# الباب الثاني

## المجموعة الكروموزومية
## والقوانين الوراثية

### ١ ـ مقدمة :

كلنا نسمع ما يقال بيننا دائماً فى عائلاتنا أن فلاناً يشبه أباه فى هذا أو ذاك من الصفات ويشبه أمه فى هذه أو تلك من الصفات الأخرى ـ وكثيراً ما يتسع التشبيه إلى مقارنة بين هذا الفلان وخاله أو خالته وهما أخوات أمه وكذلك عمه أو عمته وهما أخوات أبيه .

وهناك كلمة أخرى تستعمل للتدليل على الشبه بين الابن وأبويه فيقال ان الابن قد ورث بعض صفاته عن أبيه والبعض الآخر عن أمه ـ واستعمال لفظ الوراثة هنا له مغزاه فهو يدل على وجود صلة ما تصل بين الابن وأبويه فكونهما قد أورثاه صفاتهما يدل دلالة قاطعة على كونهما قد أعطياه هذه الصفات فأخذها عنهما واتصف بها ـ وهذا ما يقال فعلا فى بعض الأحيان للتدليل على الشبه بين الابن وأبويه فكثيراً ما يقال ان فلاناً الابن قد أخذ صفة كذا وكذا عن أبيه أو عن أمه .

هذا كلام شائع ذائع بيننا جميعاً ـ وهو قول حق مدعم بالأسانيد العلمية فلكى يشبه الابن أباه أو أمه ـ وهى حقيقة لا جدال فيها ـ يستلزم ذلك قطعاً أن يكون قد أخذ من كل منهما شيئاً أورثه هذا الشبه .

والآن ما هو هذا الشىء ؟

والجواب طبعاً أن هذا الشيء هو الخلية التناسلية أو الجاميطة — فهي الشيء الوحيد الذى يصل بين الأب وابنه أو الأم وابنها — وهى حلقة الاتصال الوحيدة بينهما — فالمعلوم أن الكائن الحى فى أول تكوينه يتكون من خلية واحدة زيجوتية نتجت عن اتحاد خليتين تناسليتين أى جاميطتين احداهما ذكرية والأخرى انثية — وإذ تكون الكائن الحى الجديد فانه قد استقل بتكوينه الوراثى استقلالا تاماً عن أبويه إلا فيما أعطياه عن طريق هاتين الخليتين التناسليتين .

وهذا هو الحال فى الإنسان وفى سائر الحيوان بل وفى النباتات أيضاً — فالبذرة التى تحدثنا عنها فى الباب الأول قد تكونت بهذه الكيفية — وسنشرح الآن أهمية الخلايا التناسلية من ناحية كونها هى القنطرة التى تعبر عليها صفات الآباء لتصل إلى الأبناء .

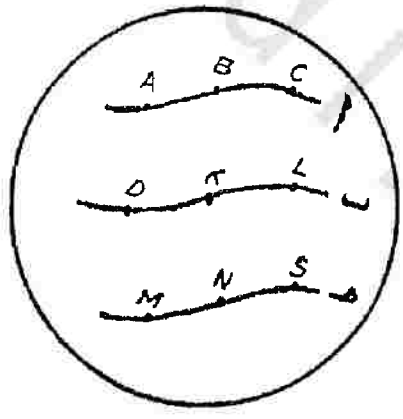
**٢ — الاهمية الوراثية للخلية التناسلية :**

الخلية التناسلية كما قلنا سابقاً خلية أحادية الكروموزومات (Haploid) أى انها تحتوى على العدد الأساسى للكروموزومات لهذا الصنف من النبات — ويطلق على العدد الأساسى الحرف ( ن ) — ويتميز كل نوع من أنواع النبات بعدد خاص أساسى أو قاعدى لا يتغير — فالعدد القاعدى فى القمح مثلا أى ن = ٧ وفى القطن ن = ١٣ وفى الذرة ن = ١٠ وفى الطماطم ن = ١٢ وهكذا .

فاذا أخذنا مثالا فرضياً فيه ن = ٣ فاننا نجد أن هذه الثلاثة كروموزومات التى توجد فى الخلايا التناسلية ولنفرض انها ا ، ب ، حـ هى كروموزومات غير متشابهة (Non - homologous) أى أنه ليس بين أى اثنين منها تجاذب أو تشابه يؤدى إلى ازدواجهما مثلا — ولذلك فانها تبقى دائماً فى هذه الخلايا الأحادية على حالة كروموزومات مفردة متنافرة دائماً — وتنافرها ناشىء عن اختلافها اختلافاً تاماً فيما تحمل كل منها من العوامل الوراثية — فلقد ثبت الآن ثبوتاً قاطعاً أن هذه الصفات التى يورثها الآباء لأبنائهم موجودة فى الخلايا التناسلية — ليس هذا فقط — بل لقد تحددت بالضبط مواقع هذه الصفات الوراثية — فوجد أنها

ممثلة بجسيمات أو جزيئات صغيرة موزعة على كروموزومات الخلية الأحادية بحيث لا يمكن أن تحتوى هذه الخلية إلا على جزىء واحد لكل صفة من الصفات الوراثية .

وتسمى هذه الجزيئيات أو الجسيمات بالعوامل الوراثية (genes) التى يجب أن نميزها عن الصفات الوراثية (characters)فالصفة هى ما نشاهده على النباتات مثال ذلك لون الزهرة — أما العامل أو العوامل الوراثية المسببة لهذا اللون بالذات فهو ما يكون موجوداً فى مكان ما على أحد كروموزومات الخلية التناسلية — فاذا مثلنا الصفات الوراثية للنبات بالحروف A ، B ، C ، D ، K ، L ، M ، N ، S بحيث أن كلا منها يمثل إحدى الصفات المورفولوجية للنبات — فان الواقع أن مسببات هذه الصفات الوراثية نجدها محمولة على كروموزومات الخلية التناسلية موزعة عليها بانتظام ثابت معروف كما هو مبين فى ( شكل ٣٦ ) حيث نرى الكروموزومات ا ، ب ، حـ تحمل كل منها ثلاثة من هذه العوامل الوراثية .



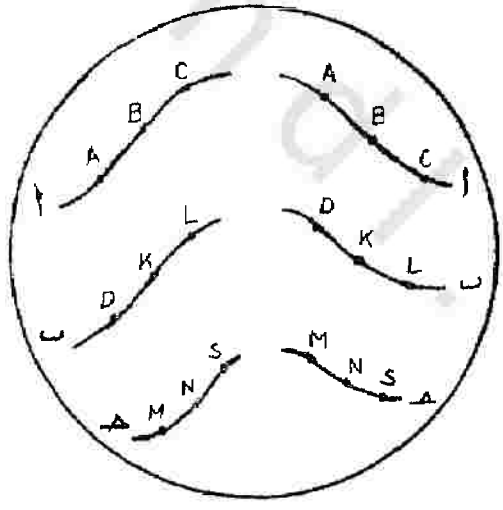

( شكل ٣٦ )

التكوين الوراثى لإحدى الخلايا التناسلية الأحادية الكروموزومات (haploid)

وأهمية هذه العوامل الوراثية تتلخص فى أنها تهيمن على كيان الصفات المميزة للنبات فوجود العامل A مثلا يتسبب فى كون النبات يكون ذات طول

خاص — والعامل B يتسبب فى كون أزهاره يكون لها لون أبيض والعامل C يتسبب فى كون ثماره تكون ذات شكل خاص وهكذا — والمهم هنا أن هذه الخلية التناسلية تحمل على كروموزوماتها مجموعة كاملة من العوامل الوراثية التى تجعله يتخذ الشكل الخاص به — وإن كلا من هذه العوامل تمثل مرة واحدة على أحد الكروموزومات .

ولما كنا نعلم أن الخلية التناسلية قد نتجت عن الخلية الزيجوتية بطريقة الانقسام الاختزالى — أى أن الخلية الزيجوتية بها ضعف عدد كروموزومات الخلية التناسلية — أى أن بها اثنان من كروموزوم ا واثنان ب واثنان حـ — فانه يتبع بالبداهة أن الخلية الزيجوتية يكون حملها للعوامل الوراثية هو الآخر ضعف الحمل الوراثى للخلية التناسلية — وبذلك يكون فيها العامل A مثلا مرتين وكذلك كافة العوامل الأخرى كما هو مبين فى ( شكل ٣٧ ) .




( شكل ٣٧ )

التكوين الوراثى لإحدى الخلايا الزيجوتية الثنائية الكروموزومات (diploid)

فالانقسام الاختزالى إذن ليس فقط اختزالا فى عدد الكروموزومات بل هو بالتالى يؤدى إلى اختزال عدد العوامل الوراثية إلى النصف — وبذلك تكون

الخلايا التناسلية محتوية على نصف عدد الكروموزومات الموجودة فى البذرة وكذلك نصف عدد العوامل الوراثية الموجودة بها — وهذا أمر لا بد منه إذ أن الخلايا التناسلية باتحادها فى عملية التلقيح تكون بذرة الجيل الجديد التى يكون عدد كروموزوماتها وعدد عواملها الوراثية مماثلا للبذرة الأولى — وهكذا دواليك .

### ٣ — العلاقة بين العامل الوراثى والصفة الوراثية :

رأينا أن النبات الجديد ( وأول أطواره البذرة ) قد تكون من تلقيح خلية تناسلية ذكرية ( حبة لقاح ) بخلية تناسلية أنثية ( بويضة ) — ورأينا أن كلا منهما تحتوى على مجموعة كاملة من العوامل الوراثية كلا منها ممثل مرة واحدة — وهذا طبعاً سعياً وراء توصيل هذه العوامل إلى البذرة الجديدة أى توريثها إياها .

من ذلك نرى أن الخلية الزيجوتية للبذرة تضم عاملين وراثيين لكل صفة من الصفات المورفولوجية المميزة للنبات الذى سيتكون من نموها — وقد يحصل فى كثير من الأحوال أن يكون هذان العاملان غير متشابهين فى إبرازهما للصفة الواحدة — إذ المعروف أن لون الزهرة مثلا وهو أحد الصفات له تعبيرات متعددة فهو أبيض أو أحمر أو غير ذلك — وبذلك قد يجتمع فى الخلية الزيجوتية الواحدة ( بطريقة ما ) عاملان يتسبب كل منهما فى إبراز تعبير مختلف للصفة الواحدة — ويسعى كل من هذين العاملين بطبيعة الحال فى أن تكون له الغلبة أو السيادة على صاحبه فى توريث صفته هو للنبات الجديد — على أن سنن الطبيعة وقد كيفت الحياة كما كيفت وهيمنت على العمليات الحيوية فيما هيمنت لم يغب عنها أن تنظم العلاقة بين هذين العاملين الوراثيين وأمثالهما بأن وضعت لذلك أسساً ثابتة حددت سلوكها تجاه بعضها البعض ووضعت حدوداً ثابتة لا يتعداها أى عامل فى سعيه الحيوى المشروع لابقاء كيانه — حدوداً تمكن علماء الوراثة فيما بعد من صياغتها فى شكل قوانين ثابتة سموها قوانين الوراثة .

على أنه يجب أن يكون معلوماً أن العلاقة بين العامل الوراثى والصفة الوراثية أعمق بكثير مما صورناه هنا — فكون العامل (B) مثلا كما قلنا يتسبب فى إعطاء الزهرة لوناً خاصاً — تمثيل لجزء صغير من الحقيقة — ويقال ذلك فقط على سبيل

الدلالة على أهمية هذا العامل بالذات فى إبراز هذه الصفة بالذات — وبديهى أن حصول ذلك متوقف على عوامل أخرى — فلكى تكون الزهرة حمراء يجب أن يكون هناك زهرة باديء ذى بدء — أى يجب أن يوجد مع العامل (B) عامل آخر ولنفرض أنه (C) مختص بتكوين الزهرة نفسها — ثم لكى تكون هناك زهرة يلزم أن تتكون الأفرع التى تحمل هذه الزهرة أى أنه يجب أن يوجد مع العاملين (C B) عامل آخر أو أكثر ولنفرض أنها (L K D) تختص بتكوين هذه الأفرع — وبمعنى آخر يجب أن يكون مفهوماً أن الشكل النهائى للنبات ما هو إلا نتيجة حتمية لوجود هذا العدد الضخم من العوامل الوراثية المحمولة على الكروموزومات تعمل متضامنة متكاتفة كلا منها فى ناحيتها التى اختصت بها لإبراز الصفة التى اقترنت بها — ويسمى هذا العدد الضخم من العوامل الوراثية بالمجموعة الوراثية (Genotype) — فهذه المجموعة الوراثية لازمة بأجمعها لتكوين ما نراه على النبات من الصفات التى نصفها ونتعرف عليه بها — تلك الصفات الشكلية التى يطلق عليها اسم الشكل الخارجى (Phenotype)

وسنرى فيما بعد أن الشكل الخارجى للنبات لا يكفى لإبرازه تكامل المجموعة الوراثية المسببة له — إذ يجب أن يتهيأ لجميع هؤلاء عوامل أخرى ذات أهمية كبرى وهى عوامل البيئة الصالحة — فهذه تتمم مفعول العوامل الوراثية وتساعدها على أداء مهمتها على أكمل وجه — فالعوامل البيئية أو الوسطية (Environmental factors) تلعب دوراً هاماً فى إبراز الصفات الوراثية فاختلافها يؤثر فى المجموعة الوراثية بما يسبب من تغييرات ملحوظة فى الشكل الخارجى للنبات .

