



تم تحميل الملف
من موقع **بداية**



للمزيد اكتب
في جوجل



بداية التعليمي

موقع بداية التعليمي كل ما يحتاجه الطالب والمعلم
من ملفات تعليمية، حلول الكتب، توزيع المنهج،
بوربوينت، اختبارات، ملخصات، اختبارات إلكترونية،
أوراق عمل، والكثير...

حمل التطبيق





6-1

المادة الوراثية : DNA

DNA : The Genetic Material

الأهداف

- تَلخُص التجارب التي أدت إلى اكتشاف DNA بوصفه مادة الوراثة.
- ترسم التركيب الأساسي لجزيء DNA.
- تصف التركيب الأساسي للكروموسوم في المخلوقات الحية حقيقية النوى.

مراجعة المفردات

الحمض النووي: جزيئات حيوية معقدة تخزن المعلومات الخلوية في صورة شفرة.

المفردات الجديدة

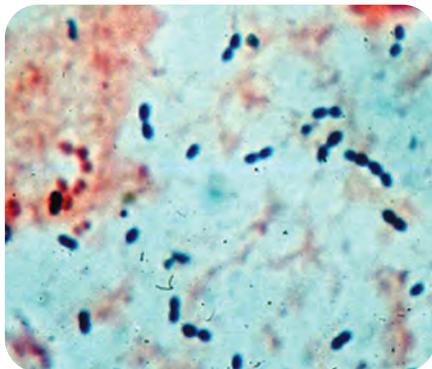
الجزيء الحلزوني المزدوج
الجسيم النووي (نيوكليوسوم)

الفكرة الرئيسية تطلّب اكتشاف DNA بوصفه شفرة وراثية إجراء العديد من التجارب. **الربط مع الحياة** هل تحب قراءة روايات الغموض، أو مشاهدة المحققين على التلفاز وهم يحلون ألغاز الجرائم؟ يبحث المحققون عن أدلة تساعدكم على حل اللغز. وكذلك فإن علماء الوراثة محققون يبحثون عن أدلة في أسرار الوراثة والغازها.

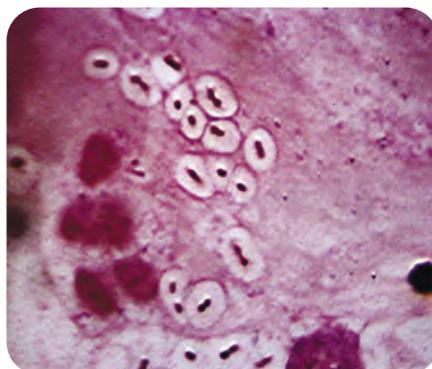
اكتشاف المادة الوراثية Discovery of The Genetic Material

عندما أعيد اكتشاف نتائج مندل في العام 1900م، بدأ العلماء البحث عن الجزيء الذي يدخل في الوراثة. وقد عرّف العلماء أن المعلومات الوراثية محمولة على الكروموسومات في خلايا المخلوقات الحية الحقيقية النوى، وأن أهم مكونين من مكونات الكروموسومات هما DNA والبروتين. وعلى مدى سنوات طويلة حاول العلماء تحديد أي هذين الجزيئين الكبيرين - DNA (الحمض النووي) أو البروتين - هو مصدر المعلومات الوراثية.

العالم جريفيث Griffith في عام 1928م أجرى فريدريك جريفيث أول تجربة رئيسة أدت إلى اكتشاف DNA بوصفه مادة الوراثة. وقد درس جريفيث سلالتين من بكتيريا المكورات السبحية الرئوية *Streptococcus pneumoniae*، التي تسبب التهاب الرئة، فوجد أن إحدى السلالات يمكنها أن تتحول، أو تتغير، إلى شكل آخر. وقد كان لإحدى السلالتين اللتين درسهما غلاف من السكريات، في حين لم تكن للسلالة الأخرى ذلك الغلاف. والسلالة المحاطة بغلاف من السكر تسبب التهاب الرئة، وسماها السلالة الملساء (S). أما السلالة غير المحاطة فلا تسبب التهاب الرئة، وسماها بالخشنة (R)، كما في الشكل 1-6. وتبدو حواف مستعمرات السلالة (R) خشنة نتيجة عدم وجود غلاف يحيط بها.

