الفصل السادس

الوراثة Inheritance

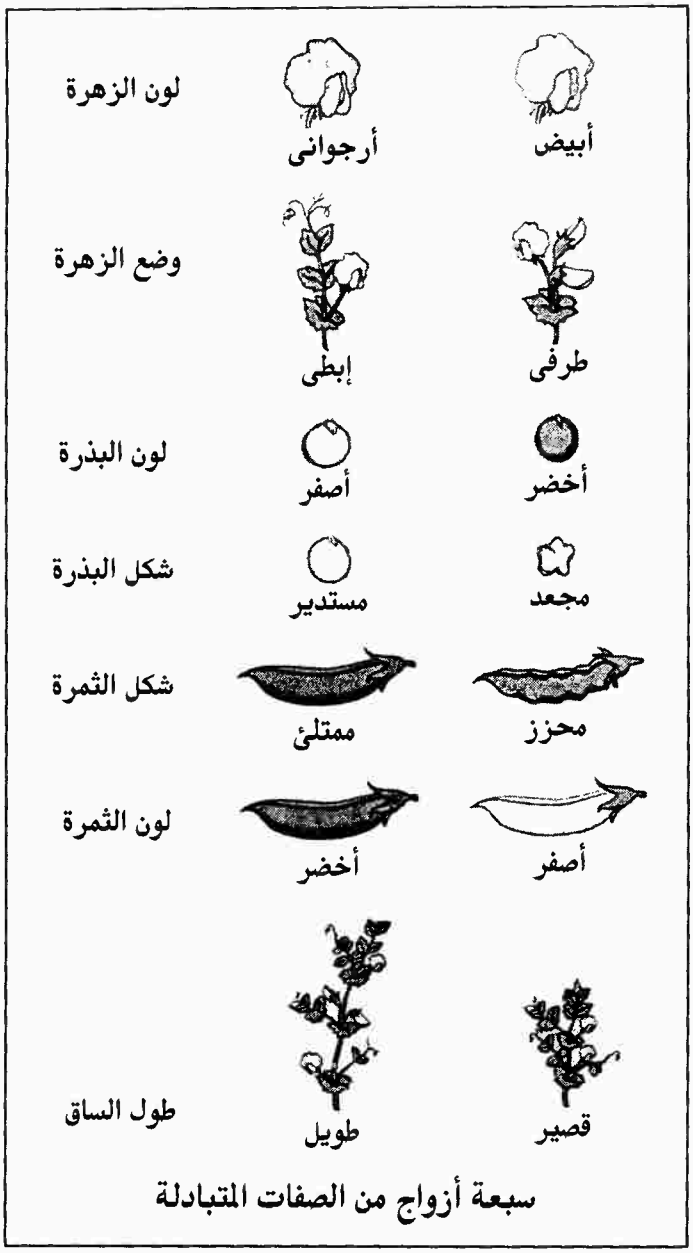
- مندل والوراثة .
- الصفات المندلية فى الإنسان .
- تطور مفهوم الجين .
- الارتباط التام والارتباط غير التام .
- تداخل عمل الجينات .
- تعدد البدائل .
- الوراثة والجنس .
- الوراثة والبيئة .
- تطبيقات علم الوراثة .

مندل والوراثة

تحكم مادة الوراثة صفات النوع ، فالفئران تلد فئرانًا ، وأشجار البرتقال تنتج برتقالاً والصفات النوعية يتوارثها جميع أفراد النوع وهى التى تجعلنا نجزم أن هذا قط وهذه بقرة وتلك تفاحة ، وكل جيل يسلم الجيل الذى يليه الصفات التى تميز نوعه ، وتلك التى تميز كل فرد من أفراد الأسرة ترجع إلى تداخل العوامل الوراثية فتلك الصفة تظهر والأخرى تختفى وتلك الصفة مزيج بين صفتين وهذه الصفة من الأب وتلك من الأم أما هذه الصفة فهى صفة جديدة ليست فى الأب أو فى الأم لعلها فى أحد الجدود أو لعلها فريدة من نوعها . ويحكم هذا التباين قواعد وراثية مختلفة ، وبدأت دراسة هذه القواعد من النتائج التى حصل عليها **جريجور مندل (١٨٢٢ / ١٨٨٤)** أول من صاغ المبادئ الرئيسية لعلم الوراثة ، وقد عاش مندل مع رهبان دير أوجستين بالنمسا وفحص سلالة عدة أسلاف من النباتات بعناية فائقة واستنتج القوانين التى تحكم نقل الصفات من الآباء إلى الأبناء وأهملت هذه الاكتشافات ولم تعرف قيمتها إلا فى عام ١٩٠٠ بعد وفاته بستة عشر عامًا ، وكانت تجارب مندل على نبات البازلاء التى كانت تتميز بسبعة أزواج من الصفات المتبادلة واضحة تمامًا وهى :

جريجور مندل

- **لون الزهرة (أبيض وأرجوانى) .**
- **وضع الزهرة (طرفى أو إبطى) .**
- **لون البذرة (أخضر أو أصفر) .**
- **شكل البذرة (مجعد أو مستدير) .**
- **شكل الثمرة (محزز أو ممتلئ) .**
- **لون الثمرة (أصفر أو أخضر) .**
- **طول الساق (قصير أو طويل) .**

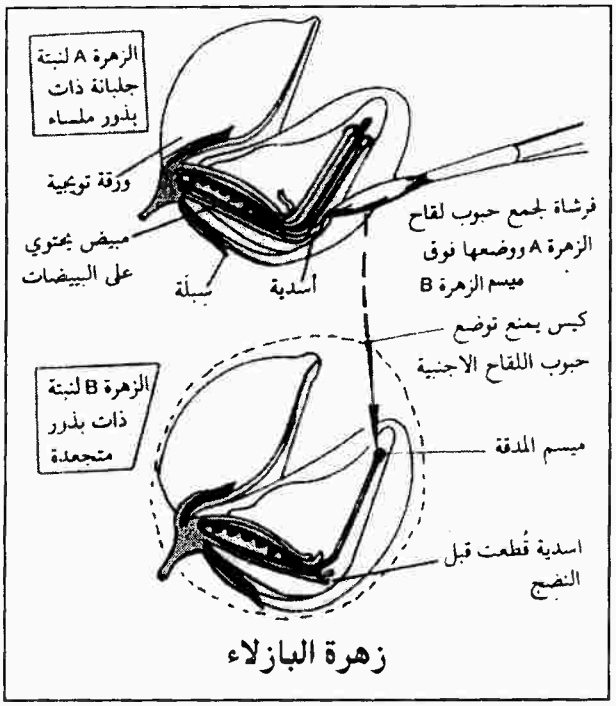


سبعة أزواج من الصفات المتبادلة

وأجرى مندل تجاربه وقدر له النجاح لأن نبات البازلاء الذى اختاره مصادفة يحمل من الصفات ما يساعد على التجريب ، فأزهاره خنثى يسهل بها التلقيح الذاتى أو التلقيح الخلطى ، ويحمل النبات سبعة أزواج من الصفات المتبادلة (كل صفة لها صفة بديلة واحدة) كما أن النبات يزهر ويثمر خلال فترة زمنية قصيرة مما يسمح بتكرار التجارب ثلاث مرات فى السنة وعلى سبعة أزواج من الصفات .

* زهرة البازلاء

زهـرة خنثـى بـها أعضـاء التذكـيز (الأسـدية) وأعضـاء التأنيث (الكرابل) ويمكن إجراء التلقيح الذاتى بـها عـن طريـق تغطية الأزهـار بأكياس ورقيـة شفافـة قبـل النضـج الجنسـى ويمكـن كذلـك إجـراء التلقيـح الخلطى عن طريق نزع الأسدية من الزهرة قبل النضـج فتصبح مؤنثة ثم يتم نقل حبوب اللقاح إليها من زهرة أخرى .



زهرة البازلاء

وقد أجرى مندل تجاربه بإجراء تلقيح خلطى بين نباتين اعتبرهما آباء وكل منهما يحمل صفة متبادلة مع الأخرى والصفات نقية ، وكان يتأكد من ذلـك بتكـرار تلقيـح النبات ذاتيًا ودراسة نسله فيجده كله يحمل نفس الصفة .

وعندما حصل مندل على نتـائج الجيـل الأول لاحـظ أنـه يحمـل إحـدى الصفتـين واختفت الصفة الأخرى ، وتكرر معه ذلك لكل زوج من الصفات المتبادلة فاسـتنتج أن هناك صفات سائدة وأخرى متنحية .

وعندما أجرى تلقيحًا ذاتيًا لنباتـات الجيـل الأول التـى تحمـل الصفـات السـائدة حصل على الجيل الثانى ، ولاحظ أن ٧٥ ٪ من أفراده يحملون الصفة السائدة بينمـا عادت الصفة المتنحية للظهور فى ٢٥ ٪ من أفـراد الجيـل الثـانى . وبتكـرار تجاربـه صنف أزواج الصفات المتبادلة إلى صفات سائدة وصفات متنحيـة وكـان يحصـل علـى نفس النتائج دائمًا ، وانتهى إلى أنه عند إجراء تلقيح خلطى بين آباء نقيـة تحمـل زوجًـا من الصفات الوراثية المتبادلة فإن أفراد الجيل الأول يحملون إحدى الصفتين وهى السائدة وتختفى الصفة الأخرى المتنحية ، وأن إجراء التلقيح الذاتى لأفراد الجيل الأول ينتج الجيل الثانى و ٧٥ ٪ منه يحملون الصفة السائدة و ٢٥ ٪ يحملون الصفة المتنحية .

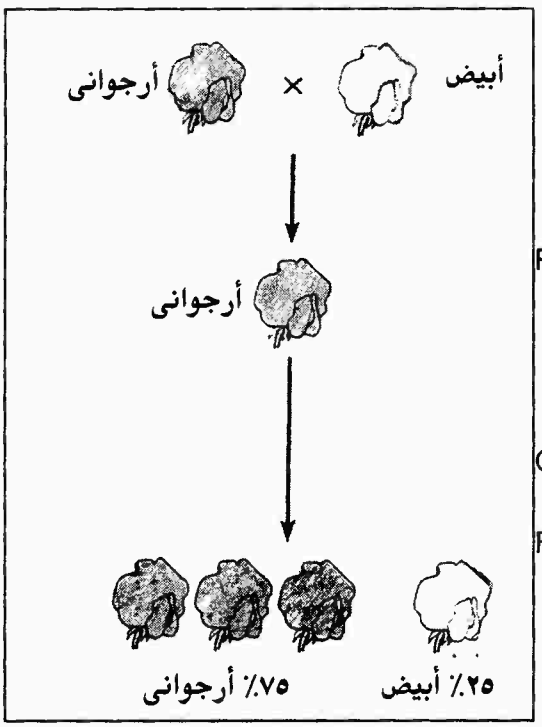
* تفسير مندل

افترض مندل لتفسير هذه النتائج أن الصفة الوراثية يمثلها عامل وراثى وأن الصفة فى خلية الفرد تمثل بزوج من العوامل وعندما ينتج الفرد الأمشاج فإن العوامل تنعزل ويصبح فى كل مشيج عامل واحد فقط وأن التقاء المشيج المذكر مع المشيج المؤنث لتكوين زيجوت يعيد التركيب المزدوج للعوامل ويصبح الفرد به عاملان مختلفان (هجين) ويسود أحدهما على الآخر الذى يتنحى ويظهر الفرد حاملا للصفة السائدة وعندما يكون الفرد (الهجين) الأمشاج تنعزل العوامل وتصبح أمشاجه من نوعين بعضها يحمل العامل السائد والبعض الآخر يحمل العامل المتنحى وعندما تلتقى الأمشاج لتكوين أفراد الجيل الثانى تلتقى العوامل المتنحية مع بعضها فى ٢٥ ٪ من النسل مما يسمح بظهور الصفة المتنحية التى اختفت فى الجيل الأول .

وسجل مندل قانونه الأول وهو : **(كل صفة وراثية تمثل بزوج من العوامل الوراثية التى تنعزل عند تكوين الأمشاج ويصبح المشيج به عامل وراثى واحد للصفة) .**

بفرض R عامل وراثة اللون الأرجوانى السائد ، r عامل وراثة اللون الأبيض المتنحى .

(التحليل الوراثى لوراثة لون الزهرة حسب قانون مندل) .



