

الانقسام المنصف Meiosis

7-1

الأهداف

- تفسر سبب نقص عدد الكروموسومات الذي يحدث في أثناء الانقسام المنصف.
- تميز وتلخص مراحل الانقسام المنصف.
- تحلل أهمية الانقسام المنصف في التنوع الوراثي.

مراجعة المفردات

الكروموسوم، تركيب خلوي يحتوي على المادة الوراثية DNA.

المفردات الجديدة

- الجين
- الكروموسوم المتماثل
- المشيج
- خلية أحادية المجموعة الكروموسومية الإخصاب
- خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية الانقسام المنصف
- عملية العبور

الشكل 1-7 تحمل الكروموسومات المتماثلة جينات الصفات الوراثية المختلفة على الموقع نفسه. والجينات التي ترمز إلى نوع شحمة الأذن قد لا ترمز تمامًا إلى نفس الصفة الوراثية لشحمة الأذن.

المفردة الرئيسية ينتج عن الانقسام المنصف أمشاج أحادية المجموعة الكروموسومية.

الرُبط مع الحياة انظر حولك في حصة الأحياء، تلاحظ عدم تشابه زملائك في الصف؛ فقد يختلفون في الطول ولون العيون والشعر ومظاهر أخرى. وينتج هذا التنوع في الخصائص عن اتحاد خليتين جنسيتين خلال التكاثر الجنسي.

الكروموسومات والعدد الكروموسومي

Chromosomes and Chromosome Number

لكل طالب في الصف خصائص انتقلت إليه من والديه. وكل خاصية، مثل لون الشعر أو الطول أو لون العيون تسمى صفة وراثية. وتوجد التعليمات الخاصة بكل صفة وراثية على الكروموسومات الموجودة داخل نوى الخلايا. يترتب DNA (المادة الوراثية) في قطع تسمى **الجينات genes**، تتحكم في إنتاج البروتينات. ويتكون كل كروموسوم من مئات الجينات، ويؤدي كل جين دوراً مهماً في تحديد خصائص الخلية ووظائفها.

الكروموسومات المتماثلة Homologous chromosomes يحوي خلايا جسم الإنسان 46 كروموسوماً؛ ويسهم كل من الوالدين بـ 23 كروموسوماً، فتكون النتيجة 23 زوجاً من الكروموسومات. وتسمى الكروموسومات التي تشكل زوجاً، كل منهما من أب، **الكروموسومات المتماثلة homologous chromosomes**. وكما في الشكل 1-7، فإن الكروموسومات المتماثلة في خلايا الجسم، لها نفس الطول وموقع الشئرومير، وتحمل الجينات التي تتحكم في الصفات الوراثية نفسها. فمثلاً يقع الجين الذي يتحكم في نوع شحمة الأذن في الموقع نفسه على الكروموسومات المتماثلة.



زوج من الكروموسومات المتماثلة.



الخلايا الأحادية والثنائية المجموعة الكروموسومية

Haploid and diploid cells

ينتج المخلوق الحي الأمشاج gametes بهدف الحفاظ على ثبات عدد الكروموسومات من جيل إلى آخر، والأمشاج خلايا جنسية تحمل نصف العدد من الكروموسومات. ويختلف عدد الكروموسومات من نوع إلى آخر. ففي الإنسان يحمل كل مشيج 23 كروموسومًا. ويمثل الرمز (n) عدد الكروموسومات في المشيج، وتسمى الخلية التي تحمل العدد n من الكروموسومات خلية أحادية المجموعة الكروموسومية haploid cell.

وتسمى العملية التي يتحد فيها مشيج أحادي المجموعة الكروموسومية بمشيج أحادي آخر الإخصاب fertilization. ونتيجة للإخصاب أصبحت الخلية الآن تحوي (2n) من الكروموسومات. (n) كروموسومات من الأنثى أو الأم، و (n) كروموسومات من الذكر أو الأب. وتسمى الخلية التي تحوي العدد (2n) من الكروموسومات خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية diploid cell.

