تركيب جزئ د ن أ

DNA Structure

قبل أن نتطرق إلى تركيب جزئ د ن أ (الحلزون المزدوج) يجدر بنا أولا أن نتعرف على المكونات الكيماوية للأحماض النووية بنوعيها د ن أ ، ر ن أ نظرا للأدوار الرئيسية التى تقوم بها فى حفظ المادة الوراثية ونقلها من جيل إلى جيل .

تعد الأحماض النووية من الجزئيات الكبيرة الحجم نسبيا وذات أهمية بيولوجية قصوى . تحتوى معظم الكائنات الحى على كميات متفاوتة من الأحماض النووية بنوعيها د ن أ و ر ن أ فى حين توجد بعض الفيروسات لايوجد بها الا د ن أ . والبعض الأخر لايحتوى إلا على ر ن أ فقط .

يعتبر د ن أ المخزن الرئيسى للمعلومات الوراثية وكما سيأتى بعد فإن لهذا الجزئ القدرة على التكاثر (التكرر الذاتى Self-replication) . يتم نسخ Transcription المعلومات الموجودة فى جزئ 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 كالآتى :

حيث يشير السهم الدائرى حول د ن أ إلى قدرته على التضاعف الذاتى فى حين يتم نسخ جزئ ر.ن.أ. على قالب من د ن أ وتتم عملية بناء البروتين تحت ادارة تتابع القواعد (الشفرات) فى جزئ د ن أ التى يقال لها أنها تترجم الى تتابع مقابل من الأحماض الأمينية 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 .

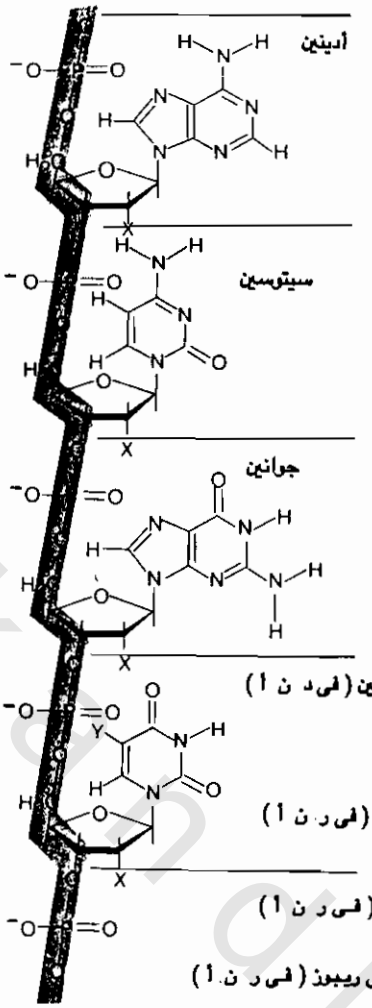
يتكون جزئ الحامض النووى من سكر خماسى (ريبوز فى حالة ر ن أ ، ديوكسى ريبوز فى حالة د ن أ) وحامض فوسفوريك وقواعد نيتروجينية من نوع البيورين (أدينين A ، جوانين G) وهى ثنائية الحلقة أو البيرميدين (أحادية الحلقة) : (سيتوسين C و ثايمين T أو يوراسيل فى حالة ر ن أ U) .

يؤدى التحليل المائى الكامل لجزئ د.ن.أ. (أو ر ن أ) إلى :

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

(ديوكسى ريبوز) ($\begin{matrix} A, G \\ T, C \end{matrix}$)

يتكون جزئ الحامض النووى من متعدد خطى من الوحدات البنائية الأساسية التى يطلق على كل منها نيوكليوتيدة Nucleotide ترتبط مع بضعها بروابط فوسفو استيرية ثنائية Phosphodiester bond الشكل ١ ـ ١ . تصل هذه الرابطة ذرة كربون رقم 5' فى السكر الخماسى للنيوكلتيدة بذرة الكربون رقم 3' فى السكر الخماسى للنيوكلتيدة 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 ـ ١.



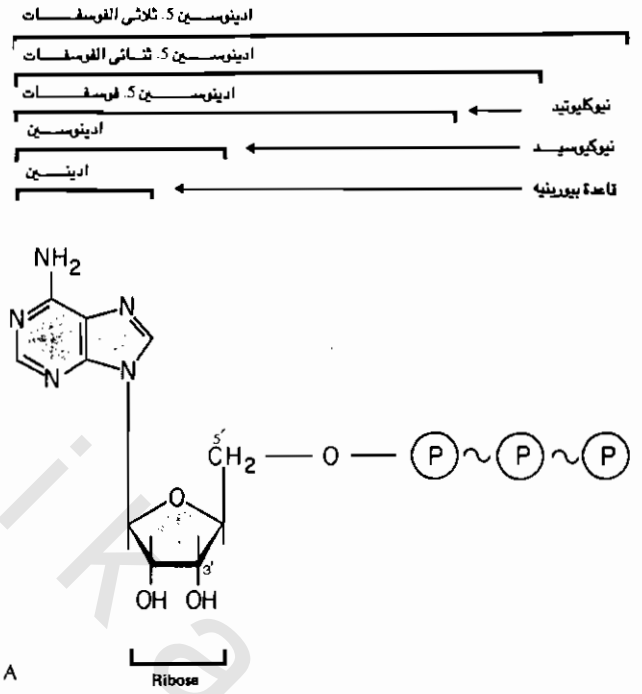
الشكل (١ـ١): رسم يمثل جزء من سلسلة حامض نووى مفردة يبين النيوكلتيدات ومكوناتها كما يظهر الهيكل الأساسى المكون من السكر والفوسفات .