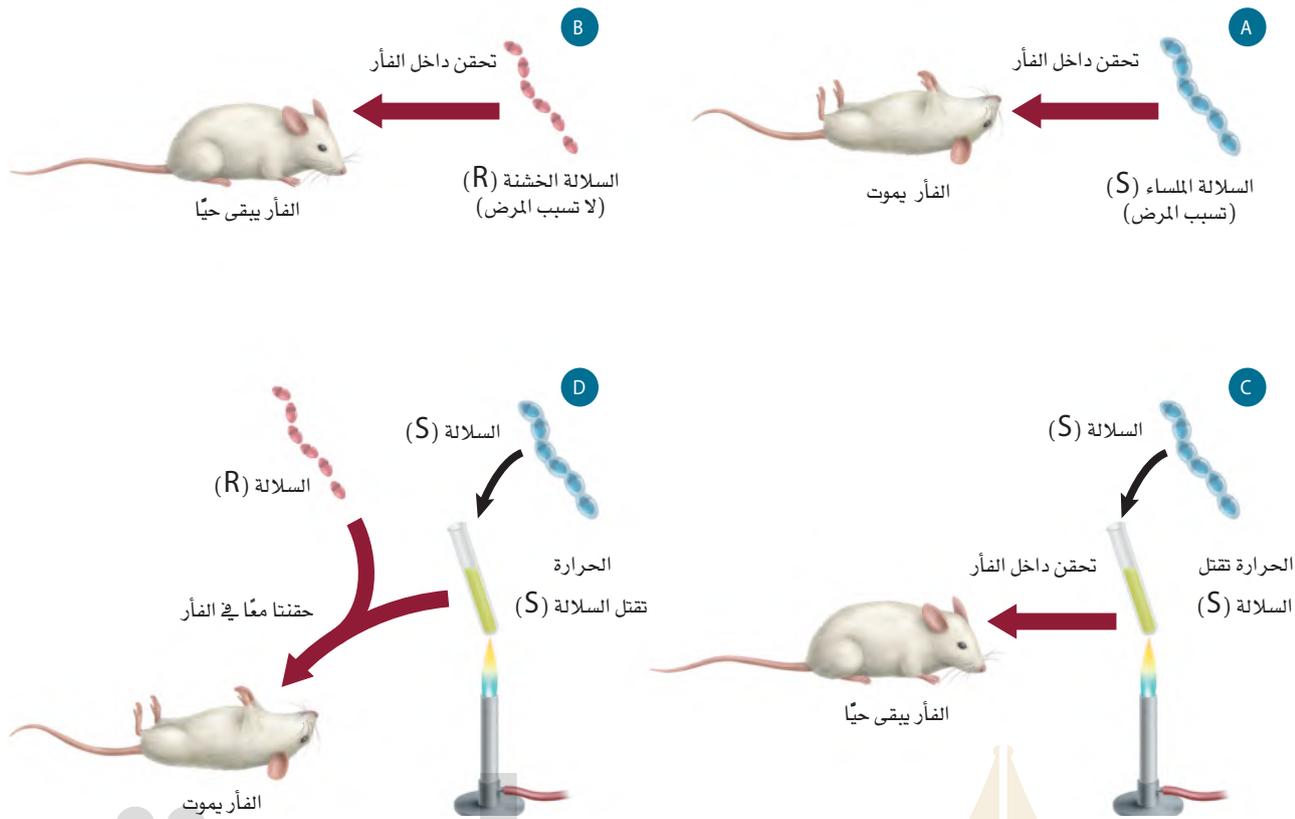


سلالة خشنة - R - pneumoniae



سلالة ملساء - S - pneumoniae

الشكل 1-6 تسبب السلالة الملساء (S) من البكتيريا *S. pneumoniae* التهاب الرئة، بينما لا تسبب البكتيريا الخشنة (R) المرض. يمكن تمييز السلالات من مظهر المستعمرات.



الشكل 2-6 توضح تجربة جريفيث
تحوّل البكتيريا الخشنة إلى بكتيريا ملساء.
فسّر. لماذا استنتج جريفيث أن هناك تحولاً من
البكتيريا الحية (R) إلى البكتيريا الحية (S)؟

مات الفأر .

تتبع تجربة جريفيث في الشكل 2-6، تلاحظ أن خلايا السلاية (S) الحية قتلت الفأر، في حين لم تقتل خلايا (R) الحية الفأر، ولم تقتل خلايا (S) الميتة الفأر أيضاً. ومع ذلك، فعندما حُضِر جريفيث خليطاً من خلايا (R) الحية وخلايا (S) الميتة وحقن الفأر بهذا الخليط مات الفأر. عزل جريفيث خلايا بكتيريا حية من الفأر الميت. وعندما زُرعت هذه البكتيريا وجد أن لديها الصفة الملساء. ويشير هذا إلى أن العامل المسبب للمرض انتقل من البكتيريا الميتة (S) إلى البكتيريا الحية (R)، فاستنتج جريفيث أن هناك تحولاً حدث من البكتيريا الحية (R) إلى البكتيريا الحية (S). وكانت هذه بداية البحوث في عوامل التحول.

