

الفصل الثاني

الحياة والوراثة

وراثه ماذا ؟

عندما ظهر كتاب شارلز داروين «أصل الأنواع» فى عام ١٨٥٩ كان له فى التو دوى مثير، مفجرا خلافا فى الرأى له قدره، خاصة داخل الكنيسة، ذلك أنه قد بدا وكأنه يشكك فى فكرة الخلق، وفى عقيدة أن البشر هم أهم المخلوقات فى العالم الطبيعى. وعلى أى حال، فقد راج كتاب داروين بين العلماء وغير العلماء معاً حتى أصبح من أكثر الكتب مبيعا، ويشرح الكتاب - على نحو عام وإن كان ذلك بأدلة وافرة - آلية معقولة تتطور بها الحياة على الأرض. وفى المركز من التطور كان داروين يرى آلية الانتخاب الطبيعى لأفراد ذوى صفات متغيرة ينشأون تلقائيا بين المجموعات العشائرية للحيوانات والنباتات. والمتغير ذو الصفة الجديدة التى تجعله يتكيف تكيفا أفضل مع بيئة معينة هو الذى يكون الأكثر احتمالا لأن يبقى حيا ويخلف ذرية عما يحتمل بالنسبة لواحد آخر هو أسوأ تكييفا.

ولما كانت تلك الصفة متوارثة، فإن هذه الذرية ستزعم إلى أن تتنافس مع من سيحدث أن تحل محلهم، وهم فى هذه البيئة أولئك الذين ينجبهم والدان أسوأ تكييفا. وعلى مر الدهور يحدث المزيد من التغيرات التلقائية الكثيرة. وبعضها يؤدى إلى إضفاء عامل معوق للتنافس فيتم التخلص منه. وبعضها يكون له تأثيرا محايدا.

على أن أى تغيرات متتالية تجعل الحيوان أو النبات أكثر تلاؤماً مع بيئته ستؤدى فى النهاية إلى إنتاج عشيرة من نوع مختلف تماماً بحيث أن أفراد هذه العشيرة لن يتمكنوا بعدها من الإخصاب - المخلط مع أفراد العشيرة الأصلية. ويحاج داروين بأن هذه هى الطريقة التى تنشأ بها الأنواع الجديدة. وفى نفس الوقت، كان داروين يعتقد أن هناك إعتراضاً خطيراً واحداً على هذا السيناريو. وهو، كيف يمكن للتطور أن يجرى على هذا المنوال، فى حين أن التغير المواتى الذى يحدث فى فرد واحد سيتم بالتأكيد «تخفيفه» فى ذرية هذا الكائن ثم يزداد تخفيفاً فى الأجيال التالية؟ وقد نشأت هذه المشكلة فى ذهن داروين لأنه مثله مثل البيولوجيين الآخرين فى زمنه كان ينظر إلى الوراثة على أنها امتزاج لخصائص الوالدين. وهذه الفكرة كانت ترتبط بالإعتقاد القديم الخطأ بأن الدم هو حامل الصفات المتوارثة، على أن هذه الفكرة كان لها أيضاً ما يدعمها من براهين لها اعتبارها. فعندما تنجب أم طويلة وأب قصير طفلاً متوسط الطول فإن فى هذا ما يعد أفضل شرح لإمتزاج المادة الوراثية معاً، مثلما يمتزج النبيذ الأحمر بالنبيذ الأبيض!

والإجابة الحقيقية عن مشكلة داروين هذه هى أن التوارث لا يعتمد على سائل يمكن أن يخفف عبر الأجيال، وإنما هو يعتمد على وحدات منفصلة، صورت أصلاً على أنها جسيمات، وهى تمرر من الوالدين إلى الذرية. ووجود هذه الجسيمات وسلوكها يفسران لغزاً معيناً هو الطريقة التى يحدث بها أن ينقطع ظهور إحدى الصفات الوراثية فى جيل أو أكثر لتعاود الظهور بعدها فى جيل متأخر دون أن يقع لها أى تغير بالمرّة.

الجين - كفكرة ملموسة:

فى حوالى نفس الوقت الذى كان فيه كتاب داروين «أصل الأنواع» يشوّر من مفاهيم الناس عن وضعهم فى العالم الطبيعى، كان ثمة راهب أوغسطينى فى مورافيا غير معروف لعالمنا الطبيعى الإنجليزى، وقد أخذ هذا الراهب يتفهم فكرة

الوراثة بالجسيمات، ويبرهن على فعاليتها. وأجرى جريجور مندل سلسلة من التجارب التي صممت بتدقيق شديد، رأى من خلالها أن الخصائص المتوارثة تتحدد بواسطة وحدات من مادة التوارث تمرر عادة دون تغيير عبر الأجيال. وقد سميت هذه الوحدات بالجينات منذ عام ١٩٠٩ حين أدخل البيولوجي الدنمركي ويلهلم جوهانسن هذا المصطلح.

وقد أجرى مندل تجارب كاشفة في حديقة الدير في برون (واسمها الآن برنو في تشيكوسلوفاكيا)، وهي تلك التجارب التي هجن فيها أنواع مختلفة من البسلة الصالحة للطعام، ثم فحص ذريتها، وتبين له أن صفات معينة تغطي أحيانا على صفات أخرى. وكمثل، فإنه عندما هجن نباتات طويلة مع أخرى قصيرة، كانت كل الذرية طويلة. وهكذا فإنه نعم الطول بأنه صفة «سائدة» بالنسبة للقصر. على أن التهجين بين نباتين من هذه الذرية الطويلة أثمر في الجيل التالي بسلة قصيرة بما يصل إلى حوالى ربع الجيل. فالجين الكامن «المتنحي» لصفة القصر قد أعاد إثبات وجوده. (انظر شكل ١، ٢).

