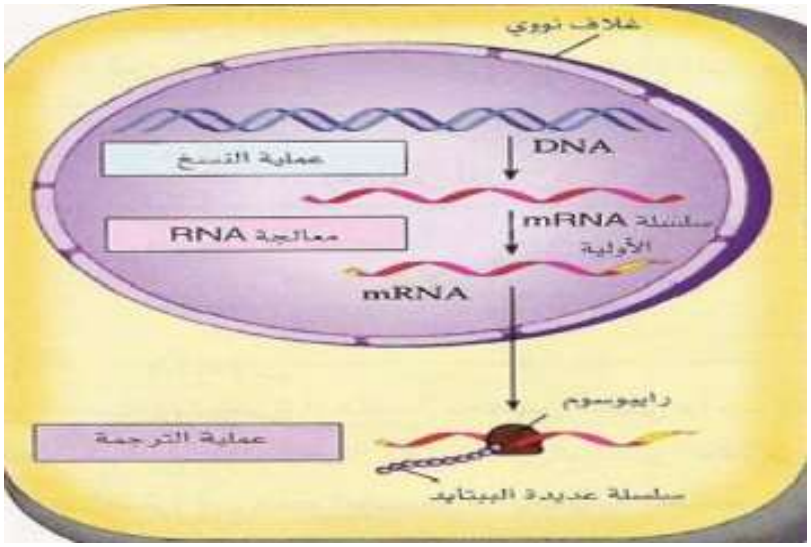
شكل( ): استئصال الأجزاء غير المشفرIntron من mRNA الأولي .

١-٢-٢- اضافة غلاف واقي على النهاية (`5) يساعد على تعريف الريبوسومات .

٢-١-٣- إضافة ذيل من عديد الأدينين (عديد A) على النهاية (`3) وهذا الذيل يحمي الmRNA من الانحلال بواسطة الأنزيمات الموجودة في السايتوبلازم. ويخرج mRNA المعدل(الناضج) من النواة إلى السيتوبلازم.

الإنترونات Introns: هي عبارة عن تتابع من النيوكليوتيدات المشفرة. أي تمثل شيفرة وراثية.

الإكسونات Exons : هي عبارة عن تتابع من النيوكليوتيدات غير المشفرة. أي لا تمثل شيفرة وراثية.



شكل(). نسخ الmRNA عن السلسة المشفرة من المورثة

ويمثل شريط الـ mRNA النسخة العملية للمعلومات الوراثية التي سيتم اصطناع البروتينات وفقها.

الفرق بين تضاعف الـDNA ونسخ الـDNA إلى RNA

تضاعف الـDNA	نسخ الـDNA إلى RNA
يتضاعف كل جزيء الـDNA	ينسخ قطعة من أحد شريطي الـDNA
يتم التضاعف بمساعدة أنزيم البلمرة وأنزيم الربط	يتم النسخ بمساعدة أنزيم بلمرة RNA(RNApolymerase)
ترتبط نيوكليوتيدة الأدينين مع الثايمين	ترتبط نيوكليوتيدة الأدينين مع اليوراسيل

٢-٢- الترجمة: تحدث في السيتوبلازم. وتعني ترجمة ترتيب معين من النيوكليوتيدات لجزيء mRNA إلى ترتيب معين من الأحماض الأمينية في جزيء البروتين. ويحتاج اصطناع البروتين أيضاً إلى تصنيع كل من الحمض الريبي النووي الرايبوزومي (rRNA) : يدخل في تركيب الريبوزومات التي هي مقر عملية تصنيع البروتينات ، والحمض الريبي النووي الناقل (tRNA) : يحمل الأحماض الأمينية إلى مكان تصنيع البروتين في الرايبوزومة.