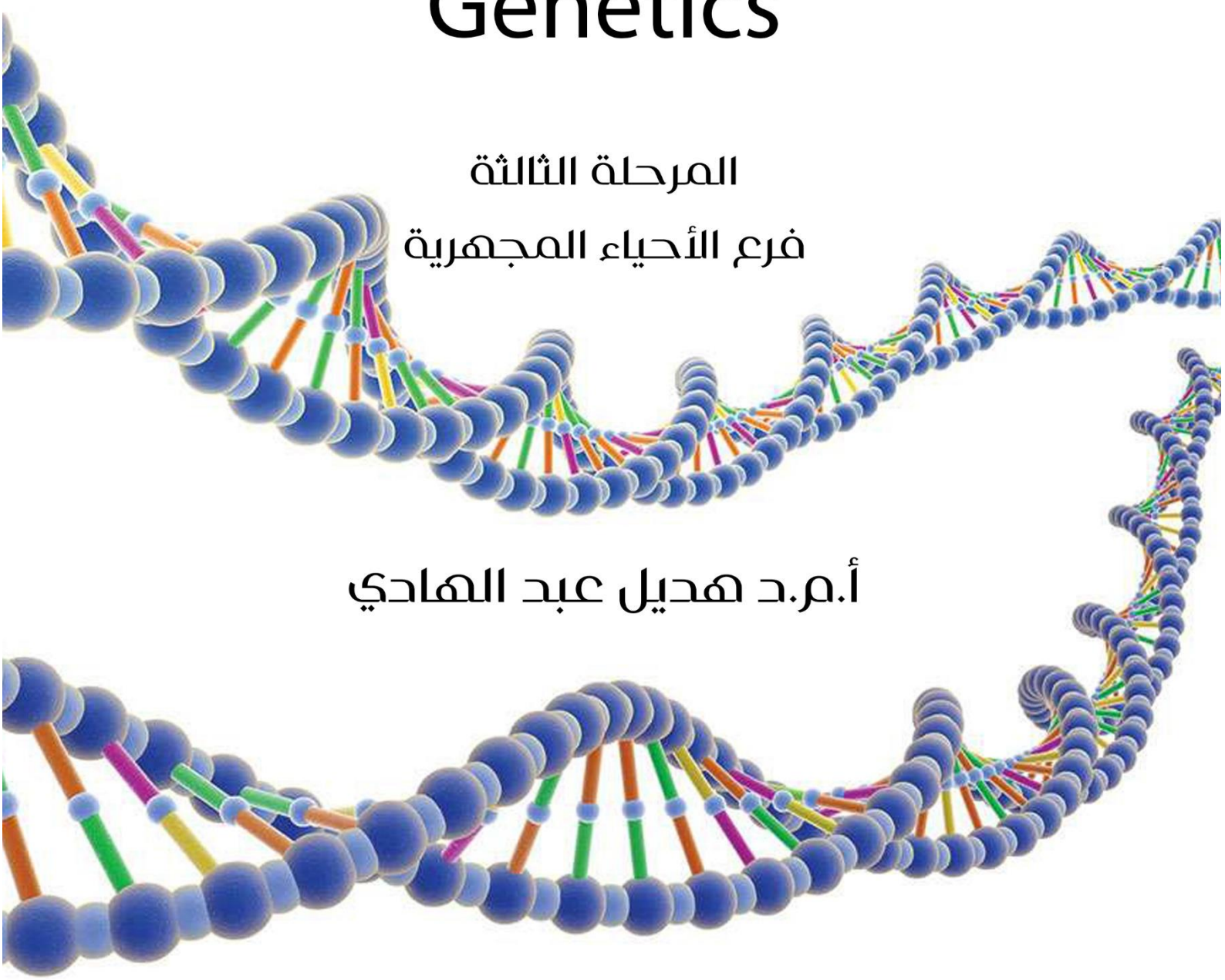
جامعة تكريت
كلية العلوم
قسم علوم الحياة

علم الوراثة (نظري)

Genetics

المرحلة الثالثة

فرع الأحياء المجهرية



أ.م.د هديل عبد الهادي

الوراثة (Genetics)

الوراثة : هو أحد فروع علوم الحياة التي تبحث اسباب التشابه والاختلاف في صفات الاجيال المتعاقبة من الأفراد والتي ترتبط فيما بينها بصلة قرابة معينة . كما يبحث فيما تؤدي اليه تلك الاسباب من نتائج مع أعطاء تفسيرات ونتائجها . ولدراسة هذا العلم يجب الالمام بفروع علوم الحياة الآخرى مثل علم الخلية (Cytology) وعلم الهيئة (Morphology) وعلم الاجنة (Embryology) وعلم البيئة (Ecology) وعلم التصنيف (Taxonomy) وعلوم آخرى متنوعة كالكيمياء الحياتية (Biochemistry) والفيزياء الحيوية (Biophysics) والاحصاء الحيوي (Biornaterial) .

لم يدخل علم الوراثة الحقبة التجريبية (Experimental Period) ويأخذ الصفة العلمية الثابتة إلا عند التعرف على أبحاث مندل ولهذا يعتبر گريگور مندل (Gregor Mendel) (1822-1884) مؤسس علم الوراثة .

ومنذ ذلك الحين قفز هذا العلم واتسعت أبحاثه وفي مجالات واسعة وقد استطاع موركان (Morgan) (1866-1945) وجماعته أن يحورا مفهوم مندل عن عوامل الصفات التي كانت مجرد افتراض افترضه مندل لتفسير نتائج تجاربه إلى حقيقة كما ابدلت كلمة عامل (Factor) التي اشار لها مندل في أبحاثه بكلمة جين (Gene) : كشيء أو قطعة معينة واقعة على الكروموسوم تمثل بشكل أو بآخر صفة من صفات الكائن الحي . وانبثقت عن ذلك نظرية تدعى بنظرية الجينات (Gene Theory) وفحواها ان عوامل الصفات هي أجسام معينة تدعى الجينات وهي موجودة على الكروموسومات بترتيب طولي (Linear) وفردي (Single) ولكل جين موقع خاص على الكروموسوم وطبيعة خاصة وأن أي تغيير في الموقع أو في الطبيعة يؤدي إلى تغيير فيما يمثله هذا الجين من صفات ، جلبت هذه النظرية انتباه علماء الكيمياء و الفيزياء فتم دراسة الكروموسومات من هاتين الناحيتين مما أدى إلى انبثاق علم الوراثة الخلوية (Cytogenetics) والوراثة الكيميائية (Biochemistry genetics) وقد كان نموذج واتسن وكريك (Watson & Crick) عن تركيب الـ (DNA) تأثير كبير في تقديم هذا العلم وبعدها تم اجراء دراسات واسعة عن علاقة الإحماض النووية بتركيب وبناء البروتينات مما فتحت أبواب كثيرة لتطور هذا العلم وفي مجلات شتى كما دخل هذا العلم لتفسير واستغلال كثير من القضايا البايولوجية على اساس وراثي واضح مثل الوراثة الفسيولوجية (Physiological Genetics) والتطور (Evolution) وتكوين الانواع (Speciation) وإلى آخره من العلوم الآخرى .

وكما نعرف فإن أفراد النوع تتزاوج لتعطي أفراد جديدة تحمل صفاتها ولا يمكن لنوعين مختلفين أن يتزاوجا وينتجا فرد خصب هذا يدل على وجود اسس معينة تتحكم بصفات الكائن الحي وهي تنتقل من جيل إلى آخر اي تورث بغض النظر عما يحيط الكائن الحي من عوامل بيئية وبنفس الوقت لو دققنا النظر في أفراد النوع الوأحد لتعذر علينا ايجاد فردين متشابهين كلياً في جميع الصفات وقد نرى ذلك في التوأم المتماثلة (Identical Twins) لكننا سنجد أنه حتى في هذه الحالة لا يكون التماثل تاماً خصوصاً اذا عاشا تحت ظروف بيئية مختلفة .

من هذا نستنتج أن الأنماط الظاهرية (Phenotypes) محكومة في الأساس بأنماط جينية معينة (Genotypes) تستمر في انتقالها خلال الأجيال المتعاقبة وأن هذه الأنماط الجينية هي المسؤولة عن مدى التشابه بين أفراد النوع الواحد وان هذه الأنماط متنوعة وقابلة للتغيير مما ينعكس على النمط الظاهري ويؤدي إلى وجود تغاير (Variation) بين أفراد النوع الوأحد والتغايرات أما تكون موروثة (Heritable) أي تنتقل من جيل إلى آخر حيث يوجد ما يماثلها في النمط الجيني أو تكون غير موروثة (Non - Heritable) وهي التغايرات الناجمة عن تأثير البيئة .

لدراسة علم الوراثة يجب اختيار احياء تمتاز بصفات معينة بحيث تسهل علينا دراسة هذا العلم حيث هناك ستة اعتبارات مهمة لانتخاب الكائن الحي المناسب للتجارب الوراثية توجز فيما يلي :

١- **<u>التغاير (Variation):</u>** أن الكائن الحي المنتخب للتجارب الوراثية يجب أن يظهر عدداً من الفروق والاختلافات المتعلقة بصفات معينة فعلى سبيل المثال ، لو كان لون الأزهار وأحد لأصبح من الصعب دراسة هذه الصفة فكلما توفر عدد كبير من التغايرات الواضحة في الكائن الحي كلما زادت أهميته للدراسات الوراثية .

٢- **<u>التركيب الجديد (Recombination):</u>** أن يمتلك الكائن بعض الوسائل الفعالة لتجميع أو تركيب صفات معينة يوجد قسم منها في أحد الأبوين بينما يوجد القسم الآخر في الاب الثاني ، إن مثل هذا التجميع (التركيب) يتيح للمحلل الوراثي أن يقارن تعبير أحد الجينات الممثل بصفة معينة وتعبير الجين البديل المتعلق بنفس الصفة كمقارنة صفة التلوين وعدم التلوين للأزهار ويحدث التجميع في الكائنات الراقية نتيجة للتزاوج الجنسي واتحاد الكاميتين لتكوين البيضة المخصبة (Zygote) أما في بدائية النواة فيحدث التجميع بطرق آخرى كالإقتران (Conjugation) والتوصيل (Transduction) في البكتريا .

٣- **<u>التزاوجات الموجهة Controlled Matings:</u>** تعتبر مسألة التحكم في التزاوجات للكائنات الحية مسألة مهمة للدراسات الوراثية حيث تمكن الباحث من اختيار أبوين يحملان صفات معينة وأحداث تزاوج بينهما لغرض مراقبة ودراسة الصفات التي اختارها وتسجيل انتقالها جيل بعد آخر ويمكن في هذه الحالة استخدام الجرذ وحشرة الفاكهة (Fruit Fly) والذرة (Corn) أما الإنسان فلا يمكن التحكم بتزاوجاته لهذا يستخدم أسلوب تحليل سجلات النسب (Pedigree analysis) لتتبع صفة معينة في خط عائلي عبر عدة اجيال .

٤- **<u>دورة الحياة القصيرة (Short Life Cycle):</u>** كلما قصرت دورة حياة الكائن أي الفترة بين جيلين متعاقبين كلما كان ذلك الكائن أكثر فائدة في الدراسات الوراثية فعلى سبيل المثال ينضج الجرذ جنسياً خلال (5-6) أسابيع وتكون فترة الحمل من (19-31) يوم بينما الفيل يحتاج (8-16) سنة لكي ينضج جنسياً وفترة الحمل له تقارب السنتين ، لهذا فالجرذ يمكن من خلاله تتبع توارث صفة معينة وبمدة قصيرة ومن خلال عدة أجيال.

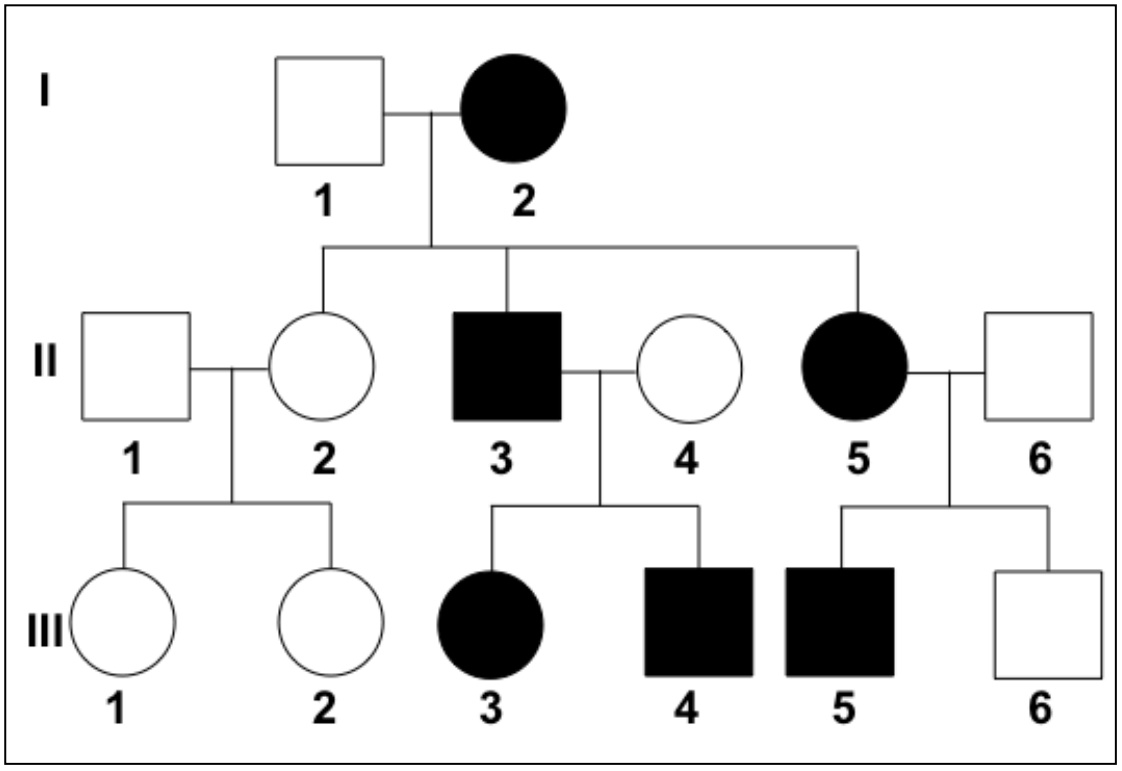
٥- **كثرة النسل (Large Number of offspring):** يؤثر عدد الأفراد التي تتكون في كل جيل على امكانية التوصل إلى الحقائق الوراثية خلال فترة قصيرة في التزاوجات التي تؤدي إلى تكوين عدد كبير من النسل بينما في التزاوجات التي تنتج عدد قليل لا يمكن أن تؤدي إلى استنتاج جميع الاحتمالات الوراثية لتوارث صفة معينة .

٦- **سهولة الاستعمال (Convenience of Handling):** تتميز بعض الكائنات بصغر حجمها وسهولة الحصول عليها وتوفرها ورخص ثمنها مثل هذه الكائنات تكون أكثر ملائمة للدراسات الوراثية من الكائنات الآخرى.

أساليب الدراسة الوراثية (Methods of Genetics Study) : هناك أسلوبان رئيسان للدراسات الوراثية هما :

أ- **أسلوب التربية المصمم (Planned Breeding):** وهو الأسلوب الذي اعتمده مندل في تجاربه على نبات البزاليا ويتم فيه انتخاب أبوين يظهران تعبيرين متضادين لصفة معينة ثم أحداث تهجين بينهما وتسجيل النتائج لأجيال متعاقبة ومن ثم تحليل تلك النتائج والوصول إلى علاقات وراثية معينة.

ب- **أسلوب تحليل سجلات النسب (Pedigree Analysis):** يستعمل هذا الأسلوب عندما تكون إمكانية التهجين الموجه غير ممكنة كما في الإنسان وقد اتفق على رسم سجلات النسب بأشكال معينة تمثل فيها الذكور على هيئة مربعات بينما الأناث على هيئة دوائر فمثلاً في الشكل التالي يوضح لنا انتقال صفة معينة عبر ثلاثة أجيال.



الوراثة والبيئة (Heredity and Environment)

كما نعرف ان الكائنات الحية تتميز بقابليتها على تحويل المواد الغذائية الموجودة في بيئتها إلى أحياء مختلفة بالإعتماد على تركيبها الوراثي إلا ان هذه الأحياء لا تستطيع البقاء في بيئتها إلى ما لا نهاية لكنها تستطيع الحفاظ على نوعها من خلال عملية التكاثر سواء كانت جنسية أو لا جنسية لذا يرتبط علم الوراثة بعلم البيئة ، فجوهر الوراثة هو إعادة تكوين الذات على حساب البيئة وان اي تبدل بيئي متعمد أو غير متعمد له عواقب وراثية مهمة فمثلاً استخدام المضادات الحيوية والمبيدات انتجت سلالات مقاومة لتلك المواد .

الوراثة والتغاير (Heredity and Variation): الملاحظ أن الكائنات الحية الموجودة صنفت إلى انواع (Species) وأفراد كل نوع من هذه الانواع تشترك بعدد كبير من الصفات وكل نوع يحافظ على صفاته من جيل إلى آخر فعلى سبيل المثال لو وضع ازواج من الدجاج والفئران والأرانب في نفس البيئة وتحت نفس الظروف البيئية فنلاحظ بعد مدة أن الدجاج يضع بيضاً يفقس إلى دجاج والفأر يلد فئران وكذلك الأرانب تلد أرانب بمعنى آخر ان الابناء تشبة الإباء ويطلق على هذا التشابه بين الأبناء والأباء أو هذا التشابه بين الأفراد المتقاربة بالنسب الوراثي (Inheritance) ، ونفس الشيء بالنسبة للنباتات فلو زرعنا حبوب حنطة وشعير وبذور باقلاء في نفس المحيط نلاحظ ان حبوب الحنطة تكوّن نبات الحنطة وكذلك بالنسبة للشعير والباقلاء ، فهي أذن ظاهرة بايولوجية في الوقت الحاضر وتطبق على جميع الأنواع الموجودة .