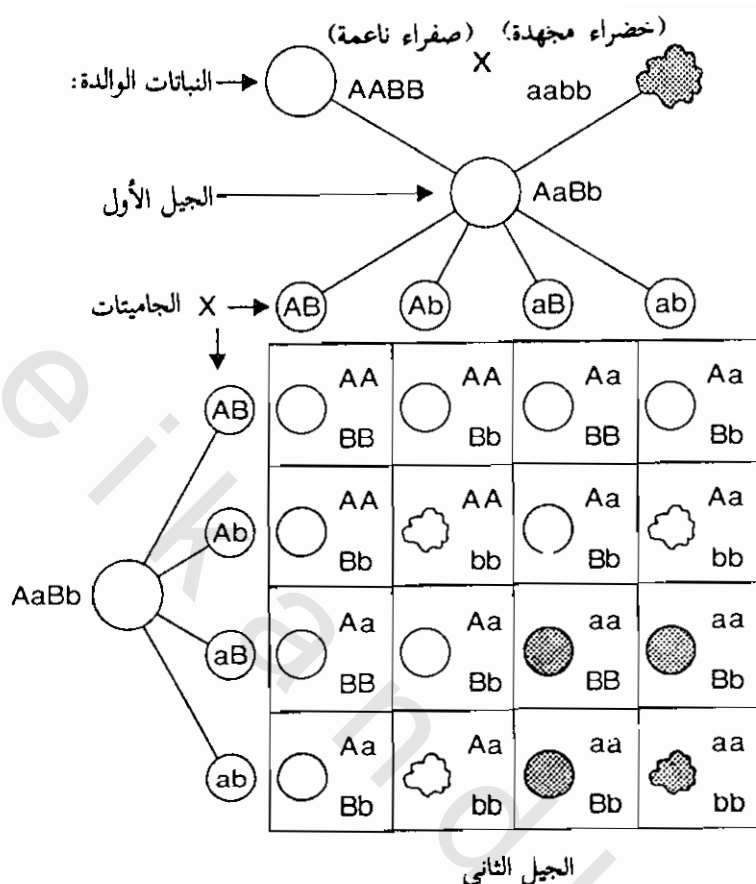
ويتكرر هذه التهجينات مئات المرات، هي وتهجينات أخرى بين نباتات لها أزواج من الصفات الأخرى، رأى مندل أن النسب في الذرية أصبحت نسباً دقيقة دقة قصوى. وقد أدى به هذا إلى الوصول إلى التفسير البسيط الذى يعد الآن إحدى العقائد المركزية للوراثيات. فكل نبات (وكل حيوان) يحمل «جرعة مزدوجة» لكل واحد من جيناته. وعندما يكون كلا العضوين فى زوج من الجينات هما من النوع السائد، فإن هذه الصفة يتم التعبير عنها (كالطول مثلا فى نباتات البسلة). ويتم التعبير عن الصفة أيضا إذا كان أحد الجينين سائداً والآخر متنحياً. أما إذا كان الجينان معا متنحيين فإنه يتم بدلا من ذلك التعبير عن هذه الصفة المتنحية (القصر فى البسلة).

وتجارب البسلة ينتج فيها عن هذه التوليفات نسبة عامة هي نبات قصير لكل ثلاثة نباتات طويلة. على أن هناك نباتين من كل ثلاثة نباتات طويلة يحملان جينا للقصير متخفيا لا يتم التعبير عنه. ورغم أن النباتات الثلاثة كلها لها نفس «المظهر» (الصفة الظاهرة)، فإن اثنين منها لهما «تركيب وراثي» (تكوين وراثي) يختلف عن الثالث.

وأحيانا لا تكون السيادة كاملة. وكمثل فإن المنشور البري الأحمر عند تهجينه مع المنشور الأبيض تنتج ذرية وردية اللون. وللهولة الأولى سيبدو هذا بما يثير الشك أمراً مشابهاً للوراثية بالإمتزاج. ولكن عندما يهجن أفراد الذرية الوردية أحدهم مع الآخر سيكون متوسط النسبة في الجيل التالي هو زهرة حمراء وزهرة بيضاء وزهرتان ورديتان. وطبعاً أن التوارث بالإمتزاج لا يمكن أن يفسر عودة ظهور الزهور الحمراء والبيضاء. والتفسير الحقيقي هو أن النباتات الحمراء تحمل جينين للون الأحمر، بينما الزهور البيضاء تحمل جينين أبيضين، أما الزهور الوردية فتحمل جينا واحداً من كل. والزهور الوردية تظهر هكذا لأن أياً من الجينين ليس سائداً على الآخر. أما في حالة السيادة، فإن نسبة ١ : ٢ : ١ تصبح ٣ : ١ كما في حالة البسلة الطويلة والقصيرة.

وعندما درس جريجور مندل توارث زوجين من الخصائص معا بدلا من زوج واحد، ظهرت إلى النور نسبة أكثر تعقداً.

فقد قام مندل في سلسلة من التجارب بتهجين نوع من البسلة بذورها صفراء وناعمة مع نوع آخر بذوره خضراء ومجعدة. ونتاجت الذرية كلها ببذور صفراء ناعمة. على أنه عندما هجنت هذه الأخيرة وجد أن هناك نسبة من تسعة بذور صفراء ناعمة، وثلاثة صفراء مجعدة، وثلاثة خضراء ناعمة، وبذرة واحدة خضراء مجعدة. وقد حدث ذلك لأن الصفات التي في الزوجين (الأخضر - الأصفر والناعمة - المجعدة) تنفصل مستقلة إحداها عن الأخرى وتكون صفة الصفار وصفة النعومة هما السائدتين (انظر شكل ٢، ٢).



شكل ٢، ٢ تهجين مندل يوضح توارث زوجين من الخصائص.

ملحوظة: نسبة الذرية في الجيل الثاني هي: ٩ صفرأ ناعمة: ٣ صفرأ مجعدة: ٣ خضراء ناعمة: ١ خضراء مجعدة.

والصفات الوراثية ليست كلها مما يتحدد حسب جينات تبادلية، كما في هذا النوع الذي يظهر في التهجينات المندلية البسيطة. فكثيرا ما يحدث أن يتفاعل مع الكثير من الجينات المختلفة لينتج عنها في النهاية تنظيم فيه محاكاة للتوارث بالإمتزاج الذي كان يؤمن به معظم البيولوجيون قبل مندل. وصفة الطول عند البشر هي أحد الأمثلة لهذا التوارث «المتعدد الجينات» والذي فيه تباين مع بسلة مندل القصيرة والطويلة. وكما

برهن على ذلك لأول مرة عالم الرياضة الإنجليزي فرنسيس جالتون، فإن ثمة «منحنى طبيعى» للأطوال عند السكان، فيه قلة من أفراد بالغى القصر وقلة من أفراد بالغى الطول وغالبية عند الوسط تتكون من أفراد متوسطى الطول. فالطول، مثله مثل الذكاء والوزن وصفات كثيرة أخرى تظهر تبايرا متصلا، وهذا ينتج ن وجود جينات عديدة مختلفة تعمل معا، مصحوبة أيضا بالعوامل البيئية.

