الفصل الثانى

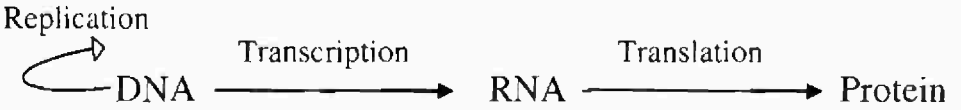
تركيب جزئ د. ن. أ
DNA Structure

قبل أن نتطرق إلى تركيب جزئ د. ن. أ (الحلزون المزدوج) يجدر بنا أولاً أن نتعرف على المكونات الكيماوية للأحماض النووية بنوعيها د. ن. أ، ر. ن. أ نظراً 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 الحية على كميات متفاوته من الأحماض النووية بنوعيها د. ن. أ و ر. ن. أ فى حين توجد بعض الفيروسات لا يوجد بها إلا د. ن. أ والبعض الاخر 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 (التكرر 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 المركزى أو المعادلة المركزية Central Dogma ويمكن تلخيصها كالاتى:



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 إدارة تتابع القواعد (الشفرات) فى جزئ ر. ن. أ الذى يقال لها أنها تترجم إلى تتابع مقابل من الأحماض الأمينية التى يتم ربطها على الريبوسوم بروابط ببتيديه.

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 نيتروجينيه من نوع البيورين (أدينين A ، جوانين G) وهى ثنائية الحلقة أو البيرميدين (أحادية الحلقة) : (سيتوسين C وثايمين T أو يوراسيل فى حالة ر. ن. أ U).

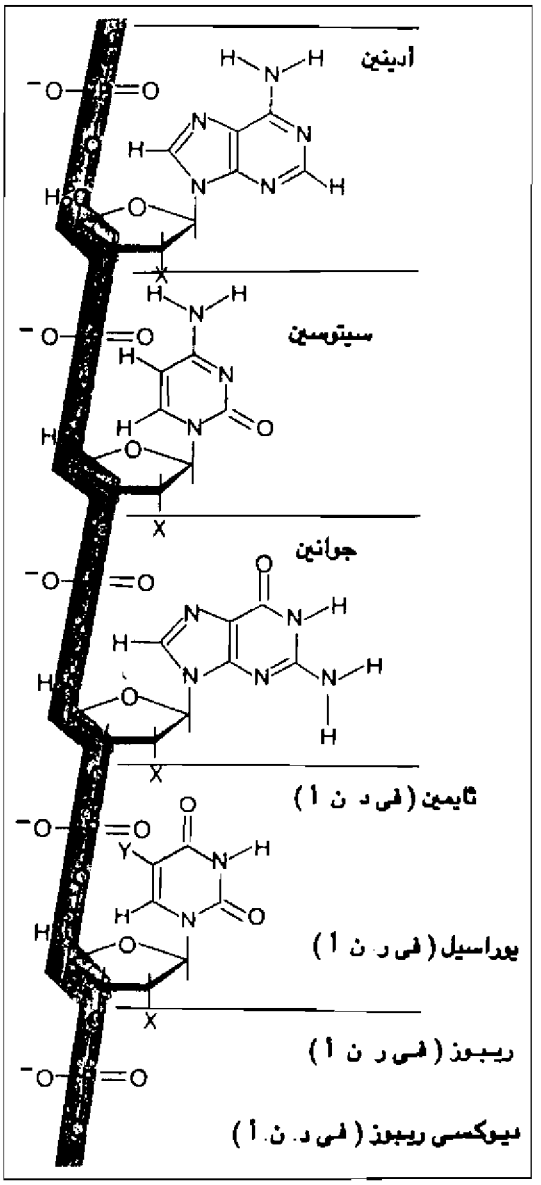
يؤدى التحليل المائى الكامل لجزئ د. ن. أ إلى :

د. ن. أ ⟵ سكر خماسى + قواعد نتروجينية + حامض فوسفوريك.

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

يتكون جزئ الحامض النووى من متعدد خطى من الوحدات البنائية الاساسية التى يطلق على كل منها نيوكليوتيدة Nucleotide ترتبط مع بعضها بروابط فوسفو استيرية ثنائية Phophodiester Bond (الشكل ٢-١) تصل هذه الرابطة ذرة كربون رقم $5^{\prime}$ فى السكر الخماسى للنيوكلتيدة بذرة الكربون رقم $3^{\prime}$ فى السكر الخماسى للنيوكلتيدة التالية لها. وعلى ذلك فإن الهيكل الاساسى للحامض النووى د. ن. أ يتكون من تعاقب السكر الخماسى مع حامض الفوسفوريك فى حين تتصل قواعد النيتروجينيه بهذا السكر الخماسى برابطة جليكوسيدية كما فى الشكل(٢-١).

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



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

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.

	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 بإنزيم ريبونيكليز Ribonuclease
الأنزيم المحلل مائيا	DNase	RNase
دوره فى الخلية	المادة الوراثية	بناء البروتين
الوزن الجزيئى	مرتفع جداً	منخفض نسبياً

قاعدة Charagaff لتزاوج القواعد النتروجينية:

قام شاراجاف عام ١٩٤٩-١٩٥٣ بتحليل محتوى جزئ 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 جزئ د.ن.أ أكثر أهمية من كمياتها أو مقدارها فى تحديد خصائصها الوراثية. كما أثبتت نتائج شاراجاف أيضا أن نسب القواعد النتروجينيه الأربعة ليست

عشوائية على الاطلاق حيث تبين أن كمية الأدنين (A) فى جميع الكائنات تساوى كمية الثايمن (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 .

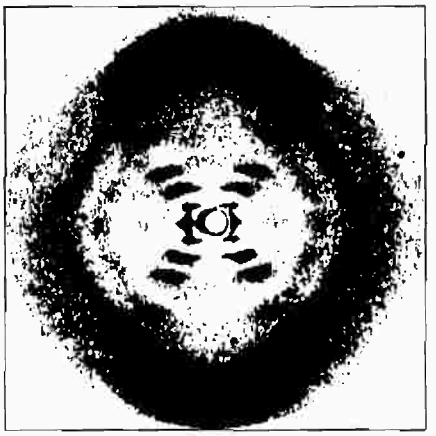
الجدول ٢-٢ البيانات التى أدت إلى استنباط قاعدة شاراجاف

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
الأنسان	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
قطر 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 (K2)	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 لجزئ د.ن.أ DNA double helix:

اهتم العلماء بتحليل صور انحراف آشعة X لجزيئات د.ن.أ والتى 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 النيوكلتيدات، قد تكون أثنتين أو ربما ثلاثة سلاسل. فى نفس الوقت أمكن تحديد الروابط الفوسفودايستر التى تربط بانتظام بين النيوكلتيدات

فى سلسلة د.ن.أ كما كان لقاعدة شاراجاف أهمية 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 (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 والبيريميدينية بسمك 3.4 A° 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 الآخرى بانتظام فى شكل لولب مزدوج يمينى الاتجاة (الشكل ٢-٣-أ) ويكون طول الدورة الكاملة للحلزون $34A^{o}$ وبذلك تكون كل دورة للحلزون مكونه من ١٠ قواعد لكل سلسلة. ومن جهة أخرى، فإن قطر الحلزون المزدوج هو $20A^{o}$. 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 أحدى السلسلتين مع القواعد المكملة لها فى السلسلة المقابلة حسب قاعدة شاراجاف (C ≡ 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 يلية بمسافة $3.4A^{o}$.

