الفصل الثالث

الحامض النووي

DNA

الحامض النووي Deoxyribonucleic acid
دي أوكسريبونيوكليك (DNA)

- الحامض النووي DNA هو من أهم المواد الكيميائية الموجودة في الكائن الحي حيث يحمل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر.
- الحامض النووي DNA هو المسئول عن جميع العمليات أو الأنشطة الحيوية والبيولوجية داخل الخلية.
- هو المسئول عن جميع عمليات تخليق البروتينيات أو الأحماض الأمينية داخل الخلية.

نبذه تاريخية: Historical

- كان العالم فيشر Fischer عام ١٨٨٠م أول من حدد أو بين تركيب الحامض النووي DNA من البيرين purines والبيرميدين pyrimidine.
- ثم جاء العالم كوسيل Kossel وحدد أن البيرميدين pyrimidine يتكون من سيتوزين cytosine والثيامين thyamine والبيرين purines يتكون من الأدنين Adenine والجوانين guanine وقد أخذ جائزة نوبل على ذلك عام ١٩١٠م.
- ليفان Levene الروسى قد اكتشف الدوكس ريبوز في الحامض النووي عام ١٩١٠م ووجود حامض الفورسفوريك.
- فى عام ١٩٤١م اكتشف العالم فولجين Robert Feulgen تفاعل كيميائي يحدد وجود مادة DNA بواسطة اللون.
- فى عام ١٩٥٣ أستطاع كل من وطسن وكريك أن يقترح بأن DNA يوجد أغلبه فى صورة حلزون مزدوج ذي خواص مميزة للغاية.
- فى عام ١٩٦٧ استطاع العالم كورنبرج بأن يوضح DNA بأنه يخلق من حوالي ٦,٠٠٠ نيكلوتيد 6.000 nucleotides.

وجوده Occurrence

- فيما عدا بعض الفيروسات جميع الكائنات الحية تحتوى على مادة DNA.
- تتمركز كل المادة الوراثية DNA فى النواة المركزية في الخلية وخاصة في الكروموسومات فى بعض الحالات توجد مادة DNA في الأجسام السياحية والبلاستيدات والجسم المركزي.

وحدة القياس DNA

تقاس كمية DNA بواسطة وحدات صغيرة تسمى بالبيكوجرام picogram (pg)

$1\ pg = 10^{-12}$ grams

- كمية DNA تكون ثابتة من خلية إلى خلية ومن نوع إلى آخر.
- كمية DNA في البرمائيات في النواة للضفدعه ٧,٧٣ بيكوجرام.

شكله: Morphology

(١) يشكل shape جزء DNA فى الخلايا ذات الانويه الحقيقية Eukaryotic تكون مثل الخيوط الممتدة المستقيمة والغير متفرعة وهو مزدوج شكل (٣-١).

- بينما جزء DNA فى الخلايا بدائية النواة مثل بعض الفيروسات تكون دائرية الشكل.

الحجم: Size

- يختلف حجم جزء DNA من نوع لأخر فيبلغ حجم جزء في الأجسام السباحيه حوالي ميكروميتر 5mm يبلغ حجم DNA جزء الفردي منه في البكتريا حوالي ١,٤ ملم طول 1.4 mm long

التركيب الكيميائي لجزء د ن أ

Chemical Composition of DNA

يتركب جزء DNA من وحدات عديدة ومتكررة تسمى بوليميرات وتسمى هذه الوحدات بنيوكلوتيدات Nucleatides ويحتوى كل نيكلوتيد على ثلاث أجزاء هى:

(١) سكر خماسي يسمى بنتوز pentose وهذا السكر يعرف باسم دى أوكس ريبوز Deoxyribose.

(٢) حمض الفوسفوريك Phosphoric

(٣) قواعد نتروجينية Nitrogen bases

وتشمل هذه القواعد على نوعين هما:

أ- البيرميدين pyrimidines

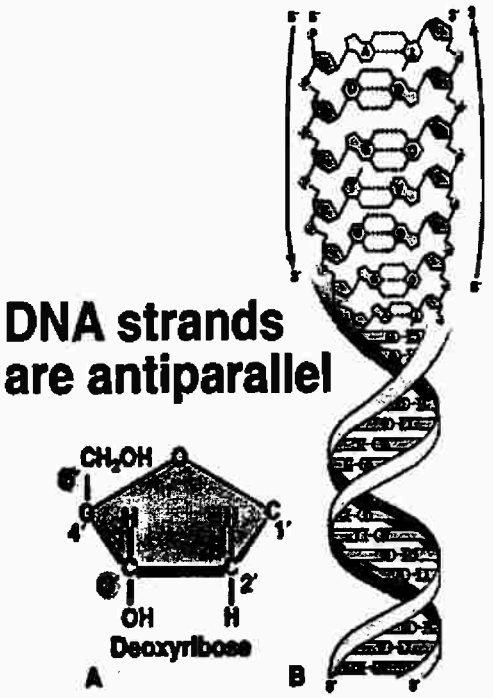
هو مركب عضوي يحتوى على حلقة واحدة. ويوجد به نوعين من البيرميدين هما :