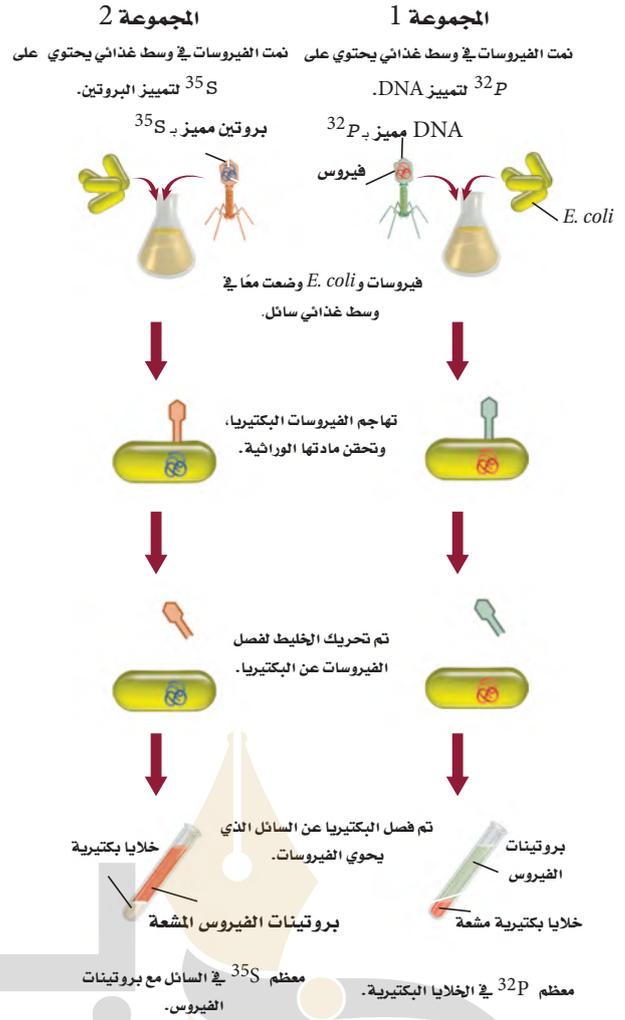
أفري Avery في عام 1944م تعرّف أفري وزملاؤه الجزيء الذي حوّل البكتيريا من السلاية R إلى السلاية S؛ فقد عزل أفري جزيئات كبيرة مختلفة مثل DNA وبروتين ودهون من خلايا البكتيريا (S) الميتة، وقام بتعريض الخلايا البكتيرية الحية (R) للجزيئات الكبيرة على نحو منفصل. وتحوّلت الخلايا (R) إلى خلايا (S) عند تعريضها لجزيئات DNA، فاستنتج أفري أنه عند قتل الخلايا (S) في تجربة جريفيث تحررت جزيئات DNA، فاستقبلت بعض خلايا البكتيريا (R) جزيئات DNA هذه، ممّا أدّى إلى تغيير خلايا البكتيريا (R) إلى خلايا من النوع (S).

✓ **ماذا قرأت؟** فسّر كيف استطاع أفري اكتشاف العامل المحول؟

عندما عرض أفري سلاية البكتيريا R الحية إلى DNA من سلاية بكتيريا S ميتة، تحولت الخلايا R إلى الخلايا S.

هيرشي وتشيس Hershey and Chase في عام 1952م، نشر العالمان ألفرد هيرشي ومارثا تشيس نتائج تجاربهما التي وفرت الدليل الدامغ على أن DNA هو عامل التحول. وقد تضمنت تجاربهما الفيروس الأكل للبكتيريا (البكتيريوفاج)، وهو نوع من الفيروسات يهاجم البكتيريا. وهناك عاملان جعلتا تجربة هيرشي وتشيس ملائمة لإثبات أن DNA هو المادة الوراثية. أولهما أن الفيروس الأكل للبكتيريا المستعمل في التجربة كان مكوناً من DNA وبروتين فقط. وثانيهما أن الفيروسات لا تستطيع أن تتضاعف بنفسها. لذا يجب أن تحقن الفيروسات مادتها الوراثية داخل خلايا حية لكي تتمكن من التكاثر. وقد ميّز هيرشي وتشيس مكوّنَي الفيروس (DNA والبروتين)؛ ليحددا أي هذين المكونين يُحقن داخل البكتيريا، لمعرفة أي هذين المكونين هو المادة الوراثية.

العلامات المشعة Radioactive labeling استعمل هيرشي وتشيس تقنية تُسمى العلامات بالإشعاع لتتبع DNA والبروتين عندما تهاجم الفيروسات الأكلة للبكتيريا خلايا البكتيريا وتتكاثر داخلها، لاحظ الشكل 3-6. وقد حقن هذان العالمان مجموعة من الفيروسات بالفوسفور المشع (^{32}P). ولما كانت البروتينات لا تحتوي على فوسفور، لذا سيكون DNA فقط وليس البروتين هو الجزيء المشع. وقد قام هذان العالمان أيضاً بحقن مجموعة أخرى من الفيروسات الأكلة للبكتيريا بالكبريت المشع (^{35}S). ولما كانت البروتينات تحتوي على الكبريت ولا تحتوي عليه جزيئات DNA فإن البروتينات هي التي ستشع وليس DNA. جعل هيرشي وتشيس مجموعتي الفيروسات تهاجمان البكتيريا. وعندما تهاجم الفيروسات البكتيريا تلتصق بسطحها الخارجي وتحقن مادتها الوراثية داخلها. ثم عزلت البكتيريا المصابة عن الفيروسات.



