جامعة الانبار
كلية العلوم
قسم علوم الحياة

الوراثة العامة

Genetics

الوراثة المندلية

Mendelian Genetics

م. د. رأفت حمدي الحديثي
قسم التقنيات الاحيائية

مميزات الكائنات الحية المفضلة في التجارب الوراثية

1. **التغاير Variation**: ان الكائن الحي المنتخب للتجارب الوراثية يجب ان يظهر عددا من الفروق والاختلافات المتعلقة بصفات معينة.
2. **التركيب الجديد Recombination**: تصبح التحليلات الوراثية أكثر سهولة وسرعة في كائن ما اذا كان يمتلك بعض الوسائل الفعالة لتجميع أو تركيب صفات معينة يوجد قسم منها في الاب بينما يوجد القسم الثاني في الام أو بالعكس. ان مثل هذا التجميع او التركيب لزوج أو عدة ازواج من الصفات تتيح الفرصة للمختص بالوارثة ان يقارن تعبير أحد الجينات الممثل بصفة معينة وتعبير الجين البديل المتعلق بنفس الصفة كمقارنة صفة الطول بالقصر أو التلون للأزهار أو اللون البني واللون الازرق في عيون الانسان عند توارثها خلال الاجيال المتعاقبة.
3. **التزاوجات الموجهة Controlled mating**: تعتبر مسألة التحكم في تزاوجات الكائنات الحية للدراسات الوراثية من المسائل التي لا يستغني عنها الباحث في كثير من الاحيان حيث يختار الباحث ابوين يحملان صفات معينة ويحدث التزاوج بينهما لغرض معين كان يجول في ذهنه ثم يراقب الصفات تحت الدارسة مراقبة دقيقة ويسجل نتائجها جيلا بعد جيل. وعلى هذا الاساس فان التجارب الوراثية على الفأر Mouse وذبابه الفاكهة Fruit fly والذرة Corn والعفن الاحمر *Neurospora* تؤلف مادة افضل للدارسة الوراثية من الانسان. من غير المستطاع ان يتم الاعتماد في الدراسات الوراثية على للإنسان على التزاوجات الموجهة، لذا يتم الاعتماد على طريقة تحليل السلالات Pedigree analysis والتي تعني تتبع صفة من الصفات في خط عائلي معين عبر عدة اجيال قد مضت.
4. **دورة الحياة القصيرة Short life cycle**: تسهل دراسة المعلومات الوراثية في اي كائن حي كلما قصرت الفترة بين جيلين متعاقبين. فالفئران تكون أكثر فائدة قي الدارسات الوراثية من الفيلة. من الممكن متابعة توارث الصفات بمدة قصيرة ومن خلال عدة اجيال. ينضج الفأر جنسيا خلال 5-6 أسابيع ويحتاج الى 11-31 يوما يقضيها في بطن امه من مرحلة الاخصاب وتكون الزيجة الى دور التكامل والخروج الى الحياة. بينما تصل الفيلة الى فترة النضوج الجنسي خلال 8-16 سنة ويحتاج الى سنتين لتصل الى دور التكامل في بطون امهاتها.
5. **كثرة عدد النسل Large number of offspring** : يؤثر عدد الافراد التي تتكون قي كل جيل على امكانية التوصل الى الحقائق الوراثية فالتزاوجات التي تؤدي الى تكوين أفراد قليلة العدد لا يمكن ان تؤدي الى استنتاج معلومات تتوفر فيها جميع الاحتمالات الوراثية.
6. **سهولة التعامل Convenience of handling**: تتميز بعض الكائنات الحية بصغر حجمها وسهولة الحصول عليها وتوافرها ورخص ثمنها.