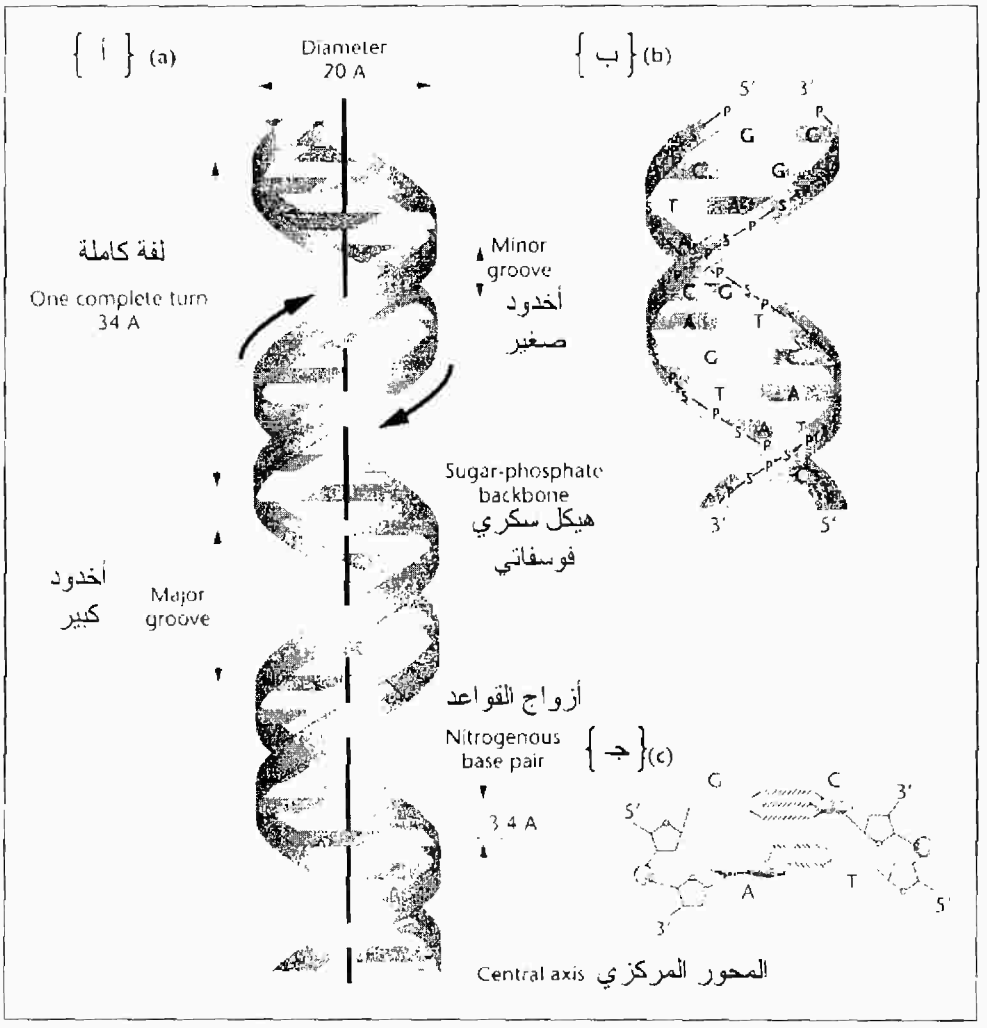
ترتبط القواعد المتقابلة بين السلسلتين بروابط هيدروجينية بحيث ترتبط G مع C بثلاث روابط هيدروجينية فى حين ترتبط A مع T برابطتين فقط (الشكل ٢-٣-ج).

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 البيرميدين معا إلى شغل فراغ صغير نسبياً مما يؤدى إلى خلخلة غير مرغوبة فى الحلزون.

يؤدى التقيد بقاعدة تزاوج القواعد هده Base Pairing Rule إلى 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



الشكل (٢-٣)

(أ) نموذج الحلزون المزدوج كما اقترحه واتسون وكريك – تمثل الأشرطة الملتفة الهيكل الأساسي المكون من السكر – والفوسفات وتمثل أزواج القواعد النتروجينية بأشرطة أفقية ويمثل الخط الرأسي المحور المركزي للحلزون.

(ب) شكل تفصيلي يبين القواعد وهيكل السكر – الفوسفات والروابط الهيدروجينية للحلزون.

(ج) توضيح للطبيعة المتضادة الاتجاه للحلزون والتراص 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 تأتى من حقيقة عدم إمكان تغيير زوايا الروابط النتروجينية بين مكونات النيوكليوتيدات.