أبيض خلطى أرجوانى

P. rr x RR

G. (r) (R)

F_1 Rr ارجوانى

أرجوانى ذاتى أرجوانى

Rr x Rr

G. r R r R

F_2 rr Rr Rr RR

أبيض أرجوانى أرجوانى أرجوانى

أوضحت هذه التجارب أن النباتات بيضاء الزهرة نباتات نقية لأنها تعطى بالتلقيح الذاتى نباتات بيضاء دائمًا بينما النباتات حمراء الزهرة قد تكون نقية أو تكون هجينة (تعطى بالتلقيح الذاتى نباتات حمراء وأخرى بيضاء) .

ومن التجارب المختلفة توصل مندل إلى سيادة الطول على قصر الساق ولون البذرة الأصفر على الأخضر وشكل البذرة المستدير على المجعد . . . ألخ .

وكانت الخطوة التالية من مندل أنه أجرى تلقيحًا بين نباتات مختلفة فى صفتين حيث لقح نباتات طويلة الساق ذات بذور صفراء الفلقات ورمز لعوامل الوراثة فى هذا النبات بالرمز AABB (يسمى هذا الرمز بالطرز الجينى للنبات) .

وكان التلقيح خلطيًا مع نبات آخر قصير الساق أخضر الفلقات وطرزه الجينى aabb وكانت النتيجة أن الجيل الأول كله نباتات طويلة الساق ذات بذور صفراء .

P: طويل أصفر AABB قصير أخضر aabb

G: AB ab

AaBb

طويل أصفر

وعندما أجرى تلقيحًا ذاتيًا للنباتات الهجينة من الجيل الأول (طويلة صفراء) حصل فى الجيل الثانى على نباتات ذات أربعة طرز مظهرية بنسبة ٩ : ٣ : ٣ : ١ .

- ٩ طويلة صفراء .
- ٣ طويلة خضراء .
- ٣ قصيرة صفراء .
- ١ قصيرة خضراء .

وعندما أجرى دراسة إحصائية لوراثة كل صفة على حدة كانت صفة الطول تورث بنسبة ٧٥ ٪ وصفة القصر ٢٥ ٪ أى بنسبة مندلية ٣ : ١ وكذلك صفة اللون الأصفر تورث بنسبة ٧٥ ٪ وصفة اللون الأخضر ٢٥ ٪ أى بنسبة مندلية ٢ : ١ .

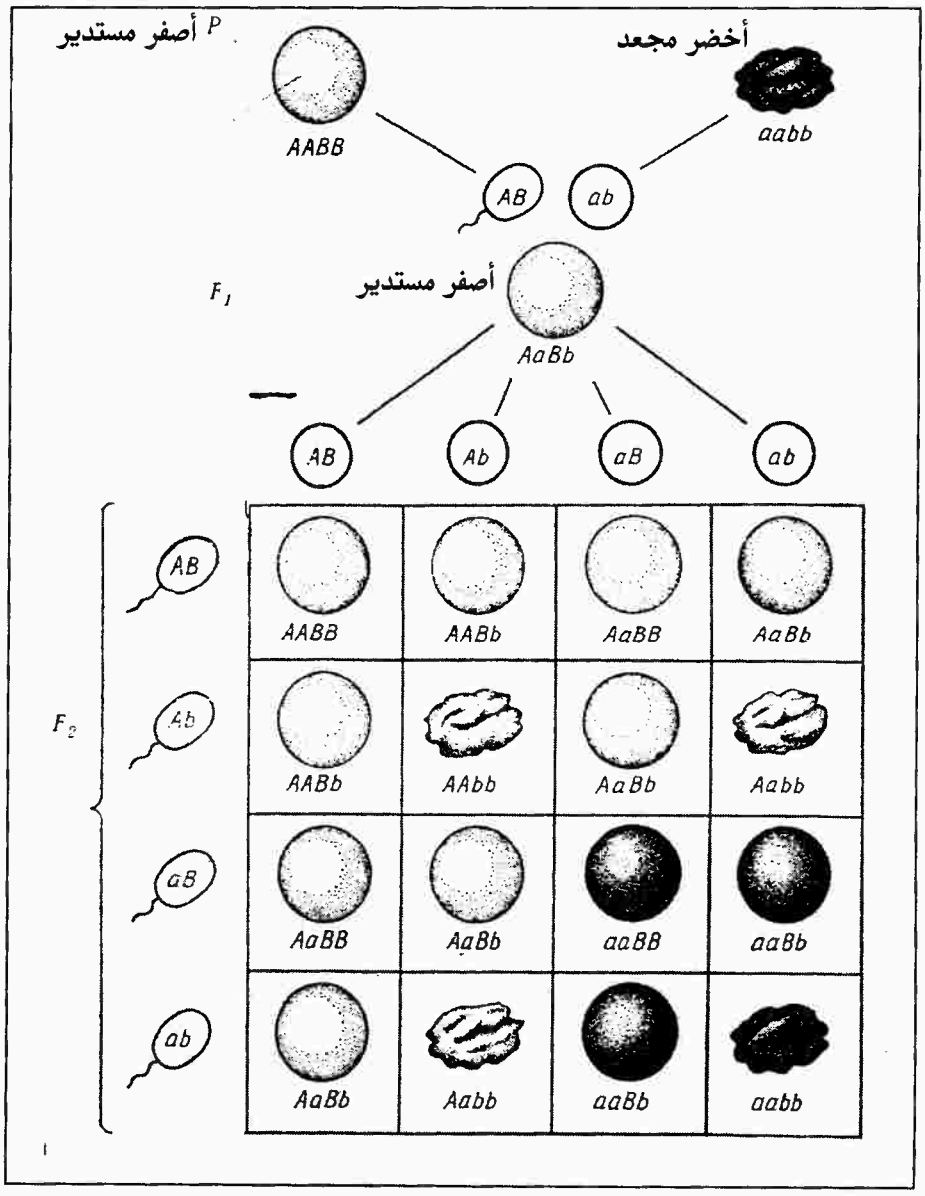
فاستنتج من ذلك قانونه الثانى (قانون التوزيع الحر) والذى أوضح فيه أن :

(كل صفة من أزواج الصفات المتبادلة تورث مستقلة عما عداها من زواج الصفات الآخرى) .

وتكررت تلك النتائج فـى تجـارب منـدل ، وسـنتناول بـالتحليل الوراثـى إحـدى تجارب مندل والتـى تم فيـها تـهجين آبـاء نقيـة أحدهمـا ذو بـذور صفـراء مسـتديرة (يحمل صفات سائدة) والآخر ذو بذور خضراء مجعدة .

ـ بفرض A عامل اللون الأصفر . ـ a عامل اللون الأخضر .

ـ B عامل الاستدارة . ـ b عامل التجعد .



يستخدم فى فروض التحليل الوراثى الحرف الأول من الكلمة باللاتينية مثلا الطول T فى حالة السيادة و t القصر ومثلا اللون الأحمر R والأبيض r ـ ولكن استخدمنا حروف A ، B للتسهيل وهو ما تتبعه كثير من المراجع .

* **الجيل الأول** : ١٠٠ ٪ أصفر مستدير .

* **الجيل الثانى** : $\frac{٩}{١٦}$ أصفر مستدير ـ $\frac{٣}{١٦}$ أخضر مستدير .

$\frac{٣}{١٦}$ اصفر مجعد ـ $\frac{١}{١٦}$ أخضر مجعد .

وقد أثبتت الدراسات العلمية صحة ما توصل إليه مندل ، وأن العامل الوراثى ما هو إلا (الجين) الذى يحتل موضعًا معينًا على الكروموسوم ، وأن الصفة الوراثية تمثل بزوج من الجينات على زوج متماثل من الكروموسومات ، وأن الجينان متماثلان فى الفرد النقى ومتباينان فى الفرد الهجين ، وأن هذا النمط الوراثى يعرف بوراثة السيادة التامة وأن هناك كثيرًا من الحالات الوراثية التى تتم وفق هذا النمط سواء فى النبات أو الحيوان أو الإنسان .

والمثال التالى يوضح وراثة لون وطول أو قصر الشعر فى خنازير غينيا Guinea pig وهى من حيوانات التجارب ، وعندما تم تهجين حيوان أسود قصير الشعر مع بنى طويل الشعر كان الجيل الأول كله أسود قصير الشعر وعند تهجين أفراد من الجيل الأول ظهرت أفراد الجيل الثانى بنسبة :

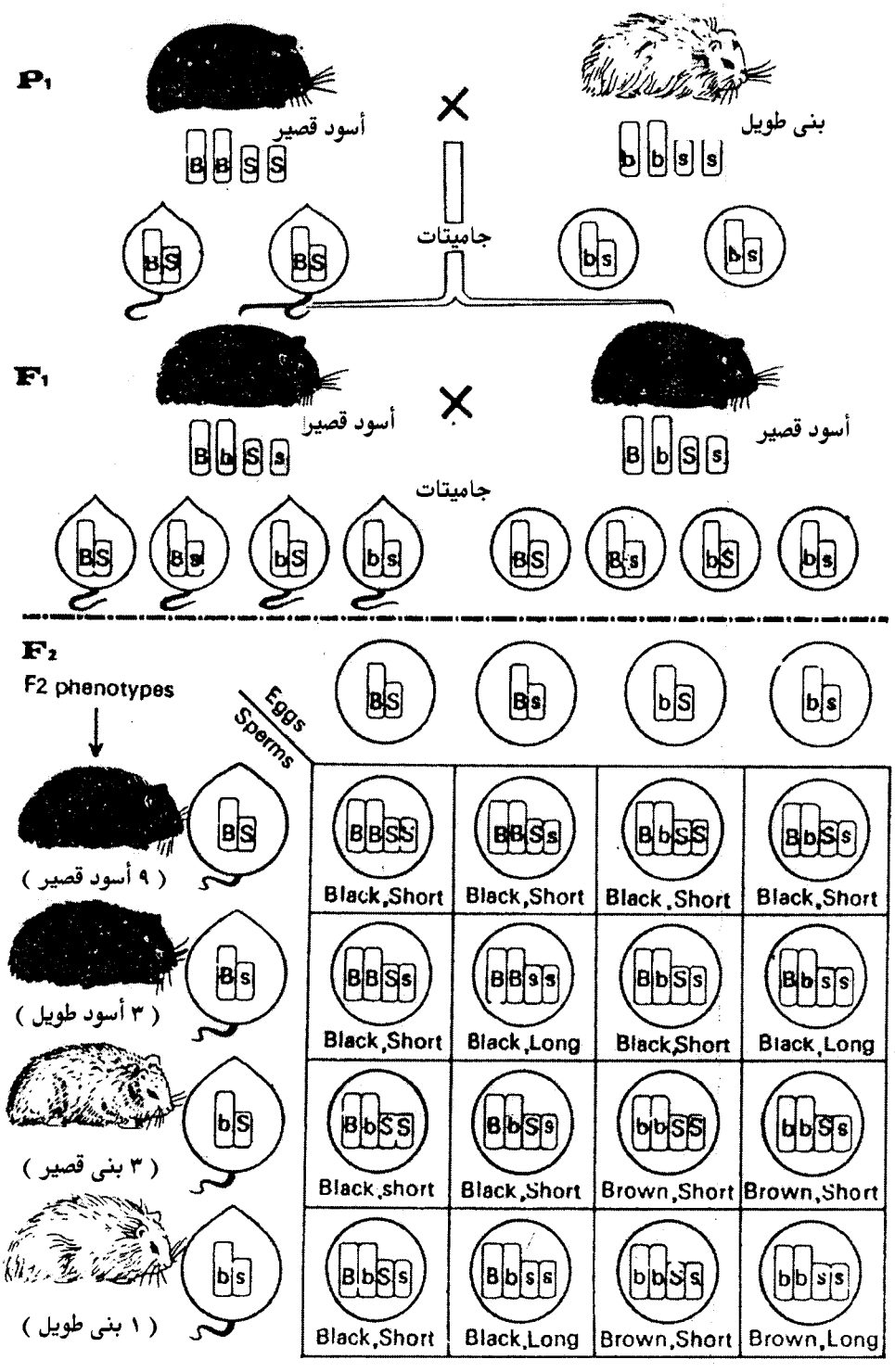
٩ أسود قصير الشعر .

٣ أسود طويل الشعر .

٣ بنى قصير الشعر .

١ بنى طويل الشعر .

