

الفصل الثانى

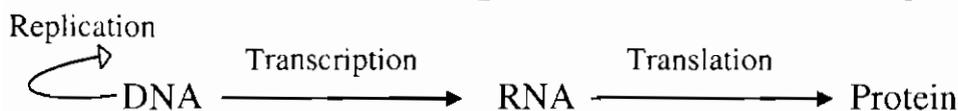
تركيب جزئ د. ن. أ DNA Structure

قبل أن نتطرق إلى تركيب جزئ د. ن. أ (الحلزون المزدوج) يجدر بنا أولاً أن نتعرف على المكونات الكيماوية للأحماض النووية بنوعيتها د. ن. أ، ر. ن. أ نظراً للأدوار الرئيسية التي تقوم بها في حفظ المادة الوراثية ونقلها من جيل إلى جيل.

تعد الأحماض النووية من الجزئيات الكبيرة الحجم نسبياً وذات أهمية بيولوجية قصوى. تحتوى معظم الكائنات الحية على كميات متفاوتة من الأحماض النووية بنوعيتها د. ن. أ و ر. ن. أ فى حين توجد بعض الفيروسات لا يوجد بها إلا د. ن. أ والبعض الآخر لا يحتوى إلا على ر. ن. أ فقط.

يعتبر د. ن. أ المصدر الرئيسى للمعلومات الوراثية وكما سيأتى بعد فإن لهذا الجزئ القدرة على التكاثر (Replication) (التكرار الذاتى Self-replication) يتم نسخ Transcription المعلومات الموجودة فى جزئ د. ن. أ إلى نسخ Copies من ر. 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 المركزي أو المعادلة المركزية Central Dogma ويمكن تلخيصها كالاتي:



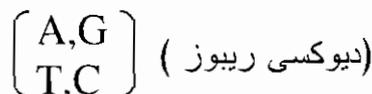
حيث يشير السهم الدائري حول د. ن. أ إلى قدرته على التضاعف الذاتي في حين يتم نسخ جزئ ر. ن. أ على قالب من د. ن. أ وتتم عملية بناء البروتين تحت إدارة تتابع القواعد (الشفرات) في جزئ ر. ن. أ الذي يقال لها أنها تترجم إلى تتابع مقابل من الأحماض الأمينية التي يتم ربطها على الريبوسوم بروابط ببتيدية.

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

يتكون جزئ الحامض النووي من سكر خماسي (ريبوز في حالة ر.ن.أ، ديوكسي ريبوز في حالة د. ن. أ) وحامض فوسفوريك وقواعد نيتروجينية من نوع البيورين (أدينين A ، جوانين G) وهي ثنائية الحلقة أو البيريميدين (أحادية الحلقة) : (سيتوسين C وثايمين T أو يوراسيل في حالة ر. ن. أ U).

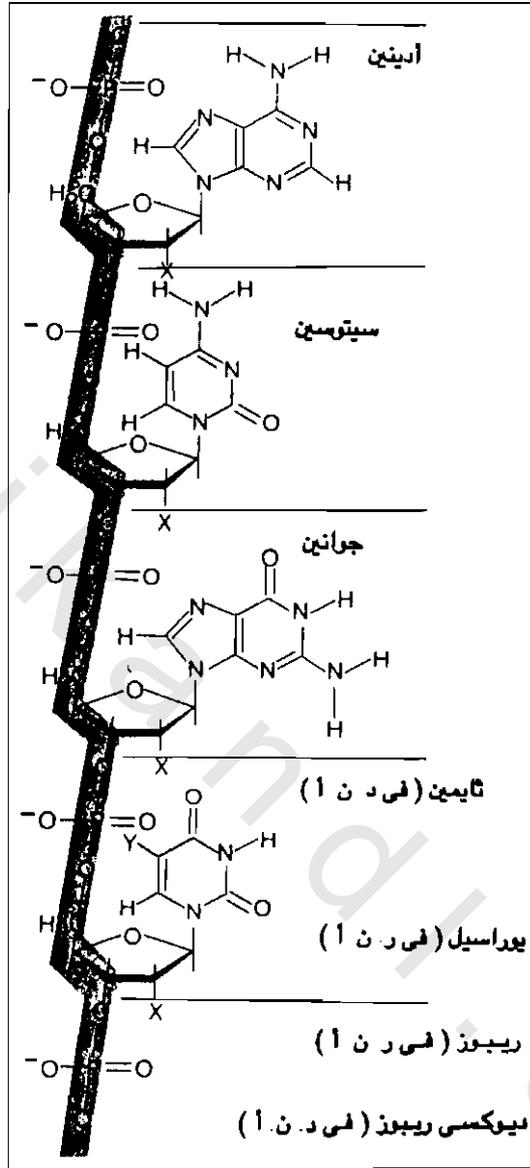
يؤدي التحليل المائي الكامل لجزئ د. ن. أ إلى :

د. ن. أ ← سكر خماسي + قواعد نيتروجينية + حامض فوسفوريك.



يتكون جزئ الحامض النووي من متعدد خطي من الوحدات البنائية الاساسية التي يطلق على كل منها نيوكليوتيدة Nucleotide ترتبط مع بعضها بروابط فوسفو استيرية ثنائية Phosphodiester Bond (الشكل ٢-١) تصل هذه الرابطة ذرة كربون رقم 5^ا في السكر الخماسي للنيوكليوتيدة بذرة الكربون رقم 3^ا في السكر الخماسي للنيوكليوتيدة التالية لها. وعلى ذلك فإن الهيكل الاساسي للحامض النووي د. ن. أ يتكون من تعاقب السكر الخماسي مع حامض الفوسفوريك في حين تتصل قواعد النيتروجينية بهذا السكر الخماسي برابطة جليكوسيدية كما في الشكل (٢-١).