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

يلخص الجدول ١ ـ ١بعض الفروق الرئيسية فى التركيب الكيماوى بين د ن أ، ر ن أ

	د ن أ	ر ن أ
الموقع	فى النواة أساسا	فى السيتوبلازم أساسا وفى النوية
السكر الخماسى	ديوكسى ريبوز	ريبوز
القواعد البيرميدنية	سيتوسين (C)	سيتوسين (C)
	ثيمين (T)	يوراسيل (U)
القواعد البيورينية	أدينين (A)	أدينين (A)
	جوانين (G)	جوانين (G)
التفاعل الكيماوى	فولجين	صبغات basophilic مع المعاملة بانزيم ريبونيكليز Ribonuclease
الأنزيم المحلل مائيا	DNase	RNase
دوره فى الخلية	المادة الوراثية	بناء البروتين
الوزن الجزيئى	مرتفع جدا	منخفض نسبيا

قد يفيد هنا ذكر بعض المصطلحات الأساسية . يطلق على الوحدة البنائية المكونة من السكر الخماسى وحامض الفوسفوريك واحدى القواعد النتروجينية الأربعة اسم نيوكليوتيدة Nucleotide واذا نزع حامض الفوسفوريك يطلق عليها Nucleoside واذا نزع حامض الفوسفوريك + السكر تتبقى القاعدة الأزوتية كما فى الشكل ١ـ٢.



الشكل ١ـ٢ :

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

قاعدة Charagaff لتزاوج القواعد النتروجينية :

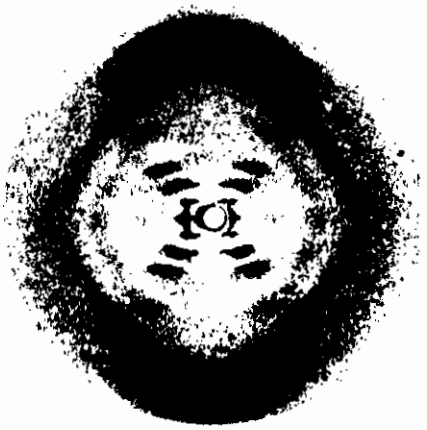
قام شاراجاف عام ١٩٤٩ ـ ١٩٥٣ بتحليل محتوى جزئ د ن أ من القواعد النتروجينية فى عدد كبير من الكائنات الحية المختلفة (الجدول ١ ـ٢) وقد وجد أن القواعد الأربعة لاتوجد بكميات متساوية كما أن نسبها تختلف من نوع من الكائنات الى النوع الآخر مما أدى إلى الاعتقاد بأن تتابع القواعد النتروجينية فى جزئ د ن أ أكثر أهمية من كمياتها أو مقدارها فى تحديد خصائصها الوراثية . كما أثبتت نتائج شاراجاف أيضا أن نسب القواعد النتروجينية الأربعة ليست عشوائية على الاطلاق حيث تبين أن كمية الأدنين (A) فى جميع العينات تساوى كمية الثايمين (T) فى حين تساوت كمية السيتوسين (C) مع كمية الجوانين (G) . وقد ساعدت هذه القاعدة البيولوجية الهامة فى فهم التركيب الثلاثى الأبعاد لجزئ د ن أ فى الحلزون المزدوج كما سيأتى بعد .

جدول ١ ـ٢ البيانات التى أدت الى استنباط قاعدة شاراجاف .