إلا انه في نفس الوقت اذا أُجري مقارنة بين أفراد العائلة الوأحدة (الاب ، الأم ، الأبناء) نلاحظ أن هذه الأفراد تختلف ببعض الصفات إلى درجة لا يمكن الحصول على فردين متشابهين لنفس الصفات وحتى في التوأم المتماثلة في الإنسان لا تتشابه في جميع الصفات ، وهكذا بالنسبة للنباتات المتجأورة في نفس الحقل يوجد اختلاف ويطلق على هذا الاختلاف الموجود في نفس العائلة ولنفس الصفة بالتغاير (Variation) ويقسم إلى نوعين :

١- **<u>التغاير الوراثي (Genetical variation):</u>** الذي يسببه الاختلاف بالتركيب الوراثي بين الأبناء أو الاختلاف الوراثي بين الأفراد .
٢- **<u>التغاير البيئي (Environment variation):</u>** يسببه الاختلاف بالعوامل البيئية .

وبعد اكتشاف أعمال مندل قدم العالم الدنماركي جوهانسن المصطلحات التالية :

<u>الطراز الوراثي (التركيب الجيني أو النمط الجيني) (Genotype):</u> وهو مجموع المكونات الوراثية التي يستلمها النسل عن أسلافه فهو يمثل المعلومات الوراثية التي تورث ويتكون من وحدات اطلق عليها مندل العوامل الوراثية ومن ثم اطلق عليها اسم الجينات .

<u>الطراز الظاهري (التركيب الظاهري أو النمط الظاهري) (Phenotype):</u> صفة معينة ناتجة عن نمط جيني معين في بيئة خاصة أو هو مجموعة الصفات المنظورة المكشوفة بطرق خاصة كلون الشعر وشكل الكائن وحجمه وسلوكه ، التركيب الوراثي لا يتغير اثناء حياة الفرد إلا اذا حصلت طفرة اما بالنسبة للطراز الظاهري فقد يتبدل اثناء حياة الفرد متأثراً بالبيئة والعمر .

الجينات بدون بيئة لا يمكن أن تنتج صفات وكذلك البيئة بدون خط وراثي لا تنتج أي صفة ، فإذا أردنا أن ندرس علم الوراثة نستخدم أفراد ذات طراز وراثي معين (Genotype) ويتم السيطرة على العوامل البيئية لكي يهمل تأثير البيئة ولا يحدث تداخل بين الوراثة والبيئة لان الطراز الظاهري يسأوي مجموع تأثير الطراز الوراثي والبيئة :

Phenotype = Genotype + Environment + G * E

التداخل بين الوراثة والبيئة :

أُجريت عدة دراسات لمعرفة الأهمية النسبية للوراثة والبيئة على الاختلافات بين الأفراد لأي صفة معينة وهذه الدراسات تتضمن ثلاث طرق وهي :

١- تعريض أفراد ذات طراز جيني وأحد لعوامل بيئية مختلفة ثم دراسة تاثير تلك العوامل البيئية على صفات الأفراد . مثال على ذلك دراسة تأثير درجة الحرارة على حجم العين المركبة في ذبابة الفاكهة من الطراز البري . يقاس حجم العين المركبة بعدد الوحدات التألقية (Facets) الموجودة في العين المركبة في هذه الحالة تستخدم ذبابات ذات نمط جيني وأحد اي من سلالة نقية (Inbreed Line) تُعرّض يرقات هذه الذبابات إلى درجات حرارية مختلفة بعدها يتم قياس حجم العين لكل مجموعة من خلال حساب عدد الوحدات التالية وتسجيل النتائج :

ت	درجات الحرارة C^o	عدد الوحدات التألقية
1	15	1000
2	20	900
3	25	800
4	30	700

من خلال النتائج المسجلة نستطيع القول أن درجة الحرارة تؤثر على حجم العين المركبة في ذبابة الفاكهة اي يوجد تداخل بين الطراز الجيني ودرجة الحرارة التغاير البيئي.

<u>التربية الداخلية (Inbreeding):</u> التزاوج يحدث بين أفراد نفس العائلة وهي تطبق على الحيوانات والكائنات المختبرية ، ولا يمكن تطبيقها على الانسان لأسباب دينية واجتماعية .

في الانسان يستفاد من التوائم التي تحدث بصورة طبيعية وتكون على نوعين :

أ- **<u>توائم متماثلة:</u>** وهي متشابهة مئة بالمئة فهي تحمل نفس التركيب الوراثي أي متشابهة وراثياً لأنها ناتجة من انقسام نفس البيضة المخصبة .

ب- **<u>توائم غير متماثلة:</u>** تحمل تراكيب وراثية مختلفة اي مختلفة وراثياً فهي ناتجة عن بيضتان مختلفتان . فعندما نريد أن ندرس صفة معينة مثلاً صفة الذكاء هل تتأثر بالبيئة ام بالوراثة في حالة التوائم المتماثلة (تحمل نفس التركيب الوراثي) يمكن تربيتهم في مجتمعات مختلفة مثلاً في مجتمع انكليزي والثاني في مجتمع صيني بعد فترة ٢٠ سنة

أو أكثر نقيس صفة الذكاء فأي اختلاف سوف يكون سببه البيئة لأنها تمتلك نفس التركيب الوراثي واذا كانت نسبة الذكاء متسأوية فهذا يدل على عدم تأثير البيئة على تلك الصفة . أما في حالة التوائم غير المتماثلة (مختلفة وراثياً) عند نشأتهم بنفس العائلة (نفس البيئة) وقياس نسبة الذكاء فوجود اي اختلاف بالذكاء سوف يكون سببه وراثي اما اذا كانت نسبة الذكاء متسأوية هذا يدل أن صفة الذكاء تتاثر بالبيئة .

٢- تعريض أفراد ذات طرز جينية مختلفة لنفس العوامل البيئية مثل تعريض عدة أصناف من الشعير لنفس الظروف البيئية وملاحظة النتائج فعند وجود اختلاف بينها سوف يكون سببة وراثي .

٣- تعريض أفراد ذات تراكيب وراثية مختلفة لعوامل بيئية مختلفة مثل تجربة اختبار عدة أصناف من الشعير في ظروف بيئية مختلفة في هذه الحالة يمكن معرفة أو تقدير التغاير الوراثي والتغاير البيئي .

مدى التداخل بين الوراثة والبيئة (Norm of Reaction):

النمط الجيني قد يكون له عدة انماط ظاهرية في البيئات المختلفة ويمكن توضيح ذلك بمثال : بأخذ بيوض من ذبابة الفاكهة من سلالة نقية كلها ذات نمط جيني وأحد وتربيتها على وسط غذائي وأحد ولكن بدرجات حرارة مختلفة وبعدها ملاحظة لون العيون المركبة حيث لا يتأثر لون العيون بدرجات الحرارة فلم يتغير اللون بتغيير الدرجة الحرارية فالنمط الظاهري بقي نفسه هذا يدل على عدم وجود تداخل بين الوراثة والبيئة بالنسبة لهذه الصفة ، ولكن في نفس التجربة لو قمنا بحساب عدد الوحدات التألقية للعين المركبة للحشرة سوف نلاحظ وجود اختلاف في أحجام العين وظهور أنماط ظاهرية مختلفة هذا يدل إلى وجود تداخل بين النمط الوراثي والنمط الجيني لصفة حجم العين المركبة وعادة التداخل يكون صغيراً أو معدوماً في الصفات النوعية وكبيراً في الصفات الكمية . الصفات النوعية لا تقاس بالمقاييس المعروفة الطول والوزن فالمقياس فيها يكون وصفي مثلاً لون الزهرة ، الصفات الكمية تقاس بوحدات الطول والوزن والعدد .

النفاذية والتعبيرية (Penetrance & Expressivity):

<u>النفاذية (Penetrance):</u> هي قابلية جين أو نمط جيني لاظهار صفة مظهرية معينة في الأفراد التي تحمله تحت العوامل البيئية المختلفة ويعبر عنها بالنسبة المئوية وقد تكون كاملة أو غير كاملة .

<u>التعبيرية (Expressivity):</u> هي درجة أو قوة تعبير النمط الجيني عن صفة معينة في الأفراد التي تحمله تحت العوامل البيئية المختلفة فعندما تظهر الصفة في جميع الأفراد وبنفس المقياس فان التعبيرية ثابتة ولكن عندما تختلف الدرجة فالتعبيرية غير ثابتة.

لتوضيح هذين المصطلحين نأخذ الأجنحة الأثرية لذبابة الفاكهة (vestigial wings) الذبابات التي تحمل النمط الوراثي (vv) تظهر الأجنحة الأثرية في مختلف العوامل البيئية كدرجة الحرارة وبذلك تكون النفاذية لجين (v) كاملة (Complete) وكذلك عند فحص الذبابات ذات الأجنحة الأثرية فان الأجنحة تكون بحجم متسأو لهذا فان التعبيرية للجين (v) ثابتة ، أما

الأجنحة الملتفة في ذبابة الفاكهة والناتجة من الجين المتنحي (cu) فالذبابات ذات النمط الجيني (cu) والنامية عند درجة حرارة 25 C^o أجنحتها تكون ملتفة ولكن الذبابات النامية في درجة حرارة 19 C^o فان الكثير من الذبابات تظهر عليها الأجنحة الطبيعية والبقية ملتفة وبذا تكون النفاذية غير كاملة (Incomplete Penetrance) للجين (cu) وهذه الملتفة تكون بدرجات مختلفة من الالتفاف ، ولذلك فالتعبيرية لهذا الجين تكون غير ثابتة أو غير متجانسة .

النسخ الظاهرية (Phenocopies): معناها تبدل صفة معينة لأفراد بتأثير البيئة لتشابه الصفة المضادة للأفراد الآخرى مثلاً ذبابة الفاكهة يوجد سلالة ذات لون بني الجسم وسلالة طافرة ذات لون اصفر للجسم عند تربية يرقات من السلالات الأولى في وسط يحتوي نترات الفضة تظهر ذبابات ذات جسم اصفر مشابه للسلالة الطافرة الثانية والبيوض الناتجة من الأباء الصفراء بتأثير الفضة وعند تنميتها على وسط طبيعي يكون لون أجسام الذبابات البالغة بني .

الوراثة المندلية (Mendelian Genetics)

بدأ علم الورثة الحديث بعد التعرف على أعمال مندل عام 1900 م فمندل منذ عام 1866 م نشر أبحاثة تحت عنوان تجارب في تهجين النباتات واكد في الأبحاث على أن الصفات الوراثية تتعين بوحدات أطلق عليها العوامل (Factors) هذه العوامل تنتقل بين الأجيال بطريقة منتظمة قابلة للتنبؤ وبهذا فأن مندل لاحظ ما كان معروف سابقاً بالوراثة الخلطية فيما بعد اطلق باتسون عام 1905 م على هذا العلم اسم الوراثة (Genetics) ، جوهانسون 1909 م قال أن هذه الوحدات هي الجينات موجودة في مختلف الكائنات الحية من الفايروسات إلى الانسان .

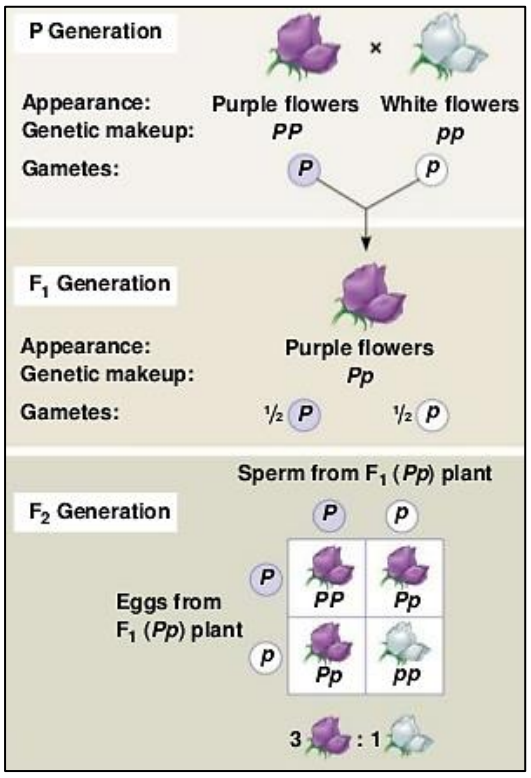
تجارب مندل : مندل أول من قام بتجارب تهجين النباتات وان من سبقوه كثيرين لكنه كان الأول الذي نجح في التوصل إلى المبادئ الأساسية للوراثة أو ما نسميها بقوانين مندل ويعود نجاح مندل إلى اختياره الحكيم لمادة وطرق الدراسة فمندل اختار نبات البزاليا (*Pisum sativum*) وذلك بسبب كون هذا النبات حولي ويمتلك صفات واضحة كما يمكن تنميته واجراء التضريبات بسهولة بالاضافة إلى ان النبات يحمل ازهار كاملة فهو يتلقح تلقيحاً ذاتياً ويمكن اجراء التلقيح الخلطي من قبل الانسان . مندل بدأ تجاربه بإجراء تضريبات أو تهجينات بين خطوط نقية أي سلالات نقية حصل مندل على تلك السلالات بزراعة نباتات وتركها للتلقيح الذاتي عدة أجيال وكانت تعطي نفس الصفات وتأكد مندل بان تلك النباتات نقية للصفات الظاهرة عليها .

درس مندل سبعة ازواج من الصفات المتضادة التالية :

ت	الصفة	السائدة	المتنحية
1	ارتفاع الساق	طويلة	قصيرة
2	لون القرنة (غير ناضجة)	خضراء	صفراء
3	شكل القرنة (غير ناضجة)	منفوخة	مضغوطة
4	موقع زهرة	ابطية	نهائية
5	لون المادة الغذائية (للبذرة الناضجة)	صفراء	خضراء
6	سطح البذرة الناضجة	أملس	مجعد
7	لون غلاف البذرة	أبيض	رمادي

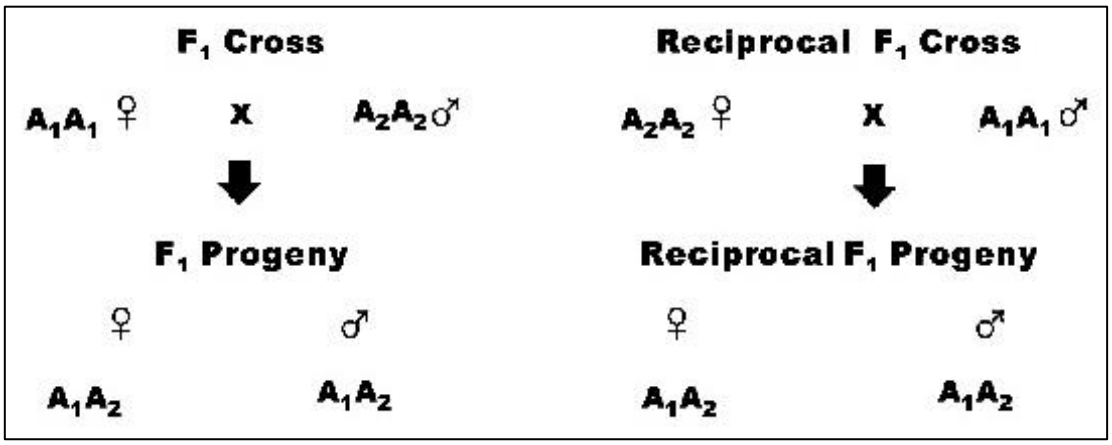
طرق الدراسة :

مندل تجنب التعقيدات التي عثرت نتائج الذين سبقوه في الدراسة وذلك بتحكمه الجيد في عمل التضريبات (Crosses) بين الاباء والتي تختلف في صفة وأحدة فقط كغلاف البذرة مثلاً وبعد أن أثبت سلوك كل صفة لوحدها انتقل إلى دراسة وراثة صفتين بنفس الوقت كغلاف البذرة ولون البذرة كما حسب مندل وسجل اعداد كل نمط ظاهري في الذرية الناتجة من كل تهجين وحول تلك الأعداد إلى نسب وبعد ذلك قارن بين النسب الناتجة للأنماط الظاهرية للصفات التي درسها.

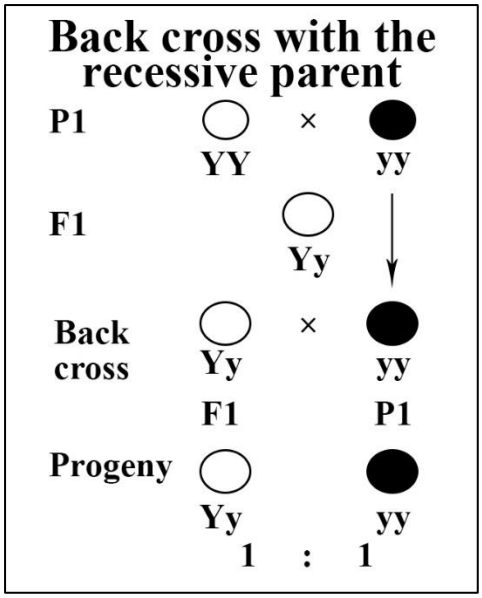


مندل اجرى تضريباته بصورة دقيقة عندما كانت البزاليا في حالة تزهير يطلق على التضريب الأولي بين اي ضربين نقيين مختلفين بصفة وأحدة أو عدة صفات بالجيل الأبوي (Parental generation P) ولمنع الاخصاب الذاتي في الأزهار المستخدمة بالتجربة ترفع متوك الأزهار قبل النضج التام ثم تغطى الازهار التي اصحبت فردية بأكياس ورقية خاصة وفي الوقت المناسب تنقل حبوب اللقاح من النباتات المعتبرة ذكرية إلى ميسم الزهرة المغطاة والمعتبرة انثوية ، تترك البذور لتنضج على النبات وعند زراعة هذه البذور الهجينة فأنها تنمو إلى نباتات تعرف بذُريّة الجيل الأول (First filial generation F1) أو (F1 generation) نباتات هذا الجيل (F1) تترك للتلقيح الذاتي بصورة طبيعية فتنتج بذور عند زراعتها تنمو الي نباتات تعرف بذُريّة الجيل الثاني (Second Filial generation F2) .