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



الشكل (١-٢): جزء من سلسلة حامض نووي مفردة يبين النيوكليوتيدات ومكوناتها وكذلك الهيكل الأساسي المكون من وحدات مترادفة من السكر والقوسفات

يلخص الجدول ٢-١ بعض الفروق الرئيسية فى التركيب الكيماوى بين د.ن. أ و ر.ن. أ.

الجدول ٢-١ بعض الفروق الرئيسية فى التركيب الكيماوى بين د.ن. أ و ر.ن. أ.

رن أ	دن أ	الموقع
فى السيتوبلازم أساسا وفى النوية ريبوز سيتوسين (C) يوراسيل (U) أدينين (A) جوانين (G) صبغات Basophilic مع المعاملة بإنزيم ريبونوكلييز Ribonuclease RNase	فى النواة أساسا ديوكسى ريبوز سيتوسين (C) ثيمين (T) أدينين (A) جوانين (G) فولجين DNase	السكر الخماسى القواعد البيريميدينية القواعد البيورينية التفاعل الكيماوى الأنزيم المحلل مائيا دوره فى الخلية الوزن الجزيئى
بناء البروتين منخفض نسبياً	المادة الوراثية مرتفع جداً	

قاعدة Charagaff لتزاوج القواعد النتروجينية:

قام شاراجاف عام ١٩٤٩-١٩٥٣ بتحليل محتوى جزئى د.ن. أ من القواعد النتروجينية فى عدد كبير من الكائنات الحية المختلفة (الجدول ٢-٢) وقد وجد أن القواعد الأربعة لا توجد بكميات متساوية كما أن نسبها تختلف من نوع من الكائنات إلى النوع الآخر مما أدى إلى الاعتقاد بأن تتابع القواعد النتروجينية فى جزئى 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 الأدينين (A) فى جميع الكائنات 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 .

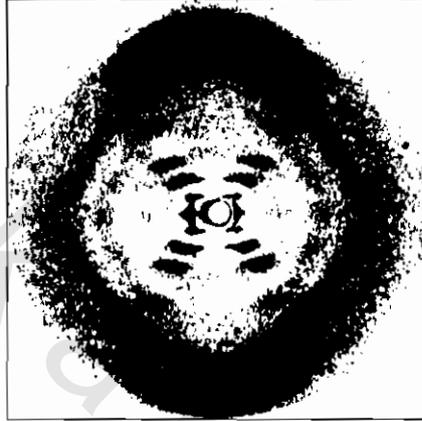
الجدول ٢-٢ البيانات التى أدت إلى استنباط قاعدة شاراجاف

نسب القواعد					مصدر د.ن.أ
Purine 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	الأنسان
٠,٩٩	٠,٩١	١,٠٦	١,٢٩	١,٤٥	الدجاجة
١,٠٢	١,٠٢	١,٠٢	١,٤٣	١,٤٣	سمك السالمون
٠,٩٩	٠,٩٧	١,٠٠	١,١٨	١,٢٢	نبات القمح
١,٠٠	١,٢٠	١,٠٣	١,٩٢	١,٦٧	قطر 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 (K2)
١,١٠	١,٠٨	١,٠٩	٠,٤٠	٠,٤٠	البكتريا السبحية لدرن الدجاج

نموذج الحلزون المزدوج لجزئ د.ن.أ DNA double helix:

اهتم العلماء بتحليل صور انحراف أشعة X لجزئيات د.ن.أ والتي قام بها Wilkins R. and Franklin فى الفترة من ١٩٥٠-١٩٥٢ (الشكل ٢-٢) وقد أظهرت هذه الصور طرزا معينة منتظمة أدت بالعلماء إلى التكهن بأن جزئ د.ن.أ ليس فقط حلزونى التركيب بل أهم من ذلك أنه يتكون من أكثر من سلسلة واحدة من متعدد النيوكلييدات، قد تكون اثنتين أو ربما ثلاثة سلاسل. فى نفس الوقت أمكن تحديد الروابط الفوسفودايستر التى تربط بانتظام بين النيوكلييدات

في سلسلة د.ن.أ كما كان لقاعدة شاراجاف أهمية كبيرة في التوصل إلى معرفة العلاقة بين القواعد النروجينية في جزئ د.ن.أ ذو التركيب الحلزوني المزدوج. أدى ذلك وغيره من الأبحاث إلى اعلان واتسون وكريك عام ١٩٥٣ عن نموذج الحلزون المزدوج لتفسير تركيب جزئ د.ن.أ بحيث توفرت في هذا النموذج الخواص والشروط المطلوبة للمادة الوراثية.