والتحليل الوراثى التالى يوضح ذلك :


P1
أسود قصير
بنى طويل
جاميتات
F1
أسود قصير
أسود قصير
جاميتات
F2
F2 phenotypes
Eggs
Sperms
(٩ أسود قصير)
(٣ أسود طويل)
(٣ بنى قصير)
(١ بنى طويل)
Black,Short
Black,Short
Black,Short
Black,Short
Black,Short
Black,Long
Black,Short
Black,Long
Black,short
Black,Short
Brown,Short
Brown,Short
Black,Short
Black,Long
Brown,Short
Brown,Long

الصفات المندلية فى الإنسان

يتفق نمط توراث بعض الصفات فى الإنسان مع القواعد المندليـة للسـيادة والتنحـى ، بمعنى أن تكون إحدى الصفتين سائدة على الصفة المقابلة الأخرى ، والتزاوج بين صفتين سائدتين غير نقيتين يتوقع أن تنتج عنه النسبة ٧٥ ٪ سائد : ٢٥ ٪ متنحى .

*** أمثلة لـهذه الصفات :**

- **لون العين** (البنى أو العسلى سائد على الأزرق) .
- **لون الشعر** (الداكن سائد على الأحمر) .
- **شكل الشعر** (الخشن سائد على الناعم) .
- **الأنف** (مدببة الطرف سائدة على المفلطحة) .
- **الجلد** (الجلد العادى سائد على عدو الشمس أو الألبينو) .
- **اللسان** (اللسان الملتف سائد على اللسان المفلطح) .
- **الأيدى والأقدام** (أصابع الأيدى والأقدام فائقة الطول سائدة على الطبيعية) .
- **قصر السلاميات** (فى أصابع الأيدى والأقدام سائد على الحالة العادية) .
- **الأصبع الزائد فى الأيدى والأقدام** (سائد على العدد العادى خمسة أصابع) .

بعض الصفات السائدة والمتنحية فى الإنسان :

شعر مسترسل

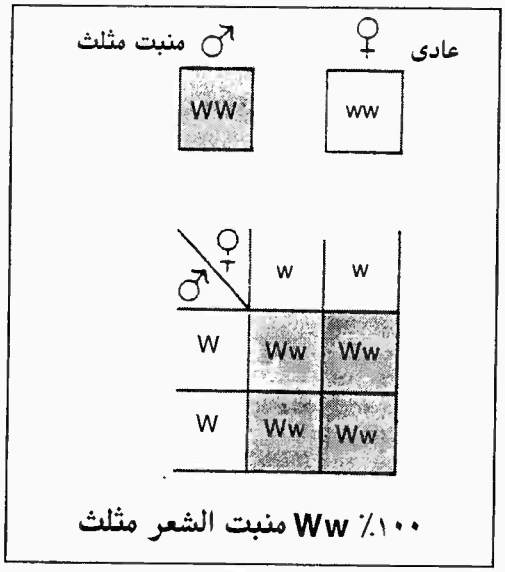
شعر متموج

منبت الرأس المثلث صفة سائدة W

غياب المنبت المثلث للرأس صفة متنحية w

وجود شعر الأصابع

غياب شعر الأصابع



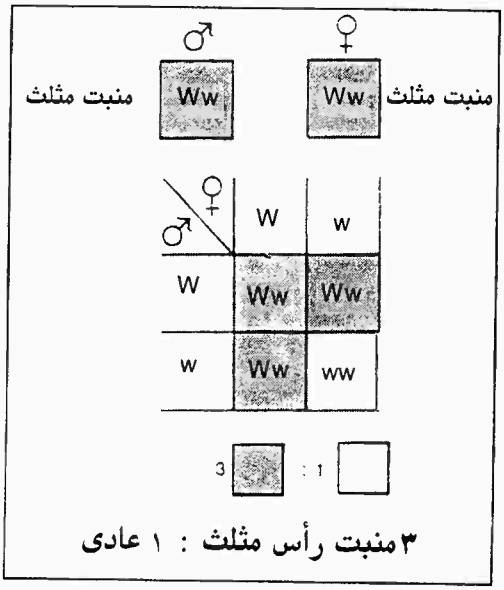
١٠٠٪ Ww منبت الشعر مثلث

وجود غمازة الخد

غياب غمازة الخد

شحمة أذن منفصلة

شحمة أذن ملتحمة



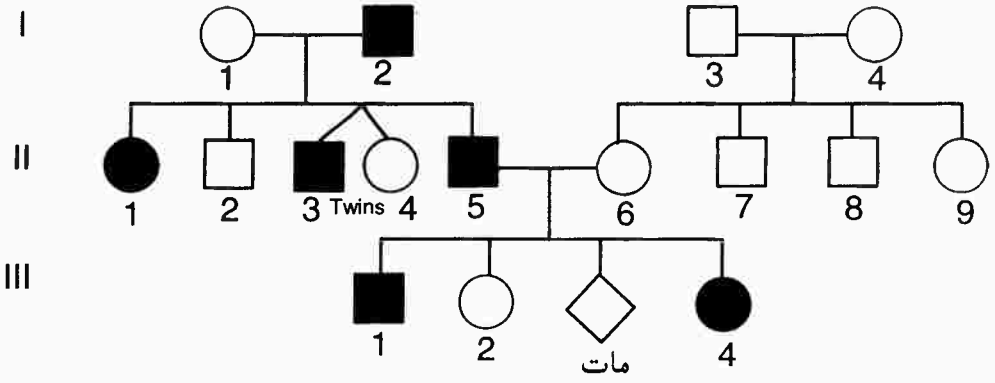
٣ منبت رأس مثلث : ١ عادى

دراسة الوراثة فى الإنسان

تتم عن طريق تتبع الصفات الوراثية فيما يعرف **بسجل العائلة Family Pedigree** .

وهو طريقة من أهم الطرق المستحدثة فى دراسة صفات الإنسان ، وتمكن هذه الطريقة من متابعة انتقال الصفات الوراثية من الأجداد لتبين مدى احتمال ظهورها فى الأجيال وكذلك التعرف على ما إذا كانت الصفة ناتجة عن جين سائد أو متنح ، بالإضافة إلى تحديد التراكيب الوراثية لأفراد العائلة .

وتشتمل هذه الطريقة على شكل توضيحى تمثل فيه الذكور بالمربعات والإناث بالدوائر ، ويمثل الزواج بخط أفقى متصل ، وتمثل الأطفال بخطوط رأسية ممتدة إلى أسفل من خط الزواج الأفقى ، ويعطى كل جيل فى العائلة رقمًا رومانيًا بينما تعطى الأفراد أرقامًا عربية ، وتظلل أو تلون الأفراد الذين توجد بهم هذه الصفة . ويوضح الشكل التالى سجلاً بعائلة يبين انتقال إحدى الصفات الوراثية فى أفراد هذه العائلة .



*** تحليل سجل هذه العائلة :**

يوضح هذا السجل ثلاثة أجيال متعاقبة :

I : الجد والجدة (1 , 2) فى العائلة الأولى والجد والجدة (3 , 4) فى العائلة الثانية .

II : الأطفال (1 , 2 , 3 , 4) للعائلة الأولى ، منهم ولد (3) وبنت (4) توأم ، بالإضافة إلى بنت (1) وولدين آخرين (2 , 5) . أما أبناء العائلة الأخرى منهم أرقام (6 , 7 , 8 , 9) ، منهم ولدان (7 , 8) وبنتان (6 , 9) . كما أن هذا الجيل يبين حالة زواج بين أحد أبناء الأسرة الأولى (5) وإحدى بنات الأسرة الثانية (6) .

III : الجيل الثالث ويمثل أحفاد وحفيدات هذه العائلة وهم عبارة عن ولد (1) وبنتين (2 , 3) بالإضافة إلى طفل صغير مات أثناء الحمل .

وبالنسبة للصفة المعينة ، فإن السجل يوضح ظهورها فى الجد (2) فى العائلة الأولى وفى إحدى بناته (1) واثنين من أولاده (3 , 5) ، وكذلك ظهرت هذه الصفة فى ولد (1) وبنت (3) من أحفاده .

والسؤال الأن : هل الصفة سائدة أو متنحية ؟

لنفترض أولاً أن الصفة المظللة سائدة ويرمز لها بالحرف (A) ، وفى هذه الحالة تكون الصفة المقابلة (غير المظللة) هى المتنحية ويرمز لها بالحرف (a) . وليفترض أن هذه الصفة توجد فى الجد رقم (2) بصورة نقية متماثلة العوامل (AA) ، وفى هذه الحالة يتوقع أن يكون الطرز الوراثى لجميع الأبناء (5-1) هو ناتج AA x aa ، أى Aa ، ومعنى هذا وجود هذه الصفة فى جميع هؤلاء البنين ، وهذا ما لم يحدث فى هؤلاء الأبناء ، ولذلك يستبعد هذا الافتراض . ويكون الافتراض التالى أن الصفة فى الجد (2) موجودة بصورة هجين أو خليط غير متماثلة العوامل (Aa) . ويبدو أن ذلك هو الافتراض الصحيح ، وعلى ذلك يمكن تمثيل هذه الحالة بالصورة الآتية :

الجيل	الأفراد	الطرز (التركيب الوراثى)
I	1	aa
	2	Aa
	3	aa
	4	aa
II	1	Aa
	2	aa
	3	Aa
	4	aa
	5	Aa
	6	aa
	7	aa
	8	aa
	9	aa
III	1	Aa
	2	aa
	3	Aa

تطور مفهوم الجين

استنادًا إلى دراسة سلوك الكروموسومات أثناء الانقسام الميتوزى والانقسام الميوزى وإلى الشبه القائم بين سلوك العوامل الوراثية عند مندل وسلوك الكروسومات قام كل من العالمين ساتون وبوفرى (١٩١٧) بوضع الفرضية القائلة بأن عوامل الوراثة موجودة على الكروموسومات فى أنوية الخلايا وأن الصفة الوراثية التى يمثلها زوج من الجينات يحملان على زوج متماثل من الكروموسومات وأن انفصال الكروموسومات عند الانقسام الميوزى ما هو إلا انعزال للجينات بحيث يصبح فى كل جاميتة جين واحد فقط من كل زوج من الجينات وفى عام (١٩١١ ـ ١٩٢٠) توصل العالم الأمريكى **توماس مورجان** إلى النظرية الكروموسومية نتيجة أبحاثه على ذبابة الفاكهة Drosophila melanoegaster أن الجينات مرتبة على خط واحد وفى مكان ثابت محدد على الكروموسومات وتوصل من خلال تجاربه إلى كيفية توارث كثير من الصفات غير المندلية وفسر حالات الارتباط التام والعبور والصفات المرتبطة بالجنس .

مورجان

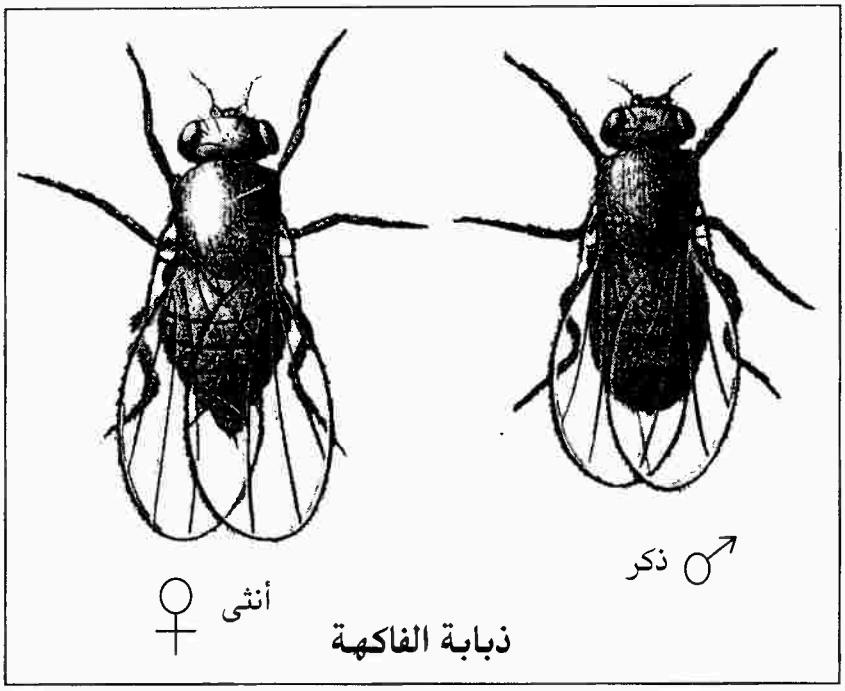
ومع استمرار التقدم العلمى تطور مفهوم الجين إلى أنه جزء من جزىء DNA وأن الكروموسومات ما هى إلا جزيئات لهذه المادة الوراثية وأن الجين يظهر الصفة الوراثية من خلال قدرته على تكوين بروتين معين .