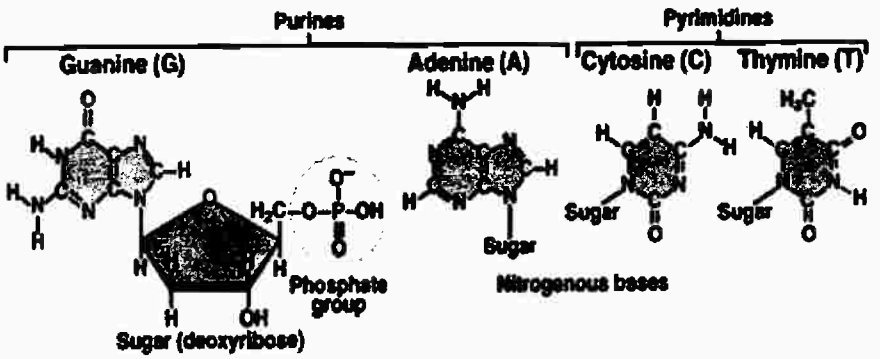
- السيتوزين cytosine - الثيامين thymine

ب- البيورين purines

- وهو مركب عضوي يحتوى على حلقتين ويوجد به نوعين من البيورين هما:

- الادنين Adenine - الجوانين Guanine


DNA strands
are antiparallel
CH2OH
OH
H
Deoxyribose
A
B


DNA bases
Purines
Pyrimidines
Guanine (G)
Adenine (A)
Cytosine (C)
Thymine (T)
Sugar
Sugar
Sugar
Phosphate group
Sugar (deoxyribose)
Nitrogenous bases

شكل رقم (٣-١)

التركيب الجزيئى لمادة د ن أ
Molecular Structure of DNA

- تتحد كل من البيورينات والبيرميدات أي القواعد النتروجينيه مع جزء السكر pentose البنتوز بواسطة روابط كيميائية بين ذره كربون في الموقع ١ فى السكر وذره الكربون فى الموقع ٩ في البيورين ويسمى هذا الاتحاد بين القواعد النتروجينية والسكر بالنيكلوسيد Nucleoside.
- ثم يتحد جزء النيكلوسيد Nucleoside مع جزء من مجموعة الفوسفات phosphate group وتسمى حينئذ بالنيكلوتيد Nucleotides.
- النيكلوسيد + مجموعه واحده من الفوسفات تعرف باسم نيكلوتيد. أحادى الفوسفات Deoxy Adenosime (nucleoside) monophosphate (d AMP) أو قد تتحد النيكلوسيد مع مجموعتين من الفوسفات أو ثلاث وحينئذ تسمى ADP or ATP Adenosine Diphosphate

Deoxy Adenosine Triphosphate	(dATP)
Deoxy guanosine Triphosphate	(dGTP)
Thymidine Triphosphate	(TTP)

- يتركب جزء DNA من بوليميرات مكونه من وحدات متكرره من النيكوتيد وهى كالتالى:
- مجموعة فوسفات تتحد مع ذرة الكربون رقم ٥ فى السكر.
- تتحد ذرة الكربون رقم ٣ فى السكر مع جزء النيكلوتيد الأخر عن طريق مجموعه الفوسفات الأخرى.
- وهكذا تستمر حلقات الاتصال بين كل مجموعة وأخرى حتى تكون سلسله من جزء البوليمر.
- وهذه الروابط تعرف باسم روابط استر تساهميه Covalent ester bonds
- **أوضح وطسون وكريك أن كل لفه للشريط المزدوج لجزء DNA يتكون من ١٠ نيكلوتيد و نصف قطره الاسطوانى الحلزونى 20Å in diameter انجستروم وفى الطول .34Å in long**
- وتنتظم المعلومات الوراثية على الشريط الحلزوني لجزء DNA بواسطة تتابع الأربعة قواعد نتروجينية على طول هذا الشريط.
- يرتبط شريطي جزء Two polynucleotides strands DNAمع بعضهما البعض بواسطة رابطه هيدروجينية بين كل من البيورينات والبيرميدات.
- وتكون هذه الرابطة بين الادنين والثيامين ثنائية الروابط الهيدروجينية وبين الجوانين والسيتوزين ثلاثية الروابط الهيدروجينية.