ويترتب على حتمية التزاوج بين (T, A) ، (C, G) أنه لابد أن تكون الروابط الفوسفواستيري الثنائية للسلسلتين موجهة فى اتجاهين متضادين Antiparallel أى أن اتجاه $5'$ -C إلى $3'$-C يسرى فى اتجاهين متضادين وعلى ذلك فإن الحلزون المزدوج اذا إنقلب بواقع 180° فإنه سيبدو ظاهريا مطابق للحلزون الأصلى .

تبين أن الروابط الجليوسيدية التى تربط القواعد بالسكر لا تكون مواجهة لبعضها البعض بالضبط مما يؤدى إلى أن الهيكل الأساسى (سكر- فوسفات) لسلسلتى الحلزون المزدوج لا يكونان على مسافات متساوية من محور الحلزون وبذلك يكون الأخدودان المتكونان على طول المحور الأساسى غير متساويان فى الحجم (العمق)، فيتكون اخدود عميق يسمى الأخدود الكبير أو الرئيسى Major Groove بالتناوب مع أخدود أقل عمقاً 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 إلى الخارج فى اتجاه الهيكل الأساسى.

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

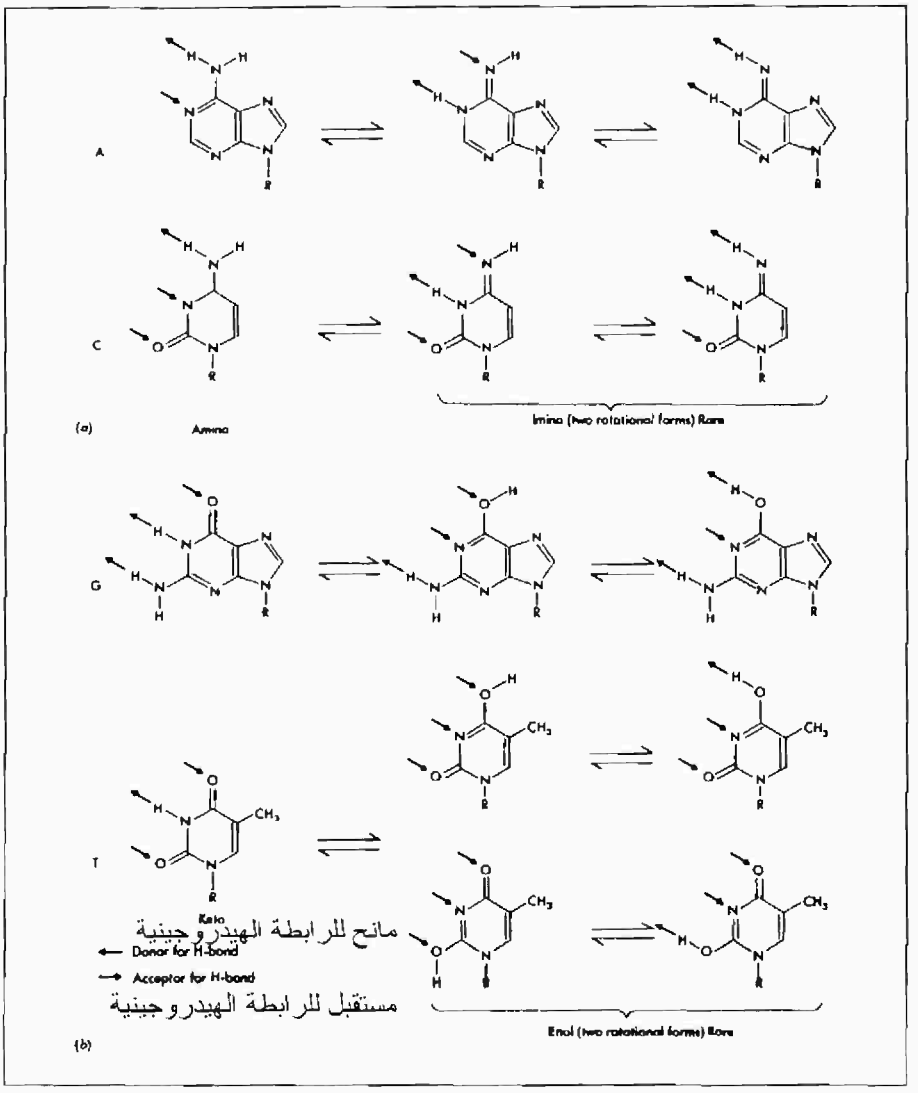
وقد أدت هذه الحقيقة إلى التكهن بأن بعض البروتينات المتخصصة (مثل البروتين المثبط Repressor أو المستحث Inducer) التى تتفاعل وترتبط مع تتابعات معينة على جزئ د.ن.أ عن طريق تكوين روابط هيدروجينية مع مجاميع معينة توجد على الأغلب فى الأخدود الكبير.