ما لم يعرفه مندل:

فى السنوات الأخيرة أصبح من الواضح أن ثمة إستثنائين مهمين لأنماط مندل الوراثة البسيطة نسبياً. والأول، هو أن الجينات المسؤولة عن أمراض بشرية معينة يعرف الآن أنها محمولة على كروموزومات ليست موجودة فى نواة الخلية، وإنما هى فى الميتوكوندريا (*). ولما كانت الميتوكوندريا التى فى الجنين لا تأتى إلا من سيتوبلازم خلية البويضة وحدها، فإن هذه الحالات يتم توارثها بالقطع من الأم وحدها. ويشمل ذلك مختلف الحالات التى تسمى بالحثل العضلى الميتوكوندرى، وهى حالات تتميز بضعف العضلات، وكذلك حثل ليبر الوراثة فى عضلات العين، وهو مرض يسبب العمى. وثانياً فإن الأبحاث فى السنين الأخيرة قد بينت أن التعبير عن أحد الجينات قد يختلف حسب ما إذا كان الجين آتيا من الأم أو الأب. وينتج هذا عن ظاهرة تسمى الإنطباع الوالدى للجينات، وسببها غير مفهوم بعد فهما كاملا ولكنها يمكن أن تكون لها دلالاتها بالنسبة للأمراض البشرية. وكمثل، فإن من الظاهر الآن أن نفس الحذف الذى يقع فى كروموزوم ١٥ قد يسبب حالتين مختلفتين تماما من المتلازمات الإكلنكية وذلك حسب المصدر الوالدى للجين: ففى متلازمة برادر-ويلي يكون الحذف فى الكروموزوم الموروث من الأب بينما فى حالة متلازمة أنجلمان يكون الحذف مستقى من الأم. ويبدو أيضا أن الإنطباع الوالدى للجينات الكابحة

(*) الميتوكوندريا حبيبات خيطية فى سيتوبلازم الخلية تشكل أحد الأجهزة أو العضيات السيتوبلازمية التى لها دور هام فى أيض الخلية وإنتاج الطاقة اللازمة لوظائف الخلية. (المترجم).

للأورام قد يؤدي إلى زيادة احتمال نشأة أنواع معينة من السرطان في الأفراد الذين يتلقون هذه الجينات.

ما هو الهجين؟

كلمة «هجين» تصف الذرية الناتجة عن نوع التهجينات المماثل لما كان يجريه جريجورى مندل. ولكنها تستخدم أيضا بمعنى أكثر عمومية لتصف أى نسل ناتج عن والدين هما وراثيا غير متماثلين، بل وينتميان أحيانا إلى نوعين مختلفين. والبغال (أى هجين الخيل والحمير) هى وأشباه الحمير (أى هجين الخيل وحمار الوحش) تكون عموما عقيمة، بسبب ما يوجد من اختلافات بين كروموزومات والديها. والهجن الناجمة عن الخلط الوراثي هكذا، تتمايز تماما عن «الكيميرات» (*) التى يحدث فيها أن تختلط معاً خلايا من كائنات متميزة. ومع أن الكيميرات قد تتواجد طبيعياً، إلا أنه يمكن أيضا إنتاجها من خلال تحويرات إصطناعية، كما فى كيميرات الخراف - المعيز.

الكروموزومات - حاملات الجينات:

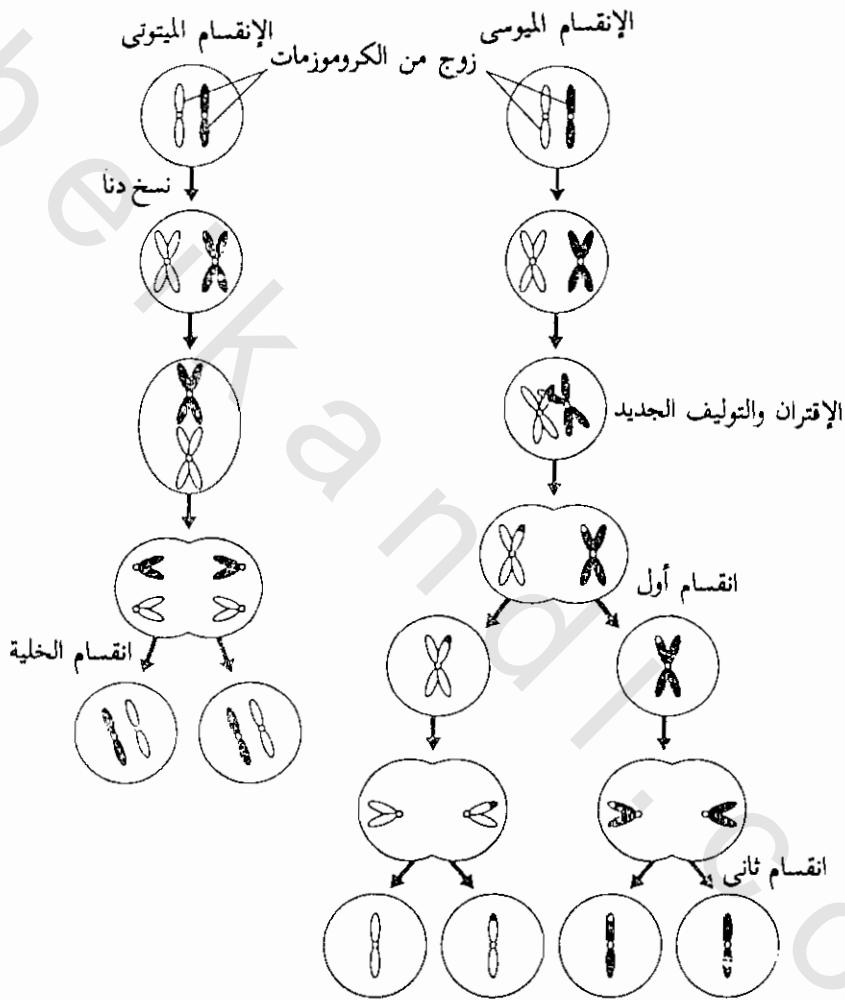
الجينات فى خلايا الحيوان أو النبات تقع فى تكوينات يمكن رؤيتها تحت الميكروسكوب الضوئى، تسمى بالكروموزومات، وأفراد البشر لديهم ثلاثة وعشرين زوجاً من الكروموزومات. وكقاعدة يوجد فى كل خلية مجموعة كاملة من أزواج الجينات محمولة على مجموعة كاملة من أزواج من الكروموزومات. وهناك إستثناءات هينة قليلة لهذا، كما فى خلايا الدم الحمراء البشرية التى لا تحوى أى نوى أو جينات. وثمة إستثناء رئيسى واحد - وهو فى الخلايا التناسلية. وتسمى هذه الخلايا أيضا «خلايا جرثومية» أو جاميتات (أى البويضة والحيوان المنوى فى الحيوانات وما يقابلهما فى النباتات)، وهى تحوى نسخة واحدة فقط من كل جين. وتكون

(*) الكيميرا أصلاً حيوان خرافى له رأس أسد وجسد شاة وذيل حية، ثم استخدمت الكلمة كمصطلح فى علم الوراثة بالمعنى المفسر أعلاه. (المترجم).