الشكل 3-6 استعمل هيرشي وتشيس تقنية العلامات المشعة في توضيح أن DNA هو المادة الوراثية في الفيروسات.

ملخص نتائج هيرشي وتشيس		الجدول 1-6	
المجموعة 2 (فيروسات مميزة بـ ^{35}S)		المجموعة 1 (فيروسات مميزة بـ ^{32}P)	
سائل يحتوي على فيروسات	بكتيريا مُصابة	سائل يحتوي على فيروسات	بكتيريا مُصابة
<ul style="list-style-type: none"> توجد بروتينات مميزة. لم تتضاعف الفيروسات. 	<ul style="list-style-type: none"> لا توجد بروتينات فيروس مميزة بـ (^{35}S). تضاعف الفيروس. لم تكن الفيروسات الجديدة مميزة. 	<ul style="list-style-type: none"> لا يوجد DNA مميز. لم تتضاعف الفيروسات. 	<ul style="list-style-type: none"> DNA فيروس مميز بـ (^{32}P) داخل خلايا البكتيريا. تضاعف الفيروس. الفيروسات الجديدة تحوي ^{32}P.

تتبع DNA Tracking DNA تفحص هيرشي وتشيس المجموعة 1 التي حُقنت بـ ^{32}P ، ووجد أن DNA الفيروس المميز بالمادة المشعة حُقن داخل الخلية البكتيرية. وبعد فترة من الزمن وجد أن الفيروسات التي تكاثرت داخل البكتيريا المصابة وخرجت منها تحوي ^{32}P ، وهذا يشير أيضًا إلى أن DNA هو الذي يحمل المعلومات الوراثية.

وعندما فحصا المجموعة 2 المميزة بـ ^{35}S المشع وجد أن البروتينات المميزة بالمادة المشعة بقيت خارج الخلايا البكتيرية؛ لأنه لم يوجد أي ^{35}S في الداخل. حيث تضاعفت الفيروسات داخل خلايا البكتيريا، مما يشير إلى أن المادة الوراثية الفيروسية دخلت البكتيريا. يلخص الجدول 1-6 النتائج التي توصل إليها هيرشي وتشيس من تجربتهما.

بناءً على نتائجهما استنتجا أن DNA الفيروس حُقن داخل الخلية ووفر المعلومات الوراثية المطلوبة لبناء فيروسات جديدة. وقد أعطت هذه التجربة دليلاً قوياً على أن DNA وليس البروتين، هو المادة الوراثية التي يمكن أن تنتقل من جيل إلى جيل في الفيروسات.

✓ **ماذا قرأت؟** فسّر لماذا كان يُعد إنتاج الفيروسات الجديدة داخل البكتيريا مهمًا؟

تركيب د.ن.أ. DNA Structure لأنها وضحت أن المادة الوراثية التي دخلت البكتيريا في صورة DNA، لا في صورة البروتين.

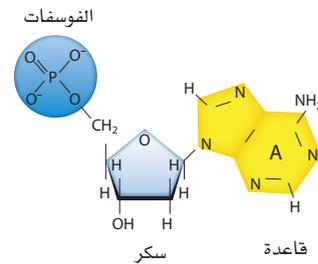
بعد تجربة هيرشي وتشيس أصبح العلماء أكثر ثقة أن DNA هو المادة الوراثية. وقد أدت الأدلة إلى تعرف المادة الوراثية.

النيوكليوتيدات Nucleotides في عام 1920م حدد عالم الكيمياء الحيوية ليفين التركيب الأساسي للنيوكليوتيدات التي تُكوّن DNA. فالنيوكليوتيدات وحدات بنائية للأحماض النووية، وتتكون من سكر خماسي الكربون، ومجموعة فوسفات وقاعدة نيتروجينية، لاحظ الشكل 4-6. الحمضان النوويان الموجودان في الخلايا الحية هما: DNA و RNA. وتحتوي النيوكليوتيدات في DNA على سكر رايبوز منقوص الأكسجين، ومجموعة فوسفات وإحدى أربع قواعد نيتروجينية هي: الأدينين والجوانين والسيتوسين والثايمين.

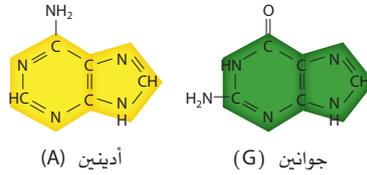
الشكل 4-6 تتكون النيوكليوتيدات من فوسفات، وسكر وقاعدة نيتروجينية. هناك خمسة أنواع مختلفة من القواعد الموجودة في الوحدات الأساسية للنيوكليوتيدات التي تشكل DNA و RNA. حدد ما الفرق التركيبي بين قواعد بيريميدين وقواعد بيورين؟

للبيورينات حلقتان ، في حين أن للبيريميدينات حلقة واحدة .

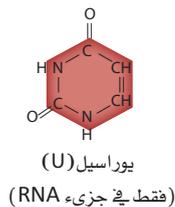
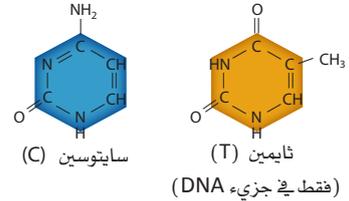
تركيب النيوكليوتيد



قواعد البيورينات



قواعد البيريميدينات



وتحتوي نيوكليوتيدات RNA على سكر رايبوز، ومجموعة فوسفات، وإحدى أربع قواعد نيتروجينية هي: الأدينين والجوانين والسيتوسين واليوراسيل. تجد أن الجوانين (G) والأدينين (A) قواعد نيتروجينية ثنائية الحلقات. وهذا النوع من القواعد يسمى قواعد البيورين. أما السيتوسين (C) واليوراسيل (U) والثايمين (T) فهي قواعد نيتروجينية ذات حلقة واحدة، وتسمى قواعد بيريميدين.

تشارجاف Chargaff حلل إروين تشارجاف (عام 1940م) كمية الأدينين والجوانين والثايمين والسيتوسين في DNA لأنواع مختلفة من المخلوقات الحية، ونُشر جزء من بيانات تشارجاف عام 1950م، كما في الشكل 5-6. وجد تشارجاف أن كمية الجوانين تساوي كمية السيتوسين تقريباً، وأن كمية الأدينين تساوي كمية الثايمين تقريباً في النوع الواحد. وسُمي هذا الاكتشاف قاعدة تشارجاف: $C = G$ و $A = T$.

ويلكنز Wilkins استخدم ويلكنز تقنية تُسمى تشتت الأشعة السينية، وهي تقنية تتضمن تصويب الأشعة السينية على جزيء DNA. وفي عام 1951م، انضمت فرانكلين إلى الفريق. وهناك التقطت الصورة رقم 51 المشهورة الآن، وجمعت بيانات استخدمها بعد ذلك واطسون وكريك. وقد أشارت هذه الصورة في الشكل 6-6، إلى أن DNA هو **جزئيء حلزوني مزدوج double helix**، أو على شكل سلم ملتو، مكون من سلسلتين من النيوكليوتيدات ملتفتين إحداهما حول الأخرى. وقد حدّد واطسون وكريك التركيب الحلزوني المزدوج لجزء DNA لاحقاً، حيث استخدمنا بيانات فرانكلين وبيانات رياضية أخرى. وجزء DNA هو المادة الوراثية لكل المخلوقات الحية، ومكوّن من سلسلتين من النيوكليوتيدات، كل منهما متمم للآخر. وهي أشرطة ملتفة بعضها حول بعض بدقة ليكون الشكل الحلزوني المزدوج، فتبارك الله أحسن الخالقين.

واطسون وكريك Watson and Crick شاهد واطسون وكريك صورة فرانكلين لتشتت الأشعة السينية. وقد قاس واطسون وكريك معاً عرض الجزئيء الحلزوني والمسافات بين القواعد مستخدمين بيانات فرانكلين وبيانات تشارجاف، وقاما ببناء نموذج لجزء DNA المزدوج يتوافق مع أبحاث الآخرين. ويبين الشكل 6-7 النموذج الذي بنياه في عام 1953م. وقد اشتمل نموذجهم المقترح على بعض الخصائص المهمة الآتية:

1. سلسلتين خارجيتين تتكونان من سكر الرايبوز المنقوص الأكسجين وفوسفات بشكل متبادل.
2. يرتبط السيتوسين والجوانين معاً بثلاث روابط هيدروجينية.
3. يرتبط الثايمين والأدينين معاً برابطتين هيدروجينيتين.

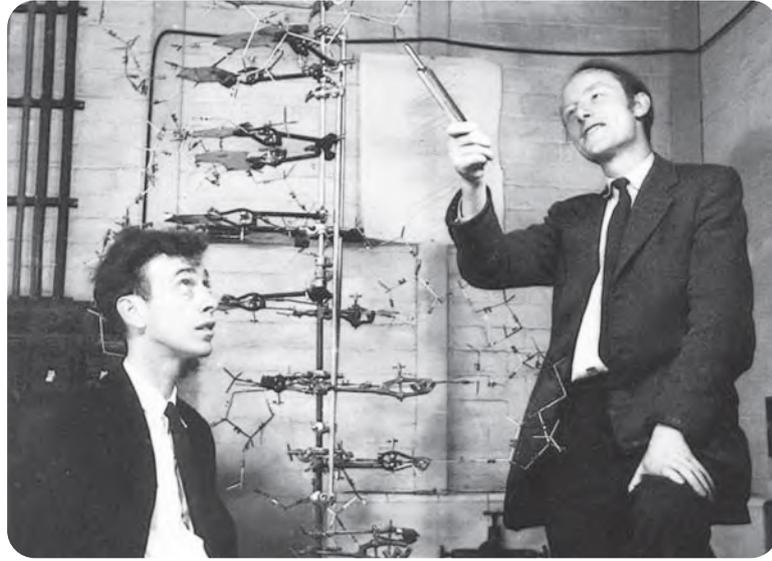
بيانات تشارجاف				
تركيب القواعد (النسبة المئوية)				
C	G	T	A	المخلوق الحي
25.2	24.9	23.9	26.0	<i>E. coli</i>
17.1	18.7	32.9	31.3	خميرة
22.6	22.2	27.5	27.8	سمك الرنجة
21.5	21.4	28.4	28.6	الجرذ
19.8	19.9	29.4	30.9	الإنسان

