

تركيب جزيء د ن أ

DNA Structure

قبل أن نتطرق إلى تركيب جزيء د ن أ (الخلزون المزدوج) يجدر بنا أولاً أن نتعرف على المكونات الكيميائية للأحماض النووية بنوعها د ن أ ، ر ن أ نظراً للأوار الرئيسية التي تقوم بها في حفظ المادة الوراثية ونقلها من جيل إلى جيل .

تعد الأحماض النووية من الجزيئات الكبيرة الحجم نسبياً وذات أهمية بيولوجية قصوى . تحتوى معظم الكائنات الحى على كميات متفاوتة من الأحماض النووية بنوعها د ن أ و ر ن أ فى حين توجد بعض الفيروسات لا يوجد بها الا د ن أ . والبعض الأخر لا يحتوى إلا على ر ن أ فقط .

يعتبر د ن أ المخزن الرئيسى للمعلومات الوراثية وكما سيأتى بعد فإن لهذا الجزيء القدرة على التكاثر (التكرار الذاتى Self-replication) . يتم نسخ Transcription المعلومات الموجودة فى جزيء د ن أ إلى نسخ Copies من د ن أ الذى يحتوى تتابع نيوكليوتيداته على الشفرات « الثلاثية الأحرف » الخاصة بتتابع الأحماض الأمينية عندما يتم بناء البروتينات فى عملية تعرف بالترجمة Translation لهذه الشفرات . يطلق على تتابع أو تدفق هذه الأحداث البيولوجية الهامة اسم المبدأ المركزى Central Dogma ويمكن تلخيصها كالاتى :

Replication



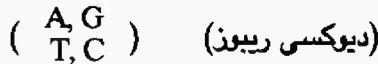
حيث يشير السهم الدائري حول د ن أ إلى قدرته على التضاعف الذاتى فى حين يتم نسخ جزيء ر ن أ. على قالب من د ن أ ويتم عملية بناء البروتين تحت ادارة تتابع القواعد (الشفرات) فى جزيء د ن أ التى يقال لها أنها تترجم الى تتابع مقابل من الأحماض الامينية التى يتم ربطها على الريبوسوم بروابط ببتيدية .

يوجد د ن أ فى الكائنات مميزة النواة داخل النواة فى حين يتكون ر ن أ فى النواة ثم يمر منها الى السيتوبلازم حيث يتم بناء البروتين على الريبوسومات .

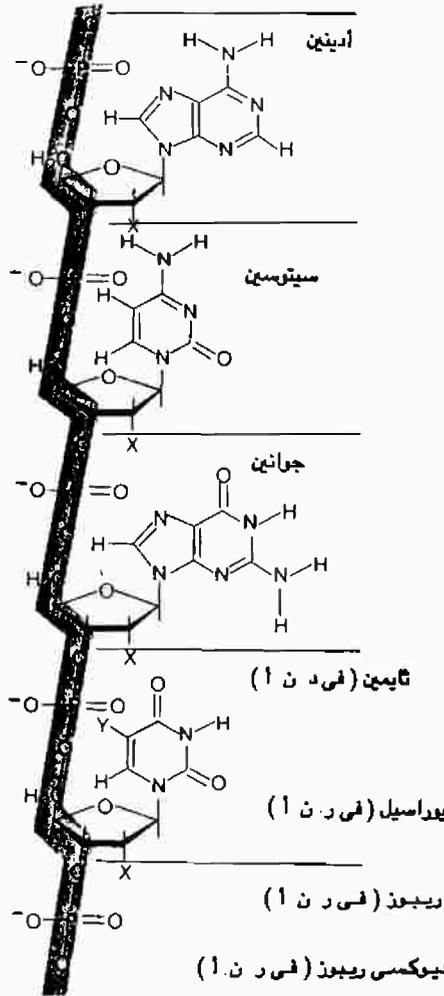
يتكون جزيء الحامض النووى من سكر خماسى (ريبوز فى حالة ر ن أ ، ديوكسى ريبوز فى حالة د ن أ) وحامض فوسفوريك وقواعد نيتروجينية من نوع البيورين (أدينين A ، جوانين G) وهى ثنائية الحلقة أو البيريميدين (أحادية الحلقة) : (سيتوسين C و ثايمين T أو يوراسيل فى حالة ر ن أ U) .

يؤدى التحليل المائى الكامل لجزيء د ن أ. (أور ن أ) إلى :

د ن أ ————— سكر خماسى + قواعد نيتروجينية + حامض فوسفوريك



يتكون جزيء الحامض النووى من متعدد خطى من الوحدات البنائية الأساسية التى يطلق على كل منها نيوكليوتيدة Nucleotide ترتبط مع بعضها بروابط فوسفو استيرية ثنائية Phosphodiester bond الشكل ١ - ١ . تصل هذه الرابطة ذرة كربون رقم 5' فى السكر الخماسى للنيوكليوتيدة بذرة الكربون رقم 3' فى السكر الخماسى للنيوكليوتيدة التالية لها . وعلى ذلك فإن الهيكل الأساسى للحامض النووى د ن أ يتكون من تعاقب السكر الخماسى مع حامض الفوسفوريك فى حين تتصل القواعد النيتروجينية بهذا السكر الخماسى برابطة جليكوسيدية كما فى الشكل ١ - ١ .