الوراثة المندلية Mendelian Genetics

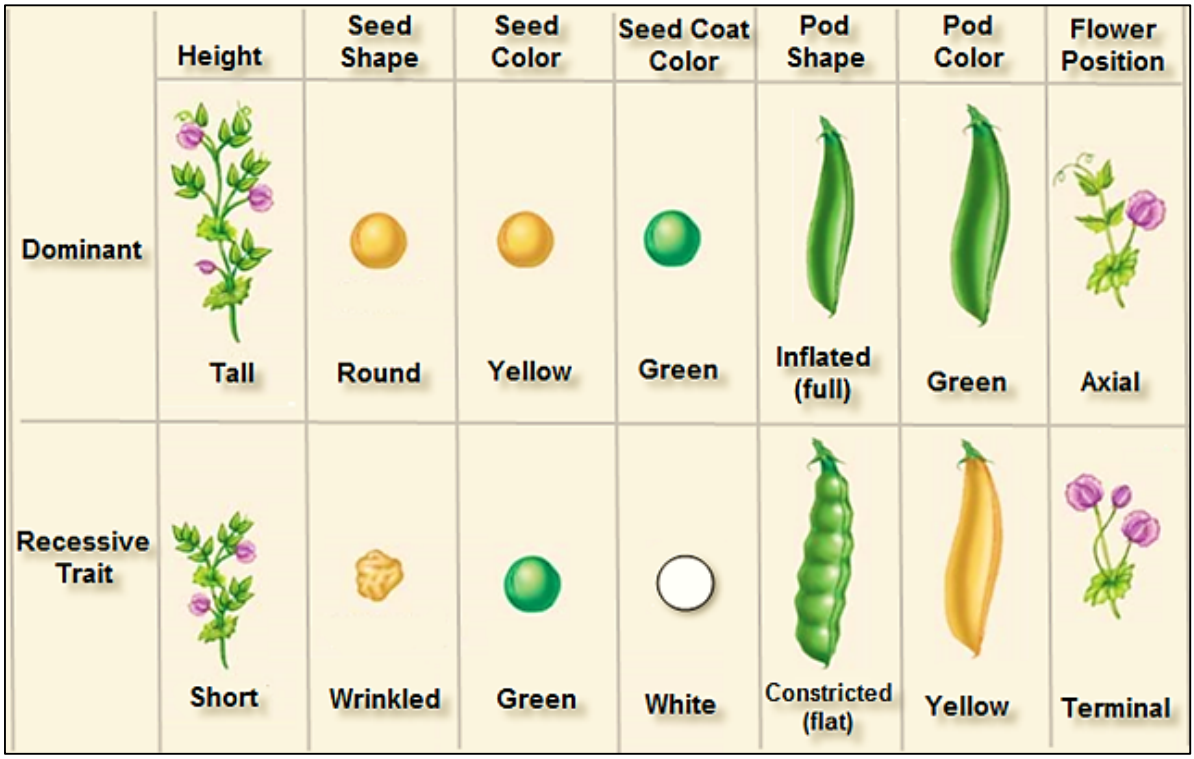
نبذة تاريخية عن مندل (للاطلاع فقط)

ولد مندل (Gregor Johann Mendel) عام 1822 لعائلة تمتهن الزارعة في قرية Heinzendorf التي تقع النمسا حاليا. واصبح ارهبا في دير بمدينة Brunn في العام 1834 في جمهورية الجيك حاليا. التحق مندل بجامعة فينا في العام 1851 لد ارسة العلوم الطبيعية، وبعد اكمال دراسته عاد الى الدير بمدينة Brunn في العام 1854 واصبح مدرسا للعلوم. وبدأ بجمع الضروب المختلفة من بزاليا الحديقة في العام 1851 والتي

كانت متوفرة في السوق واستعمالها في تجاربه في حديقة الدير لدارسة الاختلافات بين الضروب واجراء التضريبات بينها. وبعد سبع سنوات من العمل الدؤوب في هذه التجارب القى مندل نتائج خلال اجتماعين لجمعية التاريخ الطبيعي في Brunn ثم نشرت هذه الابحاث في المجلة العلمية للجمعية تحت عنوان (تجارب في تهجين النباتات) في العام 1866 ولكن هذه الابحاث اهملت أهميتها الى العام 1900 بعد اعادة اكتشافها من قبل de Vries و Correns و Tschermak ووجد كل منهم تقرير مندل اثناء مراجعته للمصادر المتعلقة بعمله واشاروا الى التقرير في بحوثهم التي نشروها عام 1900.