- التركيب الجزيئى لمادة دن ا DNA هى:

A = T	Adenine - Thymine
G = C	Guanine - cytosine

فتح وغلق جزء DNA
Denaturation and Renaturation of DNA

- - يرتبط شريطي جزء DNA الزوجي ببعضهما البعض بروابط هيدروجينية ضعيفة.
- – إذا سخن محلول يحتوى على جزء DNA فان هذا الجزء لايظل مستقراً وقد يؤدى هذا التسخين إلى فصل الشريطين عن بعضهما البعض وتسمى عملية الفصل هذه Melted or Denaturated.
- – تتم عملية الفصل أيضا بواسطة استخدام محلول قلوى قوى والذي يدخل في الروابط الهيدروجينية التي بينهما.
- – اما إذا برد هذا المحول الساخن فانه يتكون جزء DNA المزدوج الشرط ويسمى حينئذ باسم الغلق Renaturation.
- – يتم أيضا فتح الشريط المزدوج من جزء DNA بواسطة أيضا بعض أنزيمات النسخ Restraction enzymes بإضافة جزء من النيكلوتيد إلى إحدى جانبي الشريط المزدوج بعد الفتح لتساعد في عملية النسخ كما يتم قفل أو أتمم هذا الشريط أو غلقه بواسطة بعض أنزيمات النسخ الرابطة أو المتحدة ligase enzymes مثل T 4.

تناسخ مادة أو جزء دى أوكس ريبوز (د ن أ)
Replication of DNA

هناك نوعين من التناسخ هما:

- **التناسخ غير ذاتى Hetero catalytic function** وهما كما يحدث في توجيه جزء نحو تخليق مادة (RNA) ريبوزونيكليز والبروتين.
- **التناسخ الذاتي Autocatalytic function**

وهو توجيه نشاط جزء DNA فى تخليق مادة أو جزء من DNA نفسه.

هناك ستة عوامل أساسية ضرورية فى عملية التناسخ الذاتي لجزء DNA وهى:

١- تتم عملية التناسخ بواسطة طرق شبه ثابتة أو محافظة على طريقه معينه.

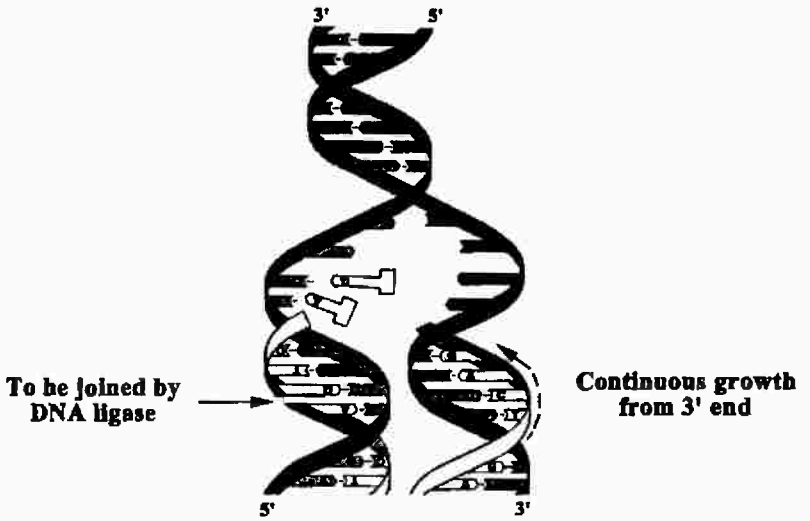
٢- تتم عملية التناسخ فى اتجاه واحد ولكن غالبا تتم في اتجاهين.

٣- يتم التناسخ في نقطة معينه unique point أو المنظم origin أو أكثر من نقطه.

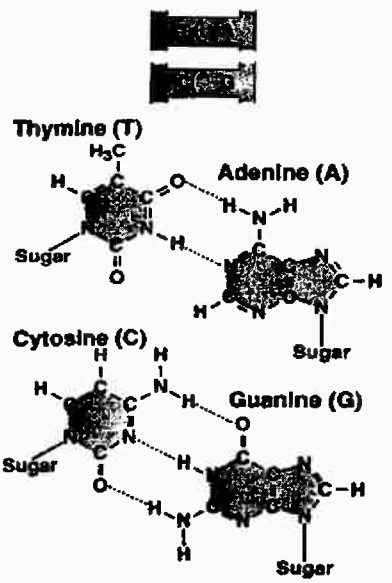
٤- يتم التناسخ في كلا الشريطين بواسطة إضافة نيكلوتيد أحادى النيكلوتيد monomers في اتجاه ٥١ إلى ٣١ من ذرات الكربون.

٥- يحدث هذا التناسخ كجزء قصير أو صغير غير مستمر وذلك بأن يتكون جزء صغير قصير ثم يتحد فيما بعد مع الجزء الرئيسي للجزء DNA.

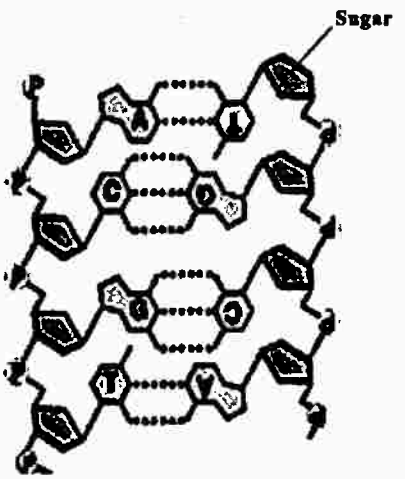
٦- جزء صغيرمن RNA ضروري لعملية تنشيط جزء DNA البوليمر للاستطالة.شكل (٣-٢)



The Discontinuous Model for DNAReplication. This Model is Most Widely Accepted and Supported One.