* دراسة ذبابة الفاكهة

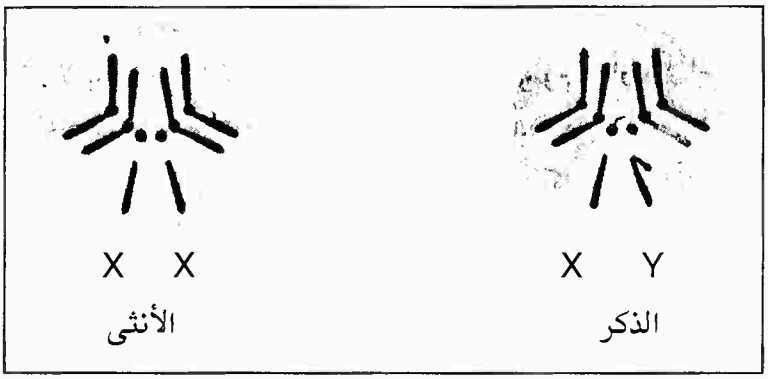
حشرة معملية يسهل إجراء التجارب عليها وتعطى عدة أجيال فى فترة زمنية قصيرة كما أنها تحمل فى خلايا الغدد اللعابية كروموسومات عملاقة وتركيبها الكروموسومى عبارة عن أربعة أزواج من الكروموسومات المتماثلة .

وتحمل هذه الحشرة كثير من الصفات الوراثية منها اللون الرمادى وهو سائد على اللون الأسود وصفة طول الجناح وهى سائدة على صفة قصر الجناح وقد أوضحت تجارب مورجان أن صفات اللون وطول أو قصر الجناح صفات تورث مرتبطة (حالة ارتباط تام) وتعطى نسب وراثية فى تجارب التهجين تخالف النسب الوراثية المندلية .

كما أن دراسة لـون العـين الأحمـر ولـون العـين الأبيـض تـورث كصفـات مرتبطـة بالكروموسومات الجنسية وبالتالى تختلف فى توارثها من الصفات الأخرى .

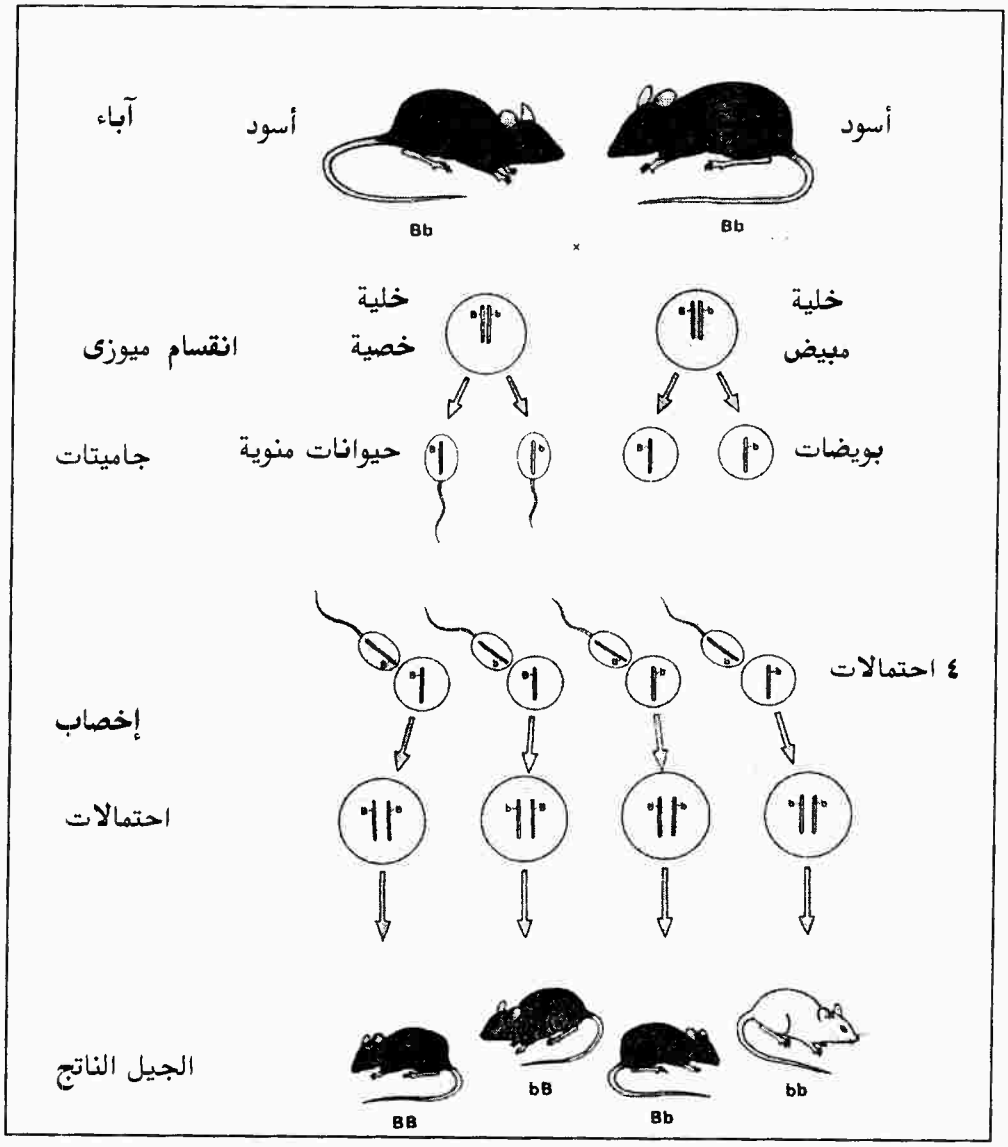


ـ كروموسومات ذبابة الفاكهة أربعة أزواج من الكروموسومات .



يتعين الجنس فى الكائنات الحية بواسطة زوج من الكروموسـومات ؛ ففـى ذبابـة الفاكهة مثلاً عندما تحمل خلاياها اثنين مـن كروموسـومات X تكـون أنثـى . عندمـا تحمل خلاياها كروموسوم X وآخر Y تكون ذكرًا . وهذا ما ينطبق أيضًا على الإنسـان فى تحديد الجنس .

* **مثال** : تهجين فئران سوداء هجينة يوضح وراثة جينات اللون مع حركة الكروموسومات حيث أن كل زوج من الجينات محمول على زوج متماثل من الكروموسومات .



الارتباط التام والارتباط غير التام
Complete linkage and incomplete linkage

يطلق على الجينات المحمولة على نفس الكروموسوم (الصبغى) بأنها مرتبطة . وقد تبقى هذه الجينات معًا وتنتقل مع بعضها إلى الأجيال المتعاقبة ، وتعمل فى هذه الحالة على تحوير النسب الوراثية المندلية .

إذا أجرى تلقيح اختبارى لزوجين من الجينات R , T متوزعان توزيعًا حرًا (مستقلاً) ونمطهما الجينى متباين ويقعان على زوجين من الكروموسومات غير المتماثلة ، فإن النسبة المظهرية للأفراد تكون ١ : ١ : ١ : ١ كما هو موضح فيما يلى :

الآبـــاء : RrTt x rrtt

الجاميتات : (RT) , (Rt) , (rT) , (rt)

النسل الناتج : $\frac{١}{٤}$ rrtt : $\frac{١}{٤}$ rrTt : $\frac{١}{٤}$ Rrtt : $\frac{١}{٤}$ RrTt

وفى حالة وجود زوجين من الجينات محمولين على نفس الكروموسوم فإنهما يميلان إلى أن يظلا مع بعضهما البعض ، وبالتالى فإنهما ينتقلان سويًا إلى الأبناء . فإذا اجرى تلقيح اختبارى لمثل هذين الزوجين فإن النسل الناتج يتكون بنسبة مظهرية ١ : ١ وهذه النسبة مشابهة لطريقة انتقال زوج واحد من الجينات أو بمعنى أخر .

فإن هذين الزوجين يظلان مع بعضهما وينتقلان كما لو كانا زوجًا واحدًا من الجينات . ويطلق على هذين الزوجين من الجينات بأنهما مرتبطان ارتباطا تامًا Complete linkage . ولتوضيح مواقع الجينات على الكروموسومات ، يوضع خط مائل بين الجينين ، وهذا يعنى أن الجينات المتواجدة على يمين الخط واقعة على أحد الكروموسومات والجينات الواقعة على الجانب الآخر متواجدة على الكروموسوم المتماثل كما يلى :

الآبـــاء : AB/ab x ab/ab

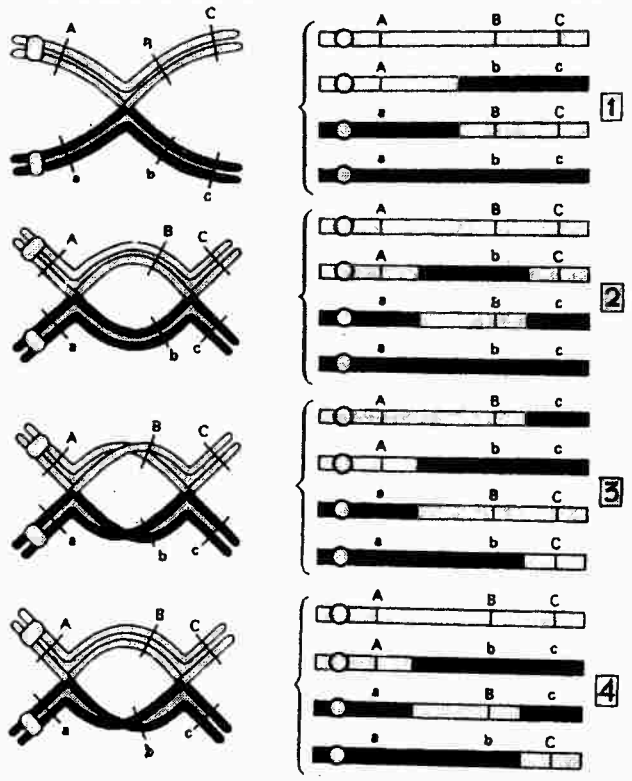
الجاميتات : (AB) (ab) (ab)

النسل الناتج : AB/ab 1 : ab/ab 1

وبصورة عامة فإن أى تحور عن النسبة المتوقعة للتلقيح الاختبارى لزوجين من الجينات وهى ١ : ١ : ١ : ١ يمكن أخذه كدليل على وجود الارتباط .