الشكل (٢-٢): صورة انحراف الأشعة السينية بجزئ د ن أ يدل الطراز المتقاطع في الوسط على أن الجزئ يأخذ شكل اللولب أو الحلزون بينما تدل المناطق الكثيفة في قمة وقاعدة الصورة على أن القواعد البيورينية والبييرييميدينية بسمك 3.4 \AA وتتراص بانتظام متجاورة ومتعامدة على محور الحلزون

يتكون جزئ د.ن.أ حسب هذا النموذج من سلسلتين متكاملتين من متعددات النيوكليوتيدات ملتفة أو متحلزنة كل حول الأخرى بانتظام في شكل لولب مزدوج يميني الاتجاه (الشكل ٢-٣-أ) ويكون طول الدورة الكاملة للحلزون 34A° وبذلك تكون كل دورة للحلزون مكونه من ١٠ قواعد لكل سلسلة. ومن جهة أخرى، فإن قطر الحلزون المزدوج هو 20A° . تتكون كل سلسلة في هذا الحلزون من عديد من النيوكليوتيدات المرتبطة بروابط فوسفواسيريية ثنائية بين

السكر و الفوسفات كما سبق القول في حين ترتبط القواعد النتروجينية بالسكر برابطة جليكوسيدية وتكون متعامدة على المحور الأساسى للجزئ وموجودة إلى الداخل بحيث تتقابل القواعد النتروجينية من إحدى السلسلتين مع القواعد المكملة لها في السلسلة المقابلة حسب قاعدة شاراجاف ($C \equiv G, A = T$)، وجد أن أزواج القواعد النتروجينية تكون مفلطحة واسطحها كارهة للماء مما يجعلها تتلاصق بقوى يطلق عليها قوى التراص stacking forces ويبعد كل زوج من القواعد عن الذى يليه بمسافة 3.4 \AA .

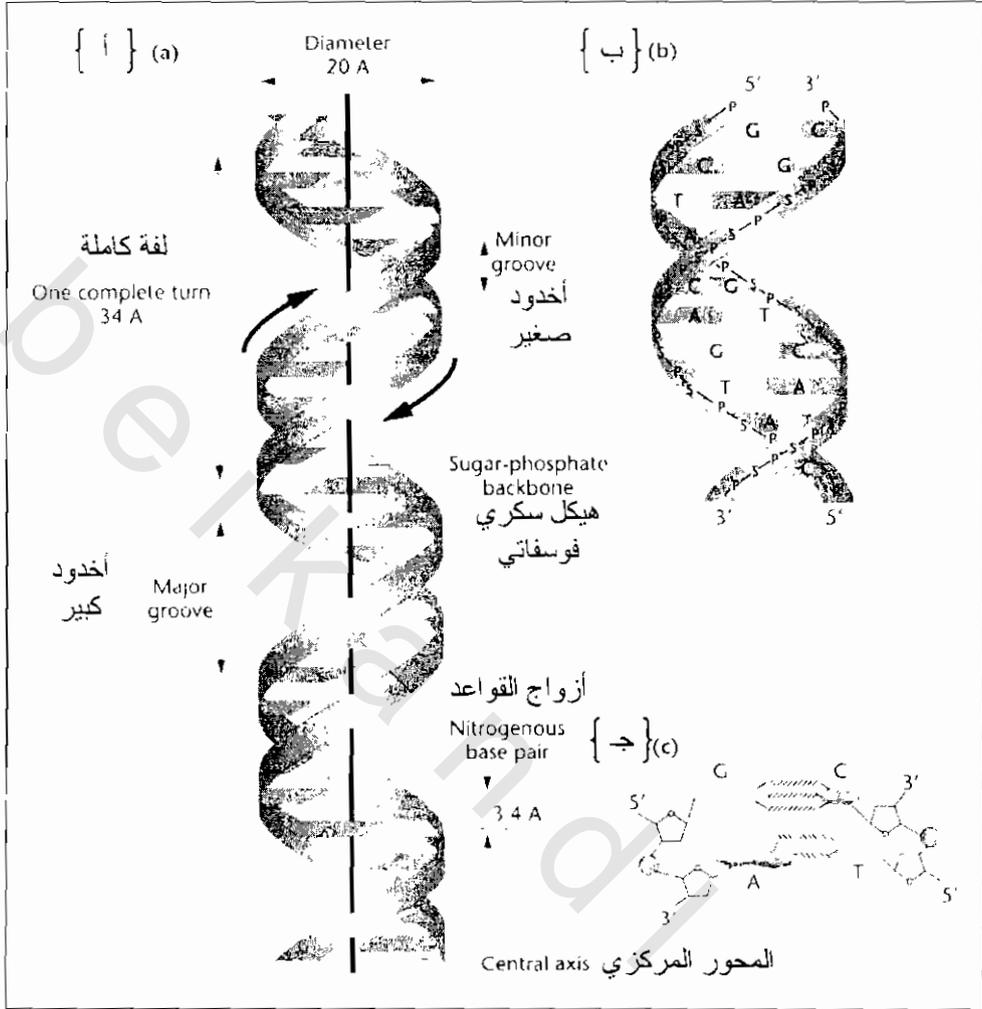
ترتبط القواعد المتقابلة بين السلسلتين بروابط هيدروجينية بحيث ترتبط G مع C بثلاث روابط هيدروجينية فى حين ترتبط A مع T برابطتين فقط (الشكل ٢-٣-ج).

وجد أن هذه التزاوجات بين القواعد هى الوحيدة الممكنة نظرا لأن تقابل قاعدتين من نوع البيورين (ثنائية الحلقة وكبيرة الحجم نسبيا) سيحتل فراغا كبيرا بحيث لا يسمح بتكوين حلزون منتظم ومن جهة أخرى سيؤدى تقابل قاعدتين من نوع البيريميدين معا إلى شغل فراغ صغير نسبياً مما يؤدى إلى خلخلة غير مرغوبة فى الحلزون.