الشكل 5-6 يبين نتائج تشارجاف أنه على الرغم من اختلاف نسب القواعد النيتروجينية من نوع إلى آخر، إلا أن $G = C$ و $A = T$ في النوع الواحد.



الشكل 6-6 صورة 51 الخاصة بروزالند فرانكلين وبيانات تشتت أشعة X ساعدتا واطسون وكريك على حل لغز تركيب جزيء DNA. عندما حُلّل وقيس بدقة أظهر النمط خصائص تركيب حلزوني.

الشكل 6-7 حل واطسون وكريك
لغز تركيب DNA، باستخدام بيانات
تشارجاف وبيانات فرانكلين.



تركيب DNA structure DNA يحاكي جزيء DNA على الأغلب السلم الملتوي؛ حيث يمثل حاجز الحماية (الدرابزين) للسلم، السكر المنقوص الأكسجين والفوسفات بشكل متبادل. وتشكل أزواج القواعد النيتروجينية (السايتوسين - الجوانين أو الثايمين - الأدينين) درجات هذا السلم. وترتبط البيريميديينات دائماً بالبيورينات، فتحافظ بذلك على البعد الثابت لحاجزي الحماية - سلسلتي DNA- في السلم. هذا الترابط المقترح للقواعد يفسر أيضاً نتائج تشارجاف، الذي اقترح أن كمية البيريميديينات تساوي كمية البيورينات في عينة جزيء DNA. لذا فإن $C + T = G + A$ ، أو أن قواعد البيريميديينات تساوي قواعد البيورينات. تستخدم أزواج القواعد المتممة لوصف الارتباط الدقيق بين قواعد البيورينات والبيريميديينات بين سلسلتي الأحماض النووية. وهي خاصية تضاعف جزيء DNA التي يمكن من خلالها للسلسلة الأصلية أن تحدد ترتيب القواعد في السلسلة الجديدة.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر لماذا كانت بيانات تشارجاف دليلاً مهماً للوصول إلى بناء DNA؟

أشارت بيانات تشارجاف إلى أن القواعد ترتبط معا في أزواج على نحو محدد .

تجربة استهلاكية

مراجعة اعتماداً على ما قرأته حول تاريخ تجارب جزيء DNA، كيف يمكنك الآن الإجابة عن أسئلة التحليل؟

beadaya.com

تجربة 1 - 6

عمل نموذج DNA

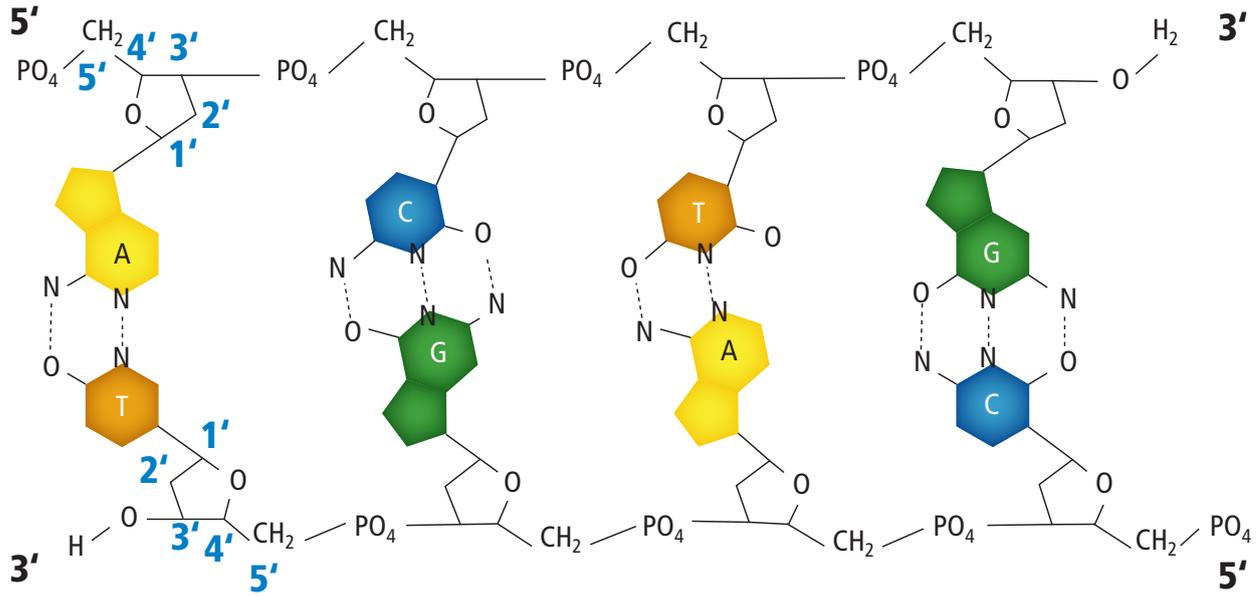
ما تركيب جزيء DNA؟ صمّم نموذجاً يزيد من فهم تركيب جزيء DNA.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. صمّم نموذجاً لقطعة صغيرة من DNA باستخدام المواد التي يوفرها لك مُعلمك.
3. حدد أجزاء النموذج التي تتطابق مع الأجزاء المختلفة من جزيء DNA.