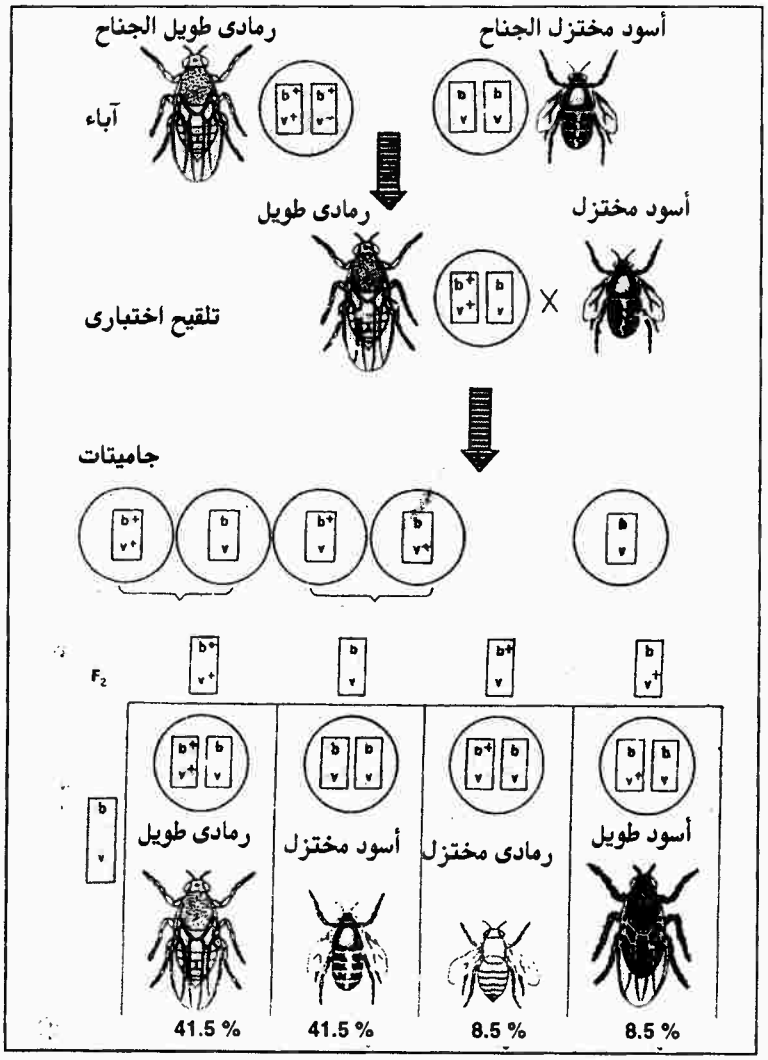
* العبور Crossing over (الارتباط غير التام Incomplete linkage) :

لا يمثل الارتباط التام الحالة الطبيعية لجميع الجينات . من المعروف أنه خلال عملية الانقسام الاختزالى يتم التزاوج بين الصبغيات المتماثلة . وفى أثناء الطور التمهيدى الأول يحدث (العبور) أو الانتقال بين الكروماتيدات غير الشقيقة وتتضمن عملية العبور حدوث كسر أو كسور فى الكروماتيدات ثم إعادة اتحاد بين الكروماتيدات غير الشقيقة . وفى هذه الحالة يتم تبادل بين مقاطع أو أجزاء من الكروماتيدين غير الشقيقيين . ونتيجة لعملية العبور فإنه ينكسر الارتباط التام فى بعض الكروماتيدات ويتم إعادة ترتيب الجينات فى الكروموسومات المتواجدة فى الجاميتات الناتجة من عملية الانقسام الاختزالى . ويمكن توضيح ذلك كما يلى :



حدوث العبور بين زوج من الكروموسومات

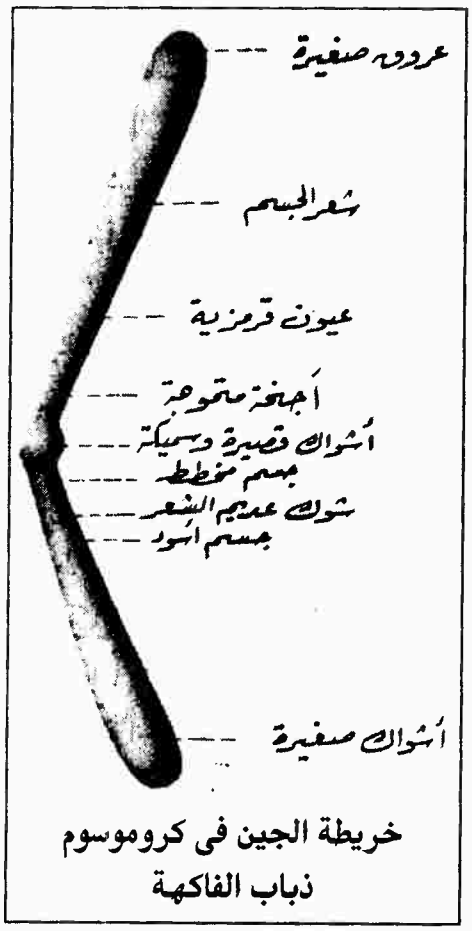
ويتكون نتيجة لعملية العبور أربعة أنواع من الجاميتات : يحتـوى اثنـان منـهما علـى الجينات مرتبطة ارتباطًا تامًا ومشابهًا لترتيبها على كروموسـومات الأب (AB , ab) . وتشير هذه الحالة على احتواء الجاميتان الآخران فإنهما يحتويـان علـى كروماتيدات بها خليط من الجينات من كل كروموسومى الأب والأم نتيجة لحدوث عملية العبور ، أى أنها تحتوى على ترتيـب جديـد يخـالف ترتيـب الجينـات فـى الكروموسـومات الأصلية . ويطلق على النوعين الأولين الذى لم يتم فيهما العبور بأنها **جاميتات أبوية** لم يحدث لـها عبور . أما النوع الثانى الذى تكون نتيجة لعملية العبور فيطلق عليـها بأنها **أنواع جديدة** أو مجاميع جديدة . والمثال التالى يوضح النسب الوراثية فى حالـة الارتباط غير التام (عند حدوث العبور) .



* الخرائط الكروموسومية Chromosome maps :

يمكن تحديد مواقع وترتيب الجينات على نفس الكروموسوم بطريقة تخطيطية عن طريق رسم ما يعرف باسم الخريطة الكروموسومية Chromosome map ، وتحدد قيمة المسافة بين أى جينين على نفس الكروموسوم بمعرفة قيمة احتمال حدوث العبور بين هذين الجينين ، فكلما زادت المسافة بين الجينين زادت فرصة حدوث العبور بينهما والعكس صحيح . ومع هذا فإن نسبة العبور يمكن اعتبارها مقياسًا يُحدد المسافة بين الجينات ، فكل وحدة مسافية على الخريطة (وتعرف باسم سنتيمورجان Centimorgan) تعادل واحد فى المائة للعبور .

فعلى سبيل المثال ، إذا أنتج النمط الجينى Aa/aB جاميتات ، نتيجة لعملية العبور ، بالتراكيب الوراثية , AB ab ونسبة كل منهما هى ١٠ ٪ ، فإن هذا يعنى أن المسافة بين الجينين تساوى ١٠ وحدات على الخريطة . وعلى نفس المنوال ، إذا كانت المسافة بين الجينين B C , على خريطة ما تساوى ١٢ وحدة ، فهذا يعنى أن ١٢ ٪ من الجاميتات تتكون نتيجة لعملية العبور ، أى ٦ ٪ Bc ، ٦ ٪ bC .



خريطة الجين فى كروموسوم ذباب الفاكهة

ويمكن تعيين نسبة الجاميتات العبورية ونواتج عملية العبور بإجراء تلقيح اختبارى بين الفرد ذى التركيب الوراثى الخليط Heterozygote لزوجين من الجينات وبين التركيب الوراثى المتنحى المتجانس لنفس الجينين .

تداخل عمل الجينات Interaction of genes

بعض الحالات الوراثية يتحكم فى ظهور الصفة الوراثية الواحدة زوجين أو أكثر من الجينات ويحدث بين هذه الجينات تداخل وتفاعل ينتهى بظهور الصفة الوراثية وبالطبع يؤثر على النسب الوراثية .

* الجينات المتكاملة (Complementary genes) :

فى سلالة من الذرة لون الحبوب إما أبيض أو بنفسجى ويظهر اللون البنفسجى نتيجة إخصاب نوعين من البذور البيضاء وعند إجراء تلقيح ذاتى للنباتات ذات البذور البنفسجية تظهر أفراد بنسبة $\frac{٩}{١٦}$ بنفسجى : $\frac{٧}{١٦}$ أبيض .

وقد أثبتت الدراسات أن النباتات بيضاء البذور النقية تركيبها الوراثى aaBB & AAbb وأن النباتات البنفسجية الناتجة من تزاوجهما . تركيبها الوراثى $^{AaBb}_{+\ +}$ وأن كل من الجين A والجين B يكمل عمل الآخر (كل جين يكون مركبًا بروتينيًا مختلفًا واجتماع المركبين يسبب ظهور اللون) وعلى أساس ذلك تصبح التراكيب الوراثية للنباتات البنفسجية هى : AaBb / AABb / AaBB / AABB .

والتراكيب الوراثية للنباتات بيضاء البذور هى :

aabb / Aabb / AAbb / aaBb / aaBB .

* الجينات المتضاعفة Duplicate genes :

يختلف شكل الكبسولة (القشرة) فى بعض النباتات مثل نبات كابسيلابُرسا ذو الكبسولة المثلثة المفلطحة ونوع آخر هو كابسيلاهايجيرى ذو كبسولة مغزلية الشكل وعند تلقيح النباتين تنتج سلاسة ذات كبسولة مثلثة . وعند تلقيح نباتين من النباتات الناتجة ذات كبسولة مثلثة فإن الجيل الثانى يعطى نباتات ذات كبسولة مثلثة بنسبة $\frac{١٥}{١٦}$ ونباتات ذات كبسولة مغزلية بنسبة $\frac{١}{١٦}$ ويكون التركيب الوراثى فى حالة الكبسولة المغزلية aabb بينما التركيب فى حالة الكبسولة المثلثة .

AABB / AABb / AaBB / AaBb / Aabb / aaBb / AAbb / aaBB .

* الجينات المتعددة (الوراثة الكمية)
Multiple genes (quantitative inhertance)

فى الحالات العادية للوراثة المندلية تظهر الجينات المختلفة تباينًا واضحًا فيما بينهما على سبيل المثال ، فى نبات بازلاء الزهور ، لون الأزهار إما أن يكون أحمر أو أبيض ، والبذور إما أن تكون صفراء أو خضراء . . . وهكذا . وتعرف مثل هذه الحالات بالصفات النوعية quantitative characters إلا أنه فى حالات أخرى من التوارث تظهر الصفة بصورة متدرجة أو بمعنى آخر تظهر الصفة بنسب متفاوتة بكمية صغيرة أو كبيرة ، مثل صفة وزن الجسم ، لون الجلد ، وحصيلة اللبن وإنتاج البيض . وتعرف هذه الصفات بالصفات الكمية (quantitative inhertance) ويتحكم فى أية صفة من هذه الصفات الكمية زوجان أو أكثر من الجينات وتعتمد كمية الصفة على عدد الجينات السائدة (وتعرف فى هذه الحالة بالجينات المساهمة) المعينة لهذه الصفة ويمكن تمثيل هذه الحالة بوراثة لون الجلد فى الإنسان Skin colour in human .

ويمثل لون الجلد إحدى الصفات الكمية ، حيث أن اللون يتدرج من الأسود (الزنجى) إلى الوسط إلى الأبيض . ويعتمد هذا التقسيم على الكمية النسبية لمادة الميلانين التى تسبب لون الجلد فى الإنسان . ويفسر أن لون الجلد فى الإنسان يعتمد على وجود زوجين من الجينات AABB . ويظهر اللون الأسود فى حالة وجود الجينات الأربعة فى الصورة السائدة فى حين يظهر اللون الأبيض عند عدم وجود الجينات السائدة ، أى فى وجود الجينات المتنحية فقط .

ويمكن التعرف على الأنماط الوراثية ، والأنماط المظهرية المقابلة للون الجلد كما يلى :

(أسود AABB) ، (لون قاتم AaBB ، AABb) ، (متوسط , aaBB AaBb , AAbb) ، (لون خفيف (قمحى) aaBb , Aabb) ، (أبيض aabb) .

وهذا ويوجد العديد من الصفات فى الإنسان تتوارث بطريقة كمية مثل الذكاء ، الطول ، وزن الجسم . . . وغيرها .

* الجينات المميتة Lethal genes :

جينات تسبب موت حاملها إذا وجدت بصورة نقية (زوجية) وقد تكون الجينات المميتة متنحية مثل جينات الدجاج الزاحف حيث أن الأفراد الزاحفة هجينة تحمل جين سائد وآخر متنحى ، أما الأفراد التى تحمل الجين المتنحى بصورة نقية تموت وهى أجنة داخل البيضة فى مراحل متأخرة من تكوينها ، وقد يكون الجين الميت سائد مثل جين الدكستر فى الماشية ذات الأرجل القصيرة وافرة اللحم واللبن وهذا الجين D دكستر سائد على جين متنحى d ينتج عنه سلالة كرى dd والأفراد الدكستر دائمًا هجينة Dd وإذا وجدت جينات الدكستر بصورة نقية DD تسبب موت الأفراد الناتجة بعد أيام من ولادتها وهى أفراد مشوهة تسمى البولدوج .

وفى نبات الذرة جين عدم تكوين الكلوروفيل جين متنحى إذا حملته البادرات بصورة نقية فإنها تموت لعدم قدرتها على البناء الضوئى ، ويورث الجين من زواج نباتات هجينة خضراء اللون تحمل جين تكوين الكلوروفيل السائد وجين عدم تكوينه المتنحى .

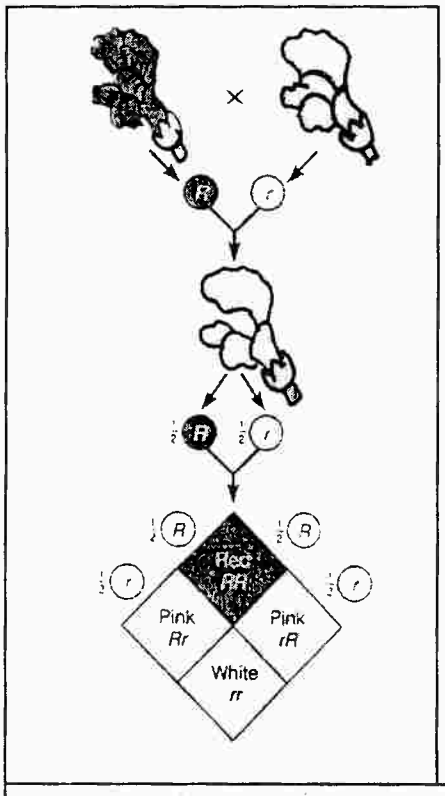
* الجينات المتفوقة Epistatic genes :

فى وراثة لون الريش فى الدجاج يعمل زوج من الجينات A على منع تأثير زوج آخر B . وإذا تزاوج فردان من دجاج لجهورن أحدهما تركيبه AABB والآخر aabb فالنسل الناتج AaBb يكون أبيض الريش وعند تزاوج فردين من هذا النسل فإن الجيل الثانى يحمل احتمالات $\frac{١٣}{١٦}$ أبيض : $\frac{٣}{١٦}$ ملون .

والأفراد البيضاء تراكيبها الوراثية لابد أن تحتوى A , B & aabb والأفراد الملونة aaBB , aaBb وسبب التحور أن الجين B يعمل على ظهور اللون بينما الجين A يوقف تأثير الجين B ولذلك يقال إن الجين A متفوق .

* الوراثة المتوسطة (انعدام السيادة) Intermediate inheritance :

تظهر صفات متوسطة بين صفات الآباء ففى زهرة نبات الميرابيلس نجد أن الأزهار حمراء أو بيضاء ونتائج التهجين بينهما نباتات ذات الأزهار وردية وسط وفى سلالة الدجاج الأزرق الأندلسى فالأفراد إما سوداء الريش أو بيضاء الريش والتهجين بينهما يعطى أفرادًا بين الأسود والأبيض فهى مبرقشة وتسمى الدجاج الأزرق .



خلطى

زهور بيضاء × زهور حمراء

P : RR rr

G : R r

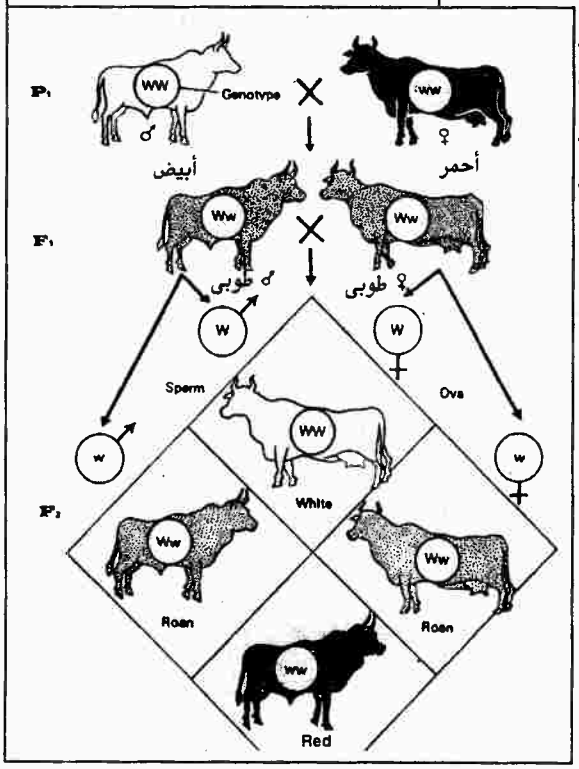
F_1 : Rr أزهار وردية

ذاتى

Rr × Rr

F_2 : RR Rr Rr rr

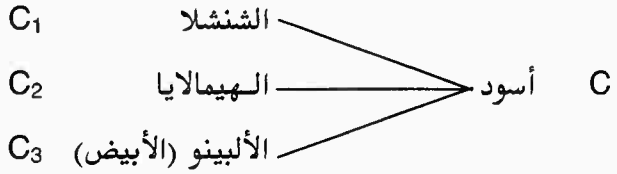
أبيض وردى وردى أحمر



وكذلك وراثة اللون فى أبقار الشورتهورن حيث تظهر أفراد طوبية اللون وسط بين الأحمر والأبيض والتحليل الوراثى التالى يوضح ذلك .

تعـــدد الـبـدائـل Multiple Alleles

وراثة لون الفراء فى الأرانب يحكمها جين سائد يسبب اللون الأسود بينما هناك بدائل متنحية له وهى :



وتكون البدائل سلسلة سيادية حيث يسود الشنشلا على الـهيمالايا والألبينو ويسود الـهيمالايا على الألبينو .

أسود CC	الشنشلا C_1C_1	الـهيمالايا C_2C_2	الأبيض C_3C_3
Cc_1	C_1C_2	C_2C_3	
Cc_2	C_1C_3		
Cc_3			

ويقصد بهذه الظاهرة وجود أكثر من جينين يتحكمان فى الصفة ، وبصورة عامة فإنه يتحكم فى كل صفة زوج من الجينات تحتل موقعًا ثابتًا على زوج الكروموسومات المتماثلة ، ألا أنه توجد مواقع معينة تحمل سلسلة من الجينات حيث أن كل فرد ثنائى Diplioid يحمل اثنين فقط من هذه الجينات فى نفس الموقع المحدد على زوج الكروموسومات المتماثل .

* فصائل الدم Blood group ABO :

يمكن تقسيم الإنسان إلى أربعة أنواع أو أربع مجموعات تبعًا لوجود أو عدم وجود مادتين مولدتين للتلاصق أو أنتيجن Antigen فى دمه ، وهذه المجموعات هى A , B , AB , O . وتشير الفصيلة AB إلى وجود اثنين من الآنتيجينات A , B فى الدم ، فى حين أن الفصيلة O لا تحتوى على مثل هذه الآنتيجينات فى الدم وتتحكم فى هذه الفصائل ثلاثة جينات .

ويرمز لـها بالجينين السائدين A , B ولا يسود أحدهمـا علـى الآخـر وكـل منـهما سائد على الجين O وعلى أساس ذلك فإن التراكيب الوراثية لفصـائل الـدم يمكـن أن تكتب على النحو التالى :

الفصيلة	التركيب الوراثى
A	AO - AA
B	BO - BB
AB	AB حالة انعدام سيادة
O	OO

* التطبيقات الطبية والقانونية لفصائل الدم :

يمكن الاستفادة مـن دراسـة تـوارث أنـواع فصـائل الـدم فـى حـالات الفصـل فـى النزاعات الخاصة بالبنوة وأصل الأطفـال . علـى سـبيل المثـال ، تم رفـع قضيـة فـى المحكمة خاصة بنزاع على أبوة طفل ، حيث كانت هناك عائلتان أخذت كل منـهما طفلاً من المستشفى واكتشفت العائلتان وجود علامة باسم مخالف لاسم الأم ، وارتابت كل عائلة منهما بأن يكون الطفل ليس بطفلها ، وذهبت العائلتان إلى المحكمة وقد تم حل هذه المشكلة من خلال تحديد فصائل الدم لكل مـن الآبـاء والأطفـال . وأوضحـت التحاليل بأنه قد حدث خطأ فعلاً وأن العائلتين قد تبادلتـا الأطفـال وكـانت النتـائج تحليل الدم كما يلى :

	فصائل الدم للآباء	فصيلة الدم للطفل الذى أخذه للمنزل
العائلة (١)	A × AB	O
العائلة (٢)	O × O	B

وتوضح هذه النتائج أن فصيلة الدم O للآبـاء لا يمكـن أن تـورث للطفـل النـوع B ولكن تعطى دائمًا فصيلة دم O . ويدل ذلك بوضوح على أنه قد تم تبادل بالخطأ بين الأطفال بعد الولادة داخل المستشفى . إلا إنه يلاحظ أن تحليل فصائل الـدم لا يثبـت أن الطفل الذى أخذته العائلة رقم (١) يتبع العائلة رقم (٢) ولكـن يثبـت احتمـال ذلـك .

وعلى هذا فإن تحليل فصائل الدم لا تثبت بنوة الطفل (٢) ، ولكنها يمكن أن تستعبد البنوة لطفل ما .

* عامل ريسس Rhesus factor :

توجد سلسلة من الأنتيجينات تعرف باسم أنتيجين ريسس ولقد وجد أنه إذا حقن الأرنب بخلايا دم حمراء للقرد ريسس ثم استخلصت البلازما من الأرنب وتم خلطها مع دم القرد حدث تجلط الدم . وحينما خلط دم الإنسان بهذه البلازما حدث تجلط فى بعض الحالات فى حين لم يحدث هذا التجلط فى البعض الآخر . وعلى هذا فإنه يبدو أن بعض الأشخاص تحتوى دماؤهم على أنتيجين مشابه كما هو موجود فى القرد ريسس ، ويطلق عليهم بأنهم ريسس Rh positive (Rh^+) فى حين أن البعض الآخر لا يمتلك مثل الأنتيجين ويطلق عليهم بأنه ريسس سالب Rh negative (Rh^-) .

وقد يؤدى عامل ريسس إلى تعقيدات أثناء الحمل فإذا تزوجت امرأة سالبة Rh^- برجل موجب لعامل الريسس Rh^+ فإن طفلهما الأول عادة يولد سليمًا ولكن قد يولد طفلهما الثانى مصابًا بأنيميا حادة تؤدى إلى تحلل كرات الدم الحمراء ، بالتالى فإنه يصاب بتشوهات . وفى بعض الحالات فإنه يموت إما قبل الولادة أو بعدها مباشرة . ويمكن إنقاذ مثل هذا الطفل عن طريق إجراء عملية إحلال دمه بدم جديد والسبب فى هذه الحالة أنه خلال الحمل الأول للمرأة يكون الجنين موجب العامل Rh^+ لأن عامل ريسس صفة سائدة . ويتسرب جزء من دم الجنين إلى دم الأم عند الولادة ويختلط مع دمها وتتكون أجسام مضادة فى دم الأم . وعادة فإن الطفل الأول لا يتأثر . أما فى حالة الطفل الثانى فإن دم الأم يحتوى على كميات كبيرة من الأجسام المضادة . والتى تسبب فى موت الطفل ويتحكم فى إنتاج الأنتيجينات لعامل ريسس كما يرى البعض ثلاثة أزواج من الجينات CDE / CDE سائدة وبدائلها المتنحية وهى cde / cde ووجود أى جين فى صورة سائدة يؤدى إلى إظهار فرد ريسس موجب Rh^+ . أما الفرد السالب فإن تركيبه الوراثى لابد وأن يكون متنحيًا متجانس cde / cde .

الوراثة والجنس

تحديد الجنس والجينات المرتبطة بالجنس
Sex determination and sex linked genes

يتحدد جنس الأفراد عادة بواسطة نوع معين من الكروموسومات تسمى **الكروموسومات الجنسية** Sex chromosomes يوجد منها بصورة عامة واحد أو اثنان فى كل فرد . أما النوع الثانى من الكروموسومات فيسمى **الكروموسومات الذاتية أو الجسدية** (أ) Autosomes .

* الكروموسومان XX & XY يحددان الجنس :

توجد فى مجموعات عديدة من الحشرات والحيوانات وأيضًا فى الإنسان . وتتضمن هذه الحالة وجود كروموسومين جنسيين ، يرمز لأحدهما بالرمز X وللآخر بالرمز Y . وتحتوى خلايا الأنثى على الكروموسومين XX ، بينما تحتوى خلايا الذكر على الكروموسومين XY . ونتيجة لعملية تكوين البويضات ، تحتوى كل بويضة على الكروموسوم X ، ولكن عملية تكوين الحيوانات المنوية تؤدى إلى وجود نوعين يحتوى أحدهما على الكروموسوم X ويحتوى الآخر على الكروموسوم Y . وعندما يخصب الحيوان المنوى الذى يحتوى على الكروموسوم X البويضة فإن الزيجوت سيحتوى على الكروموسومين XX وينمو إلى أنثى . أما إذا أخصبها الحيوان المنوى الذى يحتوى على الكروموسوم Y فإن الزيجوت الناتج سيحتوى على الكروموسوميين XY وينمو إلى ذكر . وهذا النمط هو الذى يوجد فى الإنسان إلا أنه توجد أفراد تحتوى على مجموعة شاذة من الكروموسومات XXY وهذه تؤدى إلى تكوين فرد غير سوى ، عقيم متخلف عقليًا ، وهى حالة يطلق عليها **عارض كلينفلتر** Kleinfelters syndrome . كما أن وجود كروموسوم X واحد فقط يؤدى إلى تكوين أنثى ناقصة التكوين ويشار إلى ذلك بأنه **عارض ترنر** Turner's syndrome .

كذلك وجدت فى بعض الأفراد حالات شادة أخرى مثـل XXXY (ذكـر) ، XXXXY (ذكر) ، XXX (أنثى) .

من السهل تمييز خلايا الأنثى عن خلايا الذكر فى المرحلة البينية ، فخلايا الأنثى تحتوى فى هذه المرحلة على جسم صغير كثيف الصبغة يسمى **جسم بار** Barr body ، وهو لا يوجد فى خلايا الذكور . ويرجـع سبب تكويـن هـذا الجسم إلى وجـود مـادة الكروماتين غير متجانسة فى الكروموسومات الجنسية . وعلـى ذلـك فـإن ظـهور هـذا الجسم راجع إلى وجود الكروموسومين X . ولذا يلاحظ أن الأفـراد غـير السـوية التـى تحتوى على هذه الكروموسومات يوجد بها جسم بار أيضًـا . فعلـى سـبيل المثـال عـارض كلينفلتر XXY (الذكر) يوجد فى خلاياه جسم بار ، وحالة XXXY يوجد بها اثنان مـن أجسام بار ، وكذلك الحال فى الفرد الذى يحتوى علـى XXX . وبصـورة عامـة فـإن أعداد جسم بار تساوى مجموع أعداد الكروموسوم X مطروحًا منها واحدًا .

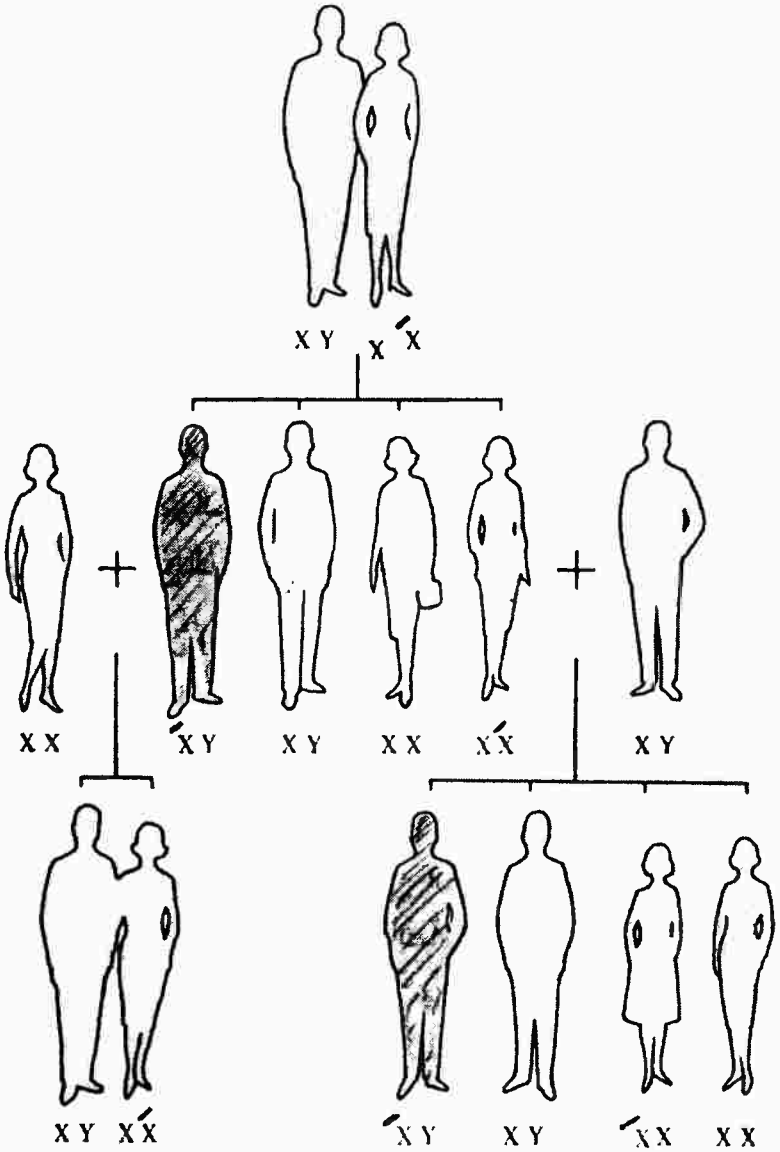
تحتوى الأنثى فى بعض الحشرات على ٢٢ كروموسومًا (٢٠ كروموسومًا ذاتـى + XX) بينمـا يوجـد فـى الذكـر ٢١ كروموسـومًا فقـط (٢٠ كروموسـومًا ذاتيًـا + (X) ونتيجة لذلك تحتوى كل بويضـة علـى ١٠ كروموسـومات ذاتيـة + X بينمـا يحتـوى نصف الحيوانات المنوية على ١٠ كروموسومات ذاتية + X والنصـف الآخـر علـى ١٠ كروموسومات ذاتية .

وفى بعض الحالات يحدث عكس حالة XX - XY لتحديد الجنس . ففـى الطيـور وبعض الأسماك يحتوى الذكر على كروموسومين جنسيين ، بينما تحتوى الأنثى على كروموسومين جنسيين غير متجانسين XY .

* الجينات المرتبطة بالجنس Sex - linked genes :

بالإضافة إلى الدور الذى تلعبه الكروموسومات الجنسـية فـى تحديـد جنـس الفـرد فإنها تحمل أيضًا جينات معينة تختلف فى نمط توارثها عن الجينـات الموجـودة فـى الكروموسومات الذاتية . وبعبارة أخرى فإن توارث الصفات المحكومة بهذه الجينـات يتوقف على ما إذا كان الأب أو الأم هو الذى يحمـل هـذه الصفـة . وتوجـد الغالبيـة

العظمى من هذه الجينات على الكروموسوم X بينما لا يحمل الكروموسوم Y أيًا منها . ومن أمثلة هذه الخصائص **سيولة الدم** أو الهيموفيليا Haemophilia التى يتحكم فيها جين (h) متنح موجود على الكروموسوم X . ولكى تصاب الأنثى بهذا المرض يجب أن تحمل هذا الجين بصورة مزدوجة ، بمعنى أنه لابد أن يكون موجودًا فى كل من الأب والأم . أما بالنسبة للذكر فيكفى بوجود جين واحد فيه من هذا النوع لكى ينتقل إليه هذا المرض وذلك لأنه لا يوجد جين مقابل له يعمل على وقف تأثيره وذلك كما سبق القول لعدم وجود مثل هذه الجينات (سرية أو مرضية) على الكروموسوم Y . ومثل هذه الحالات أكثر شيوعًا فى الذكور عنها فى الإناث ، وذلك لأن مجرد وجود جين واحد فى الذكر كاف لظهور هذه الصفة ، كما أن هذه الجينات تنتقل إلى الأبناء الذكور من أمهاتهم ، حيث ينقل إليهم الكروموسوم X من الأم بينما ينتقل إليهم الكروموسوم Y من الأب .



يبين هذا الرسم كيف أن الصفة المرتبطة جنسيًا مثل عمى الألوان تنتقل من جيل لآخر ويحمل الكروموسوم X الجينات المتنحية . وهى تؤثر فقط فى حالة عدم وجود كروموسوم X تحمل جينات الرؤية الطبيعية . والصفات ذات الارتباط الجنسي أكثر شيوعًا بين الرجال لأن خلاياهم تحمل كروموسوم X واحدًا فقط .

* الجينات المتأثرة بالجنس Sex influenced genes :

فى هذه الحالة تتوقف السيادة والتنحى على نوع الجنس وذلك لأن الجين يتأثر بهرمون معين فالجين السائد فى الذكور (مثل جين الصلع Baldness فى الإنسان) يتوقف ظهوره على وجود هرمونات الذكورة بينما هو متنحى فى الإناث لغياب الهرمون فإذا افترضنا أن H^+ هو جين الصلع ، H جين الشعر الطبيعى نجد أن الطرز الجينية والمظهرية تكون بين ذكور وإناث الإنسان على النحو التالى :

H^+H^+ ذكر أصلع أو أنثى متساقطة الشعر .

H^+H ذكر أصلع أو أنثى عادية .

HH ذكر عادى أو أنثى عادية .

وظهور صفة تساقط الشعر فى الأنثى رغم عدم وجود هرمونات الذكورة يرجع إلى اجتماع الجينات بها بصورة متنحية نقية بما يظهر الصفة . ومن أمثلة الصفات المتأثرة بالجنس كذلك صفة القرون فى الأغنام حيث أن من المعروف أن سلالة الدورسيت Dorset فى الأغنام تتميز بصفة وجود القرون سواء ذكور أو إناث . كما أن سلالة السفولك Suffolk فى الأغنام تتميز بأنها عديمة القرون سواء ذكور أو إناث وعملية تهجين السلالتين تنتج أفرادًا هجينة تحمل جين القرون C^+ وجين عدم وجود القرون C وبذلك يصبح تركيبها الجينى C^+C وهى ذات قرون فى حالة الذكور (لوجود هرمون الذكور الذى يسبب ظهور الصفة لسيادة +C فى الذكر) وهى عديمة القرون فى الإناث لتنحى الجين C^+ لغياب الهرمون .

الوراثة والبيئة

تختلف الكائنات الحية فيما بينـها فـى مقدار أثـر البيئـة عليـها مـع أن جميـع الكائنات تتأثر بالعوامل البيئية المختلفـة وعندمـا تحـدث الطفـرة يعـزى حدوثـها إلى عوامل البيئة ، كما أن تناول العقاقير والأدويـة لـه تأثـير علـى الأجنـة . وكثـير مـن الصور المستحدثة لعوامل البيئة مثـل زيـادة نسـبة الأسمـدة أو زيـادة نسـبة المبيـدات الحشرية تؤثر تأثيرًا كبيرًا على الأجيال الناتجة سواء فى عالم النبـات أو الحيـوان ، كما أن التعرض للإشعاع وما أحدثته التجارب النووية من تشويه للأجنة وكذلك الضوء والحرارة ووجود الماء كل هذه العوامل البيئية لـها أثرها .

وقد أجريت دراسات على الدروسوفيلا حيـث لوحـظ أن الأفـراد الناتجـة تختلـف باختلاف درجة الحرارة التى يتم فيها احتضان البيض . وقد وجد فى اليابـان بعـض الضفادع بثلاثة أرجل خلفية ، وبعد محاولات استطاع العلمـاء أن ينتجـوا مثـل هـذه الضفادع فى المختبرات بعد تعريض البويضات المخصبة إلى إشعاع معـين . كمـا تمكـن العلماء من إجراء فتحة فى بيض بعض الطيور المخصبة ووضـع البيـض فـى الحاضنـة مع تعريضه للإشعاع والمواد الكيمياوية فانتخبوا فراخًا فيها تشويـهات خلقيـة عديـدة مختلفة . ووجد فى بعض الحالات أنه عندما تحمل البقرة بتوأم ذكر وأنثى فقد تولـد العجلة الأنثى عقيمة نظرًا لتعرضها طول فترة الحمل إلى الـهرمون الذكـرى مـن توأمـها . وينصح الأطباء الأمهات الحوامل بعدم أخذ العقاقير الطبية طول فترة الحمل أو أخذها عند الضرورة القصوى بحذر شديد وبعد استشارة الطبيب الباطنى والنسائى ، وكذلـك يعلم العلماء أن إصابة الحامل ببعض الأمراض وبخاصة الفيروسـية منـها يؤثـر تأثـيرًا ضارًا بالجنين . وحتى مجرد الصيام فى بعض الحالات يؤدى إلى إضرار بالجنين .

ومن الأمثلة الأخرى التى توضح أثر البيئـة مثـال الـتزاوج بـين خيـول شـير كبـير الحجم وخيول شتلند صغيرة الحجم ، فقد وجد حجم المهر الناتج يختلف تبعًـا لنـوع الأم . فإذا كانت الفرس من خيول شتلند الصغيرة والحصان شير الكبير فالمـهر يكـون أصغر بشكل واضح من المهر الذى ينتج عن فرس من نوع شير (كبيرة) وحصـان مـن

نوع شتلند (صغيرة) مع أن المهرين لهما نفس التركيب الوراثى ولكن أثر الجينات لا يتحقق إلا فى رحم من نوع شير .

كما لوحظ أن أثر الجينات فى بعض الأحوال يتغير تبعًا لتغير درجة الحرارة فالجينات التى تقرر لون بعض الحيوانات التى تعيش فى مناطق ثلجية كبعض الأرانب والطيور يتغير تأثيرها بحيث يصبح لون شعر هذه الحيوانات أو ريش هذه الطيور أبيض شتاء وملونًا (بنى أو غير ذلك) صيفًا . وكذلك يكون شعر بعض الأيائل فى المناطق الثلجية طويلاً شتاء وقصيرًا صيفًا مع أن طول الشعر محكوم بجينات محددة . وكذلك يلاحظ زيادة المناطق الملونة على جسم القطط السيامى نتيجة زيادة تعرض هذه القطط للحرارة .

ودراسة موضوع الوراثة والبيئة تتطلب تجربتين مكملتين إحدهما للأخرى . ففى الأولى تجرى دراسة على تأثير الوراثة بملاحظة نمو الكائنات الحية مختلفة التركيب الجينى فى نفس ظروف البيئة ، وفى الثانية دراسة تأثير البيئة بملاحظة نمو الكائنات المتشابهة وراثيًا فى بيئات مختلفة . ويمكن استخدام كلتا الطريقتين بسهولة للكائنات الأولية مثل البكتيريا والخميرة التى تنمو بالانقسام المتكرر إلى مستعمرات من الخلايا المتشابهة وراثيًا ، وفى النباتات التى تنشأ المستعمرات فيها من التكاثر اللاتزاوجى كالأبصال والدرنات . . . الخ .

وفى الإنسان يكون التحكم فى البيئة صعبًا ، والمشكلة الأصعب كيفية الحصول على مجموعة متشابهة وراثيًا من بنى الإنسان . وقد استفاد علماء الوراثة من التوائم فى بحث الوراثة والبيئة وأثرهما فى الإنسان .

* التوائم :

يوجد نوعان أساسيان من التوائم :

- هما التوائم المتماثلة - Identical twins .
- والتوائم غير المتماثلة - Fraternal twins .

- التوائم المتماثلة :

نوع من التوائم ينتج من بويضة واحدة مخصبة بحيوان منوى واحد وانقسمت الكتلة الجنينية فى بداية الانقسام إلى قسمين ونما كل قسم مكونًا جنينًا مستقلا لهما

مشيمة واحدة ومن جنس واحد ، ولـهما نفس التركيب الوراثى وقد تكونان ملتصقتين فى إحدى مناطق الجسم (تشويه) ويسمى بالتوأم السيامى أو التوائم الملتحمة . وكانت أول حادثة أقرها العلماء من هذا النوع ولادة توأمين ذكرين فى عام ١٨١١ فى سيام . وقد عاشا وتزوجا وأنجبا أطفالا ومات أحدهما عام ١٨٧٤ وتوفى الثانى بعده مباشرة وكانا طوال حياتهما متصلين برباط نسيجى فى الصدر .

أربعة توائم متماثلة ناتجة من بويضة واحدة بعد إخصابها انقسمت مرتين مكونة أربع كتل من الخلايا الجنينية المتماثلة

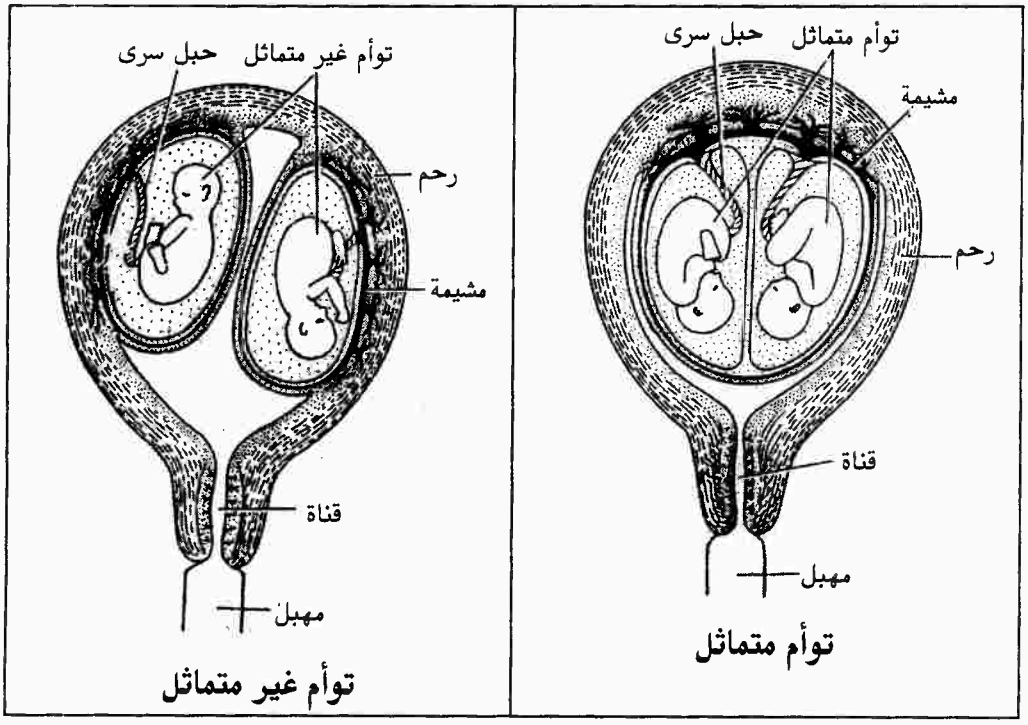
توأم ملتحم عند العقدة (سيامى)

والتوأمان المتشابهان يكونان النصفين لفرد واحد من الأصل ويعتبر الواحد مرآة للآخر ، بمعنى أنه إذا كان أحدهما أيسر فإن الآخر يكون أيمن ، وإذا كان نمو شعر أحدهما باتجاه عقارب الساعة فإن الآخر يكون بعكس عقارب الساعة . ولأن جيناتهما متشابهة تمامًا ، فإن كل الصفات الوراثية مثل الجنس ولون العيون ومجموعة الدم . . إلخ تكون متشابهة تمامًا . وفى صفات أخرى مثل الوزن والذكاء ، وهى صفات تعتمد على الوراثة والبيئة معًا ، ونجد أن التوأمان يختلفان عن بعضهما إلى حد ما يقرره اختلاف عوامل البيئة لديهما . ومتوسط الاختلاف بين الأهمية النسبية للوراثة والبيئة فى تعيين الصفة . ولذلك ترى أن التوائم المتشابهة تختلف عادة بالوزن وليس بالطول .

ـ التوائم غير المتماثلة :

ينتج هذا النوع من التوائم عن بويضتين أخصب كل منهما حيوانًا منويًا مستقلاً ، وينتج عنهما بويضتان مخصبتان تتصل كل منهما بجدار الرحم بمشيمة خاصة ، وينتج عنهما جينيان مستقلان ، ولذا فإن الصفات الوراثية لهذا النوع من التوائم تختلف كما تختلف الصفات الوراثية للأشقاء ، وقد تكون من جنس واحد أو جنسين مختلفين .

ودراسة التوائم التى تربى منفصلة عن بعضها بيئيًا أمدتنا بمعلومات مفيدة عن الدرجة التى يمكن للبيئة أن تغير الصفة الوراثية . ففى معظم المقاييس الجسمانية ، مثل القوام وطول الرأس كانت التوأئم التى عاشت بعيدة عن بعضها تشبه التوائم التى عاشت مع بعضها البعض . والفرق الوحيد كان فى الوزن . فبينما كان متوسط فرق الوزن بين أفراد ٥٠ زوجًا من التوائم المتشابهة المرباة مع بعضها البعض ٢ كجم ، كان متوسط الفرق بين ٢٠ زوجًا من التوائم المرباة منفصلة ٥ كجم . ولقد زاد متوسط الفروق فى نسبة الذكاء والنشاط المدرسى وقوة الشخصية بالتربية على الانفصال وكلما زاد ذلك كبر الفرق فى الأسس الاجتماعية والثقافية .



تطبيقات علم الوراثة

اتجه الإنسان تلقائيًا نحو تحسين السلالات الحيوانية والنباتية قبل أن يعرف علم الوراثة حيث كان يعزل الحيوانات أو النباتات الضعيفة أو المريضة ويعمل على الإكثار من أنواع السلالات وافرة الإنتاج ، واستطاع أن يحصل على سلالات نقية من الخيول والأبقار والأغنام . ومع تقدم علم الوراثة بدأ يتسع مجال الانتخاب الوراثى والتهجين للحصول على سلالات هجينة تحمل صفات مرغوبة ، ومن أبرز الأمثلة تربية الخيول العربية الأصيلة والتى اشتهرت فى أنحاء العالم ، واتجه إلى الحصول على سلالات حيوانية وافرة اللحم أو البيض أو اللبن أو الصوف ، وبالتالى اتجه علم الوراثة التطبيقى إلى رفع القيمة الإنتاجية للحيوان ونبات المحاصيل وبدأت التقنيات الحيوية فى مجال التكاثر فى الظهور وبدأ الإنسان يستخدم التلقيح الاصطناعى للحيوان حيث تستغل الذكور ذات الصفات الممتازة فى تلقيح عدد كبير من الإناث من أجل الحصول على نسل يتم انتخاب أجود صفات أفراده ، وكذلك فى عالم النبات اجريت تجارب التهجين على المحاصيل مثل الأرز والقمح والشعير واستخدمت تقنيات التلقيح الذاتى والتلقيح الخلطى وبرز مفهوم قوة الهجين الذى يجمع بين الصفات المرغوبة فى السلالات التى يتم تهجينها وأوضحت الدراسات الوراثية أن التلقيح الذاتى أو زواج الأقارب يؤدى إلى ظهور نسبة ٢٥٪ من النسل يحملون صفات متنحية غير مرغوبة إلا إذا كانت هذه السلالات نقية .

واتجهت جهود العلماء إلى مضاعفة أعداد الكروموسومات فى النبات حتى تظهر الصفات الوراثية بصورة مضاعفة ـ وبالتالى استخدمت مثيرات كيميائية أثناء الانقسام الخلوى فى خلايا القمة النامية مثل إضافة مادة الكولشسين والتى أمكن عن طريقها الحصول على نباتات ذات أعداد كروموسومية متضاعفة ٤ن ، ٨ن ، ١٦ن وكان لذلك أثره فى كبر حجم الثمار ، ورأينا ذلك فى الأسواق كالفراولة والموز .

وقد تطورت التقنيات الحيوية (البيوتكنولوجى) فى العصر الحديث تطورًا سريعًا واقتحمت زراعة الأنسجة مجال الإنتاج الزراعى حيث أصبح من السهل الحصول على سلالات نباتيى مميزة من خلايا النبات نفسه دون اللجوء إلى التلقيح والنباتات الناتجة طورة طبق الأصل من الآباء ذات الصفات المرغوبة وينتشر فى الأسواق كثير من النباتات الناتجة بهذه التقنية .

وفى مجال الدراسات البشرية أصبح من الممكن تحديد فصائل الدم وفى ساحة القضاء يمكن الحصول على أحكام بنفى البنوة استنادًا على قواعد وراثية علمية ثابتة ، كما تقدمت علوم الوراثة الطبية وأصبح من الممكن التصرف على الأمراض الوراثية التى تصيب الإنسان والعمل على تجنبها وتحديد الحالات الكروموسومية الشاذة والتى تؤدى إلى ظهور أفراد غير سوية ، ويتم معرفة ذلك الآن والأفراد فى أطوارها الجنينية الأولى ، كما أن مجال العلاج بالجينات واستخدام تقنيات الهندسة الوراثية فى إنتاج أمصال ولقاحات وهرمونات . . كل هذه النواحى البيوتكنولوجية كانت تطورًا طبيعيًا لعلم الوراثة الذى بدأه مندل وأصبحت اليوم خطاه سريعة جدًا وأصبح من الأمور المعروفة الآن الجينوم البشرى (تتابع الجينات فى السلالات البشرية المختلفة) ويأمل الإنسان أن تستمر التطبيقات العلمية لعلوم الحياة فى خدمة الإنسان وأن يسيطر الإنسان على الجانب السيئ الذى يمكن أن يكون فيه هلاك البشر .