الأزواج من جديد عندما تلتقى الجاميتات عند الإخصاب. وهكذا فإن جينا واحدا من كل زوج من الجينات يأتي من أحد الوالدين، ويأتي الجين الآخر من الوالد الآخر.

«والانقسام الميوسى» (أو المنصف) هو اسم العملية التى تحدث أثناء نشوء الخلايا الجرثومية فى الأعضاء التناسلية، وفيها ينصف عدد الكروموزومات التى فى المجموعة الكاملة (المجموعة الثنائية) لتصبح مجموعة من نصف العدد (مجموعة أحادية). «والإنقسام الميتوتى» (أو الفتىلى) هو العملية المقابلة التى تحدث فى كل أنسجة الجسم الأخرى، حين تنقسم الخلايا ذات المجموعة الثنائية، ويتم نسخ مجموعتها الكاملة من الكروموزومات (وبالتالى الجينات أيضا) فيتم الاحتفاظ بها ثنائية المجموعة. وهذا هو ما يحدث أثناء نمو أنسجة الحيوان والنبات (انظر شكل ٣، ٢).

والصفات الوراثية التبادلية مثل الطول والقصر فى البسلة، تتحدد بالجينات التى تشغل نفس المكان أو «الموقع» فوق كروموزوم بعينه. وتسمى هذه الجينات أليلات Alleles. والأليلات عند أفراد البشر تشمل مثلا الجينات المسؤولة عن فصائل دم أ ب صفر، وفصائل ريو سس. ورغم أن مندل قد أجرى تجارب على أزواج من الخصائص، وبالتالى فإنها كانت على أزواج من الأليلات، إلا أن الكثير من المواقع يكون لها أليلات عديدة مختلفة تحدد الخصائص التبادلية. والحيوان أو النبات الذى يحمل الليلين متماثلين يقال عنه أنه «أصيل» (أو متجانس اللاقحة) بالنسبة لهذه الصفة الوراثية (كما مثلا فى نبات بسلة فيه جينان من جينات الطول). والكائن الذى يكون فيه أليلان مختلفان عند موضع معين يوصف بأنه «مخلط» (أو مخلط اللاقحة). وهذا التمييز له دلالات طبية مهمة - كما مثلا فى حالات أنيميا الخلية المنجلية. فهذا المرض يظهر فى الأفراد الذين يكونون أصلاء بالنسبة لجين ينتج نوعاً شاذاً من «الهيموجلوبين»، يشوه شكل خلايا الدم الحمراء ويعوق الدورة الدموية. أما فى المخلطين، حيث يتوارى جين الخلية المنجلية بفعل أليله السوى، فإنهم يصنعون النوع السوى من الهيموجلوبين فلا تظهر عليهم أنيميا الخلية المنجلية، وإن كان



شكل (٢، ٣) الإنقسام الميتوتى والإنقسام الميوسى

ملحوظة: الشكل موضح فيه التوليف الجديد أثناء الإنقسام الميوسى

يمكن لهم بالطبع أن يمرروا جين الخلية المنجلية إلى ذريتهم. ويبدو أن الليل الخلية المنجلية قد أبقي عليه في مناطق معينة من العالم، بدلا من أن يتم التخلص منه أثناء عملية التطور، وذلك بسبب أن الأفراد المخلطين يحظون بقدر له أهميته من الحصانة ضد الملاريا - بمعنى أنه حيثما توجد الملاريا، فإن حاملي هذا الجين يكونون أفضل صحة عما يكونون من الأصلاء «الأسوياء».

و «تعدد الصورة» هو المصلح الذي يطلق على وجود نوعين أو أكثر من تراكيب وراثية مختلفة متميزة لدى أفراد إحدى العشائر السكانية. وعندما يظل هذا الخليط متواصلا لأجيال كثيرة فإنه يسمى تعدد صوري متوازن. وأحد أمثلة ذلك هو العشيرة السكانية التي تتضمن أفراداً أصحاء لديهم هيموجلوبين سوى، وأفراداً أصحاء يحملون صفة الخلية المنجلية، وأفراداً أصلاء بالنسبة لجين الخلية المنجلية.

وفي عام ١٨٨٤ مات مندل، على أن أبحاثه لم تجذب الإنتباه الجدى بين البيولوجيين إلا عند بداية قرننا هذا. وقد دعم من إدراكهم لأهمية أبحاث مندل ما حدث من إكتشاف للكروموزومات (التي سميت هكذا حسب كلمات إغريقية تعنى الأجسام الملونة. لأن الكروموزومات تكتسب لوناً قوياً بإستخدام صبغات معينة)؛ كما دعمه كذلك إكتشاف الإنقسام الميوسى. وفجأة أصبح من الواضح أن كثيراً مما لوحظ من الحقائق الوراثية يمكن تفسيره على أساس جسيمات التوارث التى تحملها الكروموزومات. وكان البيولوجى الأمريكى وليام ساتون واحدا من أول من نادوا بهذه الدعوى الواضحة، وإن كان عالم الحيوان الألمانى أوجست وايزمان قد طرح مبكراً فى ثمانينيات القرن التاسع عشر أن «اللوالب الصبغية» (أو الكروموزومات) هى مادة التوارث.