التحليل

1. صف تركيب جزيء DNA الخاص بك.
2. حدّد خصائص DNA التي ركزت عليها عند بناء نموذجك.
3. استنتج. كيف يختلف نموذجك عن نماذج زملائك في الصف؟ وكيف يرتبط هذا الاختلاف مع اختلافات جزيء DNA بين المخلوقات الحية؟



الاتجاه Orientation من الصفات الفريدة لجزيء DNA اتجاه أو ترتيب السلسلتين؛ حيث يمكن ترقيم الكربون في المركبات العضوية (وهي هنا السكر). ويوضح الشكل 6-8 اتجاه ذرات الكربون المرقمة في جزيئات السكر في كل سلسلة من سلاسل DNA. فتكون بداية الارتباط في السلسلة العلوية عند الكربون رقم 5 في سكر الرايبوز فتسمى 5' (يُقرأ "خمسة شرطة") وينتهي الارتباط عند الكربون رقم 3 في سكر الرايبوز عند نهاية السلسلة، فتسمى 3' (يُقرأ "ثلاثة شرطة"). ويقال إن السلسلة تترتب من 5' إلى 3'. بينما تترتب السلسلة الأخرى الموازية في الاتجاه المعاكس من 3' إلى 5'.

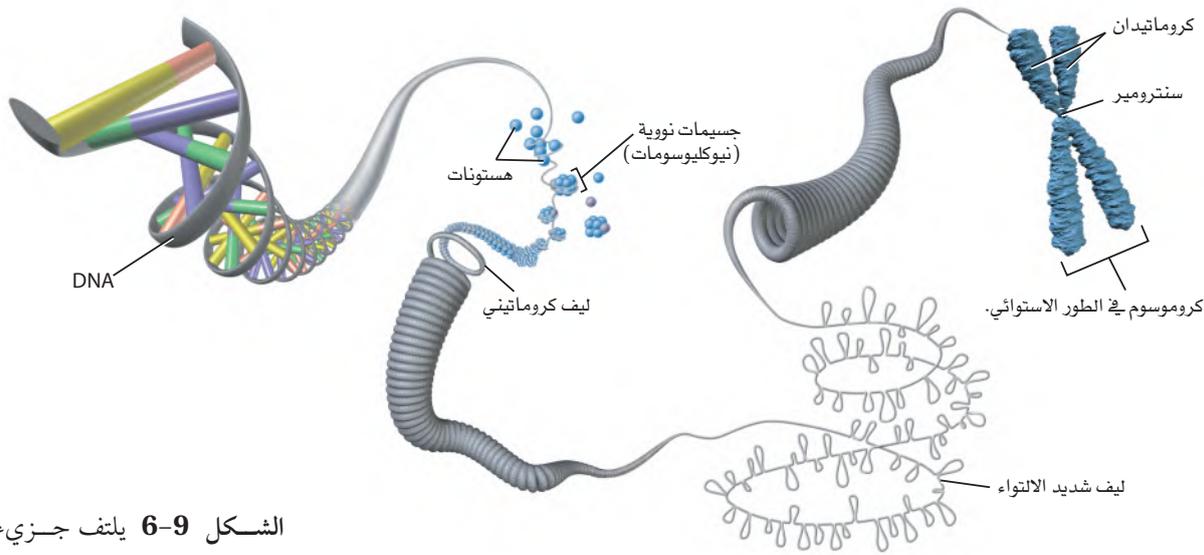
ترتيب السلسلتين هذا يُسمى التوازي المتعاكس، لاحظ الشكل 6-8. وهناك طريقة أخرى توضح الترتيب المتوازي المتعاكس لسلسلتي DNA بأخذ قلمٍ رصاص ووضعهما بحيث يكون رأس أحدهما بجوار ممحاة القلم الآخر.