فالحقيقة التى لا مجال فيها أن الشكل الخارجى للنبات (Phenotype) يتكون بالكيفية التى يتكون بها كنتيجة لسلسلة متواصلة من التفاعلات بين أفراد المجموعة الوراثية (Genotype) ومكونات البيئة (Environment) — ويتوقف ذلك كله على توافر العوامل الصالحة سواء أكانت وراثية أو بيئية التى توافق تكوين الشكل الخارجى الخاص بالنبات — إذ أن أى تغيير فى هذه أو تلك يكون له أثر ملموس فى تغيير ملامح النبات بدرجات متفاوتة — وسنتكلم عن هذا بالتفصيل فيما بعد .

### ٤ ـ التلقيح وأهميته فى الوراثة والتربية :

تحتوى الزهرة فى أغلبية النباتات الراقية على أعضاء التذكير وأعضاء التأنيث جنباً إلى جنب ـ الأولى ممثلة بالمتك والثانية بالمبيض ـ وعندما تتم عمليات الانقسام الاختزالى فى كلا الجنسين تتكون الخلايا التناسلية ممثلة بحبوب اللقاح الذكرية داخل المتك والبويضات الأنثية داخل المبيض ـ وإذ ذاك تكون الزهرة معدة للتلقيح فتنمو حبوب اللقاح وتلقح البويضات مكونة البذور ـ وقد شرحنا فيما سبق كل هذه العمليات وبينا ذلك فيما يختص بتكوين الخلايا التناسلية من حيث عدد الكروموزومات فيها وعدد العوامل الوراثية التى تحملها تلك الكروموزومات

والتلقيح على أنواع منها :ـ

**أولا ـ التلقيح الذاتى (Selfing or Self fertilization) :**

وهو الذى يتم التلقيح فيه من نفس الزهرة أى أن البويضات تلقح بواسطة حبوب اللقاح المتكونة فى متك الزهرة نفسها ـ وهذا النوع من أهم الأنواع التى يلجأ إليها المربى لضمان نقاوة التكوين الوراثى للبذور الناتجة حتى لا يكون قد دخل فى تكوينها أية حبوب لقاح من مصدر آخر غير معروف ـ وضمان حصول ذلك من أسهل الأمور إذ يقتضى الأمر احاطة الزهرة قبل أن تتفتح أوراقها بكيس من الورق الشفاف لحمايتها من حبوب اللقاح العابرة المحمولة فى الهواء أو العالقة بالحشرات التى تنتقل من زهرة إلى أخرى ـ وبذلك لا يكون هناك مصدر للتلقيح غير حبوب لقاح الزهرة نفسها فيتم التلقيح ذاتياً محكماً ـ وبهذه الكيفية يحصل المربى على بذور نقية نقاوة وراثية تزداد نسبة النقاوة فيها من جيل إلى آخر إلى أن يحصل منها على ما يسمى بالسلالة النقية (Pure line) التى يكون جميع أفرادها متجانسة تجانساً وراثياً تاماً ـ

**ثانيا ـ التلقيح الخلطى الطبيعى (Natural Crossing) :**

وهو أن تتلقح البويضات بواسطة حبوب لقاح من زهرة أخرى على نفس النبات أو من نبات آخر ـ عن طريق الهواء أو الحشرات أو غير ذلك

من عوامل الخلط – والمهم انها تتم جميعها من غير دخل للإنسان الذى لا يستطيع أن يتحكم فى كنهها .

وهذا النوع من التلقيح – ولو أنه طبيعى فى النباتات الخلطية التلقيح بطبيعتها كالذرة – إلا أنه فى النباتات ذاتية التلقيح بطبيعتها أخطرها جميعاً على التركيب الوراثى للبذور المتكونة إذ أن هذه يكون معروف أمها أما أباها فعلمه عند علام الغيوب – ولذلك تجد المربى يحتاط دائماً لتلافى حصول هذا الخلط الطبيعى الذى يؤدى إلى تغيير التكوين الوراثى لنباتاته – وهناك طرق مختلفة لهذه المحافظة سيجىء ذكرها عند التحدث عن تربية بعض المحاصيل الهامة .

على أنه مصداقاً للمثل القائل رب ضارة نافعة – فقد يحصل من مثل هذا الخلط الطبيعى تكوين نباتات يكون لها قيمة اقتصادية عظيمة ويستطيع المربى أن يستغلها فى تربية صنف تجارى وخلق سلالة نقية منه باتباع طريقة التلقيح الذاتى المحكم سنين متتابعة .

**ثالثا – التلقيح الخلطى الصناعى** (Artificial crossing):

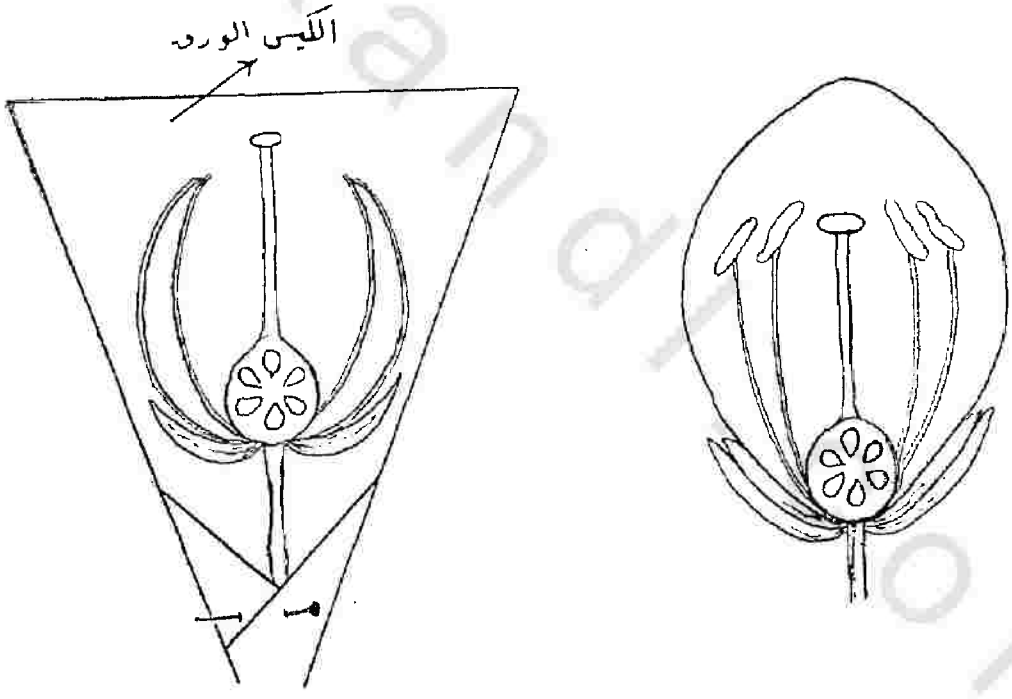
وهو صناعى لأنه من صنع الإنسان فهو يتحكم فيه بالكيفية التى تتراءى له ووفقاً للخطة التى يرغب فى اتباعها – ويكون بواسطة نقل حبوب اللقاح من النبات المراد استعماله كأب إلى مياسم أزهار النبات الذى يراد استعماله كأم – وبديهى أنه لاتمام ذلك على أكمل وجه تتم العملية فى عدة خطوات كالآتى : –

(١) يضع المربى برنامجه مختاراً نباتاً بالذات ليكون أماً وآخر ليكون أباً .

(٢) فى الوقت المناسب وقبل تفتح بتلات الزهرة يحتاط المربى فى النباتات التى سوف تستعمل ذكراً بأن يغطى زهرة أو اثنتين منها بأكياس من الورق الشفاف حماية لها من الحشرات أو الهواء ولكى يضمن أن حبوب اللقاح التى سيأخذها لإتمام عملية التلقيح الخلطى تكون من متاك هذه الأزهار حتما وليس بها أى خلط من حبوب لقاح من أى مصدر آخر .

(٣) فى الوقت المناسب أيضاً وقبل تفتح بتلات الزهرة فى النبات الذى سوف يستعمل أماً – يقوم المربى بعملية خصاء أو خصى لهذه الأزهار بأن يزيل

منها المتك بواسطة ملقط خاص معقم و بأيدى معقمة أيضاً متخذاً فى ذلك الحيطة التامة فى عدم الفتك بهذه المتك عند اقتلاعها بحيث لا تتقطع أو تتفكك أجزاؤها ضماناً لعدم وقوع أى جزء منها على مياسم الزهرة — وهو يفعل ذلك لأنه لايرغب فى أن تلقح هذه الزهرة ذاتياً عن طريق حبوب اللقاح التى بها . وبعد انهاء عملية الخصاء يغطيها بكيس من الورق الشفاف بحيث لا يكون بها إلا أعضاء التأنيث فقط حماية لها من الهواء والحشرات ويبين ( شكل ٣٨ ) الزهرة قبل خصائها ثم بعد الخصاء — ودائماً يختار الوقت المناسب لعملية الخصاء قبل أن تتفتح حبوب اللقاح بحيث يقل الخطر من اقتلاعها حتى ولو تفككت لا يكون هناك مجال لا نتشار حبوب اللقاح التى تكون لا زالت فى دور التكوين .




( شكل ٣٨ )

(ا) برعم الزهرة قبل الخصاء ، (ب) الزهرة بعد خصائها مغطاة بكيس من الورق

(٤) بعد مرور الوقت الكافى الذى تهيأ فيه الزهرة المخصبة وتعد لاستقبال حبوب اللقاح يقوم المربى بنقل حبوب اللقاح من أزهار النبات الذكر مستعملا

ملقطاً معقماً وأيدى معقمة بالكحول ٩٦ ٪ وتوضع هذه الحبوب على مياسم الأزهار المخصبة بأن يرفع الكيس عنها بحرص ودقة وقتاً كافياً لإتمام عملية التلقيح ثم يوضع الكيس ثانية بعناية تامة ويترك عدة أيام يضمن خلالها أن يكون التلقيح قد تم تماماً — وبعد ذلك ومع الاطمئنان التام لكفاية هذه المدة يمكنه أن يقطع الجزء الأعلى من الكيس لكى تتعرض الثمرة المتكونة للشمس والهواء — وتبقى كذلك إلى أن يتم نضج البذور والثمرة .

وتسمى هذه العملية بعملية التهجين الصناعى — والبذور المتكونة تسمى بذور الهجن الناتجة من هذا التلقيح — ويوضع على الزهرة الملقحة ليبل ( label ) يكتب عليه البيانات اللازمة مثل نمرة العائلة التى ينتمها النبات الأم وتاريخ الخصاء وتاريخ التلقيح ونمرة خاصة يستدل بها على نوع التهجين المعمول بأن تدون فى دوسيه خاص أو نوتة خاصة يستدل بها على عائلة الأب المستعمل .

وعند إنبات هـــذه البذور تنتج نباتات هجن الجيل الأول لهذا التلقيح — إذ أن كل نبات منها هو هجين بين نباتين مختلفين — وهذه الطريقة من أنجع الطرق التى يستعملها المربى فى تكوين نباتات تجمع بين العوامل الوراثية الكامنة فى نباتين مختلفين — وقد أدت إلى إنتاج أصناف ممتازة من مختلف المحاصيل نذكر على سبيل المثال منها أصناف القطن كرنك وجيزة ٣٠ والمنوفى المحسن — ومن أصناف القمح الجيزة ١٣٩ وغيرها من مختلف المحاصيل الهامة .

**٥ ــ علم الوراثة** (Genetics) :

علم الوراثة هو العلم الذى يسعى لتفسير ظاهرتين أساسيتين هما :—

أولا : أوجه الشبه أو التشابه بين الكائنات الحية ذات الأصل الواحد أو المنشأ الواحد .

ثانياً : أوجه الاختلاف أو التباين بين نفس هذه الكائنات الحية التى تربط بينها صلات القرابة أى ذات النسب الواحد .

والمهم فى الحالتين أن تكون المقارنة بين كائنين من أصل واحد أو ذات منبت واحد كأن يكون مثلا بين نوعين من القمح أو من القطن أو من الكلاب أو الأرانب إذ أن علم الوراثة بما لديه من قوانين وتفاسير يستطيع أن يدلى دلوه فى هذا المضمار فيبرز أوجه الشبه أو أوجه الاختلاف بين نباتين من نبات القطن أو نباتين من نبات القمح — ولكن المقارنة بين نبات القمح ونبات القطن مثلا لا تدخل ضمن دائرة اختصاصه وليس عنده لها قوانين ولا تفاسير — إذ أن الاختلاف هنا اختلاف من نوع آخر معزو للتسلسل الزمنى والتتابع المنطقى والتعاقب النشوئى الذى تفترضها نظريات التطور وهذا موضوع آخر ليس لنا دخل به فى هذا المؤلف .

نعود الآن إلى موضوعنا الأصلى فنقول :—

رأينا أن هناك أوجهاً للتشابه كما أن هناك أوجهاً للاختلاف بين الكائنات الحية ذات الأصل الواحد — وان هذه الأوجه جميعها تفسرها القوانين الوراثية — فالمعروف أنه لا يمكن أن يتفق فردان فى جميع صفاتهما مهما تقاربت صلة القرابة بينهما — وأوجه الشبه بينهما تعزى دائماً لتشابه العوامل الوراثية المسببة للصفات المتشابهة — أما أوجه الاختلاف فتعزى إلى أمرين احـــدهما أو كلاهما وهما :—

الأول : اختلاف فى العوامل الوراثيه نفسها او بعضاً منها يتسبب عنه بطبيعة الحال اختلاف فى الصفات المنسوبة إليها — ومثل هذه الاختلافات تورث بمعنى أنها تنتقل من الآباء إلى الأبناء وذلك لكونها ممثلة فى الخلايا التناسلية .