تجارب مندل

اطلع مندل على تجارب تهجين النباتات التي قام بها الباحثون الذين سبقوه، ولكن سبب نجاح مندل لاكتشاف قوانينه يعود الى اختياره الحكيم لمادة وطرق الدراسة. حيث اختار مندل البازلاء *Pisum sativum* لإجراء تجاربه وذلك بسبب كونها نبات حولي ولها صفات واضحة ويمكن تنميتها وتضريبها بسهولة، بالإضافة الى ذلك فان البازلاء تحمل ازهارا كاملة حاوية على اعضاء التأنيث والتذكير وبهذا فإنها طبيعيا تتلقح ذاتيا. اما التلقيح الخلطي فانه نادر جدا ولكن يمكن اجراؤه من قبل القائم بالتجربة. وخلال العديد من الاجيال الناتجة من التلقيح الذاتي الطبيعي فان البازلاء اعطت خطوطا نقية Pure lines ممثله بالضروب النقية ذات الصفات المختلفة. درس مندل سبعة ازواج من الصفات المتضادة (شكل رقم 1)، تظهر في الشكل التالي:



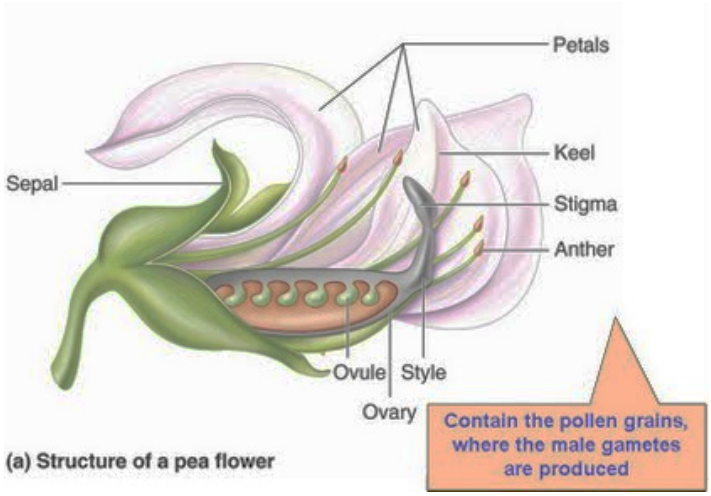
شكل 1الصفات التي درسها مندل في نبات البازلاء

هذه الصفات هي:

الصفة	السائدة	المتنحية
ارتفاع الساق	طويلة	قصيرة
لون القرنة	خضراء	صفراء
شكل القرنة	منفوخة	مضغوطة
موقع الزهرة	إبطية	نهائية
لون البذرة	صفراء	خضراء
سطح البذرة	أملس	مجعد
لون غلاف البذرة	أبيض	رمادي

تجنب مندل التعقيدات التي كدرت نتائج من قبله من الباحثين بتبسيط الدراسة الى أبعد حد في تجاربه الاولى، وذلك بتحكمه الجيد في عمل التضريبات Crosses بين الابناء التي تختلف في صفة واحدة فقط، كصف سطح البذرة مثلا، وبعد ان ثبت سلوك كل صفة لوحدها، انتقل الى دراسة وارثة صفتين بنفس الوقت، كسطح البذرة مثلا، ولون البذور الناضجة. كذلك حسب وسجل أعداد كل نمط في الذرية الناتجة من كل تضريب.

اجرى مندل تضريباته بصورة دقيقة عندما كانت البازلاء في حالة التزهير، ويطلق على التضريب الاولي بين اي ضربين نقيين مختلفين بصفة واحدة أو عدة صفات بالجيل الابوي Parental generation أو P1 ولمنع التلقيح الذاتي في الازهار المستعملة في التجربة، ترفع متوكها (Anther) قبل نضجها التام (شكل 2)، ثم تغطى بأكياس ورقية خاصة وفي الوقت المناسب تنقل حبوب اللقاح من النبات المعتبر ذكري الى ميسم الزهرة (Stigma) المغطاة والمعتبرة انثوية وتترك البذور لتنضج على النبات. وعند زارعة هذه البذور (الهجينة) فأنها تنمو الى نباتات تعرف بذرية الجيل الاول First filial generation أو F1 generation التي تتلقح ذاتيا بصورة طبيعية لإنتاج بذور والتي عند زراعتها تنمو الى نباتات تعرف بذرية الجيل الثاني Second filial generation أو F2 generation وهكذا تنتج بقية الاجيال. تابع مندل تجارب التهجين لأجيال متعددة، كما أجرى تضريبات عكسية Back crosses بين الهجن F1 وبين ضروب الاباء النقية.