مصدر د ن أ	نسب القواعد				
	A/G	T/C	A/T	G/C	Purine / Pyrimidine
الثور	١,٢٩	١,٤٣	١,٠٤	١,٠٠	١,١٠
الإنسان	١,٥٦	١,٧٥	١,٠٠	١,٠٠	١,٠
الدجاجة	١,٤٥	١,٢٩	١,٠٦	٠,٩١	٠,٩٩
سمك السالمون	١,٤٣	١,٤٣	١,٠٢	١,٠٢	١,٠٢
نبات القمح	١,٢٢	١,١٨	١,٠٠	٠,٩٧	٠,٩٩
فطر الخميرة	١,٦٧	١,٩٢	١,٠٣	١,٢٠	١,٠٠
فيروس الانفلونزا	١,٧٤	١,٥٤	١,٠٧	٠,٩١	١,٠٠
بكتريا القولون (K_2)	١,٠٥	٠,٩٥	١,٠٩	٠,٩٩	١,٠٠
البكتريا السبحية لدرن الدجاج	٠,٤٠	٠,٤٠	١,٠٩	١,٠٨	١,١٠

نموذج الحلزون المزدوج لجزىء د ن أ DNA Double Helix

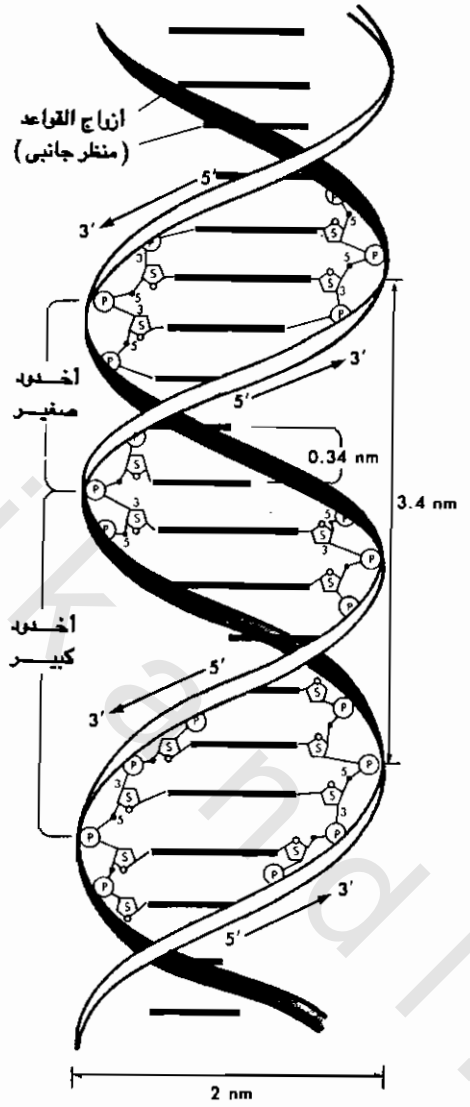
اهتم العلماء بتحليل صور انحراف أشعة X لجزيئات د.ن.أ. والتى قام بها Wilkins R. and Franklin فى الفترة من ١٩٥٠ ـ ١٩٥٢ (الشكل ١ ـ ٣) . وقد أظهرت هذه الصور طرزا معينة منتظمة أدت بالعلماء الى التكهن بأن جزئ د ن أ ليس فقط حلزونى التركيب بل أهم من ذلك أنه يتكون من أكثر من سلسلة واحدة من متعدد النيوكلتيدات ،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



الشكل ١ـ٣ :

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

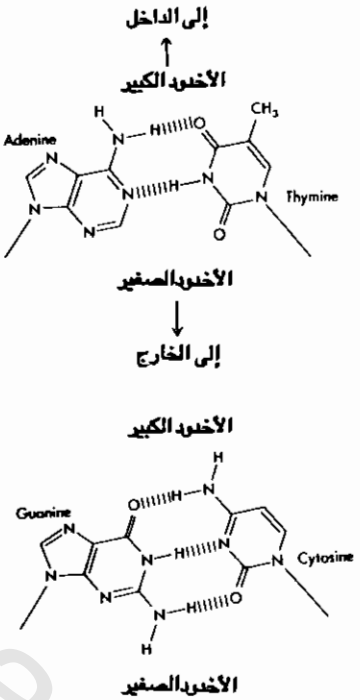
يتكون جزئ د ن أ حسب هذا النموذج من سلسلتين متكاملتين من متعددات النيوكلتيدات ملتفة أو متحلزنة كل حول الأخرى بانتظام فى شكل لولب مزدوج يمينى الاتجاه (الشكل ١ـ٤). تتكون كل سلسلة فى هذا الحلزون من عديد من النيوكلتيدات المرتبطة بروابط فوسفواستيرية ثنائية بين السكر والفوسفات كما سبق القول فى حين ترتبط القواعد النتروجينية بالسكر برابطة جليكوسيدية وتكون متعامدة على المحور الأساسى للجزئ وموجودة إلى الداخل بحيث تتقابل القواعد النتروجينية من احدى السلسلتين مع القواعد المكملة لها فى السلسلة المقابلة حسب قاعدة شاراجاف (A = T ، C = G) . وجد أن القواعد النتروجينية تكون مفلطحة 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 فى حين ترتبط A مع T برابطتين فقط (الشكل ١ـ٥).



الشكل (١ـ ٤) :

نموذج الحلزون المزدوج . يظهر الهيكل الفوسفورى الثلاثى كشريط فى حين تتراص القواعد النتروجينية المفلطحة فوق بعضها متعامدة على المحور الطويل للحلزون وتمثل هنا كخطوط أفقية . ويلاحظ أن السلسلتين متضادتى الاتجاه :

P = مجموعة فوسفات S = سكر .



