المحاضرة الثانية

قوانين مندل في علم الوراثة:

الوراثة:

تُعرف الوراثة في علم الأحياء بأنّها عملية تناقل الصفات الجسمية بين الكائن الحي ونسله، ويكون ذلك بواسطة انتقال الشيفرة الوراثية التي يمتلكها الآباء بالمناصفة بين الأم والأب عند حدوث اتصال جنسي أو تلاحم بين الحيوان المنوي والبويضة، ويُعرف العلم الذي يهتم بدراسة عملية انتقال هذه الصفات الجسمية بين أفراد العائلة الواحدة بعلم الوراثة.

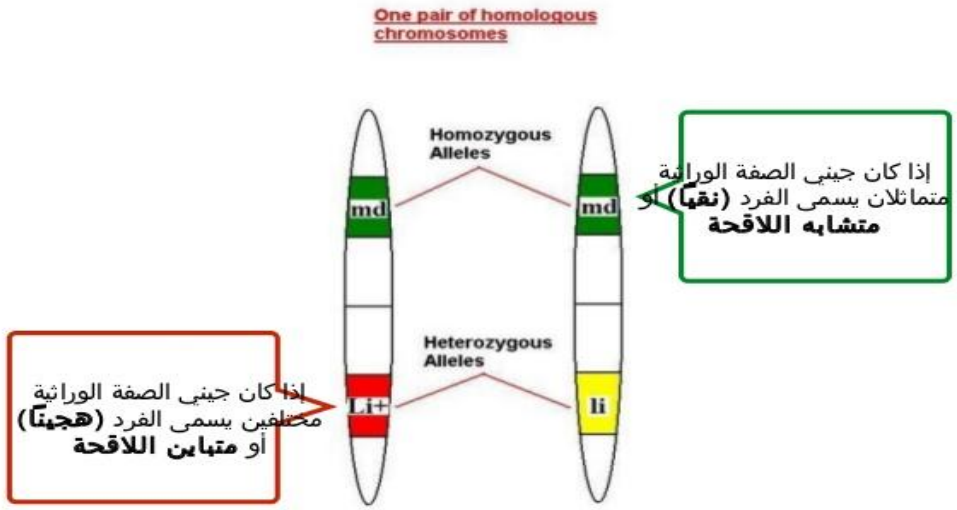
بناءً على ما فسّره علم الوراثة فإنَّ الجينات هي الأساس في تحديد الصفات الموروثة بين الأجيال؛ إذ تعّد الوحدة الأساسية في الوراثة بين الكائنات الحية، إذ تضمّ هذه المورثات بين ثناياها المادة الوراثية أو ما يسمى بالحمض النووي وهي الـ DNA، أما في الحالات النادرة أو ما يسمى بالطفرات فيسمى RNA، وخلاصة الكلام فإنه يمكننا التوصل إلى أنّ المورثات تلعب دوراً مهمّاً في تحديد الشكل والطور الذي سيكون عليه الكائن، وكذلك الأمر بالنسبة للسلوكيات، وتبدأ هذه المورثات بالانتقال بين الأجيال عبر التّكاثر.

خاصيات الوراثة

من بعض خاصيات الوراثة ما يلي:

1- **الوراثة المنفصلة وقوانين مندل:** تفسّر هذه الخاصية الوحدة الأساسية التي تقوم عليها العمليّة الوراثية؛ إذ تبدأ من الجين الذي يمنح الأجيال السمات المنفصلة، وكانت أول ملاحظة قد سُجلّت بهذا الشأن بعد أن أجريت تجربة خاصّة على يد غريغور مندل على فصل السمات الموروثة لبنات البازلاء.

في أبسط مستوياتها الأساسية، تحدث الوراثة في الكائنات الحية عن طريق سمات منفصلة تسمى الجينات. كان غريغور مندل هو أول من لاحظ هذه الخاصية من خلال دراساته لفصل السمات الموروثة في نبات البازلاء. لاحظ مندل في تجاربه التي كانت لدراسة سمة لون الأزهار أن لون كل زهرة في كل نبتة بازلاء كان أبيضا أو بنفسجيا – لكن لم يكن أبدا لونًا متوسطًا بين هذين اللونين. تسمى هذه النسخ المختلفة المنفصلة للجين الواحد الألائل. في نبات البازلاء، وهي صنف دبلوئيد Diploid (ثنائي الصيغة الصبغية)، تمتلك كُل نبتة منفردة نسختين من كُل جين (مورثة)، تأتي من كلا الوالدين. تمتلك العديد من الأصناف، منها البشر، هذا النمط من الوراثة. تُسمى الكائنات الحية التي تمتلك نسختين من نفس الأليل لجين (مورثة) واحد بمتماثلة الزيجوت في الموضع الصبغوي، بينما تُسمى الكائنات التي تمتلك أليلين مختلفين من نفس الجين بمغاير الزيجوت.



المصطلح	مثال	التعريف
صفة وراثية نقية (متماثل الجينات)	نباتات بازلاء نقية صفراء البذور طرازها الجيني YY، وأخرى خضراء البذور طرازها الجيني yy.	مخلوق حي لديه جينان متقابلان متشابهان لصفة معينة يسمى نقي الصفة الوراثية (متماثل الجينات لهذه الصفة).
صفة وراثية غيرنقية (غيرمتماثل الجينات)	نبات طرازه الجيني Yy يكوِّن نبات بازلاء أصفر البذور	مخلوق حي لديه جينان متقابلان مختلفان لصفة معينة يسمى غير نقي لتلك الصفة الوراثية (خليط الصفة، غير متماثل)، عندما تكون الجينات المتقابلة غير نقية تظهر الصفة السائدة.

تسمى مجموعة الألائل لأي كائن حي بالنمط الجيني (الطراز الوراثي)، بينما تُسمى السمات التي يمكن ملاحظتها بالنمط الظاهري (الطراز المظهري). عندما يكون الكائن مغاير الزيجوت في جين (مورث) معين، تُسمى إحدى الألائل صفة سائدة لأن خصائصها تسيد على النمط الظاهري للكائن، بينما يُسمى الأليل الآخر صفة متنحية لأن خصائصها تتنحى و لا يُمكن رؤيتها. بعض الألائل لا تمتلك صفة سائدة كاملة و تمتلك بدلاً من ذلك صفة سائدة غير تامة عن طريق تمثيلها بالنمط الظاهري المتوسط، أو بتمثيلها للصفة السائدة المشتركة عن طريق تمثيلها بأليلين اثنين في آن واحد. عندما يتكاثر زوج من الكائنات الحية جنسياً، يرث نسلهما أليل واحد من كل والد بطريقة عشوائية. تُسمى هذه الاستدلالات عن الوراثة المنفصلة وانفصال الألائل عن بعضهما **بقانون مندل الأول أو قانون الفصل.**

اللاقحة أو البويضة المخصبة أو الزيجوت (بالإنجليزية: Zygote) هي الخلية التي تنتج عن عملية الإخصاب (التلقيح) خلال عملية التكاثر الجنسي بين خليتين أحاديتي الصيغة (عادة تكون نطفة وبيضة) ليشكلا خلية ثنائية الصيغة تُدعى لاقحة.

2– التدوين والرسوم البيانية: الخرائط الوراثية النسبية تساعد في تتبع أنماط توريث الصفات. حيث يلجأ علماء الوراثة إلى الاعتماد على الرسوم البيانية والرموز الخاصة في ذلك لإطلاق الوصف على الوراثة، ويكون ذلك بالتمثيل بالأحرف والأعداد والرموز.

يُمثَّل الجين بحرف أو عدد من الأحرف القليلة، وعادة يُستخدم الرمز " + " ليرمز إلى الأليلي غير المتحول المعتاد للجين؛ لتوضيح ذلك سنتكلم عن ترميز الطوابع البرية: عندما يكون من الواضح أن طابعاً ظاهرياً أكثر تكراراً في العشيرة من الطابع الظاهري البديل له، فإن الطابع الأول عادة ما يرجع له على أنه الطابع البري. بينما يسمى الطابع الظاهري الذي تندر ملاحظته باسم الطابع الطافر، وفي هذا النظام فإن الرمز (+) يستخدم للدلالة على المورثة العادية للطابع البري، ويؤخذ الحرف الأساسي للتعبير عن المورثة من اسم الطفرة أو المظهر غير العادي.

مثال : لون الجسم الأسود في ذبابة الخل ناتج عن تحكم المورثة المتنحية (b) والطابع البري (الجسم الرمادي) ناتج عن تحكم المورثة السائدة (b^+)، إذا كان المظهر الطافر سائد فإن الرمز الأساسي يكون حرفاً كبيرا بدون إضافة، بينما نرمز لمورثة الطابع البري المتنحية الحرف الكبير نفسه مع إضافة (+) أعلاه.

وفي تجارب التربية والإخصاب (وخصوصاً عند مناقشة قوانين مندل):

يُشار إلى الوالدين بجيل " P " الحرف (P) من كلمة (Parents) للدلالة على الأبوين.

ويشار إلى الأعراس بالحرف (G) من كلمة (Gametes) للدلالة على أمشاج الأبوين.

ويشار للنسل أو الخلف (الفرع الأول) بجيل "F_1" الحرف (F_1) كلمة (Filial) وتعنى (نسل أو ذرية أو الخلف) وتستعمل للدلالة على الأبناء وهم أفراد الجيل الأول First Filial generation

وعندما يتزاوج الفرع الأول " F_1 " مع بعضهم البعض ، يُسمى الجيل الناتج (الفرع الثاني) بجيل " F_2 " ، وهم أفراد الجيل الثاني Second Filial generation.

أحد الرسومات المعروفة المستخدمة للتنبّؤ بنتائج التهجين هو مربع بانيت.

عند دراسة أمراض الإنسان الوراثية يستخدم علماء الوراثة عادةً الرسوم البيانية للأنساب ليشرحوا وراثة الصفات، هذه الرسوم البيانية توضّح خريطة الوراثة لصفةٍ ما في شجرة العائلة.

ومن أبرز الوسوم أو الرموز أيضاً:

علامات التزاوج أو التضريب X

علامة الذكر ♂ وعلامة الأنثى ♀.

عند حدوث تزاوج بين أفراد الجيل الأول لإنتاج أفراد الجيل الثانى تكون الحروف بالجيل الأول P_1 , G_1 , F_1 وفي الجيل الثاني P_2 , G_2 , F_2، وهكذا حسب الأجيال التي نحصل عليها.

3– تفاعلات الجينات المتعددة: يحتوي جسم الكائن الحي على الآلاف من الجينات الخاصة فيه التي تبدأ بالانشطار عن بعضها خلال عملية التكاثر الجنسي للكائنات الحية، إذ يطرأ بعض التعديل على هذه الجينات بين الآباء المتزاوجين فتصبح معدلة وراثياً فيكتسب الجيل الجديد صفات جديدة مختلفة بعض الشيء. طول الإنسان هو سمة مع أسباب وراثية معقدة، وتبين بيانات فرانسيس غالتون من عام 1889م العلاقة بين طول النسل بوصفها وظيفة من متوسط طول الأم، بينما تبقى الاختلافات في ارتفاع ذرية العشيرة إلى البيئة هي أيضاً عامل مهم في هذه الصفة.

تمتلك الكائنات الحية آلاف الجينات، التي تنقسم بشكل مستقل عن بعضها بعضاً أثناء عملية التكاثر الجنسي للكائنات الحية، هذا يعني بأن وراثة الأليل لبذور بازلاء خضراء أو صفراء اللون لا علاقة لها بوراثة الأليلات للورود الحمراء أو البيضاء، وتُعرف هذه الظاهرة باسم " **قانون مندل الثاني** " **أو** " **قانون الانقسام المستقل** " ، بمعنى أن هذه الأليلات من الجينات المختلفة تُعدّل وراثياً بين الآباء لتُشكّل نسل جديد بتركيبات كثيرة مختلفة، (لا تنقسم بعض الجينات بشكل مستقل، مما يدل على الارتباط الجيني).

تتفاعل عادةً الجينات (المورثات) بطرق مختلفة تؤدي إلى التأثير على نفس السمة، على سبيل المثال : جين نبات أومفالوديس فيرنا الذي يمتلك الألائل التي تتحكم بلون الزهور (أزرق أو أحمر أرجواني) لكن هناك جين آخر يتحكّم في وجود اللون على الزهور في الأساس أو يُعطي زهوراً بيضاء اللون، عندما تمتلك النبتة نسختين من هذا الأليل الأبيض، تكون الزهور بيضاء، بغضّ النظر عن امتلاك الجين الأول لألائل زرقاء أو أحمر أرجواني، يُسمى هذا التفاعل بين الجينات بتَوَقُّف الإفْراز، حيث يوقِف الجين الثاني إفراز الجين الأول.

لا تُعد العديد من الصفات الوراثية ذات سمات منفصلة (مثل : الزهور البيضاء أو الأرجوانية) بل تمتلك سمات متواصلة (مثل: طول الإنسان ولون البشرة)، تُعد هذه الصفات المعقدة نتاج العديد من الجينات. يتوسط تأثير هذه الجينات بدرجات متفاوتة من خلال البيئة التي عاشها الكائن الحي، تسمى الدرجة التي تساهم فيها جينات الكائن الحي بإحداث صفة معقدة بالتوريث. يُعد قياس التوريث لصفة واحدة أمر نسبي في بيئة أكثر تقلبية، تملك البيئة المحيطة التأثير الأكبر على الاختلاف الكلي لهذه الصفة. على سبيل المثال ، يُعد طول الإنسان صفة بمسببات معقدة. تحتوي هذه الصفة نسبة 89٪ من التوريث في الولايات المتحدة، بينما في نيجيريا، حيث يعاني الناس من صعوبة أكثر للوصول إلى التغذية الجيدة والرعاية الصحية، تمتلك صفة الطول نسبة 62٪ فقط من التوريث.

القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية :

قبل اكتشاف طبيعة الجزيئة المسؤولة عن نقل الخبر الوراثي و فهم آليات تعبيرها إلى صفات وراثية، قام العلماء بمجموعة من الأبحاث و التجارب، بهدف فهم القوانين التي تتحكم في انتقال هذه الصفات من جيل لآخر.

شكلت أعمال العالم مندل Gregor Mendel، اللبنة الأساسية التي ارتكز عليها علم الوراثة عند الكائنات الحية ثنائية الصيغة الصبغية، و ساهمت تجاربه على نبات البازلاء، في وضع قوانين إحصائية لانتقال الصفات الوراثية.

بعد العالم Mendel، ساهم علماء آخرون، من بينهم العالم Thomas Hunt Morgan، في فهم أكثر دقة للكيفية التي تنتقل خلالها الصفات الوراثية عبر الأجيال، حيث ارتكزت تجارب هذا العالم على ذبابة الخل.

وهنا لابد من التساؤل :

كيف تتم دراسة انتقال الصفات الوراثية عند الكائنات الحية ثنائية الصيغة الصبغية ؟

ما هي القوانين الإحصائية المتحكمة في انتقال الأليلات عبر الأجيال ؟

كيف تتم دراسة انتقال الصفات الوراثية عند الكائنات الحية ثنائية الصيغة الصبغية:

1- اختيار الكائنات الحية الملائمة للدراسات الوراثية

2- إنجاز التزاوجات

- منهجية دراسة الوراثة عند ثنائيات الصيغة الصبغية Diploid

كل صفة وراثية تتحكم بها مورثة معينة، هذه المورثة تكون ممثلة بأليل أو عدة أليلات مختلفة، لكن كل فرد ثنائي الصيغة الصبغية، يضم أليلين فقط لنفس المورثة، أليل ورثه من الأب، و أليل آخر ورثه من الأم. هاذان الأليلان قد يكونان متشابهان كما قد يكونان مختلفان عند نفس الفرد، مما يؤثر على كيفية تعبير هذه المورثة إلى صفة وراثية.

أولاً- اختيار الكائنات الحية الملائمة للدراسات الوراثية

على الرغم من عدم فَهمِهم الدقيق إلى كيفية تعبير الخبر الوراثي إلى صفات وراثية، عَمِل عدة علماء، من بينهم Mendel و Morgan، على وضع قوانين إحصائية تفسر كيفية انتقال هذه الصفات عبر الأجيال، و ذلك بإجراء تزاوجات بين كائنات حية ثنائية الصيغة الصبغية، و تتبع انتقال الصفات الوراثية عبر أجيالها.

ليست كل الكائنات الحية ملائمة لإجراء هذه التزاوجات، لذلك قام العلماء باختيار كائنات حية تتوفر فيها مجموعة من المعايير المحددة. وبقصد التعرف على الخصائص المفترض تواجدها في الكائنات الحية الملائمة لمثل هذه التجارب، نقترح الوثيقة التالية أدناه.

ماهي الشروط التي يجب توفرها في الكائنات الحية حتى تسهل دراسة انتقال الصفات الوراثية عبر أجيالها....