كما اجرى مندل تضريبات متبادلة (Reciprocal crosses) مثل :



تابع مندل نتائج التهجين لأجيال متعددة كما أجرى تضريبات رجعية (Back crosses) بين الهجن (F1) وبين ضروب الآباء النقية (P) :



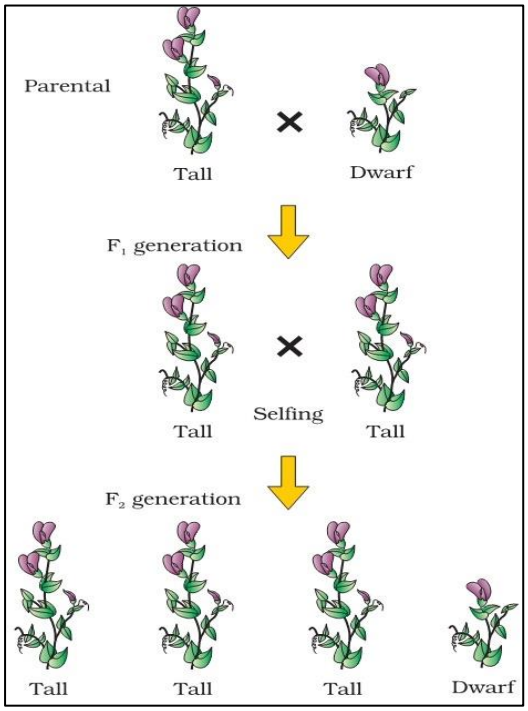
التضريب الرجعي الأول هو تضريب أحد الأبوين (P1) مع أفراد الجيل الأول الهجن (F1) ، أما التضريب الرجعي الثاني هو تضريب الأب الثاني (P2) مع أفراد الجيل الأول الهجن (F1).

$$B1=P1\times F1$$

$$B2=P2\times F1$$

كما لاحظ مندل ان عوامل البيئة كالتربة والحرارة والضوء لها تأثير على نمو النبات لكن ليس لها تأثير على تحديد الصفات الوراثية وانما الصفات الوراثية تتحدد فقط عن طريق العوامل الوراثية التي يحملها النبات قدم مندل فرضيات لتفسير النتائج التي حصل عليها والتي تعرف الآن بقوانين مندل أو مبادئ مندل وهما مبدئين مهمين مبدأ الانعزال ومبدأ الانعزال المستقل.

مبدأ الانعزال (Segregation Principle):



هجن مندل بأحدى تجاربة نباتات بزاليا نقية طويلة الساق طولها من (6-7) قدم بآخرى قصيرة الساق طولها (8-19) إنج فكانت جميع نباتات الجيل الأول طويلة الساق حيث اختفت صفة القصر في نباتات الجيل الأول وعندما ترك مندل نباتات الجيل الأول الطويلة الساق الهجينة للأخصاب الذاتي (التلقيح الذاتي) حصل على ضروب عند زراعتها أعطت نباتات الجيل الثاني قام مندل بتصنيف ذرية الجيل الثاني إلى نباتات طويلة ونباتات قصيرة وحول الاعداد إلى نسب ولاحظ ان النباتات الطويلة كانت نسبتها (3\4) أما النباتات القصيرة نسبتها (1\4) .

قام مندل بتجارب عكسية (Reciprocal Crosses) وحصل على نفس النتائج كما حصل على نفس النتائج عند دراسة الصفات الستة المتبقية ، اي ظهور أحدى الصفتين في الجيل الأول اطلق عليها الصفة السائدة (Dominant) اما الصفة التي اختفت في الجيل الأول فسميت بالصفة المتنحية (Recessive) وظهرت الصفات في الجيل الثاني بنسبة (3) سائد و (1) متنحي .

وضع مندل فرضية لتفسير النتائج التي حصل عليها في التجارب السبعة وهذه الفرضية هي: **(تتعين الصفات المتضادة كطول الساق وقصره في نبات البزاليا بوحدات أو عوامل (Factors) التي تنتقل من الآباء إلى الأبناء بواسطة الأمشاج أو الكميتات (Gametes) وان العوامل المختلفة كتلك لارتفاع النبات لا تمتزج ولا يؤثر أحدها على الآخر في الهجين أو (F1) ولكنها تنعزل (Segregates) وتذهب إلى الكميتات المختلفة التي يكونها الهجين وهذه الكميتات تتحد عشوائياً لتكون ابناء الهجين أو الجيل الثاني (F2))** .

ولتوضيح هذه الفرضية تستعمل الحروف كرموز للعوامل أو الجينات حيث يشير الحرف الكبير إلى الصفة (العامل) السائدة والحرف الصغير يشير إلى الصفة المتنحية وتعتبر العوامل وحدات مطلقة يمكن أن ترمز لها باي حرف مثل (A و B و ...) وغيرها ، كما تعتبر الصفة الناتجة عن الطفرة أساساً للرمز والتي تنتج عادة من العامل المتنحي حيث أن أغلب الطفرات تكون متنحية فأذن اعطاء الرموز الوراثية للصفات يكون بأخذ الحرف الأول من اللغة الانكليزية التي تعطي معنى الصفة المتنحية فيكون حرف صغير ويعطى نفس الحرف الكبير للصفة السائدة أو المتغلبة ولهذا نرمز لعامل قصير الساق بالحرف (d) من كلمة dwarf وترمز الصفة الطول السائدة بالرمز (D) وكذلك بالنسبة للون الأزهار المتنحية البيضاء (w) والسائدة نرمز لها بالحرف (W) واذا لم يعرف الاسم بالانكليزي يمكن استخدام الاحرف الأبجدية (A) و (a) مع تعريف المصطلح على الورقة .

بما انه كل نبات ينشأ من اتحاد كاميتين فيرمز للنبات طويل الساق التقي بالرمز (DD) وهذا النبات ينتج نوع وأحد من الأمشاج (الكميتات) ويرمز لها بالرمز (D)(الدائرة دليل على الكميت) أما رمز النبات قصير الساق فيكون (dd) هو ناتج عن اتحاد كميتين من نوع وأحد ويرمز للكميت المتنحي (d) وإذا ما خصب الكميت (D) بالكميت (d) أو حدث العكس فتكون الزايكوت أو البيوض المخصبة الهجينة في (F1) والحأوية على العاملين (D) و (d) ويرمز لها بالرمز (Dd) وكانت هذه النباتات جميعها طويلة الساق لان الأليل (العامل) (D) سائد على الاليل (العامل) (d) ، وحسب فرضية الانعزال لمندل فان العوامل لنباتات (F1) لم تمتزج ولم يؤثر أحدها على الآخر لكنها تنعزل وتدخل إلى كميتات مختلفة التي يكونها الهجين وتكون بنسبة متسأوية (1\2) (D) و (1\2) (d) والتي يحصل فيها اخصاباً أو اتحاداً بصورة عشوائية لتكون نباتات الجيل الثاني والتي يمكن توضيحها بهذا الشكل وبموجبه تكون نتائج الفرضية مطابقة للتجارب التجريبية :

P	DD × dd
G	Ⓓ × ⓓ
F1	Dd

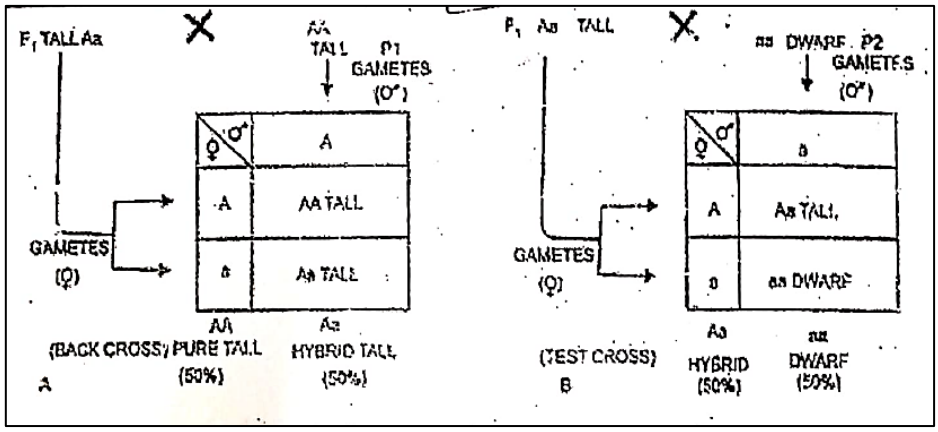
طويلة الساق 100%

أفراد التضريب الأول خصبت ذاتياً

F1	Dd × Dd
G	Ⓓ ⓓ × Ⓓ ⓓ
F2	DD + Dd + Dd + dd

1 قصير الساق (25%) : 3 طويل الساق (75%)

لم يكتفي مندل بالإجراءات التي قام بها بل قام بتضريبات آخرى ومنها التضريب الرجعي (Back Crosses) حيث قام بتضريب نباتات (F1) بالنباتات الابوية القصيرة الساق وحصل على ذرية نصفها طويلة ونصفها قصيرة استعمل مندل فرضية الانعزال لتفسير النتائج التي حصل عليها من التضريب الرجعي كما يوضحها الشكل التالي :



تعريف مهم : يطلق على تضريب نباتات مجهولة النقاوة أو هجينة مع الأب الذي يحمل الصفة المتنحية النقية بتضريب الاختبار (Test Cross) :

Test cross	Heterozygous (F_1 tall)	x	Homozygous (dwarf parent)
Genotype	Tt		tt
Gamete	T t		t
Test cross progeny	Tt		tt
Phenotypic ratio	1 tall (50%) : 1 dwarf (50%)		

فإذا كانت نتيجة تضريب الاختبار نصفها تحمل الصفة السائدة ونصفها تحمل الصفة المتنحية معناها أن النبات مجهول النقأوة كان هجيناً كما في الشكل اعلاه ، أما اذا كانت نتائج تضريب الاختبار أفراد جميعها تحمل الصفة السائدة معناها أن الفرد مجهول النقأوة كان نقي للصفة السائدة ، كذلك قام مندل بتنمية نباتات الجيل الثالث حيث لاحظ أن نباتات (F2) الطويلة الساق ثلثها أعطى نباتات طويلة الساق وثلثيها اعطى نباتات طويلة الساق وقصيرة الساق اما نباتات (F2) القصيرة الساق فجميعها اعطى نباتات قصيرة الساق .

اطلق مندل على الشيء المسؤول عن كل صفة بالعامل Factor فيما بعد اطلق على العامل اسم الجين وتبين أن العامل الذي يعين مظهر أحدى الصفتين يمكنه أن يختفي من (F1) إلا انه لا يتلف ويطلق على هذه الظاهرة بالسيادة أو التغلب (Dominance) ومندل اعتمد على الدليل التجريبي حيث صور العوامل بأنها توجد على شكل أزواج أو أليلات (Alleles) وهي الأشكال البديلة لجين معين كما اطلق مندل على عملية الانعزال أو الانفصال بانفصال الجين .

وبعد التعرف على أعمال مندل قام علماء الوراثة بإجراء التجارب على كائنات آخرى وأكد من نتائج تلك التجارب أن فرضية انعزال الهجين صحيحة ولذلك عرفت فكرة الانعزال بقانون مندل الأول أو قانون الانعزال الذي ينص على : (انفصال ازواج الجينات (الأزواج الأليلية) عن بعضها وتوزيعها إلى خلايا جنسية مختلفة) . يعتبر مبدأ الانعزال الحجر الأساس لتطور علم الوراثة الحديث .

ان رموز الجين الممثلة بصورة زوجية تعبر عن الزيجات أو النباتات التي تنتج من هذه الزيجات اما رموز الجين الممثلة بصورة فردية تعبر عن الكميتات ولهذا فإن الكائنات الحية التي تحمل أليلين متشابهين مثل (DD) و (dd) تكون متماثلة الزيجة اي نقية ويطلق عليها (Homozygous) اما تلك التي تحمل اليلين مختلفين مثل (Dd) فيطلق عليها متباينة الزيجة (Heterozygous) أو هجينة كما يطلق على التضريب بين فردين مختلفين وراثياً بزوج وأحد من الأليلات بالتضريب احادي الهجين (Monohybrid cross) مثل (DD×dd) بينما يطلق على التضريبات بين فردين نقيين يختلفان في زوجين من الاليلات أو صفتين بالتضريبات ثنائية الهجين (Dihybrid Cross) مثل (DDSS×ddss) وتضريبات ثلاثية الهجين (Trihybrid) مثل (DDSSRR×ddssrr) .

سؤال : ماهي الشروط الواجب توفرها للحصول على نتيجة 3 سائد إلى 1 متنحي في الجيل الثاني لقانون مندل الأول ؟

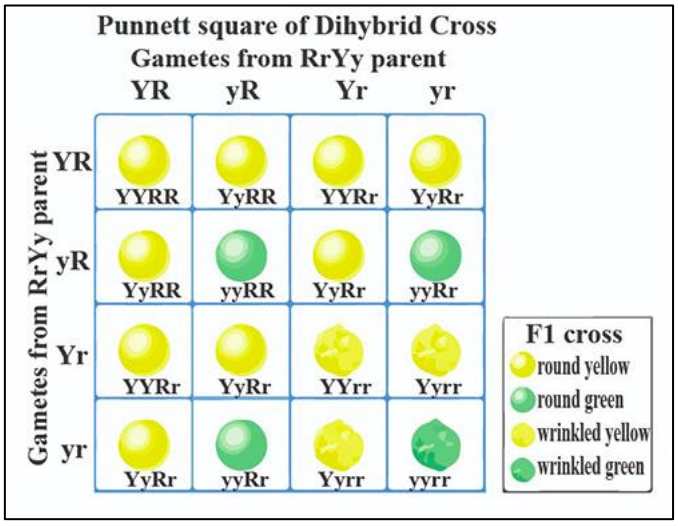
<u>مبدأ التوزيع الحر (Principle of independent assortment):</u> بما ان كل كائن حي يحمل أكثر من زوج وأحد من العوامل بل يحمل عدد كبير منها التي تعين الصفات العديدة للكائن الحي لذلك صمم مندل اكتشاف طريقة وراثة العوامل المختلفة ولمعرفة كيفية انتقال العوامل العديدة ضرب مندل نباتات بزاليا نقية تحمل زوجين مختلفين من العوامل واللذان يعينان صفتين مختلفتين ، ففي أحدى تجاربه ضرب نباتات نقية ذات بذور ملساء وصفراء مع نباتات ذات بذور مجعدة وخضراء لاحظ ان نباتات الجيل الأول الناتجة من هذا التضريب تكون متباينة أو هجينة لزوجين من الجينات أي هجيناً ثنائياً ويطلق على مثل هذا التضريب

بالتضريب ثنائي الهجين . عرف مندل من دراسته السابقة قانون مندل الأول بأن أليلات كل من البذور الملساء والصفراء بأنها سائدة على نظائرها من الأليلات التي تنتج بذور مجعدة خضراء ولاحظ بأن جميع بذور الجيل الأول الناتجة من التضريب كانت ملساء وصفراء كما هو متوقع وعندما ترك هجن الجيل الأول للاخصاب الذاتي لاحظ ظهور اربعة انماط ظاهرية (phenotypes) اثنان منها تمثل التراكيب أو الاتحادات الابوية (parental competition) والاثنين الآخرين يمثلان تراكيب أو اتحادات غير أبوية أو جديدة (non-parental competition) أو اتحادات جديدة تسمى ايضاً (New competition) .

فتنتج من التهجين 556 بذرة من الجيل الثاني كانت موزعة كالآتي 315 كانت ملساء صفراء و 108 ملساء خضراء و 101 مجعدة صفراء و 32 مجعدة خضراء وعند تحويل هذه الأرقام إلى نسب كانت النسب تقريباً كالاتي :

1 : 3 : 3 : 9 = 32\556 + 101\556 + 108\556 + 315\556

وعرف مندل بأن هذة النسبة تنتج من تضريب أحادي الهجين اي في كل منها 3\1 واللذان حدثا معاً (3+1) (3+1) = 9 + 3 + 3 + 1 (نسبة حاصل ضرب الحدثين) . فبرهن ناتجه رياضياً وهذا ما يطابق الاحتمال نسبة حاصل وقوع حدثين معاً يسأوي حاصل ضرب فرصة وقوع كل منها بصورة منفصلة . وضع مندل الفرضية التالية لتفسير النتائج وهي : **تنعزل العوامل أو الجينات المختلفة بصورة مستقلة أو حرة اثناء تكوين الكميتات** ولتوضيح هذه النظرية استعمل مندل الرموز للعوامل والموضحة بهذا المخطط :



قام مندل بالاضافة إلى التضريب الثنائي الهجين بتجربة آخرى لدعم فرضية الانعزال المستقل وذلك بإجراء تضريب الاختبار ثنائي الهجين (Dihybrid test cross) حيث ضرب نباتات (F1) ذات البذور الصفراء والملساء مع نباتات أبوية تحمل الصفتين المتنحيتين أي البذور المجعدة الخضراء وحصل على النتائج التالية في جيل تضريب الاختبار وهي (24) نباتات ملساء صفراء البذور و (25) خضراء ملساء البذور و (22) نبات مجعدة صفراء البذور و (27) نبات مجعدة خضراء البذور وعند تحويل هذه الاعداد إلى ابسط حالة نحصل على النسبة

(1 : 1 : 1 : 1) تقريباً مندل استعمل فرضية الانعزال المستقل لتفسير نتائج تضريب الاختبار ثنائي الهجين .

