

تضاعف DNA

Replication of DNA

الأهداف

- تُلخّص دور الإنزيمات في تضاعف DNA.
- تُفسّر كيف يتم بناء السلسلة الرئيسية والسلسلة الثانوية بصورة مختلفة كل منهما عن الأخرى.

مراجعة المفردات

القالب، جزيء الـ DNA الذي يُعد النمط (الأساس) اللازم لبناء سلسلة DNA جديدة.

المفردات الجديدة

التضاعف شبه المحافظ.
إنزيم بلمرة DNA
قطعة أوكازاكي.

الفكرة الرئيسة يتضاعف DNA بتكوين سلسلة جديدة متممة للسلسلة الأصلية.

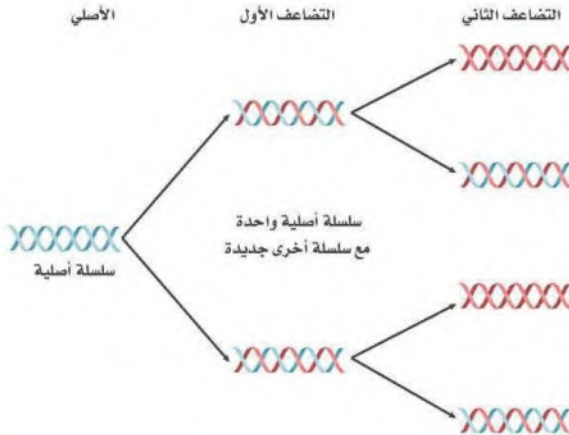
الربط مع الحياة عندما تستخدم آلة التصوير فإنك تتوقع أن تكون النسخ طبق الأصل. إن عمل نسخة تحوي أخطاءً لم تكن موجودة في الأصل غير مفيد. وكذلك، فكّر كيف يستطيع جسمك عمل نسخ من DNA؟

تضاعف DNA شبه المحافظ Semiconservative Replication

اقترح واطسون وكريك طريقة محتملة لتضاعف جزيء DNA، وهو ما يسمى عملية التضاعف شبه المحافظ؛ حيث تنفصل خلال التضاعف شبه المحافظ semiconservative replication سلاسل DNA الأصلية لتعمل بوصفها قوالب templates، وتبدأ عملية التضاعف، فينتج جزيء DNA مكوّن من سلسلة أصلية وأخرى جديدة. درست من قبل أن تضاعف DNA يحدث في الطور البيني للانقسام المتساوي أو المنصف. تتضمن عملية التضاعف شبه المحافظ ثلاث مراحل، هي: فك الالتواء، وارتباط القواعد في أزواج، وإعادة ربط السلاسل، كما في الشكل 9-10.

فك الالتواء Unwinding يسمى الإنزيم المسؤول عن فك الالتواء وفصل جزيء DNA الحلزوني المزدوج إنزيم فك الالتواء (هيليكيز helicase).

التضاعف شبه المحافظ



■ الشكل 9-10 في التضاعف شبه المحافظ، تنفصل سلاسل DNA الأصلي بعضها عن بعض، وتصبح حجر الأساس في إنتاج جزيئي DNA جديدين، يمكنهما بعد ذلك الانفصال لإنتاج أربعة جزيئات DNA أخرى.

تجربة 2-9

نموذج تضاعف DNA

كيف يتضاعف جزيء DNA؟ استعمل نموذجًا يوضح تضاعف جزيء DNA على نحو أفضل.

خطوات العمل

1. املا بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل نموذج DNA الخاص بك من التجربة 1-9، وقطعًا إضافية لعمل نموذج لتضاعف قطعة DNA الخاصة بك.
3. استعمل نموذجك لتوضيح تضاعف DNA لطلاب صفك، وحدد الإنزيمات التي تدخل في كل خطوة.

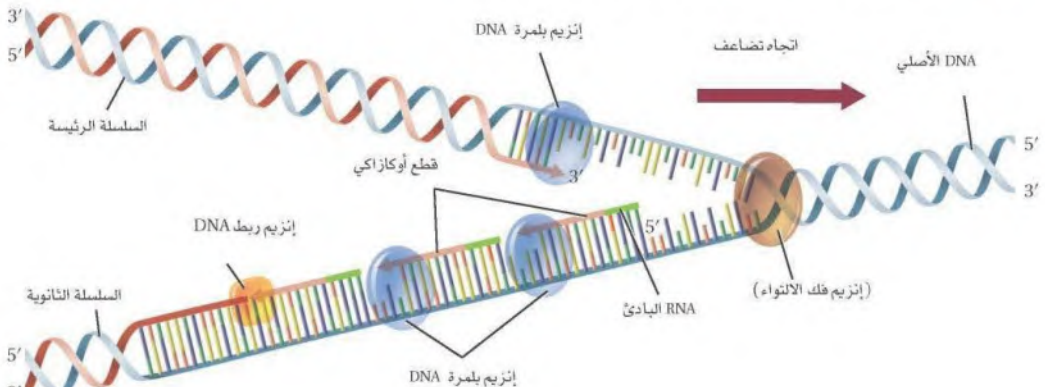
التحليل

1. فسر. كيف يوضح نموذج تضاعف DNA الخاص بك التضاعف شبه المحافظ؟
2. استنتج. كيف يؤثر غياب إنزيم ربط DNA في تضاعف DNA في الخلية؟
3. حدد. أين يمكن أن تحدث الأخطاء في عملية التضاعف؟