بعض خواص جزئ د.ن.أ.:

ثبات التناظر Stability of Tautameric Form:

تبين أن ذرات الهيدروجين المرتبطة بالاكسجين أو النيتروجين فى القواعد البيورينية أو البيرميدينية تفضل صورا ارتباطية معينة كما تميل إلى البقاء فى اماكن 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 Tautamerically Stable حيث يكون الوضع الطبيعى أن يكون النتروجين فى الصورة الأمينية Amino Form (NH_2) بينما الوضع النادر تكون فى الصورة الإيمينية Imino From (NH) كما فى الشكل (٢-٤)، كما أن ذرة الأكسوجين المرتبطة بذرة C6 فى الجوانين والثايمين تكون عادة فى الصورة الكيتونية Keto From (C=O) ونادرا ما تأخذ 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 الإدينين (A) من التزاوج مع قاعدة السيتوسين (C) فى حين قد تتزاوج قاعدة الجوانين (G) مع الثايمين (T). وسوف يؤدى ذلك على اختلال فى تتابع القواعد بين السلسلتين بحيث تفقد صفة التكامل الأساسية، وبالتالى يفقد جزئ د . ن . أ أهم خاصية من خصائصة 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) ما يؤثر سلباً على نمو وانقسام الخلية.



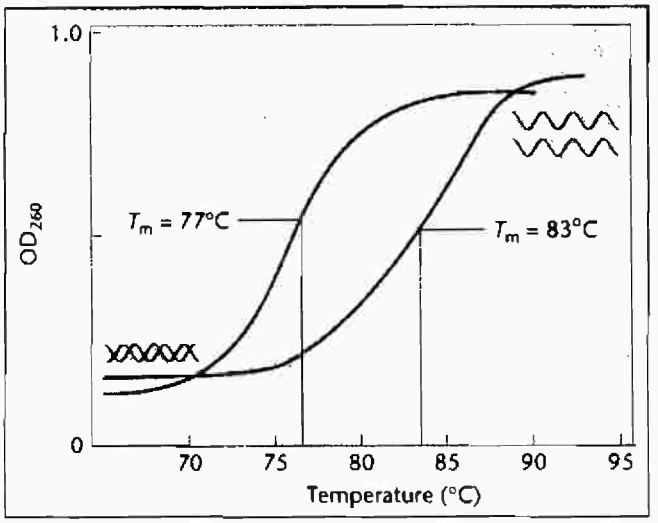
الشكل (٢-٤): صور التناظر التوتاميرية في القواعد النيتروجينية

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

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

الدنترة واعادة الاتحاد Denaturation And Annealing:

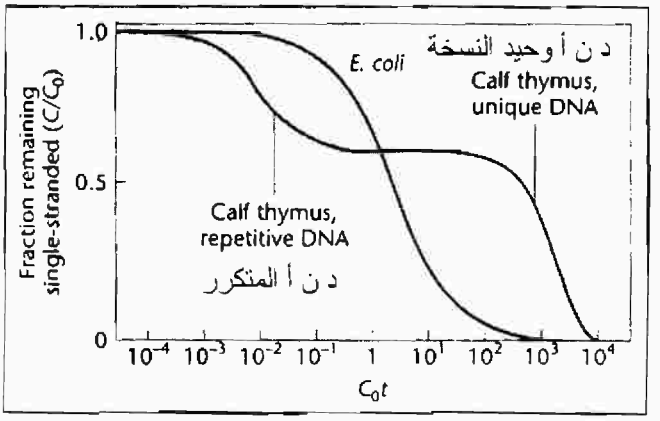
من الخصائص الهامة لجزئ د . ن . أ قدرة السلسلتين الداخلتين فى تركيبة على الإنفصال والابتعاد عن بعضهما تحت ظروف معينة فيما يعرف بعملية الدنترة Denaturation وذلك عند تعريض الحلزون المزدوج لدرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الفسيولوجية (أى حوالى٩٥°م) ويحدث ذلك نتيجة لكسر الروابط الهيدروجينية، وهى روابط ضعيفة وسهلة الكسر بطبيعتها، والتى تربط أزواج القواعد فى السلسلتين. ونتيجة لارتباط C, G بثلاث روابط هيدروجينية 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 Tm) أو حرارة الانصهار وعندها يكون ٥٠% من السلسلتين قد انفكت وتعتمد 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. ويمكن متابعة هذه التحولات فى المعمل بقياس درجة امتصاص الاشعة فوق البنفسجية UV (أو الكثافة الضوئية OD) عند 260um بإستخدام سبكتروفوتوميتر حيث تنخفض لزوجة د . ن . أ اثناء الدنترة ويرتفع امتصاص UV. ويبين الشكل (٢-٥) عملية الانصهارفي 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 محتواهما من G≡C الجزئ الذي تكون درجة حرارة الانصهار فيه (Tm) ٨٣°م يحتوي على مقدار أعلى من G≡C عن الجزئ بدرجة انصهار (Tm) ٧٧°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 النيوكلتيدات) لكائن ما، إذ وجد أنه عندما تتم عملية إعادة الاتحاد تحت ظروف قياسية فإن الجينوم الأكبر حجماً سيأخذ وقتا أطول لإعادة الاتحاد عن الجينوم الصغير الحجم. ويرجع ذلك إلى أن تتابعات القواعد تأخذ وقتا أطول للتوصل إلى التتابع المكمل الصحيح (فكلما زاد حجم الجينوم كلما زادت فرص التصادم بين التتابعات غير الصحيحة - غير المكملة - بين الجزيئات) وقد أدت دراسات إعادة الإتحاد إلى اكتشاف التتابعات المتكررة فى جزئ د . ن . أ فى الكائنات مميزة النواة.

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

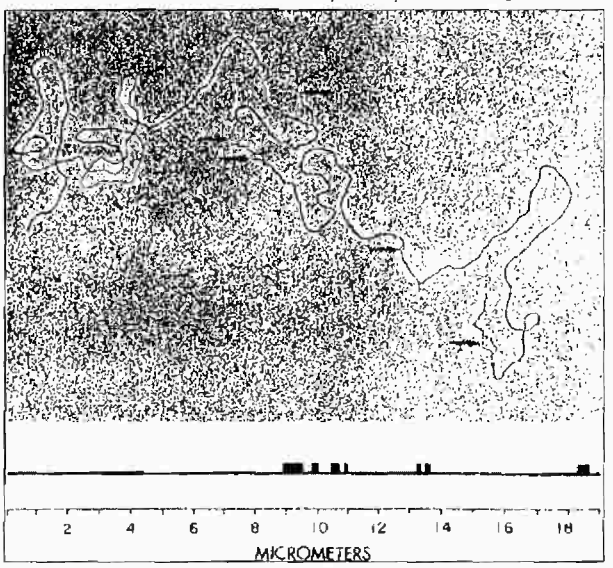


الشكل (٢-٦): منحنى Cot لجزئ د ن أ في الغدة الثيموسية للعجل حيث يحدث للجزء المتكرر من د ن أ العجل إعادة الاتحاد بسرعة عن جزئ د ن أ من بكتيريا القولون في حين يحدث العكس في حالة الجزء غير المتكرر من جزئ د ن أ في العجل