نلاحظ من خلال الوثيقة أعلاه أن هناك كائنات حية تتميز بدورة نمو طويلة (الفيل)، و كذلك هناك كائنات حية تعطي خلفاً صغير العدد (الفرس)، وهي خصائص تُصعب من عملية تتبع الصفات الوراثية. بالمقابل، هناك كائنات حية أخرى (الفئران، ذبابة الخل، الأرانب، البازلاء ...)، تتوفر فيها هذه الشروط المناسبة و هي :

وعليه لأجل انتخاب الكائن الحي المناسب للدراسات الوراثية يراعى النقاط التالية

1- دورة الحياة القصيرة

2- كثرة عدد النسل

3- سهولة الاستعمال

4- التزاوجات الموجهة

5- التغاير

6- التركيب الجديد

1– دورة الحياة القصيرة Short Life Cycle

يفضل الكائن الحي الذي ينضج بمدة قصيرة للدراسات الوراثية حيث أن قصر الفترة بين جيلين متتاليين تجعل الدراسة أسهل فالفئران اكثر فائدة من الفيلة عند دراسة الوراثة، اذ تستطيع تتبع كيفية توارث الصفات بمدة قصيرة ولعدة أجيال لان الجرذ ينضج جنسيا خلال 5-6 اسابيع ويحتاج الى 19-31 يوما يقضيها في بطن امه من مرحلة الاخصاب وتكون الزيجوت الى دورة التكامل والخروج للحياة. بينما الفيلة فإنها تصل الى فترة النضوج الجنسي خلال 8-16 سنة وتحتاج لسنتين لتصل التكامل في بطون امهاتها.

وان اهمية قصر دورة الحياة تتجلى بصورة اوضح عندما نعلم ان دورة الحياة للبكتريا والرواشح في الظروف الملائمة لاتتجاوز دقائق معدودة.

ما المقصود بدورة الحياة ؟ هي الفترة التي تتخلل حياة جيل واحد لكائن حي معين. إذا كان هذا الكائن يتكاثر بواسطة التوالد الجنسي، فدورة النمو تتميز بتعاقب مرحلتين أساسيتين و هما الانقسام الاختزالي (تشكل الأمشاج)، و الإخصاب.

ما دور الإخصاب في عملية التزاوج: هو استرداد الصيغة الصبغية الثنائية انطلاقا من التقاء الامشاج

2– كثرة عدد النسل Large Number of offspring

يؤثر عدد الأفراد المتكونة بكل جيل على امكانية التوصل للحقائق الوراثية فالتزاوجات المؤدية لتكوين افراد قليلة لايمكن ان تعطي معلومات متكاملة عن جميع الاحتمالات الوراثية، وعلى هذا الاساس تكون امكانية الوصول لحقائق مضبوطة لهذه التزاوجات بطيئة وتحتاج لزمن طويل على عكس التزاوجات المؤدية لتكوين نسل بأعداد كبيرة حيث يتم التوصل للحقائق الوراثية خلال فترة قصيرة من الزمن. كما تضمن اجراء التحصيلات الاحصائية لدعم النتائج.

3– سهولة الاستعمال Convenience of Handling

تتميز بعض الكائنات بصغر حجمها وسهولة الحصول عليها وتوفرها ورخص ثمنها وهي تكون اكثر ملائمة للدراسات الوراثية من الكائنات الحية ذات الحجوم الكبيرة والتي يصعب الحصول عليها وإذا توفرت فهي غالية الثمن. واستنادا الى ذلك فإن الدراسات الوراثية على البكتريا والرواشح والفطريات وحشرة الدروسوفلا وبعض النباتات تكون أسهل من الدراسة على الحيتان والفيلة والنخيل.

4– التزاوجات الموجهة

ان مسألة التحكم في تزاوجات الكائنات الحية للدراسات الوراثية تعتبر من الوسائل التي لايمكن الاستغناء عنها، حيث يمكن اختيار ابوين يحملان صفات معينة وإحداث التزاوج بينهما لغرض معين، ثم يراقب الباحث الصفات تحت الدراسة مراقبة دقيقة ويسجل نتائجها جيل بعد آخر، لذلك

فان التجارب الوراثية على الكائنات التي يمكن توجيه تزاوجها كحشرة الفاكهة Fruit Fly والذرة Corn والعفن الاحمر للخبز Red Bread Mold تؤلف مادة افضل للدراسة الوراثية من الانسان. فلا نستطيع الاعتماد على الدراسات الوراثية للإنسان على التزاوجات الموجهة. لذا فإننا نعتمد على طريقة تحليل السلالات (تحليل النسب) Pedigree Analysis والتي تعني تتبع صفة من الصفات في خط عائلي معين عبر اجيال ماضية ومنه تأتي النتائج. اما في الكائنات الحية الاخرى فنستطيع ان نتحكم في احداث تزاوجات متعددة ونتتبع وراثة الصفات تحت الدراسة بأجيال تكفي لبيان توارثها.

5- التغاير Variation

ان الكائن الحي المنتخب للتجارب الوراثية يجب ان يظهر عدد من الفروق والاختلافات بصفات معينة، فمثلاً لو كانت بشرة الانسان بلون واحد لكانت دراسة توارث هذه الصفة صعبة جداً وهذا ينطبق ايضاً على لون العيون ولون الازهار وشكل البذور وطبيعة الاوراق وغيرها من صفات الكائن الحي وكلما توفر عدد كبير من التغيرات المستمرة، كلما ازدادت اهمية هذا الكائن للدراسات الوراثية.

6- التركيب الجديد Recombination

تصبح التحليلات الوراثية اكثر سهولة وسرعة في كائن ما، اذا ما امتلك الوسائل الفعالة لتجميع او تركيب صفات معينة يوجد قسم منها في احد الابوين ويوجد القسم الاخر في الاب الثاني. ومثل هذا التجميع او التركيب لزوج او عدة ازواج من الصفات يتيح الفرصة للمحلل الوراثي ان يقارن تعبير احد الجينات لصفة معينة وتعبير الجين البديل المتعلق بنفس الصفة كمقارنة صفة الطول بالقصر او التلوين وعدم التلوين للأزهار او اللون البني او الازرق في عيون الانسان عند توارثها لأجيال متعاقبة.

ويحدث التجميع لكثير من الكائنات الحية الراقية كنتيجة للتكاثر الجنسي Sexual Reproduction الذي تتحد فيه خليتان جنسيتان تابعتان لأبوين مختلفين لتكوين الزيجوت Zygote وتعتبر العملية الجنسية من خصائص الاحياء الراقية، وقد تحدث في كثير من الاحياء الرئيسية Lower organisms فقد تحدث في الرواشح والبكتريا كالاقتران Conjugation والتنقل Transduction مما يؤدي الى تجميع او تركيب جديد.

7- يجب أن تكون هذه الكائنات الحية ولودة، حتى تكون الدراسة الإحصائية ذات مصداقية أكبر.

ثانياً: إنجاز التزاوجات

يتم إنجاز التزاوجات بين كائنات حية من نفس النوع و تختلف فيما بينها بصفة واحدة أو أكثر، كما يجب على أليلات الأبوين (P)، أن تكون معروفة مسبقا لتفسير كيفية تعبيرها، لهذا تبتدأ التزاوجات غالبا بأفراد ينتمون إلى سلالة نقية، بحيث يكون كل فرد حاملا لأليلين متشابهين، يعبران عن مظهره الخارجي. يكون الأفراد من **سلالة نقية** بالنسبة لصفة معينة، عندما تنتقل هذه الأخيرة عبر عدة أجيال دون تغيير.

مندل مؤسس علم الوراثة:

يعتبر علم الوراثة من العلوم التي ظهرت ونمت وتطورت مؤخراً، حيث يهتم هذا العلم بدراسة الآليّة التي يتم بها توريث الصفات، ودراسة الاختلاف والتشابه بين الأفراد بالإضافة إلى فهم كيفيّة انتقال الصفات في الكائنات الحيّة عبر الأجيال المتعاقبة.

ويعتبر جريجور مندل أول من وضع أساسيّات علم الوراثة (واضع حجر الأساس في علم الوراثة)؛ فهو من توصل إلى أهم النتائج التي فسرت هذا العلم، وذلك من خلال إجرائه تجارب عديدة على نبات البازيلاء لاستنتاج كيفية انتقال الصفات الوراثية من جيل لآخر، فكان يزرع نبات البازيلاء في حديقة المنزل الذي يعيش فيه ليصل إلى الطريقة التي تنتقل فيها الصفات الوراثيّة من الآباء إلى الأبناء، وفي عام 1866م تمكن من تفسير جميع النتائج التي خرج بها خلال سنواته السابقة، إلا أنّ هذه النتائج لم تحظى بأي اهتمام حتى أوائل عام 1900م، ومن الجدير بالذكر أنّ كلّ تجارب مندل تمّت دون استخدام أي نوع من الصبغات (المواد الصبغية)، إذ إنّها لم تكن معروفة في ذاك الوقت، كما أنه لم يعتمد في تفسير نتائجه على انقسامات الخلية، إذ إنها لم تكن معروفة بعد.

تجارب مندل في علم الوراثة

قام مندل بالعديد من التجارب التي ساعدته في التوصل إلى نتائجه، وكان ذلك عن طريق اتباع المنهج العلمي في البحث والتجريب، **ويمكن توضيح تجارب مندل الوراثيّة كما يأتي:**

– زرع بعض بذور البازيلاء التي تمتلك أزهاراً أرجوانية، وتركها تتلقح ذاتياً فحصل على بذور جديدة نقية الصفات (سلاسة نقيّة).

عمل التلقيح المختلط، ويكون ذلك بنقل المتك الخاص بالأزهار الأرجوانية إلى الميسم الخاص بزهور البازيلاء البيضاء، ثمّ بالخطوة ذاتها بشكل عكسي، أي نقل متك الأزهار البيضاء إلى ميسم الأزهار الأرجوانية، حيث أُطلق على هذه النباتات اسم الآباء ورمز لهم بالحرف (P).

أعاد زراعة البذور الناتجة عن الخطوة السابقة من التجربة، وعندما كبرت لاحظ بأن النباتات الناتجة كانت جميع أزهارها أرجوانية، وسماها "الجيل الأول"، وأعطاها الرمز (F_1).

زرع البذور الخاصة بالجيل الأول الناتجة من التجربة السابقة، وتركها تتلقح ذاتياً، وذلك للإجابة على سؤاله: أين ذهبت صفة اللون الأبيض؟ وليتمكن من تفسير اختفاء اللون الأبيض وعدم ظهوره، وكانت النتيجة التي حصلت أنّ ثلاثة أرباع الجيل الجديد الثاني لها أزهار أرجوانيّة، والربع المتبقي كان له أزهار بيضاء، ويشار إلى أنّ مندل أُطلق على هذه النباتات اسم (الجيل الثاني) (F_2).

– أعاد الخطوات السابقة وكررها مرات عديدة لدراسة صفات أخرى؛ مثل: لون القرون، وطول الساق، ولون البذور، وكانت النتائج في كل مرة مشابهة لتلك الناتجة في لون الأزهار، إذ كان الجيل الأول يأخذ صفة أحد الأبوين، والجيل الثاني تظهر فيه الصفتان بنسب مختلفة، وكانت تظهر في الجيل الأول صفات أحد الأبوين، وتختفي في الجيل الثاني، وبذلك أطلق على الصفة الظاهرة في الجيل الأول الصفة السائدة، والأخرى التي لم تظهر سماها الصفة المتنحية.

تفسير مندل لنتائج تجاربه

1– يرتكز اكتساب أزهار البازيلاء للونين الأرجواني والأبيض على بعض العوامل الداخليّة، أي تتحدد الصفات المكتسبة للأجيال الناتجة على بعض العوامل الداخلية، وأطلق عليها مندل اسم العوامل الوراثيّة، وهي ما تسمى بالجينات المحمولة على الكروموسومات حسب العلم الحديث.

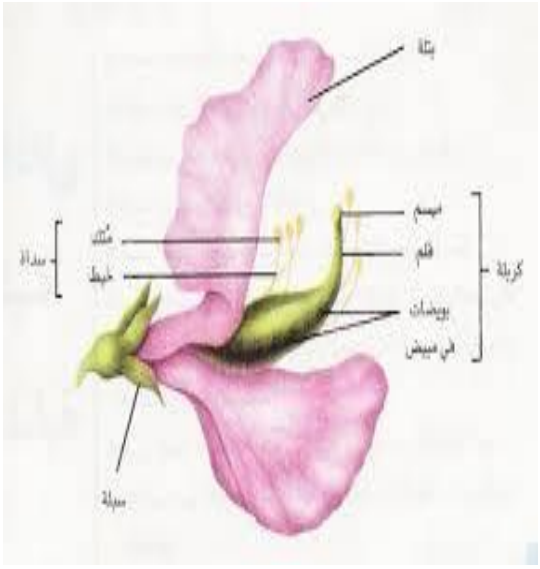
2– تحدد الصفة الوراثيّة بالاعتماد على عاملين وراثيين (جينين اثنين) يوجدان على الزوج الصبغي المتماثل، ويرمز للعامل السائد بإشارة كبيرة، بينما المتنحي يرمز له بإشارة صغيرة، وعندما يتشابه الجينان في صفة ما يقال إنّ الصفة متماثلة الجينات أي نقيّة، وعند اختلافهما يمكن القول إنّ الصفة غير متماثلة الجينات أي غير نقيّة.

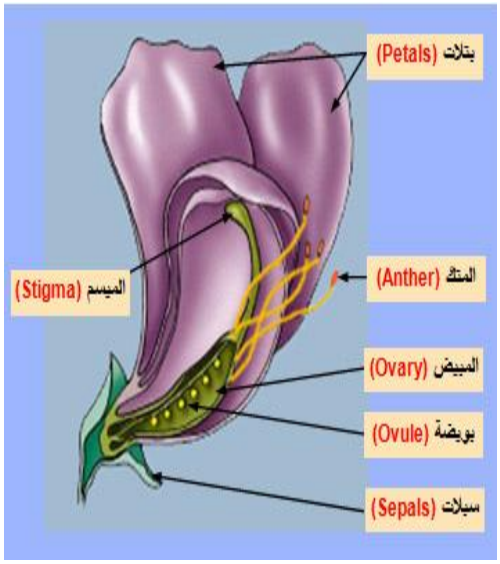
3– يبدأ انفصال العوامل الوراثية عن بعضها البعض، مع بدء مرحلة إنتاج الجاميطات.

أسباب اختيار مندل لنبات البازيلاء Pisum sativum **في تجاربه:**

يشار إلى أنّ العالم مندل اختار نبتة البازيلاء ليجري عليها كافة تجاربه لعدة أسباب منها:

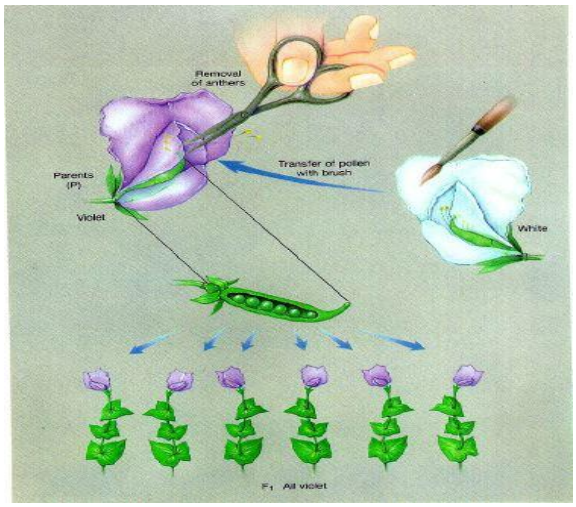
1– إنّ هذه النبتة تمتلك أزهاراً خنثى، تحمل الزهرة على أعضاء التأنيث وأعضاء التذكير، حيث أن هذا التركيب يتيح إجراء عمليّتي التلقيح الذاتي Self-pollination، عن طريق تغطية الأزهار بأكياس من الحرير، وبالتالي عدم تلقيحها بلقاح من زهرة أخرى. وذلك يضمن إمكانية الحصول على بذور الجيل الثاني من نفس النوع..... كما يتيح إجراء عمليّة التّلقيح الخلطيّ أو الصناعي Cross-pollination، حيث يمكن نزع أو إزالة الأعضاء الذكرية (المتك) قبل تفتح الزهرة (استخلاص الأعضاء المذكرة من الزهرة وتحويلها إلى زهرة مؤنثة أي عملية خصي الأزهار)، ثم يوضع على ميسمها حبوب لقاح من نبات آخر وذلك اما بتزويدِ مَيْسمِ الزهرة بحبيبات اللُقاح التي ينقُلُها الهواء أو بحبوب لقاح من نبات آخر باستخدامِ ريشةِ ألوان. وذلك كله يُسهل إجراء التهجينات بين الأنواع المختلفة.