DNA Base Pairs



A segment of DNA Molecule Showing Arrangments of Different Components (P = phosphate, A = Adenine T = Thymine, G = Guanine and C = Cytosine)

شكل رقم (٣-٢)

الطريقة النصف أو الشبه محافظه لتناسخ مادة DNA
The Semi-conservative of DNA Replication

- تتطلب هذه الطريقة تناسخ مادة DNA واستمراريتها للحفاظ على نقل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر.
- حسب اقتراح وطسن وكريك بأن إحدى الشريط المزدوج من مادة DNA بوليمير يعمل كوسادة template لتخليق الشريط الآخر المكمل للشريط الأصلي old strand وتخليق الشريط الجديد .
- فإذا حدث تناسخ لشريط المزدوج الأصلي فانه ينتج شريطين أصليين وآخريين جديدين في الجيل الأول.
- وفى حالة تناسخ أفراد الجيل الثاني فانه ينتج عنه اثنين من الجيل الأصلي القديم وستة أشرطة من أفراد الجيل الجديد أي الاجمالى ثمانية أشرطة أى ستة أشرطة Daughter molecules واثنين أصليين. شكل (٣-٣)
- ويمكن تحديد هذه الأشرطة الجديدة بواسطة استخدام مواد مشعة لدقه التحديد مثل ن١٥ (15N)، (14N) ن١٤ مع استخدام مادة كلوريد السيزيم (C s cl) cesium chloride لفصل مادة DNA بواسطة الطرد المركزي حسب طريقة ماثيو وفرنكلين (١٩٥٨).

توجيه جزء DNA للتناسخ
Direction of DNA Replication

- قد أوضحت أحسن التجارب العلمية لتوجيه جزء DNA للتناسخ بواسطة العالم كارينز Cairns عام ١٩٦٣ مستخدما تشعيع كروموسومات *E. coli* (كولاى) في عملية التناسخ. فقد وضع اشرشيا كولاى *(E. coli)* في وسط غذائي لنمو في وجود المادة المشعة ثيمادين 3H-Thymidine لمدة نصف ساعة وذلك لتشخيص شريط DNA بالمادة المشعة.
- وقد ترك جزء DNA لفترات متعددة فى المادة المشعة والوسط الغذائي ليحدث عمليه التناسخ فوجد انها ضعف الكمية الأصلية من DNA.
- اقتراح كارينز إذا انفصل جزء جديد New molecules من الجزء الأصلي فان الجزء الجديد المنزلق من الأصلي يلتف حول نفسه أو نهايته ويربط بين طرفيه مكونا دائرتين Two circles.
- ويكون اتجاه وحركة هذه الجزئيات وتناسخها تبدأ أساسا من نقطة معينه origin.
- اقتراح كارينز أن التناسخ الشوكي Replication fork يخرج أو يبدأ من النقطة في اتجاه واحد.

- في بعض الأحيان يكون هناك ثنائي التناسخ الشوكي Replication fork كما في اشرشيا كولاى حيث أن لها اتجاهين DNA is Bidirectional.
- عند تقابل ثنائي التناسخ الشوكي مع بعضهما البعض فانه ينتج كروموسومات بنوية Daughter chromosomes كل وحد ينتج عنه شريط من جزء DNA الجديد المخلق والشريط الأخر من القديم.

٤- إضافة جزء من النيكلوتيد Addition of nucleotide monomers

- ميكانيكية الأنزيمات المساعدة أو أنزيمات النسخ هي المسئولة عن عمليه تخليق الأشرطة الجديدة لجزيئي DNA ولايمكن للأشرطة أو سلسله DNA من النمو والتناسخ بدون أنزيمات النسخ.

ويكون التناسخ في إضافةالنيكلوتيد على أساس:

- أضافه النيكلوتيد monomers للأشرطة DNA تحدث فى نهاية ذرة الكربون ٥,٣ في سلسله التناسخ لمادة DNA.
- عدم التماثل للأشرطة DNA فى أن يكون أحدهما مختلف عن الآخر أثناء عمليه التناسخ.
- يمكن تحديد و معرفة عملية التناسخ بواسطة التحليل الأنزيمي أو الكيميائي وثانيا بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني.
- وجد أن حجم الفاج لندا DNA (λ) للشريط الواحد الغير متماثل يقاس بأنه ٠,٤٠ ميكروميتر (Mm ٠,٤) والتي تعادل ١٠٠٠ زوج من القواعد (1000 base - pairs) .
- وهناك نوعان من الأشرطة فى الميتوكوندريا للحيوان أحدهما شريط خفيف ل L-strand وينتج عندما تتكسر الرابطة الهيدروجينية التي تربط جزء DNA أثناء عملية التناسخ والآخر شريط ثقيل H H-strand
- عند إضافة قطعه أو جزء النيكوتيد وأثناء عملية التناسخ فان الشريط الجديد L-strand يتحد مع المكمل له L-strand من جزء DNA المزدوج الأصلي. ودائما ينشأ الشريط ل (L) الخفيف ثم يتلوه الشريط الثقيل (H).
- تكون الإضافة في اتجاه واحد من ذرة الكربون ٥' إلى نهاية ٣` لسلسلة جزء DNA.