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

5'-ATGCAGTC-3' على أحد السلسلتين

فنجدها : 3'-TACGTCAG-5' على السلسلة المقابلة



الشكل (٣-٢)

- (i) نموذج الحلزون المزدوج كما اقترحه واتسون وكريك - تمثل الأشرطة المنقطة الهيكل الأساسي المكون من السكر - والفوسفات وتمثل أزواج القواعد النتروجينية بأشرطة أفقية ويمثل الخط الرأسى المحور المركزي للحلزون.
- (ب) شكل تفصيلي يبين القواعد وهيكل السكر - الفوسفات والروابط الهيدروجينية للحلزون.
- (ج) توضيح للطبيعة المتضادة الاتجاه للحلزون والقرص الأفقي للقواعد.

وكما سنرى فيما بعد فإن خاصية تكامل القواعد النيتروجينية هامة جدا في عملية تناسخ ال د. ن. أ. وفي التعبير الجيني.

وطبقاً لنموذج الحلزون المزدوج فإن حتمية تضاد الاتجاه تأتي من حقيقة عدم إمكان تغيير زوايا الروابط النيتروجينية بين مكونات النيوكليوتيدات.

ويترتب على حتمية التزاوج بين (T, A) ، (C, G) أنه لا بد أن تكون الروابط الفوسفواسيتيري الثنائية للسلسلتين موجهة في اتجاهين متضادين Antiparallel أى أن اتجاه 5' - C إلى 3' يسرى في اتجاهين متضادين وعلى ذلك فإن الحلزون المزدوج اذا إنقلب بواقع 180° فإنه سيبدو ظاهرياً مطابقاً للحلزون الأصلي .

تبين أن الروابط الجليوسيدية التي تربط القواعد بالسكر لا تكون موجهة لبعضها البعض بالضبط مما يؤدي إلى 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)، فينتكون أخدود عميق يسمى الأخدود الكبير أو الرئيسي Major Groove بالتناوب مع أخدود أقل عمقاً يسمى الأخدود الصغير Minor Groove .

تكون أرضية الأخدود الكبير مملوءة بذرات النيتروجين والاكسوجين التي تخص أزواج القواعد التي تعلوه والتي تمتد إلى الداخل من الهيكل الأساسي الخاص بها. وعلى العكس من ذلك نجد أن أرضية الأخدود الصغير تكون

مملوءة بذرات النتروجين والاكسوجين للقواعد والتي تمتد إلى الخارج في اتجاه الهيكل الأساسى.

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

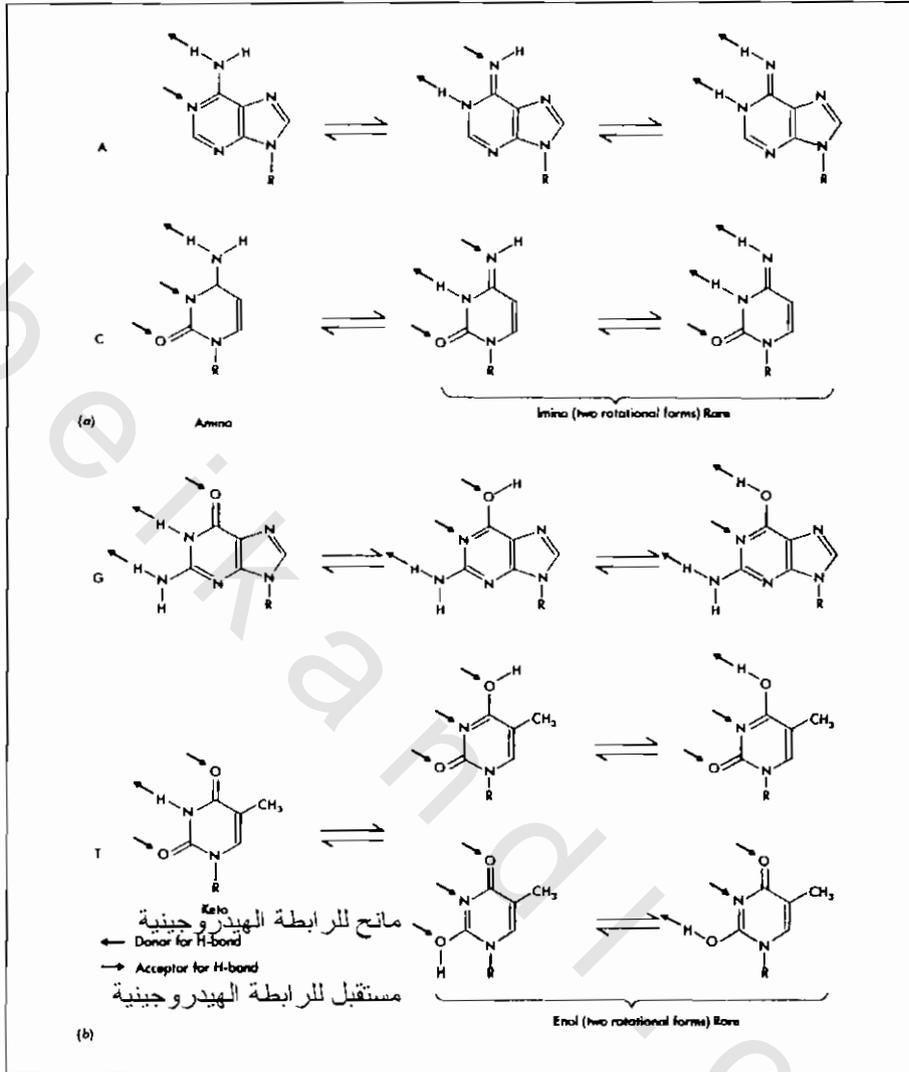
وقد أدت هذه الحقيقة إلى التكهن بأن بعض البروتينات المتخصصة (مثل البروتين المثبط Repressor أو المستحث Inducer) التى تتفاعل وترتبط مع تتابعات معينة على جزئ د.ن.أ. عن طريق تكوين روابط هيدروجينية مع مجاميع معينة توجد على الأغلب فى الأخدود الكبير.

