

# التأشيب (إعادة الاتحاد)

## Recombination

لا تنتقل الجينات بين الأجيال كجزيئات منفصلة لكنها تُنظم في ترتيب خطي بطول الكروموسوم. هذا لا يفسر فقط لماذا تورث الصفات معاً إنما يسمح للنسل أن يرث من الآباء توليفة جديدة من الجينات عن طريق عملية خلط التأشيب الجيني.

يمكن أن تُرجع بداية علم الأحياء كعلم حديث إلى شخص واحد ومعمل واحد وتاريخ واحد هو عالم الوراثة الأمريكي توماس هانت مورغان Thomas Hunt Morgan في معمله المعروف بغرفة الذباب في جامعة كولومبيا في إبريل 1910. أراد توماس أن يدرس كيف تؤثر السمات الوراثية على تطور الحيوان وكان بحاجة إلى أنواع تُهجن بسرعة وبانتظام. فأجرى أبحاثه على ذبابة الفاكهة سوداء البطن أو ذبابة الخلل دروسوفيللا ميلانوجاستر *Drosophila melanogaster* التي أدت إلى إنتاج جيل جديد كل 12 يوماً. أثبت مورغان وتلاميذه في معمل

### الخط الزمني

1878م	1902م	1910م
لاحظ فلمنج الكروموسومات وانفصالها أثناء انقسام الخلية.	توصل بوفيري وساتون إلى أن الكروموسومات هي بنية مادية للوراثة.	أثبت مورغان أن الجينات موجودة داخل الكروموسومات التي تسمح بالترابط والتهجين.

ضيق تبعث منه رائحة موز - أشهر ما تنجذب له ذبابة الفاكهة - قوية أن الجينات تحمّل على التركيبات المادية «الكروموسومات»، تلك المبادئ الوراثية التي أغفلها غريغور مندل أثناء بحثه.

## الخرائط الجينية

كيف يمكن تحديد موقع الجينات داخل الكروموسومات؟ اخترع ألفريد ستورتيفانت Alfred Sturtevant أحد تلاميذ مورغان طريقة تقوم على التأشير المؤثر على إحصاء الوراثة بمعنى أنه إذا كان هناك جينان بجانب بعضهما البعض فإن فرصة التهجين بينها تقريباً صفر، وإذا كان الجينان بعيدين عن بعضهما فإن فرصة أن يعزلا تكون متعادلة 50-50. ينعكس هذا على مزج الخصائص الجديدة فمثلاً إذا تم توريث مزيج معاً دائماً، يكون تردد تأشيبه صفراً. وإذا كان نصف النسل يحمل مزيجاً جديداً مختلفاً عن أبويه فإن تردد التأشير يكون 50٪. استطاع ستورتيفانت أن يحسب المسافة النسبية بين أي زوجين من الجينات وذلك عن طريق استخدام ترددات التأشير لأي زوجين من السمات. بعد استشارة أستاذه أطلق ستورتيفانت على وحدات المسافة اسم «سنتي مورغان CentiMorgan» ثم استخدمه للإشارة إلى كروموسومات ذبابة الفاكهة مع موقع أي سمة وراثية مع تأثير النمط الشكلي الملحوظ.

## الكروموسومات

تحمّل بدائيات النوى مثل البكتيريا كروموسوماً واحداً، دائرياً وتركيبات أخرى تُعرف بـ «البلازميدات plasmids»، في حين تستخدم حقيقيات النوى جدائل خطية. وتحتوي خلايا الكائنات حقيقيات النوى على نواة. في عام 1923 قام عالم الحيوان الأمريكي ثيوفيلس بينتر Theophilus Painter بإحصاء كروموسومات الإنسان تحت المجهر وادعى أن مجموعها 48 كروموسوماً. ثم بعد ذلك في عام 1956 عدل العالمان

1964م

طرح روبين هوليداي Robin Holliday التهجين عن طريق ربط الكيمياء الحيوية بالـDNA.

1931م

لاحظ كريتون Creighton ومكليستوك McClintock التهجين المادي بين الكروموسومات.

1913م

استخدم ستورتيفانت Sturtevant تردد التأشير لعمل خريطة جينية.

جوهين تجيو Joe Hin Tjio وألبرت ليفان Albert Levan هذا الرقم إلى 46: أي زوج واحد من الكروموسومات الجنسية عادة (XX/XY) بالإضافة إلى 22 زوجاً من الصبغيات الجسمية. تعتبر كروموسومات الإنسان وذبابة الفاكهة مضاعفة بأزواج متوافقة من الأبوين، في حين تعتبر كروموسومات بعض الأنواع متعددة الصبغ الصبغية مع مجموعات متعددة، كما نجد كروموسومات أخرى أحادية الصبغيات مع مجموعة واحدة.

في عام 1878 لاحظ فلمنج أن بنية الكروموسومات تُصنع من الـDNA والبروتين، كما راقب حركتها أثناء انقسام الخلية. كما توصل عالم الأحياء الألماني ثيودور بوفيري Theodor Boveri وعالم الوراثة والجراح الأمريكي والتر ساتون Walter Sutton كل على حدة إلى إمكانية حمل الكروموسومات للجينات. حيث لاحظ بوفيري أن جنين قنفذ البحر يحتاج إلى الكروموسومات كي يتطور بصورة طبيعية. كما تعقب ساتون كيف تسير البنية في خلايا الجندب وتوصل إلى أن الحيوانات المنوية والبويضات تحمل زوجين من الكروموسومات التي تتعرض فيما بعد لانقسام اختزالي (الانقسام المنصف - انظر الفصل العشرين) وذلك ما يسمح للجنين أن يصير زوجين من الكروموسومات. وفي عام 1902 استنتج ساتون من أبحاثه ما يلي: أن ترابط زوجين من كروموسومات الأب والأم وانعزالهما المتعاقب أثناء الانقسام الاختزالي قد يكون الأساس المادي لقوانين الوراثة المنديلية.

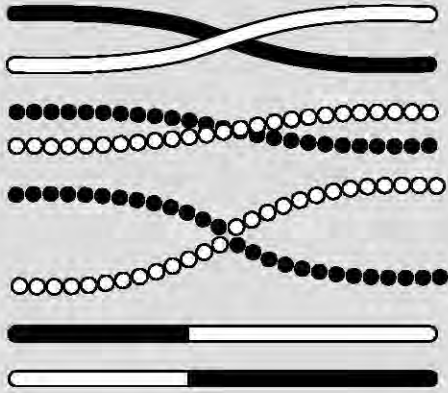
## الجينات المرتبطة

أثناء أبحاث مورغان على ذبابة الفاكهة، كان يأمل أن يجد حشرات قد تعرضت لتغيرات مفاجئة «الطفرات». لكن لم يسفر أول عامين عن شيء. ثم في عام 1910 وجد ذكر ذبابة فاكهة ذا عيينين بيضاوين بدلاً من ذي العيينين الحمرابين المعتادتين، فقام بتهجينه مع أنثى ذبابة فاكهة ذات عيينين حمرابين فنتج النسل بأكمله بعيون حمراء. وهذا يؤكد أن الأليل الأحمر كان هو

السمة السائدة بينما الأليل الأبيض هو السمة المتنحية. وهذا ما يتطابق مع قوانين مندل للوراثة. ولما استكمل مورغان تهجينه للنسل ذي العيون الحمراء، كان للجيل الثاني نفس النسبة المندلية المتوقعة 3:1 للسمة السائدة والمتنحية، لكن مع فرق مهم وهو أن عيون بعض الذكور كانت بيضاء على عكس الإناث.

## التَّهجين

تُحْمَلُ الجينات على الكروموسومات. قارن توماس هانت مورغان البنية المادية للكروموسومات بالخرز في خيط. التأشيب هو نتيجة التهجين بين زوجين من الكروموسومات أثناء تخليق الخلايا الجنسية فينزل مزيج الصفات الأبوية.



يعتقد مورغان أن لون العينين مرتبط بالجنس الذي تحدده الكروموسومات. تعد ذبابة الفاكهة من الكروموسومات المضاعفة لزوجي الأب والأم بمعنى أن يكون الذكر XX وتكون الأنثى XY مع ثلاثة أزواج من الصبغيات الجسمية لكل منهما. استنادًا على أنماط الوراثة، أثبت مورغان أن إناث ذبابة الفاكهة ستكون بيضاء العينين إذا ورثت هذه السمة من كلا الأبوين ومن ثم فإن جين لون العين يجب أن يكون مرتبطًا بالكروموسوم X. بشكل عام، يؤكد هذا فكرة أن الجينات تُحْمَلُ على البنية المادية «الكروموسوم» - نظرية الوراثة.

بالبحث في الملامح مثل لون العين، اكتشف مورغان وتلاميذه العديد من الأنماط المنحرفة في الوراثة، وأفضل مثال توضيحي على ذلك عندما تكون الجينات فوق الكروموسومات بمعنى آخر تمكن الجينات من الارتباط ماديًا. إذا تواجد جينان بالقرب من بعضهما، تصبح الفرصة جيدة ليتوارثا معًا. وعندما تكون الجينات في النهايات العكسية

للكروموسوم (أو على كروموسوم مختلف) فمن المرجح أن تنفصل. وهذا ما يتبع القانون المنديلي الثاني التوزيع الحر. وعندما تنعزل الجينات تستطيع أن تخلق مزيجًا جديدًا من السمات غير موجودة في الأبوين. وهذا ما يعرف بالتأشيب (إعادة الاتحاد).

## التهجين

يحدث التأشيب بسبب التهجين المادي بين زوجين من الكروموسومات المتماثلة «Homologous». أثناء الانقسام الاختزالي (المنصف) أي قبل أن تُقسم خلايا الحيوانات المنوية أو البويضات زوجيها من المادة الوراثية إلى نصفين، تصطف الكروموسومات المتماثلة جنبًا إلى جنب. وعند نقط محددة بطول التركيب تدخل في حيز الاتصال وتبدل المادة الوراثية قبل الانعزال. في عام 1931 لاحظ عالم الوراثة الأمريكيان هاريت كريبتون Harriet Creighton وباربارا مكلينتوك Barbara McClintock التهجين تحت المجهر وأثناء الانقسام الاختزالي في نبات الذرة أثبتنا أنه مقابل لتأشيب الصفات الوراثية.

يخلق التأشيب تنوعًا جينيًا بين الأجيال. فمثلًا يرث أبواك جينات من أبويهما، لكن تلك المعلومات لم تترك دون أن تمس قبل أن تصلك. فمثلًا عندما ينتج أحد أبويك خلايا الحيوان المنوي أو البويضة يحدث تبادل في الأجزاء المتوافقة معًا من الكروموسومات المتماثلة للـDNA من أبويك، مما ينتج عنه مزيج عشوائي فريد من الصفات.

تصور مورغان العملية من خلال مقارنة الجينات على الكروموسومات بالخرز على

«تلك الجوانب الأساسية للوراثة لا بد أن تتضح ببساطة شديدة لتبعث فينا الأمل بأن الطبيعة قد يسهل بلوغها بالكامل بعد كل ذلك.»

توماس هانت مورغان

الخيوط، لكن التهجين هو تفاعل كيميائي حيوي يتضمن قصًا للـDNA ولصقه مرة أخرى. تتكون الكروموسومات من جديلتين من الـDNA فعندما تقطع قد تنمو أو تُستبدل مع بعضها البعض في شكل متقاطع. وهذا ما يعرف

بـ«موصل هوليداي». تعتبر الجديلتان تكميليّتين، لذلك يسمح التأسيس المتماثل للخلايا بأن تستخدم جديدة واحدة كنموذج عند إعادة إصلاح تكسر الكروموسومات.

اعترفت الجمعية العلمية عام 1933 بالانطلاقة التي بدأت في غرفة الذباب في جامعة كولومبيا، عندما أعلنت فوز مورغان بجائزة نوبل في علم وظائف الأعضاء أو الطب. وكذلك أثبت أن مفهومًا مجردًا كالجينات صار له صورة مادية حيث استخدم غرفة الذباب في الإحصاء الذي ساعد على تحويل علم الأحياء من مجرد مجال يعتمد بشكل كبير على وصف السمات إلى علم تجريبي منضبط يمكن له أن يناقش علمي الكيمياء والفيزياء.

## الفكرة الرئيسية

**تستطيع التركيبات المادية تبادل المعلومات الوراثية**