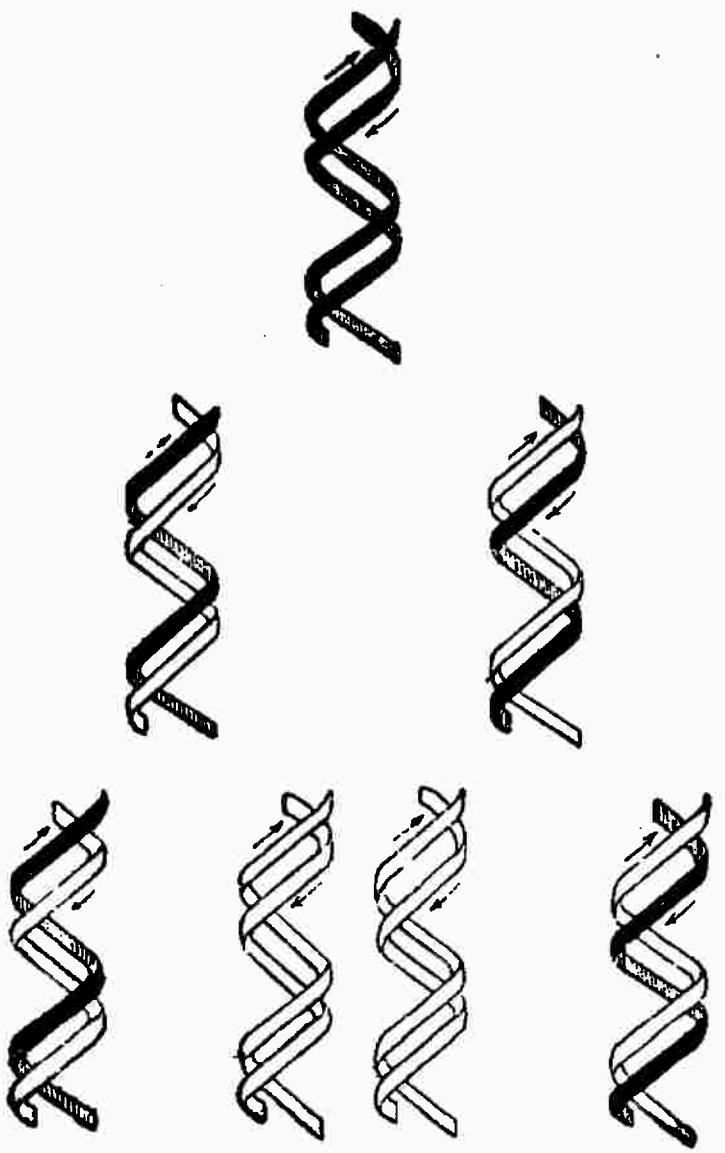


Diagram interpreting the experiment of **Meselson** and **Stahl** (1958) to show the semi-conservative method of DNA replication. **Above**—Parent DNA molecule with both strands labelled with N^{15}; **Middle**—First generation shows the daughter molecules (in white) synthesized in a medium containing N^{15} (Note that the DNA molecules are hybirds of N^{15}—and N^{14} DNA strands); **Below**—At the second generation two molecules are hybirds and two are not.

شكل رقم (٣-٣)

تخليق القطع الصغيرة من DNA
Synthesis of Short Pieces

- إستطاع اوكازكا عام ١٩٦٨-١٩٧١ من توضيح أن تخليق جزء DNA يكون فى صورة قطع صغيرة والتى فيما بعد تدخل فى جزيئات السلسلة الطويلة من DNA.
- وفى نمو الشرشيا كولاى فى الأوساط الغذائية قد أضيفت بعض المعجلات أو المحفزات المعلمة أو المبنية precursor label والتي وجدت هذه الجزيئات المعلمة في جزء DNA وتسمى هذه لجزئيات بجزيئات التناسخ أو جزئيات أو قطع اوكازكا Okazaki fragments replciation fragments
- وأن هناك بعض الأنزيمات الضرورية والتي تؤدى إلى فرد سلسله DNA أو اتحاد القطعه القصيرة من النيكلوتيد مع شريط.
- وتناسخ قطع اوكازكا يبدأ بإضافة هذه القطع (نيكلوتيد) في سلسلة DNA في الاتجاه ذرة الكربون ٥' إلى ٣' وأحدث هذه الإضافات للنيكوتيد تكون فى نهاية ذره ٣' لكل سلسله من شريطى DNA لمزدوج.

