الوراثة المندلية Mendelian Genetics

العالم كريكور مندل Gregor Mendel نشر ابحاثه عام 1865م خلال اجتماعين لجمعية التاريخ الطبيعي في مدينة برون Brunn، ثم نشرت هذه الأبحاث في المجلة العلمية للجمعية تحت عنوان (تجارب في تهجين النباتات) . لقد تضمنت القوانين التي وجدها او استنتجها مندل والتي لم تؤخذ بالأعتبار إلا في عام 1900م من قبل ثلاث علماء كما ذكر سابقا. ان من بين الكائنات الحية التي استعملها مندل هي نبات البازلاء *Pisum sativum* الذي هو من النباتات الحولية وفيه عدد من المواصفات الذي يميزه عن باقي الكائنات الحية الأخرى في الدراسات الوراثية، كذلك فأن نباتات البازلاء تحمل ازهاراً كاملة حاوية على اعضاء التأنيث والتذكير وبذلك فأنها طبيعياً تلقح ذاتياً، اما التلقيح الخلطي فأنه نادر جداً ولكن يمكن اجراؤه من قبل القائم بالتجربة، ومن خلال العديد من الأجيال الناتجة من التلقيح الذاتي الطبيعي فأن البازلاء اعطت خطوطاً نقية Pure lines ممثلة بالضروب النقية ذات الصفات المختلفة. ويمكن تلخيص الأسباب التي ادت إلى اختيار نبات البازلاء من قبل العالم مندل وهي:

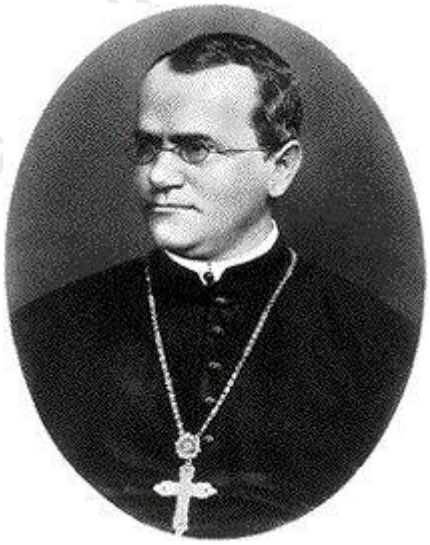
1. وجود اصناف عديدة من البازلاء الأصلية لكثير من الصفات المظهرية Phenotypes السهلة التجهيز.
2. هجن هذه الأصناف والنسل الناتج منها تامة الخصوبة.
3. سهولة وبساطة اجراء عملية التلقيح الصناعي ضد التهجين.
4. نظام الزهرة يضمن التلقيح الذاتي وعدم التلوث بلقاح خارجي.
5. زراعة البازلاء عملية سهلة حيث تنمو النباتات جيداً في التربة او البيت الزجاجي Green house وتصل إلى النضج الجنسي في نفس الموسم.

لقد تحاشى العالم مندل التعقيدات الكثيرة التي صادفت من سبقه من علماء البايولوجيا فبسط المشكلة بعد ان اخذ عنهم الكثير من الأفكار وتحاشى الكثير من الأخطاء التي وقعوا فيها، فمع انه كان من المعروف بأن تصنيفات كثيرة تظهر في النسل عند تهجين انواع او اصناف مختلفة من النباتات وكذلك في نسل الحيوانات الهجينة فأن الباحثين السابقين كانوا يدونون ملاحظاتهم على النبات او الحيوان ككل وكانوا يدرسون في نفس الوقت جميع الصفات والأعضاء التي تختلف فيها الهجن عن الآباء وعن بعضها البعض إلا ان مندل استحدث عدة تحسينات في طريقة البحث ادت إلى نجاحه في وضع قوانين التوارث الأولى والمعروفة بأسمه وتتلخص هذه التحسينات في انه:

1. درس كل زوج متفارق في الصفات Contrasting characters على حده وأعتبر الصفة لا الفرد الوحدة في الوراثة كصفة لون الزهرة مثلاً.

2. قسم النسل إلى فئات من حيث الصفات المظهرية المتوارثة وحصر عدد الأفراد في كل فئة منها على حدة.
3. حفظ سجلات دقيقة دون فيها بيانات تفصلية كاملة عن كل تجربة على مدى الأجيال المتعاقبة.
4. ادرك اهمية الحصول على اعداداً كبيرة في النسل كي تلغي اخطاء الصدفة بعضها البعض، وبذلك حول ظاهرة التوارث إلى اساس يمكن قياسه.