هل يمكن أن تورث الخصائص المكتسبة؟:

من النظريات المقابلة لنظرية داروين فى التطور نظرية عالم النبات الفرنسى جين لامارك. وكان يعتقد أن الخصائص المكتسبة يمكن أن تمرر من الوالدين إلى

نسلهم، كما يحدث مثلاً من تضخم العضلة العضدية ذات الرأسين عند الحدادين. وحسب هذه النظرية فإن الزرافة قد طورت رقبة أطول وأطول بأن ظلت تشرب باستمرار حتى تصل إلى الغصون العالية. ويحتاج أوجست وايزمان بأن اللاماركية نظرية مستحيلة لأن خط إنتاج الخلايا الجرثومية - أى الخلايا التى تنتج البويضات والحيوانات المنوية - هو خط منفصل عن خط الخلايا الجسدية، أى خلايا الجسم الأخرى. ولا زالت آراؤه هذه تعد صحيحة. فلا توجد آلية يمكن من خلالها أن تؤثر التغيرات الجسدية، مثل نمو العضلات، فى الرسائل المحمولة من خلال الجينات من أحد الأجيال إلى الجيل الآخر.

رسم خريطة للجينات:

حدثت خطوة رئيسية تالية للأمام فيما بين ١٩١٠، ١٩١٩، وذلك عندما تبين عالم الوراثة الأمريكى توماس هنت مورجان أن الكثير من الصفات الوراثية تنزع لأن تورث معاً، وذلك فى تباين مع توارث الصفات مستقلة منفصلة مما ينعكس فى نسبة ٩ : ٣ : ٣ : ١ فى دراسات مندل. وتفسير ذلك هو ما يسمى «بالارتباط»، وهذا التفسير يوفر همزة وصل مباشرة وعملية بين أبحاث رواد علم الوراثة والجهود التى تبذل حالياً لرسم خريطة للجينات التى على الكروموزومات البشرية.

وقد قرر مورجان أن يستخدم فى أبحاثه ذبابة الفاكهة «دروزوفيليا» بدلا من النباتات، ذلك أن لها مزايا عديدة فى الأبحاث الوراثية. فالذبابة يسهل تربيتها وتنميتها، وهى لديها فحسب أربعة أزواج من الكروموزومات. كما أن لها دورة حياة من أربعة عشر يوما لاغير، وهذا يسهل التتبع السريع للخصائص الوراثية من جيل للجيل التالى. وكان مورجان فى أول الأمر متشككا فى أبحاث مندل، ولكنه سرعان ما أثبت وجود النسب المندلية فى ذرية الدروزوفيليا. ثم وجد بعدها أنه فى تهجينات معينة تظل جينات معينة مرتبطة معاً بتواتر أكثر مما كان يتوقع لو أنها تتوزع عشوائيا. وما لبث مورجان أن تبين وجود أربعة مجموعات من الجينات المترابطة، وما إن فعل

ذلك حتى أصبح التفسير الإجبارى هو أن: الدروزوفيليا لديها أربعة مجموعات ارتباط لأن الجينات مترابطة معاً على الكروموزومات الأربعة.

وأوضح مثال للارتباط يختص بكروموزومات الجنس. فالأنثى فى معظم الحيوانات الفقرية، وفى الكثير من اللافقرات وبعض النباتات، يكون لها كروموزومان من نوع إكس، أما الذكر فيكون له كروموزوم واحد من نوع إكس وواحد آخر من نوع وائى. أما فى الطيور وأبى دقيق والفرش وبعض الأسماك فيكون عند الذكر كروموزومان من إكس وعند الأنثى كروموزوم من نوع إكس وآخر من نوع وائى. وهذه الكروموزومات لا تقتصر على أن تحدد الجنس فقط؛ فهى أيضاً تحمل جينات لصفات وراثية أخرى. وكمثل، فإن عى اللون الأحمر - الأخضر عند البشر بتحدد بجين متنح على كروموزوم إكس. وهكذا فإن الحالة أكثر شيوعاً بين الرجال. ولكن النساء يحملن الجين دون أن يتأثرن بمفعوله لأنه يتوارى بفعل جين سائد يضى صفة الإبصار السوى للألوان. والأمراض الأخرى المرتبطة بكروموزوم إكس من ضمنها الهيموفيليا وحثل ديوكين العضلى.

وقد وجد توماس هنت مورجان فى تجاربه على الدروزوفيليا أنه حتى الصفات التى على نفس الكروموزومات يحدث لها أن يعاد توزيعها. ورغم أن هذا لا يحدث كثيراً إلا أن مورجان أخذ يشك فى أن الكروموزومات أثناء الانقسام الميوسى والميتوتى يمكن أن تتكسر ثم يعاد توليفها من جديد. وقد أدى به هذا إلى إجراء تجربة فكرية، تتأسس على أن فرصة أن يحدث التكسر بين جينين منفصلين بمسافة بعيدة على الكروموزوم هى فرصة أكبر من أن يحدث التكسر بين جينين قريبين معاً. فإذا كان الأمر هكذا، فإن تواتر إعادة توزيع الجينات يمكن أن يستخدم كمقياس للمسافة التى بين الجينات. وأجرى مورجان تهيجمات لذباب فاكهة يحمل صفات كثيرة مختلفة وبين بعدها أنه مصيب فى رأيه. وكانت النتيجة النهائية هى سلسلة من الخرائط تبين ترتيب الجينات فى صف على كروموزومات الدروزوفيليا.

الطفر - مصدر التجديد:

من الواضح أن إعادة توزيع الجينات مثلها مثل إعادة خلط مجموعة أوراق الكوتشينة، فهي تولد التجديد فى شكل توليفات جديدة. ولكن ترى ما هو مصدر تلك الجينات الأخرى التى تكون جديدة بالكامل والتى يعمل عليها الانتخاب الطبيعى حسب نظرية داروين للتطور؟ كان أول عالم أجاب عن هذا السؤال هو واحد من تلاميذ مورجان، وهو هيرمان ج. مولر. وقد وجد أنه بالنسبة للجينات (التي تزايد تصويرها على أنها مرادف لحبات خرز فى خيط) فإنه يمكن إحداث تحول فيها أو إحداث طفرة حتى تصبح جينات ذات شفرة لصفة وراثية تختلف إختلافا له دلالتة. وبقذف الدروزوفيليا بجرعات قوية من أشعة إكس، وصل مولر إلى تعديل الجينات المسئولة عن صفات مثل لون العين، والشعر الصلب الذى على الجسم، وشكل الجناح، وهكذا فإنه أنتج ذبابا له صفات غير عادية، وله فى بعض الحالات صفات شاذة.