اتحاد القطع الصغيرة
Linking of Short Pieces

- يقوم بعملية اتحاد قطع أو أجزاء DNA مع بعضها البعض أو مع سلسلة جزء DNA البلويمر أنزيم الربط DNA ligase.

تنشيط عملية النسخ بواسطة بدائيات RNA
Initiation of Replication by RNA Primer

- العالم كورنمبرج وأكوكازكا عام ١٩٧٠ وضح أهمية بدائيات RNA للتخليق جزء DNA. وقد أوضح أن جزيئات RNA الموجودة تكون من بعض الأنزيمات النووية والتي تضاف إلى نهاية ذرة ٣' والذي يرتبط برابطة تساهميه أو تكافؤية covalently bonded لموقع رقم ٥.

Unwinding the double helix

- بعض البروتينات لابد من وجودها لتسهيل عملية اكتمال (ملتقى الانشطار) جزئ DNA فى المرحلة المتقدمة للتناسخ الشوكي replicating fork دون ازدواج لشريطي جزء DNA.
- وأول البروتينيات الضرورية الخاصة بفك DNA فى عدم أحداث حلزونيه أو التفاف جزء DNA هو البروتين الخاص الذى يعطى ٣٢ جين في البكتريا اشرشيا كولاى فاج (gene e in E. coli phage T4).

- هذا البروتين له القدرة على تحويل ثنائي الشريط من جزء DNA (Duplex DNA) إلى أحادى الشريط single strand عند درجة حرارة 40°م وقد لايجد الحلزون المزدوج على الانشطار.
- هناك رابطة قوية Tight binding بين البروتين والشريط الأحادي من DNA.
- رابطة ضعيفة little binding بين البروتين وثنائي شريط DNA (Duplex DNA)
- يتحد البروتين الخاص بالنسخ بعدم الازدواجية Unwinding protein مع A-T ادنين – ثيامين وينتج حرارة تكفى لاكتمال التفاعل والربط بينهما.وأيضا يتحد مع مجموعة الفوسفات والسكر الأساسية فى تكوين جزئ DNA.
- والشكل المتطاول من جزئ البروتين الخاص يسمح باتحاد أو الربط بقوة مع عشرة أجزاء من النيكلوتيد المفردة، وذلك لان تفاعل جزئ البروتين – مع البروتين لإحدى شريط DNA يكون أفضل وأسرع وبالتالي فان اتحاد جزيئات البروتين مع بعضهما البعض افضل من تفاعله مع القاعدة الأساسية لجزئ DNA دون فتحها ويسمى التفاعل باسم التعاون المتبادل.
- ليس فقط البروتين الخاص بعدم الازدواجية يقوم بفتح ازدواجية جزيئ DNA (Duplex) إلى أحادى الشريط single-strand ولكن أيضا يقوم بتسهيل تعلق أو التصاق القواعد النتروجينية بين الشريط الأحادي لجزئ DNA أثناء التناسخ. أى أنه بمجرد أن ينشطر الحلزون المزدوج ليكشف عن خيوطه المفردة يرتبط على الفور جزئ من بروتين الفك ذى الخيوط المفردة، وتتقدم بروتينيات اضافيه ترتبط بكفاءة أعلي من الأولى (في ظاهرة تعرف باسم التعاون المتبادل) لتصبح وبسرعة أحادية الخيط المفرد مستقرة عن طريق غلاف بروتينيات الفك.
- يعتقد أن بروتين الفك د ن أ مسئول عن جعل الانشطار الحلزون المزدوج متقدما عن ملتقى النسخ.
- يكون جزيئا واحدا من بروتين الفك بطول يسمح بتغطيه ٨ نيكلوتيد من DNA بمعنى أن بروتينات الفك لـ ٤٠٠ الموجودة في كل خلية تستطيع أن تثبت أطوالا أساسيه لكل من ملتقى التناسخ.

وهناك عدة أنواع من الأنزيمات هي:

- أنزيم فك DNA وفك البروتين.

- من الواضح أن تناسخ د ن أ يتطلب أن ينفك الجزئ النووى المزدوج حتى تكون القواعد النتروجينية الداخلية معرضة للأنزيمات التناسخ. ويبدو أن نشاط الفك في الاشرشيا كولاى يتم بواسطة بروتين التناسخ والذي يمبئ لـ ATP الادنيوزين ثلاثي الفوسفات في حين يحفز حلزون على الانشطار.

- وبمجرد الانشطار تصبح الخيوط المفردة المعرضة مثبته بواسطة بروتين آخر هو البروتين الخاص بفك د.ن.أ.

- **هناك بروتينيات أخرى تشارك فى التناسخ مثل:**

- **إنزيم الاسترخاء (البروتين w)** والذي يعتقد انه يتخلص من اللفائف فوق الحلزوني الكبيرة والعقد المتولدة في كروموسوم دائري مزدوج أثناء عملية الفك استعدادا التناسخ.