الثانى : اختلاف فى البيئة التى تعيش فيها النباتات يتسبب عنه اختلاف فى بعض الصفات التى تتأثر بدرجات متفاوتة من تغيرات مكونات البيئة — ومثل هذه الاختلافات لا تورث إذ أنها تظهر فقط أثناء نمو النبات وتختفى بموته فلا تنتقل بناء على ذلك من الآباء إلى الأبناء وذلك لكونها غير ممثلة فى الخلايا

التناسلية وبذلك لا تستطيع أن تؤثر فى التركيب الوراثى الذى يحدد الصفات الموروثة .

على هذا الأساس يمكننا تقسيم علم الوراثة إلى قسمين :—

**القسم الأول ـ التوارث** (Heredity) :

وهو الذى يعالج أوجه التشابه وكذلك أوجه الاختلافات المتسببة عن تشابه أو اختلاف فى العوامل الوراثية أو المجموعة الكروموزومية — أى تلك التى يتوارثها الأبنـاء عن الآباء لكونها ممثلة فى الخلايا التناسلية — وسيصطلح هذا الكتاب على تسمية هذا القسم من أقسام الوراثة بعلم التوارث وهو الذى يسمى بالإنجليزية (Heredity) تمييزاً له عن علم الوراثة الجامع الشامل للقسمين معاً وهو الذى يسمى ( Genetics)

**القسم الثانى ـ التصنيف** (Variation) :

وهو الذى يعالج أوجه الاختلافات المتسببة عن عوامل البيئة وهذه كما قلنا اختلافات موقوتة بمسبباتها وتزول بزوال هذه المسببات — أى انها مجرد تحورات لا تورث — وتسمى بالتصنيف البيئى (Environmental variation) ويرجع عدم توارث هذه الاختلافات إلى كونها لا تؤثر فى العوامل الوراثية أو المجموعة الكروموزومية بأى شكل من الأشكال — على أنه تجب الإشارة هنا إلى أنه قد تحدث فى بعض الأحيان أن يكون تغيير البيئة له تأثير مباشر على عامل أو أكثر من العوامل الوراثية أو على تكوين المجموعة الوراثية أو الكروموزومية وبهذه الكيفية وحدها تتوارث مثل هذه الاختلافات لكونها تصبح ممثلة فى الخلايا التناسلية وبذلك تنتقل من هذا القسم إلى قسم التوارث — وسيجيء ذكر ذلك فيما بعد.

**٦ ـ قوانين مندل الوراثية Mendel's laws of Inheritance :**

كان مندل أول من افترض وجود العوامل الوراثية فى خلايا النباتات — وجعل لهذه العوامل المسئولية الأولى فى إبراز الصفات المميزة للنبات — وفى الوقت

الذى نشر فيه مندل نتائج أبحاثه على العالم — وكان ذلك عام ١٨٦٥ — كان الكثير من الحقائق العلمية المعروفة الآن خافياً عليه — ولعل أهم هذه الحقائق هى الكروموزومات وأهميتها من الناحيتين الوراثية والسيتولوجية — وعلى هذا الأساس فان مندل اعتقد بوجود العوامل الوراثية فى الخلايا ولم يحدد لها مكاناً ثابتاً فيها وذلك بطبيعة الحال لعدم إلمامه بحقيقة مشتملات الخلية وخاصة الكروموزومات — ووضع مندل قوانينه التى أمكن ربطها بعد ذلك بالكروموزومات رباطاً وثيقاً أدى إلى ما وصلت إليه الآن القوانين الكروموزومية الوراثية من تقدم كبير فى المعلومات كان له أكبر الأثر فى وضع الأسس العلمية لتربية النبات والحيوان .

ويمكننا فى النقط الآتية تلخيص نتائج تجارب مندل بعد تحويرها لتتمشى مع النظرية الكروموزومية الوراثية التى وضعها العلماء بعد مندل :—

١ — العوامل الوراثية المسببة للصفات محمولة على الكروموزومات فى نواة الخلية .

٢ — كل صفة من الصفات لها عاملان يمثلانها فى الخلية الجسمية (Somatic cell) وهذان العاملان محمولان على كروموزومين متشابهين ولا يمكن أن يتواجدا على نفس الكروموزوم .

٣ — هذان العاملان للصفة الواحدة ينفصلان عن بعضهما البعض أثناء تكوين الخلايا التناسلية أى أثناء عملية الانقسام الاختزالى بحيث تحتوى كل خلية تناسلية على واحد فقط من الكروموزومين المتشابهين وبالتالى على واحد فقط من هذين العاملين كممثل للصفة وليس كلاهما معاً .

٤ — هذا هو مبدأ انعزال الصفات (segregation) أى انفصالها عن بعضها البعض ويتوقف السلوك الوراثى للصفة على مدى التشابه بين العاملين الوراثيين فى الخلية الجسمية — فاذا كانا متشابهين فان الخلايا التناسلية تكون هى الأخرى متشابهة — أما إذا كانا مختلفين فهنا يحصل الانعزال الوراثى الذى يتسبب عنه عدم تجانس أفراد الأجيال المتعاقبة فيما يختص بهذه الصفة بالذات .

٥ — إذا كان العاملان المسببان للصفة الواحدة متشابهين فان النبات يقال عنه انه نقى فى هذه الصفة أى (homozygous) — ومعنى هذا أنه إذا لقح ذاتياً فان جميع أنساله تكون متشابهة فى هذه الصفة بأن تكون جميعها مطابقة للأصل أى (breed true)

٦ — أما إذا كان العاملان المسببان للصفة الواحدة غير متشابهين بمعنى أن كلا منهما يتسبب فى إبراز تعبير مختلف لنفس الصفة فان النبات يقال عنه انه خليط فى هذه الصفة أى غير نقى أى (heterozygous) — ومعنى هذا انه إذا لقح ذاتياً فان أنساله تكون مختلفة فبعضها يظهر عليه أحد التعبيرين والبعض الآخر يظهر عليه التعبير الآخر — وقد وجد مندل أن هذين التعبيرين للصفة الواحدة يوجدان بنسب عددية ثابتة .

٧ — ليست هناك أية علاقة بين العوامل الوراثية المسببة للصفات المختلفة فقد يكون بعضها نقياً والبعض الآخر خليطاً — أى أنه ليس هناك ما يلزم أن يكون النبات نقياً نقاوة تامة فى جميع صفاته الوراثية ولا أن يكون خليطاً خلطاً تاماً فيها جميعها — وعلى ذلك تكون المجموعة الوراثية المسماة (genotype) ذات أشكال عديدة متباينة .

٨ — يظهر استقلال العوامل الوراثية عن بعضها البعض ظهوراً جلياً أثناء عمليات الانقسام الاختزالى — فكل عاملين ينعزلان عن بعضهما البعض فى استقلال تام وحرية تامة غير متأثرين بسلوك العوامل الأخرى ولا علاقة مطلقاً بين عامل وآخر ( فيما عدا حالات الارتباط التى سيجىء ذكرها بعد ) .

٩ — كل ما سبق ذكره من النقط ينطبق على النباتات ثنائية الكروموزومات أى (Diploid)

والآن وقد شرحنا هذه الأسس الوراثية لقوانين مندل سننتقل إلى شرح تجاربه التى أدت إلى وضع هذه القوانين نفسها — وقد كان النبات الذى اختاره

هو نبات البازلاء (Pisum sativum) فلقد استرعى نظره اختلافات الشكل الخارجي من ناحية ألوان الزهرة وأطوال النباتات وغير ذلك من الصفات — فأراد أن يوجد تفسيراً لهذه الظواهر فقام بتجاربه المشهورة التي أدت إلى وضع قانوني مندل الذين أصبحا الأساس الثابت لعلم الوراثة إلى يومنا هذا

**٧ — قانون مندل الأول ( قانون الانعزال )** (Law of Segregation)

امتاز مندل عن الذين سبقوه بكونه بسط الأمور في تجاربه — ورأى أن يدرس سلوك الصفات واحدة بواحدة — وبذلك تمكن من حصر الأشكال النباتية التي وجدت أمامه في أضيق حيز بحيث يكون باستطاعته أن يميزها بسهولة بل وأكثر من ذلك أن يحصي إعداد النباتات الموجودة في كل منها .

ولقد كان لون الأزهار في البازلاء من الصفات التي أراد مندل أن يدرسها ليتعرف على أسباب تباينها في النباتات المختلفة ويجب أن نشير هنا إلى أن لون الزهرة هو أحد الصفات — ويعبر عنه بعدة تعبيرات فالزهرة قد تكون بيضاء أو حمراء أو غير ذلك — وهذا هو ما نقصده من إشاراتنا المتعددة إلى التعبيرات المختلفة للصفة الواحدة .

اختار مندل نباتاً زهوره حمراء وآخر زهوره بيضاء واستيقن من أن كلا منهما نقي في خاصيته — ثم بدأ سلسلة أبحاثه على النحو الآتي : —

١ — عمل تلقيحاً صناعياً بينهما مستعملا احداهما كأب والآخر كأم .

٢ — أخذ البذور الناتجة من هذا التلقيح وزرعها فأنتجت له نباتات — وهذه النباتات هي ما تسمى بأفراد أو أنسال الجيل الأول (F1) بالنسبة للنباتين الأصليين الذين استعملا كآباء .

٣ — وجد أن جميع نباتات الجيل الأول (F1) من غير استثناء تحمل زهوراً حمراء .

٤ – كان برنامجه يقتضى إنتاج نباتات الجيل الثانى (F2) – ويمكن الحصول عليها بطريقتين إما بعمل تلقيح صناعى بين زهرتين أو بمجرد احكام التلقيح الذاتى لزهرة واحدة – وحيث ان التركيب الوراثى لجميع نباتات الجيل الأول هنا – فيما يختص بلون الزهرة – متشابه ومتماثل فان النتيجة واحدة فى كلتا الطريقتين .

٥ – أخذ البذور الناتجة وزرعها لإنتاج نباتات الجيل الثانى (F2) – والجيل الثانى يحصل عليه دائماً بتلقيح فردين من أفراد الجيل الأول – فهو جيل ثان بالنسبة للأبوين الأصليين اللذين هما أصل العائلة التى نحن بصددها .

٦ – وجد مندل ان نباتات الجيل الثانى (F2) تختلف من حيث لون الزهرة – فكان بعضها زهورها حمراء والبعض الآخر زهورها بيضاء – وعندما أحصى اعداد النباتات من كل لون وجد أن النسبة بين اللونين ٣ حمراء : ١ بيضاء أى نسبة ( ٣ : ١ ) وبمعنى آخر أن النباتات البيضاء تكون الربع أو ٢٥٪ من مجموع أفراد الجيل الثانى جميعها .

هذه هى الخطوات التى اتخذها مندل والتى استخرج منها قانونه الأول المشهور بقانون الانعزال – وباستعراض نتائج هذه الخطوات نجد أن أهم مايسترعى النظر حقيقتان هما :–

الأولى : اختفاء اللون الأبيض للزهرة فى نباتات الجيل الأول اختفاء تاماً– هذا فى الوقت الذى نعلم فيه ان هذه النباتات لا بد وأن يدخل فى تكوينها شىء ما يسبب بياض لون الزهرة .

الثانية : ظهور اللون الأبيض بنسبة خاصة فى نباتات الجيل الثانى جنباً إلى جنب مع اللون الأحمر .

ما معنى هذا ؟ — معناه أن كلا اللونين كانا ممثلين فى نباتات الجيل الأول ولكن لسبب ما منع ظهور أحدهما فى ذلك الجيل — ولكن عند إنتاج الجيل الثانى زال هذا المانع فظهر اللون .

وهنا برزت لمندل الفكرتان الأساسيتان لتجاربه جميعاً وهما :—

الفكرة الأولى : مبدأ السيادة (Dominance)

الفكرة الثانية : مبدأ الانعزال (Segregation)

أى ان تعبيرى الصفة الواحدة عندما يوجدان مع بعضهما البعض يتغلب أحدهما على الآخر أو يسود عليه فيخفى ظهوره — ثم انه عند انعزالهما أو انفصالهما عن بعضهما البعض يظهر كل من التعبيرين بطبيعة الحال .

وعلى هذا الأساس ننتقل الآن لنفسر كل هذا فى النقط الآتية :—

١ — بدأنا هذه التجربة بنباتين أحدهما زهوره حمراء والآخر زهوره بيضاء وكلاهما نقى فى لونه أى (Pure)؛ (homozygouns)

٢ — الأب الأحمر يحمل فى خلاياه عاملين وراثيين متشابهين يتسببان فى إيجاد هذه الصفة — ويرمز لكل منهما بالحرف (R) وهو الحرف الأول من (Red) — ومعنى هذا أن الخلية الجسمية يكون تكوينها الوراثى فيما يختص بهذه الصفة (RR) — وذلك لوجود عاملين .

٣ — الأب الأبيض الزهور يحمل هو الآخر عاملين وراثيين متشابهين يتسببان فى إيجاد هذه الصفة — وحيث انه قد ثبت لدينا هنا أن هذا اللون عند وجوده فى خلية واحدة مع اللون الأحمر فانه يتنحى عن الظهور لسيادة اللون الأحمر عليه — فقد اصطلح على أن يرمز إليه — ليس بالحرف الأول من كلمة (White) — ولكن بالحرف الأول مصغراً للكلمة التى تدل على اللون السائد — أى بالحرف (small r) — وعلى ذلك يكون التركيب الوراثى هو (rr) لوجود عاملين.

