45

الانحراف الوراثي

Genetic drift

يحرك الانتخاب الطبيعي التطور إلى الأمام، لكنه ليس القوى الوحيدة المحركة التي تسبب تغير العشائر عبر الزمن. عندما تبقى الأفراد وتتكاثر بالصدفة، يمكن للـDNA الخاصة بهم أن تُفقد أو تنتشر بعد انحرافها خلال التجمعات الجينية.

عندما اكتشف داروين ووالاس الانتخاب الطبيعي، نشأت نظرية الانحراف الوراثي من الصراع بين اثنين من عباقرة علم الرياضيات هما رونالد فيشر Ronald Fisher وسيوال رايت Sewall Wright. ولد فيشر في لندن واكتشف في ذاته مبكرًا أنه واعد في عالم الأرقام، لكنه كان يعاني من قصر النظر، فقد عوض ذلك من خلال تطوير قدراته العقلية الرياضية غير العادية. أما رايت فنشأ في منطقة إلينيوس وكان والده موسوعيًا وخبير اقتصاد سابقًا لُقب بريري لينارد و إلينيوس. كان رايت الصغير بإمكانه أن يحسب الجذور التكعيبية قبل حتى الالتحاق بالمدرسة.

الخط الزمني

1930م	1931م	1942م
بدأت النظرية الوراثية للانتخاب الطبيعي لفيشر بالتركيب التطوري الحديث.	طرح رايت نظرية انحراف التوازن الجديدة عبر الانحراف الجيني.	وصف ماير أن تأثير المؤسس ناجم عن العينات العشوائية من المجموعة.

أسس ج.ب.س هالدين J.B.S Haldane مع كل من فيشر ورايت مجال وراثة المجموعات المؤسس «للتركيب التطوري الحديث» الذي دمج الانتخاب الطبيعي مع قوانين مندل للوراثة. على الرغم من أن فيشر ورايت قد اتفقا على الآلية الأساسية (أن الانتخاب يقود الأنواع نحو التكيف) إلا أنهما تجادلا حول التفاصيل، أشهرها كيف يخلق التطور جديدًا. اعتقد فيشر أن ذلك يحدث أسرع عن طريق خلط كل أعضاء المجموعات، بينما طرح رايت نظرية «انحراف التوازن» أي أن الجين الجديد يندمج وينشئ سمات جديدة أسرع عبر الهجرة بين مجموعات فرعية منفصلة. كان دور الفرصة العشوائية في صميم خلافاتهما، فقد قال فيشر إنها تلعب جزءًا بسيطًا في الانحراف الجيني بينما اعتقد رايت أن دور الفرصة العشوائية مهم.

الاختيار والفرصة والتغيير

«يبدو أن حساب معدل التحور من ناحية تعويضات النيوكليوتيدات، يعطي قيمة عالية جدًا حتى أن كثيرًا من الطفرات لا بد أن تكون متعادلة.»

موتو كيمورا Motoo Kimura

تخيل أنه أخيرًا حدث وأصبح للإنسان الآلي (الروبوت) نسل وأن مخدومك ماكينة تلعب بالفاصوليا، يسقط عشرات من حبات الفاصوليا الحمراء شبيهة الكلية وحبوب الكانيليني البيضاء في وعاء، ثم يترك لك بضع لحظات حتى تختار عشر حبات من الوعاء. عادة ما ينجذب البشر إلى اللحمة ذات الصوص الحار أحمر اللون، إذن فستمسك بحفنة أغلبها من اللون الأحمر. تفسر الماكينة ذلك بأنه بعد نمو حبوب الفاصوليا التي تم اختيارها إلى نباتات، سوف تقوم بحصاد حبوب الفاصوليا في وعاء جديد. مع تكرار ذلك في الأجيال المتعاقبة،

1956م

طرح بوري تجربة الانحراف الوراثي في مجموعات ذبابة الفاكهة.

1968م

طرح كيمورا Kimura نظرية التطور الجزيئي المحايدة لتفسير معدل الطفرة.

1973م

طور أوهاتا Ohta النظرية المحايدة بسبب ضررها القليل على الطفرات.

سوف تضيف الماكينة من حين لآخر حبوب الفاصوليا الخاصة بها كطفرات بينما تمثل أنت الانتخاب الطبيعي الذي يحاول أن يلتقط الحبوب الحمراء كل مرة.

لكن، الماكينة أصيبت بالملل، واستبدل الوعاء الذي طلب منك أن تأخذ منه الحبوب بحقيبة، مع العلم أن سعة الحقيبة أن تحمل 10 حبات من الفاصوليا الحمراء والبيضاء. مبدئيًا يتأرجح متوسط النسبة حول 5:5، لكن مع الوقت تحتوي أغلب الحقائب على نسبة 6:4، 7:3، 8:2، 9:1، 10:1. يحافظ الشكل على ازدياده لأنك بمجرد أن تبدأ بحصاد الفاصوليا الحمراء (أو البيضاء)، سوف ينتج النبات أكثر من كلتيهما. عند حصاد 100 حبة، توجد إمكانية متباعدة في 10 حبات فاصوليا بيضاء من نسبة 9:1، لكن الاحتمالات الإحصائية بوجود 10 حبات فاصوليا حمراء أكثر. تمثل الفاصوليا الجينات وتمثل الألوان «الأليلات» المتغيرات البديلة، التي تصبح أكثر أو أقل شيوعًا بسبب أخذ عينات عشوائية من الحقيبة.

الاضمحلال

عندما ينكمش حجم العشيرة (المجموعة)، تعطي عينة عشوائية من الأفراد الباقين أقل تغيرًا. تعتبر إحدى العواقب لانخفاض التنوع الوراثي هو قلة المادة الخام للانتخاب الطبيعي؛ أي قلة فرصة الأفراد بالصدفة مع الطفرات الذي قد يسمح للمجموعات أن تتكيف مع التغير البيئي. قد يكون ذلك تلميحًا للأنواع المهددة بالخطر اتجاه الانقراض. يمكن أن يؤدي الاضمحلال أيضًا إلى الانتواع من خلال «تأثير المؤسس» الذي طرحه عالم الأحياء التطوري إرنست ماير عام 1912. سمّى ماير العمل الرياضي الذي قام به فيشر ورايت وهالدين «حقيبة حبوب الفاصوليا الوراثية» لذلك فمن المثير للسخرية أن تأثير المؤسس يلي الانحراف الوراثي بمعنى أن استعمار الأفراد يحمل عينة صغيرة من الأليلات (تنوعات وراثية) من أصل المجموعة، لذلك بعض الأليلات يمكن أن تفقد أو تنتشر عن طريق الفرصة. ويحدث أحد الأمثلة في الإنسان بين المجموعة الأفريكانية لمرض هنتنغتون (مرض عقلي). يعتبر الخلل الوراثي في المصاب للجهاز العصبي نادر الحدوث بصورة طبيعية، لكنه عادة ما يحدث في جنوب أفريقيا، ففي عام 1652 استوطن هناك أحد المستعمرين الهولنديين ولم يكن محظوظًا بالقدر الكافي ليحمل المرض المسبب للأليل. حيث يمكن أن يفقد الأليل عن طريق الانتخاب الطبيعي لأن البشر يتكاثرون ويمر بداخل مجموعة البشر قبل أن يدركوا حتى أنهم مصابون به.

إذن، الانحراف الوراثي هو تغير في تواتر الأليلات عبر الوقت، نظرًا لأخذ عينات عشوائية. في عام 1956 دلل بيتر بوري Peter Buri على ذلك عن طريق خلق أكثر من 100 نوع من عشيرة ذبابة الفاكهة. كانت تحمل ذباباته أليلات حمراء وبيضاء بحيث تتواتر نسبة الأليلات الأساسية الحمراء 0.5 : 50 ٪ في كل مجموعة. وعندما قام بتهجين 19 جيلًا من الذباب، أخذ عشوائيًا في كل مرة ثماني إناث وثمانية ذكور، بغض النظر عن لون العين. في النهاية، فقدت ربع المجموعة الأليل الأحمر وربع آخر له عيون حمراء بينما تتواتر أليلات النصف الآخر بنسبة 0.5.