الشكل (١ـ٥):

الروابط الهيدروجينية التى تربط بين القواعد المتكاملة فى جزئ د ن أ.

وجد أن هذه التزاوجات بين القواعد هى 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 سيؤدى تقابل قاعدتين من نوع البيرميدين معا الى شغل فراغ صغير نسبيا مما يؤدى الى خلخلة غير مرغوبة فى الحلزون .

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

5' - A T G C A G T C - 3' على أحد السلسلتين

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

يترتب على حتمية التزاوج بين A , T , G , C أنه لابد أن تكون الروابط الفوسفواستيرية الثنائية للسلسلتين موجهة فى اتجاهين متضادين Antiparallel وعلى ذلك فإن الحلزون المزدوج اذا إنقلب بواقع ١٨٠° فإنه سيبدو ظاهريا مطابق للحلزون الأصلى (الشكل ١ ـ ٤) .

تبين أن الروابط الجليكوسيدية التى تربط القواعد بالسكر لاتكون مواجهة لبعضها البعض بالضبط مما يؤدى الى أن الهيكل الأساسى (سكر ـ فوسفات) لسلسلتى الحلزون المزدوج لايكونان على مسافات متساوية من محور الحلزون وبذلك يكون الأخدودان المتكونان على طول المحور الأساسى غير متساويان فى الحجم (العمق) (شكل ١ـ ٤ ، ١ـ ٥) ، فيتكون اخدود عميق يسمى الأخدود الكبير أو الرئيسى Major groove بالتناوب مع أخدود أقل عمقا يسمى الأخدود الصغير Minor groove .

تكون أرضية الأخدود الكبير مملوءة بذرات النتروجين والاكسوجين التى تخص أزواج القواعد التى تعلوه والتى تمتد الى الداخل من الهيكل الأساسى الخاص بها . وعلى العكس من ذلك نجد أن أرضية الاخدود الصغير تكون مملوءة بذرات النتروجين والاكسوجين للقواعد والتى تمتد الى الخارج فى اتجاه الهيكل الأساسى .

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

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

بعض خواص جزىء د ن أ.

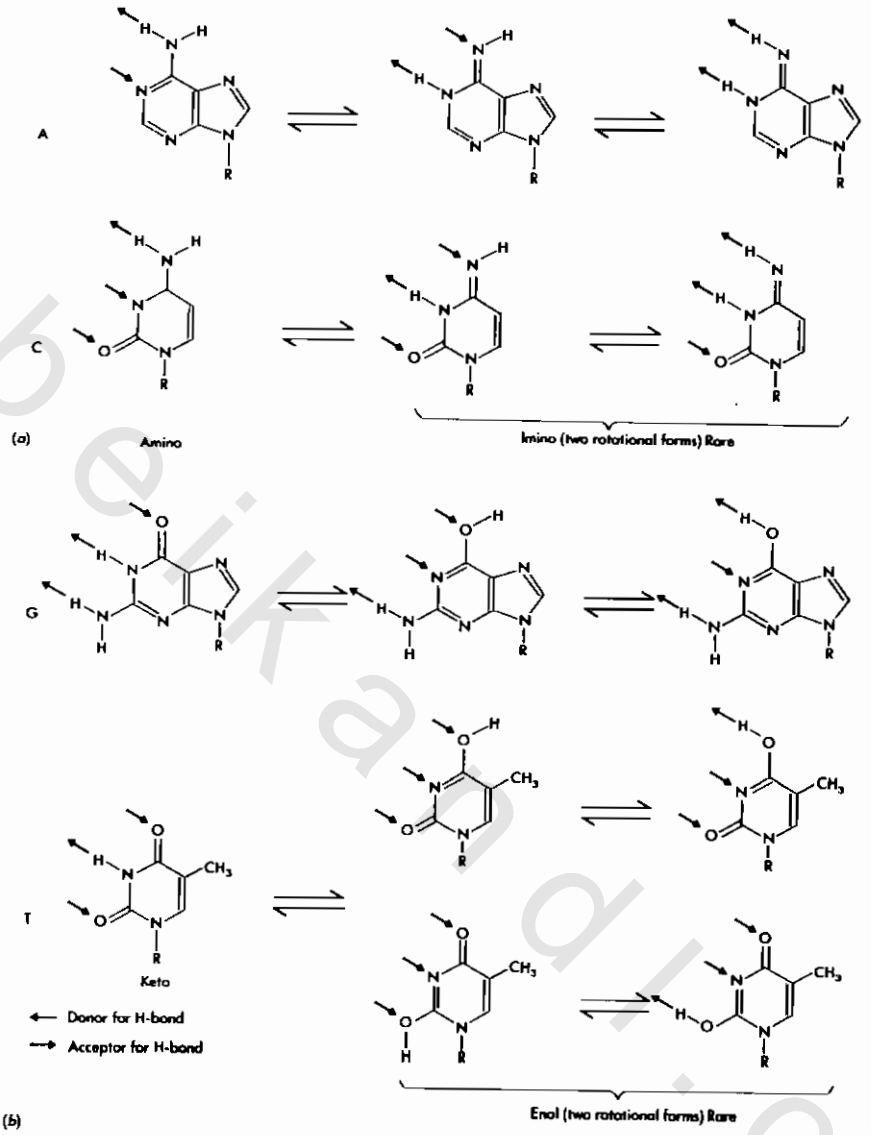
ثبات التناظر Stability of Tautameric form :