الشكل (١)؛

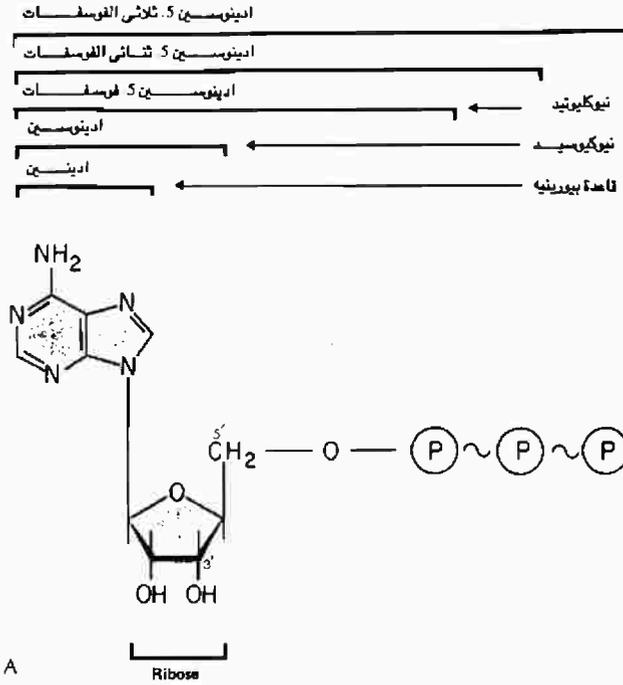
رسم يمثل جزء من سلسلة حامض نووي مفردة يبين النيوكلييدات ومكوناتها كما يظهر الهيكل الأساسي المكون من السكر والفوسفات .

يتضح من هذا الشكل أن حامض الفوسفوريك في جزئ د ن أ يستخدم مجموعتين حمضيتين فقط في تكون الرابطة الأستيرية الثنائية بينما تبقى المجموعة الحمضية الثالثة حرة مما يكسب الحامض النووي الخواص الحمضية وبذلك يتمكن جزئ د ن أ من تكوين روابط أيونية مع البروتينات القاعدية (الهستونات) . كما أن وجود هذه المجموعة الحمضية الحرة تتسبب في أن الحامض النووي يكون قابلاً للصبغ بسهولة بالصبغات القاعدية . Basophilic

يلخص الجدول ١ - بعض الفروق الرئيسية في التركيب الكيماوي بين د ن أ، ر ن أ

ر ن أ	د ن أ	الموقع
في السيتوبلازم أساسا وفي النوية	في النواة أساسا	السكر الخماسي
ريبوز	ديوكسي ريبوز	القواعد البيريميدينية
سيتوسين (C)	سيتوسين (C)	القواعد البيورينية
يوراسيل (U)	ثيمين (T)	
أدينين (A)	أدينين (A)	
جوانين (G)	جوانين (G)	
صبغات basophilic مع المعاملة	فولجين	التفاعل الكيماوي
بانزيم ريبونيكلييز Ribonuclease		الأنزيم المحلل مائيا
RNase	DNase	نوره في الخلية
بناء البروتين	المادة الوراثية	الوزن الجزيئي
منخفض نسبيا	مرتفع جدا	

قد يفيد هنا ذكر بعض المصطلحات الأساسية . يطلق على الوحدة البنائية المكونة من السكر الخماسي وحمض الفوسفوريك واحدى القواعد النتروجينية الاربعة اسم نيوكليوتيدة Nucleotide واذا نزع حامض الفوسفوريك يطلق عليها Nucleoside واذا نزع حامض الفوسفوريك + السكر تبقى القاعدة الأزوتية كما في الشكل ١-٢.



الشكل ٢٥١ :

تركيب ATP ومكوناته . يلاحظ وجود رابطتين فوسفوريتين غنيتين في الطاقة .

قاعدة Charagaff لتزاوج القواعد النتروجينية :

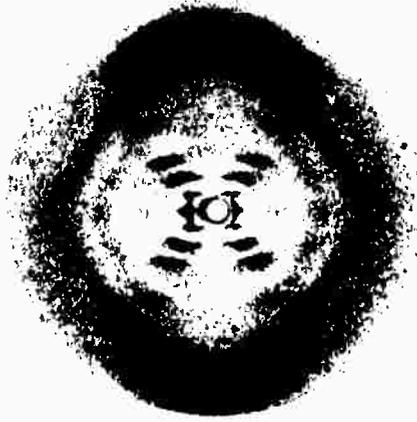
قام شاراجاف عام ١٩٤٩ - ١٩٥٢ بتحليل محتوى جزئ د ن أ من القواعد النتروجينية في عدد كبير من الكائنات الحية المختلفة (الجدول ١ - ٢) وقد وجد أن القواعد الأربعة لا توجد بكميات متساوية كما أن نسبتها تختلف من نوع من الكائنات الى النوع الآخر مما أدى إلى الاعتقاد بأن تتابع القواعد النتروجينية في جزئ د ن أ أكثر أهمية من كمياتها أو مقدارها في تحديد خصائصها الوراثية . كما أثبتت نتائج شاراجاف أيضا أن نسب القواعد النتروجينية الأربعة ليست عشوائية على الإطلاق حيث تبين أن كمية الأدينين (A) في جميع العينات تساوي كمية الثايمين (T) في حين تساوت كمية السيتوسين (C) مع كمية الجوانين (G) . وقد ساعدت هذه القاعدة البيولوجية الهامة في فهم التركيب الثلاثي الأبعاد لجزئ د ن أ في الطلزون المزدوج كما سيأتي بعد .

جدول ١ - ٢ البيانات التي أدت الى استنباط قاعدة شاراجاف .

نسب القواعد					مصدر د ن أ
$\frac{\text{Purine}}{\text{Pyrimidine}}$	G/C	A/T	T/C	A/G	
١,١٠	١,٠٠	١,٠٤	١,٤٣	١,٢٩	الثور
١,٠	١,٠٠	١,٠٠	١,٧٥	١,٥٦	الإنسان
٠,٩٩	٠,٩١	١,٠٦	١,٢٩	١,٤٥	الدجاجة
١,٠٢	١,٠٢	١,٠٢	١,٤٣	١,٤٣	سمك السلمون
٠,٩٩	٠,٩٧	١,٠٠	١,١٨	١,٢٢	نبات القمح
١,٠٠	١,٢٠	١,٠٣	١,٩٢	١,٦٧	فطر الخميرة
١,٠٠	٠,٩١	١,٠٧	١,٥٤	١,٧٤	فيروس الانفلونزا
١,٠٠	٠,٩٩	١,٠٩	٠,٩٥	١,٠٥	بكتريا القولون (K ₂)
١,١٠	١,٠٨	١,٠٩	٠,٤٠	٠,٤٠	البكتريا السبحية لدرن النجاج