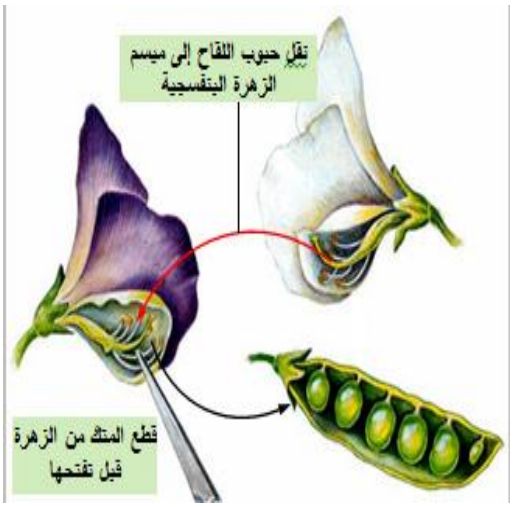




شكل (1) قطاع طولي يوضح تركيب زهرة نبات البازلاء

و التهجين Hybridization: هو التزاوج بين صنفين أو نوعين أو جنسين يختلفان عن بعضهما البعض في التركيب الوراثي، أوهو خلط العوامل الوراثية لنباتين مختلفين عن بعضهما بالتركيب الوراثي بهدف الحصول على نسل جديد يحوي التركيب الوراثي لكلا الأبوين.

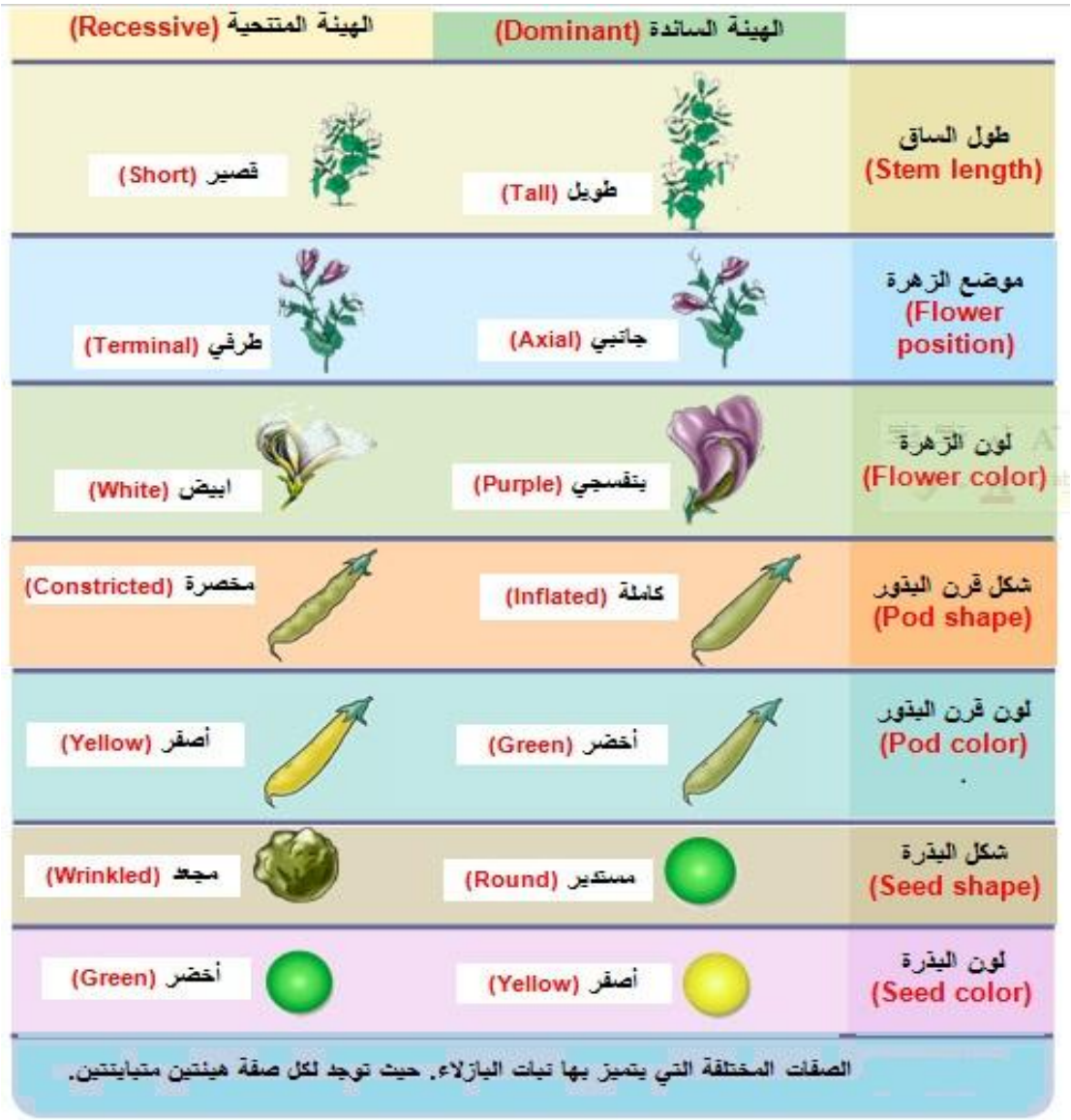




شكل (2) طريقة إجراء التهجين، حيث يتم نزع المتك من الزهرة ذات اللون البنفسجي قبل تفتحها ثم تلقح بحبوب لقاح من الزهرة البيضاء.

2– وجود سلالات عديدة من نبات البازلاء مختلفة في صفاتها وتنتج افراداً مشابهة لها.

3– كما أنَّ نبتة البازيلاء لها مجموعةٌ من الصفات الوراثيّة المُتضادّة المتقابلة المختلفة عن بعضها البعض، ولكل صفة هيئتين يسهل تمييزهما وملاحظتُهما بسهولةٍ ويسر؛ مثلاً من المُمكن أنْ تكونَ النبتة طويلةً، أو قصيرة الساق، وكذلك بالنّسبة لبذورها قد تكون مجعّدة، أو مَلساءَ، موقع الزهرة محوري أو قمي. الشكل(3) .



شكل (3) يوضح الصفات الوراثيّة المُتضادّة المتقابلة المختلفة لنبتة بازيلاء الزهور والتي درسها مندل

استقر رأي مندل على دراسة سبع صفات، لكل منها هيئتين، في سلسلتين من التجارب تعرف إحداهما بالتهجينات الأحادية (Monohybrid crosses) والأخرى بالتهجينات الثنائية (Dihybrid crosses).

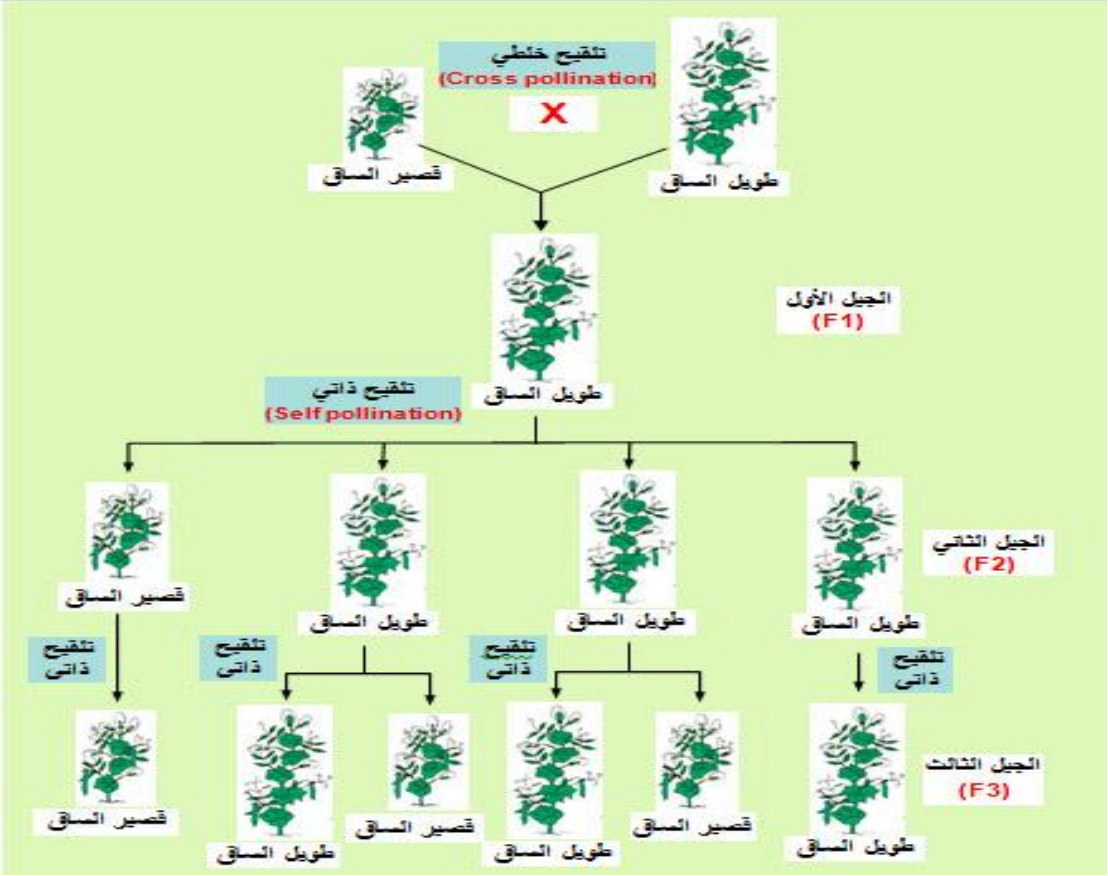
4- كما أنَّ قصرَ دورةِ حياة نبات البازيلاء حيث ينمو النبات وينضج خلال موسم نمو واحد، بالإضافة لسهولةَ زراعتِها وجمعِ بذورها شجَّع مندل على استخدامِها في تجارُبه للحصول على نتائجِ بحثٍ سريعة.

إنَّ جميعَ المميّزات السابقة لنبتة البازيلاء أدَّت إلى ملاحظة طرق تناقل الصفات الوراثيّة بين الأجيال المختلفة و اكتشافها، فوضع مندل قانونين مهمّين لوصف هذه الصفات وأساليب تناقلها هما: القانون الأول "قانون الفصل (الانعزال) "، والقانون الثاني " قانون التوزيع الحرّ (التوزيع المستقل)".

التهجينات الأحادية (Monohybrid crosses)

وهي تعني إجراء تلقيح بين أبوين يختلفان في هيئتي صفة واحدة وملاحظة نتيجة هذا التلقيح. وقد قام مندل في أحد تهجيناته الأحادية بتلقيح بين نبات بازلاء طويل الساق نقي، ونبات قصير الساق نقي. والمقصود بكلمة نقي (Homozygous) أن النبات طويل الساق يعطي نباتات طويلة الساق دائماً وأبداً كنتيجة لعملية التلقيح الذاتي. كما أن النبات قصير الساق يعطي نباتات قصيرة الساق دائماً وأبداً كنتيجة لعملية التلقيح الذاتي. ويقصد بالتلقيح الذاتي (Self-pollination) انتقال حبوب اللقاح من أعضاء التذكير في الزهرة إلى البويضات أعضاء التأنيث في نفس الزهرة حتى الحصول على صفات نقية في هذه النباتات. أما التلقيح الخلطي (Cross-pollination) فيقصد به انتقال حبوب لقاح من أعضاء تذكير في زهرة (متك زهرة أحد النباتات) إلى أعضاء التأنيث في زهرة أخرى (ميسم زهرة نبات آخر)، بين السلالات النقية التي تحمل صفات متضادة..... في هذه التجربة أخذ مندل حبوب اللقاح من الأب طويل الساق ووضعها على ميسم زهور النبات قصير الساق، بعد أن قام بقطع متك النبات قصير الساق في بداية تكوينها لئلا تتم عملية التلقيح الذاتي. ثم قام بتغطية الزهور ليمنع تلقيحها بحبوب لقاح غير معروفة. ثم أخذ البذور الناتجة من هذا التلقيح الخلطي وأنبتها، وقد وجد أن جميع النباتات الناتجة من هذه البذور طويلة الساق وأسماها بالجيل الأول (The first generation). والذي رمز له بالرمز (F_1). ثم قام بعملية التلقيح الذاتي لنباتات الجيل الأول بعد تغطية الزهور، وتجميع البذور الناتجة من هذا التلقيح، وإنباتها. وقد وجد أن نباتات الجيل الثاني (F_2) تتضمن 787 نباتاً طويلاً، و277 نباتاً قصيراً، أي بنسبة 3 طويل إلى 1 قصير. ثم قام بإنبات بذور الجيل الثاني، بعد تغطية الزهور للقيام بعملية التلقيح الذاتي، فوجد أن جميع النباتات القصيرة أدت إلى إنتاج نباتات قصيرة. بينما وجد أن النباتات طويلة الساق أدى بعضها إلى إنتاج نباتات طويلة الساق، والبعض الآخر أدى إلى إنتاج نباتات طويلة الساق ونباتات قصيرة الساق كنسبة 3 طويل : 1 قصير كما في الشكل (4). قام مندل بعد ذلك بإعادة التجربة السابقة باستعمال صفات أخرى، حيث يحمل أحد الآباء إحدى هيئتي الصفة والأب الآخر يحمل الهيئة الأخرى للصفة. (بنفسجي الأزهار X ابيض الأزهار مثلاً). وقد وجد دائماً أن أفراد الجيل الأول يحملون هيئة أحد الآباء، وأن أفراد الجيل الثاني يحمل بعضهم هيئة أحد الآباء، والبعض الآخر يحمل هيئة الأب الآخر بنسبة 3 : 1 تقريباً، كما في الجدول (1). بناءً على ذلك اعتبر مندل أن الهيئة التي تظهر في الجيل الأول هيئة سائدة (Dominant)، والهيئة الأخرى متنحية (Recessive). كما وجد أنه يحصل على نفس النتائج لو عكس نوع الآباء. أي بأخذ حبوب اللقاح من نبات قصير ووضعها على ميسم نبات طويل الساق أثناء تلقيحاته الخلطية. وبناءً على ذلك اقترح مندل أن حبوب اللقاح الآتية من أب طويل الساق يحتوي كل منها على عنصر

(Element) الطول ورمز له بالحرف (T). كما تحتوي كل بويضة على عنصر القصر ورمز له بالحرف (t). أي أن الهيئة السائدة رمز لها بالحرف الأول من الكلمة المعبرة عن الهيئة (الطويل مثلاً في الإنجليزية معناه (Tall) ويكتب الحرف الأول بالصورة الكبيرة (Capital)، ورمز للهيئة المتنحية بنفس الحرف الذي رمز به للهيئة السائدة لكنه يكتب بالصورة الصغيرة (Small).

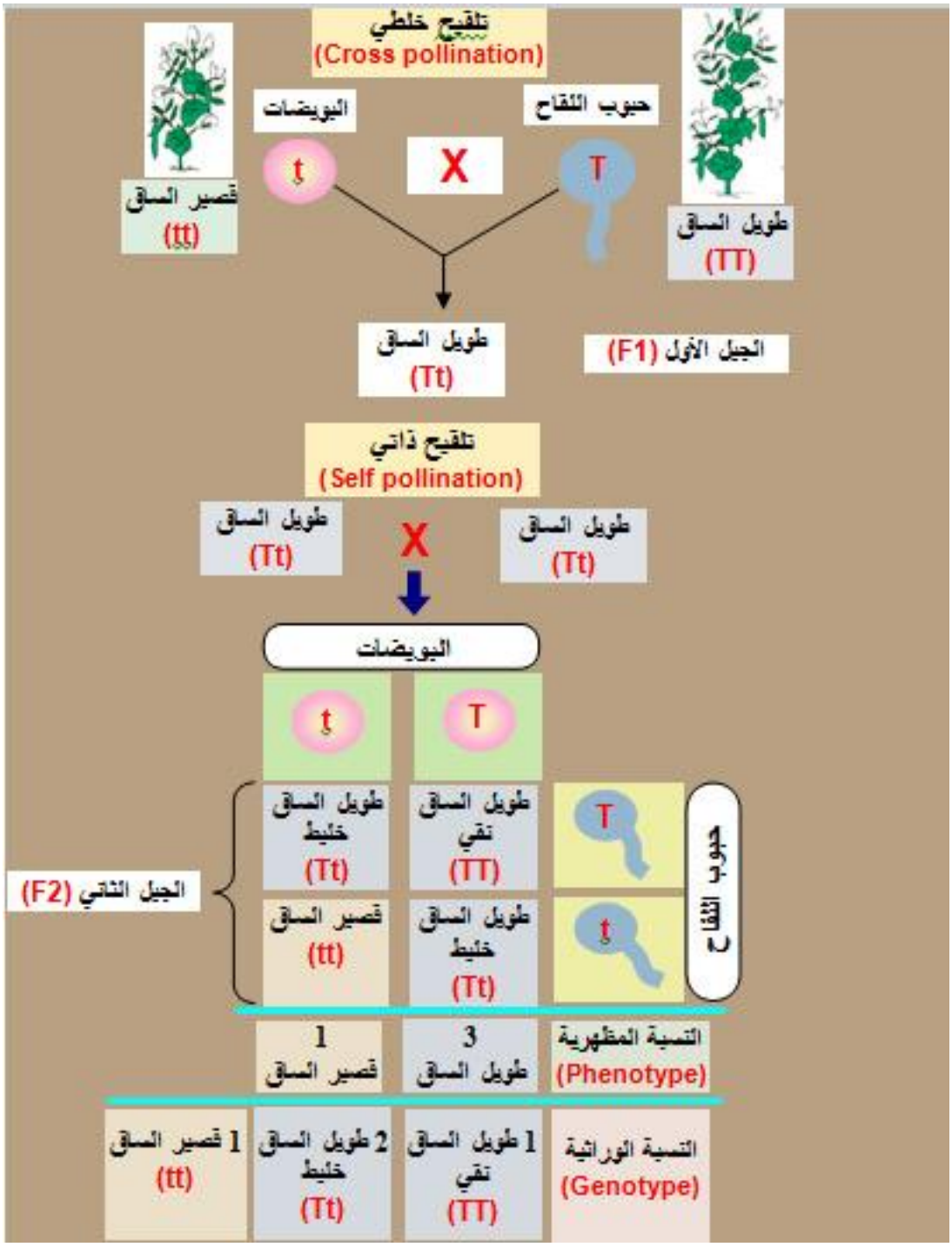


شكل (4): إحدى تجارب مندل على التهجينات الأحادية. حيث قام مندل بالتلقيح الخلطي بين نبات طويل الساق ونبات قصير الساق، وتلاه بتلقيحات ذاتية للجيل الاول والثاني.

جدول (1): نتائج مندل على التهجينات الاحادية

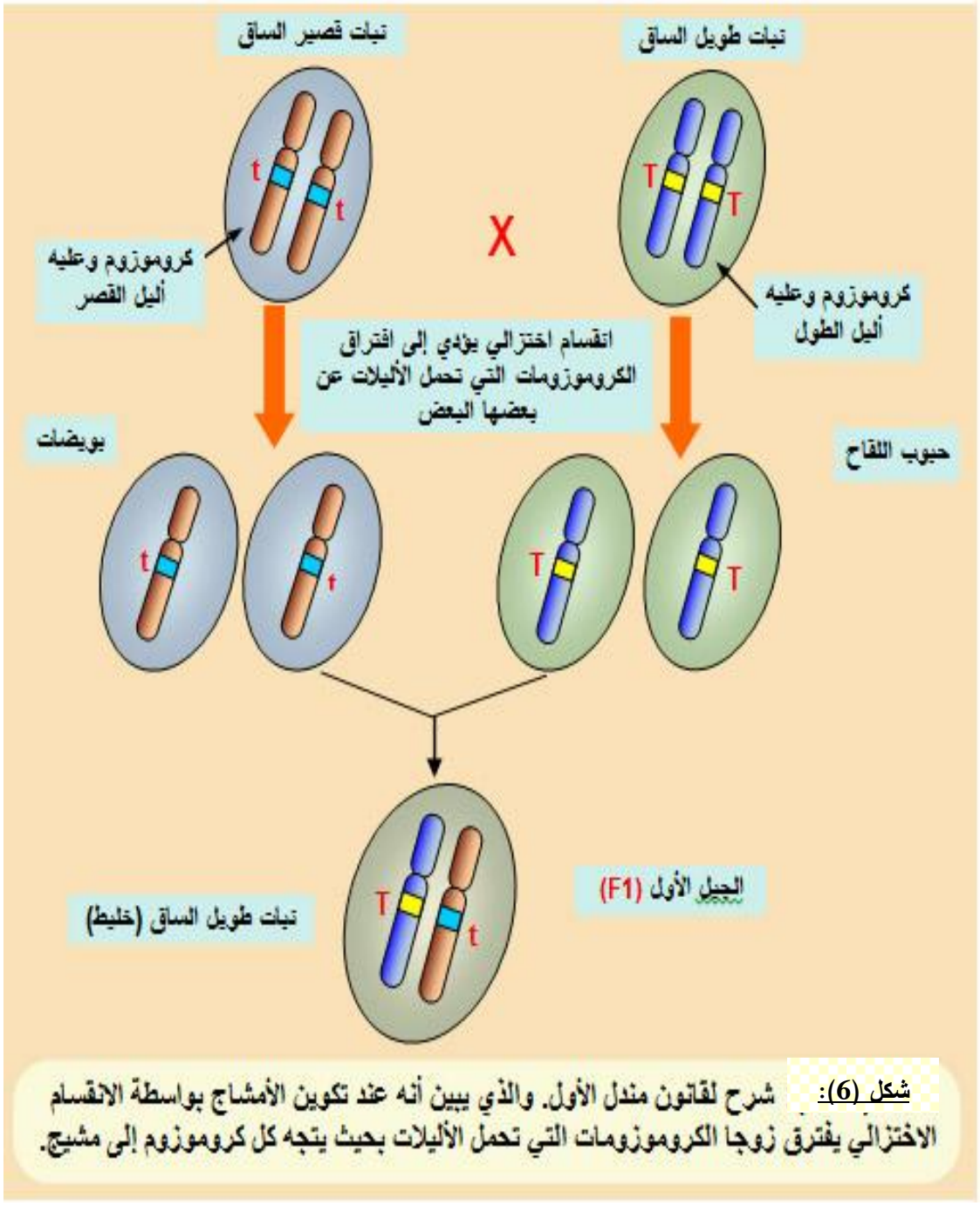
السائد X المتنحي	عدد السائد	عدد المتنحي	المجموع	النسبة
بذور مستديرة X بذور مجعدة	5474	1850	7324	1 : 2.96
بذور صفراء X بذور خضراء	6022	2001	8023	1 : 3.01
أزهار بنفسجية X أزهار بيضاء	705	224	929	1 : 3.15
قرون كاملة X قرون مخصرة	882	299	1181	1 : 2.95
قرون خضراء X قرون صفراء	428	152	580	1 : 2.82
أزهار جانبية X أزهار طرفية	651	207	858	1 : 3.14
ساق طويل X ساق قصير	787	277	1064	1 : 2.84

بناءً على هذه المقترحات، نجد أن النبات طويل الساق يحمل عنصري الطول (TT)، كما أن النبات قصير الساق يحمل عنصري القصر (tt). وعندما يحمل النبات عنصراً واحداً للطول وآخراً للقصر (Tt) فإنه يكون طويلاً، لأن عنصر الطول يسود عنصر القصر. أما حبوب اللقاح أو البيض فيحمل عنصراً واحداً فقط (T) أو (t)، ويمكننا الآن التعبير بالطريقة الرمزية عن التجربة السابقة بناءً على التفسيرات التي وضعها مندل كما في الشكل (5).

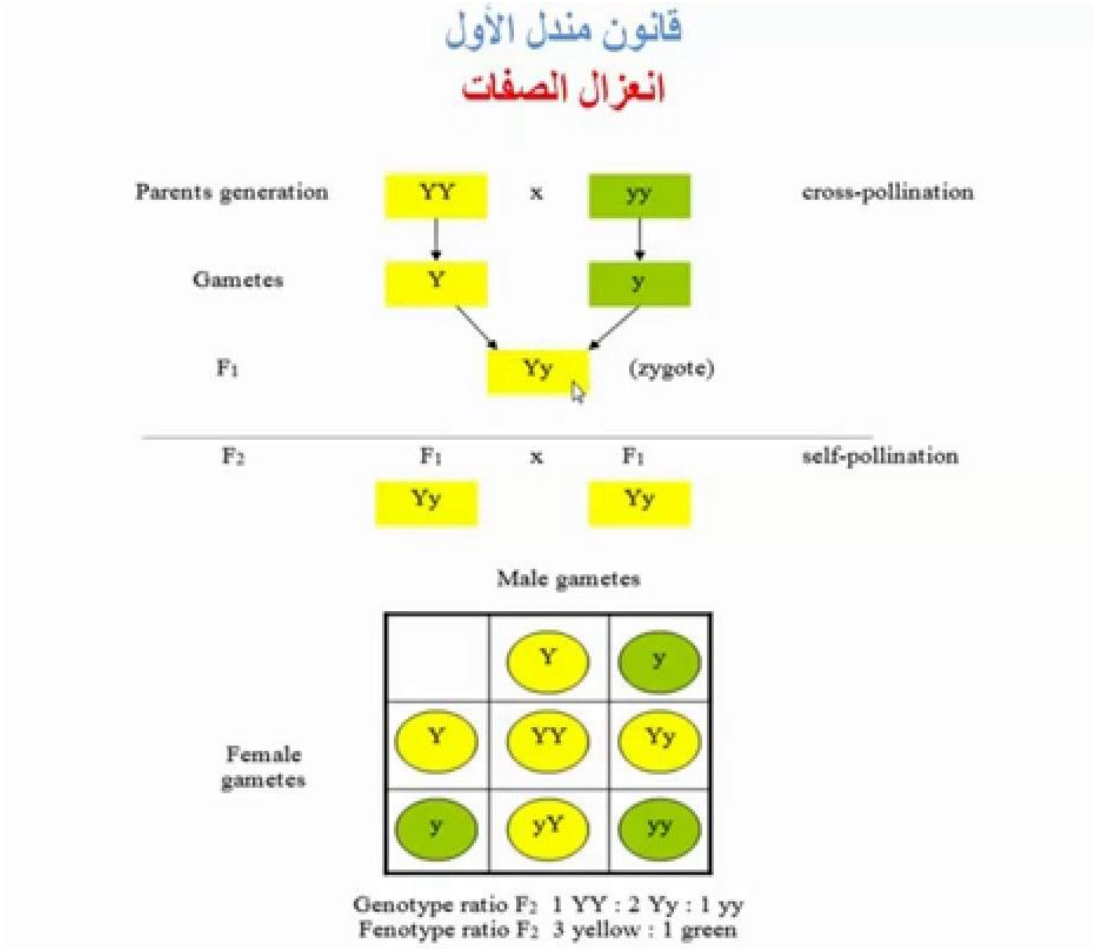


شكل (5): التعبير بالطريقة الرمزية لنتائج التهجين الاحادي بين نبات طويل الساق ونبات قصير الساق في تجارب مندل

أدت النتائج التي حصل عليها مندل من تهجيناته الأحادية والتفسيرات التي قدمها لتلك النتائج إلى اكتشافه للقانون الأول من قوانين علم الوراثة، والذي يعرف بقانون الافتراق (Law of segregation). ونص هذا القانون هو على النحو التالي: كل صفة من صفات الكائنات الحية تحت سيطرة زوج واحد من الأليلات التي تفترق حين تكوين الأمشاج. بحيث يوجد أليل واحد فقط في المشيج. بعد وفاة مندل بسنين وجد العلماء أن الجينات، وبالتالي الأليلات، تقع على الكروموزومات. وعلى ضوء معرفتنا لهذه الحقيقة يمكن توضيح نتائج التهجينات الأحادية وقانون الافتراق كما في الشكل (6).



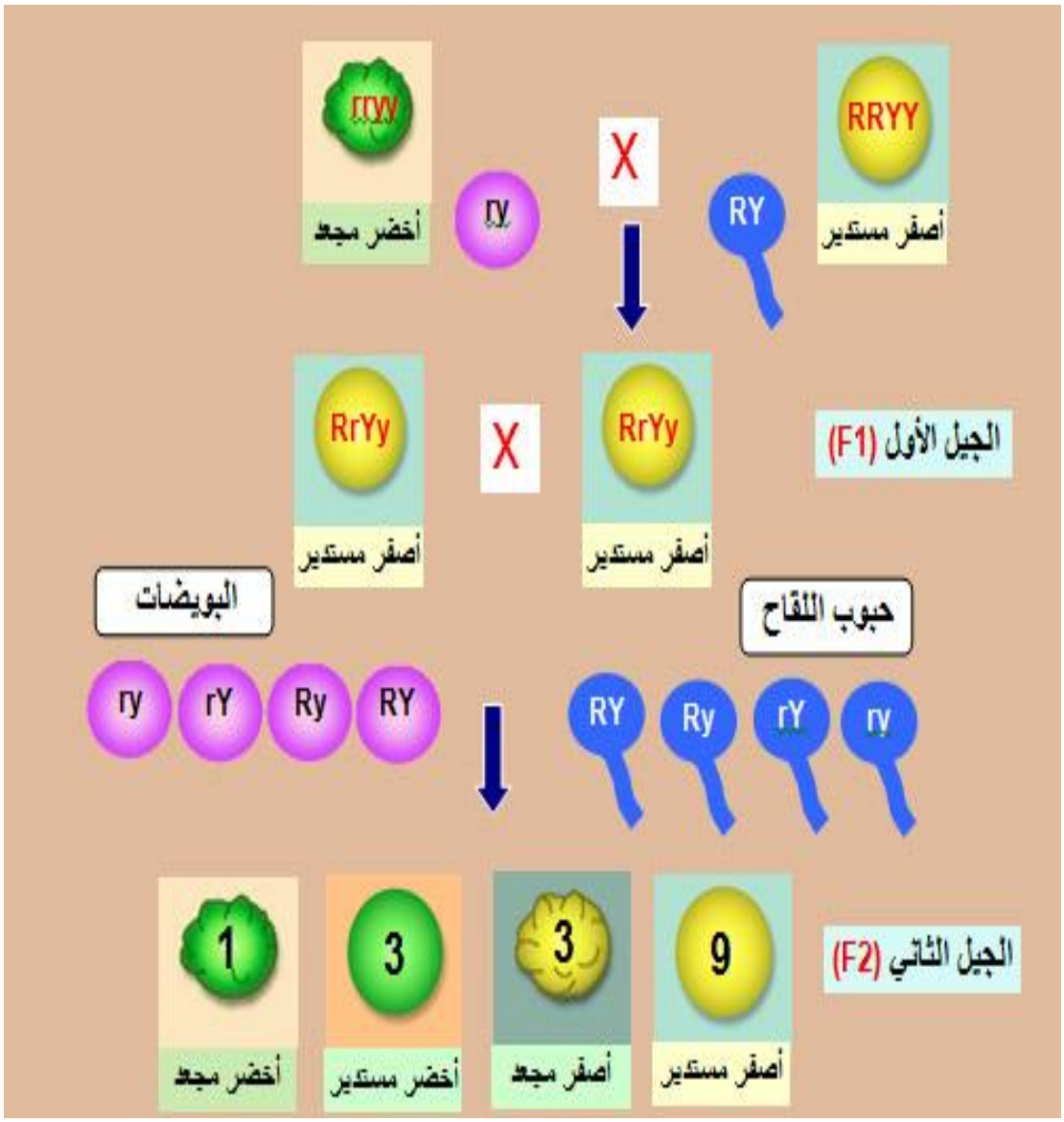
شكل (6): شرح لقانون مندل الأول. والذي يبين أنه عند تكوين الأمشاج بواسطة الانقسام الاختزالي يفترق زوجا الكروموزومات التي تحمل الأليلات بحيث يتجه كل كروموزوم إلى مشيج.



التهجينات الثنائية (Dihybrid crosses)

بعد أن انتهى مندل من تهجيناته الأحادية، قام بسلسلة أخرى من التهجينات على نبات البازلاء، وهي التهجينات الثنائية (Dihybrid crosses). وفي هذا النوع من التهجينات قام بدراسة وراثة صفتين مختلفتين في آن واحد بدلاً من صفة واحدة فقط كما في التهجينات الأحادية. وكان من ضمن دراساته هذه أن قام بتلقيح نبات ذو بذور صفراء مستديرة، بنبات ذو بذور خضراء مجعدة. مع العلم بأن كلا النباتين كانا في الحالة النقية بالنسبة للصفتين.

وبعد فحص النتائج، وجد مندل أن أفراد الجيل الأول كلهم ذوي بذور صفراء مستديرة. مما يدل على أن اللون الأصفر والاستدارة يسودان اللون الأخضر والتجعيد قام مندل بعد ذلك بتلقيح ذاتي بين أفراد الجيل الأول ووجد النتيجة الموضحة في الشكل (7) والجدول (2).



شكل (7): يبين نتيجة التلقيح بين بازلاء ذات بذور صفراء مستديرة نقية RRYY وبازلاء ذات بذور خضراء مجعدة نقية rryy في احدى تجارب مندل للتهجينات الثنائية.

جدول (2): عدد ونسب أفراد الجيل الثاني الناتجة من التلقيح بين أفراد الجيل الأول

الهيئة	عدد الأفراد	النسبة
أصفر مستدير البذور	315	9
أصفر مجعد البذور	101	3
أخضر مستدير البذور	108	3
أخضر مجعد البذور	22	1

بالنظر إلى أفراد الجيل الثاني في المثال السابق، نلاحظ أن هناك أنواعاً جديدة تختلف عن الآباء والأجداد.

وهذه النتائج أدت إلى اكتشاف مندل للقانون الثاني من قوانين علم الوراثة، والذي يسمى بقانون التوزيع المستقل (Law of independent assortment).

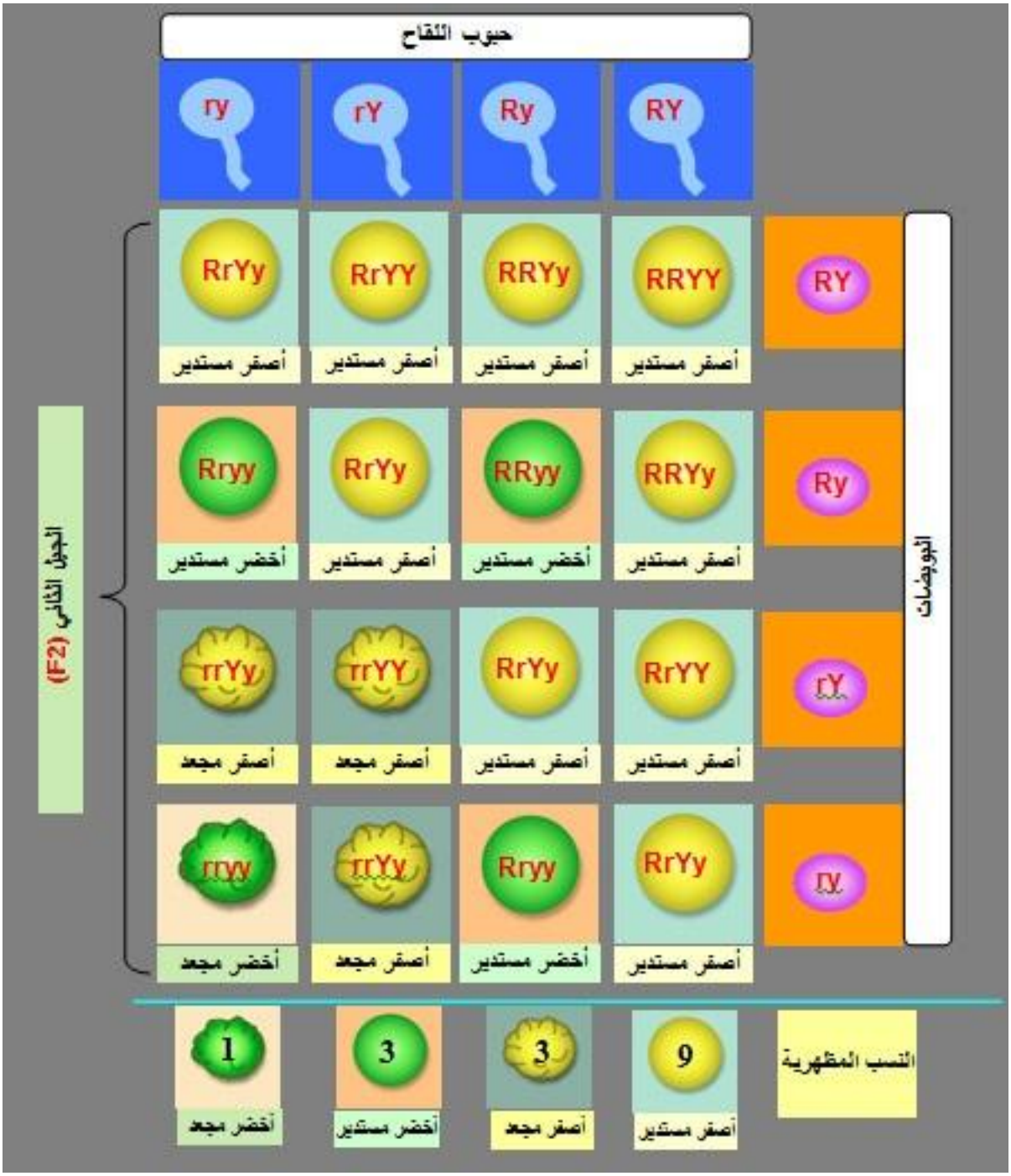
ونصه على النحو التالي: توزع العوامل (الأليلات) حين تكوين الأمشاج بحرية تامة كما لو كانت غير مرتبطة ببعضها البعض. ينشأ من ذلك التوزيع المستقل أنواعاً جديدة من الذرية، تختلف عن الآباء في الجيل الثاني.

ويمكن شرح هذا القانون على أساس أنه لو كانت الأليلات مرتبطة مع بعضها البعض، فإنه سوف ينشأ نوعين فقط من الأمشاج هما: (RY) و (ry)، والتي تؤدي إلى إنتاج ذرية شبيهة بالأبوين. أما لو كانت غير مرتبطة في توزيعها على الأمشاج حين تكوينها فإن ذلك يؤدي إلى تكوين أربعة أنواع من الأمشاج هي الأصفر المستدير (RY)، الأصفر المجعد (rY)، الأخضر المستدير (Ry) والأخضر المجعد (ry).

ويمكن توضيح ذلك في الشكل (8). **لو كان الأليلان مرتبطان:**

شكل (8): نتيجة التلقيح بين نبات بازلاء ذو بذور صفراء مستديرة بنبات بازلاء ذو بذور خضراء مجعدة فيما لو كانت الأليلات مرتبطة ببعضها البعض

أما لو كان الأليلان غير مرتبطان فيمكن شرح هذه النتائج بالطريقة الرمزية عن طريق مربع بانت (Punnet's square) كما في شكل (9). حيث نفرض أن النوع الوراثي للنباتات ذات البذور الصفراء المستديرة هو (RRYY)، وأن النوع الوراثي للنباتات ذات البذور الخضراء المجعدة هو (rryy).



شكل (9): مربع بانت يبين النسبة بين أفراد الجيل الثاني في إحدى نتائج مندل للتهجينات الثنائية:

(RrYy × RrYy)

ما هي القوانين الإحصائية المتحكمة في انتقال الأليلات عبر الأجيال ؟ قوانين مندل

هي ثلاثة قوانين أساسية تهم علم الوراثة، وضعها عالم النباتات مندل. أجرى مندل تجاربه على نبات البازلاء، بإنجاز تزاوجات بين نباتات بازلاء تختلف في مجموعة من الصفات، كشكل البذور و لونها، لون الأوراق التويجية، طول النبات... الخ.

1)– قانون مندل الأول: قانون الانعزال أو قانون تجانس الهجناء أو قانون تشابه هجن F_1 أو قانون السيادة أو مايسمى بالهجونة الأحادية:

1– يعطي تزاوج فردين ينتميان لسلالتين نقيتين يختلفان بصفة واحدة، جيلاً F_1، جميع أفراده متجانسون (لهم نفس المظهر الخارجي) و هجناء (مختلفو الاقتران)، بمعنى أنه في حالة تجانس أفراد الجيل الأول F_1 فالأبوين من سلالة نقية. يفيد هذا القانون في استنتاج النمط الوراثي للأبوين من خلال المظهر الخارجي للنسل أو العكس.

2– تكون جميع أفراد الجيل الأول (النسل F_1) من نمط واحد وذلك خلال تهجين أشكال أبوية متشابهة اللواقح. (مثال: aa × AA تعطي Aa).

3– ينفصل كل زوج من الجينات (القرائن المورثية المتقابلة) بعضها عن بعض انفصالاً متكاملاً وذلك أثناء الانقسام الاختزالي أي عند تشكل الأعراس لتعود وتتحد ثانية في الأبناء (مثال: إذا كان لدينا النمط الوراثي Gg ينفصل القرين G المتوضع على صبغي عن قرينه g المتوضع على الصبغي المقابل خلال الانقسام الاختزالي). بحيث يحتوي نصف عدد الأمشاج الناتجة على جين واحد من كل زوج من الجينات ويحتوي النصف الآخر على الجين الآخر.

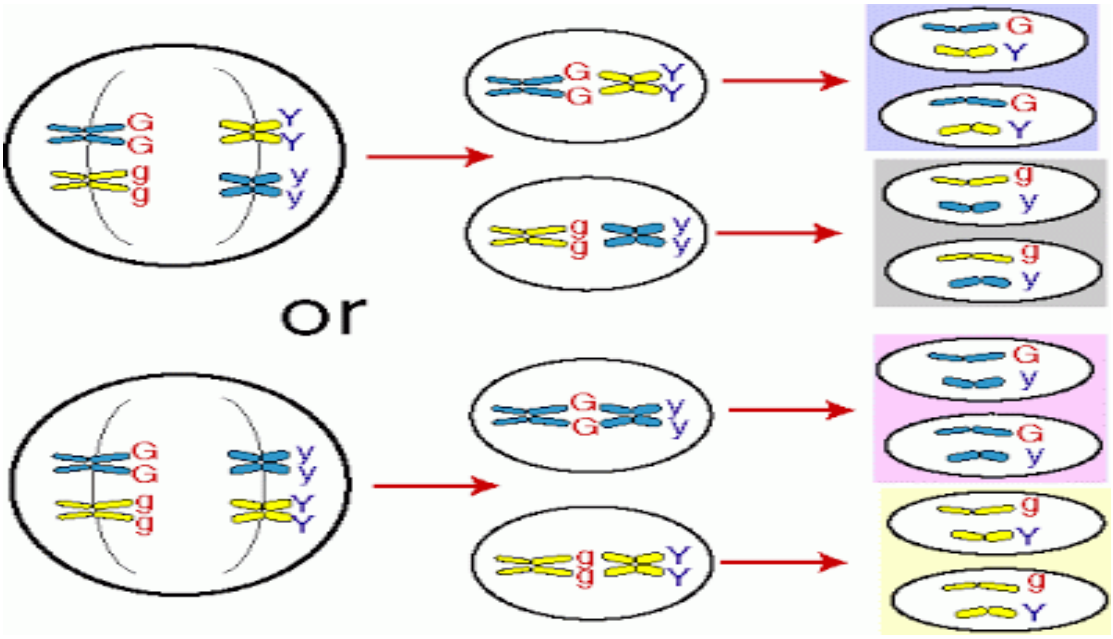
$$P_1 \quad \mathbf{GG} \times \mathbf{gg} \longrightarrow F_1 \quad \mathbf{Gg}$$

$$P_2 \quad \mathbf{Gg} \times \mathbf{Gg} \longrightarrow F_2 \quad \mathbf{GG : 2Gg : gg}$$

%25 :%50: %25

%25 %75 متماثلين في الطراز المظهري ولكنهما مختلفين في التركيب الوراثي

هذا الانعزال للعوامل الوراثية وإعادة تركيبها هو الذي نطلق عليه قانون مندل الأول (قانون الانعزال).



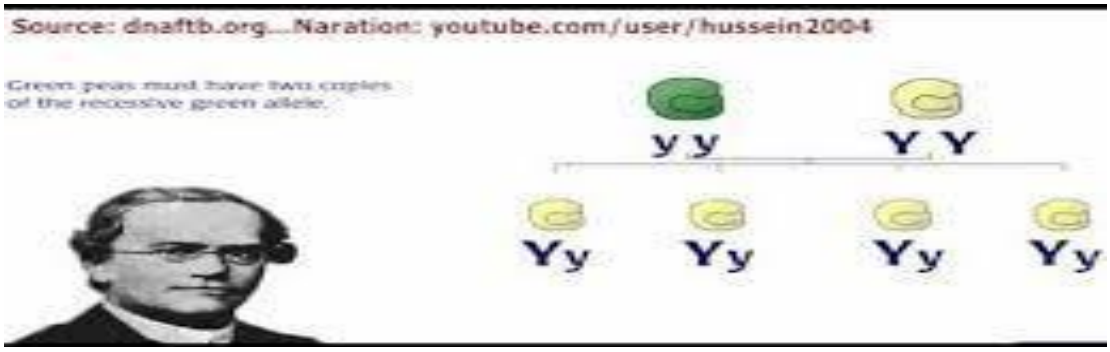
كما ينص **القانون الأول لمندل:** على أنّه "إذا اختلف فردان نقيان في زوج واحد من صفاتهما المتبادلة، فإنهما ينتجان بعد تزاوجهما جيلاً به صفة أحد الفردين فقط (الصفة السائدة) ثمّ تورث الصفتين معاً في الجيل الثاني بنسبة 3 (صفة السائدة): 1 (الصفة المتنحية)".

"إذا كان الفرد يحمل زوج متماثل لعاملين أي صفة وراثية (الصفة السائدة أو الصفة المتنحية) يسمّى الفرد نقياً أو متشابه اللاقحة".

"إذا كان العاملان مختلفان (عامل الصفة السائدة وعامل الصفة المتنحية) يسمى الفرد هجيناً أو خليطاً أو متباين اللاقحة".

– وبمعنى آخر إنّ أي فرد يحمل زوجاً من الجينات لكلّ صفة، وأنّ الأبوين يورثان الأبناء أحد هذه الجينات بطريقة عشوائيّة، ويحدد الجين السائد الصفة السائدة في النسل بأكمله مثل لون النباتات، ولون فرو الحيونات، ولون عيون الإنسان.

– يشار إلى أنّ مندل عندما كان يلقح نباتين لدراسة صفة معيّنة كان يهمل باقي الصفات، فمثلاً عندما كان يدرس لون بذور نبات البازيلاء كان يهمل طول الساق، وشكل البذور ولون القرون وهذا ما ساعده إلى التوصل لقانون مندل الأول في الوراثة.



سُمي القانون الأول لمندل بقانون انعزال العوامل، أو قانون الفصل: أي إن العوامل الوراثية المزدوجة في الفرد تنعزل عن بعضها أثناء تكوين الأمشاج ثم تعود لتزدوج أثناء عملية الإخصاب مكونةً أفراد النسل. ويتمّ تطبيق هذا القانون على مربّع بانيت، واكتشاف النتائج فيه.

تنفصل العوامل الوراثية المزدوجة في الفرد عن بعضها في مرحلة إنتاج الجاميطات، بحيث يحتوي كل جاميط على عامل فقط لكلّ صفة، الجدول الآتي يوضح ذلك:

أزهار حمراء نقية × أزهار بيضاء نقية	الطرز المظهرية (الشكيلة) للآباء
RR × rr	الطرز الجينية (الوراثية) للآباء
R , R × r , r	الجاميطات
Rr	الطرز الجينية لأفراد الجيل الأول F_1

النتيجة: أزهار حمراء هجينة 100%. وبالتالي **السيادة تامة:** حيث لم يكن لجين الصفة المتنحية أي أثر على صفات النسل في وجود جين الصفة السائدة.

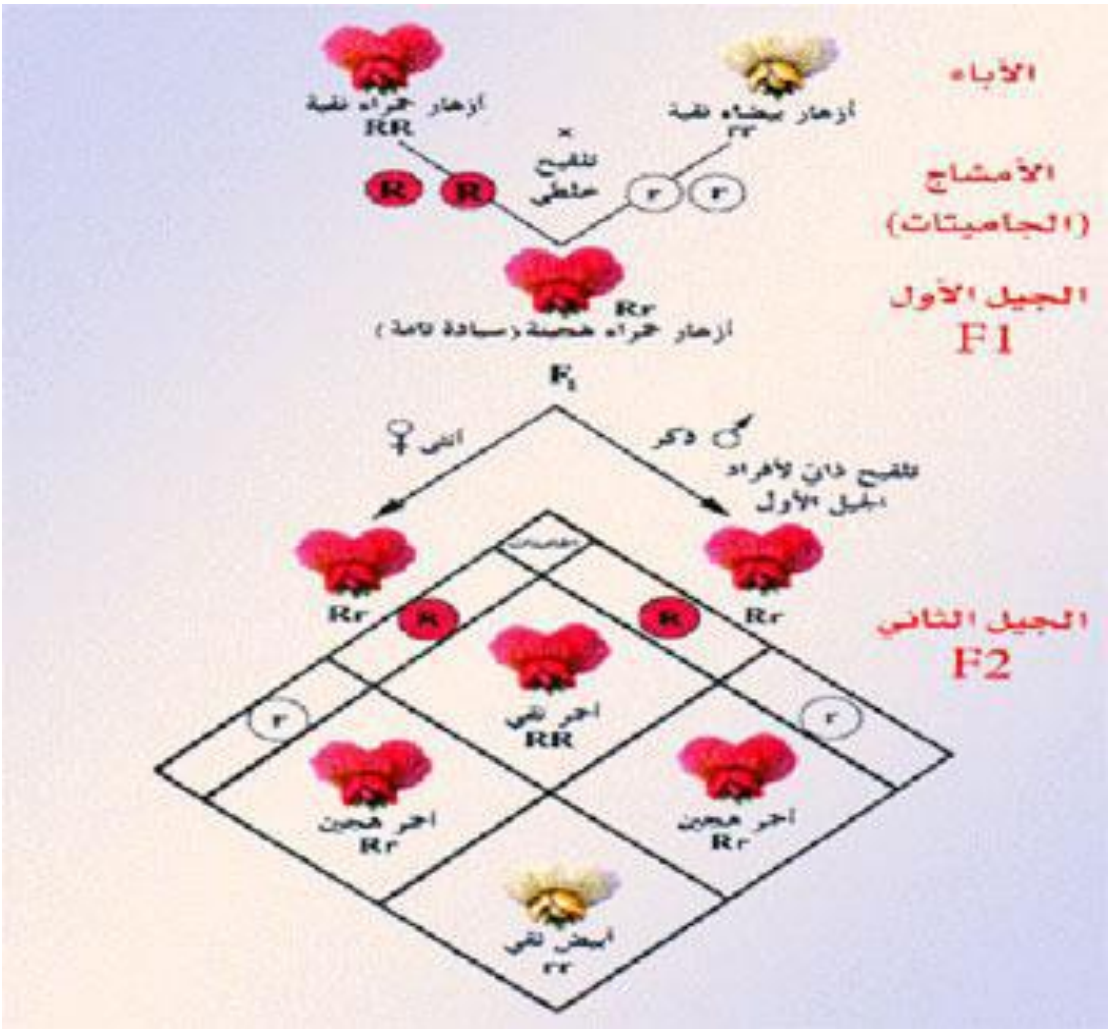
في الجدول الآتي سنوضح نتائج التلقيح الذاتي الخاصة بأفراد الجيل الأول:

Rr × Rr	انقسام منصف P_2
RR × rr	الطرز الجينية P_1
R , r × R , r	الجاميطات
RR, Rr, Rr, rr	الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني F_2

النتيجة: نسبة الأزهار البيضاء هي 25%، أما الأرجوانية 75%.

نسبة الطوابع الوراثية : 1:2:1

نسبة الطوابع الظاهرية : 3:1



نبات أحمر الازهار RR × نبات أبيض اللون rr

الأمشاج R R r r

باستخدام الجدول الشطرنجي

♀ / ♂	R	R
r	R r	R r
r	R r	R r

بتحليل النتائج نجد أن جميع الأفراد فى الجيل الأول تحمل كل من عامل الصفة السائدة و عامل الصفة المتنحية إذا فجميعها مظهريا حمراء الأزهار هجينة و تركيبها الوراثى Rr.

نبات أحمر الازهار Rr × Rr نبات أحمر الازهار

الأمشاج R r R r

باستخدام الجدول الشطرنجي

♀ / ♂	R	r
R	R R	R r
r	R r	r r

بتحليل النتائج نتوصل الى أن عدد التركيبات الوراثية التى تعطى نباتات حمراء الأزهار الى عدد التركيبات الوراثية التى تعطى نباتات بيضاء الأزهار هى بنسبة (أحمر ٣: ١ أبيض) .

النتائج التي استنتجها مندل عندما قام بالتهجين بين سلالتين تختلفان عن بعضهما البعض بزوج واحد من المورثات (هجونة أحادية):

1- دائماً في الجيل الأول F_1 تظهر أفراد متشابهة وتحمل مظهر واحد للصفة وهي صفة الأب السائد (الصفة السائدة).

2- في الجيل الثاني F_2 الصفة التي اختفى أثرها في الجيل الأول F_1، تعود وتظهر بنسل F_2 بنسبة 25%، وتسمى (الصفة المتنحية).

3- تشابهت النتائج التي تم الحصول عليها بغض النظر عن جنس الأبوين. سواء اخذت حبات الطلع من النبات ابيض الازهار أو بنفسجي الازهار أو كانت البويضات من ازهار بيضاء او بنفسجية، كانت النتيجة هي ذاتها – بالتلقيح التبادلي. فدائماً في الجيل الأول F_1 مظهر واحد للصفة وفي الجيل الثاني F_2 مظهرين (السائد 75% والمتنحي 25%).

4- العامل المسؤول عن تحديد أحد المظاهر هو المورثة Gene .

5- يختفي أثر المورثة المسؤولة عن الصفة المتنحية في F_1 ولكن المورثة لاتزول ولا تتحطم، بل يعود ويظهر أثرها في F_2 .

7- في النباتات الثنائية الصيغة الصبغية يحكم الصفة زوج من المورثات القرينة (النظيرة – الأليل)، محمولة على زوج من الصبغيات القرينة (الشقيقة- المتشابهة- النظيرة).

ينطبق قانون مندل الاول على الصفات التي:

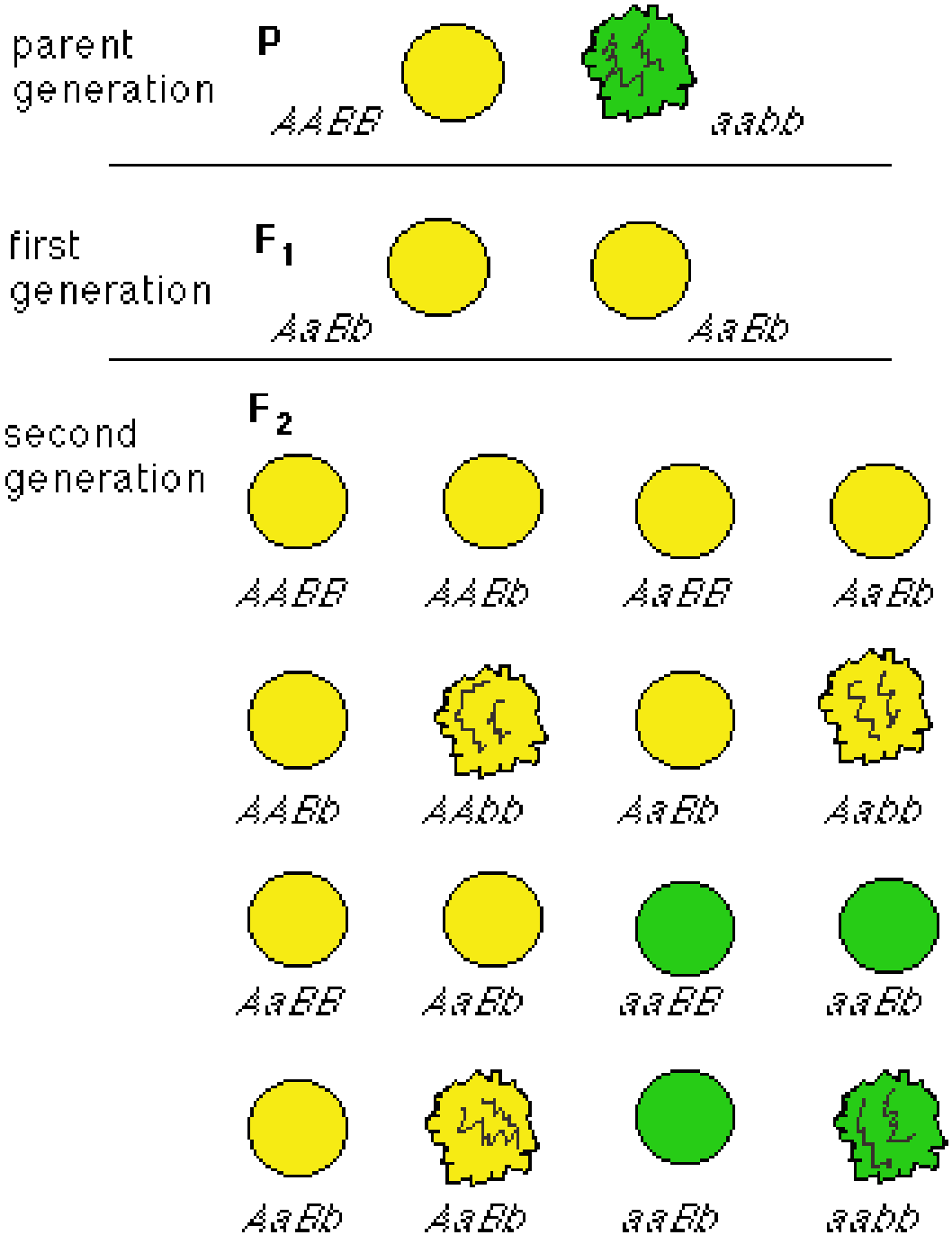
1- تقع على الكروموسومات الجسمية

2- تقع على الكروموسومات المختلفة

3- تكون السيادة تامة للصفة

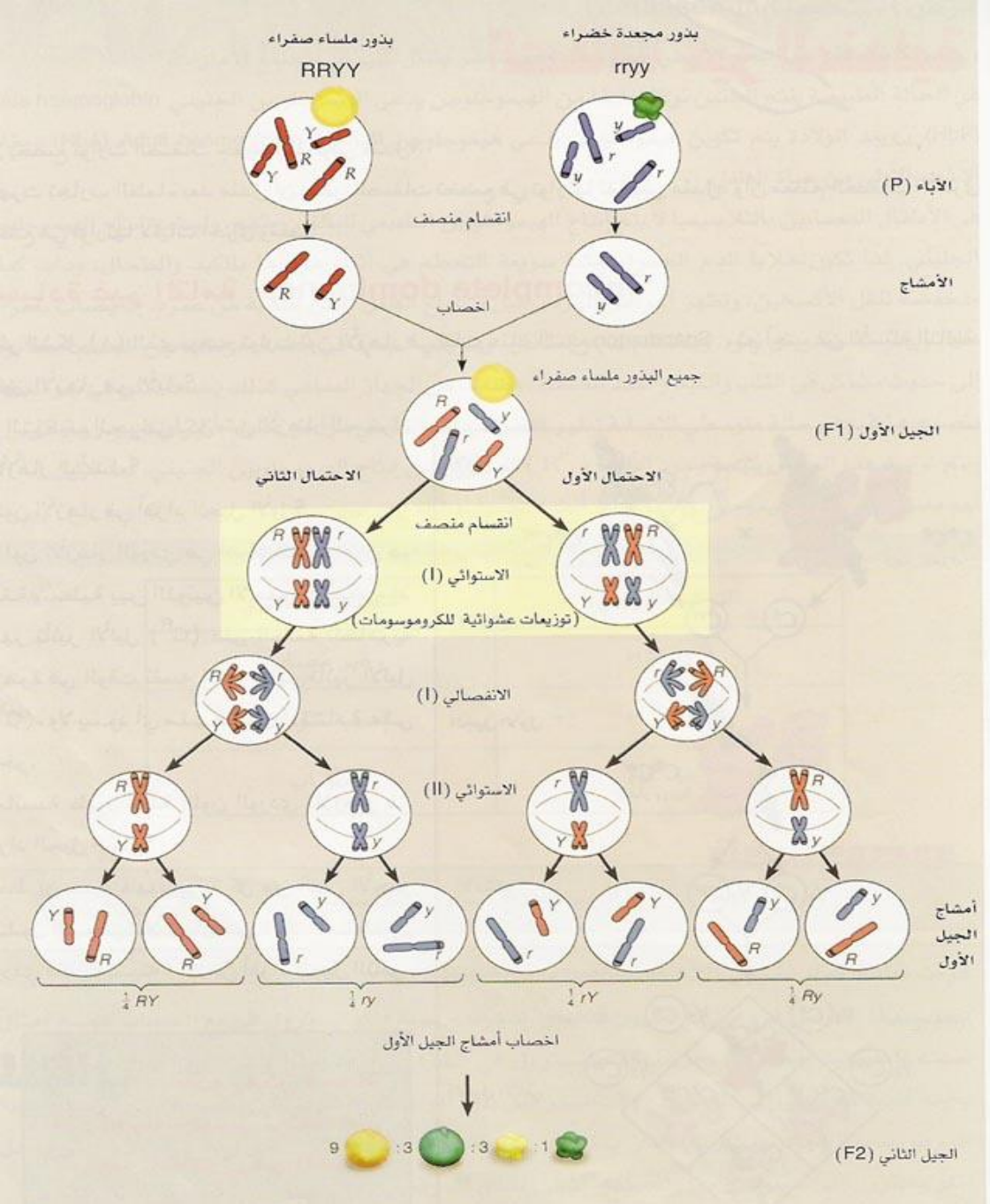
عند تهجين فردين نقيين أحدهما يحمل الصفة السائدة والآخر يحمل الصفة المتنحية فإن أفراد الجيل الأول كلها تحمل الصفة السائدة وتختفي فيه الصفة المتنحية، بمعنى أن الصفة السائدة تحجب الصفة المتنحية **وسميت هذه الحالات (بالصفات المندلية أو حالة السيادة التامة Complete Dominance)** وأمثلتها كثيرة في نبات البازلاء والإنسان والحيوان.

إذاً مبدأ السيادة التامة هو وجود جين سائد يخفي ويستر تأثير الجين المتنحي المقابل له

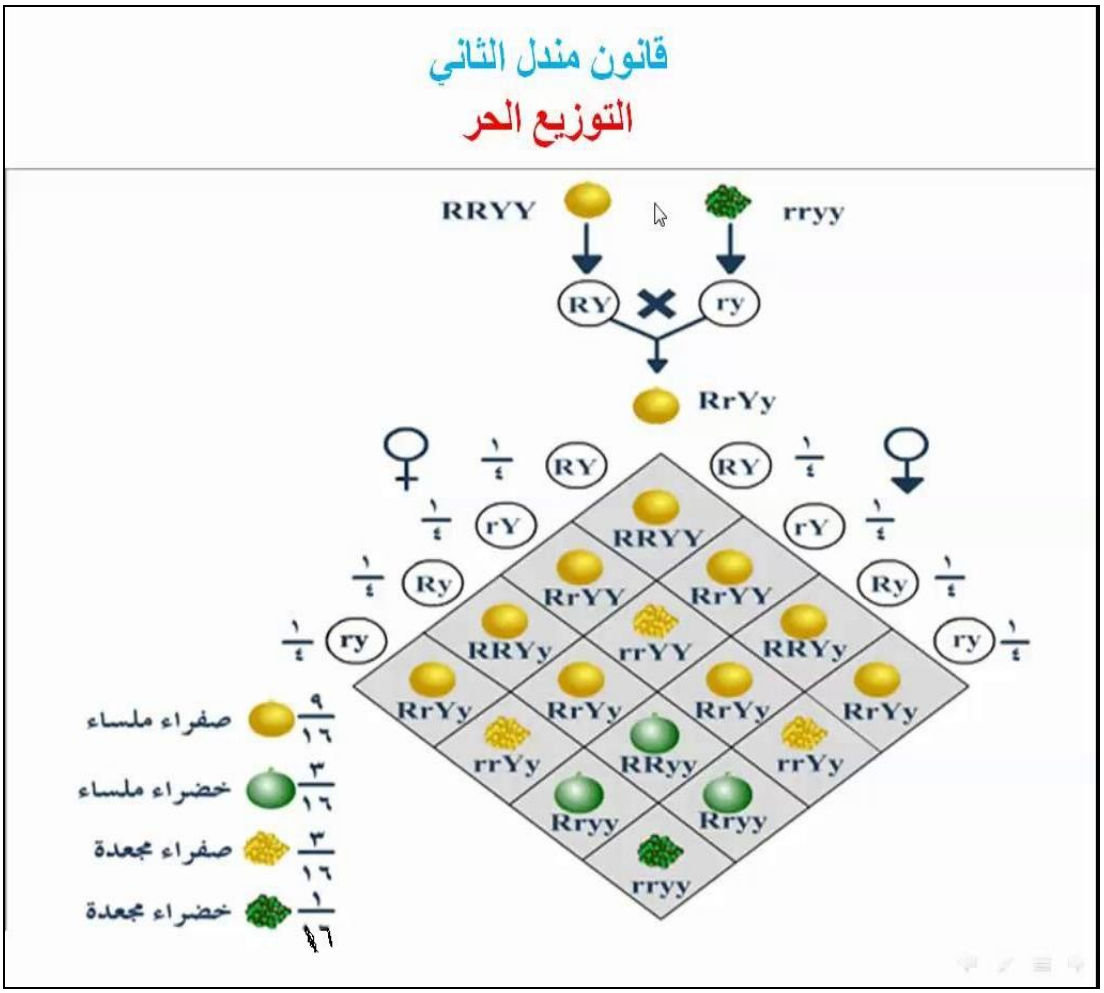


2)– قانون مندل الثاني: قانون نقاوة الأمشاج: الأمشاج أحادية الصيغة الصبغية وبالتالي فهي نقية (لا يحتوي كل مشيج إلا على أحد الأليلين، فنقول أن المشيج نقي). يفيد هذا القانون في تفسير ظهور الصفة المتنحية في الجيل الثاني F_2 بعد اختفائها في الجيل الأول F_1.

إن التوزيع العشوائي للجينات المتقابلة يحدث في أثناء تكون الأمشاج حيث تتوزع الجينات على الكروموسومات المنفصلة بشكل حر في أثناء عملية الانقسام الاختزالي (المنصف). بمعنى آخر لا يمكن تفسير النسب المئوية لمختلف المظاهر الخارجية المتحصل عليها في الجيل F_2، إلا بافتراق الأليلين أثناء تشكل الأمشاج (الانقسام الاختزالي).



يعرّف أيضاً **القانون الثاني لمندل : بقانون التوزيع الحرّ للعوامل الوراثيّة، أو قانون التوزيع المستقل، أو قانون الوراثة.** وينص على أنّ الجينات الخاصة بالسمات والصفات المنفصلة يتم توريثها من الجيل الأول (الوالدين) إلى الجيل الثاني (النسل) بشكل منفصل ومستقل عن بعضها البعض، وبكلمات أخرى من الممكن القول إنّ عملية اختيار أليل واحد من الأليلين المسؤولين عن صفة معينة ليس له أي علاقة باختيار أليل آخر لصفةٍ أخرى مورثة، أي إنَّه إذا تزاوج فردان نقيان مختلفان في زوجينِ أو أكثرَ من الصفات المتبادَلة بينهما، فإنّ كلّ زوجٍ من الصفات يوَرَّث إلى الأبناء بشكلٍ مستقلّ ويظهر في الجيل الثاني بنسبة 9 : 3 : 3 : 1، ومثال ذلك أنّه لا علاقةَ بين لون الشعر ونوعه، وصفة لون بشرة الإنسان لا ترتبط بطوله، وجينات لون القطط تختلف عن جينات طول الذيل. لكن من الجدير بالذكر أنّ هذا القانون من الممكن تطبيقه على الجينات المنفصلة وغير المترابطة فقط (أي هذا القانون يرتبط بالصفات التي لا ترتبط ببعضها). وفق هذا القانون سنضع في حسباننا وجود صفتين أو أكثر في الوقت نفسه، يحكم كلاً منها شفع من المورثات الجسمية المستقلة في توزيعها (أي مورثتين مستقلتين)، ويسود أحد المورثات على الآخر سيادة تامة، والمتحكم بالصفة فقط زوج واحد من المورثات.



كيفية التوصل إلى القانون الثاني لمندل:

إذا تزاوج فردان نقيان مختلفان فى زوجين أو أكثر من الصفات المتبادلة – فإن صفتي كل زوج منها تورث مستقلة عن الأخرى وتظهر فى الجيل الثانى بنسبة 9 : 3 : 3 : 1 – أى بنسبة 3 سائدة : 1 متنحية لكل صفة بكل زوج

مثال : فى نبات بازلاء الزهور :

– صفة لون الأزهار وصفة طول ساق النبات زوجان من الصفات المتبادلة.

– لون الأزهار القرمزي سائد على لون الأزهار البيضاء وكذلك طول الساق سائد على قصر الساق .

– نفرض جين لون الأزهار القرمزي السائد R على جين لون الأزهار الأبيض r كما يرمز لطول الساق بـ T لأنه الصفة السائدة ويرمز لقصر الساق بـ t لأنه الصفة المتنحية.

→ عند تهجين نباتين نقيين – أحدهما ذو أزهار قرمزية وطويل الساق مع نبات ذو أزهار بيضاء وقصير الساق – كان ناتج أفراد الجيل الأول نباتات ذات أزهار قرمزية طويلة الساق هجين RrTt.

→ عندما تركت أزهار نباتات الجيل الأول تتلقح ذاتياً بغية الحصول على نباتات الجيل الثانى وجد أن نباتاته تنتج أزهار قرمزية طويلة الساق، أزهار قرمزية قصيرة الساق، أزهار بيضاء طويلة الساق، أزهار بيضاء قصيرة الساق، بنسبة 9 : 3: 3 : 1 . على التوالى للصفات المذكورة . RT Rt Tr tr

تفسير نتيجة القانون الثاني لمندل

<u>مثال:</u> إذا علمتَ أنّ صفة لونِ الأزهار في نبتة مُعينة وطول ساقِها هما زوجانِ من الصفات المتبادلة، كما أنَّ لونَ الأزهار القرمزيّ R سائدٌ على لونِ الأزهار البيضاء r، أمّا بالنسبة للطول فإنّ صفةَ طول ساق النبتة T هي صفةٌ سائدة على قصرها t، وحدثَ تلقيحٌ بين نبتة قرمزيّةٍ طويلةِ الساق مع نبتةٍ أزهارُها بيضاءُ وقصيرةُ الساق: ما هي الصفات الشكليّة والطُرُز الجينيّة للجيلِ الثاني ؟.

الحل : خطوة 1 :

نباتٌ قصيرُ الساق ولونُ أزهاره أبيضُ	نبات طويلُ الساق ولون أزهاره قرمزيّ
rrtt	RRTT
rt	RT

عند تزاوجِ نبتة تحمل صفتينِ سائدتين مع نبتة تحمل صفتين متنحّيتين، فإنّ نباتاتِ الجيلِ الأوّل تُنتجُ نباتاتٍ كلّها طويلةُ الساق وأزهارُها قرمزيّة (RrTt).

خطوة 2 :

نبات طويلُ الساق ولون أزهاره قرمزيّ	نباتٌ طويل الساق ولون أزهاره قرمزيّ
RrTt	RrTt
RT, Rt, Tr, tr	RT, Rt, Tr, tr

إنّ الطرزَ الجينيّة والشكليّة للجيل الثاني هي:

نباتٌ طويلٌ وقرمزيّ الأزهار RrTt. RRTT . RRTt . RrTT

نبات قصيرٌ وقرمزيّ الأزهار RRtt . Rrtt

نبات طويل وأبيضُ الأزهار rrTt . rrTT

نبات قصير وأبيضُ الأزهار rrtt.

– نسبة نباتات الجيل الثانى كالتالى :

9 قرمزية طويلة الساق : 3 قرمزية قصيرة الساق : 3 بيضاء طويلة الساق : 1 بيضاء قصيرة الساق .

– نسبة الطراز المظهري بين النباتات قرمزية الأزهار (9+3) = 12 والنباتات بيضاء الأزهار (1+3) = 4 أي 12: 4 = 3 :1 .

– نسبة الطراز المظهري بين النباتات طويلة الساق (9+3) = 12 والنباتات قصيرة الساق (1+3) = 4 أي 12: 4 = 3 :1 .

* ملاحظات على قانون مندل الثانى :

(1) عند التهجين بين فردين يحمل كل منهما صفتان متضادتان نقيتان حتى الجيل الثانى فتظهر النسبة كما سبق 9 : 3 : 3 : 1

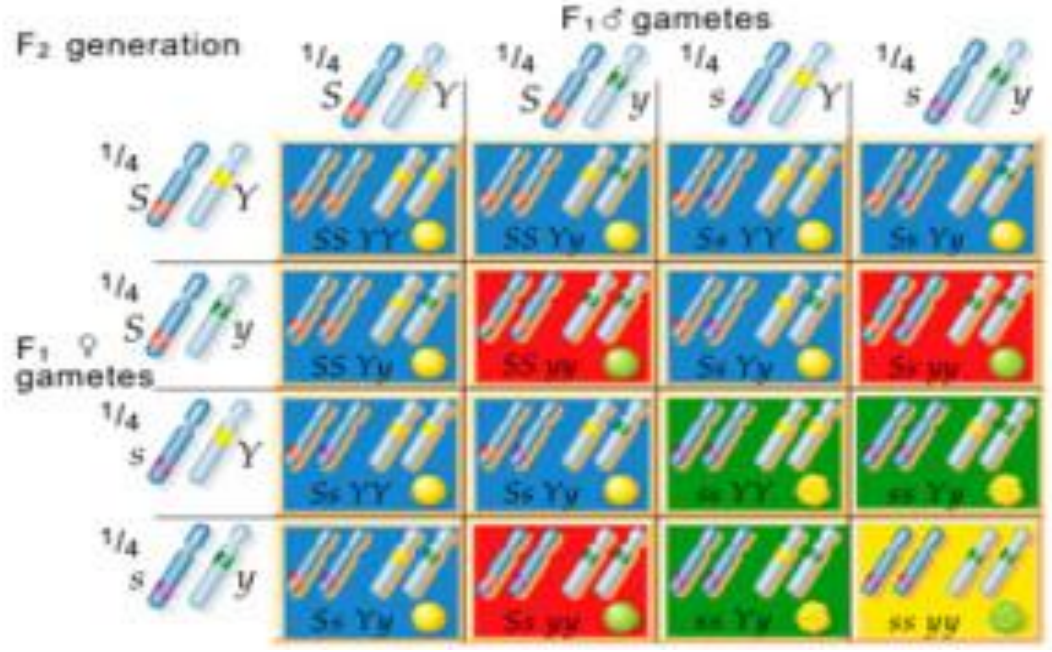
(2) عند إجراء تلقيح اختباري لفرد يحمل صفتين هجينتين مع فرد ثنائي التنحي تظهر النتيجة 1 : 1 : 1 : 1

لمزيدٍ من التوضيح تتبّع الجدول الآتي طريقة الرقعة الشطرنجية للأعراس:

عندما يتم التلقيح بين هجينين ثنائيين، فإن أربعة أنواع من الأعراس تنتج بنسب متساوية في كل من الذكر والأنثى، ويمكن استخدام رقعة شطرنجية للأعراس مكونة من (4×4) حقل، وذلك لإظهار كل التراكيب الممكنة لهذه الأعراس وعددها (16): وتسمى هذه الحالة بالهجونة الثنائية

♀ \ ♂	RT	Rt	Tr	tr
tr	RrTt قرمزى طويل	Rrtt قرمزى قصير	rrTt أبيض طويل	rrtt أبيض قصير
Tr	RrTT قرمزى طويل	RrTt قرمزى طويل	rrTT أبيض طويل	rrTt أبيض طويل
Rt	RRTt قرمزى طويل	RRtt قرمزى قصير	RrTt قرمزى طويل	Rrtt قرمزي قصير
RT	RRTT قرمزى طويل	RRTt قرمزى طويل	RrTT قرمزى طويل	RrTt قرمزى طويل

3)– قانون مندل الثالث: قانون استقلالية أزواج الأليلات: في حالة انتقال صفتين وراثيتين أو أكثر، يكون الانفصال الأليلي مستقل أثناء الانقسام الاختزالي (افتراق أزواج الأليلات يتم بصفة مستقلة). يرتبط هذا القانون بالمورثات المستقلة عن بعضها البعض، حيث أن كل مورثة تكون متواجدة على صبغي معين، مما يسمح بظهور تركيبات مورثية جديدة بين الأليلات وبنسب مشابهة للتركيبات الأبوية. يفيد هذا القانون في تفسير تنوع الأمشاج بسبب التخليط الأليلي البيصبغي الناتج عن الانفصال المستقل.



سؤالي هو كيف يمكن للانقسام الاختزالي من تأكيد القانون الثالث لـ Mendel و ما هي الحالة التي لا يتحقق فيها هذا القانون انطلاقا من التفسير الصبغي ؟

بالنسبة لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية اقترح Mendel، ثلاث قوانين من بينها القانون الثالث وهو قانون استقلالية أزواج الأليلات. يقول هذا القانون أثناء انتقال مورثتين أو أكثر تفترق الأليلات بكيفية مستقلة عن بعضها البعض

يُقصد بالأجسام الثنائية الصيغة الصبغية، كل الأجسام التي تتكون من خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، التي تتوفر على أزواج من الصبغيات المتماثلة (كل صبغي في الخلية له مماثل)، وتُكتب عندها الصيغة الصبغية ب 2n .

يتحقق القانون الثالث لـ Mendel في حالة انتقال مورثتين مستقلتين محمولتين على زوجين مختلفين من الصبغيات. ففي حالة السيادة التامة، يتحقق هذا القانون بحدوث تخليط بيصبغي أثناء تكون أمشاج الهجناء، وتظهر المظاهر الأبوية والمظاهر الجديدة التركيب في كل من الجيل الثاني F_2 والجيل الناتج عن التزاوج الاختباري. وتكون النسب الإحصائية 16/9، 16/3، 16/3، 16/1، في الجيل الثاني؛ والنسب الإحصائية 4/1 ، 4/1 ، 4/1 ، 4/1 موزعة إلى 1/2 مظاهر أبوية و 1/2 مظاهر جديدة التركيب في التزاوج الاختباري ، دالة عن تحقق هذا القانون .

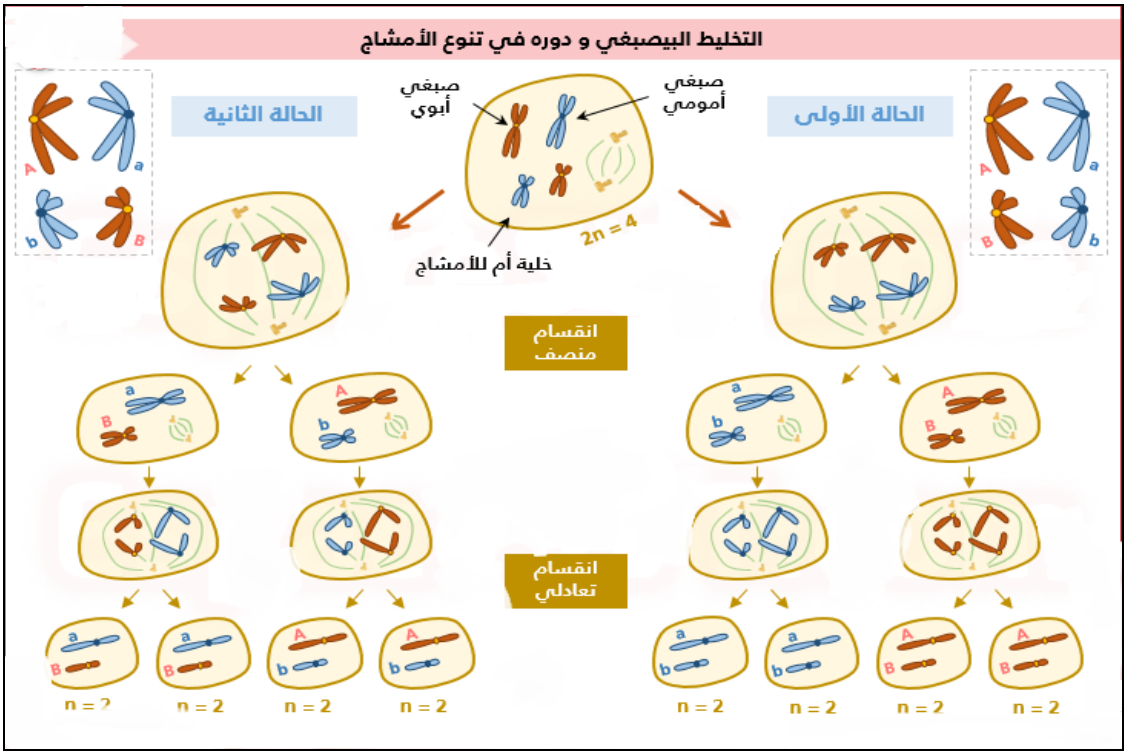
لا يتحقق القانون الثالث لـ Mendel في حالة انتقال مورثتين مرتبطتين سواء كان الارتباط نسبيا أو مطلقا، وتظهر النسب الإحصائية في الجيل الثاني مخالفة لـ 16/9 ، 16/3 ، 16/3 ، 16/1، كما تظهر النسب الإحصائية للتزاوج الاختباري هي كذلك مخالفة لـ 4/1 ، 4/1 ، 4/1، 4/1 مع عدم ظهور المظاهر الجديدة التركيب في حالة المورثتين المرتبطتين ارتباطا مطلقا.

باختصار: يتحقق هذا القانون من خلال التموضع العشوائي للصبغيات أثناء المرحلة الاستوائية I من الانقسام الاختزالي أي من خلال التخليط البيصبغي.

أما الحالة التي لا يتحقق فيها هذا القانون هي عندما تكون المورثات مرتبطة أي محمولة على نفس الصبغي، بحيث تنتقل هذه المورثات مجتمعة وتكون نسبة التركيبات الجديدة التي تظهر ضعيفة تتناسب والمسافة الموجودة بين المورثات، أو تكون نسبة الصفات الابوية كبيرة مقارنة مع الصفات جديدة .

التخليط البيصبغي: وهو من الظواهر المرافقة للانقسام الاختزالي في هذه الحالة يحدث التخليط بين الصبغيات وليس داخلها، وهي ظاهرة ملازمة لكل انقسام اختزالي ويمكن توقع عدد أنماط الأمشاج المنتجة عبر هذه الظاهرة والتي تكون دائما مساوية ل 2^n .

يتم هذا التخليط بالشكل التالي:



خلال الطور التمهيدي I من الانقسام الاختزالي، تتجمع الصبغيات المتماثلة على شكل رباعيات، حيث تجتمع الصبغيات الأبوية مع الصبغيات الأمومية، و هي في الغالب تتوفر على أليلات مختلفة لمجموعة من المورثات. خلال الطور الانفصالي I، تنفصل هذه الرباعيات، حيث يهاجر كل صبغي في اتجاه أحد قطبي الخلية.

اختلاف الأليلات على مستوى الصبغيات، يفرض عدة احتمالات للتركيبات المورثية للأمشاج، وهذا ما يسمى بالتخليط البيصبغي للأليلات. تُمثل الوثيقة أعلاه، مختلف احتمالات التركيبات المورثية للأمشاج مع الأخذ بعين الاعتبار خلية أم للامشاج ذات صيغة صبغية ، ومورثتين، كل واحدة منهما تتواجد على صبغي مستقل و ممثلة بحليلين (A و a للمورثة الأولى، و B و b للمورثة الثانية).

س: حدد عدد أنواع الأمشاج المتحصل عليها بعد الانقسام الاختزالي في المثال أعلاه . فسر ذلك مبرزاً أهمية التخليط البيصبغي.

من خلال الوثيقة أعلاه، يتبين أن عدد التركيبات المورثية للأمشاج يساوي 4، و هي AB و ab و Ab و aB، وهذا راجع إلى تموضع الصبغيات من جهتي الخلية، حيث أن هناك احتمالين لتموضع كل صبغي، مما يرفع عدد التركيبات المورثية الممكنة. باستعمال الصيغة 2^n، وبما أن لدينا فقط زوجين من الصبغيات، فإن الصيغة تساوي : $2^2 = 4$، هو نفس العدد المحصل عليه في المثال أعلاه. يتبين من خلال هذه المعطيات، أن التخليط البيصبغي يرفع من عدد التركيبات المورثية للأمشاج، فهو يساهم في تنوعها الوراثي.

لحساب عدد التركيبات المورثية للأمشاج الممكن الحصول عليها يعتمد على الصيغة التالية 2^n، حيث يمثل n عدد أزواج الصبغيات في الخلية؛ مثال: يتوفر الإنسان على 23 زوجا من الصبغيات، وبالتالي سيكون عدد التركيبات المورثية المختلفة للأمشاج هو : 2^{23} = 8388608 مشيج مختلف، و هو عدد كبير جدا على الرغم من عدم الأخذ بعين الاعتبار ظاهرة التخليط الضمصبغي، والتي ترفع كثيرا من هذا العدد.

نتائج الانقسام الاختزالي

تتعدد نتائج الانقسام الاختزالي ويمكن حصر أهمها في التالي:

1- اختزال عدد الصبغيات إلى النصف: تعطي كل خلية أم ثنائية الصيغة الصبغية خلايا أحادية الصيغة الصبغية (الانتقال من الصيغة الصبغية الثنائية 2n، إلى الصيغة الصبغية الأحادية n)، و هو أمر مهم للحفاظ على ثبات الصيغة الصبغية عند الكائنات الحية بعد التقاء الأمشاج. 2- مضاعفة عدد الخلايا: حيث تعطي كل خلية أم أربع خلايا بنات.

3- تنويع الأمشاج: يساهم كل من التخليط الضمصبغي والبيصبغي في إنتاج أنماط مختلفة من الأمشاج تفسر اختلاف المظاهر الخارجية لأبناء نفس الزوج الأصلي. (التخليط الضمصبغي للأليلات عن طريق العبور الصبغي، والذي يرفع عدد التركيبات المورثية للأمشاج. كما يزداد تنوع الأمشاج الناتجة عن الانقسام الاختزالي بفعل ظاهرة التخليط البيصبغي، و التي تتجلى في التموضع العشوائي للصبغيات، و معها الأليلات، في اتجاه قطبي الخلية).

التخليط البيصبغي : يتجلى التخليط البيصبغي في تموضع الصبغيات بشكل عشوائي بين قطبي الخلية. مما يسمح بتنوع توليفات الأليلات على مستوى الأمشاج الناتجة. يتم التخليط البيصبغي خلال الطور الإنفصالي الأول من الإنقسام الاختزالي.

التخليط الضمصبغي: هي ظاهرة يتم من خلالها تبادل قطع بين الصبغيات المُقترنة (الرباعيات)، خلال الانقسام المنصف من الانقسام الاختزالي، مما يؤدي إلى تبادل الأليلات بينها، و ظهور تركيبات صبغية جديدة. تساهم هذه الظاهرة في تنوع كبير للأمشاج الناتجة.

التفكير بقوانين الوراثة الكلاسيكية: قوانين Mendel

القانون الأول: في حالة تجانس أفراد الجيل F1 الأبوين من سلالة نقية.

يفيدك هذا القانون في استنتاج النمط الوراثي للأبوين من خلال المظهر الخارجي للخلف أو العقب.

القانون الثاني: الأمشاج أحادية الصيغة الصبغية و بالتالي فهي نقية. نقاوة الأمشاج –

يفيدك هذا القانون في تفسير ظهور الصفة المتنحية في الجيل F2 بعد اختفائها في الجيل F1.

القانون الثالث: في حالة انتقال صفتين أو أكثر يكون الانفصال الحليلي مستقل أثناء الانقسام الاختزالي.

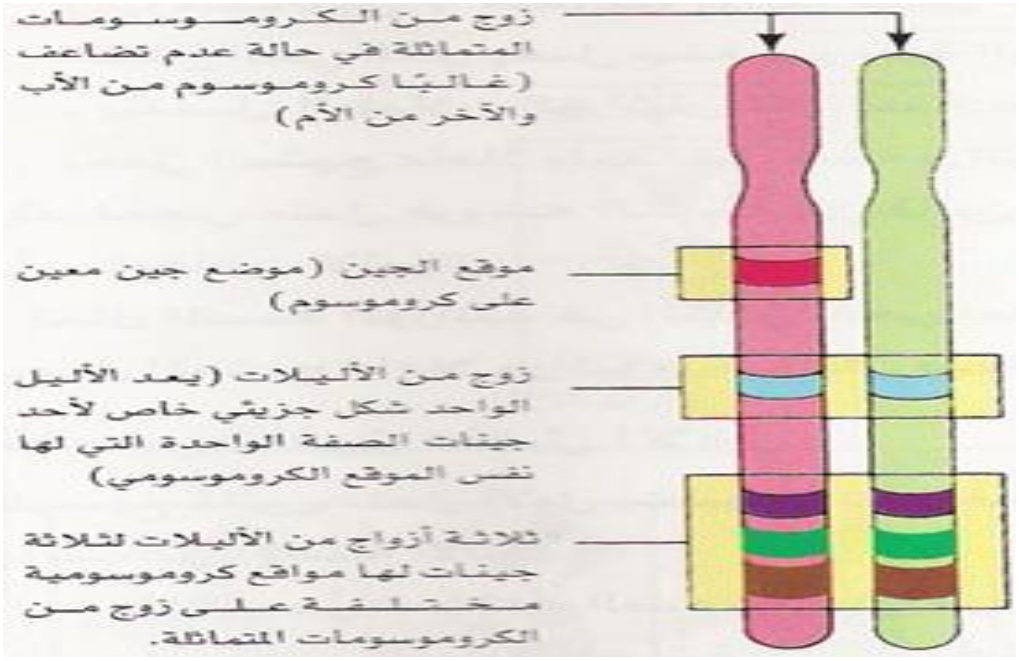
يفيدك هذا القانون في تفسير تنوع الأمشاج بسبب التخليط الحليلي البيصبغي الناتج عن الانفصال المستقل.

**** التمييز بين الجين (المورثة) و الأليل (أثر المورثة أو تعبير المورثة):**

المورثة Gene: هي قطعة من الـ DNA تحمل المعلومات لإنتاج صفة معينة وليست هي الصفة، أي لا نقول مورثة صفراء او خضراء ولا نقول مورثة طويلة أو قصيرة .....

تتميز المورثة – أي الوحدات الدقيقة المؤلفة من ضفائر الـ DNA– باستقلاليتها وبالتالي المورثات ليست نسخاً عن الشكل المظهري المسؤولة عنه، ودائماً الفرد يرث من أبويه مورثات الفرد وليس تركيبه الوراثي (الفرد يعطي لنسله مورثاته وليس تركيبه الوراثي).

أثر المورثة أو تعبير المورثة (الأليل Allele):هو المظهر الذي تنتجه المورثة، أي تعبير المورثة، مثلاً اللون (الأصفر – الأخضر)، الشكل (طويل – قصير)،... إذاً هو مظهر الصفة التي تنتج، ولكن المورث نفسه لا يحمل الصفة المظهرية مثلاً مورثة اللون الأصفر لا تحمل اللون الأصفر، ومورثة الطول لا تكون طويلة، أي المورث لا يحمل مظهر الصفة وإنما مظهر الصفة هو أثر المورثة.



يوضح الشكل الفرق بين الجين و الأليل.

- **أنواع السيادة Types of Dominance**

إن الصفات المتضادة التي درسها مندل في البازلاء كانت إحداها سائدة سيادة كاملة على الأخرى ولكن بعد اكتشاف أبحاث مندل وجد الباحثون أنواع أخرى من السيادة التي أدت إلى ظهور نسب للأنماط الظاهرية تختلف عن النسب المندلية في F_2 . إلا إن عوامل هذه الصفات خضعت إلى مبدأ الانعزال . وكذلك اكتشفت السيادة المتأثرة بالجنس Sex-Influenced Dominance ، والسيادة الكاذبة Pseudodominance .

السيادة **Dominance** هي قدرة احد الاليلات على اخفاء وجود الاليل الاخر لنفس الجين (الموروثة) في الحالة الخليطة heterozygous وبذلك يظهر في الفرد المختلف العوامل الصفة التي يظهرها العامل السائد تماما كما في الفرد المتماثل العوامل السائدة أي ان قوة الاليل السائد في الفرد المختلف العوامل مساوية لقوة الاليلين السائدين، ولايظهر أي تأثير للاليل المتنحي في الفرد الخليط، **والسيادة قد تكون:**

أ– السيادة الكاملة (سيادة تامة) Complete (Simple) Dominance

يكون متباين الزيجة في السيادة الكاملة نفس النمط الظاهري لمتماثل الزيجة (أي إن AA تشابه Aa) بالرغم من وجود الجين المتنحي لكنه مخفي وظيفياً . وبتعبير آخر يكون النمط الظاهري لـ F_1 مشابهاً إلى النمط الظاهري لأحد الأبوين النقي . والأمثلة على السيادة الكاملة كثيرة في مختلف الكائنات الحية ، فالصفات التي درسها مندل في نباتات البازلاء ظهرت السيادة الكاملة وأدت إلى ظهور النسبة الكلاسيكية 1:3 في F_2 من تضريبات أحادية الهجين وعلى النسبة الكلاسيكية 9 : 3 : 3 : 1 في F_2 من تضريبات ثنائية الهجين والانعزال المستقل لزوجين من الجينات. إذاً السيادة الكاملة (سيادة تامة): وهي الحالة التي يكون فيها الفرد المختلف العوامل والفرد المتماثل العوامل السائدة متساوية في اظهار الصفة فنحصل في الجيل الثاني على النسبة 3 سائد: 1 متنحي في حالة زوج واحد من العوامل. اما في حالة زوجين من العوامل فتكون النسبة 1:3:3:9.

ب– السيادة غير الكاملة (سيادة غير تامة) Incomplete (Partial) Dominance

بعد اكتشاف أبحاث مندل حصل العلماء في حالات كثيرة على أنماط ظاهرية لا يمكن تفسيرها بموجب السيادة الكاملة. فمثلاً في نبات حلق السبع Snapdragon عند تضريب نبات ذي أزهار حمراء مع نبات آخر ذي أزهار بيضاء، نتج جيلاً هجيناً (F_1) ذا أزهار حمراء وردية Pink ونتج في الجيل الثاني (F_2) على 1 أزهار حمراء : 2 أزهار حمراء وردية : 1 أزهار بيضاء وبذا تكون النسبة 1 : 2 : 1 نسبة محورة عن النسبة المندلية 3 : 1 بسبب السيادة غير الكاملة .

إذاً السيادة غير الكاملة (سيادة غير تامة): هي الحالة التي يكون فيها اختلاف الفرد المختلف العوامل عن الفرد المتماثل العوامل من درجة بسيطة جدا الى درجة واضحة جدا وفيها تتحور النسبة المندلية من 1:3 الى النسبة 1:2:1 بسبب اختلاف التركيب الوراثي (مختلف العوامل الخليط) عن التركيب الوراثي متماثل العوامل السائدة في الشكل الظاهري.

ج– فوق السيادة (السيادة الفائقة، السيادة الفوقية) Over dominance

في هذه الحالة يسبب الفرد المختلف العوامل تعبيرا زائدا عن الصفة مقارنة بالأفراد المتماثلة العوامل السائدة او المتنحية أي يكون متباين الزيجة في السيادة الفوقية ذو نمط ظاهري عند قياسه كمياً أكثر من كلا الأبوين المتماثلين الزيجة. فمثلاً في ذبابة الفاكهة يسبب متباين الزيجة للون العين Ww زيادة في كمية الصبغات التألقية عن كل من متماثل الزيجة البري WW والأبيض ww. كذلك تظهر السيادة الفوقية في الحالات المتعلقة بالصلاحية الحيوية مثل الحجم والإنتاجية والحيوية. فالتضريبات بين أفراد متماثلة الزيجة الضعفاء في صفات الصلاحية الحيوية أنتجت في كثير من الحالات ذرية ذات سيادة فوقية بالنسبة لكلا الأبوين، وبسبب السيادة الفوقية ينتج في F_2 النسبة 1 : 2 : 1 في التضريبات أحادية الهجين .

د– السيادة المشتركة Co-dominance

وهي الحالة التي يكون فيها الشكل الظاهري للفرد الخليط وسطا بين الشكلين متماثلة العوامل. إذاً تكون السيادة المشتركة عندما يعبر كلا الأليلين بصورة كاملة عن تأثيرها في متباين الزيجة . فمثلاً في الأنسان يكون الأليل I^A لمجموعة الدم A سائداً مشتركاً مع الأليل I^B لمجموعة الدم B وعليه يعبر متباين الزيجة (الفرد الخليط بينهما) هو $I^B I^A$ عن صفتي كل من المجموعة A والمجموعة B . وبما إن الأليلين يسيطران على نواتج بروتينية مختلفة في كريات الدم الحمراء فإن التزاوج بين فرد متماثل الزيجة $I^A I^A$ مع آخر متماثل الزيجة $I^B I^B$ ينتج أبناء متباينة الزيجة $I^B I^A$. وينتج التزاوج بين أفراد متباينة الزيجة ($I^B I^A \times I^B I^A$) أبناء بنسبة 1 مجموعةA : 2 مجموعةAB : 1 مجموعة B ، وبذا تكون النسبة 1 : 2: 1 نسبة محورة عن النسبة المندلية 3 : 1 بسبب السيادة المشتركة .

الأساس الخلوي للوراثة المندلية Cytological Base of Mendelian Genetics

استنتج العلماء بأن الوراثة تنتقل بنوى الخلايا التناسلية (البيضة والحيمن) قبل اكتشاف أبحاث مندل . وأستنبط هذا الاستنتاج من الملاحظات عن سلوك النوى والكروموسومات أثناء انقسام الخلية والإخصاب . وأوضح مندل على إن المادة الوراثية تتألف من وحدات سميناها جينات التي تنعزل أثناء تكوين الأمشاج . يمكن مشاهدة الكروموسومات وبالأخص تحت المجهر أثناء انقسام الخلية بينما نستدل على وجود الجينات من ملاحظة سلوك الصفات الناتجة من تأثير هذه الجينات في تجارب التهجين . وبعد اكتشاف أعمال مندل كان من الطبيعي طرح السؤال التالي : ماهي العلاقة بين الكروموسومات وبين الجينات ؟ إن الإجابة على هذا السؤال قدمت بصورة مستقلة من قبل كل من بوفرى Boveri وصتون Sutton عام 1902م اللذين توصلا بأن الكروموسومات تحتوي على الجينات من دراسة السلوك المتوازي بين الكروموسومات والجينات أثناء الانقسام الخلوي والإخصاب .

وتنعزل الجينات بسبب انفصال الكروموسومات التي تحمل هذه الجينات أثناء تكوين الأمشاج . وعرفت هذه الفكرة بنظرية الكروموسومات الوراثية Chromosome theory of heredity وبتطور علم الوراثة وعلم الخلية وظهور علم الوراثة الخلوية Cytogenetics قدمت الأدلة الكثيرة والدعم الى هذه النظرية .

********** **انتهت المحاضرة** **********