لاحظ أن العدد n أيضًا يصف عدد أزواج الكروموسومات في المخلوق الحي. فعند اتحاد مشيجين في الإنسان ينتج 23 زوجًا من الكروموسومات المتماثلة.

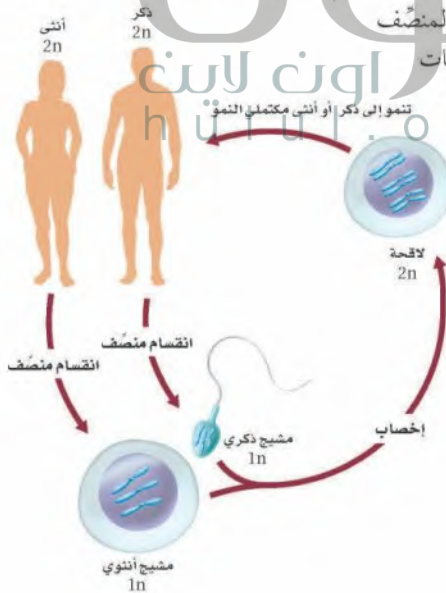
المرحلة الأولى من الانقسام المنصف Meiosis I

تتكون الأمشاج في أثناء عملية الانقسام المنصف meiosis، وهو نوع من أنواع الانقسام الخلوي الذي يختزل عدد الكروموسومات، ويحدث في التراكيب الجنسية للمخلوقات الحية التي تتكاثر جنسيًا. وفي حين يحافظ الانقسام المتساوي على بقاء عدد الكروموسومات ثابتًا يختزل الانقسام المنصف عدد الكروموسومات إلى النصف بإفصال الكروموسومات المتماثلة. فالخلية الثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) ستكون أمشاجًا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n) بعد انقسامها انقسامًا منصفًا، كما في الشكل 2-7، ويتضمن الانقسام المنصف مرحلتين متتاليتين من انقسام الخلية، هما: المرحلة الأولى والمرحلة الثانية.

المطويات
ضمن مطويتك معلومات من هذا القسم.

الشكل 2-7 تتضمن دورة الحياة الجنسية في الإنسان الانقسام المنصف الذي ينتج الأمشاج. وعند اتحاد الأمشاج بعملية الإخصاب يتم استعادة عدد الكروموسومات الأصلي.

صف، ماذا يحدث لعدد الكروموسومات في أثناء الانقسام المنصف؟



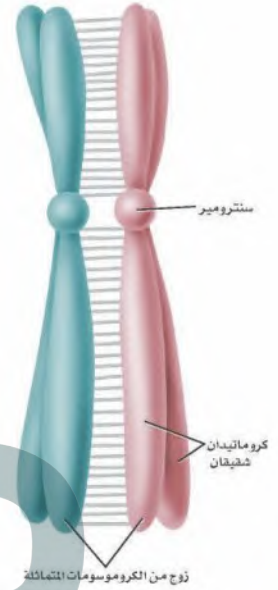
الطور البيني Interphase تمر الخلايا في أثناء الانقسام المنصف بالطور البيني، وتقوم الخلايا في الطور البيني بعدد من عمليات الأيض المتنوعة، ومنها تضاعف DNA، وبناء البروتينات.

الطور التمهيدي الأول Prophase I بعد دخول الخلية الطور التمهيدي الأول تصبح الكروموسومات المتضاعفة واضحة. وكما في الانقسام المتساوي، تحوي الكروموسومات المتضاعفة كروماتيدات شقيقة. عندما تتكاثر الكروموسومات المتماثلة تبدأ في تكوين الأزواج بعملية تسمى التصالب أو التشابك؛ حيث يرتبط كل كروموسومين متماثلين على امتداد طوليهما، الشكل 3-7، فيحدث تبادل بين الكروموسومات الخضراء والأرجوانية لأجزاء من كل منهما. وتسمى عملية تبادل الأجزاء بين زوج من الكروموسومات المتماثلة **العبور crossing over**، لاحظ الشكل 4-7.