نموذج الحلزون المزدوج لجزء د ن أ DNA Double Helix

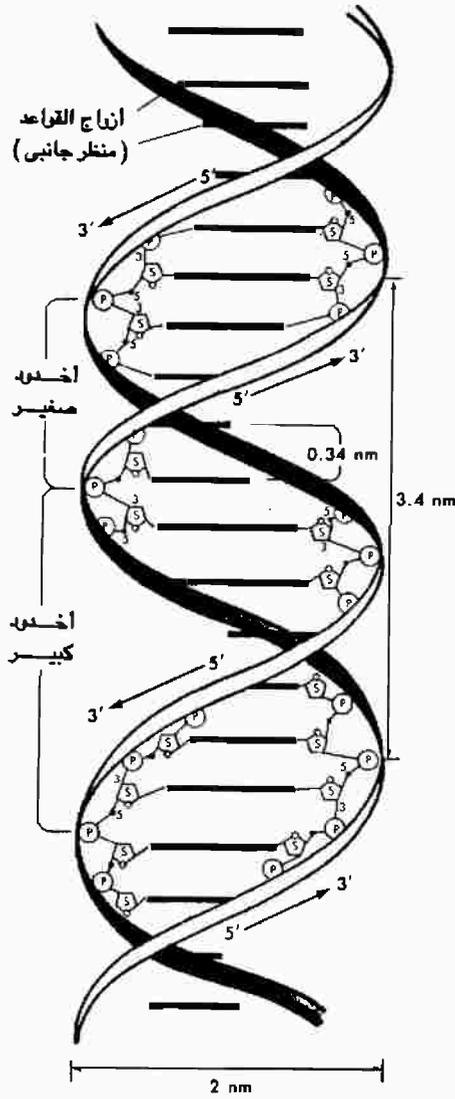
اهتم العلماء بتحليل صور انحراف أشعة X لجزئيات د.ن.أ. والتي قام بها Wilkins R. and Franklin في الفترة من ١٩٥٠ - ١٩٥٢ (الشكل ١ - ٣) . وقد أظهرت هذه الصور طرزا معينة منتظمة أدت بالعلماء الى التكهّن بأن جزئ د ن أ ليس فقط حلزوني التركيب بل أهم من ذلك أنه يتكون من أكثر من سلسلة واحدة من متعدد النيوكليوتيدات ، قد تكون اثنتين أو ربما ثلاثة سلاسل . في نفس الوقت أمكن تحديد الروابط الفوسفواسيتيرية الثنائية التي تربط بانتظام بين النيوكليوتيدات في سلسلة د ن أ كما كان لقاعدة شاراجاف اهمية كبيرة في التوصل إلى معرفة العلاقة بين القواعد التتروجينية في جزئ د ن أ ذو التركيب الحلزوني المزدوج . أدى ذلك وغيره من الأبحاث إلى اعلان واتسون وكريك Crick عام ١٩٥٣ عن نموذج الحلزون المزدوج لتفسير تركيب جزئ د ن أ بحيث توفرت في هذا النموذج الخواص والشروط المطلوبة للمادة الوراثية .



الشكل ٣-١ :

صورة انحراف الأشعة السينية بجزئ د ن أ يدل الطراز المتقاطع في الوسط على أن الجزئ يأخذ شكل اللوالب أو الحلزون بينما تدل المناطق الكثيفة في قمة وقاعدة الصورة على أن القواعد البيرييميدينية والبيورينية بسمك (A°) 34 وتتراص بانتظام متجاورة ومتعامدة على محور الحلزون .

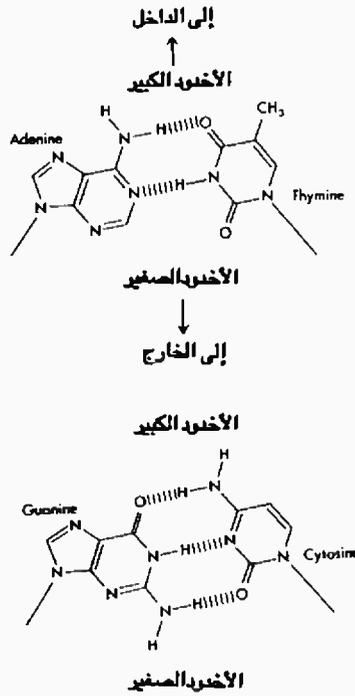
يتكون جزئ د ن أ حسب هذا النموذج من سلسلتين متكاملتين من متعددات النيوكلييدات ملتفة أو متحلزنة كل حول الأخرى بانتظام في شكل لوالب مزدوج يميني الاتجاه (الشكل ٤-١). تتكون كل سلسلة في هذا الحلزون من عديد من النيوكلييدات المرتبطة بروابط فوسفواستيرية ثنائية بين السكر والفوسفات كما سبق القول في حين ترتبط القواعد النتروجينية بالسكر برابطة جليكوسيدية وتكون متعامدة على المحور الأساسي للجزئ وموجودة إلى الداخل بحيث تتقابل القواعد النتروجينية من إحدى السلسلتين مع القواعد المكمل لها في السلسلة المقابلة حسب قاعدة شاراجاف ($A = T, C = G$) . وجد أن القواعد النتروجينية تكون مفلحة واسطحها كارهة للماء مما يجعلها تتلاصق بقوى يطلق عليها قوى التراص *Stacking forces* . ترتبط القواعد المتقابلة بين السلسلتين بروابط هيدروجينية بحيث ترتبط G مع C بثلاث روابط هيدروجينية في حين ترتبط A مع T برابطتين فقط (الشكل ٥-١).



الشكل (٤-١) :

نموذج الحلزون المزدوج . يظهر الهيكل الفوسفوري الثلاثي كشرط في حين تتراص القواعد النيتروجينية المفلطحة فوق بعضها متعامدة على المحور الطويل للحلزون وتمثل هنا كخطوط أفقية . ويلاحظ أن السلسلتين متضادتي الاتجاه :

P = مجموعة فوسفات S = سكر .

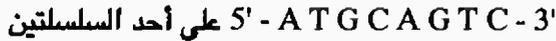


الشكل (٥١) :

الروابط الهيدروجينية التي تربط بين القواعد المتكاملة في جزئ د ن أ .

وجد أن هذه التزاوجات بين القواعد هي الوحيدة الممكنة نظرا لأن تقابل قاعدتين من نوع البيورين (ثنائية الحلقة كبيرة الحجم نسبيا) سيحتل فراغا كبيرا بحيث لايسمح بتكوين حلزون منتظم ومن جهة أخرى سيؤدي تقابل قاعدتين من نوع البيريميدين معا الى شغل فراغ صغير نسبيا مما يؤدي الى خلخلة غير مرغوبة في الحلزون .

يؤدي التقيد بقاعدة تزاوج القواعد هذه Base Pairing Rule الى وجود علاقة تكامل صارمة بين تتابع القواعد بين السلسلتين في الحلزون المزدوج . فمثلا إذا كان لدينا التتابع :



فنجد : $3' - T A C G T C A G - 5'$ على السلسلة المقابلة .

يترتب على حتمية التزاوج بين A , G , T , C أنه لا بد أن تكون الروابط الفوسفواسنتيرية الثنائية للسلسلتين موجهة في اتجاهين متضادين Antiparallel وعلى ذلك فإن الحلزون المزدوج اذا إنقلب بواقع ١٨٠° فإنه سيبدو ظاهريا مطابق للحلزون الأصلي (الشكل ١ - ٤) .

تبين أن الروابط الجليكوسيدية التي تربط القواعد بالسكر لاتكون مواجهة لبعضها البعض بالضبط مما يؤدي الى أن الهيكل الأساسي (سكر - فوسفات) لسلسلتى الحلزون المزدوج لا يكونان على مسافات متساوية من محور الحلزون وبذلك يكون الأخدودان المتكونان على طول المحور الأساسي غير متساويان في الحجم (العمق) (شكل ١ - ٤ ، ١ - ٥) ، فيتكون اخدود عميق يسمى الأخدود الكبير أو الرئيسي Major groove بالتناوب مع أخدود أقل عمقا يسمى الأخدود الصغير Minor groove .

تكون أرضية الأخدود الكبير مملوءة بذرات النتروجين والاكسوجين التي تخص أزواج القواعد التي تعلوه والتي تمتد الى الداخل من الهيكل الأساسي الخاص بها . وعلى العكس من ذلك نجد أن أرضية الأخدود الصغير تكون مملوءة بذرات النتروجين والاكسوجين للقواعد والتي تمتد الى الخارج في اتجاه الهيكل الأساسي .

وقد تبين أن امكانات حدوث روابط هيدروجينية في الأخدود الكبير تؤدي الى امكان زيادة الإعتقاد عليه في التعرف على تتابع القواعد في جزئ د ن أ عما في الأخدود الصغير .

وقد أدت هذه الحقيقة إلى التكهّن بأن بعض البروتينات المتخصصة (مثل البروتين المثبط Repressor أو المحفز Promotor) التي تتفاعل وترتبط مع تتابعات معينة على جزئ د ن أ عن طريق تكوين روابط هيدروجينية مع مجاميع معينة توجد على الأغلب في الأخدود الكبير .

بعض خواص جزئ د ن أ.

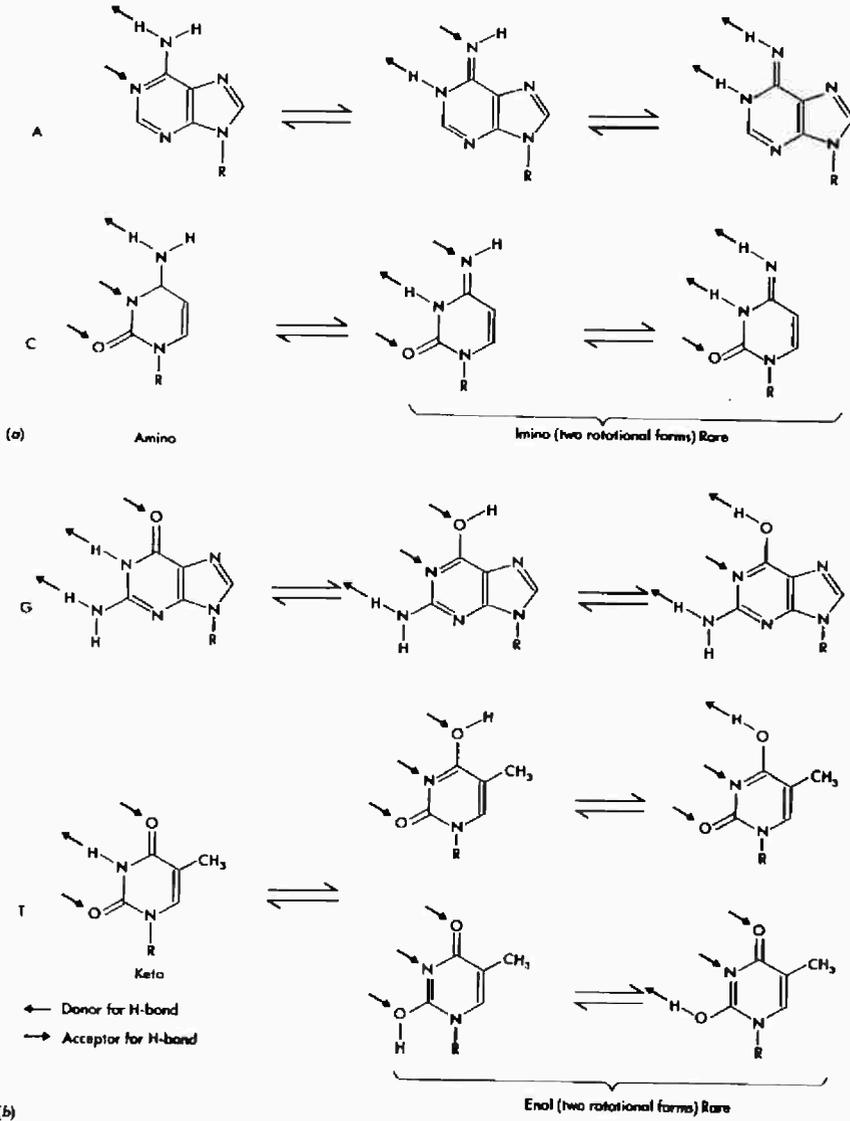
ثبات التناظر : Stability of Tautomeric form

تبين أن ذرات الهيدروجين المرتبطة بالاكسوجين أو النيتروجين في القواعد البيورينية أو البيريميدينية تفضل صورا ارتباطية معينة كما تميل إلى البقاء في أماكن معينة ولا تنتقل بين ذرات الاكسوجين أو النتروجين في تلك القواعد إلا في حالات نادرة ويقال في هذه الحالة أن تلك الذرات ثابتة أو مستقرة التناظر Tautamerically stable ؛ حيث يكون الوضع الطبيعي أن يكون النتروجين في الصورة الأمينية (NH₂) Amino form بينما الوضع النادر تكون في

الصورة الإيمينية (NH) Imino form كما في الشكل (٦-١) ، كما أن ذرة الأكسوجين المرتبطة بذرة C_6 في الجوانين والثايمين تكون عادة في الصورة الكيتونية (C = O) Keto form ونادرا ماتأخذ الشكل الاينولى (COH) enol . ويعد هذا الثبات أو الاستقرار مهما جدا حتى يمكن لجزئ د ن أ أن يقوم بوظائفه البيولوجية بصورة منتظمة . فلو كانت ذرات الهيدروجين حرة الحركة وليست ثابتة في مواقعها هذه لأصبح من الشائع أن تتمكن قاعدة الأدينين (A) من التزاوج مع قاعدة السيتوسين (C) في حين تتزاوج قاعدة الجوانين (G) مع الثايمين (T) . وسوف يؤدي ذلك الى اختلال في تتابع القواعد بين السلسلتين بحيث تفقد صفة التكامل الأساسية ، وبالتالي يفقد جزئ د ن أ أهم خاصية من خصائصه وهي القدرة على التناسخ الذاتي Self replication بدون أخطاء . إذ أنه لو سمح للصور النادرة أن تزداد فسيؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة وغير مرغوبة في الأخطاء (الطفرات) مما يؤثر سلبا على نمو وانقسام الخلية .

الذنترة واعادة الاتحاد : Denaturation and Annealing

من الخصائص الهامة لجزئ د ن أ قدرة السلسلتين الداخلتين في تركيبه على الانفصال والابتعاد عن بعضهما تحت ظروف معينة فيما يعرف بعملية الذنترة Denaturation وذلك عند تعريض الطزون المزنوج لدرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الفسيولوجية (أي حوالي $100^{\circ}M$) ويحدث ذلك نتيجة لكسر الروابط الهيدروجينية ، وهي روابط ضعيفة وسهلة الكسر بطبيعتها ، والتي تربط أزواج القواعد في السلسلتين . ونتيجة لارتباط G , C بثلاث روابط هيدروجينية فإنه يلزم في حالة الجزينات الغنية في نسبة القواعد G , C درجة حرارة أعلى من تلك التي ترتفع فيها نسبة AT حيث أن الأخيرة تكون مرتبطة برابطتين فقط . أي أن درجة حرارة الذنترة (ويطلق عليها نقطة الإنصهار T_m) (الشكل ٧-١) تعتمد على نسبة $G + C / A + T$ بحيث ترتفع بزيادة هذه النسبة . وإذا تم التبريد البطئ لجزئ د ن أ المذنتر فإن السلسلتين المتكاملتين سيعاد اتحادهما حيث تسمى هذه العملية Anealing أو Renaturation وتتجاذب أزواج القواعد وترتبط بروابط هيدروجينية حسب قاعدة شاراجاف وبذلك يستعيد الجزئ التركيب الطزوني الأصلي .

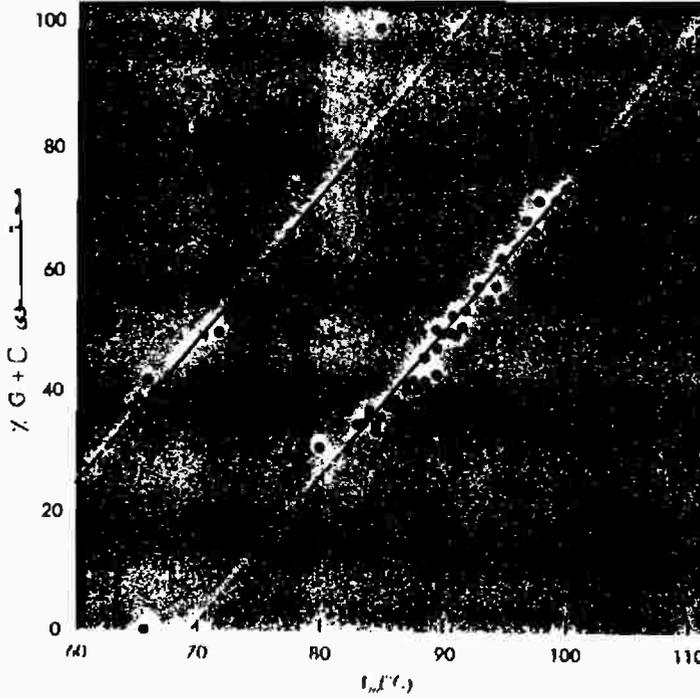


الشكل (٦-١):

صور التناظر التوتاميرية في القواعد النيتروجينية :

١ - القواعد A , C تكون عادة في الصورة الأمينية (Amino) ولكنها نادرا ما تأخذ الصورة الإيمينية (Imino) .

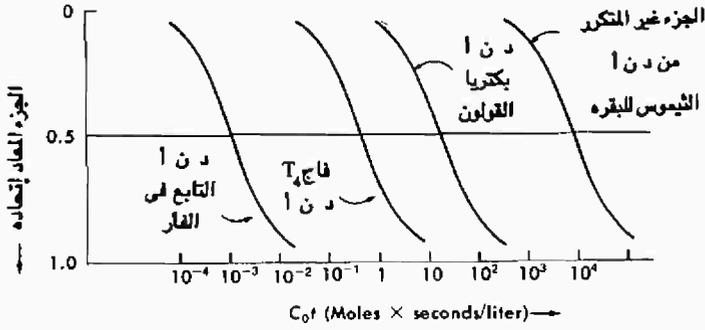
ب - القواعد G , T تكون عادة في الصورة الكيتونية ولكن نادرا ما تأخذ الصورة الإينولية .



الشكل (٧-١):

اعتماد عملية ننترة د ن أ على محتوى الجزئى من القواعد G + C إذ كلما زادت كمية G + T كلما ارتفعت درجة حرارة الننترة اللازمة لانفكاك سلسلتى د ن أ عن بعضها .

تعد خاصية إعادة الإتحاد ذات فائدة كبيرة فى البيولوجيا الجزيئية ويبين الشكل ٨ - ١ كيفية استخدام هذه الخاصية لتقدير حجم الجينوم (عدد النيوكليوتيدات) لكائن ما . وجد أنه عندما تتم عملية إعادة الإتحاد تحت ظروف قياسية فإن الجينوم الأكبر حجماً سيأخذ وقتاً أطول لإعادة الإتحاد عن الجينوم الصغير الحجم . ويرجع ذلك إلى أن تتابعات القواعد تأخذ وقتاً أطول للتوصل إلى التتابع المكمل الصحيح (إذ كلما زاد حجم الجينوم كلما زادت فرص التصادم بين التتابعات غير الصحيحة (غير المكملة) بين الجزئيات.



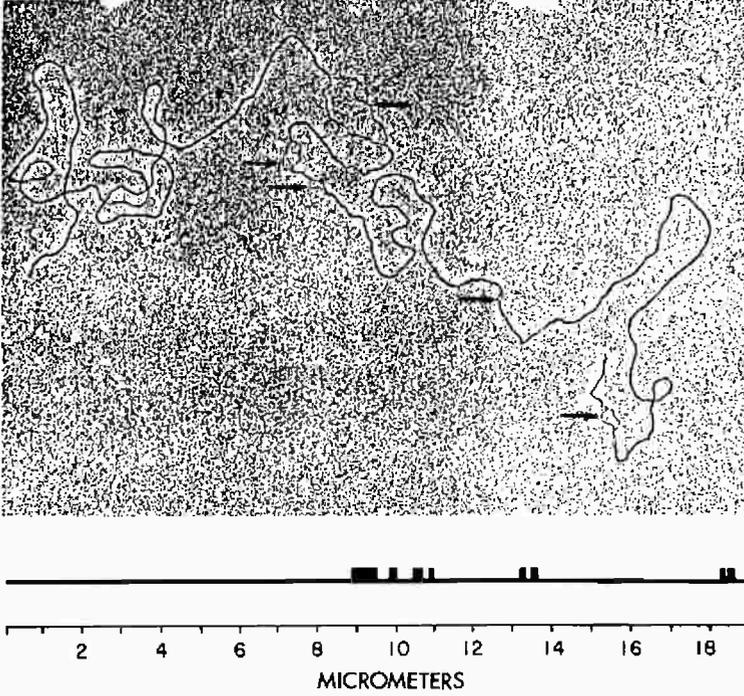
شكل (٨-١) :

منحنيات (Cot) لعملية إعادة الاتحاد في جزيئات دن أ من كائنات مختلفة. تقاس سرعة إعادة الاتحاد Renaturation بوحدات Cot (اختصار time x Conc) اللازمة للحصول على 1/2 إعادة اتحاد يحتاج الجينوم الكبير الحجم الى زمن اطول لاعادة اتحاده عن الجينوم الصغير الحجم.

أدت دراسات إعادة الاتحاد إلى اكتشاف التتابعات المتكررة في جزيء دن أ في الكائنات مميزة النواة . فعندما تكون تتابعات معينة في الجزيء عالية التكرار Highly repetitive فإن إعادة الاتحاد بينها سيكون أسرع بكثير عما في التتابعات الممثلة بنسخ وحيدة.

يمكن الحصول على هجين بين سلسلة دن أ المفردة الناتجة من الدنترة وبين سلسلة من جزيء ر ن أ المكمل لها (DNA / RNA) . وتعد عملية التهجين الجزيئي Molecular hybridization من التقنيات الهامة في معرفة العلاقات التطورية بين الأنواع على المستوى الجزيئي كما أنه يفيد جدا في معرفة مصدر ر ن أ حيث لا يتم انجذابه وتهجينه إلا مع دن أ الذي تم نسخه عليه .

يمكن أيضا الاستفادة من عملية الدنترة لجزيء دن أ في عمل خريطة مادية لجزيء دن أ فيما يعرف بعملية رسم خرائط الدنترة الجزيئية Partial denaturation mapping . تعتمد هذه التقنية على حقيقة أن المناطق الغنية في أزواج القواعد AT تنفصل كما سبق القول بمعدل أسرع وأسهل عن GC . يمكن التعرف على هذه المناطق تحت المجهر الإلكتروني على شكل عروات Loops أو فقاعات Bubbles . يمكن قياس المسافات بين العروات ونهاية جزيء دن أ كما في الشكل ٨-١ .



الشكل (٩-١) :

صورة بالمجهر الالكترونى لجزئى د ن ١ لفاج لامبدا . تشير الأسهم إلى أماكن حدوث الدنترة (التفكك) . تبين الخريطة الخطية الى اسفل التفكك الجزئى حيث تدل المستطيلات على أماكن مواقع التفكك وطولها .

الصور المختلفة لجزئى د ن أ:

ظل الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن جزئى د ن أ لا يوجد إلا فى صورة Configuration واحدة كما قدمها واتسون وكريك بمعدل دوران ثابت (36°) للحلزونة بين القواعد المتجاورة (أى عشرة أزواج من النيوكليوتيدات لكل لفة حلزونية واحدة) . وأن الشكل الهندسى للحلزون موحد ومنتظم . إلا أن التجارب اللاحقة أثبتت أن د ن أ متعدد الصور حسب تتابع القواعد فى الجزئى . يعد ذلك هاما جدا حيث يؤثر على تفاعله مع البروتينات . وقد وجد أن هناك ثلاث صور مختلفة لجزئى د ن أ أكثرها شيوعا وثباتا هو الصورة الأصلية التى قدمها واتسون وكريك والتي تعرف بالصورة B (الشكل ١٠-١ أ) وهو حلزون منتظم يمينى

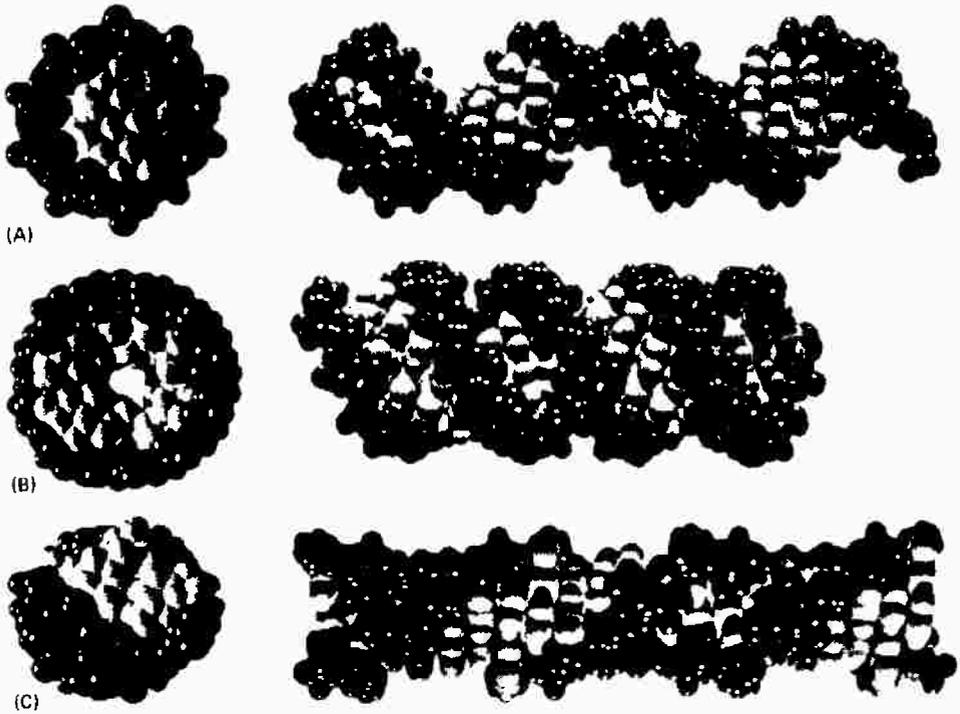
الدورة . إلى جانب ذلك توجد صورة أخرى نادرة يطلق عليها الصورة (A) يحتوى فيها الجزيئ على بعض مناطق ذات تتابعات معينة وهو يمينى الدورة أيضا إلا أن أزواج القواعد تكون منحدره أو مائلة بشدة كما تكون منزاحة نحو الخارج بالنسبة لمحور الحلزون مما يؤدي الى تكوين حلزون أقصر وأوسع عما فى الصورة B (الشكل ١٠-١ ب) . يتكون هذا النوع عادة تحت ظروف نقص الماء كما أنه الأكثر شيوعا عند تزاوج ر ن أ RNA مع ر ن أ DNA كما هو الحادث فى الأجزاء البابتة Primer فى شظايا أوكازاكي كما سيأتى بعد . ويرجع ذلك إلى أن مجموعة الهيدروكسيل فى سكر الريبوز فى جزيئ ر ن أ لاتسمح بتكوين حلزون هجين بين RNA / DNA من النوع B .

ويعد هذا هو السبب أيضا فى أن حلزون ر ن أ / ر ن أ RNA / RNA (فى دبوس الشعر Hairpin) الذى يتكون أحيانا يكون من النوع A .

يوجد نوع ثالث من ر ن أ النادر ذو حلزون يسارى الدورة يسمى الصورة (Z) (الشكل ١٢-١ ج) وهو متعرج وغير منتظم ومن هنا جاءت تسميته Z ويتميز بوجود تتابعات خاصة ويتكون تحت ظروف خاصة .

قد يكون لكل من هذه الصور النادرة دور فى التعرف على البروتينات التى ترتبط بـ ر ن أ (مثل المحفز Promotor أو المثبط Repressor) كما سيأتى بعد .

يمكن تلخيص بعض الفروق الأساسية بين الصور الثلاثة لجزيئ ر ن أ كما فى الجدول



الشكل (١٠٣):

الصور الثلاثة للحلزون المزدوج لجزئى دن أ يلاحظ أن كلا منها يحتوى على نفس العدد من أزواج النيوكليوتيدات (٢٢ نيوكليوتيدة) ويتكون كل منها من سلسلتين متضادتي الاتجاه ومرتبطة معا بروابط هيدروجينية بين القواعد المتكاملة .

(أ) الصورة B هي الأكثر شيوعا (يميني) .

(ب) الصورة A تحدث نادرا تحت ظروف الاجهاد البيئى مثل الجفاف (يميني) .