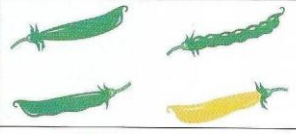
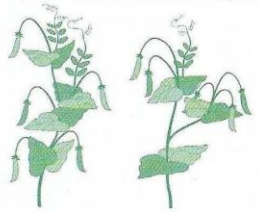
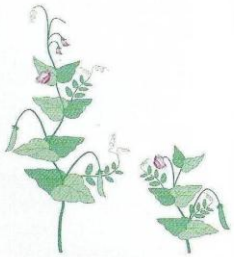
لقد كان الغرض الأساسي لمندل هو ان يلقح صنفاً بآخر ثم يفحص النسل في الجيل الأول (F1) First filial generation وما يليه من اجيال ليدرس النظام الذي تنقل بيه الصفات المتفارقة في الأجيال المتعاقبة. لقد اختار مندل سبعة ازواج من الصفات المختلفة مثلاً لون وشكل البذور وطول الساق وغيرها (جدول 1). درس مندل توارث الأزواج السبعة من الصفات بصورة منفصلة وكذلك بصورة مزدوجة وصولاً إلى دراسة الأزواج السبعة مع بعضها. ان من بين اسباب نجاح مندل في تجاربه هو تسجيل النتائج واستعمال الأسلوب العلمي في تفسير عملية توارث تلك الصفات.



العالم مندل Gregor Mendel

جدول (1): ازواج الصفات المتضادة السبعة التي درسها العالم مندل

الصفة	السائدة	المتنحية
ارتفاع الساق	طويلة	قصيرة
لون القرنة (غير الناضجة)	خضراء	صفراء
شكل القرنة (غير الناضجة)	منفوخة	مضغوطة
موقع الزهرة	أبطية	نهائية
لون المادة الغذائية (للبذرة الناضجة)	صفراء	خضراء
سطح البذرة الناضجة	املس	مجعد
لون غلاف البذرة	ابيض	رمادي

Character	Contrasting traits		F_1 results	F_2 results	F_2 ratio
Seeds	round/wrinkled		all round	5474 round 1850 wrinkled	2.96:1
	yellow/green		all yellow	6022 yellow 2001 green	3.01:1
Pods	full/constricted		all full	882 full 299 constricted	2.95:1
	green/yellow		all green	428 green 152 yellow	2.82:1
Flowers	violet/white		all violet	705 violet 224 white	3.15:1
Stem	axial/terminal		all axial	651 axial 207 terminal	3.14:1
	tall/dwarf		all tall	787 tall 277 dwarf	2.84:1

الصفات المظهرية السبعة التي درسها العالم مندل في نبات البازلاء

اجرى مندل تضريباته بصورة دقيقة عندما كان نبات البازلاء في حالة التزهير، ويطلق على التضريب الأولي بين اي ضربين نقيين مختلفين بصفة واحدة او عدة صفات بالجيل الأبوي Parental generation او P1 ولمنع التلقيح الذاتي في الأزهار المستعملة في التجربة، ترفع متوكها قبل نضجها التام، ثم تغطى بأكياس ورقية خاصة وفي الوقت المناسب تنقل حبوب اللقاح من النبات المعتبر ذكري إلى ميسم الزهرة المغطاة والمعتبرة انثوية وتترك البذور لتنضج على النبات. عند زراعة هذه البذور (الهجينة) فأنها تنمو إلى نباتات تعرف بأفراد الجيل الأول First filial generation او F1 generation التي تتلقح ذاتياً بصورة طبيعية لأنتاج بذور والتي عند زراعتها تنمو إلى نباتات تعرف بأفراد الجيل الثاني Second filial generation او F2 generation وهكذا تنتج بقية الأجيال. تابع مندل تجارب التهجين لأجيال متعددة، كما اجرى تضريبات خلفية Back crosses بين افراد الجيل الأول الهجينة وبين ضروب الأباء النقية. لاحظ مندل ان ظروف البيئة كالتربة والحرارة والضوء تؤثر في نمو البازلاء، إلا ان العوامل الوراثية كانت هي العامل المحدد للصفات التي درسها في تجاربه. قدم مندل فرضيات لنتائجه والتي تعرف الآن بقوانين مندل الوراثية، والتي تشمل مبدأين اساسيين هما الأنعزال والأنعزال المستقل للجينات مع ظواهر اقل اساساً مثل السيادة والتنحي للصفات في الجين.