٤ — عند تكوين الخلايا التناسلية فى كل من هذين الأبوين يحصل الانقسام الاختزالى — وحيث أن هذا الانقسام ينتهى بإيجاد خلايا تناسلية تحتوى على نصف عدد الكروموزومات وبالتالى نصف عدد العوامل الوراثية — وحيث أن كلا منهما نقى — فان التركيب الوراثى للخلايا التناسلية جميعها يكون كالآتى :— (R) للنبات الأحمر الزهور ؛ (r) للنبات الأبيض الزهور وذلك لوجود عامل واحد فقط .

٥ — عندما تلقح هذه الخلايا التناسلية بعضها البعض لتكوين البذور التى تعطينا نباتات الجيل الأول يكون التكوين الوراثى لهذه البذور جامعاً للعاملين الوراثيين معاً أى (Rr)

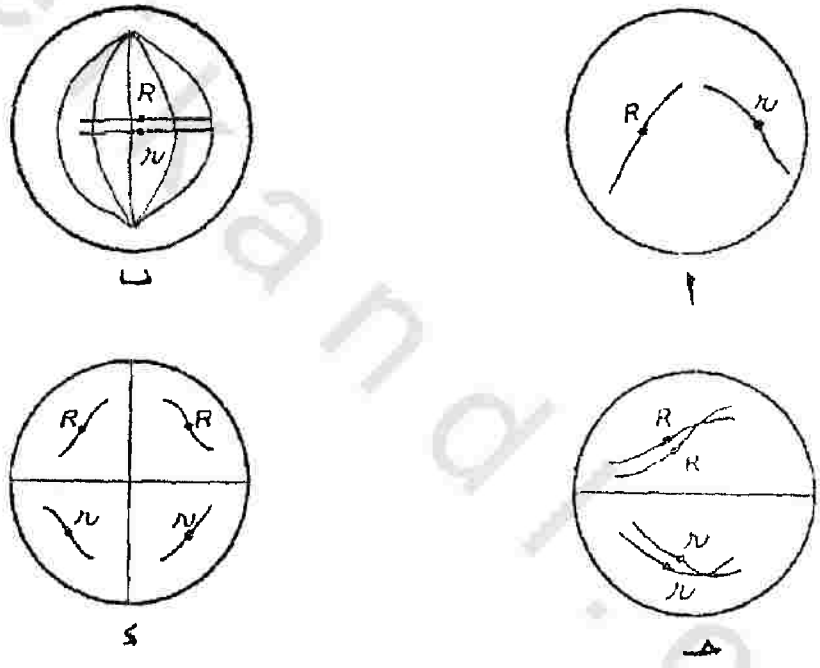
٦ — عندما أزهرت نباتات الجيل الأول هذه وجد أن أزهارها جميعاً حمراء اللون — هذا فى الوقت الذى نجد فيه أنها تحمل العاملين الوراثيين معاً من غير تفضيل أو تميز فى العدد .

٧ — الذى حصل هو أن العامل (R) تغلب أو ساد أو أخفى أو منع العامل (r) من اظهار صفته الوراثية المختصة به وهى بياض اللون — ومعنى هذا أنه يوجد عندنا نوعان من العوامل — العامل (R) ويطلق عليه العامل السائد أو الغالب (Dominant gene) — والعامل (r) ويطلق عليه العامل المسود أو المتنحى (Recessive gene) — ويقال فى نفس الوقت أن الصفة نفسها سائدة أو متنحية — فاحمرار الزهرة هنا سائد وبياضها متنحى .

٨ — يلاحظ أن نباتات الجيل الأول تركيبها الوراثى (R r) أى أن العاملين فيها غير متشابهين أى أنها غير نقية أى (heterozygous)

٩ — عند تكوين الخلايا التناسلية لنباتات الجيل الأول ينتج لدينا نوعان من هذه الخلايا وليس نوعاً واحداً كما كان الحال فى الأبوين الأصليين — وسبب

ذلك أن نباتات الجيل الأول ليست نقية ولكونها كذلك فان عملية الانقسام الاختزالى تعطينا خلايا تناسلية نصفها العددى تركيبه الوراثى (R) والنصف الآخر (r) كما هو موضح فى ( شكل ٣٩ ) . أى أن ٥٠ ٪ من الجاميطات تحمل العامل الوراثى السائد ، ٥٠ ٪ منها تحمل العامل المتنحى — وهذا هو مبدأ الانعزال (Segregation) الذى ينص على انعزال أو انفصال العاملين المتضادين عن بعضهما البعض أثناء عملية الانقسام الاختزالى لتكوين الخلايا التناسلية .




( شكل ٣٩ )

الانقسام الاختزالى والانعزال الوراثى فى نبات الجيل الأول الخليط لزوج من الصفات

ا — العاملان المتضادان كل على كروموزوم من الكروموزومين المتشابهين عند بدء الانقسام الاختزالى .

ب — اتحاد الكروموزومين المتشابهين .

جـ — نهاية الانقسام الاختزالى الأول وتكوين خليتين وانعزال العاملين .

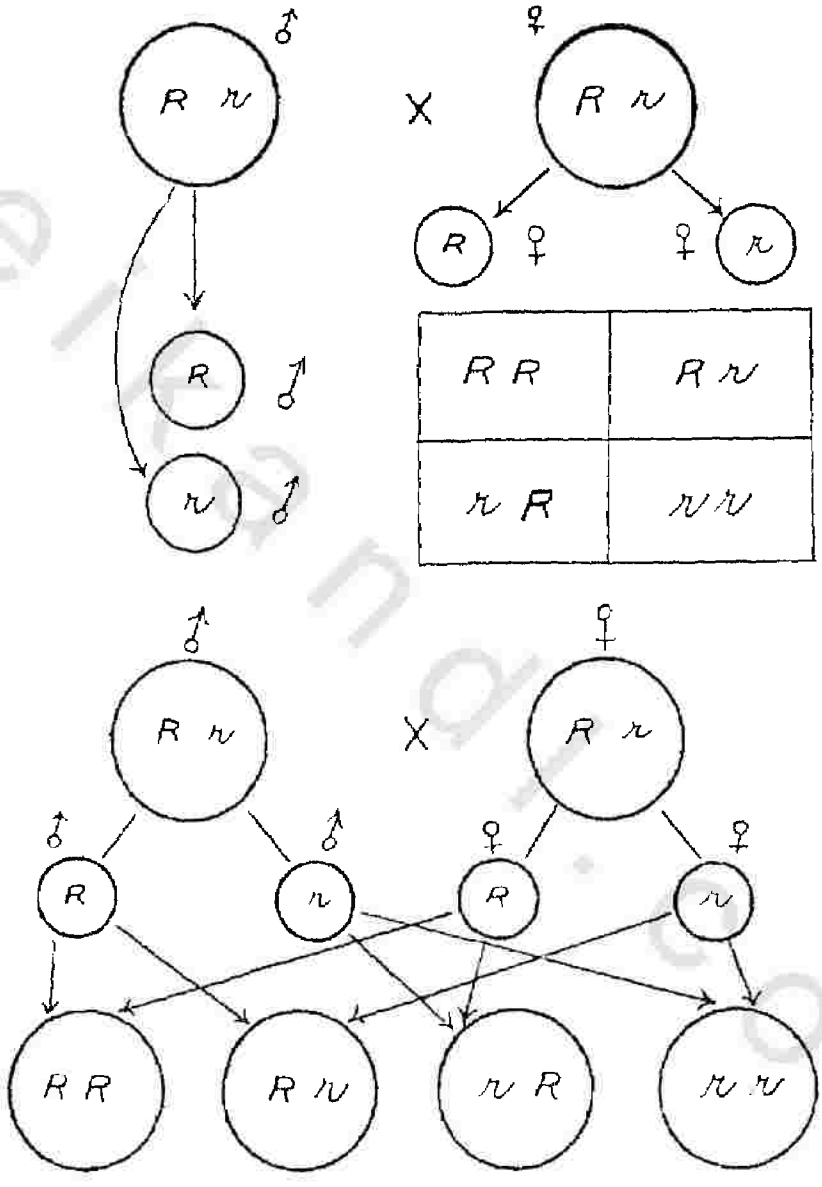
د — نهاية الانقسام الاختزالى نهائياً وتكوين أربعة جاميطات اثنتان منها تحملان العامل السائد (R) — واثنتان تحملان العامل المتنحى (r)

١٠ — العاملان المتضادان المسببان للتعبيرين المختلفين للصفة الواحدة — وهما فى هذه الحالة (R) ، (r) — يسميان زوج من العوامل المتضادة أو المتبادلة وبالإنجليزية يطلق عليهما (a pair of allelomorphic factors) —وهما محمولان فى مواقع متشابهة على الكروموزومين المتشابهين اللذين يتحدان فى عملية الانقسام الاختزالى وبالتالى ينفصلان فى نهاية العملية إلى الخلايا التناسلية الناتجة — ولا يمكن بحال من الأحوال أن يوجدا على كروموزوم واحد عند وجودهما مع بعضهما فى الخلايا الجسمية للنباتات غير النقية — وكذلك لا يمكن أن يوجدا مع بعضهما فى الخلايا التناسلية إذ أن هذه تحتوى على أحدهما أو الآخر — وينطبق هذا القول على العاملين المتشابهين سواء أكانا سائدين (RR) أو متنحيين (rr) فى الخلايا الجسمية للنباتات النقية .

١١ — يحصل هذا الانعزال بنفس الكيفية فى تكوين الحاميطات الذكرية ( حبوب اللقاح ) والحاميطات الأنثية ( البويضات ) — والنتيجة حينئذ هى أن حبوب اللقاح فى المتك يكون نصفها حاملا للعامل (R) والنصف الآخر حاملا للعامل (r) — وكذلك البويضات فى المبيض يكون نصفها (R) والنصف الآخر (r)

١٢ — عند تلقيح نباتين من نباتات الجيل الأول أو عمل تلقيح ذاتى فى أحدها ( والنتيجة واحدة ) تتهيأ الفرص لحبوب اللقاح فى أن تلقح البويضات لتكوين بذور نباتات الجيل الثانى — وحيث انه يوجد لدينا نوعان من حبوب اللقاح (R) ، (r) متساويان فى العدد أى يتواجدان بنسبة واحدة — وكذلك يوجد لدينا نوعان من البويضات (R) ، (r) بنسبة واحدة أيضاً — فان النتيجة الحتمية المترتبة على سنن الطبيعة وتكافؤ الفرص والقوانين الحسابية هى وجود أربع تشكيلات زيجوتية ناتجة من تلقيح نوعين من حبوب اللقاح لنوعين من البويضات بكل الطرق الممكنة .

وهذه التشكيلات الزيجوتية هى (RR) ، (Rr) ، (rR) ، (rr) كما هو مبين فى ( شكل ٤٠ ) بطريقتين مختلفتين للإيضاح .




( شكل ٤٠ )

تكوين الأشكال الزيجوتية الأربعة

الممكن الحصول عليها من نبات خليط لزوجين من العوامل الوراثية

ويبين الشكل تكوين الجاميطات أولا – ثم اتحادها اثنتين اثنتين

لتكوين الأربعة أشكال من الزيجوتات – ويمثل الشكل طريقتين مختلفتين للإيضاح

١٣ — هذه الأربع تشكيلات رغم أنها أربعة من الناحية العددية إلا أنه يمكن وضعها فى ثلاث مجاميع فقط — المجموعة الأولى (RR) والثانية (Rr) والثالثة (rr) — على أنه يتحتم علينا أن نذكر دائماً مكررات كل من هذه المجاميع بالنسبة لبعضها البعض — أى أن نسبة وجود هذه الثلاث مجاميع هى فى الحقيقة (RR) مرة واحدة، (Rr) مرتان، (rr) مرة واحدة — أى :

١ rr : ٢ Rr : ١ RR

وتسمى هذه النسبة فيما يختص بزوج واحد من العوامل الوراثية المتضادة بالنسبة الوراثية (genotypic ratio) نسبة إلى التكوين الوراثى (genotype) — حيث انها تبين أنواع التركيبات الوراثية الممكن الحصول عليها والنسبة العددية لظهورها .

١٤ — إذا نظرنا إلى هذه الثلاث مجاميع الوراثية نظرة أخرى نجد أنه بامكاننا وضعها فى مجموعتين اثنتين فقط من حيث الشكل الخارجى للنبات ممثلا فى التعبيرين المختلفين للون الزهرة وهى الصفة التى ندرسها فى هذه التجربة — وهاتان المجموعتان هما :—

(ا) التركيب الوراثى الذى يتسبب فى جعل لون الزهرة حمراء — وهذا يشمل التركيبين (RR)، (Rr)

(ب) التركيب الوراثى الذى يتسبب فى جعل لون الزهرة بيضاء وهذا يشمل التركيب (rr) فقط .

١٥ — هنا أيضاً يتحتم علينا أن نذكر مكررات كل من هذه التركيبات الوراثية عند جمعها فى المجموعتين الممثلتين للون الزهرة — فنجد أن المجموعة الأولى مكونة من ١ RR + ٢ Rr = ٣ جميعها حمراء الزهور والمجموعة الثانية مكونة من (١ rr) فقط = ١ بيضاء الزهور .