- **أنزيمات الاستطالة (البلمرة)** وهذه مهمة لفرد واستطالة الشريط الفردي لـ د.ن.أ. وهذه الأنزيم يسمى بإنزيم البلمره III ويلزم أثناء الاستطالة استمرار عملية الفك للحلزون واستقرارا لحاجة الانشطار بواسطة بروتينيات الفك.

- **إنزيم الاسترخاء** وهو الذي يعمل على إزالة اللفائف الناتجة ويتحاشى التشابك الكروموسومى.

أنزيمات النيكلوبيز Nuclease enzyme

هذه الأنزيمات تقوم بتحليل وكسر سلسلة النيكلوتيدات إل مركبات أو قطع من النيكلوتيدات حيث ترتبط بروابط ثنائية الفسفورية 3`, 5` phosphodiester bonds

وتهاجم هذه الأنزيمات نهاية الموقع ٣' أو ٥' فى هذه الارتباطات وهناك نوعان من هذه الأنزيمات:

(١) أنزيم اكسونيكليز Exonuclease enzyme

والتى تهاجم الطرف الحر من النيكلوتيد والذي يبدأ في نهاية الموقع الحر ٣' (3`-OH) من النيكلوتيد والذى يكسر أو يؤثر على الرابطة المتصلة بنهاية الموقع 3`-OH للرابطة الفسفورية الثنائية phosphodiester back bone أو أنها تبدأ في التأثير على نهاية الموقع 5`-pend وتهضم النيكلوتيد فى اتجاة ٥١ – ٣١

(٢) أنزيم اندونيكليز Endonuclease enzyme

- وهو الأنزيم الذي يهاجم طرف واحد من طرفي رابطة ثنائي الفوسفور phosphodiester linkages والذي يهاجم الروابط الداخلية لسلسلة النيكلوتيدات.

- إذا كانت سلسلة النيكلوتيد هذه فراديه فان الأنزيم يقطع السلسلة إلى قطعين.

البلمرة د ن أ في الأوساط الغذائية

In vitro D/A polymerization

تتطلب عدة جزئياتٍ من المواد العضوية وتكون ضرورية للتفاعل وهى:

- دوكسى نيكلوسيد ثلاثى الفوسفات Deoxynucleoside Triphosphate

وهى متشابهه تماما بنيكلوتيدات أحادية الفوسفات

Deoxynucleotide monophosphate (d AMP, d CMP, d GMP)

وبإضافة جزئين من مجموعة الفوسفات اليها ينتج (d ATP, d CTP, d GTP)

نيكوتيدات ثلاثية الفوسفات.

- عديدة النيكلوتيدات مع نهاية 3`-OH

Polynucleotide chains with 3`-OH ends

وعديد من أشرطة DNA تسمى أساسيات الأشرطة Primer strands

- شريط الطبع أو القالب Template strands

جميع النشاطات الهامة لبوليمر د ن أ تحتوى على صفات خاصة وهى أضافه نيكلوتيدات إلى الشريط البدائى أو الأصلى primer strands

- فى حالة البلمرة فى الأوساط الغذائية ألفا (ب) فوسفات لنيكلوسيد ثلاثى الفوسفات يكون ٣١، ٥١ رابطة ثنائية فوسفارية مع مجموعة حرة من 3`-OH أثناء نمو سلسلة النيكلوتيد.

وجزئ البيروفوسفاتيز (P ~ P) فهو تلقائيا ينتج عن طاقة عالية "high" "bond" (~) or "energy" بمعنى أنه عند تحلل البيروفوسفاتيز ينتج عنه جزيئان من الفوسفات مع تحرير طاقة والذي تؤدى إلى استكمل البلمرة لـ د ن أ.

وتكون دائما الإضافة في تجاه ٥/ - ٣/ وموقع الإضافة في نهاية الموقع ٣/

ومما سبق يتضح أن تناسخ د ن أ يتطلب الآتى:

- أنزيمات لفك الحلزون المزدوج.
- تخليق خيوط البادئ الأولى.
- أنزيمات للاستطالة وتتطلب أنزيم البلمرة III والذي يعمل مع أنزيمات أخرى. ويلزم أن يسبق عملية الاستطالة فكا مستمرا للحزون واستقرارا لحالة الانشطار بواسطة بروتينيات لفك.
- أنزيم الاسترخاء والذي يعمل على إزالة اللفائف الناتجة ويتحاشى التشبك الكروموسومى.
- تفاعل تخليق قطع والالتحام الذى يتأثر بأنزيم البلمرة د ن أ ١ والليجيز ل د ن أ وأنزيمات أخرى لتصحح وتلحم معا قطع أوكازاكى المخلقة بجهاز التناسخ.