وكان مولر قد لاقى بعض هذه الطفرات من قبل فى عشائر طبيعية من ذباب الفاكهة. إلا أن الإشعاع يزيد من تواتر الطفرات بعامل من ١٥,٠٠٠ أو أكثر. وهناك أنواع أخرى من الطفر («كالجناح المبقع» مثلا و «العرف الجنسى») كان مولر لم يرها قط من قبل. وتبين هذه التطويرات أن وحدات التوارث «يمكن» أن تتعدل، وذلك على الرغم مما يحدث عادة من النسخ الأمين الثابت للجينات على النحو المسئول عن النتائج التى لاحظها جريجور مندل. وليس غير طفرات قليلة هى التى يثبت أنها ذات فائدة للكائن الحى المعنى. وهذه الطفرات المفيدة تشكل المادة الخام للتغير والتحسين التطورى. على أن معظم الطفرات تكون ضارة، والكثير منها يتم التخلص منه، لأنها طفرات تجعل النبات أو الحيوان أو الميكروب الذى يحملها فى وضع غير موات بالمرّة فى بيئة معينة. وسوف نناقش فيما بعد الأساس الجزيئى للطفر.

والبشر كلهم، مثلهم مثل كل الحيوانات، يحملون جينات فيها إمكان لطفرات خطيرة أو مميتة. وهذه الجينات لا يتم التعبير عنها لأنها جينات متنحية، تتوارى خلف جينات سائدة سوية. واحتمال أن يأتي جينان من النوع المتنحي معاً يتزايد زيادة هائلة عندما يحدث تزواج بين أفراد على صلة قرابة جد وثيقة، كما في الإتصال الجنسي بين المحارم. وهذا هو الأساس البيولوجي للقوانين التي تحرم التزاوج بين ذوى القرابة الوثيقة.

أهمية الجنس:

الطفرات فى «الخلايا الجسدية» لا تتوارث (كما مثلاً فى الطفرات المسؤولة عن بقع الجلد المختلفة فى البنية واللون مما يظهر على ظهر اليد). أما الطفرات التى تحدث فى الخلايا الجرثومية فهى تمتد بالمادة الخام للتطور بالإنتخاب الطبيعى. ويمثل ذلك أهمية تولد توليفات جديدة من الجينات أثناء الإتحاد الجنسي. فأولاً، تقترب أزواج الكروموزومات معاً أثناء الإنقسام الميوسى. وينقسم كل كروموزوم إلى اثنين من «الكروماتيدات» ثم يتم التبادل عشوائياً ما بين مادة الكروموزومات الأبوية والأموية. وقد تحدث طفرات أثناء هذا «العبور» أو «التوليف الجديد» (بما فى ذلك أن يحدث حذف فى المادة الجينية). وثانياً، يعاد توزيع الكروموزومات أثناء الإنقسام الميوسى، ويتلقى كل جاميت مجموعة تتشكل بطريقة عشوائية من الكروموزومات الأبوية والأموية. وحتى فى حالة وجود أربعة أزواج لا غير من الكروموزومات، فسيكون فى الإمكان تكوين ست عشرة توليفة مختلفة فى الجاميتات. وفى النهاية، ينشأ عن الإتحاد الجنسي ٢٥٦ (١٦ × ١٦) إمكانية لتوليف الكروموزومات فى الفرد من ذرية الوالدين.

كيمياء الحياة وموادها الكيماوية:

فى حوالى نهاية سنى القرن التاسع عشر وأثناء العقود الأولى من قرننا هذا، كان العلماء مع إنشائهم لما نسميه الآن علم الوراثة، يخلقون أيضاً فى تواز معه فرعاً آخر

جديداً من المعرفة، هو علم الكيمياء الحيوية، وهو علم قد خلقوه أثناء سبرهم للعمليات الكيماوية المرتبطة بالكائنات الحية. وكان أول اكتشافاتهم فيه هو ما يختص بالتحويلات الكيميائية التي تنجزها كائنات حية تعد نسبياً كائنات بسيطة (هذه الاكتشافات هي التي أخذت في هدم فكرة «الحوية»، وهي فكرة أن الحياة لا يمكن تفسيرها على أساس الكيمياء والفيزياء وحدهما). وفي ألمانيا مثلاً، اكتشف إدوارد وهانز بوخنر أن الخلاصة غير الحية للخميرة والتي تخلو من الخلايا يمكنها أن تخمر السكر إلى كحول. وقبل ذلك كان المعتقد أن هذه العملية تعتمد على أن تكون الخميرة حية. ثم أصبح واضحاً بالتدريج أن التخمر نفسه هو عملية معقدة. فتحول السكر إلى كحول وثاني أكسيد الكربون يحدث في خطى متتالية، توصف الآن بأنها أحد المسارات الأيضية. وكل خطوة في هذا المسار يتم إحداثها بواسطة حافز طبيعي يسمى الإنزيم. وبوضع خريطة تصف الأطوار المتتابعة مع ما فيها من منتجات وسيطة، أنشأ علماء الكيمياء الحيوية في النهاية خريطة أيضية - أى تخطيط يمثل كل عملية التحول التي تقوم بها خلايا الخميرة كوسيلتها للحصول على الطاقة.

ونحن نعرف الآن أن الخلايا الحية تتميز بأن لها مسارات أيضية كثيرة مختلفة. وبعضها، مثل التخمر بخلايا الخميرة، يؤدي إلى تحلل مواد الطعام، وبعضها الآخر يعمل في بناء بنية الخلية وبناء مواد أخرى، وذلك ابتداء من مواد أبسط. والعمليات الأولى، أى تحلل الطعام، ينتج عنها كل من الطاقة والمواد التي تستخدم كلبينات في العمليات الأخيرة.

والكائنات الحية ليست كلها ذات قدرة على إنشاء كل هذه السلاسل من عمليات التحول. فخلايا الحيوان مثلاً، لا تخمر السكر بالطريقة التي نراها في الخمائر وفي ميكروبات كثيرة أخرى. فالخلايا الحيوانية تهاجم السكر من خلال مسار أبيض آخر، يختلف عن عملية التخمر في أنه يحتاج لوجود غاز الأوكسجين

أما إذا أصيب التنفس بما يفسده، فإن الخلايا الحيوانية عندها يصبح لديها أيضا قدرة محدودة فحسب على إستخلاص الطاقة فى غياب الأوكسجين وذلك بأن تحول السكر إلى حامض اللبنيك. وهذا هو السبب فى أن العدائين قد يحسون قرب نهاية سباق الماراثون بألم وصعوبة فى الحركة، حيث يتجمع حمض اللبنيك فى عضلات سيقانهم.