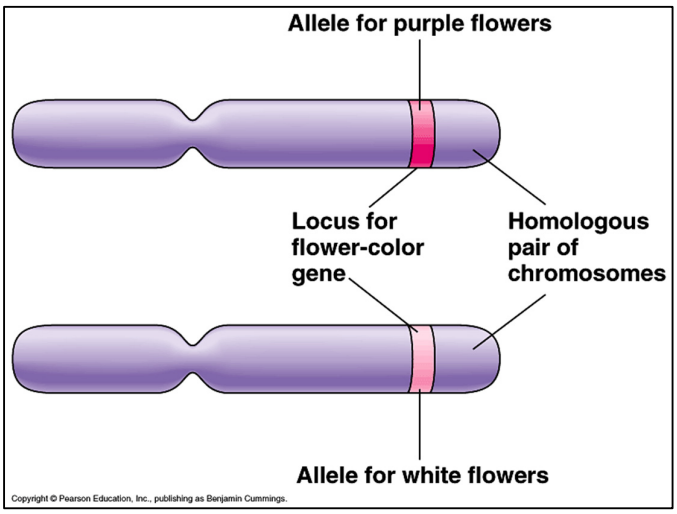


شكل 2 تركيب الزهرة في نبات البازلاء

قدم مندل فرضيات لنتائجه والتي تعرف الان بقوانين مندل الوراثية، والتي تشمل مبدأين اساسيين هما الانعزال والانعزال المستقل للجينات.

مصطلحات علم الوراثة

الطراز (او النمط) الوراثي Genotype: مجموع المكونات الوراثية التي يستلمها النسل عن أسلافهم.
الطراز (او النمط) المظهري Phenotype: هو مظهر الكائن الحي أو مجموع خصائصه ومميزاته كاللون والشكل والحجم والسلوك والتركيب الكيميائي والتشريحي.
الاليل Allele: وهو واحد أو عدة اشكال بديلة لجين معين تشغل موقع الجين Gene locus (شكل 3)
الاليل السائد Dominant allele: وهو الاليل الذي يطغى تأثيره على أليل اخر في الطراز المظهري.
الاليل المتنحي Recessive allele : وهو الاليل الذي يغطى تأثيره بوجود أليل أخر.