فعليه تكون نتائج الفرضية مطابقة لنتائج التجربة لجيل تضريب ثنائي الهجين وهذا ما يؤكد صحة نظرية الانعزال المستقل . وبعد اكتشاف أعمال مندل اجرى علماء الوراثة تضريبات ثنائية الهجين باستعمال حيوانات ونباتات مختلفة وكانت نتائج تلك التجارب مشابهة للنتائج التي حصل عليها مندل لذا عرفت فرضية الانعزال المستقل بقانون الانعزال المستقل أو قانون مندل الثاني وينص هذا القانون على : **(تنفصل ازواج الجينات المختلفة بصورة مستقلة إلى كميتات أو بمعنى آخر أن كل زوج من العوامل أو الجينات ينعزل بصورة مستقلة عن أنعزال بقية الأزواج أثناء تكوين الكميتات)** إلا ان بعض التجارب الوراثية التي أجراها العلماء على نبات البزاليا الحلوة وعلى حشرة ذبابة الفاكهة وجدوا ان بعض ازواج الجينات لا تخضع إلى قانون الانعزال المستقل وهذا ادى إلى أكتشاف ظاهرة وراثية مهمه آخرى هي ظاهرة الارتباط (Linkage) .

للحصول على النسبة المندلية في التضريب ثنائي الهجين يجب أن تتوفر شروط معينة وهذه الشروط يمكن تلخيصها بالنقاط التالية :

١- جميع الكميتات والزايكوتات تكون ذات حيوية متسأوية .
٢- الاتحاد بين الكميتات الذكرية والانثوية يجب أن يتم بطريقة عشوائية .
٣- وجود السيادة الكاملة في كل صفة تحت .
٤- وجود اليلان لكل موقع جيني مسؤول عن صفة معينة .
٥- انعدام التفوق (Epistasis) بين الجينات والصفات المختلفة .
٦- انعدام الارتباط بين الجينات للصفات المختلفة.

طرق التشعب للمسائل الوراثية (Forked Lines or Branching method) :

هذه الطريقة تعتبر اسهل من مربع بونت وهي ايضاً مبنية على مبدا الانعزال والانعزال المستقل تستعمل الطريقة لتعيين الأنماط الوراثية والأنماط الظاهرية ونسبها في الجيل الثاني لتضريبات تختلف بعدة ازواج من الجينات وتستعمل هذه الطريقة كما يلي :

١- تعيين انواع ونسب الكميتات التي انتجها أفراد الجيل الأول (F1) فمثلاً إذا كان النمط الوراثي الأول هو (AaBb) فيمكن معرفة انواع الكميتات ونسبها التي يكونها هذا النمط الوراثي بالطريقة التالية : يجزأ النمط الوراثي (AaBb) إلى (Aa) و (Bb) وبعد ذلك يكون من السهل معرفة ناتج كل زوج ونسبته على انفراد .

فبموجب مبدأ الانعزال المستقل فان (A) قد ينعزل مع (B) أو قد ينعزل مع (b) وكذلك بالنسبة لـ (a) قد ينعزل مع (B) أو ينعزل مع (b) في كميت آخر .

وبنفس الطريقة يمكن تعيين الكميتات ونسبها لأي كائن حي متباين الزيجة وان عدد الأنواع المختلفة من الكميات = 2^n = ، حيث n = عدد انواع الجينات المتضادة المستقلة .

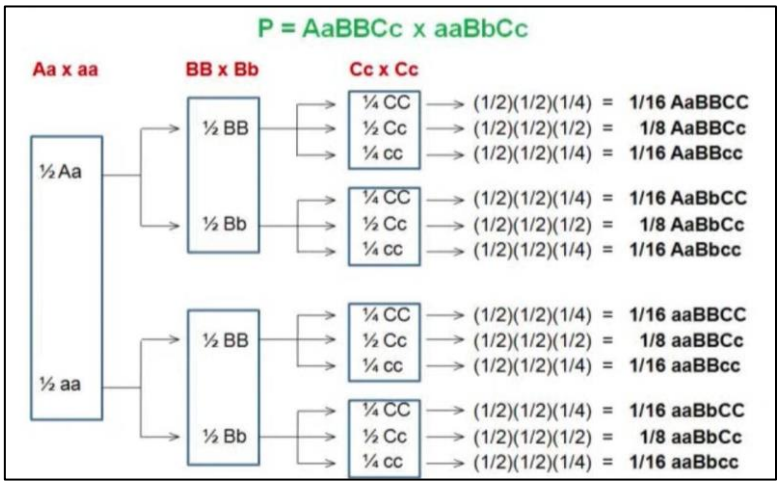
$AaBbCc = 2^3 = 8$

$AaBBCc = 2^2 = 4$

$aaBbCc = 2^2 = 4$

$aabbCc = 2^1 = 2$

٢- تعيين الأنماط الوراثية ونسبها في الجيل الثاني فمثلاً إذا كان النمط الوراثي لـ (F1) (AaBb) الناتج من التهجين ثنائي الهجين فيمكن تعيين الأنماط الوراثية ونسبها في الجيل الثاني (F2) بالطريقة التالية : يجزأ التضريب ثنائي الهجين إلى تضريب احادي الهجين (Aa×Aa) و (Bb×Bb) وبعد ذلك يكون من السهل معرفة الأنماط الوراثية ونسبها الناتجة في (F2) في كل تضريب ثنائي الهجين . ثم بعد ذلك نقوم بتضريب جميع الأنماط الوراثية الناتجة من (Bb×Bb) مع الأنماط الناتجة من تضريب (Aa×Aa) .



وتتبع نفس الطريقة اذا كان (F1) متباين الزيجة لأكثر من زوجين من الصفات .

٣- تعيين الأنماط الظاهرية ونسبها في الجيل الثاني (F2) اذا كانت السيادة كاملة بين الصفات المتضادة كما في التضريب ثنائي الهجين المتضمن نباتات البزاليا النقية الأنثوية ذات البذور الملساء والصفراء مع نباتات البذور المجعدة الخضراء .

فبعد اتباع طريقة التشعب لتعيين الأنماط الظاهرية (phenotype) ونسبها في الجيل الثاني ايضاً يقسم هذا التضريب إلى تضريب : احادي الهجين وهما ملساء × مجعدة والثاني صفراء × خضراء .فبعد ضم كل نمط ظاهري ناتج من صفراء × خضراء إلى كل نمط ظاهري ناتج من ملساء × مجعدة ، اذن عدد الأنواع في الأنماط الظاهرية المختلفة = $2^n = 2^2 = 4$.

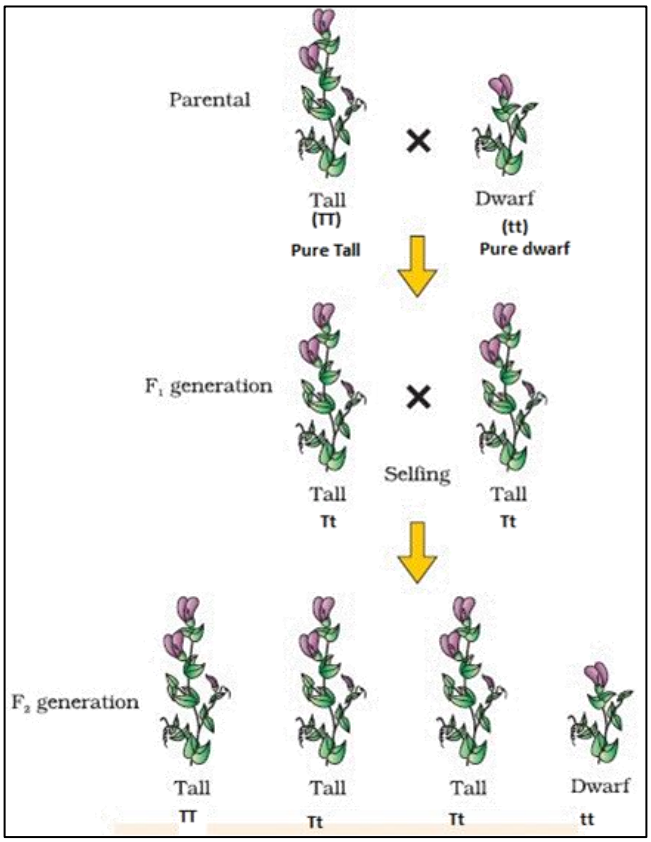
أما إذا كانت السيادة غير كاملة بين الصفات المتضادة في تضريب احادي الهجين فينتج 3 أنماط ظاهرية في (F2) ونسبها (1\2) و (2\4) و (1\2) ، ويمكن اتباع نفس الطريقة في حالة الآباء المختلفة لأكثر من زوجين من الصفات المتضادة .

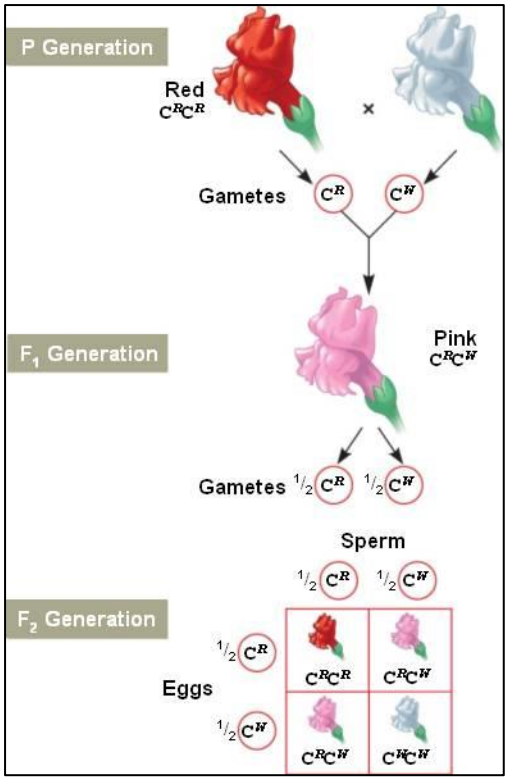
- عدد الانواع المختلفة من الأمشاج = 2^n
- عدد الأنواع المختلفة من الأنماط الظاهرية = 2^n (بوجود السيادة الكاملة)
- عدد الأنواع المختلفة من الأنماط الوراثية= 3^n
- عدد الانواع المختلفة من الاتحادات المختلفة= 4^n

أنواع السيادة (Types of Dominance) :

السيادة هي قابلية أحد الأليلين أو كلاهما لاظهار تأثيرهما في الهجين ويطلق عليها ايضاً بتداخل فعل أليلات نفس الجين (تداخل فعل اليلات نفس الموقع Interaction intra - allelic) وهذه القابلية ليست خاصية الأليل لكنها تأثير الجينات الآخرى التي يحملها الفرد وبالهرمونات والعوامل البيئية التي تؤثر عليه . الصفات التي درسها مندل في نبات البزاليا كانت أحداها سائدة سيادة كاملة على الآخرى لكن بعد اكتشاف تجارب مندل وجد الباحثون أنواع آخرى من السيادة التي أدت إلى ظهور نسب من الأنماط الظاهرية في الجيل الثاني تختلف عن نسب مندل ولكن عوامل تلك الصفات خضعت ايضاً إلى مبدأ الانعزال المستقل ومن أنواع السيادة :

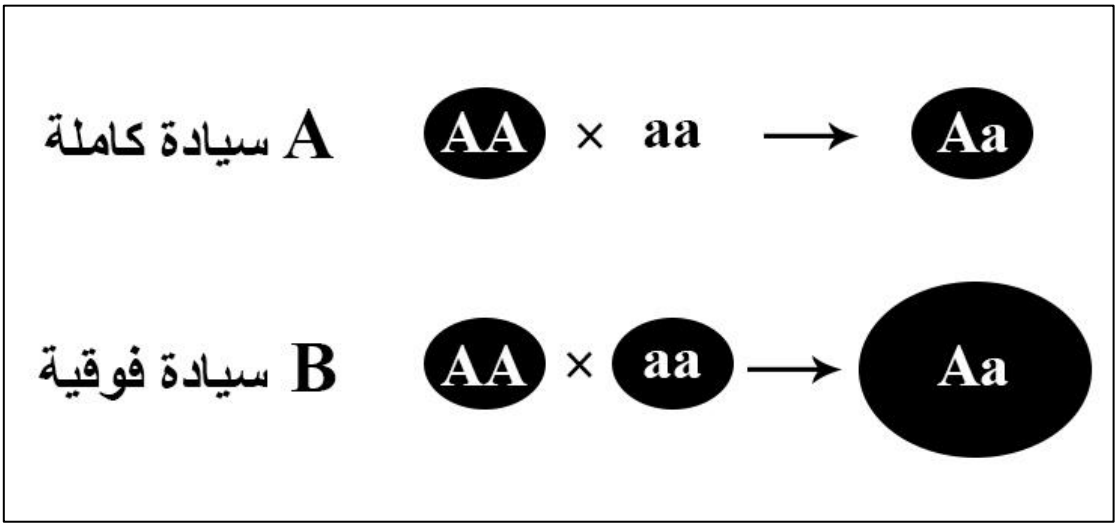
١- **<u>السيادة الكاملة (البسيطة) (Complete or Simple Dominance) :</u>** هي السيادة التي يكون فيها النمط الظاهري لمتباين الزيجة مشابهاً للنمط الظاهري لأحد متماثلي الزيجة أي أن (Aa) يشبه (AA) بالرغم من وجود الجين المتنحي (a) لان هذا الاليل المتنحي (a) مخفي وظيفياً وقد لاحظ مندل هذا النوع من السيادة في الصفات السبعة وادت إلى الوصول إلى النسبة المندلية في الجيل الثاني التي كانت : 1:3 أو 1:3:3:9 .



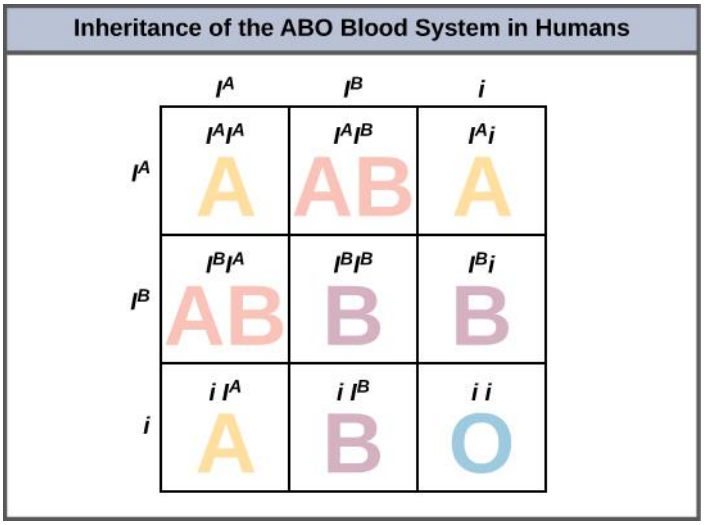


٢- **السيادة غير الكاملة (Incomplete Dominance (Partial):** هي التي يكون فيها النمط الظاهري لمتباين الزيجة في (F1) قريب الشبه للنمط الظاهري لأحد الأبوين المتماثلين الزيجة فمثلاً في نبات حلق السبع عند تضريب نبات ذو ازهار حمراء مع نبات ذو ازهار بيضاء ينتج (F1) الهجين ذات لون أزهار حمراء وردية (Pink) وفي الجيل الثاني تنتج نسب محورة عن نسب مندل (1:3) وهذه النسب هي 1 حمراء : 2 حمراء وردية : 1 بيضاء .

٣- **السيادة الفوقية (Over dominance):** في هذا النوع من السيادة يكون النمط الظاهري في متباين الزيجة اي (F1) أكثر قيمة من النمط الظاهري لكلا متماثلي الزيجة فمثلاً في ذبابة الفاكهة يكون متباين الزيجة للعين (Ww) يمتلك عدد اكبر من الوحدات التألقية لكل من متماثلي الزيجة (WW) و (ww) . كذلك تظهر السيادة في الحالات المتعلقة بالصلاحية الحيوية مثل الحجم والإنتاجية الحيوية فالتضريبات بين أفراد متماثلة الزيجة ضعفاء في الصلاحية الحيوية انتجت في كثير من الحالات ذرية ذات سيادة فوقية بالنسبة لكلا الأبوين ، وبسبب السيادة الفوقية ينتج في (F2) النسبة (1:2:1) في التضريبات أحادية الهجين .



٤- **السيادة المشتركة (Codominance):** هي السيادة التي يكون فيها النمط الظاهري لمتباين الزيجة مشابهاً للنمط الظاهري لكلا متماثلي الزيجة وتكون السيادة مشتركة عندما يعبر كلا الاليلين بصورة كاملة عن تأثيرهما في الهجين أو متباين الزيجة فعلى سبيل المثال يكون الاليل (I^A) لمجموعة الدم (A) سائد سيادة مشتركة مع الاليل (I^B) لمجموعة الدم (B) ولهذا يعتبر متباين الزيجة ($I^A I^B$) عن صفتي كل من المجموعة (A) والمجموعة (B) والنسبة في الجيل الثاني تكون : 1 $I^B I^B$: 2 $I^A I^B$: 1 $I^A I^A$. اما بالنسبة إلى الأليل (i) فإنه متنحي لكلا الاليلين (I^A) و (I^B) حيث تكون السيادة كاملة مع هذا الأليل .