التركيب البنائي للكروموسوم Chromosome Structure

يوجد جزيء DNA في المخلوقات الحية البدائية النوى في السيتوبلازم، ويتكون بشكل أساسي من حلقة من DNA ويرتبط مع البروتينات، في حين يترتب DNA في المخلوقات الحية الحقيقية النوى في صورة كروموسومات منفردة. يتكون الكروموسوم في الإنسان من 51 مليوناً إلى 245 مليون زوج من القواعد النيتروجينية. وإذا تم بسط سلسلة DNA مكونة من 140 مليون نيوكليوتيد في خط مستقيم فإن طوله سيبلغ 5 cm تقريباً. فكيف يمكن لكمية DNA هذه أن تترتب داخل خلية مجهرية؟

■ الشكل 6-8 تترتب سلسلتا DNA على نحو متوازٍ ومتعاكس ويكوّنان جزيء DNA الحلزوني. **فسر لماذا سميت نهايتا سلسلتي جزيء DNA بـ 3' و 5'؟**

نتيجة ترتيب ذرات الكربون في جزيء السكر .



الشكل 6-9 يلتف جزيء DNA

حول الهستونات ليكون جسيمات نووية (نيوكليوسومات)، تلتف بدورها لتكوّن أليافاً كروماتينية. وتلتف ألياف الكروماتين بشدة لتكوين الكروموسومات التي تكون واضحة في أثناء الطور الاستوائي للانقسام المتساوي.

لكي يترتب جزيء DNA داخل نواة خلية حقيقية النواة فإنه يلتف حول مجموعة من البروتينات تشبه الخرز تسمى الهستونات، كما في الشكل 6-9. ولأن مجموعات الفوسفات في DNA تحمل شحنة سالبة، فهي تجذب جزيئات DNA إلى بروتينات الهستون الموجبة الشحنة، فتكوّن جسيمًا نوويًا (نيوكليوسوم) nucleosome، ثم تتجمع النيوكليوسومات معًا لتكوّن أليافاً كروماتينية، يلتف بعضها على بعض لتكوّن تركيب DNA المعروف بالكروموسوم.

التقويم 6-1

الخلاصة

- تعد تجربة جريفيث باستعمال البكتيريا وتفسير أفري أول إشارة إلى أن جزيء DNA هو المادة الوراثية.
- وفرت تجربة هيرشي وتشيس دليلاً على أن جزيء DNA هو المادة الوراثية في الفيروسات.
- تنص قاعدة تشارجاف على أنه - في جزيء DNA - كمية السيتوسين تساوي كمية الجوانين، وكمية الثايمين تساوي كمية الأدينين.
- وفرت أعمال واطسون وكريك وفرانكلين وويلكنز دليلاً على التركيب الحلزوني المزدوج لجزيء DNA.

فهم الأفكار الرئيسية

1. الفكرة الرئيسية: لخص تجارب جريفيث وأفري التي أشارت إلى أن جزيء DNA هو المادة الوراثية.
2. صف البيانات التي استعملها واطسون وكريك في تحديد تركيب جزيء DNA.
3. ارسم وعبّر عن الأجزاء في قطعة DNA، مبيّناً الشكل الحلزوني لهذا الجزيء وارتباط القواعد النيتروجينية المتممة.
4. صف تركيب الكروموسومات في المخلوقات الحية الحقيقية النوى.

التفكير الناقد

5. صف خاصيتين يحتاج إليهما جزيء DNA لكي يؤدي دوره بوصفه مادة الوراثة.
6. قوّم قرار هيرشي وتشيس في استعمال الفوسفور والكبريت المشعّين في تجاربهما. وهل كان يمكن استخدام الكربون أو الأكسجين كبديلين؟ ولماذا؟



التقويم 1-6

1. بيّن جريفيث أنّ البكتيريا يمكن أن تتحول بواسطة انتقال مادة وراثية، وبيّن أفري أنّ DNA هي مادة الوراثة.
2. أظهرت صورة فرانكلين 51 الشكل الحلزوني، كما أظهرت بياناتها الرياضية المسافات بين الشريطين.
3. يجب أن يبين الرسم A-T و C-G والاتجاه المتوازي المتعاكس للسلاسل.
4. يلتف DNA حول المستونات ليكون الجسيمات النووية (النيوكليوسومات)، التي تجتمع معاً لتكوّن خيوط الكروماتين، والتي تلتف بشدة بدورها لتكوّن الكروموسوم.
5. يجب أن يكون DNA مسؤولاً عن تشفير البروتين وقادراً على التضاعف.
6. استعمالا الكبريت المشع، لأنّ الكبريت يوجد فقط في البروتينات، واستعمالا الفوسفور المشع؛ لأنّ الفوسفور يوجد فقط في DNA. لا يمكنهم استعمال الكربون أو الأكسجين لأنّ هذه العناصر تكثر في كلّ من DNA والبروتينات.