بعض خواص جزئ د.ن.أ.:

ثبات التناظر Stability of Tautomeric Form:

تبين أن ذرات الهيدروجين المرتبطة بالاكسجين أو النيتروجين فى القواعد البيورينية أو البيريميدينية تفضل صوراً ارتباطية معينة كما تميل إلى البقاء فى أماكن معينة ولا تنتقل بين ذرات الأكسوجين أو النتروجين فى تلك القواعد إلا فى حالات نادرة ويقال فى هذه الحالة أن تلك الذرات ثابتة أو مستقرة التناظر Tautomericly Stable حيث يكون الوضع الطبيعى أن يكون النتروجين فى الصورة الأمينية (NH₂) Amino Form بينما الوضع النادر تكون فى الصورة الإيمينية (NH) Imino Form كما فى الشكل (٢-٤)، كما أن ذرة الأكسوجين المرتبطة بذرة C6 فى الجوانين والثايمين تكون عادة فى الصورة الكيتونية Keto Form (C=O) ونادراً ما تأخذ الشكل الإينولى Enol (COH). ويعد هذا الثبات أو الاستقرار مهماً جداً 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 الإدينين (A) من التزاوج مع قاعدة السيوسين (C) في حين قد تتزاوج قاعدة الجوانين (G) مع الثايمين (T). وسوف يؤدي ذلك على اختلال في تتابع القواعد بين السلسلتين بحيث تفقد صفة التكامل الأساسية، وبالتالي يفقد جزيء 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) ما يؤثر سلباً على نمو وانقسام الخلية.



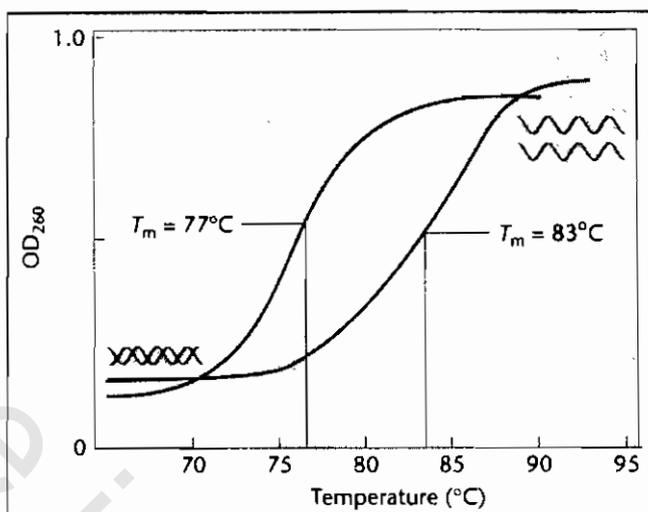
الشكل (٢-٤): صور التناظر التوتاميرية في القواعد النيتروجينية

(أ) القواعد A و C تكون عادة في الصورة الأمينية (Amino) ولكنها نادراً ما تأخذ الصورة الإيمينية (Imino).

(ب) القواعد G و T تكون عادة في الصورة الكيتونية (Keto) ولكنها نادراً ما تأخذ الصورة الأنوليوية (Inol).

الدنترة وإعادة الاتحاد :Denaturation And Annealing

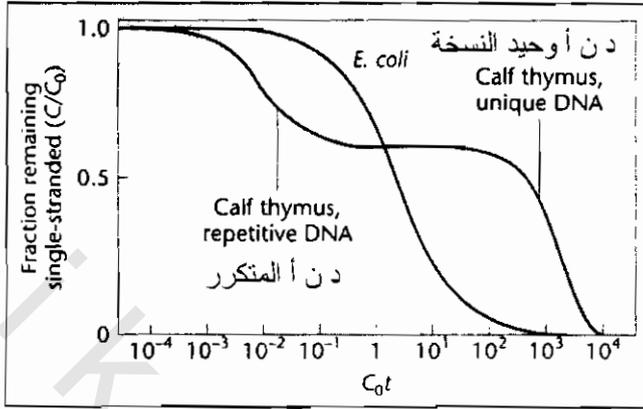
من الخصائص الهامة لجزئ د . ن . أ قدرة السلسلتين الداخلتين فى تركيبية على الانفصال والابتعاد عن بعضهما تحت ظروف معينة فيما يعرف بعملية الدنترة Denaturation وذلك عند تعريض الحلزون المزدوج لدرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الفسيولوجية (أى حوالى 95°م) ويحدث ذلك نتيجة لكسر الروابط الهيدروجينية، وهى روابط ضعيفة وسهلة الكسر بطبيعتها، والتي تربط أزواج القواعد فى السلسلتين. ونتيجة لارتباط C, G بثلاث روابط هيدروجينية فإن 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 T_m) أو حرارة الانصهار وعندها يكون 50% من السلسلتين قد انفكت وتعتمد على نسبة (G+C / A+T) بحيث ترتفع بزيادة هذه النسبة وإذا تم التبريد البطئ لجزئ د . ن . أ المدنتر فإن السلسلتين المتكاملتين سيعاد اتحادهما حيث تسمى هذه العملية Anealing أو Renaturation وتتجاذب أزواج القواعد وتترتبط بروابط هيدروجينية حسب قاعدة شاراجاف وبذلك يستعيد الجزئ التركيب الحلزونى الأسمى. ويمكن متابعة هذه التحولات فى المعمل بقياس درجة امتصاص الأشعة فوق البنفسجية UV (أو الكثافة الضوئية OD) عند 260um بإستخدام سبكتروفوتوميتر حيث تنخفض لزوجة د . ن . أ أثناء الدنترة ويرتفع امتصاص UV. وبين الشكل (2-5) عملية الانصهار فى نوعين مختلفين من د . ن . أ من حيث محتواهما من نسبة GC.