تبين أن ذرات الهيدروجين المرتبطة بالاكسوجين أو النيتروجين فى القواعد البيورينية أو البيرميدينية تفضل صورا ارتباطية معينة كما تميل إلى البقاء فى أماكن معينة ولاتنتقل بين ذرات الأكسوجين أو النتروجين فى تلك القواعد إلا فى حالات نادرة ويقال فى هذه الحالة أن تلك الذرات ثابتة أو مستقرة التناظر Tautamerically stable ؛ حيث يكون الوضع الطبيعى أن يكون النتروجين فى الصورة الأمينية Amino form (NH_2) بينما الوضع النادر تكون فى

الصورة الإيمينية Imino form (NH) كما فى الشكل (١ـ٦) ، كما أن ذرة الأكسوجين المرتبطة بذرة C_6 فى الجوانين والثايمين تكون عادة فى الصورة الكيتونية Keto (C = O) form ونادرا ماتأخذ الشكل الاينولى enol (COH) . 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 فى مواقعها هذه لأصبح من الشائع أن تتمكن قاعدة الأدينين (A) من التزاوج مع قاعدة السيتوسين (C) فى حين تتزاوج قاعدة الجوانين (G) مع الثايمين (T) . وسوف يؤدى ذلك الى اختلال فى تتابع القواعد بين السلسلتين بحيث تفقد صفة التكامل الأساسية ، وبالتالى يفقد جزئ د ن أ أهم خاصية من خصائصه وهى القدرة على التناسخ الذاتى Self replication بدون أخطاء . إذ أنه لو سمح للصور النادرة أن تزداد فسيؤدى ذلك إلى زيادة كبيرة وغير مرغوبة فى الأخطاء (الطفرات) مما يؤثر سلبا على نمو وانقسام الخلية .

الدنترة وإعادة الاتحاد Denaturation and Annealing :

من الخصائص الهامة لجزئ د ن أ قدرة السلسلتين الداخلتين فى تركيبه على الإنفصال والابتعاد عن بعضهما تحت ظروف معينة فيما يعرف بعملية الدنترة Denaturation وذلك عند تعريض الحلزون المزدوج لدرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الفسيولوجية (أى حوالى ١٠٠°م) ويحدث ذلك نتيجة لكسر الروابط الهيدروجينية ، وهى روابط ضعيفة وسهلة الكسر بطبيعتها ، والتى تربط أزواج القواعد فى السلسلتين . ونتيجة لارتباط C , G بثلاث روابط هيدروجينية فإنه يلزم فى حالة الجزيئات الغنية فى نسبة القواعد G , C درجة حرارة أعلى من تلك التى ترتفع فيها نسبة AT حيث أن الأخيرة تكون مرتبطة برابطتين فقط . أى أن درجة حرارة الدنترة (ويطلق عليها نقطة الإنصهار Tm) (الشكل ١ـ٧) تعتمد على نسبة G + C / A + T بحيث ترتفع بزيادة هذه النسبة . واذا تم التبريد البطئ لجزئ د ن أ المدنتر 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 الحلزونى الأصلى .

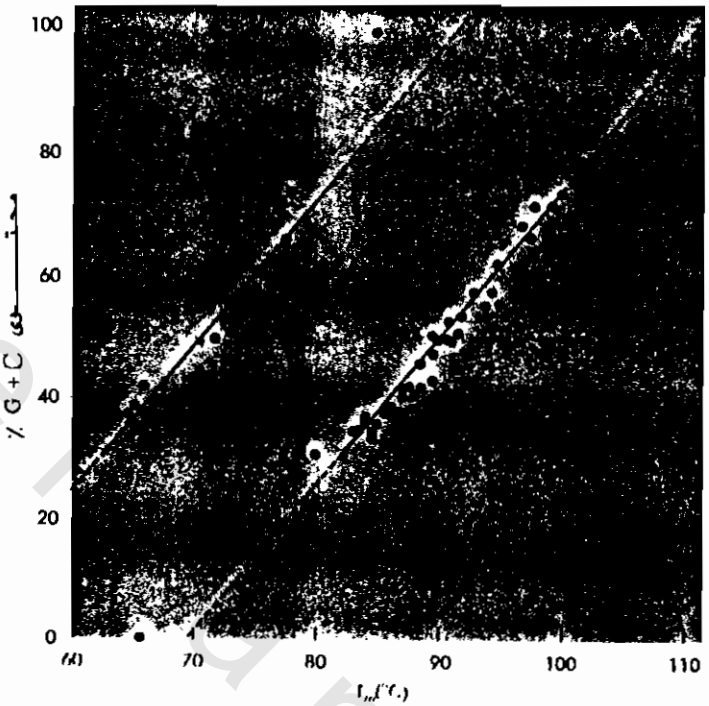


الشكل (١ـ٦):