وعندما تنفصل سلاسل الحلزون المزدوج تتكسر الروابط الهيدروجينية بين القواعد، فتكوّن سلاسل DNA منفردة. ثم تقوم بروتينات تُسمى البروتينات المرتبطة مع السلاسل المنفردة، بالارتباط بجزيء DNA لضمان بقاء السلاسل منفصلة بعضها عن بعض خلال عملية التضاعف. وبعد الانتهاء من فك التواء الحلزون يقوم إنزيم آخر يُسمى إنزيم RNA البادئ (RNA primase) بإضافة قطعة صغيرة من RNA، تسمى قطعة RNA الأولية، إلى كل سلسلة من سلاسل DNA.

ارتباط القواعد في أزواج Base pairing يحفز إنزيم بلمرة DNA DNA polymeras إضافة النيوكليوتيدات المناسبة إلى سلسلة DNA الجديدة. تضاف النيوكليوتيدات إلى النهاية (الطرف) 3' في السلسلة الجديدة، كما في الشكل 9-11. تذكر أن كل قاعدة نيتروجينية ترتبط بالقاعدة النيتروجينية المتممة لها فقط - مثلاً القاعدة النيتروجينية A ترتبط مع T، و C ترتبط مع G. وهذه الطريقة تسمح بإنتاج نسخ متماثلة من جزيء DNA الحلزوني المزدوج الأصلي. يبين الشكل 9-11 أن السلسلتين تُصنعان بطريقتين مختلفتين قليلاً. فإحدهما تُسمى السلسلة الرئيسة، ويزداد طولها عندما يتم فك الالتواء في اتجاه شوكة التضاعف. ويتم إنتاج هذه السلسلة بإضافة النيوكليوتيدات بشكل متواصل إلى النهاية.

■ الشكل 9-11 تنفصل سلسلتا DNA إحداهما عن الأخرى خلال عملية التضاعف، وعُملدّ يتم استعمال السلسلة الأصلية على أنها حجر الأساس للسلسلة الجديدة. استنتج. لماذا تكون السلسلة الثانوية قطعًا بدلاً من أن تُصنع بشكل متصل؟



أما سلسلة DNA الأخرى فتُسمى السلسلة الثانوية، ويزداد طولها في اتجاه شوكة التضاعف. وتُصنع هذه السلسلة بشكل غير متواصل، وفي صورة قطع تُسمى **قطع أوكازاكي** (okazaki fragments)، باستخدام إنزيم بلمرة DNA وفي الاتجاه من 3' إلى 5'. يتم ربط هذه القطع لاحقاً بإنزيم ربط DNA (ligase). ويبلغ طول كل قطعة من قطع أوكازاكي نحو 100 - 200 نيوكليوتيد في المخلوقات الحية الحقيقية النوى. ولما كانت إحدى السلاسل تُصنع بشكل متواصل والأخرى تُصنع بشكل غير متواصل فإن تضاعف DNA يُسمى شبه المتقطع، وكذلك شبه المحافظ.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر كيف يضمن ارتباط القواعد في أزواج خلال التضاعف أن السلسلة المتكونة متطابقة مع السلسلة الأصلية؟

إعادة ربط السلاسل Joining على الرغم من أن السلسلة الأصلية تُصنع بشكل متواصل فإن تضاعف DNA في الخلايا الحقيقية النوى يبدأ عادة في عدة مناطق على طول الكروموسوم، وعندما يصل إنزيم بلمرة DNA إلى RNA البادئ فإنه يزيل البادئ ويستبدل به نيوكليوتيدات DNA. ثم يقوم إنزيم ربط DNA بربط الجزأين.

التقويم 2-9

الخلاصة

- تسهل الإنزيمات (إنزيم فك التواء DNA، وإنزيم RNA البادئ، وإنزيم بلمرة DNA، وإنزيم ربط DNA) في عملية تضاعف DNA.
- تُصنع السلسلة الرئيسة بصورة متواصلة، أما السلسلة الثانوية فتُصنع بصورة غير متواصلة، بتكوين قطع أوكازاكي.
- يحدث تضاعف DNA في الخلايا الحقيقية النوى عادة في عدة مناطق على طول الكروموسوم.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفترة الرئيسة** بين ترتيب السلسلة الأساس إذا كان ترتيب القواعد في السلسلة المتممة هو 5' ATGGGCGC 3'.
2. صف دور الإنزيمات التالية في تضاعف DNA: فك التواء DNA، بلمرة DNA، ربط DNA.
3. ارسم شكلاً يبين آلية إنتاج السلسلتين الرئيسة والثانوية.
4. ناقش. لماذا يكون تضاعف جزئي DNA في الخلايا الحقيقية النوى أكثر تعقيداً من البكتيريا؟

التفكير الناقد

5. **الرياضيات في علم الأحياء** إذا كانت بكتيريا *E. coli* تصنع DNA بمعدل 100,000 نيوكليوتيد في الدقيقة، وتستغرق 30 دقيقة لتضاعف جزيء DNA الخاص بها، فما عدد أزواج القواعد النيتروجينية في كروموسوم *E. coli*؟