تداخل الفعل الجيني (Gene Interaction): هذا المصطلح يستخدم لوصف اعتماد جينين على بعضهما لظهور الصفة (أي تداخل تكميلي) أو قد يستخدم لوصف عمل الجينات لتحوير شكل أو شدة الصفة (اي عمل محور) أو ما يسمى بالجينات المحددة .

التفوق (Epistasis): هي أحدى حالات تداخل الفعل الجيني ففي بعض الحالات التي يوجد فيها زوجان من الجينات وكلاهما يؤثر على نفس الصفة يحدث ان أحداهما يغطي أو يخفي أو يتفوق على تأثير الجين الآخر وينتج عن ذلك عادة تغيير عن النسب المندلية هذه الحالة تسمى بالتفوق .

تماثل حالة التفوق السيادة التامة إلا أن السيادة التامة تكون بين الأليلات زوج وأحد من الجينات (A و a) ، بينما في التفوق يكون بين اليلات جينين مختلفين (A و B) .

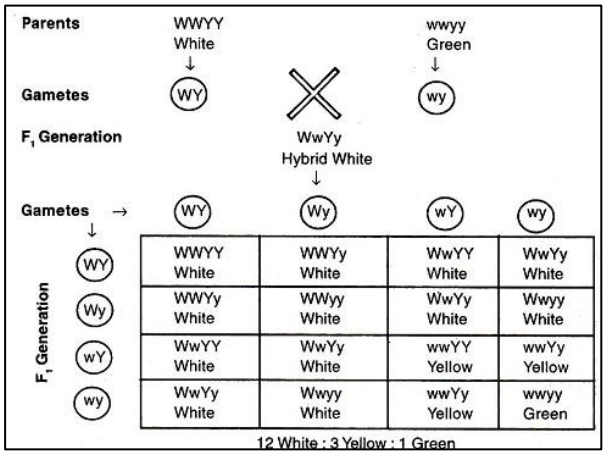
- يطلق على الجين الذي يمنع ظهور تأثير جين آخر بالجين المتفوق (Epistatic gene) .

- يطلق على الجين الذي لا يظهر تأثيره بالجين غير المتفوق (المتفوق عليه) (Hypostatic) .

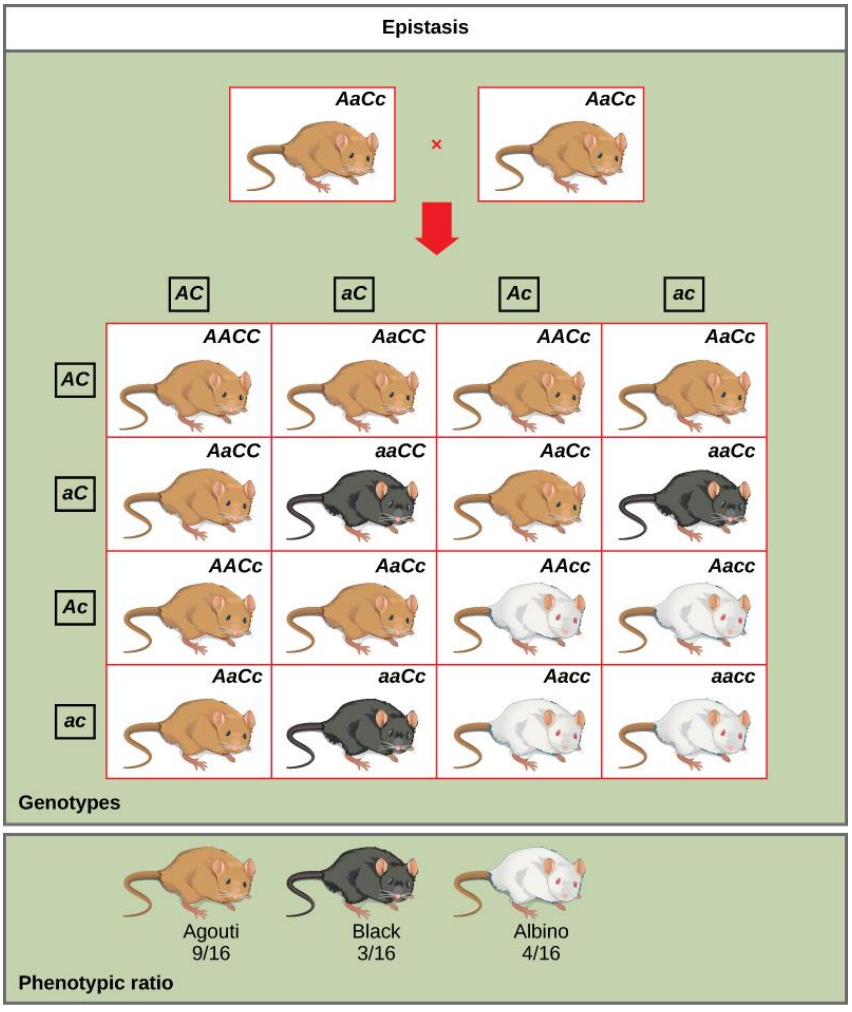
حالات التفوق : هناك ست حالات من التفوق تختلف عن بعضها كلها تغير النسب المندلية هي :

١- **التفوق السائد (Dominance Ep.):** النسبة تتحورإلى (1:3:12) ، مثال لون ثمار القرع الصيفي .
٢- **التفوق المتنحي . (Recessive Ep):** النسبة تتحورإلى (4:3:9) ، مثال وراثة لون الفئران .
٣- **التفوق المتنحي المتماثل التأثير:** النسب المندلية تتحور إلى (7:9) ، مثال وراثة لون الأزهار في (*Lathyrusodovolis*) .
٤- **التفوق المتماثل التأثير غير الكامل (الجينات المتضاعفة ذات التأثير التراكمي):** النسب تتحور إلى (1:6:9) ، مثال شكل ثمرة القرع الصيفي .
٥- **التفوق السائد المتماثل التأثير (الجينات المتضاعفة السائدة):** النسب المندلية تتحور إلى (1:15) ، مثال شكل محفظة البذرة لنبات كيس الراعي .
٦- **التفوق السائد والمتنحي (تداخل الفعل الجيني السائد والمتنحي):** النسب تتحور إلى (3:13) ، مثال لون ريش الدجاج .

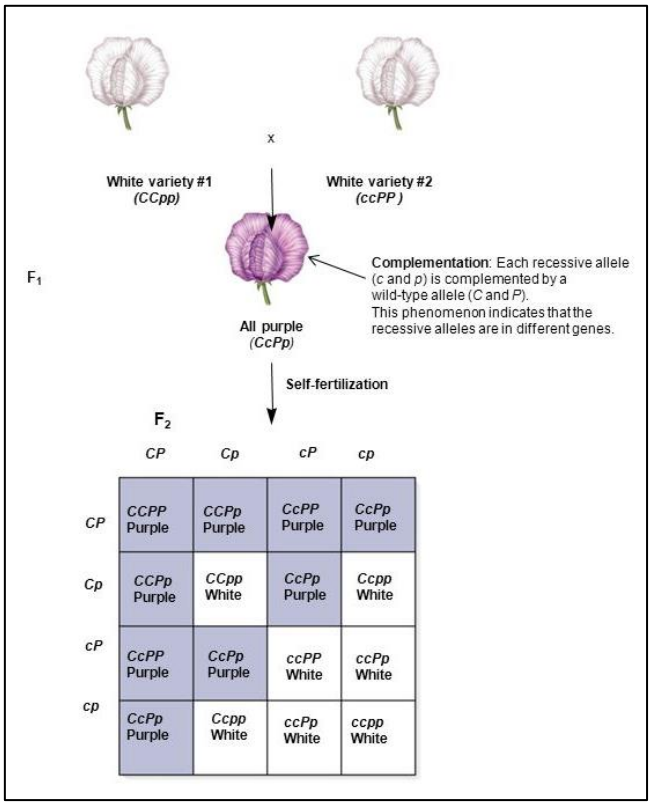
١- **التفوق السائد (Dominance Epistasis):** ثمار القرع الصيفي توجد في ثلاث الوان وهي الأبيض والأصفر والأخضر ، الثمار البيضاء تكون سائدة على الصفراء والخضراء ، الثمار الصفراء سائدة على الخضراء لكن عند تزاوج أو تهجين ثمار صفراء مع بيضاء فيكون كل الجيل الأول أبيض الازهار وعند تضريب أفراد الجيل الأول البيضاء مع البيضاء فتكون نتيجة الجيل الثاني أفراد تتكون من 12 أبيض : 3 ثمار صفراء : 1 خضراء ، فسرت هذه النتيجة على اساس وجود جين سائد متفوق هو (W) يمنع تكوين اي صبغة ووجود جين سائد (Y) يسبب تكوين اللون الأصفر في غياب الجين السائد الأول أو يمكن القول بأن الجين المتغلب السائد (W) يمنع تكوين اللون بينما يكون أليله المتنحي (w) يسمح بظهور اللون والجين السائد (Y) يظهر اللون الأصفر بينما أليله المتنحي (y) يظهر اللون الأخضر ويمكن توضيحها كما في الشكل :



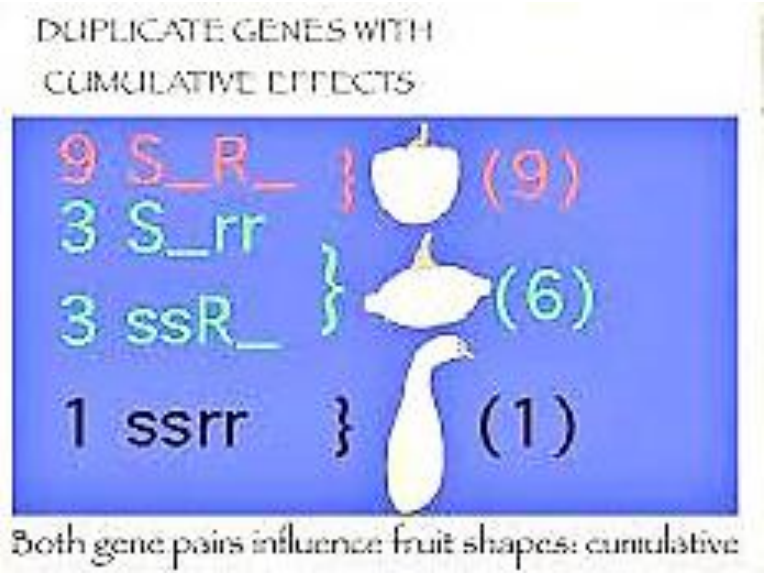
٢- **التفوق المتنحي (Recessive Epistasis):** عند تلقيح سلالة سوداء الفروة للفئران مع سلالة ذات فروة بيضاء فالجيل الأول يكون رمادي (الاجوتي) يكون جزء الشعرة القريب من الجلد رمادي ثم اصفر وطرف الشعرة أسود وعند تلقيح أفراد الجيل الأول مع نفسها (F1×F1) نحصل في الجيل الثاني على النسبة 9 رمادي : 3 اسود : 4 أبيض ، تم تفسير النتائج على اساس وجود الجين (C) الضروري لتكوين اي صبغة في الشعيرات وعلى ذلك فالفئران البيضاء تركيبها (cc) اما السوداء (CC) ويعتقد ان الاليل (c) مسؤول عن غياب انزيم معين ضروري كخطوة كيميائية وسطية في انتاج الصبغة. الجين (A) اللون الرمادي (الاجوتي) هو ضروري لظهور اللون الأصفر في الشعيرات لذلك فالسلالة السوداء يكون تركيبها الوراثي (aa) في حين ظهور اللون الاجوتي في الجيل الأول دليل على أن الجين (A) جاء من أحدى السلالتين وهو غير موجود في السلالة السوداء ولم يظهر تأثيره لأن الجين (cc) يتفوق على (A) ويمنع تأثيره (جين متنحي) .



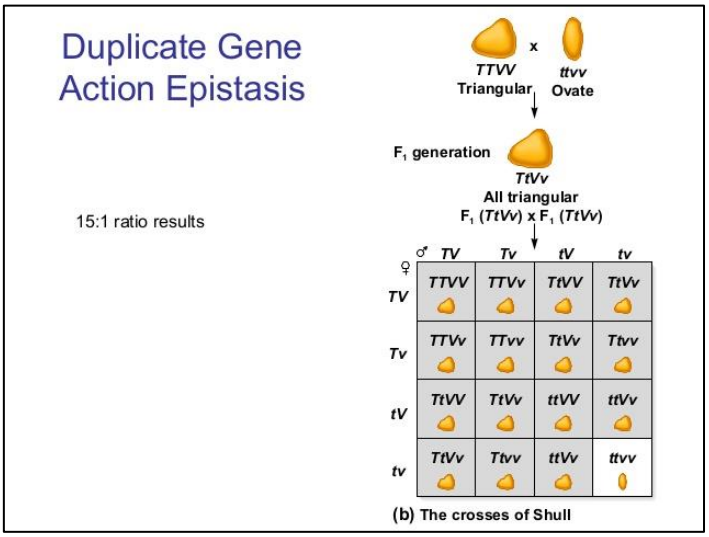
٣- **التفوق المتنحي المتماثل التأثير (Recessive Duplicate Epistasis):** تسمى هذه الحالة أيضاً بالجينات المكملة تسمى بـ (Complementary Genes) مثل وراثة لون الأزهار في البزاليا الحلوة (*Lathyrusodaratus*) يحدد لون ازهار هذا النبات جينين هما (C و P) حيث يشتركان معاً في انتاج (Anthocyanin) . والنواتج الجينية لهذين الجينين مكملة لبعضها وهذا يعني أن اللون القرمزي للازهار سوف ينتج عند وجود النواتج الجينية لكل من (C و P) معاً اما اللون الأبيض فينتج عند غياب أحدهما أو كلاهما (اي عند تواجد الأليلات المتنحية لأي منهما أو كليهما) فالجينات المكملة تكون عندما يعطي كل من النمطين الوراثيين المتنحيين للموقعين الجينيين انماطاً مظهرية متشابهة فأن النسبة في (F2) تكون (7:9) .



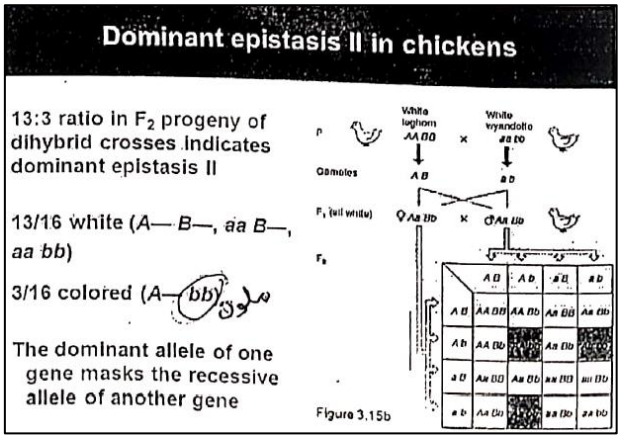
٤- **التفوق المتماثل التأثير (الجينات المضاعفة ذات التأثير التراكمي) (Duplicate gene with cumulative effect):** في هذه الحالة تتحور النسبة المندلية الكلاسيكية في الجيل الثاني (1:3:3:9) إلى حالة من حالات التفوق وبالنسبة (1:6:9) اذا كانت الحالة السائدة (النقية أو الهجينة) على اي من الموقعين R و S (وليس كليهما) تنتج نفس الأفراد أو الطراز المظهري مثال شكل ثمرة القرع الصيفي حيث يتعين شكل ثمرة القرع الصيفي بزوجين من الجينات وتحدد الشكل الكروي السائد على الشكل الطويل بواسطة أليل عائد لأي من الجينين (R أو S) وعندما تتواجد أليلات الشكل الكروي لكل من الجينين معاً نحصل على نمط مظهري جديد لشكل الثمرة وهو القرصي لذلك فأن التزاوج بين (r و s) .



٥- **<u>التفوق أو الجينات المتضاعفة السائدة (التفوق السائد المتماثل التأثير) (Duplicate genes dominance):</u>** هي وجود زوجين أو أكثر من الجينات غير الأليلية متماثلة التأثير وتسمى هذه الحالة ايضاً بالجينات المكررة (Duplicate genes) اي ان الجين (T) سائد على أليله (t) وكذلك الجين (V) سائد على أليله (v) كما ان تأثير الجين (T) يماثل تأثير الجين (V) وكذلك تأثير (t) و (v) متماثلان . مثل شكل محفظة البذور في نبات كيس الراعي فإذا لقح نبات ذو كبسولة مثلثة الشكل وبالجيل الثاني عند تزاوج نبات مثلث الشكل مع آخر مثلث الشكل (F1×F1) نحصل على (F2) وبالنسب التالية : 15 كبسولة مثلثة : 1 بيضوية تم تفسير هذه النتائج على أساس وجود زوجين من الجينات المتماثلة التأثير وان النباتات ذات الكبسولات البيضوية هي المتنحية في زوجين من الجينات .