صور التناظر التوتاميرية فى القواعد النتروجينية :

أ ـ القواعد A , C تكون عادة فى الصورة الأمينية (Amino) ولكنها نادرا ما تأخذ الصورة الإيمينية (Imino) .

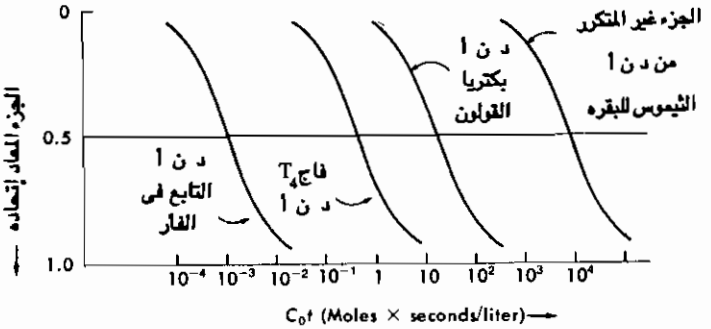
ب ـ القواعد G , T تكون عادة فى الصورة الكيتونية ولكن نادرا ما تأخذ الصورة الاينولية .



الشكل (١ـ٧) :

اعتماد عملية دنترة د ن أ على محتوى الجزئ من القواعد G + C اذ كلما زادت كمية G+ T كلما ارتفعت درجة حرارة الدنترة اللازمة لانفكاك سلسلتى د ن أ عن بعضها .

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



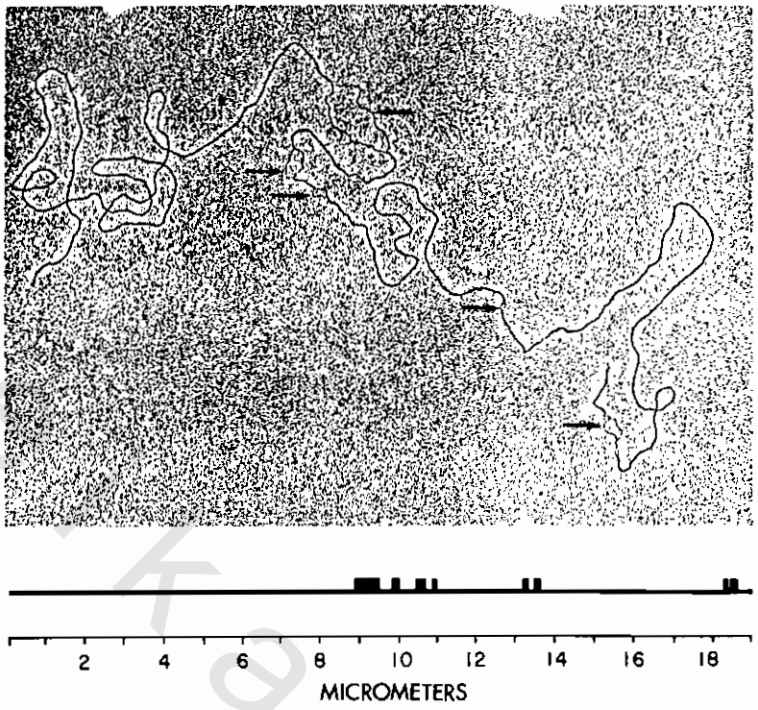
شكل (١ـ٨) :

منحنيات (Cot) لعملية اعادة الاتحاد فى جزئيات د ن أ من كائنات مختلفة. تقاس سرعة اعادة الاتحاد Renaturation بوحدات Cot (اختصار time × Conc) اللازمة للحصول على 1/2 اعادة اتحاد.يحتاج الجينوم الكبير الحجم الى زمن اطول لاعادة اتحاده عن الجينيوم الصغير الحجم.

أدت دراسات إعادة الإتحاد إلى اكتشاف التتابعات المتكررة فى جزئ د ن أ فى الكائنات مميزة النواة . فعندما تكون تتابعات معينة فى الجزئ عالية التكرر Highly repetitive فإن إعادة الإتحاد بينها سيكون أسرع بكثير عما فى التتابعات الممثلة بنسخ وحيدة.