كما يمكن استخدام تقنية التهجين الجزيئى (على اعتبار وجود درجة معقوله من تكامل القواعد بين جزيئات د . ن . أ وتحت ظروف حرارية مناسبة) بحيث يمكن اعادة الاتحاد (التهجين) بين جزيئين من الحامض النووى من مصادر مختلفة وقد يؤدى هذا إلى امكانية التهجين بين نوعين Species مختلفين من د . ن . أ. ويعد ذلك ذو أهمية خاصة فى دراسة العلاقات التطورية بين الانواع على المستوى الجزيئى 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 الذى تم نسخة عليها أصلا أو مع د . ن . أ من نوع Species آخر بشرط أن يكون التتابع النيوكليتدى متكامل بدرجة معقولة.

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 المنطقة الغنية فى أزواج القواعد AT تنفصل كما سبق القول بمعدل أسرع وأسهل عن GC. ويمكن 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 (٢-٧).



الشكل (٢-٧): 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

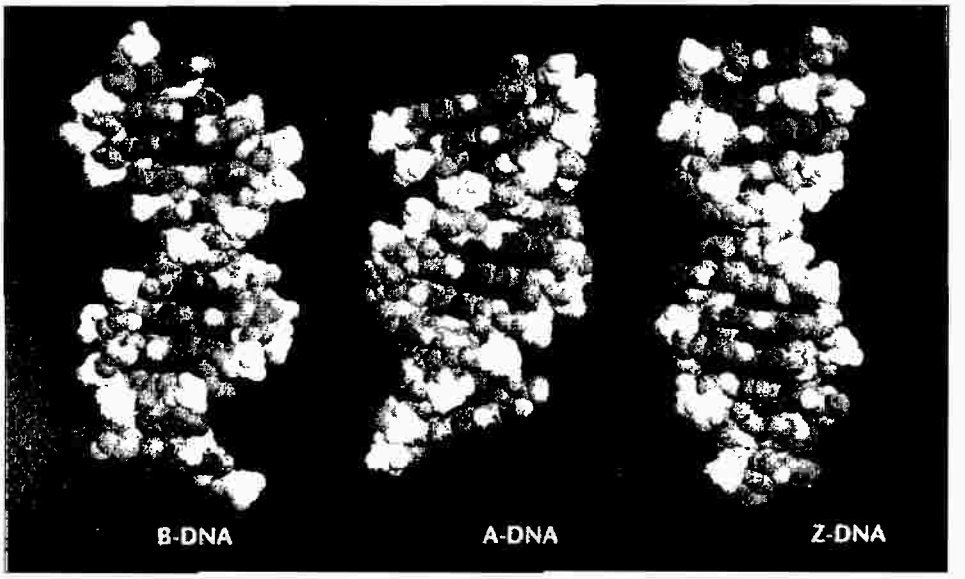
الصور المختلفة لجزئ د . ن . أ:

ظل الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن جزئ د . ن . أ لايوجد إلا فى صورة Configuration واحدة كما قدمها واتسون وكريك وبمعدل دوران ثابت ($36A^{o}$) للحلزنة بين القواعد المتجاورة (أى عشرة أزواج من النيوكلتيدات لكل لفة حلزونية واحدة). إلا ان الدراسات الحديثة اثبتت أن درجة الدوران فى الحقيقة هى 34.6^{o} وبالتالى يكون عدد القواعد فى كل لفة ١٠,٤ 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 فى 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 هى الصورة الأصلية التى قدمها واتسون وكريك والتى تعرف بالصورة B (الشكل ٢-٨) وهو حلزون منتظم يمينى الدورة. وإلى جانب ذلك توجد صورة أخرى نادرة يطلق عليها الصوة (A) يحتوى فيها الجزئ على بعض مناطق ذات تتابعات معينة وهو يمينى الدورة أيضاً إلا أن أزواج القواعد تكون منحدرة أو مائلة بشدة كما تكون منزاحة نحو الخارج بالنسبة لمحور الحلزون مما يؤدى إلى تكوين حلزون أقصر وأوسع عما فى 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 فى الإجزاء البادئة Primer فى شظايا أوكازاكى كما سيأتى بعد. ويرجع ذلك إلى أن مجموعة الهيدروكسيل فى سكر الريبوز فى جزئ ر . ن . أ لا تسمح بتكوين حلزون هجين بين RNA/ DNA من النوع B.