٦- **التفوق السائد المتنحي (Dominance Recessive Epistasis):** عندما يعطي النمط الوراثي السائد في أحد الموقعين والنمط المتنحي للموقع الآخر نفس النمط المظهري فنحصل على النسبة (3:13) في الجيل الثاني بدلاً من (1:3:3:9) مثال عليه لون ريش الدجاج فإذا أُجري تلقيح أبيض مع أبيض سوف ينتج لدينا 13 أبيض الريش : 3 ملون حيث لا يتكون لون الريش في حالة الأليل السائد للجين (A) وعند وجود الأليل المتنحي في حالة متماثل الزيجة للجين (B) .



التداخلات الجينية لثلاثة أو أكثر من العوامل الوراثية (الجينات) :

ان هناك أكثر من ناتج جيني يشترك في أي مسار للتخليق الحيوي لذلك فان التداخلات بين فعل الجينات قد تكون أيضاً بين ثلاثة أو أربعة أو أكثر من الجينات ، وعلى الأغلب فأن الجينات تعتمد بدرجات متفاوتة على الجينات الآخرى لتظهر فعلها ، فإذا ما حدث تداخل الفعل الجيني بين ثلاث جينات فإن نسبة الأنماط الظاهرية في النسل الناتج من تزاوج ثلاثي الهجين (Trihybrid) سوف تتحور عن النسبة المندلية الكلاسيكية 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 .

triple-het x triple-het cross

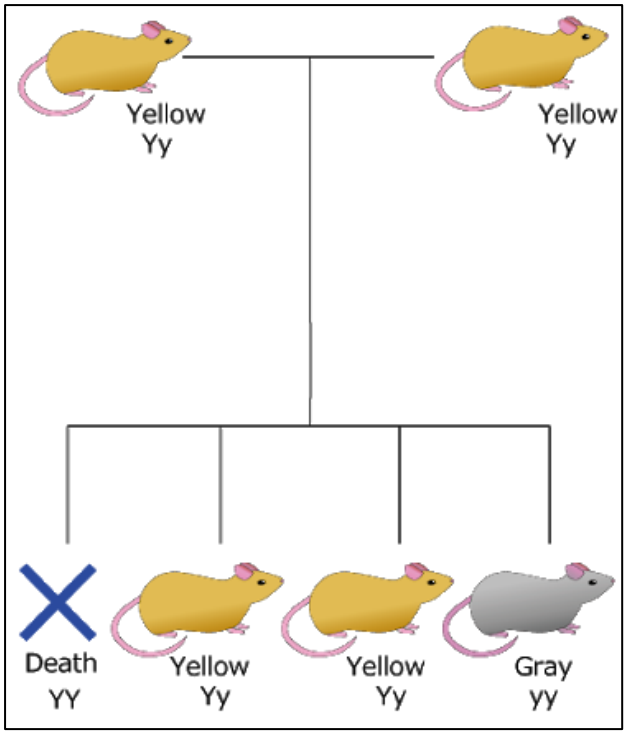
SsYyAa x SsYyAa

	SYA	SYa	SyA	Sya	sYA	sYa	syA	sya
SYA	SSYYAA	SSYYAa	SSYyAA	SSYyAa	SsYYAA	SsYYAa	SsYyAA	SsYyAa
SYa	SSYYaA	SSYYaa	SSYyaA	SSYyaa	SsYYaA	SsYYaa	SsYyAa	SsYyaa
SyA	SSyYAA	SSyYAa	SSyyAA	SSyyAa	SsyYAA	SsyYAa	SsyyAA	SsyyAa
Sya	SSyYaA	SSyYaa	SSyyaA	SSyyaa	SsyYaA	SsyYaa	SsyyaA	Ssyyaa
sYA	sSYYAA	sSYYAa	sSYyAA	sSYyAa	ssYYAA	ssYYAa	ssYyAA	ssYyAa
sYa	sSYYaA	sSYYaa	sSYyaA	sSYyaa	ssYYaA	ssYYaa	ssYyaA	ssYyaa
syA	sSyYAA	sSyYAa	sSyyAA	sSyyAa	ssyYAA	ssyYAa	ssyyAA	ssyyAa
sya	sSyYaA	sSyYaa	sSyyaA	sSyyaa	ssyYaA	ssyYaa	ssyyaA	ssyyaa

Phenotypes: Out of 64 births.		
27 -		- normal
9 -		- albinos
9 -		- anerythristic
9 -		- striped
3 -		- snow
3 -		- striped-albino
3 -		- striped-anery
1 -		- striped-snow

الجينات المميتة (Lethal genes) :

هي الجينات التي تسبب موت الفرد الحامل لها بصورة نقية (متماثلة) حيث أكدت الدراسات أن اللون الأصفر في الفئران لا يتبع النسبة المندلية فعند تضريب فأر أصفر هجين × فأر أصفر هجين فأن النسل الناتج يتكون من 2/3 فئران صفراء 1/3 اجوتية عوضاً عن النسبة المندلية 3/4 أصفر 1/4 اجوتي وعند تضريب فئران صفراء مع اجوتية لم يلاحظ وجود فئران صفراء متماثلة الزيجة في الأفراد الناتجة حيث كانت كلها متباينة الزيجة حيث ان 25% من الأجنة تكون ميتة من التزاوج أعلاه .



التأثير المتعدد للجين (Pleiotropism) أو تعدد الأثر للجين :

معناه جين يؤثر على عدة صفات منفصلة للكائن الحي مثال على ذلك الطفرة في الجين المسؤول عن تكوين الهيموغلوبين في الإنسان Hb^s الطفرة سوف تكون مسؤولة عن تغيير في شكل كريات الدم الحمراء مؤدية بذلك إلى تكسرها وتجمعها مما يؤثر على جريان الدم وبالتالي ضرر في الدماغ والرئة والقلب .

الفرق بين الصفات النوعية والصفات الكمية

ت	الصفات النوعية Qualitative character	الصفات الكمية Quantitative character
١	عبارة عن تغيرات متقطعة .	عبارة عن تغيرات مستمرة .
٢	من السهولة التمييز بين أي فرد وآخر .	لا يمكن وصفها بسهولة .
٣	يمكن توزيع الأفراد إلى مجاميع مختلفة كلاً حسب شكله الظاهري .	لا توضع الأفراد في مجاميع مختلفة حسب شكلها الظاهري بل توجد درجات مختلفة من التغيرات أي ان الاختلاف يتدرج بين أفرادها.
٤	تنتقل الصفة كلياً من الآباء إلى الأبناء (100%) .	تلعب البيئة دوراً كبيراً في ظهور الاختلاف مسبباً انخفاض درجة النفاذية لها (أقل من 100%) .
٥	مثال : الصفات المندلية ، لون ، شكل .	مثال : طول الإنسان ، إنتاج الحليب ، درجة الذكاء .

في حالة تداخل الفعل الجيني كان هناك أكثر من جين تؤثر على نفس الصفة أما في حالة الأليلات المتعددة فهي ثلاث أليلات أو أكثر يكون لها الموقع الكروموسومي في زوج الكروموسومات المتشابهة وتتحكم هذه الأليلات في صفة معينة أو يمكن تعريفها بأنها الطفرات المتعددة في جين وأحد اذا ما سبب تغيراً في النمط الظاهري البري للكائن .

الأليل : معناه صورة جديدة ومختلفة عن الجين ولبعض الجينات أكثر من أليلين ومهما يكن عدد هذه الأليلات في أي سلسلة منها فإن الفرد ثنائي المجموعة الكروموسومية (2N) لا يحمل في خلاياه الجسمية أكثر من زوج من هذه الأليلات ولا يحمل في كميتاته أكثر من وأحد فقط منها .

من معرفة عدد الأليلات يمكن تقدير عدد الأنماط الوراثية الموجودة في المجتمع (العشيرة).

No. of genotypes = L (L+1)\2

حيث (L) = عدد الأليلات المتعددة .

إذا كان هناك 4 أليلات فإن عدد الأنماط الوراثية = 2\(4+1) 4

= 10

مجاميع الدم في الإنسان (ABO) :

تم التوصل إلى ذلك من خلال فحص الدم لعوائل كثيرة وذلك بخلط قطرة أو قطرتين من دم كل فرد مع مصل (Antigen A) المستضد و (Antigen B) ، فإذا حصل التلازن أو التكتل مع المستضد (A) وأيضاً مع المستضد (B) فالمجموعة تكون (AB) أما إذا حصل التكتل مع (A) ولم يحصل مع (B) فمجموعة الدم تكون (A) ،وإذا لم يحصل مع (A) وحصل مع (anti B) فمجموعة الدم هي (B) ، وإذا لم يحصل مع المستضدين فمجموعة الدم تكون (O) وبإجراء تحليل النسب تم التوصل إلى وراثة مجاميع الدم في الإنسان فلوحظ ان الجين المسؤول عن صفة مجموعة الدم له ثلاثة أليلات وهي (I^A , I^B , i) السيادة مشتركة بين الأليلين ($I^A = I^B$) وكلاهما سائدان سيادة كاملة على الأليل ($I^A = I^B > i$) ولذلك يمكن كتابة الأنماط الوراثية لمجاميع الدم كالآتي :

الأليلات	I^AI^A أو I^AI^O	I^BI^B أو I^BI^O	I^AI^B	I^OI^O
فصيلة الدم	A	B	AB	O

وبالتالي يكون عدد الأنماط الوراثية الموجودة في المجتمع البشري لمجاميع الدم 6 وناتجة عن :

$$3\ (3+1)\backslash 2 = 6$$

هذه المعلومات عن مجاميع الدم يمكن الاستفادة منها في دراسة تكرار الأليلات في العشائر البشرية وفي المحاكم الشرعية في حالات الشك بالأبوة.

أشارت دراسات آخرى إلى وجود الأليل (I^A) بأربعة أليلات هي (I^{A1} , I^{A2} , I^{A3} , I^{A4}) ، وهذه الاليلات الأربعة تكون مجاميع دم ثانوية . فمجاميع الدم الرئيسية مهمة في عمليات نقل الدم وفي القضايا الشرعية بينما مجاميع الدم الثانوية مهمة في القضايا الشرعية.

الدراسات بينت ان الأليل (I^{A1}) سائد سيادة كاملة على الأليلات الثلاثة الآخرى (I^{A2} , I^{A3} , I^{A4}) و الأليل ($I^{A4} < I^{A3} < I^{A2} < I^{A1}$) ، الأليلات الاربعة من ($I^{A1} > I^{A4} = I^{A3}\ I^{A2} > i I^B$) ، أكثر الأليلات شيوعاً هو (I^{A2}) .

فيكون عدد الأليلات الرئيسية والثانوية هي 6 (I^{AB} , I^{AA} , I^{A4} , I^{A3} , I^{A2} , I^{A1}) ، عدد الأنماط الوراثية في المجتمع البشري : $6\ (6+1)\backslash 2 = 21$.

مجاميع الدم الريسس Rh (rhesus في الإنسان) :

عندما اكتشفت في الإنسان سميت بمجاميع ريسس نسبة إلى نوع من القرود وهو (*Maccarhesus*) الذي حقن دمه في الأرانب فكونت الأرانب أجسام مضادة أو أضداد في مصلها استخدام مصل الأرانب هذه (anti Rh) بفحص دم عينة الأشخاص ذكور وإناث فكانت النتيجة ان نسبة كبيرة من هؤلاء الأشخاص وصلت إلى 85% موجبة وأطلق على هؤلاء الأشخاص بأنهم يحملون أو ينتمون إلى (Rh^+) أما النسبة الصغيرة الباقية 15% فكانت سالبة لـ (Rh) وأطلق عليها (Rh^-) استخدم فحص الدم هذا على عوائل كثيرة أباء وأبناء وأحفاد واستخدم تحليل النسب ومنهم اتضح بأن هذه الصفة يسيطر عليها أليلان يرمز الأول بـ (R) والثاني بالحرف (r) أي الأليل (R) سائد سيادة كاملة على (r) أي ($R > r$) .

إذاً النمط الوراثي بمجموعة الدم (Rh^+) هو (RR , Rr) ، أما النمط الوراثي لـ (Rh^-) هو (rr) .

إن الشخص الذي يحمل في أحد أليلاته أو كلاهما (R) عند فحصه بمصل (anti D) سوف يحدث تجلط فيكون دمه (Rh^+) وأما الشخص الذي يحمل أليلان من نوع (r) عند فحصه بمصل (anti D) لن يتكون تجلط يكون دمه (Rh^-) ، ولا تزال الدراسات الحديثة مستمرة بتصنيف أليلات جديدة إضافة إلى الأليلات المعروفة .

الأليلات المتعددة : نشأت الأليلات المتعددة من الطفرات الجينية (Gene mutation) ، كل مجموعة من الأليلات تقع على مكان معين من الكروموسوم يدعى بـ الموقع (locus) مثلاً الـ 12 أليل للون العين المركبة في ذبابة في موقع معين على كروموسوم الجنس (X) .

الأليلات المتعددة :

١- التغاير الوراثي في العشيرة (Genetical variation) ويؤثر على التغاير الوراثي .
٢- وجود التغاير الوراثي مكن الباحثون دراسة وراثة الصفات المختلفة .
٣- وجود الأليلات المتعددة لنفس الجين مكن الباحثون لدراسة التركيب الدقيق للجين .

الأليلات المتعددة :

١- الأليلات المتعددة تؤثر على صفة وأحدة وتظهر تلك الصفة بدرجات مختلفة حسب الأليلات الداخلة في النمط الوراثي والمؤثرة على نقل الصفة (لون العين في ذبابة الفاكهة) .
٢- تترتب سلسلة الأليلات حسب السيادة ويكون كل أليل سائد على أليلات آخرى في السلسلة ويكون متنحياً بالنسبة للأليلات التي تعلوه في السلسلة .
٣- يمكن أن تحمل العشيرة أو المجتمع عدة جينات مختلفة لسلسلة وأحدة من الأليلات .
٤- يحمل كل فرد طبيعي جينين فقط من سلسلة الأليلات وقد يكون نقياً أو هجيناً .
٥- الأليل ذو الطراز البري (wild type) يكون سائداً عادة على جميع الأليلات الآخرى في السلسلة .

الأليلات المتعددة :

١- يحمل الفرد ثنائي المجموعة الكروموسومية (2N) زوج وأحد من الأليلات المتعددة في الخلايا الجسمية بينما يحمل الكميت أليل وأحد من تلك الأليلات .
٢- تكون الأليلات المتعددة وكل جين على موقع (locus) محدد من الكروموسومات المتماثلة .
٣- يوجد أنواع مختلفة من السيادة بين الأليلات المتعددة .
٤- منشأ الأليلات المتعددة من الطفرات الجينية .
٥- يرمز للأليلات المتعددة بنفس الحرف مع كتابة حرف آخر أو رقم فوق الحرف لكل أليل .
٦- زيادة عدد الاليلات يؤدي إلى زيادة في عدد الأنماط الوراثية في العشيرة وزيادة عدد الأنماط الوراثية في العشيرة يؤدي إلى زيادة في التباين الوراثي .
٧- وجود الأليلات المتعددة في ذبابة الفاكهة والأحياء المجهرية مكن المختصين في دراسة التركيب الدقيق للجين .

تعيين الجنس (Sex determination) :

يلاحظ وجود الذكور والإناث عدد متسأوي في معظم الكائنات الحية ثنائية الجنس وصفات كل من الذكر والأنثى تنتقل من جيل إلى الآخر بنفس طريقة انتقال الصفات الوراثية الآخرى .

إن وجود أفراد ذات جنسين مختلفين يؤدي إلى الإخصاب الخلطي الذي يتيح الفرصة لتباين وراثي عالي والذي عليه يكون التطور بالانتخاب الطبيعي وبقاء الأفراد الأكثر تكيفاً .

طرائق تعيين الجنس :

١- <u>تعيين الجنس بكروموسوم الجنس (Sex chromosomes) :</u>

في أكثر الكائنات الحية توجد كروموسومات بأزواج متماثلة يطلق عليها بالكروموسومات الجسمية (Autosomes) مع زوج ذات كروموسومين مختلفين في الحجم أحدهما (X chromosome) والآخر (Y chromosome) هما (Sex chromosomes) ، وفي كائنات آخرى تحمل عدد من الـ (Autosomes) مع كروموسوم (X) مفرد .

أ- **يتعين الذكر بكروموسوم (XY) ويتعين الانثى بكروموسوم (XX)** ، مثال على ذلك الإنسان وكثير من اللبائن والحشرات بضمنها ذبابة الفاكهة وهذه الطريقة أكثر شيوعاً في الكائنات الحية بصورة عامة فالذكر ينتج نوعين من الكميتات نصف الكميتات تحتوي (1\2 A+X) والنصف الآخر يحتوي (1\2 A+Y) لذا يطلق على الذكور الجنس متباين الكميت (Heterogametes) أما الإناث تنتج نوع وأحد من الكميتات (1\2 A+X) ويطلق على الإناث بالجنس متماثل الكميت (Homogametes) ، وينتج من إخصاب نوعين من الكميتات الذكرية مع نوع وأحد من الكميتات الأنثوية أبناء ذو أعداد متسأوية من الذكور والإناث في ذبابة الفاكهة .

تجمعت أدلة لتقدير نظرية التوازن الوراثية بريجز (Bridges) لتعيين الجنس حيث أن (Autosomes) تحمل جينات الذكر وكروموسوم (X) يحمل جينات الإنثى في ذبابة الفاكهة ، فإذا كانت النسبة (X\A = 1) تكون الأنثى طبيعية (Normal female) أما إذا كانت هذه النسبة (X\A = 0.5) يكون ذكر طبيعي (Normal male) وإذا كانت النسبة أكبر من وأحد تكون أنثى متطرفة (Super female) وإذا كانت هذه النسبة (X\A < 0.5) يكون أيضاً ذكر متطرف (Super male) ، **والذكر والأنثى المتطرفين كلاهما عقيم** أما إذا كانت هذه النسبة أقل من وأحد وأكبر من 0.5 ، تكون ما بين الجنسين أي تحمل صفات كل من الذكر والأنثى ويسمى بـ (Inter sex) .