تنتقل المراكز في أثناء الطور التمهيدي الأول إلى الأقطاب المتقابلة من الخلية، وتكون الخيوط المغزلية، وترتبط مع الكروماتيدات الشقيقة عند القطعة المركزية (السنتروميور).

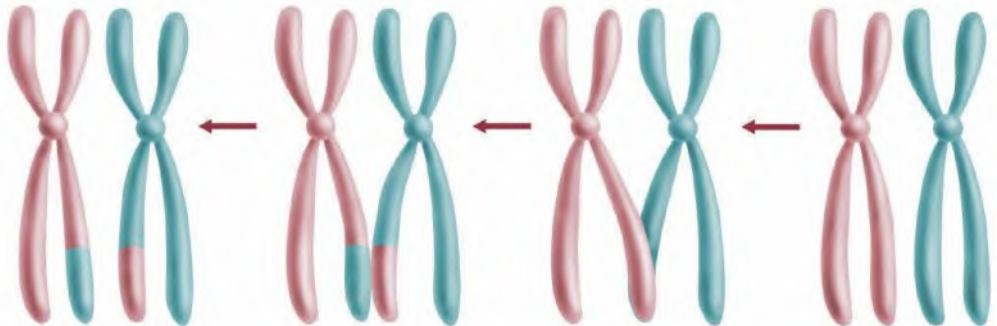
الطور الاستوائي الأول Metaphase I تصطف في المرحلة التالية من الانقسام المنصف أزواج الكروموسومات المتماثلة عند خط استواء الخلية، الشكل 5-7، ثم ترتبط الخيوط المغزلية مع سنتروميور كل كروموسوم من الكروموسومات المتماثلة. تذكر أنه في أثناء الطور الاستوائي من الانقسام المتساوي تصطف الكروموسومات المفردة التي تحتوي على كروماتيدات شقيقة على طول خط استواء الخلية، في حين تصطف الكروموسومات المتماثلة في الانقسام المنصف في صورة أزواج على طول خط استواء الخلية، وهذا واحد من الفروق المهمة بين الانقسام المنصف والانقسام المتساوي.

الطور الانفصالي الأول Anaphase I تنفصل الكروموسومات المتماثلة في أثناء الطور الانفصالي الأول، انظر الشكل 5-7.



■ الشكل 3-7 ترتبط الكروموسومات المتماثلة معاً في أثناء عملية التصالب في الطور التمهيدي الأول.

■ الشكل 4-7 ينتج عن عملية العبور الجيني مجموعات جديدة من الجينات. حدد أي الكروماتيدات يحدث فيها تبادل المادة الوراثية؟



المفردات

مفردات أكاديمية

خط الاستواء Equator

شرط يقسم سطح جسم ما إلى جزأين متساوين ومتماثلين. تصطف الكروموسومات على خط استواء الخلية.

مهن مرتبطة مع علم الأحياء

اختصاصي الوراثة

Medical Geneticist يبحث في آلية توارث الأمراض، وتشخيص الحالات الوراثية وعلاج الأمراض الوراثية.

تجريبية استهلاكية

مراجعة بناء على ما قرأته عن الانقسام المنصف، كيف تُجيب الآن عن أسئلة التحليل؟

ويتم سحب كل زوج كروموسومي بواسطة الخيوط المغزلية في اتجاه أقطاب الخلية. لذا يصبح عدد المجموعة الكروموسومية ($1n$) بدلاً من ($2n$) عند انفصال الكروموسومات المتماثلة. تذكر أنه في الانقسام المتساوي تنفصل الكروماتيدات الشقيقة في أثناء الطور الانفصالي. أما في أثناء الطور الانفصالي الأول من الانقسام المنصف فيبقى كل واحد من الكروموسومات المتماثلة مكوناً من كروماتيدين شقيقين.

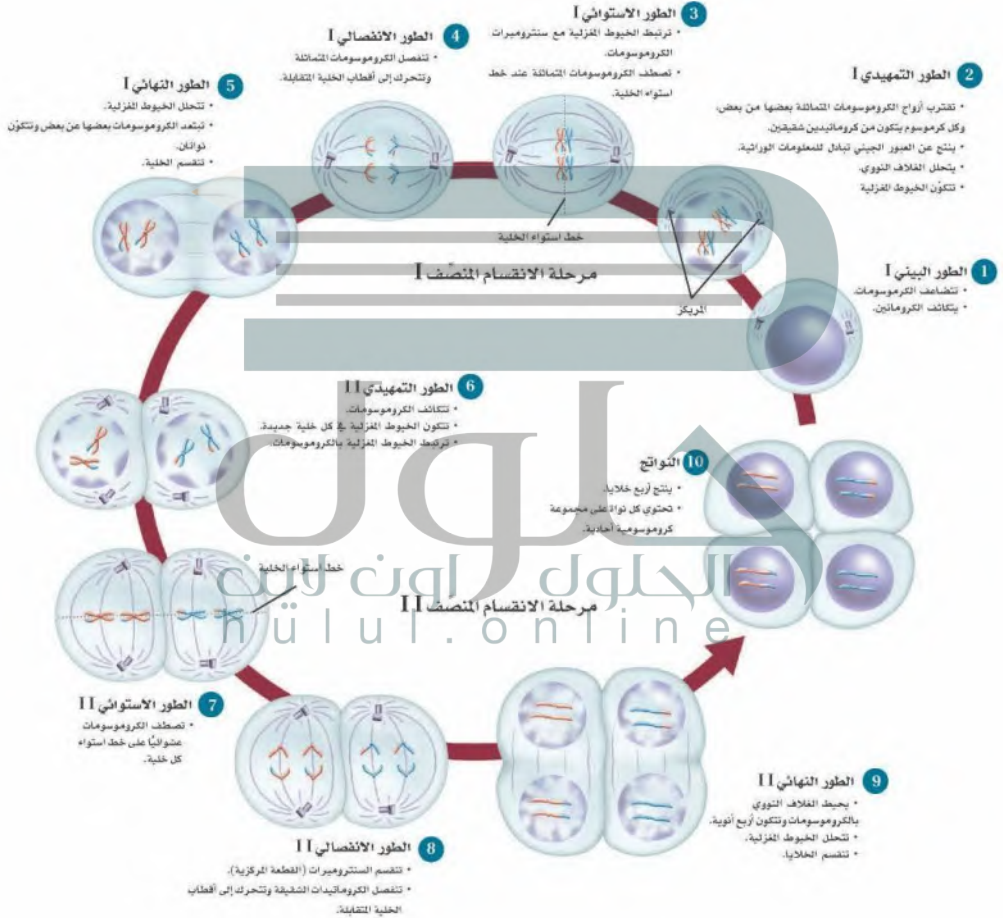
الطور النهائي الأول Telophase I تصل الكروموسومات المتماثلة - كل منها مكون من كروماتيدين شقيقين - إلى أقطاب الخلية المتقابلة. ويصبح كل قطب من هذه الأقطاب محتوياً على نصف عدد الكروموسومات المتماثلة الأصلية. لاحظ الشكل 5-7، حيث يبقى كل كروموسوم مكوناً من كروماتيدين شقيقين مرتبطين معاً بواسطة السنترومير (القطعة المركزية)، وقد لا تكون الكروماتيدات الشقيقة متطابقة بسبب عملية العبور الجيني التي قد تحدث في أثناء عملية التصالب في الطور التمهيدي الأول. في أثناء الطور النهائي الأول تحدث عملية انقسام السيتوبلازم؛ حيث تتخَصَّر الخلايا الحيوانية، وتتكون صفيحة خلوية في الخلايا النباتية. وبعد انقسام السيتوبلازم قد تمر الخلايا بالطور البيني مرة أخرى قبل حدوث مجموعة الانقسامات التالية (المرحلة الثانية). ومع ذلك لا يتضاعف الـ DNA مرة أخرى في أثناء الطور البيني. وفي بعض الأنواع تصبح الكروموسومات بعيدة بعضها عن بعض، ويظهر الغلاف النووي وتتكون النواة مرة أخرى في أثناء الانقسام النهائي الأول.

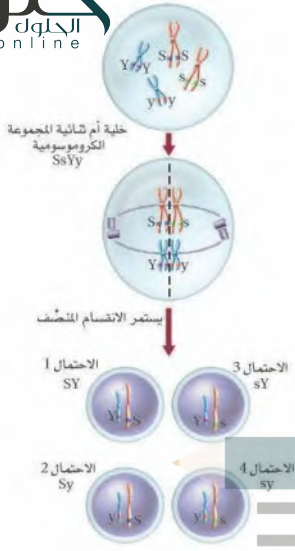
المرحلة الثانية من الانقسام المنصف Meiosis II

لا ينتهي الانقسام المنصف بنهاية المرحلة الأولى منه. ففي أثناء الطور التمهيدي الثاني تحدث مجموعة من الأظوار الأخرى تبدأ بتكوين الجهاز المغزلي، وتتكاثر الكروموسومات. وفي الطور الاستوائي الثاني، تتوالتب الكروموسومات عند خط استواء الخلية بواسطة الخيوط المغزلية، كما في الشكل 5-7. تصطف الكروموسومات الثنائية المجموعة الكروموسومية عند خط استواء الخلية في أثناء الطور الاستوائي من الانقسام المتساوي، أما في الطور الاستوائي الثاني من الانقسام المنصف فتترتب الكروموسومات الأحادية المجموعة الكروموسومية عند خط استواء الخلية. يتم سحب الكروماتيدات الشقيقة خلال الطور الانفصالي الثاني بعيداً إلى الأقطاب المتقابلة للخلية بواسطة الخيوط المغزلية، فتصل الكروموسومات الأقطاب خلال الطور النهائي الثاني. تظهر النواة والغلاف النووي مرة أخرى. وفي نهاية المرحلة الثانية من الانقسام المنصف ينقسم السيتوبلازم، وينتج عنه أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية، كل خلية تحمل العدد (n) من الكروموسومات، انظر الشكل 5-7.

✓ ماذا قرأت؟ استنتج ما أهمية مراحل الانقسام المنصف في تكوين الأمشاج؟

الشكل 5-7 تتبع أطوار الانقسام المنصف I والانقسام المنصف II مبتدئاً بالطور البيني.





الشكل 6-7 الترتيب الذي تصطف به أزواج الكروموسومات المتماثلة يوضح كيف ينتج التنوع الوراثي في الخلايا الجنسية.

أهمية الانقسام المنصف The Importance of Meiosis

يبين الجدول 1-7 مقارنة بين الانقسام المتساوي والمنصف. تذكر أن الانقسام المتساوي يحدث في مرحلة انقسام واحدة ينتج عنها خليتان جديدتان متطابقتان ثنائياً المجموعة الكروموسومية، في حين يحدث الانقسام المنصف في مرحلتين من الانقسامات، وينتج عنه أربع خلايا جديدة غير متطابقة أحادية المجموعة الكروموسومية. والانقسام المنصف مهم لأنه يؤدي إلى التنوع الوراثي.

Meiosis and genetic variation الانقسام المنصف والتنوع الوراثي

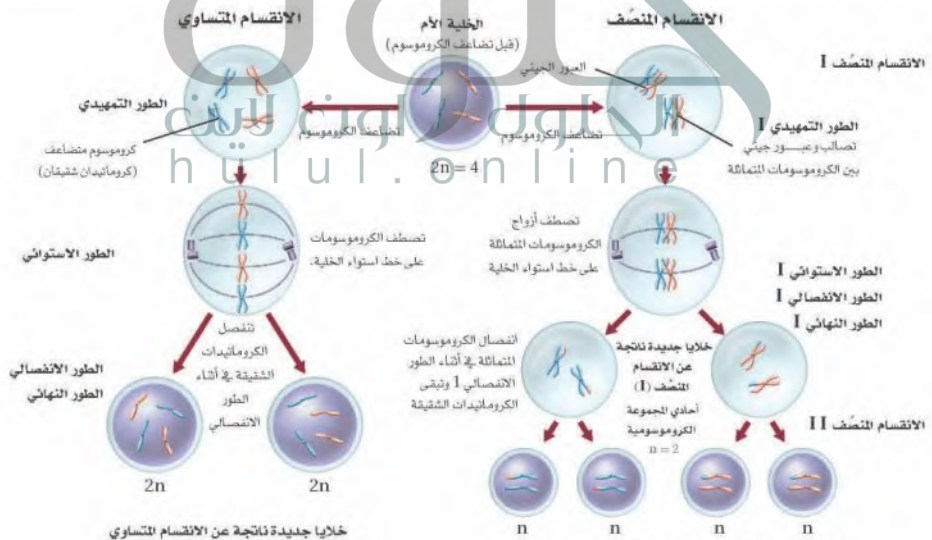
ترتب الكروموسومات المتماثلة على خط استواء الخلية في أثناء الطور الاستوائي 1. وكلما كان ترتيب الكروموسومات عشوائياً نتجت أمشاج ذات مجموعات مختلفة من الكروموسومات. وبناءً على طريقة ترتيب الكروموسومات على خط الاستواء ينتج أربعة جاميتات ذات أربع مجموعات كروموسومية مختلفة.

لاحظ أن الاحتمال الأول يُبين أي الكروموسومات توجد على الجانب نفسه من خط الاستواء، ثم تنتقل إلى الأقطاب معاً؛ إذ تصطف أنواع مختلفة من الكروموسومات على الجانب نفسه من خط الاستواء لإنتاج الأمشاج في الاحتمال الثاني. وينتج التنوع الوراثي كذلك في أثناء العبور الجيني وفي أثناء عملية الإخصاب، عندما تتحد الأمشاج معاً بصورة عشوائية الشكل 6-7.

مقارنة بين التكاثر الجنسي واللاجنسي

تتكاثر بعض المخلوقات الحية لاجنسياً، في حين يتكاثر بعضها الآخر بالتكاثر الجنسي. وقد يحدث في بعض المخلوقات الحية كلا النوعين من التكاثر الجنسي واللاجنسي، فيرتب المخلوق الحي في أثناء التكاثر اللاجنسي جميع الكروموسومات من خلية أم واحدة، فتنتج أفراد جديدة مطابقة للخلية الأم. وتتكاثر البكتيريا لاجنسياً، في حين تتكاثر معظم الطلائعيات جنسياً ولاجنسياً، اعتماداً على الظروف البيئية. كما تتكاثر معظم النباتات والعديد من الحيوانات البسيطة بكلا النوعين من التكاثر، مقارنة بالحيوانات الأكثر تعقيداً والتي تتكاثر جنسياً فقط. لماذا تتكاثر بعض الأنواع تكاثراً جنسياً في حين يتكاثر بعضها الآخر تكاثراً لاجنسياً؟ أظهرت الدراسات الحديثة على ذبابة الفاكهة أن معدل تراكم الطفرات المفيدة يكون أسرع عندما تتكاثر الأنواع تكاثراً جنسياً، مقارنة بالأنواع التي تتكاثر لاجنسياً. أي تتضاعف الجينات المفيدة على نحو أسرع عند حدوث التكاثر الجنسي مقارنة بالتكاثر اللاجنسي.

الانقسام المتساوي	الانقسام المنصف
تحدث مرحلة واحدة في أثناء الانقسام المتساوي.	تحدث مرحلتان في أثناء الانقسام المنصف: المرحلة الأولى والثانية.
يحدث تضاعف DNA في أثناء الطور البيني.	يتضاعف DNA مرة واحدة قبل المرحلة الأولى من الانقسام المنصف.
لا يحدث تشابك أو اتصال بين الكروموسومات المتماثلة.	تحدث عملية الاتصال بين الكروموسومات المتماثلة في أثناء الطور التمهيدي I.
ينتج عن الانقسام خليتان متطابقتان في كل دورة خلية.	ينتج عن الانقسام أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n) في كل دورة خلية.
الخلايا الجديدة متطابقة وراثيًا.	الخلايا الجديدة غير متطابقة وراثيًا بسبب عملية العبور الجيني.
يحدث الانقسام المتساوي في الخلايا الجسمية فقط.	يحدث الانقسام المنصف في الخلايا الجنسية.
يدخل الانقسام المتساوي في النمو وتعييض الخلايا النافذة.	يدخل الانقسام المنصف في إنتاج الأمشاج وتوفير التنوع الوراثي في المخلوقات الحية.

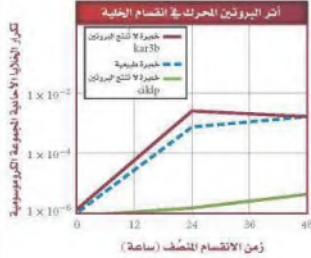


الخلايا الجديدة الناتجة عن المرحلة الثانية من الانقسام المنصف لا تتضاعف الكروموسومات مرة أخرى وتتصلب الكروماتيدات الشقيقة في أثناء الطور الانقباضي II.

مختبر تحليل البيانات 7-1

بناءً على بيانات حقيقية

البيانات والملاحظات



استخلص النتائج

كيف تؤثر البروتينات المحركة في انقسام الخلية؟ يعتقد العديد من العلماء أن البروتينات المحركة تؤدي دوراً مهماً في حركة الكروموسومات في كل من الانقسام المتساوي والمنصف. واختبار هذه الفرضية، قام الباحثون بإنتاج خيرة لا تصنع البروتين المحرك المسمى Kar3p. كما أنتجوا خيرة لا تصنع البروتين المحرك Cik1p، الذي يحدد وظيفة البروتين Kar3p. ويبين الرسم البياني المجاور نتائج تجربتهم.

التفكير الناقد

1. قوم. هل يعد وجود Cik1p مهماً لعملية الانقسام المنصف في الخميرة؟ فسر إجابتك.
 2. قوم. هل يعد وجود Kar3p ضرورياً لعملية الانقسام المنصف في الخميرة؟ فسر إجابتك.
 3. استنتج. هل تؤدي جميع البروتينات المحركة دوراً مهماً في الانقسام المنصف؟ فسر إجابتك.
- أخذت البيانات في هذا المختبر من:

Shanks, et al. 2001. The Kar3-Interacting protein Cik1p plays a critical role in passage through meiosis I in *Saccharomyces cerevisiae*. Genetics 159: 939 – 951.

التقويم 7-1

التفكير الناقد

فهم الأفكار الرئيسية

الخلاصة

1. يحدث تضاعف DNA مرة واحدة فقط في أثناء الانقسام المنصف الذي ينتج عنه أربعة أمشاج أحادية المجموعة الكروموسومية.
2. يضم الانقسام المنصف مرحلتين من الانقسامات.
3. ينتج عن الانقسام المنصف تنوع وراثي في الأمشاج.
4. يحدّد كيف يُبلّج الانقسام المنصف الأمشاج الأحادية المجموعة الكروموسومية؟
5. أشر. كيف يختلف الطور الاستوائي I في الانقسام المنصف عن الطور الاستوائي في الانقسام المتساوي؟
6. صف. كيف تحدث عملية التصالب؟
7. ادرسم خلية تحوي أربعة كروموسومات وتمر بانقسام منصف.
8. قوم. كيف يُسهّم الانقسام المنصف في التنوع الوراثي، في حين لا يسهم فيه الانقسام المتساوي؟
9. قارن بين الانقسام المتساوي والمنصف مُستعيناً بالشكل 5-7 والجدول 7-1، مُستخدماً شكل فن.
10. اكتب مقالاً يشترك فيه زملاؤك في الصف لتفسير العمليات المختلفة التي تحدث في أثناء الانقسام المنصف.