وتسمى هذه النسبة أى ١ r : ٣ R بالنسبة المورفولوجية أى (Phenotypic ratio) نسبة إلى الشكل المورفولوجى أو الخارجى للنبات

(Phenotype) حيث أنها تبين الأشكال المختلفة الممكن الحصول عليها والنسبة العددية لظهورها .

هذا هو قانون مندل الأول مبيناً فيه طريقة انعزال العوامل الوراثية عن بعضها البعض وتكوين مختلف أنواع الزيجوتات ذى الأشكال المورفولوجية المختلفة — التى توجد دائماً بنسبة ( ٣ : ١ ) لأى صفة من الصفات يكون النبات فيما يختص بها غير نقى أى خليط — ويكون أحد التعبيرين سائداً على الآخر .

وبدراسة هذا القانون وخطواته والتزاماته يمكننا أن نستخلص النقط الآتية :—

١ — الخلية الزيجوتية تحتوى على العاملين المتضادين معاً — وهذان العاملان إما أن يكونا متشابهين فتكون الخلية نقية أو يكونا مختلفين فتصبح غير نقية أو خليطة — فالزيجوتة إذن إما أن تكون نقية وإما أن تكون خليطة — أما الجاميطة فهى بطبيعة الحال تحتوى على عامل واحد فقط لكل صفة فهى إذن نقية نقاوة تامة فيما يختص بالصفة الواحدة .

٢ — هناك نوعان من النقاوة الوراثية — نقاوة سائدة ونقاوة متنحية — أما التركيب الخلطى فهو من نوع واحد فقط غالباً ما يكون سائداً .

٣ — جميع التركيبات النقية لا تعطى انعزالات مطلقاً إذ تكون جميع الأنسال مطابقة للأصل — أما التركيب الخلطى فيعطينا انعزالات بنسبة ( ٣ سائد : ١ متنحى ) للصفة الواحدة .

٤ — عند تحليل العمليات التى أدت إلى تكوين الجيل الثانى فى التركيبات الخلطية نجد أنه يمكننا تميز ثلاثة أنواع مختلفة من النسب الانعزالية وهى :—

**( ١ ) النسبة الجاميطية** (Gametic ratio) :

وهى أن الجاميطات تكون على نوعين متساويين فى العدد — فنصف الجاميطات المتكونة تحمل العامل السائد والنصف الثانى يحمل العامل المتنحى

فالنسبة إذن هى ( ١ : ١ ) وإذا أخذنا كمثل حالة لون الزهرة فى البازلاء فان النسبة هى (١ R : ١ r)

**( ب ) النسبة الزيجوتية** (Zygotic or genotypic ratio) :

وهى أن التشكيلات الزيجوتية المتكونة تكون على ثلاثة أنواع . النوع الأول سائد نقى ويكون ٢٥ ٪ من المجموع الكلى — والنوع الثانى سائد خليط ويكون ٥٠ ٪ من المجموع والنوع الثالث متنحى نقى ويكون ٢٥ ٪ من المجموع — أى ان النسبة هى ( ١ : ٢ : ١ ) — وفى حالتنا الراهنة تكون النسبة هى (١ RR : ٢ Rr : ١ rr)

**( حـ ) النسبة المورفولوجية** (Phenotypic ratio) :

وهى أن أفراد الجيل الثانى تكون مجموعتين اثنتين فقط من حيث الشكل الخارجى للصفة — المجموعة الأولى تمثل الصفة السائدة وهذه تكون ٧٥ ٪ من المجموع الكلى والمجموعة الثانية تمثل الصفة المتنحية وتكون ٢٥ ٪ من المجموع — أى ان النسبة بينهما هى ( ٣ سائد : ١ متنحى ) — وفى حالتنا الراهنة هى (3 R red : 1 r white)

٥ — فى بعض النباتات تكون السيادة غير تامة بين العاملين المتضادين بحيث انهما عند وجودهما مع بعضهما البعض لا يتغلب أحدهما على الآخر وتكون النتيجة تكوين صفة متوسطة بين الصفتين الأوليتين — فى نبات الأنترهينم مثلا — نجد أن احمرار الزهرة ليس سائداً على بياضها — وعند تكوين الجيل الأول بينهما يكون لون الأزهار متوسطاً بين اللونين أى بنى (pink) — وفى مثل هذه الحالات تكون النسبة المورفولوجية مطابقة للنسبة الزيجوتية إذ تكون كلا منهما ( ١ : ٢ : ١ )

فالنسبة الزيجوتية هى ١ RR : ٢ Rr : ١ rr

وكذلك النسبة المورفولوجية ١ RR (red) : ٢ Rr (pink) : ١ rr (white)

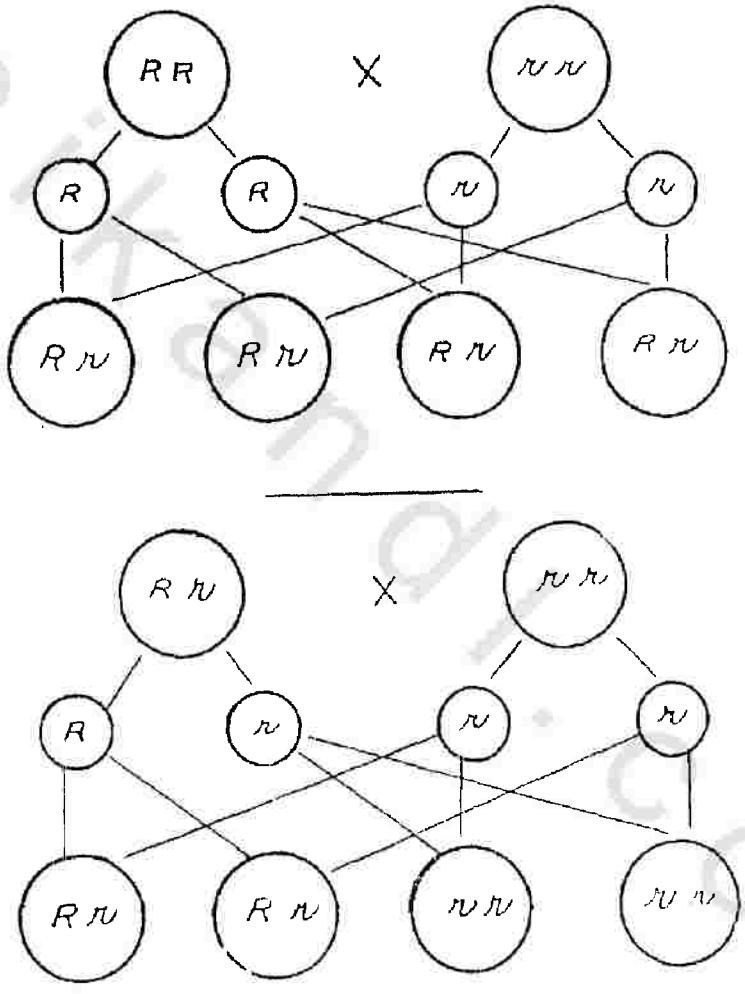
وغنى عن الذكر أن سبب ذلك هو أنه لا يمكن ضم التركيبين (RR)، (Rr) معاً لأن كلا منهما يعطى شكلا مورفولوجياً مختلفاً — أما فى حالات السيادة فانهما يعطيان نفس الشكل المورفولوجى ولذلك يمكن ضمهما معاً .

٦ — نعود الآن إلى حالة البازلاء حيث توجد السيادة التامة لأحد العاملين فنجد أن النباتات حمراء الزهور فى الجيل الثانى ليست جميعها ذات تركيب وراثى واحد — فبعضها سائد نقى (homozygous dominant) وتركيبها (RR) — وبعضها سائد خليط (heterozygous dominant) وتركيبها (Rr) — وهـذه لا يمكن التمييز بينها من الناحية الشكلية مطلقاً — وحيث أن أعمال التربية تستدعى دائماً التعرف على التكوين الوراثى للنباتات فانه من الأهمية بمكان الاستدلال على كنه ذلك التكوين الوراثى — وهناك طريقتان أساسيتان لذلك :—

الأولى : عمل تلقيح ذاتى محكم للنبات المختبر — فاذا كان النبات نقياً أى (RR) فانه لا تحصل انعزالات مطلقاً فى أنساله إذ تكون هذه جميعها حمراء الزهور — أما إذا حصلت الانعزالات ووجدنا الأنسال بعضها أحمر الزهور والبعض الآخر أبيض الزهور فهذا دليل قاطع على أن النبات موضع الاختبار كان خليطاً أى (Rr) — ويلاحظ أن سلوكه يكون مشابهاً تماماً لسلوك نباتات الجيل الأول فهو بذلك يعطينا نباتات حمراء الزهور وأخرى بيضاء الزهور بنسبة (٣ : ١) .

الثانية : عمل تهجين خاص يسمى بالتهجين الرجعى (Back-cross) وهو عبارة عن تهجين يعمل بين النبات المراد اختباره كأحد الآباء ونبات ذى زهور بيضاء كالأب الآخر — أى ان الفكرة هنا تتلخص فى اختبار أنسال هذا النبات المختبر عند تلقيحه مع نبات يحمل الصفة المتنحية — وسندرس الآن كيفية التعرف على التركيب الوراثى للنبات موضع الاختبار بهذه الطريقة :—

هذا النبات المختبر إما أن يكون تركيبه (RR) : (Rr) — أما النبات الذى سيستعمل كأب رجعى فتركيبه هو حتما (rr) إذ أن هذا هو التركيب الوحيد الذى ينتج عنه نباتات بيضاء الزهور مبرزة للصفة المتنحية — ويبين ( شكل ٤١ ) السلوك المنتظر فى كلتا الحالتين :—




( شكل ٤١ )

استعمال التهجين الرجعى (back-cross)

للتمييز بين التركيبات الوراثية السائدة لمعرفة ما إذا كانت نقية أو خليطة

( ا ) التهجين بين سائد نقى ومتنح نقى ، ( ب ) بين سائد خليط ومتنح نقى

وتظهر فى كل حالة تكوين الجاميطات أولا ثم اتحادها لتكوين الزيجوتات

فى الحالة الأولى أى (RR × rr) ستكون جميع النباتات الناتجة حمراء الزهور لكونها ستحمل حتما العامل الوراثى (R) إذ سيكون تركيبها جميعاً (Rr)— أى ان هذا التهجين لا يعطى نباتات بيضاء إطلاقاً .

أما فى الحالة الثانية أى (Rr × rr) فنجد أنه قد نتج لدينا شكلان من النباتات نصفها زهوره حمراء وتركيبه (Rr) — والنصف الآخر زهوره بيضاء وتركيبه (rr) — أى بنسبة ( ١ سائد : ١ متنحى ) أى ( ١ : ١ ).

وبذلك يستطيع المربى أن يتعرف على التركيب الوراثى للنبات موضع الاختبار — وطريقة التهجين الرجعى هذه هى الأكثر استعمالا لكونها تعطينا نسبة انعزالات تعادل ( ١ : ١ ) أى أن الصفة المتنحية تظهر بنسبة ٥٠ ٪ من المجموع — أما فى حالة التلقيح الذاتى فتكون الانعزالات بنسبة ( ٣ : ١ ) أى أن الصفة المتنحية تظهر بنسبة ٢٥ ٪ فقط من المجموع — وغنى عن القول انه من المستحسن أن يكون الانعزال أكثر ظهوراً حتى يسهل الاستدلال عليه — هذا فضلا عن كون التهجين الرجعى له مزايا أخرى عظيمة فى حالات خاصة كما سيجىء ذكره بعد .

٧ — رأينا إذن أن كل نبات خليط يعطينا عند تلقيحه ذاتياً نسبة ( ٣ سائد : ١ متنحى ) — وعند تهجينه رجعياً يعطينا نسبة ( ١ سائد : ١ متنحى ) وهذه قاعدة ثابتة لأى زوج من الصفات المتبادلة يكون فيه سيادة ويكون النبات فيه خليطاً .

٨ — من المسلم به أن كيان العامل ثابت لا يتأثر — وهذا ظاهر واضح فى حالات العوامل المتنحية فى التركيبات الخلطية — فان هذا العامل رغم كونه لم يستطع إبراز صفته فانه لم يفقد كيانه أو وجوده ولم يمح من الوجود بل بقيت وحدته غير متأثرة بهذا الاختفاء المؤقت كامنة إلى أن حصل الانعزال وانفصلت الصفات وإذ ذاك ظهرت صفته على حقيقتها فى الجيل الثانى — وهنا يتبين مبدأ ثبات كيان العامل الوراثى أووحدته وهو ما يعبر عنه (Individuality of the gene)

٩ – يطلق الرمز العلمى (P1) على الآباء الأوائل فى أى تجربة وراثية نسبة إلى (Parents) أى الآباء – ويطلق الرمز (F1) على أنسال الجيل الأول لهذين الأبوين الأوائل نسبة إلى (first filial generation) – ويطلق الرمز (F2) على أنسال الجيل الثانى وهكذا (F3) على الجيل الثالث ثم (F4) الرابع إلى آخر السلسلة من التلقيحات الذاتية التى لا بد من الاستمرار فيها فى شئون التربية للوصول إلى الغرض المنشود .