الشكل (٢-٥): العلاقة بين زيادة درجة امتصاص أشعة UV وارتفاع درجة الحرارة في جزيئين من د ن أ يختلفان في محتوَاهما من الجزيء الذي تكون درجة الانصهار فيه (T_m) 83°C م يحتوي على مقدار أعلى من $G=C$ عن الجزيء بدرجة انصهار (T_m) 77°C م

تعد خاصية الدنترة و إعادة الإتحاد ذات فائدة كبيرة فى البيولوجيا الجزيئية حيث أنها تعد الأساس لواحدة من أهم التقنيات فى الوراثة الجزيئية وهى تقنية التهجين الجزيئى Molecular Hybridization ويبين الشكل (٢-٦) كيفية استخدام هذه الخاصية لتقدير حجم الجينوم (عدد النيوكليوتيدات) لكائن ماء، إذ 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 (فكلما زاد حجم الجينوم كلما زادت فرص التصادم بين التتابعات غير الصحيحة - غير المكتملة - بين الجزيئات) وقد أدت دراسات إعادة الإتحاد إلى اكتشاف التتابعات المتكررة فى جزيء د . ن . أ فى الكائنات مميزة النواة.

فعندما تكون تتابعات معينة في الجزئ عالية التكرار Highly Repetitive فإن إعادة الاتحاد بينها سيكون أسرع بكثير عما في التتابعات الممثلة بنسخ وحيدة (الشكل ٦-٢).

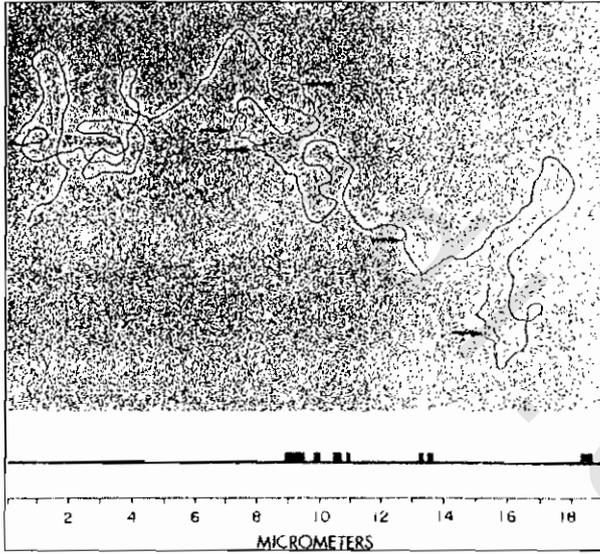


الشكل (٦-٢): منحنى C_0t لجزئ د ن أ في الغدة التيموسية للعجل حيث يحدث للجزء المتكرر من د ن أ العجل إعادة الاتحاد بسرعة عن جزئ د ن أ من بكتيريا القولون في حين يحدث العكس في حالة الجزء غير المتكرر من جزئ د ن أ في العجل

كما يمكن استخدام تقنية التهجين الجزيئي (على اعتبار وجود درجة معقوله من تكامل القواعد بين جزيئات د . ن . أ وتحت ظروف حرارية مناسبة) بحيث يمكن إعادة الاتحاد (التهجين) بين جزيئين من الحامض النووي من مصادر مختلفة وقد يؤدي هذا إلى امكانية التهجين بين نوعين Species مختلفين من د . ن . أ. ويعد ذلك ذو أهمية خاصة في دراسة العلاقات التطورية بين الأنواع على المستوى الجزيئي أو حتى بين جزئ د . ن . أ وجزئ ر . ن . أ.

وعلى سبيل المثال فإنه جزئ ر . ن . أ من السهل تهجينه بمنطقة من د . ن . أ الذي تم نسخة عليها أصلا أو مع د . ن . أ من نوع Species آخر بشرط أن يكون التتابع النيوكليتي متكامل بدرجة معقولة.

يمكن أيضا الاستفادة من عملية الدنترة لجزئ د . ن . أ في عمل خريطة مادية لجزئ د . ن . أ فيما يعرف بعملية رسم خرائط الدنترة الجزئية Partial Denaturation Mapping. تعتمد هذه التقنية على حقيقة أن المنطقة الغنية في أزواج القواعد AT تنفصل كما سبق القول بمعدل أسرع وأسهل عن GC. ويمكن التعرف على هذه المناطق تحت المجهر الإلكتروني على شكل عروات أو فقاعات bubbles . يمكن قياس المسافات بين العروات ونهاية جزئ د . ن . أ كما في الشكل (٧-٢).