ويعد هذا هو السبب أيضاً فى أن حلـزون ر . ن . أ/ ر . ن . أ RNA (فى دبوس الشعر Hairpin) الذى يتكون احيانا من النوع A.

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



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

الصورة (B) الأكثر شيوعًا (يميني الدورة).

الصورة (A) نادرة وتحدث تحت ظروف الإجهاد البيني مثل الجفاف والملوحة (يميني الدورة).

الصورة (Z) نادرة جدًا والحلزون غير منتظم (يساوي الدورة) ويتكون عندما يكون تتـابع القواعـد ذو طابع خاص غير عادي (عالي جدًا في نسبة GC).

قد يكون لكل من هذه الصور النادرة دور فى التعرف علـــى البروتينـــات التى ترتبط بـــ د . ن . أ (مثل المستحث Inducer أو المثبط Repressor) كمـــا سيأتى بعد.

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

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

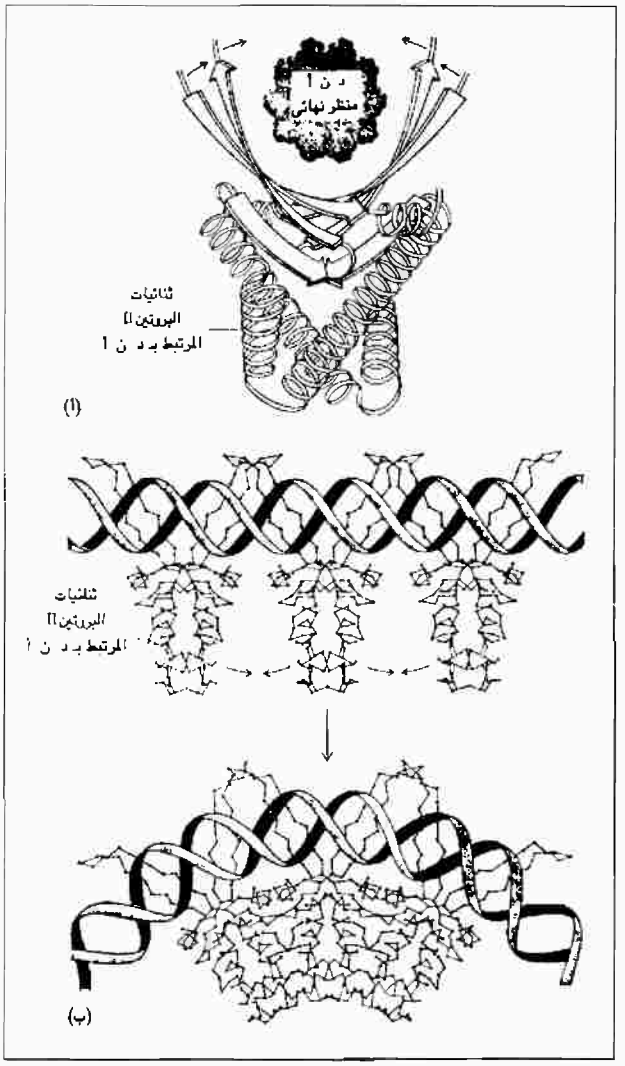
المقارنة	الصورة		
	A	B	Z
معدل حدوثة	نادر	شائع	نادر جدا
الشكل العام	قصير وواسع	أطول وأرفع	مستطيل ورفيع
الإرتفاع بين أزواج القواعد	2.3A°	3.32A°	3.8A°
اتجاه الحلزون	يمينى	يمينى	يسارى
عدد القواعد لكل دورة حلزون	١١	١٠,٤	12
متوسط الدوران لكل زوج من القواعد	33.6°	34.6°	-60°
درجة ميل القواعد بالنسبة للمحور	+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

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 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 بـــ 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. ومن 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 (٢-٩).

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 متشابة فى غير مميزة النواة ومميزة النواة على السواء.



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