## ٨ – قانون منـدل الثانى ( قانون التوزيعـات الحـرة أو المستقلة ) : (Law of Independent Assortment)

تمكن مندل من دراسة طريقة التوارث لسبع من الصفات المورفولوجية فى البازلاء – ووجد أن سلوكها جميعاً متشابهة من حيث أن النباتات فى الجيل الأول أظهرت الصفة السائدة وفى الجيل الثانى ظهرت الصفتان المتضادتان بنسبة ( ٣ : ١ ) – واستناداً على ذلك وضع قانونه الأول الذى يفتى بأن العاملين المتبادلين للصفة الواحدة ينفصلان عن بعضهما البعض أثناء تكوين الخلايا التناسلية .

وأراد مندل بعد أن وضحت له طريقة توارث الصفات واحدة بواحدة أن يتعرف على سلوكها تجاه بعضها البعض – هل هناك علاقة بين عوامل الصفات المختلفة ؟ – هل هى تنفصل عن بعضها البعض أو تنعزل من غير أى تدخل بينها وبين غيرها ؟ وما هى أشكال النباتات الناتجة ؟ وغير ذلك من الأسئلة .

وإذ ذاك صمم تجاربه التى أراد بها دراسة طريقة التوارث لصفتين معاً واختار لذلك لون الزهرة وارتفاع النبات فى البازلاء – وكان من دراسته لكل من هاتين الصفتين على حدة قد توصل إلى النتائج الآتية :–

١ – اللون الأحمر للزهرة سائد على اللون الأبيض – والعاملان المسببان لهذين التعبيرين هما (R) للأحمر ، (r) للأبيض .

٢ – الطول سائد على القصر – والعاملان هما (T) للطول ، (t) للقصر .

٣ – ينطبق على كل من هاتين الحالتين جميع الاستنتاجات التى سبق شرحها عند التحدث على قانون مندل الأول .

وبدأ مندل تجربته هذه بأن اختار نباتين أحدهما طويل وزهوره حمراء والثانى قصير وزهوره بيضاء – وبعد أن استيقن من أن كلا من النباتين نقى من حيث الصفتين معاً بدأ سلسلة الأبحاث الآتية :–

١ – عمل تلقيحاً صناعياً بينهما مستعملا أحدهما كأب والآخر كأم .

٢ – زرع البذور الناتجة التى أعطته نباتات الجيل الأول فوجدها جميعاً من غير استثناء طويلة وزهورها حمراء – وهذا بديهى ومتوقع تبعاً لقانونه الأول الذى ينص على ظهور الصفات السائدة فى الجيل الأول .

٣ – حصل على نباتات الجيل الثانى بالطريقة المعروفة فوجد ان باستطاعته التمييز بين أربعة أشكال مورفولوجية مختلفة وزيادة على ذلك وجد أن هذه الأربعة أشكال موجودة بنسبة ثابتة خاصة لكل منها كالآتى :–

نباتات طويلة حمراء الزهور بنسبة ٩

« « بيضاء الزهور « ٣

نباتات قصيرة حمراء الزهور بنسبة ٣

« « بيضاء الزهور « ١

هذه هى خطوات التجربة التى أدت إلى وضع قانون مندل الثانى وسنسرد فيما يلى الاستنتاجات والتفسيرات المختلفة لهذه النتائج :–

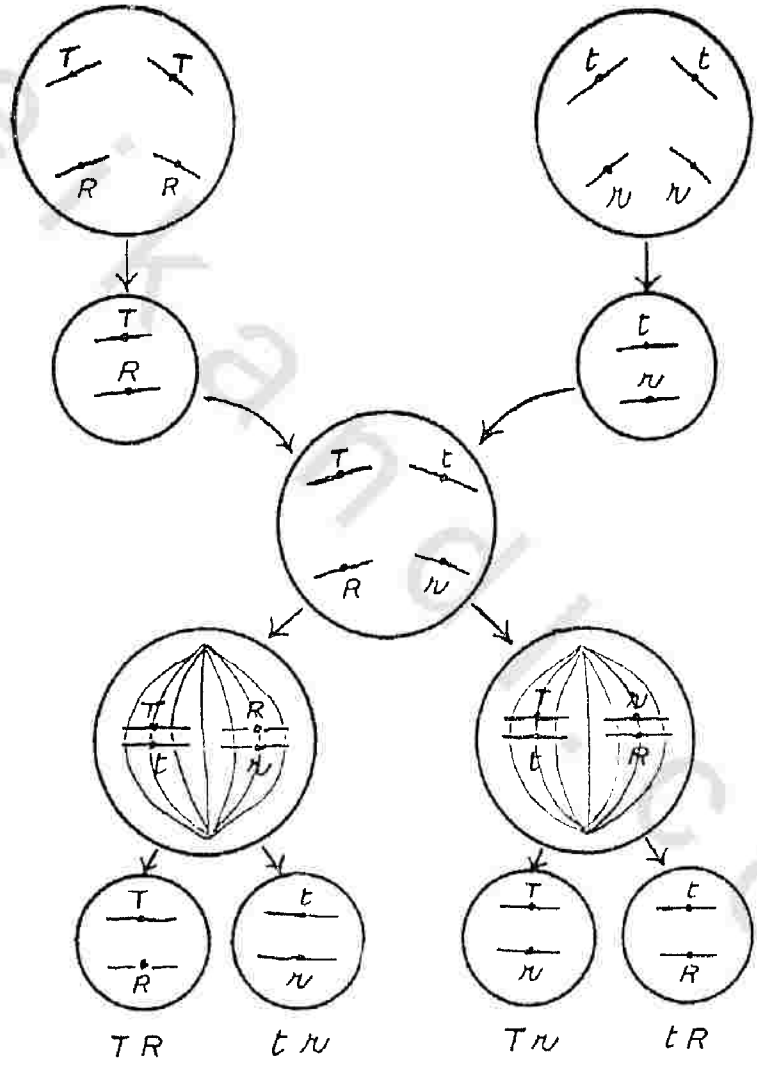
**الخطوة الأولى :**

تتعلق بالتركيب السيتولوجى الوراثى للنباتين الأصليين أى الأبوين الأولين للتجربة (P1) – وبديهى أن تركيبهما هو الآتى :–

النبات الطويل ذو الزهور الحمراء (TT RR) نقى سائد للصفتين معاً .

النبات القصير ذو الزهور البيضاء (tt rr) نقى متنحى للصفتين معاً .

وذلك الاستنتاج متمشى مع ما سبق التعرف عليه من حيث كل صفة على حدة – ويبين ( شكل ٤٢ ) الترتيب السيتولوجى لهذه العوامل الوراثية فى خلايا هذين النباتين – وحيث أن كلا منهما نقى للصفتين معاً فان كلا منهما يعطى بالانقسام الاختزالى نوعاً واحداً من الجاميطات كما هو مبين بالشكل :–




( شكل ٤٢ )

التركيب السيتولوجى الوراثى

للنباتين الاصليين فى قانون مندل الثانى

وكذلك الجيل الأول بينهما – ثم الأربع أشكال من الجاميطات

التى تكونها نباتات الجيل الأول – وذلك لزوجين من العوامل المستقلة

فالنبات الطويل ذو الزهور الحمراء تكون جاميطاته جميعها (TR)

والنبات القصير ذو الزهور البيضاء « « « (tr)

**الخطوة الثانية :**

تتعلق بالتركيب الوراثى السيتولوجى لنباتات الجيل الأول (F1) وسلوكها أثناء عملية الانقسام الاختزالى من حيث أنواع الجاميطات التى تنتج عنها :—

أما عن التركيب الوراثى لها فهو سيكون حتما (Tt Rr) كما هو واضح فى ( شكل ٤٢ ) نتيجة لتلقيح خليتين تناسليتين احداهما تركيبها (T R) والأخرى (tr)

وأما عن سلوكها أثناء عملية الانقسام الاختزالى فهذا يأخذ مجراه الطبيعى من حيث اتحاد الكروموزومات المتشابهة فنجد أن الكروموزوم الحامل للعامل (T) يتحد مع شبيهه الحامل للعامل (t) — وكذلك نجد أن الكروموزوم الحامل للعامل (R) يتحد مع شبيهه الحامل للعامل (r)

وبذلك يتكون زوجان من الكروموزومات (bivalents) على المحيط الاستوائى — ويبدأ الانفصال كالمعتاد وتتوالى العمليات منتهية بتكوين الجاميطات .

والجاميطات التى تتكون هنا على أربعة أشكال كما هو واضح فى الشكل — وكل اثنتين منها تنتج عن طريقة خاصة من طرق ترتيب الأزواج الكروموزومية على المحيط الاستوائى تمهيداً لانفصالها — وواضح من الشكل أن هناك طريقتان لذلك ويتوقف نوع الجاميطات على وضع الزوج الحامل للعاملين المتضادين (T ، t) بالنسبة للعاملين الآخرين (R : r) وهناك احتمالان لهذا الوضع : —

**الاحتمال الأول :**

أن يكون ترتيب الأزواج بحيث يتجه العاملان السائدان معاً إلى أحد أقطاب المغزل ويتبع ذلك بالتالى أن يتجه العاملان المتنحيان إلى القطب

الآخر – وينتج عن هذا الوضع نوعان من الجاميطات هما (TR) ، (tr) بنسبة متساوية .

**الاحتمال الثانى :**

أن يكون ترتيب الأزواج بحيث يتجه إلى نفس القطب العامل السائد لإحدى الصفتين مع العامل المتنحى للصفة الأخرى – ويتبع ذلك بطبيعة الحال أن يتجه إلى القطب الآخر العاملان المتضادان لهما – وينتج عن هذا الوضع نوعان من الجاميطات هما (Tr ، tR) بنسبة متساوية .

وكأى عملية حيوية بيولوجية لا تتحكم فيها إلا قوانين الفرص الحسابية يتحتم أن يتساوى هذان الاحتمالان فى فرصة كل منهما فى إتمام الانقسام الاختزالى على طريقتها الخاصة – وبذلك فان نصف عدد الخلايا الأمية تتم فيه عملية الانقسام الاختزالى وفقاً لأحد الاحتمالين والنصف الآخر وفقاً للاحتمال الثانى – والنتيجة الحتمية لذلك أن حبوب اللقاح نفسها التى تتكون فى أكياس المتك تكون على الأربعة أشكال السابق ذكرها بنسب متساوية – وكذلك الحال فى تكوين البويضات فى المبيض – ومعنى هذا ان نباتات الجيل الأول تنتج أربعة أنواع من الجاميطات هى :–

(TR) ، (Tr) (tR) ، (tr) بنسبة متساوية أى ( ١ : ١ : ١ : ١) – ويمثل هذا كلا الجاميطات الذكرية والأنثية – أى حبوب اللقاح والبويضات .

**الخطوة الثالثة :**

تتعلق بتكوين نباتات الجيل الثانى (F2) واختلافاتها من حيث التركيب الوراثى والشكل المورفولوجى – ويتوقف ذلك بطبيعة الحال على سلوك الخلايا التناسلية التى بتزاوجها تكون نباتات الجيل الثانى – فلقد رأينا ان هذه على أربعة أشكال بنسب متساوية – أى ان حبوب اللقاح الناتجة من نباتات الجيل الأول تكون على أربعة أشكال كل منها يمثل ٢٥ ٪ من المجموع – وبديهى أن نفس الحالة تمثل البويضات – إذ أن هذه تنتج هى الأخرى عن

نفس عملية الاختزال لنباتات الجيل الأول – وعلى ذلك تكون البويضات كذلك على أربعة أشكال – بل هى نفس الأربعة أشكال وبنفس النسبة .

والوضع الآن يتلخص فى النتائج المترتبة على تزاوج أربعة أنواع من حبوب اللقاح موجودة بنسب متساوية مع نفس الأربعة أنواع من البويضات موجودة أيضاً بنسب متساوية .

وهنا تتدخل سنن الطبيعة وتكافىء الفرص والقوانين الحسابية فتحتم أن النتائج المترتبة على هذا التزاوج تتمخض عن تكوين ١٦ شكلا من الزيجوتات أى حاصل ضرب ( ٤ × ٤ ) كما هو مبين فى ( جدول ١ ) حيث يمثل كل مربع من المربعات الصغيرة فى الجدول احد التركيبات الوراثية الزيجوتية للبذور التى ستتكون منها نباتات الجيل الثانى :–

( جدول ١ )

جدول يبين الأشكال الـ ١٦ من الزيجوتات الناتجة عن تزاوج
أربعة أشكال من حبوب اللقاح بنسب متساوية
مع نفس الأربعة أشكال من البويضات بنسب متساوية أيضاً

| البويضات | حبوب اللقاح | | | |
|---|---|---|---|---|
| | TR | Tr | tR | tr |
| TR | TR<br>TR | TR<br>Tr | TR<br>tR | TR<br>tr |
| Tr | Tr<br>TR | Tr<br>Tr | Tr<br>tR | Tr<br>tr |
| tR | tR<br>TR | tR<br>Tr | tR<br>tR | tR<br>tr |
| tr | tr<br>TR | tr<br>Tr | tr<br>tR | tr<br>tr |

وبفحص هذه الـ ١٦ زيجوتة نجد الآتى :—

تسعة منها تحمل العاملين السائدين (T ، R) معاً أى أنها ستكون من الناحية المورفولوجية طويلة حمراء الزهور.

ثلاثة منها تحمل العامل السائد (T) والعامل المتنحى (r) أى انها ستكون طويلة بيضاء الزهور .

ثلاثة منها تحمل العامل المتنحى (t) والعامل السائد (R) أى أنها ستكون قصيرة حمراء الزهور .

واحد منها يحمل العاملين المتنحيين (t ، r) معاً أى أنه سيكون قصيراً وزهوره بيضاء .