الشكل (٧-٢): صورة بالمجهر الإلكتروني لجزئ د ن أ الفاج لامبدا تشير الأسهم إلى أماكن حدوث الدنترة (التفكك) وتبين الخريطة الخطية (إلى أسفل) التفكك الجزئي حيث تدل المستطيلات على مواقع التفكك وطولها النسبي

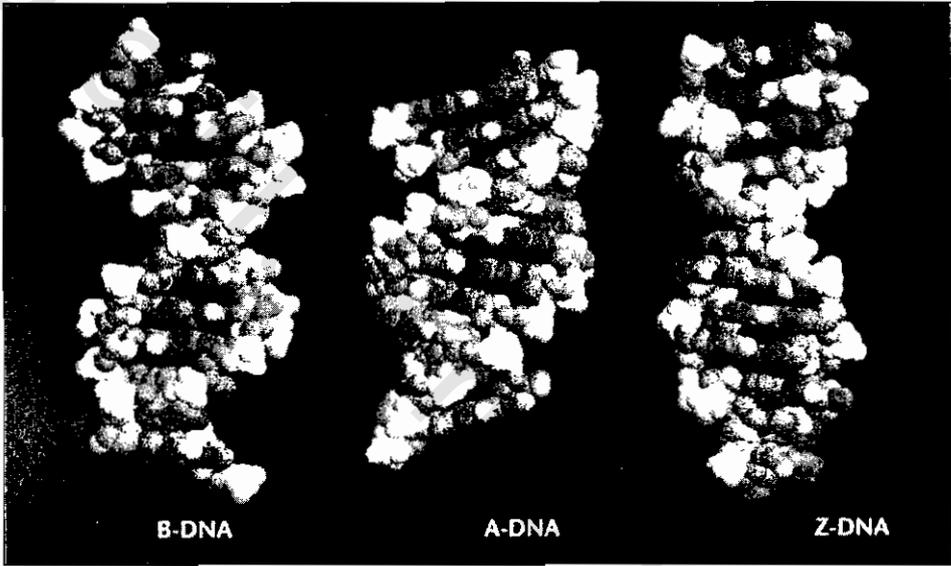
الصور المختلفة لجزئ د . ن . أ:

ظل الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن جزئ د . ن . أ لا يوجد إلا في صورة Configuration واحدة كما قدمها واتسون وكريك وبمعدل دوران ثابتة ($36A^{\circ}$) للحلزنة بين القواعد المتجاورة (أى عشرة أزواج من النيوكليوتيدات لكل لفة حلزونية واحدة). إلا ان الدراسات الحديثة أثبتت أن درجة الدوران في الحقيقة هي 34.6° وبالتالي يكون عدد القواعد في كل لفة $10,4$ قاعدة.

ومن جهة أخرى، كان الاعتقاد السائد أن الشكل الهندسى للحلزون موحد ومنتظم. إلا أن التجارب اللاحقة أثبتت أن د . ن . أ متعدد الصور حسب تتابع القواعد في الجزئ. يعد ذلك هاما جداً حيث يؤثر على تفاعله مع البروتينات. وقد وجد أن هناك ثلاث صور مختلفة لجزئ د . ن . أ أكثرها شيوعاً وثباتاً هي الصورة الأصلية التي قدمها واتسون وكريك والتي تعرف بالصورة B (الشكل ٢-٨) وهو حلزون منتظم يمينى الدورة. وإلى جانب ذلك توجد صورة أخرى نادرة يطلق عليها الصورة (A) يحتوى فيها الجزئ على بعض مناطق ذات تتابعات معينة وهو يمينى الدورة أيضاً إلا أن أزواج القواعد تكون منحدره أو مائلة بشدة كما تكون منزاحة نحو الخارج بالنسبة لمحور الحلزون مما يؤدي إلى تكوين حلزون أقصر وأوسع عما في الصورة B (الشكل ٢-٨) يتكون هذا النوع عادة تحت ظروف الملوحة أو ظروف نقص الماء كما أنه الأكثر شيوعاً عند تزاوج ر . ن . أ RNA مع د . ن . أ DNA كما هو الحادث في الأجزاء البادئة Primer في شظايا أوكازاكي كما سيأتى بعد. ويرجع ذلك إلى أن مجموعة الهيدروكسيل في سكر الريبوز في جزئ ر . ن . أ لا تسمح بتكوين حلزون هجين بين RNA/ DNA من النوع B.

ويعد هذا هو السبب أيضاً في أن حلزون ر . ن . أ / ر . ن . أ RNA (في دبوس الشعر Hairpin) الذي يتكون أحيانا من النوع A.

يوجد نوع ثالث من ر . ن . أ النادر ذو حلزون يساري الدورة يسمى الصورة (Z) (الشكل ٨-٢) وهو متعرج وغير منتظم ومن هنا جاءت تسميته Z ويتميز بوجود تتابعات خاصة ويتكون تحت ظروف خاصة.



الشكل (٨-٢): الصور الثلاثة للحلزون المزدوج لجزئ د ن أ ويلاحظ أن كلا منها يحتوي على نفس العدد من أزواج النيوكليديدا (٢٢ نيوكليتيده) ويتكون كل منها من سلسلتين متضادتي الاتجاه ومرتبطة معا بروابط هيدروجينية بين القواعد المتكاملة

- الصورة (B) الأكثر شيوعا (يميني الدورة).
 الصورة (A) نادرة وتحدث تحت ظروف الإجهاد البيئي مثل الجفاف والملوحة (يميني الدورة).
 الصورة (Z) نادرة جداً والحلزون غير منتظم (يساوي الدورة) ويتكون عندما يكون تتابع القواعد ذو طابع خاص غير عادي (عالي جداً في نسبة GC).

قد يكون لكل من هذه الصور النادرة دور في التعرف على البروتينات التي ترتبط بـ د . ن . أ (مثل المستحث Inducer أو المثبط Repressor) كما سيأتي بعد.

يمكن تلخيص بعض الفروق الأساسية بين الصور الثلاثة لجزء د . ن . أ كما في الجدول (٢-٣).

الجدول ٢-٣: مقارنة بين بعض الخواص التركيبية لصور د . ن . أ

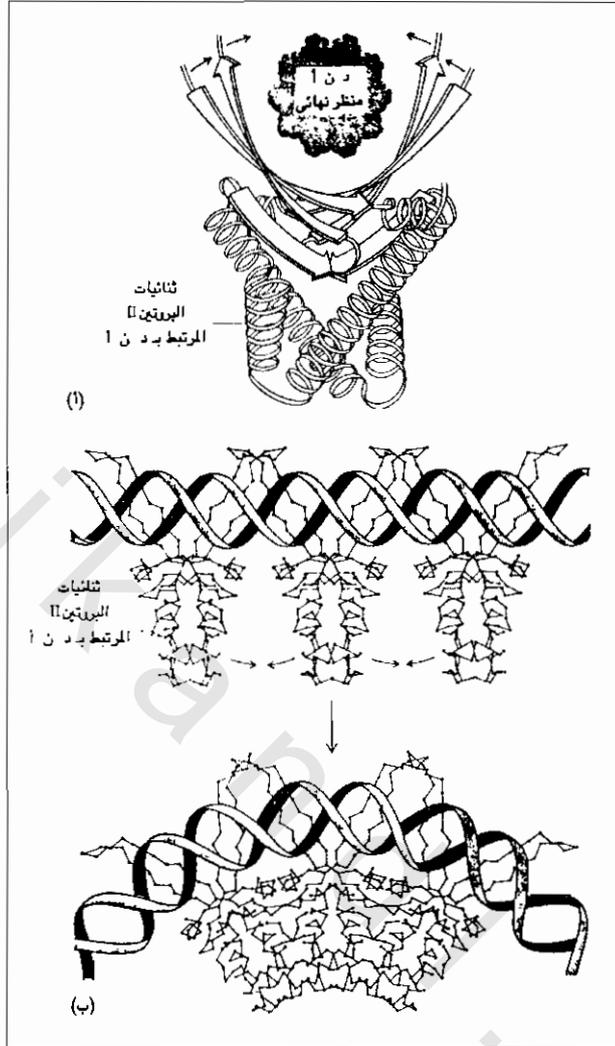
الصورة			المقارنة
Z	B	A	
نادر جدا	شائع	نادر	معدل حدوثه
مستطيل ورفيع	أطول وأرفع	قصير وواسع	الشكل العام
$3.8A^\circ$	$3.32A^\circ$	$2.3A^\circ$	الإرتفاع بين أزواج القواعد
يسارى	يميني	يميني	اتجاه الحلزون
12	١٠,٤	١١	عدد القواعد لكل دورة حلزون
-60°	34.6°	33.6°	متوسط الدوران لكل زوج من القواعد
-9°	-1.2°	$+19.0^\circ$	درجة ميل القواعد بالنسبة للمحور
الأخدود الكبير	خلال أزواج القواعد	الأخدود الكبير	موقع محور الحلزون
مفلطح على سطح الحلزون أو غير موجود	واسع ومتوسط العمق	ضيق جدا وعميق جدا	نسب الأخدود الكبير
ضيق جدا وعميق جدا	ضيق ومتوسط العمق	واسع جدا وضحل	نسب الإخدود الصغير

ارتباط جزئ د. ن. أ البكتيرى ببروتينات شبه هستونية:

ظل الاعتقاد السائد لعدة أحقاب أن جزئ د. ن. أ البكتيرى يكون عاريا ولا ترتبط به أية بروتينات شبه هستونية بحيث لا يوجد له تركيب منضغط شبيه بكروماتين كروموسومات مميزة النواة.

ولكن تبين حديثاً باستخدام تقنيات أكثر تقدماً 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 ببتيدية حجمها ٩٥٠٠ دالتون ترتبط ببعضها فى ثنائيات Dimers ويمتد منها أزرع غنية فى الأرجينين لها القدرة على التفاعل مع الفوسفات فى الهيكل الأساسى لجزئ د. ن. أ. ومن المرجح أن هذه الثنائيات البروتينية المتجاورة مع د. ن. أ فى غير مميزة النواة تقوم بتكوين تنظيم حلزوني معين مع د. ن. أ. المرتبط من الخارج كما فى الشكل (٩-٢).

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 متشابهة فى غير مميزة النواة ومميزة النواة على السواء.



الشكل (٢-٩): البروتينات شبه الهستونية المرتبطة بجزء D ن أ في بكتريا القولون