يمكن الحصول على هجين بين سلسلة د ن أ المفردة الناتجة من الدنترة وبين سلسلة من جزئ ر ن أ المكملة لها (DNA / RNA) . وتعد عملية التهجين الجزيئى Molecular hybridization من التقنيات الهامة فى معرفة العلاقات التطورية بين الأنواع على المستوى الجزيئى كما أنه يفيد جدا فى معرفة مصدر ر ن أ حيث لايتم انجذابه وتهجينه إلا مع د ن أ الذى تم نسخه عليه .

يمكن أيضا الاستفادة من عملية الدنترة لجزئ د ن أ فى عمل خريطة مادية لجزئ د ن أ فيما يعرف بعملية رسم خرائط الدنترة الجزئية Partial denaturation mapping . تعتمد هذه التقنية على حقيقة أن المناطق الغنية فى أزواج القواعد AT تنفصل كما سبق القول بمعدل أسرع وأسهل عن GC . يمكن التعرف على هذه المناطق تحت المجهر الألكترونى على شكل عروات Loops أو فقاعات Bubbles . يمكن قياس المسافات بين العروات ونهاية جزئ د ن أ كما فى الشكل ١ـ ٩.



الشكل (١ـ ٩):

صورة بالمجهر الألكترونى لجزئ د ن أ 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 لجزئ د ن أ:

ظل الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن جزئ د ن أ لايوجد إلا فى صورة Configuration واحدة كما قدمها واتسون وكريك بمعدل دوران ثابت (36°) للحلزنة بين القواعد المتجاورة (أى عشرة أزواج من النيوكلتيدات 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 الجزئ . يعد ذلك هاما جدا حيث يؤثر على تفاعله مع البروتينات . وقد وجد أن هناك ثلاث صور مختلفة لجزئ د ن أ أكثرها شيوعا وثباتا هو الصورة الأصلية التى قدمها واتسون وكريك والتى تعرف بالصورة B (الشكل ١ـ١٠ أ) وهو حلزون منتظم يمينى

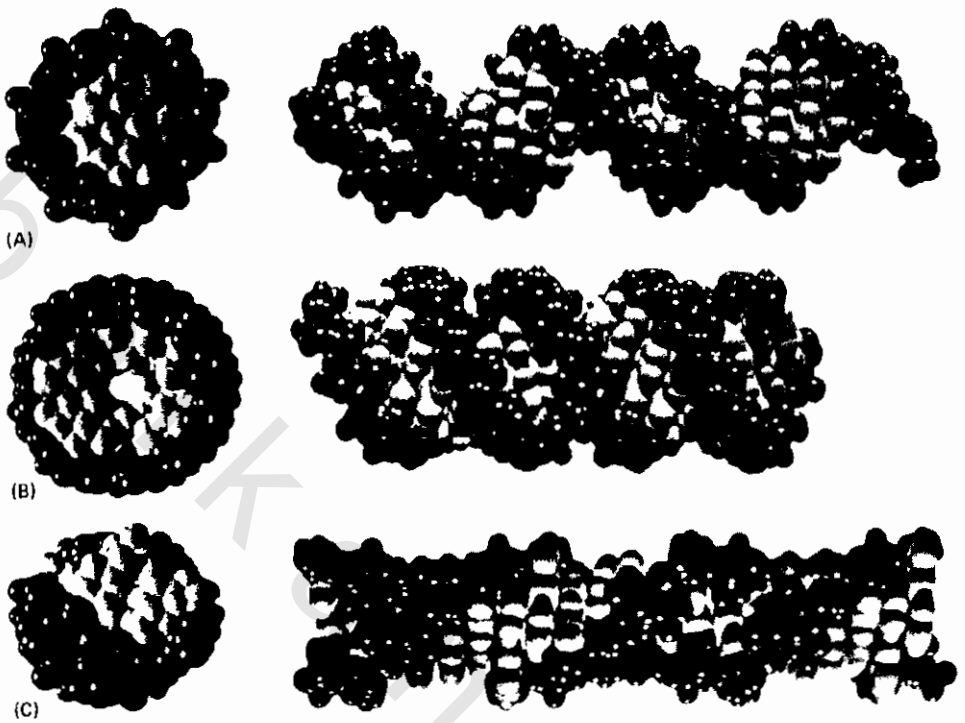
الدورة . إلى جانب ذلك توجد صورة أخرى نادرة يطلق عليها الصورة (A) يحتوى فيها الجزئ على بعض مناطق ذات تتابعات معينة وهو يميني الدورة أيضا إلا أن أزواج القواعد تكون منحدرة أو مائلة بشدة كما تكون منزاحة نحو الخارج بالنسبة لمحور الحلزون مما يؤدى الى تكوين حلزون أقصر وأوسع عما فى الصورة B (الشكل ١ـ١٠ ب) . يتكون هذا النوع عادة تحت ظروف نقص الماء كما أنه الأكثر شيوعا عند تـزاوج ر ن أ RNA مـع د ن أ DNA كما هو الحادث فى الأجزاء البادئة Primer فى شظايا أوكازاكى كما سيأتى بعد . ويرجع ذلك إلى أن مجموعة الهيدروكسيل فى سكر الريبوز فى جزئ 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 نو حلزون يسارى الدورة يسمى الصـورة (Z) (الشكل ١ـ١٣ جـ) 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 علـى البروتينـات التـى ترتـبـط بـ د ن أ (مثل المحفز Promotor أو المثبط Repressor) كما سيأتى بعد .