(ج) الصورة Z نادرة جدا حلزون غير منتظم (يسارى النورة) ويتكون عندما يكون تتابع القواعد نو طابع خاص غير عادى .

الجدول ١-٣: مقارنة بين بعض الخواص التركيبية لأصور د ن أ.

الصورة			المقارنة
Z	B	A	
نادر جدا	شائع	نادر	معدل حدوثه
مستطيل ورفيع	أطول وأرفع	قصير وواسع	الشكل العام
$3.8 A^\circ$	$3.32 A^\circ$	$2.3 A^\circ$	الإرتفاع بين أزواج القواعد
يسارى	يميني	يميني	اتجاه الحلزون
12	10	11	عدد القواعد لكل دورة حلزون
-60°	35.9°	33.6°	متوسط الدوران لكل زوج من القواعد
-9°	-1.2°	$+19.0^\circ$	درجة ميل القواعد بالنسبة للمحور
الأخود الكبير	خلال أزواج القواعد	الأخود الكبير	موقع محور الحلزون
مفطح على سطح	واسع ومتوسط العمق	ضيق جدا وعميق جدا	نسب الأخود الكبير
الحلزون	ضيق ومتوسط العمق	واسع جدا وضحل	نسب الإخود الصغير
ضيق جدا وعميق جدا			

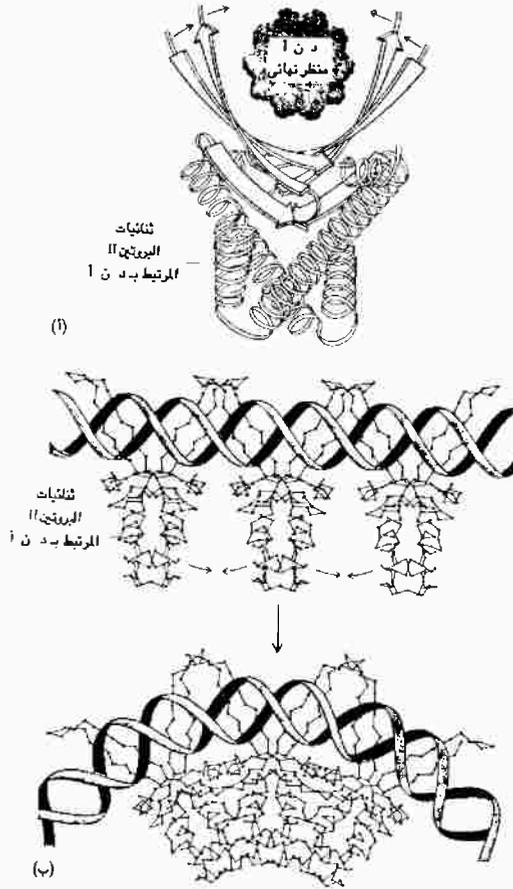
ارتباط جزيء د ن أ البكتيرى ببروتينات شبه هستونية :

ظل الاعتقاد السائد لعدة أحقاب أن جزيء د ن أ البكتيرى يكون عاريا ولا يرتبط به ، بعكس مميزة النواة ، أية بروتينات شبه هستونية بحيث لا يوجد له تركيب منضغط شبيه بـ كروماتين كروموسومات مميزة النواة .

ولكن تبين حديثا باستخدام تقنيات أكثر تقدما أن بعض المناطق من كروموسوم بكتريا القولون تنتظم فى تراكيب تشبه حبات الخرز والتي أمكن استخلاص كميات صغيرة من البروتينات القاعدية منها تشبه الهستونات . وقد يكون لذلك الارتباط علاقة بوجود مناطق منضغطة بانتظام على طول الكروموسوم البكتيرى حتى يمكنه أداء وظائفه . أمكن بلورة إحدى هذه البروتينات ويطلق عليها البروتين II المرتبط بـ د ن أ DNA-binding Protein II

وتبين أنه مكون من سلاسل بيتيدية حجمها ٩٥٠٠ دالتون ترتبط ببعضها فى ثنائيات Dimers ويمتد منها أذرع غنية فى الأرجينين لها القدرة على التفاعل مع الفوسفات فى الهيكل الأساسى لجزئى د ن أ من المرجح أن هذه الثنائيات البروتينية المتجاورة مع د ن أ فى غير مميزة النواة تقوم بتكوين تنظيم حلزونى معين مع د.ن.أ. المرتبط من الخارج كما فى الشكل (١١-١) .

ومن الجدير بالاهتمام أن متوسط درجة التحلزن الفائق (أى عدد لفات التحلزن الفائق لكل ١٠ أزواج من القواعد) يبلغ حوالى ٠.٠٥ لجميع الحلزونات الطبيعية لجزئى د ن أ سواء فى البكتريا أو فى الخلايا مميزة النواة مما يوحى بأن التركيب الكروماتينى قد يكون متشابه فى غير مميزة النواة ومميزة النواة على السواء .



الشكل (١١٣):

البروتينات شبه الهستونية II المرتبطة بجزئ D ن أ هي بكتريا القولون:

أ - تركيب البروتين الثنائي II المرتبط بجزئ D ن أ (ننظر منظور طرفي).

ب - كيف يمكن للبروتين شبه الهستوني استحداث تحلزن فائق لجزئ D ن أ لتكوين نيوكليوسومات . يعتقد بأن أذرع البروتين المرتبط تتفاعل مع D ن أ ومع بعضها البعض ، بينما التفاعلات الكهرستاتيكية في النهاية الأخرى للبروتينات تشدها لبعضها البعض مما يؤدي إلى ثني جزئ D ن أ يعتقد بأن الأمر يحتاج إلى حوالي ٨ إلى ١٥ جزيئات ثنائية بروتينية و ٨٠ إلى ١٠٠ قاعدة أزوتية لتكوين لفة من الحلزون الفائق . لا يظهر D ن أ هنا كحلزون فائق لسهولة المتابعة.