تنطبق نظرية التوازن الوراثية على بعض الكائنات الحية ويستثنى منها أجناس من النبات وجنس من البرمائيات والإنسان ، لأنه وجود كروموسوم (Y) يعني الذكر والدليل على ذلك في الإنسان ان (XO) تكون أنثى عقيمة بينما التي تحمل (XXY) يكون ذكر عقيم .

Ploidy level	Number of X chromo-somes	Sets of auto-somes (A)	X/A ratio	Sex
Diploid	3	2	1.50	Superfemale
Triploid	4	3	1.33	
Haploid	1	1	1.00	Female
Diploid	2	2		
Triploid	3	3		
Tetraploid	4	4		
Triploid	2	3	0.67	Intersex
Tetraploid	3	4	0.75	
Diploid	1	2	0.50	Male
Tetraploid	2	4	0.50	
Triploid	1	3	0.33	Supermale

ب- **تعيين الإنثى بكروموسومات (XY) والذكر بكروموسومات (XX)** أمثلة على ذلك بعض الطيور كالدجاج وبعض الأسماك وبعض الحشرات ويرمز في هذه الحالة للاناث بـ (ZW) بدلاً من (XY) وللذكور بالرمز (ZZ) بدلاً من (XX) .

تتعين الأنثى بكروموسوم (XO) والذكر بكروموسومات (XX) ، الأمثلة فيها نادرة ولوحظت في نوع من الحشرات تسمى (Fumea) لذلك يرمز للإناث برمز (XO) وللذكور بالرمز (XX) ، وقد يرمز للأنثى بـ (ZO) وللذكر بـ (ZZ) .

٢- **يتعين الذكر بمجموعة وأحدة من الكروموسومات (Haploid n) وتتعين الأنثى بمجموعتين من الكروموسومات (Diploid 2n)** ، مثال حشرات غشائية الأجنحة كالنحل والنمل والزنابير والذباب المنشاري أي إن الذكر ينشأ من بعوض غير مخصبة والأنثى تنشأ من بعوضة مخصبة ، ينتج الذكور الكميتات بالانقسام الخيطي ولا ينتج الكيمتات بالانقسام الاختزالي .

٣- **تعيين الجنس لجينات مفردة** كما في الزنابير المتطفلة وجد فيها 9 أليلات جنسية هي :

S^A , S^B , S^C

فالإناث ثنائية المجموعة الكروموسومية ومتباينة الزيجة مثل (S^AS^C , S^AS^B , S^AS^F , S^LS^C , S^BS^C) واما الذكور فتكون ثنائية المجموعة الكروموسومية ومتماثلة الزيجة وتكون عقيمة (S^AS^A , S^BS^B , S^CS^C , S^DS^D) أما الذكور الخصبة تكون أحادية المجموعة الكروموسومية أي ينتج من بيوض غير مخصبة (S^B , S^A , S^C , S^F) .

٤- **تعيين الجنس بتأثير البيئة :** كما هو الحال في الدودة البحرية (*Bondliavirids*) في هذا الجنس تعتمد العوامل البيئية التي يتعرض لها الجنس في المراحل الأولية لنموه حيث الجنسان يحملان نفس النمط الوراثي فاليرقات التي تجذب نمو الإناث تُحوّل إلى ذكور أما اليرقات التي تبقى في الماء تتحول إلى إناث .

٥- تعيين الجنس في الأحياء المجهرية :

أ- في البراميسيوم يوجد يوجد ثمانية أنماط تزاوجية (mating type) فالحيوانات التي تحمل نفس النمط التزاوجي لا تقترن فيما بينها ولكن تقترن مع حيوانات من أنماط التزاوجية مختلفة أي يوجد جين ذو أليلات متعددة .

ب- الكلاميدوموناس تختلف في جين وأحد ، المختلفة فيما بينها تقترن والمشابهة لا تقترن .

ت- في فطر *(Neurospora)* (الفطريات الكيسية) يحصل تكاثر باندماج خيوط تختلف بالنمط التزاوجي فلا تندمج الهايفات الحاملة لنفس الجين .

ث- في البكتيريا يرمز لعامل الجنس بـ (F-factor) فالخلايا التي تحمل هذا العامل يطلق عليها الخلايا الذكرية وسطح الخلية مغطى بزوائد أو أهلاب كما في (*E. coli*) فيرمز للخلية الذكرية (F^+) والخلية الأنثوية بالرمز (F^-) .

الوراثة المرتبطة بالجنس (Sex-linked inheritance) :

تعني هذه الوراثة انتقال بعض الجينات متعلق بالجنس الآباء والأبناء ، فأول من اكتشف هذه الوراثة هو العالم (Morgan) عام 1910 في ذبابة الفاكهة حيث لاحظ ظهور ذبابة ذات عيون بيضاء من سلالة حمراء العيون في المختبر وهذا حدث نتيجة لطفرة جينية واستطاع العالم أن ينتج من هذه الذبابة بيضاء العيون سلالة ذات عيون بيضاء اللون فقام باجراء التهجينات التالية بين السلالتين (الحمراء والبيضاء) :

P_1	♀ Red eyes	♂ White eyes
F_1	♀ Red eyes	♂ Red eyes
F_2	1\2 ♀ Red + 1\4 ♂ Red + 1\4 ♂ White	

Reciprocal (cross)

P_1	♀ White eyes	♂ Red eyes
F_1	♀ Red eyes	♂ White eyes
F_2	♀ White eyes + ♀ Red eyes + ♂ White eyes + ♂ Red eyes	

ان النتيجة تختلف في التهجين وكذلك هذه النتيجة تختلف عن نتائج الصفات الآخرى التي درسها في ذبابة الفاكهة ، فوضع فرضية وهي تتضمن :

يقع جين لون العين على كروموسوم الجنس (X) ولا يوجد لهذا الجين أليل على الكروموسوم (Y) .

يمكن توضيح هذه الفرضية واثباتها باستخدام الرموز نرمز للصفة المتنحية البيضاء (w) وللصفة الحمراء المتغلبة (W) ، ويمثل كروموسوم (X) بخط مستقيم (|) وتمثل كروموسوم (Y) بخط نهايته معقوفة (⌡) ، إذاً الأنثى الحمراء (W||W) أما رمز الذكر الأبيض (⌡ |w) ، كروموسوم (Y) لا يحمل أليل لهذا الجين .

P_1	♀ W||W حمراء العين	♂ w| ⌠ أبيض العين
G	(W|)	(w|) (⌠)
F1	♀ W||w ، ♂w| ⌠	

إخصاب ذاتي

P_1	♀ W||w حمراء العين	♂ W| ⌠ أبيض العين
G	(W|) (|w)	(W|) (⌠)
F1	♀ W||W ، ♂W| ⌠ ، ♂ W| ⌠ ، ♂ w| ⌠	

الفرضية التي وضعها مندل صحيحة لأن نتائج التجربة مشابهة لنتائج الفرضية التي وضعها (Morgan) وبعدها لاحظ العالم وجود أكثر من 140 جين في ذبابة الفاكهة تسلك من الناحية الوراثية نفس جين لون العيون .

الارتباط بالجنس في الإنسان :

المنطقة المميزة (Differential region) في (X) تحتوي على جينات لا يوجد لها أليل متماثلة على كروموسوم (Y) في منطقة الازدواج .

(Pairing Region) : تحتوي على جينات لها أليل متماثل على كروموسوم مغاير هذه الجينات الموجودة على كروموسومي (X) و (Y) تسمى بالوراثة المرتبطة بالجنس جزئياً .

هذه الجينات الموجودة على كروموسوم (X) و (Y) تسمى بالوراثة المرتبطة بالجنس .

المنطقة المميزة في كروموسوم (Y) تحوي على جينات لا يوجد لها أليل على كروموسوم (X) .

ويطلق على الصفات التي تعينها الجينات الموجودة على المنطقة المتميزة من كروموسوم (Y) والتي لا يوجد لها أليل على الكروموسوم (X) بالوراثة الهولاندرية (Holandric inheritance) .

أ- **<u>الوراثة المرتبطة بالمنطقة المميزة من (X)(لا يوجد لها أليل على Y) :</u>** مثال على ذلك جين عمى الالوان حيث يقع على (X) ولا يوجد له أليل على (Y) فالرجل يحمل أليل وأحد لهذا الجين والموجود على كروموسوم (X) فقط حيث لا يميز بين اللونين الأحمر والأخضر : الأنثى غير المصابة (السليمة) (Cc ||C||C) (C||C) (c||C) ، الذكر المصاب (⌠ |c) ، (⌠ |C) الذكر الطبيعي ، حيث تنتقل هذه من الأم إلى أبناءها الذكور . وكذلك من الأمثلة مرض نزف الدم الوراثي (هيموفيليا) حيث (H > h) حيث (H) سائد على (h) حيث ان الذكور تموت قبل الوصول إلى سن البلوغ . (الأنثى الحاملة تنقل المرض إلى أبناءها الذكور) .

ب- **الجينات المرتبطة بالجنس جزئياً :** ان هذه الجينات موجود على (X) وعلى (Y) وسلوكها يشبه سلوك بقية الجينات الواقعة على الكروموسومات الجسمية ، منها جين انصباغ الشبكية في العين ، وجين التهاب الكلية .

ت- **الجينات المرتبطة بالمنطقة المتميزة من (Y) :** تكون واقعة على كروموسوم (Y) ولا يوجد لها أليل على كروموسوم (X) ، مثال على ذلك جين الأذن المشعرة أو نمو الحافة الخارجية من الأذن ويطلق على هذا النوع من الوراثة بالوراثة الهولاندرية (المذكارية) حيث تنتقل إلى الابن مباشرة (Holandric inheritance) .

ث- **السيادة المتأثرة بالجنس :** الجين الهجين (Aa) في أحد الجنسين يسود الأليل (A) على (a) وبالعكس في الجنس الآخر مثل صفة القرون في الأغنام ، حيث الجين (h^+) ينتج القرون أما الجين (h) عديم القرون .

♀h^+h عديمة القرون	♂h^+h ذا قرون	♀ hh عديمة القرون	♂ hh عديم القرون

وفي الإنسان صفة الصلع في الإنسان حيث أن فعل هذا الجين يتحول بفعل الهرمونات الجنسية (b^+) الطبيعي إذا كان :

♀ b^+b^+ طبيعية	♂ b^+b^+ طبيعي	♂ b^+b أصلع	♀ bb^+ صلعاء	♀ bb صلعاء	♂ bb أصلع

ان هذه الجينات موجودة في كلا الجنسين ولكن تعبيرها يعتمد على الجنس ويتحدد بالجينات الموجودة والتي تخلق في كلا الجنسين وهناك أمثلة من جينات انتاج البيض في الدجاج حيث يظهر تأثيرها في الإناث وكمية الحليب في الأبقار يظهر تأثيرها في الإناث وجينات اللحية تأثيرها في الذكور .

مسائل وراثية :

س/ في الأغنام يحكم صفة وجود القرون جين متأثر بالجنس يسود في الذكور ويتنحى في الإناث ، إذا أجري تزاوج بين سلالة (Dorset) التي تمتاز بوجود القرون في كلا من الجنسين وتركيبها (hh) وسلالة (Suffolk) عديمة القرون في كل من الجنسين تركيبها (HH) ، ما هي النسبة المظهرية المتوقعة في الجيل الأول والثاني ؟

س/ الحالتان التاليتان فيهما تنازع على الأبوة عين الأب المحتمل لكل منهما :

أ- الأم تتبع مجموعة الدم (B) والابن مجموعة الدم (AB) والآباء المحتملين تتبع مجموعتي (A) و (B) ؟
ب- الأم تتبع مجموعة الدم (B) والابن مجموعة الدم (O) والآباء المحتملين تتبع مجموعتي (A) و (AB) ؟

س/ في ثمار القرع اللون الأبيض سائد على اللون الأصفر والشكل القرصي (D) سائد على الشكل الكروي (d) ، إذا لقح نبات نقي ثماره صفراء قرصية مع نبات آخر نقي ثماره بيضاء كروية ، فما هو الشكل الخارجي والتركيب الوراثي لشكل ولون ثمار الجيل الأول والثاني والأفراد الناتجة من تلقيح الجيل الأول تلقيح رجعي مع كل الأبوين ؟

قانون مندل الأول :

١- ما الطراز المظهري والوراثي للجيل الأول الناتج من تهجين نبات بازلاء أحمر الأزهار نقي مع نبات بازلاء أبيض الأزهار ؟

*الجواب : الطراز المظهري للجيل الأول نبات أحمر الأزهار خليط والطراز الوراثي (Rr) .

٢- ما الاحتمالات الممكنة الناتجة في الجيل الثاني من اخصاب نبات بازلاء طويل الساق نقي مع آخر قصير الساق نقي مستخدماً مربع بنت ؟

*الجواب : الطراز المظهري 3 طويل و 1 قصير الطراز الوراثي (TT – Tt – Tt - tt) .

٣- في الفئران لون الشعر أسود (B) سائد على لون الشعر الأبيض (b) كيف تتأكد من ان فاراً أسود متماثل أو غير متماثل اللواقح لصفة اللون الأسود مستخدماً في اجابتك بالرموز .

*الجواب : في الاحتمال الأول الجيل الأول (100%) والاحتمال الثاني (50% : 50%)

٤- تزوج رجل بني العينين وكان أبواه أزرق العينين بإمرأة زرقاء العينين ما احتمال لون أعين أبنائهم إذا علمت أن اللون البني سائد على اللون الأزرق ؟

*الجواب : النصف أزرق والنصف الآخر بني لأن الأب بني هجين (Bb) .

قانون مندل الثاني :

X	BS	BS	BS	BS
BS	1	5	9	13
Bs	2	6	10	14
Bs	3	7	11	15
Bs	4	8	12	16

الجدول التالي يمثل وراثة زوجين من الصفات المتقابلة حيث اللون الأسود (B) سائد على اللون الأبيض (b) وصفة الشعر الأملس (S) سائدة على صفة الشعر المجعد (s) .

من الجدول ضع علامة (✓) أمام الإجابة الصحيحة فيما يلي :

١- الطراز الجيني للأفراد من نوع رقم 14 هو :
أ- Bbss ب- bbSS ج- BBss د- bbSS
٢- الطراز المظهري للأفراد من نوع 15 هو :
أ- أسود أملس الشعر ب- أسود مجعد الشعر ج- أبيض مجعد الشعر د- أبيض أملس الشعر هـ - يشبه الأفراد من نوع رقم 5
٣- اي من الأفراد التالية يحمل الصفتين المتنحيتين :
أ- رقم 1 ب- رقم 10 ج- رقم 6 د- رقم 12 هـ - رقم 16
٤- أي الأفراد التالية أبيض متشابه اللاقحة بالنسبة لصبغة الشعر الأملس ؟
أ- رقم 6 ب- رقم 11 ج- رقم 7 د- رقم 2 هـ - رقم 11
٥- الفرد من نوع رقم 3 يكون طرازه الجيني متماثلاً مع أي من الأفراد التالية ؟
أ- رقم 8 ب- رقم 5 ج- رقم 7 د- رقم 15 هـ - رقم 11
٦- إذا تم التزاوج بين أفراد من نوع 4 مع أفراد من نوع 13 فما هي نسبة الناتج الذي سيحمل صفة متنحية وأحدة على الأقل ؟
أ- 16\9 ب- 16\7 ج- 16\6 د- 16\3 هـ - 16\1
٧- ما عدد الأمشاج المختلفة وراثياً التي تنتجها الأفراد من نوع رقم 6 ؟
أ- صفر ب- اثنين ج- اربعة د- خمسة هـ - ستة
٨- اذا تزاوج أفراد من نوع 7 مع أفراد من نوع 12 ما نسبة الناتج المتوقع ان يحمل صفة الشعر المجعد ؟
أ- 100% ب- 75% ج- 50% د- 5.37% هـ - 25%
٩- اذا تزاوج أفراد من نوع رقم 7 مع أفراد من نوع رقم 12 ما نسبة الناتج المتوقع أن يكون متشابه اللاقحة بالنسبة للصفتين ؟
أ- 62.5% ب- 50% ج- 37.5% د- 52% هـ - 12.5%

التحورات في النسبة المندلية 3:1

السيادة غير التامة :

١٠-أ- اكتب النمط المظهري والوراثي والنسبة المئوية للجيل الأول في نبات حنك السبع الناتج من تهجين سلالة نقية أزهارها حمراء (WW) مع آخرى أزهارها بيضاء (ww) ؟

ب- ما النمط الوراثي والمظهري لنباتات الجيل الثاني عند تلقيح الجيل الأول ذاتياً ؟

*الجواب : (Ww1) النمط الوراثي ، النمط المظهري وردي ، النسبة المئوية 100% ، بالنمط الوراثي 1 (WW2) ، (1ww) ، (Ww) والنمط المظهري 1 ابيض ، 2 وردي ، 1 أحمر في الجيل الثاني.

١١-في الدجاج الأندلسي عند تزاوج دجاج أسود مع أسود يعطي أسود وعند تزاوج أبيض مع أبيض يعطي أبيض ، لكن عند تزاوج أسود مع أبيض يعطي رمادي مزرقق الريش في الجيل الأول مستخدماً الرموز أكتب الطراز الوراثي للجيل الأول ، ما الناتج من اخصاب أفراد الجيل الأول مع بعضها البعض ؟

*الجواب : التركيب الوراثي للجيل الأول 1\4 أبيض ، 1\2 رمادي مزرق ، 1\4 أسود .