ومن الواضح أن المسارات الأيضية المسئولة عن تخليق المواد الخلوية تختلف هى أيضا باختلاف أنواع الكائنات الحية. فالإنسان وغيره من الفقريات ينتجون العظام وغيرها من مواد البنية، بينما يقوم النبات بتخليق مواد «لأعمدة فقرية» مختلفة مثل السيلولوز واللجنين. وثمة مسار أبيض تنفرد به النباتات الخضراء وهو المسار المسئول عن التمثيل الضوئى، أى العملية التى يتم للنباتات من خلالها تسخير طاقة ضوء الشمس «لتثبيت» ثانى أكسيد الكربون من الهواء وبالتالي إنتاج السكريات.

وهناك أربعة صنوف رئيسية من المواد العضوية فى كل الكائنات الحية - وهى الكربوهيدرات، والدهنيات، والأحماض الأمينية، والنيوكليوتيدات. وتتكون الكربوهيدرات من الجلوكوز وغيره من السكريات البسيطة؛ والسكروز هو وغيره من السكريات ذات الجزيئات الكبيرة يتكون من إتحاد السكريات البسيطة؛ وهناك سكريات أكثر تركبا تسمى السكريات التعددية، مثل النشا فى النباتات والجليكوجين فى الحيوانات، وهذه تتكون من أعداد كبيرة من الجزيئات السكرية مربوطة معاً. والسكريات تتحلل لتنتقل منها الطاقة، كما يعمل النشا هو والجليكوجين بمثابة مخازن للطاقة. وللمواد الكربوهيدراتية وظائف أخرى أيضا، فبعضها يعمل كمواد للبناء. والسيلولوز، مادة البناء الأساسية فى النباتات وهو من السكريات التعددية، وكذلك أيضا الكيتين الذى يكون الغلاف الخارجى لأجسام الحشرات.

أما الدهنيات فهى تعرف أحيانا بأنها الزيوت والشحوم والشموع التى توجد فى الأنسجة الحية ولا تذوب فى الماء. وباستخدام مصطلحات أكثر دقة، فإن هناك

نوعين معينين من الدهون لهما أهمية خاصة. فالأحماض الدهنية تتكون من جزيئات أحد طرفيها لا يذوب في الماء والطرف الآخر يذوب في الماء. وهى أيضاً تخزن الطاقة، ولكنها كذلك تظهر فى شكل دهنيات فوسفورية فى الأغشية المحيطة بالخلايا. والاستيرويدات مجموعة أخرى من الدهنيات، تتضمن أحد المكونات الأخرى لغشاء الخلية وهو الكولسترول، وتتضمن أيضاً هرمونات من مثل التستوستيرون، والكورتيزون، وكذلك فيتامين (د) الذى يساعد على دمج الكالسيوم فى العظام.

أما «الأحماض الأمينية» فهى لبنات بناء البروتينات. وكل البروتينات تقريباً تصنع من مجموعة أساسية من الأحماض الأمينية عددها عشرون فحسب، والبروتينات هذه هى جزيئات كبيرة جداً - وتتحدد طبيعة أحد البروتينات وفعاليتها حسب التتابع المعين للأحماض الأمينية فى هذا البروتين، وحسب الطريقة التى يلتف بها الجزيء فى شكل معقد ثلاثى الأبعاد كنتيجة لهذا التتابع. وهناك أنواع مختلفة من البروتينات تعمل كإنزيمات تحفز عمليات التحول البيوكيميائية؛ وتعمل كمواد مناعية تتكون من الجلوبيولين (الأجسام المضادة) لتحارب العدوى؛ أما ما يكون منها فى شكل الهيموجلوبين والميوجلوبين^(*) فيعمل بمثابة أدوات نقل للأوكسجين ومخازن له. وهناك بروتينات أخرى تكون مواد بنوية مثل العضلات، والشعر، الجلد.

و «النيوكليوتيدات» هى لبنات بناء الأحماض النووية، التى تحمل الرسائل الوراثية فى شكل شفرة والتى سننظر أمرها بالتفصيل فى الفصل الثالث. والمعلومات المشفرة فى أحد الأحماض النووية، وهو حامض دنا، والتى يتم تنسيقها بواسطة حامض رنا، وهى التى تحدد بنية البروتينات المقابلة لذلك. والأحماض النووية، مثلها مثل البروتينات، هى جزيئات ضخمة جداً. وهما يعرفان بإسم الجزيئات الكبيرة (وهذا المصطلح يستخدم أيضاً لوصف معظم السكريات التعددية، التى يتم بناؤها باستخدام لبنات كثيرة أصغر حجماً ولكنها لا تنقل أى معلومات وراثية).

(*) الهيموجلوبين المادة الحمراء فى الدم والميوجلوبين بروتين فى العضلات. (المترجم).

الخلايا - مصانع الحياة:

الوحدات الأساسية لكل الأشياء الحية هي الخلايا، وهي تختلف في الحجم إختلافاً له قدره. فقطر خلية البكتريا هو ١ - ٢ ميكرومتر (١ - ٢ جزء من مليون من المتر)، بينما معظم خلايا الحيوان والنبات يبلغ مقياسها حوالى ١٠ ميكرومتر. على أن هناك خلايا معينة متخصصة تكون أكبر كثيراً من ذلك. إلا أن التركيب الأساسى للخلايا يتمثل إلى حد ملحوظ، فهي ذات غشاء رفيع مرن (يدعمه فى النباتات والميكروبات جدار خارجى صلب للخلية) والغشاء يحوى من داخله بنات أخرى تتخلل السيتوبلازم الذى تجرى فيه أيضاً أوجه النشاط الكيميائية. وغشاء الخلية ليس مجرد وعاء سلبى. فهو يلعب دوراً نشطاً فى تنظيم إدخال العناصر المغذية للخلية وإمرار الفضلات خارجها.

وثمة تمايز بين الخلايا ذات النواة البدائية والخلايا ذات النواة الحقيقية. فالبكتريا ذات نواة بدائية. فليس للبكتريا تنظيم داخلى واضح من مثل نواة أو كروموزومات تدخل فى عملية إنقسام ميتوتى أو ميوسى. وهى إذ تتكون عادة من خلية واحدة، فإنها ببساطة تتكاثر بالانقسام، ومن المعتقد أنها تشبه الكائنات الأولية التى ظهرت أثناء أول بليونى سنة من الحياة على الأرض. والكثير من البكتريا تحمل حامض دنا ليس فحسب فى «نواتها» البدائية وإنما أيضاً فى «البلازميدات» المنفصلة. وهذه جزيئات من حامض دنا فى جديلة دائرية مزدوجة وصغيرة، ويمكنها أن تكاثر من نفسها داخل خلية البكتريا فى استقلال عن حامض دنا الرئيسى الموجود فى البكتريا. وكثيراً ما تحمل البلازميدات جينات ليست ضرورية للحياة ضرورية مطلقة.

والبشر والحيوانات الأخرى، والنباتات، والحشرات، والفطريات، والخمائر، كلها ذوات نواة حقيقية Eukaryots (كلمة عن الإغريقية تعنى «نواة حقيقية»). وكل هذه الكائنات هى عادة متعددة الخلايا حيث تشكل المجموعات المختلفة من الخلايا أنسجة تؤدى وظائف معينة - كالمخ مثلاً فى الحيوانات، والأوراق الخضراء فى

النباتات الزهرية. والخلايا ذات النواة الحقيقية لها نواة يحيط بها غشاء مثلها في ذلك مثل الخلية نفسها. وكذلك أيضا العضيات Organelles التي يؤدي وجودها إلى ضمان أن تحدث تفاعلات بيوكيميائية تخصصية في مواضع مختلفة بالخلية. والكلوروبلاستات هي عضيات يحدث فيها التمثيل الضوئي في الخلايا النباتية. والميتوكوندريا هي عضيات موجودة في كل ذوات الخلية الحقيقية، وهي ناسخة لذاتها، وتولد فيها الطاقة اللازمة للإقتصاد الخلوي. والميتوكوندريا والكلوروبلاستات كلاهما يحوى حمض دنا الخاص بكل، وهو يحمل بعض المعلومات اللازمة لوظائفهما التخصصية. أما الريبوزومات فهي مواضع يتم فيها تخليق البروتينات في كل من ذوات النواة الحقيقية والبدائية.

كيف تحدد الجينات كيمياء الحياة:

في عام ١٩٠٨ جذب الطبيب الإنجليزي سير أرشيبولد جارود الإنتباه إلى أوجه خلل معينة في أيض الجسم كانت مما يرى بوضوح ويمكن التعرف عليها في التو. وثمة مثالان لذلك، أحدهما هو حالات المهق^(*). حيث الأفراد المصابين تنقصهم صبغة الجلد والعين، والمثل الثاني هو حالات تبول الألكبتون، وفيها يتحول البول للون غامق عند تركه زمنا. وقد ألقى جارود الضوء على ثلاثة ملامح بارزة في هذه الحالات. فهي حالات تنزع لأن تكون عائلية وهي أكثر انتشاراً بين ذرية الأزواج من أبناء العمومة. وهذه الحالات تظهر في الأيام أو الأسابيع الأولى من الحياة، وهي نسبيا حالات حميدة يمكن إرجاعها إلى عوائق في مسارات الأيض، سببها أوجه شذوذ في جينات معينة. فإذا كان هناك مثلاً تتابع من إنزيمات تقوم في الأحوال السوية بتحويل المادة (أ) بالتتالي إلى (ب) ثم (ج) ثم (د)، فإن فشل أى إنزيم من هذه الإنزيمات سيكون له تأثيران، وهما أن المادة التي كان ينتظر تحويلها سوف

(*) albinism فقدان اللون في البشرة والشعر والحدقة بسبب عيب وراثي يؤدي إلى غياب الصبغة الملونة،

ويسمى المريض عند العامة «عدو الشمس». (المترجم).

تتراكم، كما أنه سيحدث نقص شديد في المادة التي يتم التحول إليها في الأحوال السوية. وأى من هذين الخللين يمكن أن يسبب ذلك النوع من التأثيرات الخارجية التي لاحظها جارود فيما أطلق عليه «أخطاء الأيض الوراثية».

والياً، فإن أحد أشهر الأمثلة للحالات التي تتحدد وراثياً هو حالة تبول الكيتون الفينولي، وهى حالة يتوقف فيها تحويل أحد الأحماض الأمينية وهو حامض الألانين الفينولي إلى التيروسين، وبدلاً من ذلك فإنه يتكدس في الدم. وما لم يمنع تبول الكيتون الفينولي باستخدام غذاء خال من الألانين الفينولي، فإن الحامض الأميني يتكدس في الجسم ويؤثر في المخ تأثيراً ضاراً مسبباً تخلفاً عقلياً.

ولم يكن هناك إلا القليل من البراهين الوراثية القوية لدعم أفكار جارود، تلك الأفكار التي كانت تسبق عصرها بزمان كبير. على أنه قد ثبت أنها أساساً صحيحة. وفي أثناء الثلاثينيات ثبت بوضوح على يد عالم الوراثة الأمريكي جورج بيدل وعالم الكيمياء الحيوية الأمريكي إدوارد تاتوم أن مفعول الإنزيمات المعينة يمكن إرجاعه إلى جينات محددة، وقد درس هذان العالمان فطر نيوروسبورا كراسا الذى ينمو على نحو سوى فى مستنبت يحوى الجلوكوز والأملاح وفيتامين البيوتين. وعندما عرّض بيدل وتاتوم أعداد كبيرة من بزيترات ن. كراسا للإشعاع، وجدا بزيرة لا يمكنها أن تنمو إلا إذا أضيف للمستنبت فيتامين (ب ١)، وبزيرة أخرى لا تنمو إلا إذا تضمن المستنبت فيتامين (ب ٦) بدلاً من (ب ١). ويدل هذا على أن الإشعاع قد سبب على نحو ما القضاء على جينين مختلفين فى هذين الميكروبين، وبالتالي سبب القضاء على الإنزيمين المقابلين، مما جعل الميكروبين فى حالة اعتماد على مواد تغذية معينة.

وأتى بعد بيدل وتاتوم باحثون أقاموا بحوثهم بناء على مفهومهما «جين واحد لكل إنزيم واحد»، فأثبتوا أن كل جين (فيما عدا إستثناء واحد أو اثنين) يحدد تركيب بروتين واحد معين. وهذا هو المفتاح للعلاقة بين الوراثة والكيمياء الحيوية

فى الحيوانات والنباتات والميكروبات. وتصديق هذه العلاقة سواء كان الجين والإنزيم المقابل له موجودين من زمن طويل أو أنهما قد نجما عن طفرة حديثة. كما أن هذا يفسر تفسيراً بارعاً طبيعة التغيرات التى يود علماء الوراثة إحداثها فى الكائنات الحية.