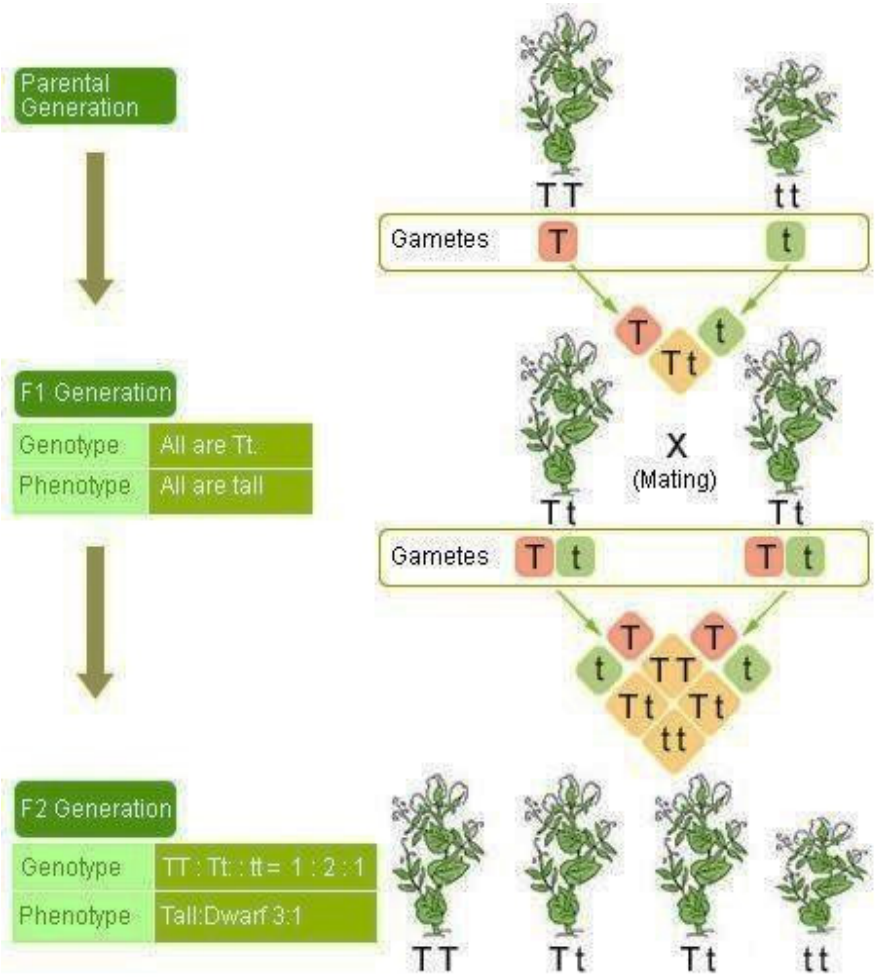
شكل 3 الأليلات

مبدأ الانعزال Principle of segregation

ضرب مندل في احدى تجاربه نباتات بزاليا نقية طويلة الساق بأخرى قصيرة الساق فكانت جميع نباتات الجيل الاول طويلة الساق، حيث اختفت صفة القصر في نباتات الجيل الاول. وعندما ترك مندل النباتات الطويلة الساق الهجينة للتلقيح الذاتي ومن ثم صنف ذريتها في الجيل الثاني كان قسم منها طويل الساق والقسم الاخر قصير الساق، ولأجل الدقة لاحظ مندل 1024 نباتا في الجيل الثاني كان منها 787 نباتا طويلا 277 نباتا قصيرا، وهذا يقرب من النسبة 4/3 للنباتات الطويلة و4/1 للنباتات القصيرة.

حصل مندل على نفس النتائج للصفات الاخرى التي درسها على نباتات البزاليا من حيث سيادة احدى الصفات المتضادة في الجيل الاول وظهور الصفة المتنحية ثانية في الجيل الثاني وبتردد يقارب 4/1 من مجموع الافراد.

وضع مندل الفرضية التالية لتفسير النتائج التي حصل عليها من هذه التجارب: تتعين الصفات المتضادة بوحدات أو عوامل Factors تنتقل من الاباء الى الابناء بواسطة الامشاج Gametes. ان العوامل المختلفة لا تمتزج ولا يؤثر واحد على الاخر في الهجين أو F1 ، ولكنها تنعزل Segregate وتذهب الى الامشاج المختلفة التي يكونها الهجين، وهذه الامشاج تتحد عشوائيا لتكون أبناء الهجين أو الـ F2.



شكل 4 أحد تضريبات مندل، توضح توارث صفة الطول والقصر في نبات البزاليا

ولتوضيح هذه الفرضية تستعمل الحروف الهجائية كرموز للعوامل أو الجينات، ولكل عامل من عوامل الصفات صورتان تحتل كل منهما نفس الموقع على الكروموسومين المتماثلين. ويسمى كل فرد من هذه الصور أليل Allele. يشير الحرف الكبير الى السائد و الصغير الى المتنحي، وتعتبر العوامل وحدات مطلقة اذ ان كلا منها يمكن الرمز له ب A أو B أو أي حرف اخر. وتعتبر الصفة الناتجة عن الطفرة اساسا للرمز التي تنشأ عادة من الأليل المتنحي وذلك لان اغلب الطفرات تكون متنحية. وبالنسبة للصفتين المتضادتين (الطول والقصر) لنباتات البازلاء، ايهما نتج من طفرة؟ يتطلب الاجابة على هذا السؤال دارسة نماذج أنواع البزاليا من مختلف أنحاء العالم التي اوضحت عدم وجود صفة قصر الساق في المجاميع السكانية الطبيعية وتوجد البزاليا قصيرة الساق في بعض السلالات التي نماها الانسان فقط. وما دام من المحتمل ان تكون الساق قصيرة طفرة بينما يكون الساق الطويل من النمط البري فأن t تستعمل كرمز للأليل القصير و T تستعمل للأليل الطويل.