النظرية المحايدة

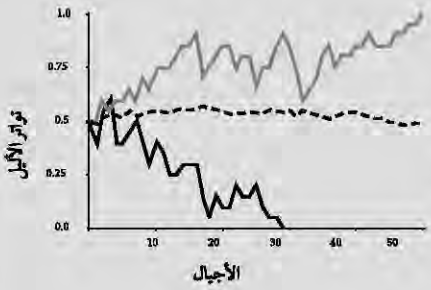
كان داروين يعي أن التطور لا يستثني الانتخاب كمحرك. قال في أحد المواضع في كتابه «أصل الأنواع»: «إن التنوع ليس مفيدًا ولا ضارًّا ولا يتأثر بالانتخاب الطبيعي وسوف يترك عناصر متراكمة.» بينما كان يتحدث عن السمات الفيزيائية، فاعتبر ذلك وصفًا دقيقًا للانحراف الوراثي. في الوراثة، التنوع هو الأليلات التي خلقت عن طريق الطفرات، ويتحدد مصير الطفرة الجديدة عن طريق الاختيار والفرصة (الانتخاب أو الانحراف). يمكن أن يسبب كلاهما فقدان الطفرات من التجمع الجيني أو انتشار لها حتى يستطيع أن يحملها كل فرد «ثابتة داخل الأنواع».

يتأثر مصير الطفرة بكيفية تأثرها بالصلاحية، أي قدرة الكائن على البقاء أو التكاثر. بينما نقول عادة إن الطفرات جيدة أو سيئة، يمكن أن تكون أيضًا محايدة. استمر هذا الاعتقاد حتى ستينيات القرن الماضي، عندما افترض العديد من الباحثين أن الانتخاب سوف يدفع أغلب الطفرات الجيدة من خلال تجمع الجينات. ثم، سمح التسلسل التكنولوجي للعلماء بقراءة الحروف في البروتينات ولاحقًا في الـDNA، مما سمح لهم بعمل مقارنة مع نفس

الجزيئات في أنواع مختلفة وحصر عدد الاختلافات. في عام 1968 استخدم عالم الوراثة الياباني موتو كيمورا Motoo Kimura تلك البيانات في حساب تعويضات النيوكليوتيدات (استبدال حرف أحادي) في جينوم الإنسان وذبابة الفاكهة. أثبت أن عديدًا من الطفرات التي بدت انها من غير مرجحة، قد اختيرت جميعها، فافترض أنها قد تراكمت عبر الانحراف الجيني العشوائي.

تواتر الأليل المتقلب

يحدث الانحراف الوراثي عندما يصبح الأليل (المتغير الجيني) أكثر أو أقل شيوعًا في المجموعة على مدار الوقت، وفقًا للعينات العشوائية المتخذة من كل جيل. بدءًا من التواتر 0.5، حيث يحمل نصف الأفراد الأليل، فقد يكون إما متذبذبًا حول متوسط التواتر (خط المتصف) أو يكون مورثًا عن طريق كل عضو في المجموعة (الخط العلوي) أو يكون منحرفًا عن تجميعة الجينات (الخط السفلي).



في عام 1973 أعاد تموكو أهاتا Tomoko Ohta تنقيح نظرية التطور الجزيئي المحايدة لكيمورا، حيث طرح أنه حتى الطفرات طفيفة الضرر (تلك الطفرات التي لها تأثير صغير على الصلاحية) يتجاهلها الانتخاب الطبيعي أيضًا.

حجم المجموعة (العشيرة)

لقد قررت ماكينة حبوب الفاصوليا الآن أن تطلب منك التقاط أربع حبات من الحقيبة على أن تكون النسبة بين الأحمر إلى الأبيض 0:4، 1:3، 2:2، 3:1، أو 4:0. من خلال اتخاذ العينات عشوائيًا، يؤخذ وقت قليل للانحراف نحو كل المجموعة الحمراء أو كل المجموعة البيضاء. عندما تتراجع الماكينة وتتركك تختار حبوب الفاصوليا من الوعاء، إذا قمت بالتقاط

أربع حبات بدلًا من عشرة بشكل سريع، فإنه لأكثر من المحتمل أن تتصادف الحفنة التي بين يديك لتكون كلها من الحبوب البيضاء. إذن، تتأثر قوة الانتخاب بحجم المجموعة. إن المجموعات الصغيرة أكثر عرضة لاتخاذ عينات عشوائية والانحراف الوراثي الذي يمكن أن يخفض من التغير الوراثي من خلال خلق اختناق أو اضمحلال جيني. تشرح النظرية المحايدة مصير الطفرات الخفية لأن تأثيرها قليل إلى منعدم الصلاحية أو لأن المجموعة الصغيرة تؤدي لاتخاذ عينات عشوائية وانحراف وراثي.

الفكرة الرئيسة

يمكن أن تتطور الأنواع عبر فرصة عشوائية فقط