وهذا يفسر النسبة ( ٩ : ٣ : ٣ : ١ ) التى تنتج غالباً من التلقيح الذاتى لنبات خليط فى زوجين من الصفات المتضادة — وهذه هى النسبة التى اشتهر بها قانون مندل الثانى الذى ينص على أن الصفات المتضادة المختلفة تنعزل عن بعضها البعض أثناء تكوين الخلايا التناسلية من غير أى علاقة بينها ولا تأثير ولا تدخل — أى أن كل زوج من الصفات المتضادة يسلك سلوكه الخاص فى استقلال تام وبوحدة لا تتأثر بأى حال من الأحوال من وجود العوامل الأخرى فكل يسلك سبيله تبعاً لمبدأ الانعزال المنصوص عليه فى قانون مندل الأول — ويتضح ذلك من أننا إذا حصرنا أعداد النباتات لكل زوج من الصفتين على حدة نجد أن النباتات الطويلة ١٢ والقصيرة ٤ أى نسبة ( ١٢ : ٤ أى ٣ : ١ ) وكذلك الحمراء الزهور ١٢ والبيضاء ٤ أى ٣ : ١

وبفحص ( جدول ١ ) وبتدقيق النظر فى الـ ١٦ زيجوتة المكونة له يمكننا استخلاص النتائج الآتية المتشعبة من قانون مندل الثانى :—

١ — من هذه الـ ١٦ زيجوتة توجد تسع زيجوتات تحمل كل منها عاملا واحداً على الأقل لكل من العاملين السائدين (T ، R) كما سبق القول — وكل هذه التسع ستكون نباتات طويلة حمراء الزهور — إلا أننا نجد رغم كونها جميعاً تتفق فى الشكل المورفولوجى (Phenotype) إلا أنها من ناحية التركيب

الوراثى (Genotype) يمكن تمييز أربعة تركيبات وراثية مختلفة حسب التوزيع العددى الآتى :—

التركيب الأول : (RRTT) ويوجد مرة واحدة — وهو نقى سائد للصفتين معاً .

التركيب الثانى : (RRTt) ويوجد مرتين — وهو نقى سائد لصفة لون الزهرة ( الأحمر ) وخليط أو هجين سائد لصفة الطول .

التركيب الثالث : (RrTT) ويوجد مرتين : وهو عكس التركيب الثانى من حيث كونه نقى سائد للطول و هجين سائد للون الزهرة ( الأحمر ) .

التركيب الرابع : (RrTt) ويوجد أربع مرات : وهو عكس التركيب الأول من حيث كونه هجين سائد للصفتين معاً .

رأينا إذن أن نفس الشكل المورفولوجى يمكن أن ينتج عن أربعة تركيبات وراثية مختلفة لا يمكن التمييز بينها من ناحية الشكل — ولما كان هذا التمييز هاماً جداً فى عمليات التربية فانه لا بد من طريقة لمعرفة هذا التركيب الوراثى — والطريقة هى نفسها التى سبق شرحها للصفة الواحدة أى إما بعمل تلقيحات ذاتية أو تهجينات رجعية مع نبات نقى متنحى للصفتين معاً أى يكون تركيبه (ttrr) — وتجد فى ( جدول ٢ ) نسب الانعزالات الناشئة عن هاتين العمليتين للتركيبات الوراثية المختلفة والتى من نتائجها يستدل بها على نوع التركيب الخاص .

جدول ٢ يبين طريقة التمييز بين أربعة تركيبات وراثية مختلفة لها جميعاً نفس الشكل المورفولوجي وذلك إما بالتلقيح الذاتي أو التهجين الرجعي

| التركيب الوراثي | النتائج بالتلقيح الذاتي | النتائج بالتهجين الرجعي مع ttrr | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| RRTT | لاتوجد انعزالات شكلية فجميع الأنسال تكون مثل النبات الأصلي أى طويلة حمراء الزهور | لا توجد انعزالات شكلية أيضاً فجميع الأنسال تكون طويلة حمراء الزهور إلا انها تكون خليطاً للصفتين معاً | لكون النبات الأصلي نقى سائد للصفتين معاً فانه ينقل هاتين الصفتين عن طريق خلاياه التناسلية إلى جميع أنساله فى الحالتين ولذلك فانها تصبح جميعها من شكل واحد |
| RRTt | جميع الأنسال تكون حمراء الزهور إلا أن ٧٥٪ منها تكون طويلة ، ٢٥٪ قصيرة | جميع الأنسال تكون حمراء الزهور إلا أن ٥٠٪ منها تكون طويلة ، ٥٠٪ قصيرة | الانعزالات هنا ناشئة عن التركيب الهجينى لصفة الطول فهى وحدها التى تعطى النسب المبينة — أما صفة لون الزهرة السائد ( الأحمر ) فلكونه نقى سائد فان النبات ينقلها عن طريق خلاياه التناسلية لجميع أنساله فتصبح جميع الأزهار من نفس اللون السائد |
| RrTT | جميع الأنسال تكون طويلة إلا أن ٧٥٪ منها حمراء الزهور ، ٢٥٪ بيضاء الزهور | جميع الأنسال تكون طويلة إلا أن ٥٠٪ منها حمراء الزهور ، ٥٠٪ بيضاء الزهور | الحال هنا عكس السابقة تماماً — فلا توجد انعزالات فى الطول لأن النبات الأصلى نقى سائد الطول — أما لون الزهرة فهو الذى يعطى النسب المبينة لكون النبات الأصلى هجين فيها . |
| RrTt | تنتج الانعزالات والنسب الآتية :<br>٩ — طويل أحمر الزهور<br>٣ — طويل أبيض الزهور<br>٣ — قصير أحمر الزهور<br>١ — قصير أبيض الزهور | تنتج الانعزالات والنسب الآتية :<br>١ — طويل أحمر الزهور<br>١ — طويل أبيض الزهور<br>١ — قصير أحمر الزهور<br>١ — قصير أبيض الزهور | لكون النبات الأصلى هجين للصفتين معاً فان الانعزالات تتم فيهما جنباً إلى جنب لتكوين الأشكال والنسب المبينة — حكمه فى ذلك كحكم نباتات الجيل الأول تماماً وسلوكه تبعاً لقانون مندل الثانى |

٢ – هناك ثلاث زيجوتات من الستة عشر تتميز من ناحية الشكل الخارجي بأنها تظهر التعبير السائد لصفة لون الزهرة مع التعبير المتنحى للصفة الأخرى – أى ان هذه الثلاث زيجوتات تعطى نباتات حمراء الزهور قصيرة – أى انها وراثياً تحمل العامل (R) مع العامل (t) – ولكونها متنحية فيما يختص بالقصر فلا بد أن تكون نقية فى هذه الصفة ويلزم لذلك أن يكون تركيبها الوراثى لهذه الصفة (tt) – أما لون الزهرة فحيث انها سائدة فيه أى حمراء فهناك احتمالان وهما أن يكون النبات نقياً سائداً أى (RR) أو هجيناً سائداً أى (Rr) – وفى كلتا الحالتين تبرز الصفة السائدة وعلى ذلك يمكننا تمييز نوعين من التركيبات الوراثية (Genotype) لإبراز هذا الشكل الخارجى ( أحمر الزهور قصير ) – وهذه الثلاث زيجوتات موزعة فى جدول الـ ١٦ على الوجه الآتى :–

التركيب الأول : (RRtt) ويوجد مرة واحدة : وهو نقى للصفتين إلا أنه سائد فى احداها ومتنح فى الأخرى .

التركيب الثانى : (Rrtt) ويوجد مرتين : وهو نقى حتما للصفة المتنحية أى القصر إلا أنه هجين فى الصفة السائدة أى احمرار الزهرة .

نرى هنا أن تركيبين وراثيين مختلفين ينتجان نفس الشكل الخارجى – ولما كان المربى كما سبق القول يتوق دائماً لمعرفة التركيب الوراثى الحقيقى لنباتاته فانه يقوم باجراء نفس العمليات السابق الإشارة إليها إما من تلقيح ذاتى أو تهجين رجعى لإثبات ذلك .

٣ – توجد ثلاث زيجوتات أخرى من الستة عشر لها الشكل الخارجى المضاد للحالة السابقة – أى انها سائدة فيما يختص بالطول ومتنحية فيما يختص بلون الزهرة – أى انها طويلة بيضاء الزهور – وهناك تركيبان لذلك :–

التركيب الأول : (rrTT) ويوجد مرة واحدة : وهو نقى للصفتين معاً سائد للطول ومتنح للون الزهرة أى البياض .

التركيب الثانى : (rrTt) ويوجد مرتين : وهو نقى حتما للصفة المتنحية أى بياض الزهرة ولكنه هجين للصفة السائدة أى الطول .

ويمكن هنا أيضاً التمييز بين هذين التركيبين الوراثيين بالطرق السابق شرحها .

٤ — تبقى زيجوتة واحدة لها الشكل الخارجى الممثل للصفتين المتنحيتين معاً وهذا حتما يقتضى أن يكون التركيب الوراثى من نوع واحد فقط هو (rr tt) أى ان النبات يكون نقياً متنحياً للصفتين معاً وليس هناك احتمال آخر .

٥ — لتلخيص ما سبق وصفه نرى أن هذه الست عشرة زيجوته يمكنا ترتيبها فى تسع مجاميع وراثية لكل منها تركيب وراثى خاص وان هذه بالتالى يمكن وضعها فى أربع مجاميع شكلية أو مورفولوجية كما هو موضح فى ( جدول ٣ ) حيث رتبت هذه التركيبات الوراثية (Genotypes) مع الأشكال المورفولوجية (Phenotypes) الناتجة عن كل منها .

( جدول ٣ )

جدول يبين النسب الوراثية والنسب المورفولوجية
لزوجين من الصفات المتضادة وفقاً لقانون مندل الثانى

| التركيب الوراثى Genotype | نسبة الظهور فى كل ١٦ وحدة Genotypic ratio | الشكل الخارجى Phenotype | نسبة الظهور فى كل ١٦ وحدة Phenotypic ratio |
|---|---|---|---|
| RRTT | ١ | حمراء الزهور طويلة (T + R) | ٩ (TR) |
| RRTt | ٢ | | |
| RrTT | ٢ | | |
| RrTt | ٤ | | |
| RRtt | ١ | حمراء الزهور قصيرة (t + R) | ٣ (tR) |
| Rrtt | ٢ | | |
| rrTT | ١ | بيضاء الزهور طويلة (T + r) | ٣ (Tr) |
| rrTt | ٢ | | |
| rrtt | ١ | بيضاء الزهور قصيرة (t + r) | ١ (tr) |
| المجموع ٩ | ١٦ | | ١٦ |

٦ — من أهم ما أفدنا من قانون مندل الثانى حقيقة لها أثرها الكبير فى طرق التربية — ألا وهى خلق نباتات جديدة ذات شكل مورفولوجى جديد وتركيب وراثى جديد لم يكن لها وجود فى النباتين الأصليين المستعملين كآباء — فى المثل السابق بدأنا بنباتين احدهما طويل أحمر الزهور ( الصفتان السائدتان ) والثانى قصير أبيض الزهور ( الصفتان المتنحيتان ) — فوجدنا أن نباتات الجيل الأول كانت كلها تظهر الصفتين السائدتين كما هو منتظر — فكانت جميعها طويلة حمراء الزهور مثل أحد آبائها .

أما فى أفراد الجيل الثانى فقد وجدنا انه قد تكونت لدينا أربعة أشكال مختلفة اثنتان منها مثل الأبوين واثنتان لم يسبق ظهورهما قبل ذلك مطلقاً ( وهما النباتات الطويلة بيضاء الزهور والنباتات القصيرة حمراء الزهور ) .

ان هذين الشكلين الجديدين هما اللذان يبرزان الأهمية الكبرى لقانون مندل الثانى — فلقد كان عهدنا بأن صفة الطول يتبعها صفة احمرار الزهرة وكذلك القصر يتبعها صفة بياض الزهرة — أما الآن فقد أصبح ممكناً الجمع فى نبات واحد بين صفتين كانتا موجودتين متفرقتين فى نباتين منفصلين بواسطة التهجين بينهما وإنتاج الجيل الثانى — ولهذه الظاهرة أهمية كبيرة كما سيجىء ذكرها فيما بعد .

**٩ ـ ربط قانونى مندل معا ودراسة وراثة أكثر من زوجين من الصفات :**

رأينا تسلسل قوانين الوراثة فبدأنا بوراثة زوج واحد من الصفات المتضادة وهو ما عبرنا عنه بقانون مندل الأول أو قانون الانعزال — ويثبت لنا انه فى حالة السيادة لأحد تعبيرى هذا الزوج من الصفات تكون نسبة الانعزال فى الجيل الثانى هى ٧٥ ٪ سائد إلى ٢٥ ٪ متنحى — وهى نسبة ( ٣ : ١ ) الشائعة التى تتمثل دائماً فى انعزال أى نبات ثنائى الكروموزومات هجين لزوج واحد من الصفات المتضادة .