بما أن كل نبات ينشأ من أتحاد مشيجين فيرمز للنبات النقي طويل الساق ب TT وينتج نوع واحد من الامشاج يرمز لها ب T، كما يرمز للنبات النقي قصير الساق ب tt وينتج نوعا واحدا من الامشاج يرمز لها ب t. وعندما تضريب الابوين فالأمشاج T خصبت بالأمشاج t او بالعكس، ونتجت الزيجات zygotes الهجينية في جيل F1 الحاوية على T و t ويرمز لها ب Tt وكانت نباتات F1 طويلة الساق لان الأليل T سائد على الأليل t. وحسب فرضية الانعزال لمندل فان العوامل في نباتات F1 لم تمتزج ولم تتأثر ببعضها ولكنها تنعزل وتدخل

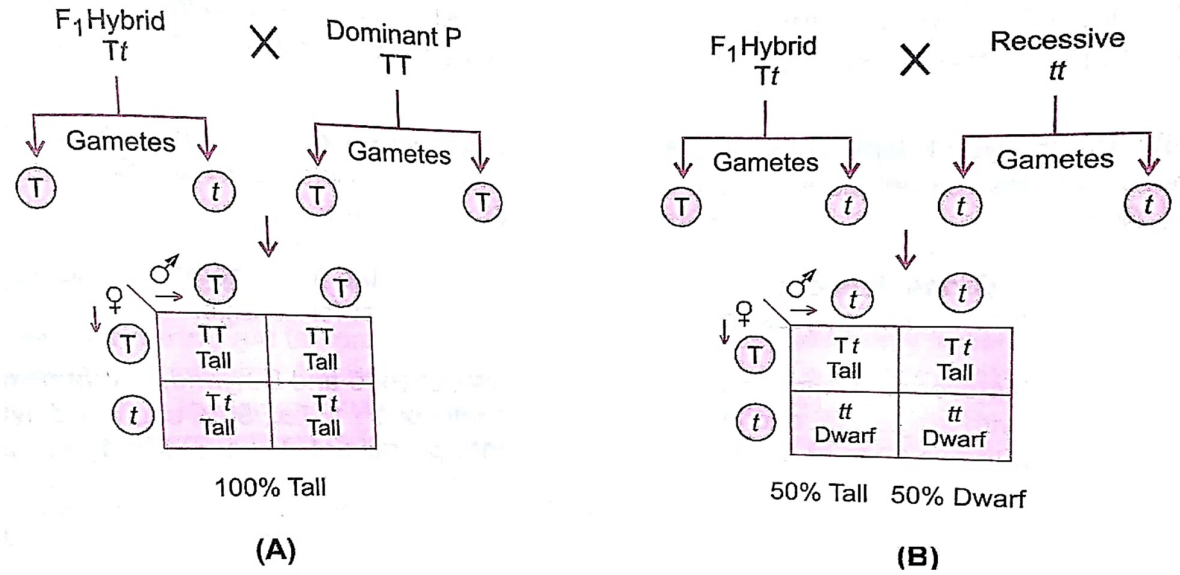
الى أمشاج مختلفة التي يكونها الهجين وتكون نسب متساوية (1/2 t و 1/2 T) والتي يحصل بينها اخصاب بصورة عشوائية لتكون نباتات الجيل الثاني كما هو موضح بالشكل رقم 4، وعليه تكون النتائج الفرضية مطابقة للنتائج التجريبية.

لم يكتف مندل بهذه التجارب بل قام بتجارب أخرى لدعم فرضيته وذلك بإجراء التضريب العكسي Backcross. استعمل مندل فرضية الانعزال لتفسير نتائج التضريب العكسي الموضحة بالرموز في الشكل رقم 5. **(Backcross هو تضريب بين افراد الجيل الأول F1 مع أحد الابوين. نتيجة التضريب تكون باحتمالين:**

A. عندما يضرب فرد الجيل الأول (Tt) مع نبات ابوي ذو مظهر سائد (TT) dominant phenotype فستكون النباتات الناتجة كلها طويلة الساق.

B. عندما يضرب فرد الجيل الأول (Tt) مع نبات ابوي ذو مظهر متنحي (tt) recessive phenotype فالنباتات الناتجة ستكون نصفها 50% طويلة الساق و النصف الاخر 50% قصيرة الساق)

أطلق مندل على الشيء المسؤول عن تعيين كل صفة بالعامل Factor الذي أطلق عليه فيما بعد الجين Gene. ومن الادلة في الأجيال F1 و F2 يتضح ان العامل الذي يعين مظهر إحدى الصفتين يمكنه أن يختفي ولكنه لا يتلف في F1 ويطلق على الظاهرة بالسيادة Dominance. صور مندل العناصر الفيزياوية بأنها توجد على شكل أزواج أو أليلات (Alleles).



شكل رقم 5: التضريب العكسي backcross بين نبات بزاليا طويل الساق هجين، واخر قصير الساق نقي.

قانون الانعزال:

(تنفصل أزواج الجينات (الازواج الأليلية) عن بعضها وتتوزع الى خلايا جنسية مختلفة)

تتكون الهجائن من تضريب فردين مختلفين وراثيا، فالتضريبات (مثل AA X aa) المتضمنة أباء مختلفة بزوج واحد من الأليلات يطلق عليها تضريبات أحادية الهجين Monohybrid crosses وعليه يكون أحادي الهجين، متباين الزيجة لزوج واحد من الأليلات.

مبدأ التوزيـع الحر (المستقل) Principle of independent assortment

أوضحت دراسة الانعزال لمندل كيفية انتقال زوج واحد من العوامل من الاباء الى الابناء. وبما أن كل كائن حي يحمل أكثر من زوج واحد من العوامل بل عدد كبير منها التي تعين الصفات العديدة للكائن الحي صمم مندل طريقة لاكتشاف وارثة العوامل المختلفة.

ضرب مندل نباتات البزاليا النقية التي تحمل زوجين مختلفين من العوامل اللذين يعينان صفتين مختلفتين. ففي إحدى تجاربه ضرب نباتات نقية ذات بذور مستديرة وصفراء مع نباتات ذات بذور مجعدة وخضراء. وتكون أبناء الجيل الاول F1 الناتجة هجائن متباينة الزيجة لزوجين من الجينات، ويطلق على مثل هذا التضريب بالتضريب ثنائي الهجين Dihybrid cross. لقد عرف مندل من دراساته السابقة بأن أليلات كل من البذور المستديرة والصفراء بانها سائدة على نظائرها من الأليلات التي تنتج بذور مجعدة وخضراء، ولذا لاحظ بان جميع بذور الجيل الاول F1 الناتجة من التضريب مستديرة وصفراء، كما هو متوقع. وعندما ترك هجائن الجيل الأول F1 لتتخصب ذاتيا لاحظ ظهور أربعة أنماط ظاهرية في F2 اثنان منها مثل التراكيب الابوية والاثنين الاخرين تركيبين جديدين وبنسب خاصة. نتج من مجموع 556 بذرة: 315 مستديرة صفراء و 108 مستديرة خضراء و 101 مجعدة صفراء و 32 مجعدة خضراء. وعند تبسيط هذه الاعداد الى أبسط حالاتها أي:

$$\frac{9}{16}=\frac{315}{556} \text{ و } \frac{3}{16}=\frac{108}{556} \text{ و } \frac{3}{16}=\frac{101}{556} \text{ و } \frac{1}{16}=\frac{32}{556}$$

مستديرة صفراء مستديرة خضراء مجعدة صفراء مجعدة خضراء

وهذه النتائج تنطبق تقريبا على النسبة 1:3:3:9.

وضع مندل فرضية التوزيـع المستقل لتفسير هذه النتائج:

(كل زوج من العوامل (الجينات) ينعزل بصورة مستقلة عن انعزال بقية الازواج اثناء تكوين الامشاج)

الشكل رقم 6 يمثل تضريب مندل الثنائي الهجين بين نباتات ذات بذور مستديرة و صفراء وأخرى ذات بذور مجعدة وخضراء. يستعمل مربع بونت Punnett square وهو رسم هندسي يساعد في تصور جميع الاتحادات المحتملة بين الامشاج الانثوية والذكرية.

P:	Round Yellow	×		Wrinkled Green
	RRYY			*rryy*
Gametes:	*RY*			*ry*
F_1:		Round Yellow	×	Self (Round Yellow)
		RrYy		*RrYy*
Gametes:		*RY, Ry, rY, ry*		*RY, Ry, rY, ry*

	RY	*Ry*	*rY*	*ry*
RY	*RRYY*	*RRYy*	*RrYY*	*RrYy*
Ry	*RRYy*	*RRyy*	*RrYy*	*Rryy*
rY	*RrYY*	*RrYy*	*rrYY*	*rrYy*
ry	*RrYy*	*Rryy*	*rrYy*	*rryy*

شكل رقم 6: تضريب مندل الثنائي الهجين بين نباتات ذات بذور مستديرة و صفراء وأخرى ذات بذور مجعدة وخضراء.

كذلك قام مندل بتجربة أخرى لدعم فرضية الانعزال المستقل وذلك بإجراء تضريب الاختبار الثنائي الهجين Dihybrid cross test، حيث ضرب نباتات F1 ذات البذور الملساء والصفراء مع النباتات الابوية التي تحمل الصفتين المتنحيتين (بذور مجعدة و خضراء) وحصل على النتائج التالية في جيل الاختبار:

24 مستديرة وصفراء و 25 مستديرة وخضراء و 22 مجعدة وصفراء و 27 مجعدة وخضراء، وعند اختصار هذه الاعداد الى أبسط حالاتها نحصل على النسبة 1:1:1:1 تقريبا كما في الشكل رقم 7.

F_1:	Round Yellow		×		Wrinkled Green
	$RrYy$				$rryy$
Gametes:	RY, Ry, rY, ry				ry
		RY	Ry	rY	ry
F_2:	ry	$RrYy$	$Rryy$	$rrYy$	$rryy$

شكل رقم 7: تضريب اختباري test cross بين نباتات بزاليا ذات بذور مستديرة وصفراء هجينة مع نباتات ذات بذور مجعدة و خضراء.

(التضريب الاختباري test cross هو مزاوجة او تضريب مظهر سائد dominant phenotype (غير معلوم النمط الوراثي فيما إذا كان نقي homozygous او هجين heterozygous) مع homozygous recessive و ذلك لفحص النمط الوراثي، حيث ينتج من التضريب احتمالين: إذا كان النبات موضوع الاختبار نقي فستكون النباتات الناتجة كلها ذات مظهر سائد. اما إذا كان النبات موضوع الاختبار هجين فستظهر نباتات ذات مظهر سائد و مظهر متنحي و بنسبة 1:1)

في حالة التزاوجات متعددة الهجائن Multihybrid crosses وهي تضريبات بين الاباء المختلفة بأكثر من زوجين من الصفات المتضادة من الممكن اتباع الصيغ التالية:

1. عدد الانواع المختلفة من الامشاج Gametes= 2^n
2. عدد الانواع المختلفة من الانماط الظاهرية Phenotypes = 2^n
3. عدد الانواع المختلفة من الانماط الوراثية Genotypes = 3^n

ملخص النظرية المندلية في الوراثة

1. ان صفات الفرد تقررها عوامل محددة.
2. لكل فرد كمية مضاعفة من العوامل الوراثية التي قد تكون متشابهة او مختلفة.
3. تورث هذه العوامل واحدة من كل من الأبوين، وتحافظ على هويتها خلال دورة حياة الفرد. إن أحدها قد يسود على الاخر في اظهار نفسه وهما ينفصلان اثناء تكون الامشاج ويتوزعان بصورة مستقلة.

Bibliography

Locke, John (Univ. Of Alberta) **"Open Genetics Lectures"** textbook for an Introduction to Molecular Genetics and Heredity (BIOL207) [Book]. - [s.l.] : UAL Dataverse, 2017.

الفيصل عبد الحسين **الوراثة الجزيئية** [Book]. - [s.l.] : الاهلية للنشر والتوزيع والطباعة - لبنان, 2000.

الفيصل عبد الحسين **الوراثة العامة** [Book]. - [s.l.] : الاهلية للنشر والتوزيع والطباعة - لبنان, 1999.

شكارة مكرم ضياء **علم الوراثة** [Book]. - [s.l.] : دار المسيرة للنشر والتوزيع, 2000.