قانون مندل الأول (مبدأ الأنعزال) Mendel's first law (Principle of segregation)

ضرب مندل في احدى تجاربه نباتات بزاليا نقية طويلة الساق بأخرى قصيرة الساق فكانت جميع نباتات الجيل الأول طويلة الساق هجينة، إذ اختفت صفة القصر في نباتات الجيل الأول، وعندما ترك مندل النباتات الطويلة الساق الهجينة للتلقيح الذاتي ومن ثم صنف ذريتها في الجيل الثاني كان قسم منها طويل الساق والقسم الآخر قصير الساق وكان بنسبة 4/3 للنباتات الطويلة الساق و 4/1 للنبات القصيرة الساق كما في التضريبات التالية:

P1 TT (طويلة الساق) X tt (قصيرة الساق)
G1 T t
F1 100% Tt (طويلة الساق هجينة)

P2 Tt (طويلة الساق هجينة) X Tt (طويلة الساق هجينة)
G2 T , t T , t
F2 1/4 TT : 1/2 Tt : 1/4 tt

طويلة الساق قصيرة الساق نقية

لقد سمي مندل جيل السلالات بجيل الآباء (P) Parents وحبوب اللقاح بالأمشاج الذكرية والأنثوية (G) Gametes وعند الأتحاد تكون الزيجة Zygote التي تنمو إلى نباتات طويلة الساق والتي تكون افراد الجيل الأول (F1) First filial generation، كما في اعلاه. ان النباتات الناتجة التي لقحها تلقيحا ذاتياً اعطت نسلاً ناتجاً لأفراد الجيل الأول والتي سماها بأفراد الجيل الثاني (F2) Second filial generation. لقد فسر مندل النتائج اعلاه بأن تعيين الصفات المتضادة كطول الساق وقصره في البازلاء بعوامل Factors تنتقل من الآباء إلى الأبناء بواسطة الأمشاج Gametes. ان العوامل المختلفة لأرتفاع الساق لا تمتزج و لا يؤثر الواحد على الآخر في الأفراد الهجينة او افراد الجيل الأول، ولكنها تنعزل Segregates وتذهب إلى الأمشاج المختلفة التي يكونها الهجين، وأن الأمشاج تتحد عشوائياً لتكون افراد الجيل الثاني. ولتوضيح هذه الفرضية تستعمل الحروف الهجائية كرموز للعوامل او الجينات، وأن لكل عامل من عوامل الصفات صورتان Allelomorphs تحتل كل منهما نفس الموقع على الكروموسومين المتماثلين ويسمى كل فرد من هذه الصور اليل Allele، إذ يشير الحرف الكبير إلى السائد Dominant character والصغير إلى المتنحي Recessive character. لذا فأن التركيب الوراثي Genotype للنبات النقي الطويل الساق يكون TT الذي يحمل الصورتين المتشابهتين لنفس الصفة والنبات الهجين الطويل الساق Tt الذي يحمل صورتين مختلفتين لنفس الصفة الوراثية والذي يسمى بالفرد الهجين Hybrid والنبات النقي القصير الساق tt الذي يحمل الصورتين المتشابهتين لنفس الصفة. ان من استنتاجات مندل هي:

1. احدى صفات الأبوين اختفت في الجيل الأول.
2. ظهور الصفتين في الجيل الثاني.
3. نقصان 4/1 صفة الجيل الأول في الجيل الثاني.

ان هذه الأستنتاجات قادت مندل لصياغة قانونه الأول والذي يسمى بقانون مندل الأول او قانون الأنعزال Low of segregation والذي ينص على **(أن الفرد الهجين الناتج من تضريب سلالتين نقيتين تختلفان في زوج من الصفات المتضادة فأن الفرد الهجين الناتج يمتلك كلا العاملين المختلفين للسلالتين اللذان ينعزلان عن بعضهما البعض أثناء تكوين الكميتات)**. ان الآراء قبل مندل هي بأن الصفات تمتزج مع بعضهما البعض في الجيل الأول وأن مندل قد اثبت بأن صفة احد الآباء قد اختفت في الجيل الأول وعادت في الجيل الثاني بنسبة 4/3 إلى 4/1.

لم يكتفي مندل بهذه التجارب، بل قام بتجارب اخرى لدعم فرضيته وذلك بأجراء التضريب العكسي Back cross والتضريب الأختباري Test cross الذي يكون بتضريب الأفراد الهجينة (المتباينة الزيجة) او الأفراد المجهولة التركيب الوراثي مع افراد نقية متنحية (متماثلة

الزيجة). ان التضريب الأختباري هو احدى الطرق التي اتبعها مندل للتأكد من نقاوة الصفة السائدة كما في التضريب الآتي:-

1. إذا كان الأب المجهول التركيب الوراثي سائد نقي:

P1	TT (طويلة الساق)	X	tt (قصيرة الساق نقية)
G1	T		t
F1	100% Tt (طويلة الساق هجينة)		

2. إذا كان الأب المجهول التركيب الوراثي سائد هجين:

P1	Tt (طويلة الساق هجينة)	X	tt (قصيرة الساق نقية)
G1	T , t		t
F1	50% Tt (طويلة الساق هجينة) : 50% tt (قصيرة الساق نقية)		

ان تفسير النتائج اعلاه تكون على اساس افراد الجيل الأول، فإذا كان نسبة الأفراد الذين يحملون الصفة السائدة (طويلة الساق) 100% فهذا يعني ان التركيب الوراثي للأب المجهول هو سائد نقي، اما إذا كان 50% من افراد الجيل الأول يحملون الصفة السائدة (طويلة الساق) و 50% يحملون الصفة المتنحية فهذا يعني ان التركيب الوراثي للأب المجهول هو سائد هجين.

التلقيح الرجعي Back cross

اذا لقح فرد هجين من الجيل الأول مع احد ابويه او مثليهما في التركيب الجيني فأن هذا التلقيح يسمى تلقيحاً رجعياً. ان الذي مكن مندل التأكد من ان النتائج المنتظرة من التلقيحات الرجعية تتحقق فعلاً، فلقد لقح الجيل الأول الناتج من التهجين (نبات بزاليا احمر الأزهار مع نبات بزليا ابيض الأزهار) بالأب المتنحي ابيض الأزهار (تلقيح رجعي للأب المتنحي)، وفي مثل هذا التلقيح يكون نصف النسل احمر الأزهار هجين والنصف الآخر ابيض الأزهار وهو ما حصل عليه مندل فعلاً. وفي ذلك ايضاً اثبات كون الفرد الهجين ينتج نوعين من الكميتات بأعداد متساوية وكذلك في حالة التلقيح الرجعي للأب السائد النقي يتوقع ان يكون جميع النسل سائد المظهر نقي والنصف الآخر هجيناً ويعد من اقوى الأدلة على صحة اي نظرية علمية بأن

تتحقق التنبؤات المبينة على اساسها ولذا يعتبر قيام مندل ببعض هذه التحقيقات للتأكد من صحة فروضه دليلاً آخر على دقة وكمال تصميم تجاربه.

التلقيح الأختباري Test cross

التلقيح بالمتنحي النقي ودراسة صفات النسل الناتج هو الطريقة التي يمكن بواسطتها التمييز بين الفرد السائد الهجين والفرد السائد النقي، ولذا اطلق على التلقيح بالمتنحي النقي اسم التلقيح الأختباري، فاذا اريد أختبار فرد سائد المظهر لمعرفة ما اذا كان نقياً او هجيناً فأنه يلقح بالمتنحي، فأذا أعطي نسلاً بنسبة 100% سائد فيمكننا الحكم بأنه نقي، واما اذا اعطي نسلاً 50% متنحياً و 50% سائداً فيدل ذلك على كون الفرد خليطاً.

قانون مندل الثاني (مبدأ التوزيع الحر)

Mendel's second law (Principle of independent assortment)

اوضحت دراسة الأنعزال لمندل كيفية انتقال زوج واحد من العوامل من الآباء إلى الأبناء، وبما ان كل كائن حي يحمل اكثر من زوج واحد من العوامل بل عدد كبير منها التي تعين الصفات العديدة للكائن الحي، صمم مندل على اكتشاف طريقة وراثة العوامل المختلفة. ولمعرفة كيفية انتقال العوامل العديدة ضرب مندل نباتات البازلاء النقية التي تحمل زوجين مختلفين من العوامل اللذين يعينان صفتين مختلفين، ففي احدى تجاربه ضرب نباتات نقية ذات بذور ملساء وصفراء مع نباتات ذات بذور مجعدة وخضراء وتكون ابناء الجيل الأول الناتجة من مثل هكذا تضريب هجناً (متباينة الزيجة) لزوجين من الجينات، اي هجناً ثنائية ويطلق على مثل هذا التضريب بالتضريب ثنائي الهجين Dihybrid cross. لقد عرف مندل من دراساته السابقة بأن اليلات كل من البذور الملساء والصفراء بأنها سائدة على نظائرها من الأليلات التي تنتج بذوراً مجعدة وخضراء كما في التضريب التالي:

P1 YYRR (ملساء صفراء) X yyrr (خضراء مجعدة)

G1 YR yr

F1 100% YyRr (ملساء صفراء هجينة)

وعند اجراء التلقيح الذاتي لأفراد الجيل الأول لاحظ مندل ظهور اربعة انماط ظاهرية في افراد الجيل الثاني اثنان منها مثل التراكيب الأبوية والأثنين الآخرين تركيبين جديدين Recombinants وبنسب خاصة كما في التضريب التالي: