الفصل الثاني

الحياة والوراثة

وراثة 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 ـ على نحو عام وإن كان ذلك بأدلة وافرة ـ آلية معقولة تتطور بها الحياة على الأرض. وفى المركز من التطور كان داروين يرى آلية الإنتخاب الطبيعى لأفراد ذوى صفات متغايرة ينشأون تلقائيا بين المجموعات العشائرية للحيوانات والنباتات. والمتغاير ذو الصفة الجديدة التى تجعله يتكيف تكيفا أفضل مع بيئة معينة هو الذى يكون الأكثر إحتمالا لأن يبقى حيا ويخلف ذرية عما يحتمل بالنسبة لواحد آخر هو أسوأ تكيفا.

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

على أن أى تغيرات متتالية تجعل الحيوان أو النبات أكثر تلاؤما مع بيئته ستؤدى فى النهاية إلى إنتاج عشيرة من نوع مختلف تماما بحيث أن أفراد هذه العشيرة لن يتمكنوا بعدها من الإخصاب ـ المخلط مع أفراد العشيرة الأصلية. ويحاج داروين بأن هذه هى الطريقة التى تنشأ بها الأنواع الجديدة. وفى نفس الوقت، كان داروين يعتقد أن هناك إعتراضا 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 تخفيفا 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 أيضا ما يدعمها من براهين لها اعتبارها. فعندما تنجب أم طويلة وأب قصير طفلا متوسط الطول فإن فى هذا ما يعد أفضل شرح لإمتزاج المادة الوراثية معا، 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 أصلا 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 بالمرة.

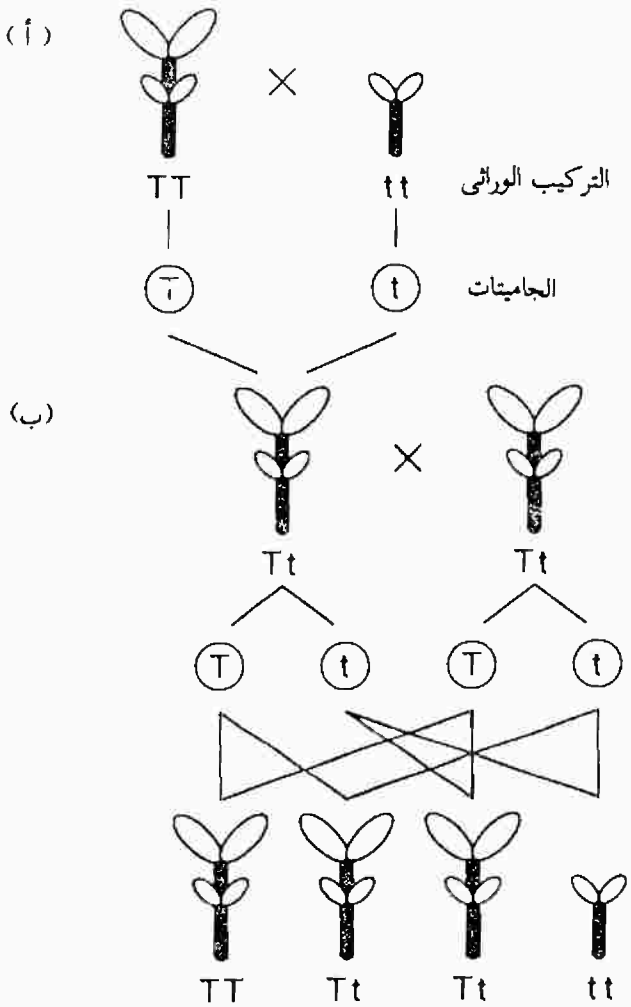
الجين ـ كفكرة ملموسة:

فى حوالى نفس الوقت الذى كان فيه كتاب داروين «أصل الأنواع» يثوّر 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 التى 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 البيولوجى الدنمركى ويلهلم جوهانسن هذا المصطلح.

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

وبتكرار هذه التهجينات مئات المرات، هى وتهجينات أخرى بين نباتات لها أزواج من الصفات الأخرى، رأى مندل أن النسب فى 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 متنحيا. أما إذا كان الجينان معا متنحيين فإنه يتم بدلا من ذلك التعبير عن هذه الصفة المتنحية (القصر فى البسلة).



شكل (١، ٢)

(أ) تهجين مندلى يبين السيادة.

(ب) تهجين يبين عودة ظهور جين القصر المتنحى فى الجيل الثانى.

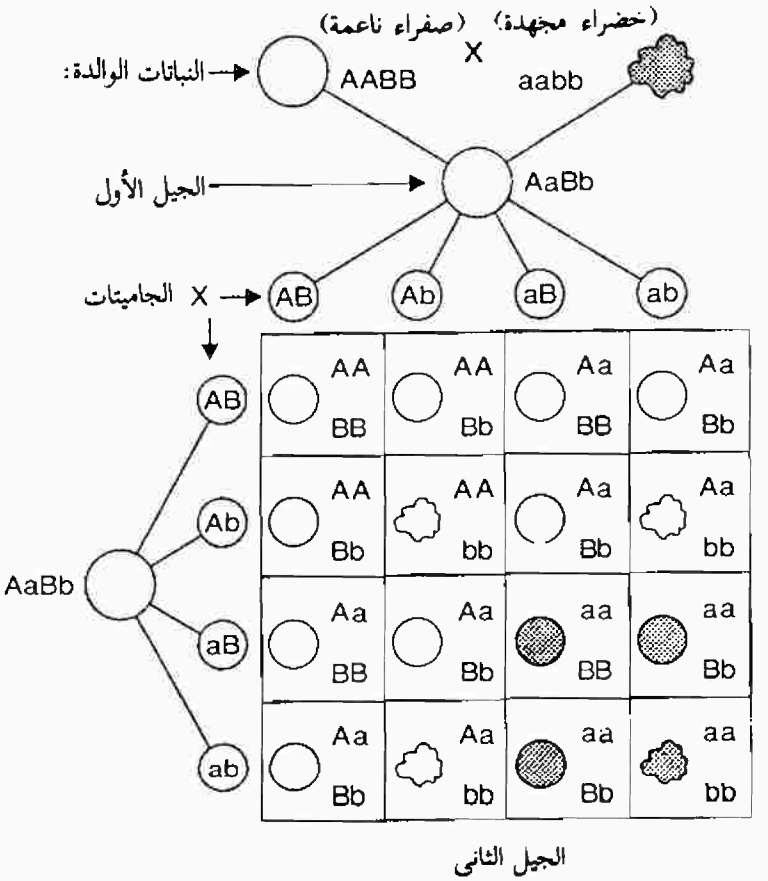
ملحوظة: فى (أ) كل الذرية طويلة. وفى (ب) نسبة أنواع المظهر هى ثلاثة نباتات طويلة لنبات واحد قصير ونسبة أنواع التركيب الوراثى هى ١ : ٢ : ١

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

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

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

فقد قام مندل فى سلسلة من التجارب بتهجين نوع من البسلة بذورها صفراء وناعمة مع نوع آخر بذوره خضراء ومجعدة. ونتجت 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 التى فى الزوجين (الأخضر ـ الأصفر والناعمة ـ المجعدة) تنفصل مستقلة إحداها عن الأخرى وتكون صفة الصفار وصفة النعومة هما السائدتين (انظر شكل ٢ ، ٢).



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

ملحوظة: نسبة الذرية فى الجيل الثانى هى: ٩ صفراء ناعمة: ٣ صفراء مجعدة: ٣ خضراء ناعمة: ١ خضراء مجعدة.

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

برهن على ذلك لأول مرة عالم الرياضة الإنجليزى 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 تغايرا 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 الوراثية البسيطة نسبياً. والأول، هو أن الجينات المسئولة 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 الورائى فى عضلات العين، وهو مرض يسبب العمى. وثانيا 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 ظاهة 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 ـ ويلى يكون الحذف فى الكرومزوم 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 يؤدى إلى زيادة احتمال نشأة أنواع معينة من السرطان فى 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 إختلافات بين كروموزومات والديها. والهجن الناجمة عن الخلط الوراثى هكذا، تتمايز تماما عن «الكيميرات» (*) التى يحدث فيها أن تختلط معاً خلايا من كائنات متمايزة. ومع أن الكيميرات قد تتواجد طبيعيا، إلا أنه يمكن أيضا إنتاجها من خلال تحويرات إصطناعية، كما فى كيميرات الخراف ـ المعيز.

الكروموزومات ـ حاملات الجينات:

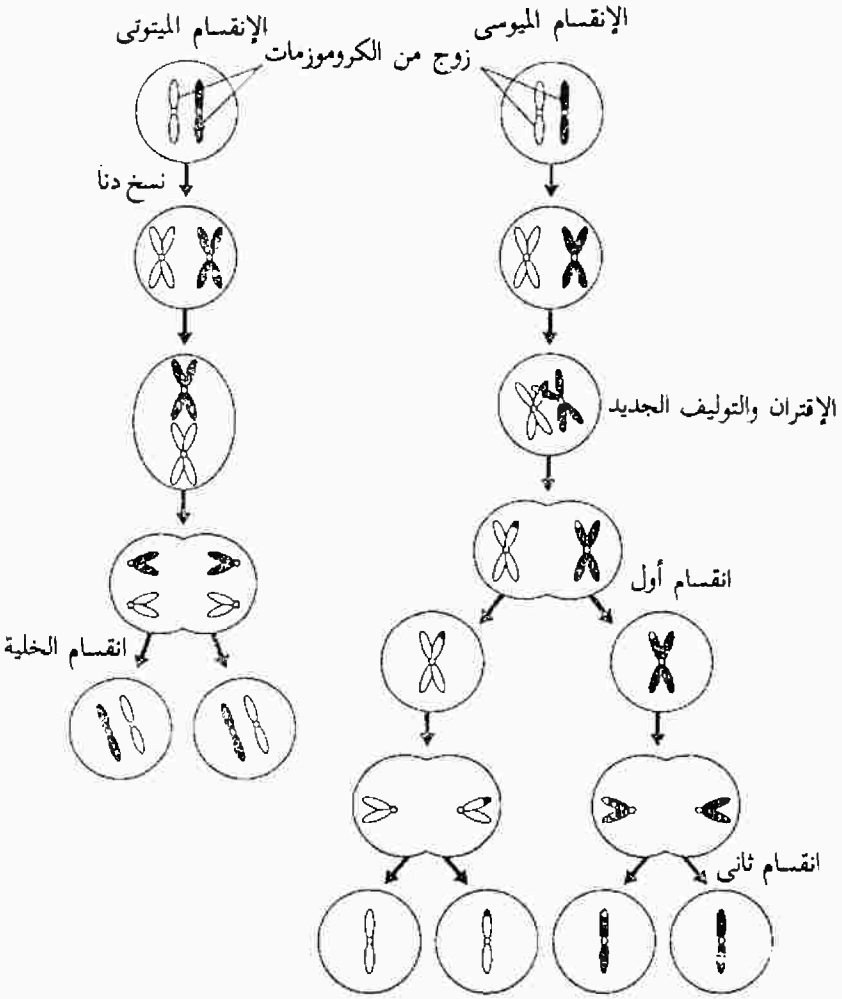
الجينات فى خلايا الحيوان أو النبات تقع فى تكوينات يمكن رؤيتها تحت الميكروسكوب الضوئى، تسمى بالكروموزومات، وأفراد البشر لديهم ثلاثة وعشرين زوجا من الكروموزومات. وكقاعدة يوجد فى كل خلية مجموعة كاملة من أزواج الجينات محمولة على مجموعة كاملة من أزواج من الكروموزومات. وهناك إستثناءات هينة قليلة لهذا، كما فى خلايا الدم الحمراء البشرية التى لا تحوى أى نوى أو جينات. وثمة إستثناء رئيسى واحد ـ 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. وتتكون

(*) الكيميرا أصلا 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 يأتى من أحد الوالدين، ويأتى الجين الآخر من الوالد الآخر.