ثم تدرجنا لدراسة زوجين من الصفات المتضادة وهو ما عبرنا عنه بقانون مندل الثانى أو قانون التشكيلات المستقلة – ويثبت لنا ان نسب الانعزال فى الجيل الثانى هى ( ٩ : ٣ : ٣ : ١ ) وهى النسبة الشائعة التى تتمثل فى انعزال نبات ثنائى الكروموزومات هجين لزوجين من الصفات المتضادة – ووضحنا الشروط الوراثية اللازمة لإبراز هذه النسبة خصوصاً فيما يتعلق بأوضاع العوامل الوراثية على الكروموزومات – ولكى نربط بين هذين القانونين معاً أو بين هاتين النسبتين الأساسيتين معاً نتقدم بالملاحظات الآتية :–

١ – إذا أخذنا صفة لون الزهرة وحده ( وتعبيراه هما الأحمر سائداً والأبيض متنحياً ) فان التركيب الوراثى الهجين أى (Rr) يعطينا بالتلقيح الذاتى النسب الآتية : –

النسبة الجاميطية (Gametic ratio) : ( ١r : ١R )

النسبة الزيجوتية الوراثية (genotypic ratio) : (١rr : ٢ Rr : ١RR)

النسبة المورفولوجية (Phenotypic ratio) : (١ r : ٣ R)

٢ – إذا درسنا الهجين للصفة الثانية أى (Tt) فانه بالتلقيح الذاتى يعطى النسب الآتية :–

النسبة الجاميطية (gametic ratio) : (١ t : ١ T)

النسبة الزيجوتية الوراثية (genotypic ratio):(١ tt : ٢ Tt : ١ TT)

النسبة المورفولوجية (Phenotypic ratio) : (١ t : ٣ T)

٣ – إذا أخذنا الزوجين معاً فان الهجين المزدوج يكون تركيبه الوراثى (Tt Rr) وهـذا الهجين لكى نحلل سلوكه بالتلقيح الذاتى لإخراج نسبه

المختلفة فما علينا فى كل حالة إلا أن نأخذ حاصل ضرب الصفتين معاً لتنتج لنا النسب والأرقام المطلوبة وذلك بالطريقة الآتية :

**أولا ـ النسبة الجاميطية** (Gametic ratio) :

ان نسبة الزوج (Rr) هى (١ r : ١ R)

ونسبة الزوج (Tt) هى (١ t : ١ T)

وحينئذ تكون نسبة الهجين المزدوج (Tt Rr )هى حاصل ضرب النسبتين أى (١ r : ١ R) × (١ t : ١ T) وهذه تعطينا (١ tr : ١ tR : ١ Tr : ١ TR) وهذه هى النسبة الجاميطية للهجين المزدوج .

**ثانيا ـ النسبة الزيجوتية الوراثية** (genotypic tratio) :

ان نسبة الزوج (Rr) هى (١ rr : 2 Rr : ١ RR)

ونسبة الزوج (Tt) هى : (١ tt : 2 Tt : ١ tT)

وحينئذ تكون نسبة الهجين المزدوج (Tr Rr) هى حاصل ضرب النسبتين معاً أى (١ rr : 2 Rr : ١ RR) × (١ tt : 2 Tt : ١ TT)

وهذه تعطينا الآتى :ـ

| | | | |
|---|---|---|---|
| ١ rr tt | ١ rr TT<br>2 rr Tt | ١ RR tt<br>2 Rr tt | ١ RR TT<br>2 RR Tt<br>2 Rr TT<br>4 Rr Tt |

وهذه هى النسب الزيجوتية الوراثية للهجين المزدوج (Tt Rr) وهى نفس التسع تركيبات الوراثية التى سبق شرحها وتدوينها فى ( جدول ٣ ) .

**ثالثا ـ النسبة المورفولوجية** (Phenotypic ratio) :

ان نسبة الزوج (Rr) هى : (١ r : 3 R)

ونسبة الزوج (Tt) هى : (١ t : 3 T)

وحينئذ تكون نسبة الهجين المزدوج (Tt Rr) هى حاصل ضرب النسبتين أى : (١ t : 3 T) × (١ r : 3 R)

وهذا يعطينا : (١r t : 3 r T: 3 R t : 9 RT) وهذه هى النسبة المورفولوجية للهجين المزدوج (Tt Rr) وهى أيضاً نفس الأربعة أشكال السابق شرحها وتدوينها فى (جدول٣)

٤ — بتطبيق هذه الطريقة يمكننا أن نتعرف على النسب لثلاثة أزواج من الصفات المتضادة بالنسبة لبعضها البعض — والصفة الثالثة التى سندرسها هنا هى صفة لون قرن البازلاء — فلقد وجد مندل أن اللون الأخضر للقرون سائد على اللون الأصفر فاذا رمزنا للون السائد بالحرف (G) فان رمز اللون الأصفر المتنحى يكون (g) — وحينئذ يكون التركيب الوراثى للهجين لهذه الصفة (Gg) ويعامل فى نسبه تماماً كالحالتين (Rr) ، (Tt) السابق شرحهما .

وحينئذيكون الهجين الثلاثى أى للثلاث صفات معاً تركيبه الوراثى (Rr Tt Gg) وهذا بالتلقيح الذاتى تكون نسبه كالآتى بتطبيق نظرية إيجاد حاصل الضرب للثلاث صفات معاً :—

**أولا ـ النسبة الجاميطية** (Gametic ratio) :

الهجين للصفة الواحدة يعطى نوعين اثنين من الجاميطات هى (١r : ١R)

والهجين المزدوج لصفتين يعطى أربعة أنواع من الجاميطات هى :

(١ RT : ١Rt : ١rT : ١rt)

إذن الهجين الثلاثى يعطى ثمانية أنواع من الجاميطات هى الآتية :-

| | | | |
|---|---|---|---|
| IRTG | IRTg | IRtG | IrTG |
| IRtg | IrTg | IrtG | Irtg |

**ثانيا ـ النسبة الزيجوتية الوراثية** (Genotypic ratio) :

تبعاً لقوانين الحسابية وتكافؤ الفرص يمكننا أن نستنتج أنه فى هذه الحالة عندما يكون عندنا ثمانية أنواع من الجاميطات لكل من الذكر والأنثى فان الزيجوتات الوراثية الناتجة تكون حاصل ضرب ٨ × ٨ = ٦٤ – وهى نفس الطريقة التى حسبنا بها عدد هذه الزيجوتات لزوج واحد من الصفات ووجدناها أربع ( حاصل ضرب نوعين من الجاميطات لكل جنس أى ٢ × ٢ = ٤ ) وفى حالة زوجين من الصفات كان عدد هذه الزيجوتات ١٦ وهو حاصل ضرب أربعة أنواع من اجاميطات لكل جنس أى ٤ × ٤ = ١٦ .

وكما أننا وجدنا أن أشكال التركيبات الوراثية المختلفة لزوج واحد من الصفات هى ثلاثة فقط أى TT ، Tt ، tt

ووجدنا أن هذه التركيبات الوراثية لزوجين من الصفات بلغت تسعة أشكال أى حاصل ضرب ٣ × ٣ لكل صفة ( انظر جدول ٣ ) .

لذلك لا بد أن تكون هذه التركيبات الوراثية لثلاثة أزواج من الصفات تبلغ ٢٧ شكلا أى حاصل ضرب ٩ × ٣ – أو بشكل آخر ٣ × ٣ × ٣ لكل صفة على حدة – ويمكن للقارىء أن يستخرجها بنفسه إذا عمل جدول الـ ٦٤ زيجوتة لثلاثة أزواج من العوامل الوراثية بنفس الكيفية التى عملنا بها جدول الـ ١٦ زيجوتة المبين فى ( جدول ١ ) لزوجين من الصفات فقط .

**ثالثا ـ النسبة المورفولوجية (Phenotypic ratio) :**

وجدنا أن النسبة المورفولوجية لزوج واحد هى ( ٣ : ١ ) ـ ولزوجين من الصفات هى ( ٩ : ٣ : ٣ : ١ ) وهى كما رأينا حاصل ضرب ( ٣ : ١ ) × ( ٣ : ١ ) لكل من الصفتين .

وحينئذ يمكننا بنفس الطريقة أن نستنتج أن النسبة لثلاثة أزواج من الصفات تكون

( ٩ : ٣ : ٣ : ١ ) × ( ٣ : ١ ) ، ( ٣ : ١ ) × ( ٣ : ١ ) × ( ٣ : ١ ) .

وهذه تساوى ( ٢٧ : ٩ : ٩ : ٩ : ٣ : ٣ : ٣ : ١ ) .

وفى المثال الحالى للهجين الثلاثى (Rr Tt Gg) تكون كالآتى :ـ

| | | |
|---|---|---|
| ٢٧ | (RTG) حمراء الزهور طويلة خضراء القرون | ( سائد للكل ) |
| ٩ | (RTg) » » » صفراء » | |
| ٩ | (RtG) » » قصيرة خضراء » | |
| ٩ | (rTG) بيضاء » طويلة » » | |
| ٣ | (Rtg) حمراء » قصيرة صفراء » | |
| ٣ | (rTg) بيضاء » طويلة » » | |
| ٣ | (rtG) » » قصيرة خضراء » | |
| ١ | (rtg) » » » صفراء » | ( متنح للكل ) |
| ٦٤ | | |

٥ ـ لتسهيل تتبع هذه النسب المختلفة لزوج واحد ثم زوجين ثم ثلاثة أزواج من العوامل المتضادة قد وضعت النسب المختلفة السابق شرحها فى (الجدول

رقم ٤ ) ومنها يرى القارىء تسلسل أعداد النسب المختلفة وكلها ناتج عن التضاعف العددى الناشىء عن حواصل ضرب نسب الأزواج المضافة .

( جدول ٤ )

جدول يبين النسب المختلفة المتكونة فى حالة التلقيح الذاتى لهجين فى زوج واحد ثم زوجين ثم ثلاثة أزواج من الصفات المتضادة ويبرز التسلسل العددى الناشىء عن إضافة كل عامل

| البيـــان | زوج واحد (Rr) | زوجان (Rr Tt) | ثلاثة أزواج (Rr Tt Gg) |
|---|---|---|---|
| عدد أشكال الجاميطات المتكونة | ٢ | ٤ | ٨ |
| عدد أشكال التركيبات الوراثية المتماثلة ... ... ... ... ... | ٣ | ٩ | ٢٧ |
| العدد الكامل لجميع التركيبات الوراثية ... ... ... ... ... | ٣ | ١٦ | ٦٤ |
| النسبة المورفولوجية لهذه التركيبات الوراثية ... ... ... ... ... | ١ : ٣ | ١ : ٣ : ٣ : ٩ | ١ : ٣ : ٣ : ٣ : ٩ : ٩ : ٩ : ٢٧ |

٦ — لا يظن القارىء أننا ونحن نحلل النسب الخاصة بثلاثة أزواج من العوامل أو زوجين منها قد خرجنا عن الأسس الموضوعة والمعترف بها الخاصة بمبدأ انعزال الصفات — بل على النقيض فاننا فى أى عملية نحللها وفى أى خطوة نخطوها نجد الدليل تلو الدليل على صدق هذا المبدأ وعلى متانة النظريات المبنية عليه — فالعامل الوراثى كوحدة ثابتة نجده محمولا على أحد الكروموزومات فى

الخلية فى وضع خاص اما سائد أو متنح – وهو يقوم بدوره فى إبراز الصفة الخاصة به – ونجد أن كل زوج من العوامل المتضادة يسلك مسلكه تبعاً لقانون مندل الأول فهو يعطينا دائماً النسبة ( ٣ : ١ ) إذا كان تركيبه الوراثى هجيناً – ونجد أن هذه حقيقة ثابتة سواء درسنا سلوك هذا الزوج وحده أو مع زوج آخر أو أى عدد من الأزواج – ولذلك فاذا نظر القارىء إلى النسب المختلفة لزوجين من العوامل أو ثلاثة وحللها لكل عامل على حدة لوجد على الدوام أن النسبة لانعزال كل صفة على حدة فى حالة التركيب الوراثى للهجين هى ( ٣ : ١ ) نسبة لا تتغير بحال من الأحوال .

على أنه يجب ألا يبعد عن أذهاننا أن كل ما سبق سرده من النسب مشروط بأسس ذكرناها مراراً وتكراراً – ولعل أهمها أن هذه الصفات التى تعطينا هذه النسب يجب ألا تكون محمولة على نفس الكروموزوم – هذا من ناحية – ثم انها يجب أن تكون منفردة فى إظهار صفاتها المورفولوجية المميزة لها بحيث لايكون هناك أى تفاعل أو تداخل بين عاملين مختلفين لإبراز صفة واحدة – إذ أن هذا يؤثر فى النسب الناتجة – ثم أخيراً وليس آخراً أن يكون النبات ثنائى الكروموزومات أى (Diploid) بمعنى أن العامل الوراثى يكون ممثلا مرتين فقط فى الخلية الزيجوتية اما على شكل نقى سائد أو نقى متنح أو هجين .

على أنه يجب ألا يتطرق إلى أذهاننا أن زوال هذه الشروط يؤثر على سلوك العامل نفسه من حيث مبدأ الانعزال – إذ المعلوم أن العامل يداوم خاصية الانعزال فى جميع أنواع النباتات – أما الاختلافات فى نسب الانعزال فهى التى تتأثر بطبيعة الحال تبعاً للتكوين الوراثى للنبات والتكوين السيتولوجى له علاوة على ما قد يكون لبعض الصفات من تداخل أو تفاعل أو ارتباط مما يغير النسب السابق شرحها .

هذا ما رأينا إثباته قبل الانتهاء من هذا الباب – فلا يغيبن عن أذهاننا مبدأ الانعزال وتكوين الجاميطات المحتوية على العوامل الوراثية ثم سلوكها فى تكوين الزيجوتات بنسب تتأثر بعوامل كثيرة سنفرد لها الباب التالى مباشرة .