حمض ريبونيكلك أسد (ر ن. أ)
Ribonucleic acid (RNA)

- معظم الخلايا ذات الأنوية البدائية والحقيقية تحتوى على حامض نووى غير DNA ويسمى RNA حمض ريبونيكلك اسد (ر ن أ).
- فى بعض الفيروسات لا تحتوى على المادة الوراثية DNA ولكن تحتوى فقط على RNA وبذلك يكون هناك ريبونيكلك وراثي مثل DNA وأخر غير وراثي وبذلك ينقسم RNA (ر ن أ) إلى قسمين:

أحدهما:

أ) حمض ريبونيكلك وراثي Genetic RNA
ب) حمض ريبونيكلك غير وراثي Non Genetic RNA

(أ) حمض ريبونيكلك الوراثي Genetic RNA

- يوجد هذا النوع من الحامض الوراثي في كثير من الأنواع الفيروسية النباتية وأنواع فيروسية حيوانية مثل فيروس الأنفلونزا، وفيروسات الفم والقدم وغيرها من الفيروسات الحيوانية.
- يتكون هذا الحامض من عدد من النيكلوتيدات حوالي ٤ تسمى ribonucleotides ذلك واحدة نيكلوتيد تحتوى على سكر (ribose) ومجموعة الفوسفات وقاعدة نتروجينية.
- القاعدة انتروجينية هى الادنين - الجوانين (البيورين) السيتوزين - اليوراسيل (البيرميد ين) توجد أربعة صور من النيكلوتيد سابحة في السائل النووي وكن بصورة ريبونيكوسيد ثلاثي الفوسفات

Triphosphates of ribonucleosides

مثل اوتيوزين ثلاثى الفوسفات

Guanosine Triphosphate (GTP), Adenosine tripphosphate (ATP) cytidine Triphosphate (CTP) and uridine Triphosphate (UTP).

تركيب جزيئ ر ن ا Molecular structure of RNA

- يتكون الشريط الفردي من ر ن أ والموجود فى النواة على أساس أنه مادة وراثية في فيروسات النبات والحيوان. من عديد من النيكوتيدات polynucleatides والذى يحتوى على عدد كبير من ريبونيكلوتيد.

- يرتبط الريبوز + حمض الفوسفوريك في النيكلوتيد بواسطة روابط ثنائيـــة الفوســفات phosidester bonds.

ب) حمض ريبونيكلك غير وراثي Non Genetic RNA

وهذا النوع من الحامض النووى موجود فى الخلايا حقيقية النواة وهو ليس المادة الوراثية فى الخليـــة ولكن من الأساسيات فى تكوين الأنواع المختلفة للبروتينات

تناسخ ريبونيكلك الوراثي Replication of genetic RNA

- تناسخ RNA الوراثي للفيروسات نباتية أو الحيوانية يكـون ذاتيـا Self - replication ويسمى ريبونيكلك اساسي وريبونيكلك مخلق RNA-dependent RNA synthesis
- وظيفة ريبونيكلك الفيروس يعمل على أنه ريبونيكلك مسافر as a messenger RNA والذى يكـون مصاحبا أو عاملا مع الجهاز الريبوسومى فى العائل وفى تخليق كل من أنزيمات البلمرة للريبونيكك ر ن أ RNA polymerase enzyme والضرورى فـــى تخليـــق RNA والبروتين الخاص بتغليف الفيروس.
- ويعمل فيروس RNA على أساس أنه قالب أو طابع Template فى تخليق سلسلة ريبونيكلك المتممة أو المكملة لتكوين شريطين من ريبونيكلك أى تضاعف.
- قد ترتبط سلسلة RNA مع أخرى من DNA ويعمل RNA فى نسخة المعلومات الوراثية وترجمتها.

مقارنة بين كل من مادة DNA و RNA

الرقم	الفرق	DNA	RNA
١.	المكان	غالباً فى النواة	غالباً في السيتوبلازم والبعض فى النواة موجود في النوية
٢.	الشكل	ثنائي الأشرطة حلزونيا	أحادى الأشرطة وليس حلزونيا
٣.	فوسفات	حمض الفوسفوريك	حمض الفوسفوريك
٤.	بريميدنات	ثيامين ، سيتوزين	سيتوزين ، يوراسيل
٥.	بيرين	ادنين ، جوانين	ادنين ، جوانين
٦.	الأهمية	تلعب دورا هاما في التحكم الوراثـــــي والطفرات الوراثية والتحكم في معظم العمليات الحيوية في معظم العمليات الحيوية بالخلية	تكون مادة وراثية كما في بعض الفيروسات. وتكون مادة غير وراثية في الحيوانات والفقاريات العليا وتعمل على الهيمنة في تكوين البروتين فى الخلية
٧.	السكر	٢- ديزوكس ريبوز	الريبوز
٨.	الاتحاد بين كل من السكر + الفوسفات + القواعد النتروجينية	هذا الاتحاد واحد في كل منهما	الاتحاد واحد
٩.	التركيب الجزيئى	A-T G-C	A-C G-U