«والانقسام الميوسى» (أو المنصّف) هو اسم العملية التى تحدث أثناء نشوء الخلايا الجرثومية فى الأعضاء التناسلية، وفيها ينصّف عدد الكروموزومات التى فى المجموعة الكاملة (المجموعة الثنائية) لتصبح مجموعة من نصف العدد (مجموعة أحادية). «والإنقسام الميتوتى» (أو الفتيلى) 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 الإحتفاظ 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 أُلليلات Alleles. والأُلليلات عند أفراد البشر تشمل مثلا الجينات المسئولة 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 الأُلليلات، إلا أن الكثير من المواقع يكون لها أُلليلات 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 أُلليلان مختلفان عند موضع معين يوصف بأنه «مخلط» (أو مخلط اللاقحة). وهذا التمييز له دلالات طبية مهمة ـ 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 أُلليله السوى، فإنهم يصنعون النوع السوى من الهيموجلوبين فلا تظهر عليهم أنيميا الخلية المنجلية، وإن كان



شكل (٣، ٢) 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 أليل الخلية المنجلية قد أُبقى عليه فى 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 ـ بمعنى أنه حيثما توجد الملاريا، فإن حاملى هذا الجين يكونون أفضل صحة عمن يكونون من الأصلاء «الأسوياء».

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

وفى 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 (التى 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 مثلا من تضخم العضلة العضدية ذات الرأسين عند الحدادين. وحسب هذه النظرية فإن الزرافة قد طورت رقبة أطول وأطول بأن ظلت تشرأب باستمرار حتى تصل إلى الغصون العالية. ويحاج أوجست وايزمان بأن اللاماركية نظرية مستحيلة لأن خط إنتاج الخلايا الجرثومية ـ أى الخلايا التى تنتج البويضات والحيوانات المنوية ـ هو خط منفصل عن خط الخلايا الجسدية، أى خلايا الجسم الأخرى. ولازالت 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 حاليا 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 بكرومزومات الجنس. فالأنثى فى معظم الحيوانات الفقرية، وفى الكثير من اللافقريات وبعض النباتات، يكون لها كروموزومان من نوع إكس، أما الذكر فيكون له كروموزوم واحد من نوع إكس وواحد آخر من نوع واى. أما فى الطيور وأبى دقيق والفراش وبعض الأسماك فيكون عند الذكر كروموزومان من إكس وعند الأنثى كروموزوم من نوع إكس وآخر من نوع واى. وهذه الكروموزومات لا تقتصر على أن تحدد الجنس فقط؛ فهى أيضا تحمل جينات لصفات وراثية أخرى. وكمثل، فإن عمى اللون الأحمر ـ الأخضر عند البشر يتحدد بجين متنح على كروموزوم إكس. وهكذا فإن الحالة أكثر شيوعا بين الرجال. ولكن النساء يحملن الجين دون أن يتأثرن بمفعوله لأنه يتوارى بفعل جين سائد يضفى 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 تهجينات لذباب فاكهة يحمل صفات كثيرة مختلفة وبيّن بعدَها أنه مصيب فى رأيه. وكانت النتيجة النهائية هى سلسلة من الخرائط تبين ترتيب الجينات فى صف على كروموزومات الدروزوفيليا.

الطفر ـ مصدر التجديد:

من الواضح أن إعادة توزيع الجينات مثلها مثل إعادة خلط مجموعة أوراق الكوتشينة، فهى تولد التجديد فى شكل توليفات جديدة. ولكن ترى ما هو مصدر تلك الجينات الأخرى التى تكون جديدة بالكامل والتى يعمل عليها الإنتخاب 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 (التى 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 دلالته. 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 المعنىّ. 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 بالمرة فى بيئة معينة. وسوف نناقش فيما بعد الأساس الجزيئى للطفر.

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

أهمية الجنس:

الطفرات فى «الخلايا الجسدية» لا تُتوارث (كما مثلا فى الطفرات المسئولة عن بقع الجلد المختلفة فى البنية واللون مما يظهر على ظهر اليد). أما الطفرات التى تحدث فى الخلايا الجرثومية فهى تمد بالمادة الخام للتطور بالإنتخاب الطبيعى. ويماثل ذلك أهمية تولد توليفات جديدة من الجينات أثناء الإتحاد الجنسى. فأولا، تقترب أزواج الكروموزومات معاً أثناء الإنقسام الميوسى. وينقسم كل كروموزوم إلى إثنين من «الكروماتيدات» ثم يتم التبادل عشوائيا ما بين مادة الكروموزومات الأبوية والأموية. وقد تحدث طفرات أثناء هذا «العبور» أو «التوليف الجديد» (بما فى ذلك أن يحدث حذف فى المادة الجينية). وثانيا، 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 الجنسى 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 أيضا فى تواز معه فرعا 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 بالتحولات الكيميائية التى تنجزها كائنات حية تعد نسبيا كائنات بسيطة (هذه الإكتشافات هى التى أخذت فى هدم فكرة «الحيوية»، وهى فكرة أن الحياة لايمكن تفسيرها على أساس الكيمياء والفيزياء وحدهما). وفى ألمانيا مثلا، اكتشف إدوارد وهانز بوخنر أن الخلاصة غير الحية للخميرة والتى 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 التخمير نفسه هو عملية معقدة. فتحويل السكر إلى كحول وثانى أكسيد الكربون يحدث فى خطى متتالية، توصف الآن بأنها أحد المسارات الأيضية. وكل خطوة فى هذا المسار يتم إحداثها بواسطة حافز طبيعى يسمى الإنزيم. وبوضع خريطة تصف الأطوار المتتابعة مع ما فيها من منتجات توسطية، أنشأ علماء الكيمياء الحيوية فى النهاية خريطة أيضية ـ أى تخطيط يمثل كل عملية التحول التى 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، يؤدى إلى تحلل مواد الطعام، وبعضها الآخر يعمل فى بناء بنية الخلية وبناء مواد أخرى، وذلك إبتداء من مواد أبسط. والعمليات الأولى، أى تحلل الطعام، ينتج عنها كل من الطاقة والمواد التى تستخدم كلبنات فى العمليات الأخيرة.

والكائنات الحية ليست كلها ذات قدرة على إنشاء كل هذه السلاسل من عمليات التحول. فخلايا الحيوان مثلا، لا تخمر السكر بالطريقة التى نراها فى الخمائر وفى ميكروبات كثيرة أخرى. فالخلايا الحيوانية تهاجم السكر من خلال مسار أيضى آخر، يختلف عن عملية التخمر فى 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 المارائون بألم وصعوبة فى الحركة، حيث يتجمع حمض اللبنيك فى عضلات سيقانهم.

ومن الواضح أن المسارات الأيضية المسئولة عن تخليق المواد الخلوية تختلف هى أيضا بإختلاف أنواع الكائنات الحية. فالإنسان وغيره من الفقريات ينتجون العظام وغيرها من مواد البنية، بينما يقوم النبات بتخليق مواد «لأعمدة فقرية» مختلفة مثل السليولوز واللجنين. وثمة مسار أيضى 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 وبالتالى إنتاج السكريات.

وهناك أربعة صنوف رئيسية من المواد العضوية فى كل الكائنات الحية ـ 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 والجليوكوجين فى الحيوانات، وهذه تتكون من أعداد كبيرة من الجزئيات السكرية مربوطة معاً. والسكريات تتحلل لتنطلق منها الطاقة، كما يعمل النشا هو والجليكوجين بمثابة مخازن للطاقة. وللمواد الكربوهيدراتية وظائف أخرى أيضا، فبعضها يعمل كمواد للبناء. والسليولوز، مادة البناء الأساسية فى النباتات وهو من السكريات التعددية، وكذلك أيضا الكيتين الذى يكوّن الغلاف الخارجى لأجسام الحشرات.

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

نوعين معينين من الدهون لهما أهمية خاصة. فالأحماض الدهنية تتكون من جزيئات أحد طرفيها لا يذوب فى الماء والطرف الآخر يذوب فى الماء. وهى أيضاً تختزن 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 أيضا هرمونات من مثل التستوستيرون، والكورتيزون، وكذلك فيتامين (د) الذى يساعد على دمج الكالسيوم فى العظام.

أما «الأحماض الأمينية» فهى لبنات بناء البروتينات. وكل البروتينات تقريبا تُصنع من مجموعة أساسية من الأحماض الأمينية عددها عشرون فحسب، والبروتينات هذه هى جزيئات كبيرة جداً ـ وتتحدد طبيعة أحد البروتينات وفعاليته حسب التتابع المعين للأحماض الأمينية فى هذا البروتين، وحسب الطريقة التى يلتف بها الجزئ 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 بنيوية مثل العضلات، والشعر، الجلد.

و «النيوكليوتيدات» هى لبنات بناء الأحماض النووية، التى تحمل الرسالات 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 جدا. وهما يعرفان بإسم الجزيئات الكبيرة (وهذا المصطلح يستخدم أيضا لوصف معظم السكريات التعددية، التى يتم بناؤها بإستخدام لبنات كثيرة أصغر حجما ولكنها لا تنقل أى معلومات وراثية).

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

الخلايا ـ مصانع الحياة:

الوحدات الأساسية لكل الأشياء الحية هى الخلايا، وهى تختلف فى الحجم إختلافا له قدره. فقطر خلية البكتريا هو ١ ـ ٢ ميكرومتر (١ ـ 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 يتماثل إلى حد ملحوظ، فهى ذات غشاء رفيع مرن (يدعمه فى النباتات والميكروبات جدار خارجى صلب للخلية) والغشاء يحوى من داخله بنبات أخرى تتخلل السيتوبلازم الذى تجرى فيه أيضا 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 أيضا 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. وكثيرا ما تحمل البلازميدات جينات ليست ضرورية للحياة ضرورة 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 ـ كالملخ مثلا فى الحيوانات، والأوراق الخضراء فى

النباتات الزهرية. والخلايا ذات النواة الحقيقية لها نواة يحيط بها غشاء مثلها فى ذلك مثل الخلية نفسها. وكذلك أيضا العضيات Organelles التى يؤدى وجودها إلى ضمان أن تحدث تفاعلات بيوكيميائية تخصصية فى مواضع مختلفة بالخلية. والكلوروبلاستات هى عضيات يحدث فيها التمثيل الضوئى فى الخلايا النباتية. والميتوكوندريا هى عضيات موجودة فى كل ذوات الخلية الحقيقية، وهى ناسخة لذاتها، وتتولد فيها الطاقة اللازمة للإقتصاد الخلوى. والميتوكوندريا والكلوروبلاستات كلاهما يحوى حمض دنا الخاص بكل، وهو يحمل بعض المعلومات اللازمة لوظائفهما التخصصية. أما الريبوزومات فهى مواضع يتم فيها تخليق البروتينات فى كل من ذوات النواة الحقيقية والبدائية.

كيف تحدد الجينات كيمياء الحياة:

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

(*) albinism فقدان اللون فى البشرة والشعر والحدقة بسبب عيب وراثى يؤدى إلى غياب الصبغة الملونة، ويسمى المريض عند العامة «عدو الشمس». (المترجم).

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

وحالياً، فإن أحد أشهر الأمثلة للحالات التى تتحدد وراثيا هو حالة تبول الكيتون الفينولى، وهى حالة يتوقف فيها تحويل أحد الأحماض الأمينية وهو حامض الألانين الفينولى إلى التيروزين، وبدلا من ذلك فإنه يتكدس فى الدم. وما لم يمنع تبول الكيتون الفينولى بإستخدام غذاء خال من الألانين الفينولى، فإن الحامض الأمينى يتكدس فى الجسم ويؤثر فى المخ تأثيراً ضاراً مسببا تخلفا عقليا.

ولم يكن هناك إلا القليل من البراهين الوراثية القوية لدعم أفكار جارود، تلك الأفكار التى كانت تسبق عصرها بزمن كبير. على أنه قد ثبت أنها أساساً صحيحة. وفى أثناء الثلاثينيات ثبت بوضوح على يد عالم الوراثة الأمريكى جورج بيدل وعالم الكيمياء الحيوية الأمريكى 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 بزيرات 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) بدلا من (ب ١). ويدل هذا على أن الإشعاع قد سبب على نحو ما القضاء على جينين مختلفين فى هذين الميكروبين، وبالتالى 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 إثنين) يحدد تركيب بروتين واحد معين. وهذا هو المفتاح للعلاقة بين الوراثة والكيمياء الحيوية

فى الحيوانات والنباتات والميكروبات. وتصدق 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.