يمكن تلخيص بعض الفروق الأساسية بين الصور الثلاثة لجزئ د ن أ كما فـى الجدول ١ ـ ٣.



الشكل (١-١٠) :

الصور الثلاثة للحلزون المزدوج لجزئ د ن أ يلاحظ أن كلا منها يحتوى على نفس العدد من أزواج النيوكلتيدات (٢٢ نيوكلتيدة) ويتكون كل منها من سلسلتين متضادتى الاتجاه ومرتبطة معا بروابط هيدروجينية بين القواعد المتكاملة .

(أ) الصورة B هى الأكثر شيوعا (يمينى) .

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

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

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

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

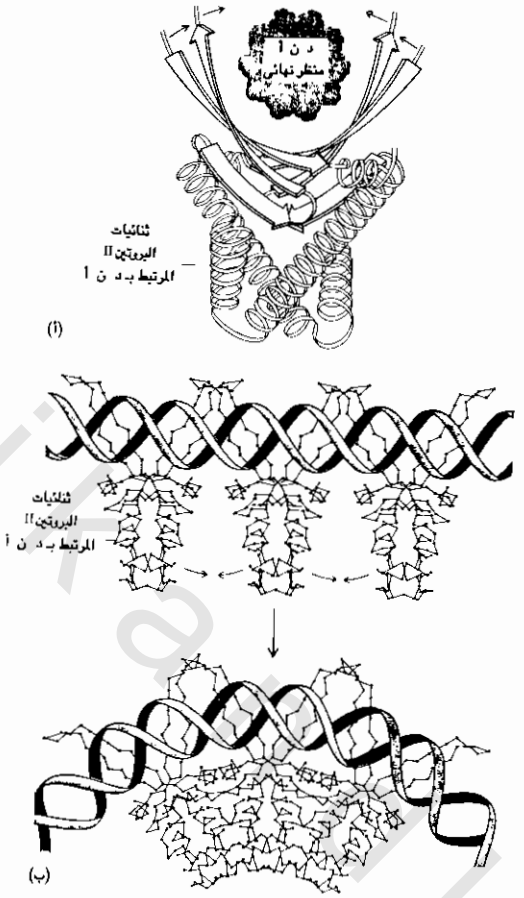
ارتباط جزىء د ن أ البكتيرى ببروتينات شبه هستونية :

ظل الاعتقاد السائد لعدة أحقاب أن جزئ د ن أ البكتيرى يكون عاريا ولايرتبط به ، بعكس مميزة النواة ، أية بروتينات شبه هستونية بحيث لايوجد له تركيب منضغط شبيه بكروماتين كروموسومات مميزة النواة .

ولكن تبين حديثا باستخدام تقنيات أكثر تقدما أن بعض المناطق من كروموسوم بكتريا القولون تنتظم فى تراكيب تشبه حبات الخرز والتى 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 ب د ن أ DNA-binding Protein II

وتبين أنه مكون من سلاسل ببتيدية حجمها ٩٥٠٠ دالتون ترتبط ببعضها فى ثنائيات Dimers ويمتد منها أذرع غنيه فى الأرجينين لها القدرة على التفاعل مع الفوسفات فى الهيكل الأساسى لجزئ 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 (١ـ ١١) .

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 لجزئ 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 (١ـ١١):

البروتينات شبه الهستونية II المرتبطة بجزئ د ن أ فى بكتريا القولون:

أ ـ تركيب البروتين الثنائى II المرتبط بجزئ د ن أ (ننظر منظور طرفى).

ب ـ كيف يمكن للبروتين شبه الهستونى استحداث تحلزن فائق لجزئ د ن أ لتكوين نيوكليوسومات . يعتقد بأن أذرع البروتين المرتبط تتفاعل مع د ن أ ومع بعضها البعض ، بينما التفاعلات الكهرستاتيكيه فى النهاية الأخرى للبروتينات تشدها لبعضها البعض مما يؤدى إلى ثنى جزئ د ن أ يعتقد بأن الأمر يحتاج إلى حوالى ٨ ألى ١٥ جزيئات ثنائية بروتينية و ٨٠ الى ١٠٠ قاعدة أزوتية لتكوين لفة من الحلزون الفائق . لايظهر د ن أ هنا كحلزون فائق لسهولة المتابعة.