انعدام السيادة :

١٢-في أبقار (Shorthorn) ما الناتج من تزاوج ثور أحمر الفراء نقي مع بقرة بيضاء الفراء نقية ما الطرز المظهرية والوراثية في الجيلين الأول والثاني ؟

الجينات القاتلة :

١٣-إذا حدث تزاوج بين ذكر من الفئران أصفر اللون مع انثى صفراء اللون وكلاهما هجين كان الناتج من هذا التزاوج فئران سوداء وصفراء بنسبة 2:1 علماً بأن اللون الأصفر في الفئران سائد على غيره من الألوان ، علل ذلك على أسس وراثية ؟

*الجواب : ربع الفئران صفراء ، النقية تموت لاجتماع جين اللون الأصفر وتأثيره يكون مميت.

١٤-يتحاشى مربوا ماشية الدكستر تزاوج أفراد الدكستر معاً لحملها جين مميت (D) سائد ، ماذا يحدث عند تزاوج أنثى وذكر دكستر ، مات الربع في رحم أمه مشوهاً (ويسمى بولدوج) ، وضح ذلك على أسس وراثية ؟

١٥-في نباتات الذرة الشامية يتحكم في الكلوروفيل جين مميت متنحي ماذا يحدث عند اجتماع جينا انعدام الكلوروفيل معاً ، وضح إجابتك على أسس وراثية ؟

*الجواب : ربع الناتج (gg) يموت والباقي يعيش .

وراثة فصائل الدم :

١٦-ثلاثة أطفال زمرهم الدموية كانت على النحو الآتي : (AB , O , B) وكل طفل ينتمي لعائلة مختلفة وكانت الزمر الدموية لأبوي كل عائلة هي : العائلة الأولى الأب (O) والأم (AB) – العائلة الثانية الأب (A) والأم (A) – العائلة الثالثة الأب (A) نقي والأم (B) نقية ، هل يمكنك تعيين كل طفل للعائلة التي تنتمي إليها ؟

*الجواب : الطفل (AB) للعائلة الثالثة ، والطفل (O) للعئلة الثانية ، والطفل (B) للعائلة الأولى .

١٧-تزوج رجل زمرته الدموية (AB) من إمرأة زمرتها الدموية (O) ما هو احتمال التركيب الجيني للأبناء ؟ وهل يجوز للأب أن يسعف أبناءه بكمية من الدم ؟ وضح ذلك على أسس وراثية .

١٨-أنجب زوجان أربعة أطفال كل منهم مختلف عن الآخر بزمرة الدم في كل من الزوج والزوجة ، وضح ذلك على أسس وراثية .

١٩-إمرأة زمرتها الدموية (O) وزوجها زمرته الدموية (AB) هل يمكنهما وراثياً انجاب طفل زمرته الدموية (O) ؟

*الجواب : غير ممكن .

تحديد (تعيين) الجنس :

٢٠-مستخدماً الرسم وضح كيف يتم تحديد الجنس في الإنسان ؟

*الجواب : (6 XY ذكر + 6 XY انثى) .

٢١-مستخدماً الرسم وضح كيف يتم تحديد الجنس في بق القرع ؟

*الجواب : عن طريق الذر لأنه متباين الأمشاج .

٢٢-وضح كيف يتم تحديد الجنس في النظام (ZW)،(ZZ) ؟

*الجواب : (ZZ) ذكر ، (ZW) أنثى تحديد الجنس .

٢٣-كيف تحدد الجنس في البراغيث وضح ذلك وراثياً ؟

*الجواب : (XO) ذكر ويحدد الجنس ، (XX) أنثى .

الصفات الوراثية المرتبطة بصبغي (X) :

٢٤-تزوج رجل عادي الرؤية من فتاة عادية الرؤية والدها مصاب بعمى الألوان ، ما احتمال أن ينجبا أبناء وبنات مصابين بالمرض ؟

*الجواب : الأبناء الذكور 50% منهم مصاب بالمرض و 50% سليمين والإناث كلهم سليمين ظاهرياً لكن 50% حاملات للمرض .

٢٥- تزوج رجل مصاب بعمى اللونين الأحمر والأخضرباثي حاملة للمرض ما احتمالات ظهور هذا المرض في الأبناء ؟

*الجواب : 50% ذكور مصابين و 50% سليمين ، 50% إناث مصابة و 50% إناث حاملة للمرض .

٢٦- عند دراسة سجل النسب لأحدى العائلات تبين أن أنثى رؤيتها طبيعية للألوان وكان والدها مصاب بالمرض وأمها طبيعية ، فإذا تزوج رجل رؤيته طبيعية ما التراتيب المحتملة لأبنائها وما نسبة الإصابة بين الذكور والإناث ؟

*الجواب : بما ان والدها مصاب وأمها طبيعية في حاملة للمرض (XX) ، التركيب الجيني للأبناء (XY , XY , XX , XX) .

٢٧- تزوج رجل مصاب بعمى الألوان بإمرأة سلمية ما الاحتمالات الناتج لدى الأبناء ؟

*الجواب : النسل كله سليم لكن الإناث تكون حاملة لجين المرض .

٢٨- ما الاحتمالات الناتجة من تزاوج رجل سليم بإمرأة مصابة بعمى الألوان ؟

*الجواب : الإناث عادية البصر والذكور مصابة بعمى الألوان .

ملاحظة من الصفات المحمولة على الكروموسوم (Y) نادرة ومن أمثلتها وراثة شعر الاذن وظهورها يكون محصوراً على الذكور دون الإناث .

٢٩- تزوج رجل غير مصاب بمرض نزف الدم من فتاة حاملة لمرض نزف الدم ما : الطراز الوراثي للرجل والفتاة ؟ الطراز المظهري والوراثي لكل أبنائهم ؟ ماهو احتمال انجاب ابناء ذكور مصابين بالمرض ؟

*الجواب : الطراز الوراثي للرجل (XY) والطراز الوراثي للفتاة (XX) و 50% من الذكور مصابين و 50% سليمين والإناث 50% منهن حاملات للمرض ، احتمال انجاب أبناء ذكور 50% من مجموع الذكور و 25% من مجموع الإناث والذكور .

٣٠- إذا كانت خصلة الشعر البيضاء في الإنسان صفة متنحية مرتبطة بالصبغة (X) فما احتمال توريث هذه الصفة في الأبناء الناتجين عن زوج ذي شعر عادي بإمرأة ذات خصلة شعر بيضاء ؟

*الجواب : تورث صفة خصلة الشعر البيضاء لجميع الأبناء ، ولا تظهر على الإناث لأنهن حاملات للمرض .

الصفات الوراثية المتأثرة بالجنس :

٣١-ما التركيب الوراثي لأبناء أب أصلع وأم غير صلعاء ؟

*الجواب : 50% من الذكور سليمين و 50% منهم أصلع والإناث سليمات .

٣٢-ما الناتج من تزاوج ثور ذو قرون نقي مع بقرة عديمة القرون نقية وثور ذو قرون خليط مع بقرة عديمة القرون خليط ؟

*الجواب : في الحالة الأولى 100% ذو قرون إذا كانوا ذكور ، 10% عديمة القرون إذا كانت إناثاً ، وفي الحالة الثانية 3 عديمات القرون ، 1 ذات قرون إن كانت إناثاً ، 3 ذو قرون ، 1 عديم القرون ان كانوا ذكور .

سجل النسب :

هل الصفة سائدة أم متنحية ؟

للحل نفرض ان الصفة المظللة سائد ويرمز لها بالحرف A في حالة الصفة غير المظللة وهي المتنحية ورمزها (a) ، في الجد الصفة نقية متماثلة (AA) إذاً من المتوقع أن الطراز الوراثي لجميع الأبناء (5-9) ناتج من تزاوج الأبوين (AA x aa) وهو (Aa) ، ومعنى ذلك وجود هذه الصفة في جميع النتائج وهذا لم يحدث ولذلك يستبعد هذا الفرض فإذا فرضنا أن صفة الجد (3) موجودة على صورة هجين أو خليط غير متماثل العوامل (Aa) وذلك هو أفرض الصحيح ويمكن التمثيل بهذا الجدول :

الجيل	الأفراد	الطراز الجيني (التركيب الوراثي)
I	1	aa
	2	aa
	3	Aa
	4	aa
II	1	aa
	2	aa
	3	aa
	4	aa
	5	Aa
	6	aa
	7	Aa
	8	aa
	9	Aa
III	1	Aa
	2	aa
	3	Aa

الإرتباط والخرائط الوراثية للكروموسومات :

ان علم الخلية أوضح معلومات عن عدد أزواج الكروموسومات المتماثلة في الأنواع المختلفة فمثلاً يوجد 4 أزواج كروموسومات في ذبابة الفاكهة وفي الإنسان 23 زوج من الكروموسومات وفي نبات البازلاء 7 أزواج ، وأشارت ابحاث علم الوراثة ان عدد أزواج الجينات أكثر بكثير من عدد أزواج الكروموسومات للكائن الحي ففي ذبابة الفاكهة يوجد ألف زوج من الجينات وفي الإنسان يوجد حوالي 100 ألف زوج من الجينات ، نفهم من هذا انه عدة جينات تكون في نفس الكروموسوم لضمان انتقال تلك الجينات بدقة والمحافظة عليها من خلية إلى آخرى ومن جيل إلى آخر ، الجينات الواقعة على نفس الزوج من الكروموسومات المتماثلة تشكل ما يسمى بمجموعة ارتباط (Linkage group) ولذا ان مجاميع الارتباط في كل نوع يسأوي عدد أزواج الكروموسومات لذلك النوع ، في الإنسان 23 مجموعة وهكذا بقية الأنواع .

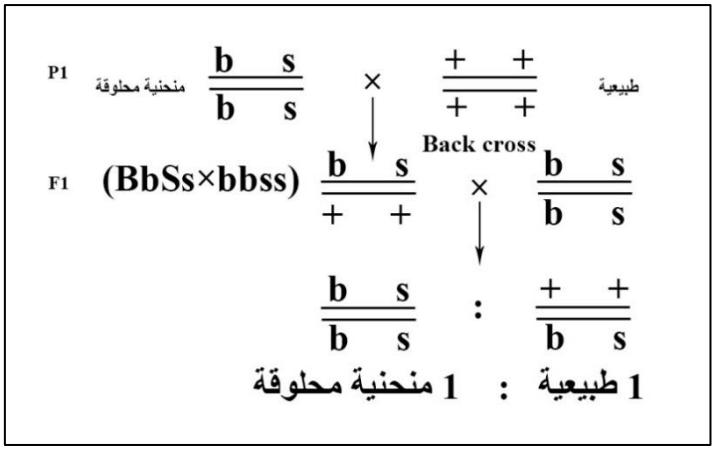
الإرتباط في ذبابة الفاكهة :

وصف العالم مورجان وجماعته الإرتباط في ذبابة الفاكهة قبل أكثر من مئة عام فوجدوا نوعين من الإرتباط :

١- **<u>الإرتباط التام (Complete linkage) :</u>** تكون الجينات متقاربة جداً وتنتقل معاً على الدوام من جيل إلى آخر .
٢- **<u>الإرتباط غير التام (Incomplete linkage) :</u>** في ذكور وإناث ذبابة الفاكهة تكون الجينات الواقعة على الكروموسوم الرابع متقاربة جداً لأن الكروموسوم الرابع صغير جداً وتنتقل هذه الجينات من الآباء إلى الأبناء بدون ظهور اتحادات جديدة ويكشف عن الإرتباط التام بين جينين بالخطوات الآتية :

أ- إجراء تضريب الهجين الثنائي لصفتين يسيطر على كل صفة جين معين والحصول على (F1) .
ب- إجراء تضريب اختباري ثنائي الهجين لأفراد (F1) من الذكور أو الإناث .
ت- بعد الحصول على جيل الاختبار يلاحظ أفراد هذا الجيل فإذا كانت جميعها تحمل التراكيب الأبوية فهذه النتيجة تدل على الارتباط التام بين الجينين أما إذا كانت أفراد جيل الاختبار تحمل تراكيب أبوية وتراكيب جديدة فهذا يدل على ان الارتباط غير تام بين الجينين .

مثال : عند تضريب ذبابة فاكهة تحمل الجينات التي تنتج أجنحة منحنية وشعيرات محلوقة الواقعة على الكروموسوم الرابع ونرمز لها $\frac{b \quad s}{b \quad s}$ مع ذبابة طبيعية سينتج (F1) ذو مظهر طبيعي ومتباين الزيجة للجينات الطافرة وعند ضرب (F1) مع سلالة منحنية ومحلوقة بحالة متماثلة الزيجة كانت الذرية ذات نمط ظاهري أما منحنية محلوقة أو طبيعية لكلا الصفتين وعملياً لم تظهر ذبابات ذات أجنحة منحنية وشعيرات طبيعية أو ذات أجنحة طبيعية وشعيرات محلوقة .



إن عدم وجود اي درجة من الإنعزال الحر بين هذين الزوجين من الجينات يكون دليلاً على الارتباط التام بينهما ويوجد هذا الارتباط عندما يكون الجينان (المنحنية والمحلوقة) يقعان على نفس الكروموسوم . ففي ذبابة الفاكهة الجينات الواقعة على الكروموسوم الرابع تكون مرتبطة ارتباط تام أما التي تقع على الكروموسوم 1 و 2 و 3 تكون مرتبطة ارتباط غير تام .

بالنسبة لكروموسوم الجنس (X) في الإناث يمكن ان تحدث عملية عبور بين الجينات (X) و (X) اما في الذكور فهي تحمل كروموسوم (X) وأحد فلا يحصل عبور بينه وبين كروموسوم (Y) فالجينات الواقعة على كروموسوم (X) في الذكور تكون مرتبطة ارتباط تام اما في الإناث فالارتباط غير تام لوجود فرصة لحصول عملية العبور .

الكشف عن الارتباط غير التام :

في اناث ذبابة الفاكهة تكون الجينات الواقعة على الكروموسومات الأول والثاني والثالث مرتبطة ارتباطاً غير تام وللكشف عن هذا الارتباط غير التام بين جينين واقعين على أحد الكروموسومات الثلاثة يتبع أحد الطريقتين :

<u>الطريقة الأولى : طريقة جيل الاختبار تتم بالخطوات التالية :</u>

١- اجراء تضريب الهجين الثنائي لصفتين يسيطر على كل صفة جين معين والحصول على (F1) .
٢- اجراء تضريب اختبار الهجين الثنائي لإناث (F1) مع ذكور تحمل الصفتين المتنحيتين.
٣- تدرس صفات أفراد جيل الاختبار ونسبها فعندما يلاحظ نسبة كبيرة من الاتحادات الأبوية ونسبة قليلة من الاتحادات الجديدة هذه النسبة تدل على وجود الارتباط غير التام بين الجينين ويمكن معرفة النسبة المئوية للتعابر بين الجينين من المعادلة التالية :

$$\text{النسبة المئوية للتعابر} = X \frac{\text{عدد الذبابات التي تحمل التراكيب الجديدة}}{\text{المجموع الكلي لذبابات جيل الاختبار}} 100$$

فمثلاً في حال كان عدد الذبابات التي تحمل التراكيب غير الأبوية (الجديدة) يسأوي 200 وكان الذبابات التي تحمل التراكيب الأبوية 800 فان النسبة المئوية للتعابر تسأوي :

20% = 100 × 200\ 200 + 800 =

أما النسبة المئوية للارتباط بين الجينين = $\frac{\text{عدد الذبابات التي تحمل التراكيب الابوية}}{\text{المجموع الكلي الذبابات}}$ 100

80% = 100 × 800/200 + 800 =

فالنسبة المئوية للتعابر + النسبة المئوية للارتباط = 100

واذا حصلنا في جيل تضريب الاختبار على عدد متسأوي من التراكيب الأبوية والتراكيب الجديدة اي إذا كانت 50% جديدة + 50% ابوية تدل النتيجة على ان الارتباط = التعابر وهذا يدل على وجود انعزال مستقل بين الجينان أي عدم وجود ارتباط أي الجينان يقعان على كروموسومات مختلفة .

<u>الطريقة الثانية : طريقة الجذر التربيعي : نتبع الخطوات التالية :</u>

١- اجراء تضريب الهجين الثنائي لصفتين يسيطر على كل صفة جين للحصول على (F1) ثم على (F2>) .
٢- دراسة تحليل الصفتين في الجيل الثاني .
٣- إذا كانت النسبة تنحرف انحرافاً معنوياً عن النسبة المندلية (1 : 3 : 3 : 9) المتوقعة من الانعزال المستقل للجينين فأن سبب ذلك يعود إلى الارتباط غير التام بسبب حصول التعابر وعندئذ يمكن حساب نسبة التعابر بطريقة الجذر التربيعي .

العشيرة وتحديد السمات الوراثية :

ان الدراسات الوراثية التي أعقبت ما توصل إليه مندل ، قد ألقت الضوء على كيفية توارث الصفات المختلفة من جيل إلى جيل . وبذلك فقد أدت هذه الدراسات إلى إمكان التكهن للتعرف مسبقاً على الصفات المتوقعة من تزاوج معلوم . ولكن تلك الدراسات كانت مقتصرة على نطاق الأفراد (Individuals) والعوائل (Families) والسؤال الذي فرض نفسه بعد معرفة تلك الحقائق كان يتعلق بكيفية حدوث عملية التوارث على نطاق العشائر (Populations) وهل ثمة تشابه بين هذا وذاك ؟ فمن المعروف مثلاً ان حياة الفرد محدودة وتركيبه الوراثي ثابت طوال حياته باعتباره يستمد جيناته من أبوين معلومين ، أما العشيرة فهي تختلف عن الفرد في كونها مستمرة الوجود وقد تكون كبيرة أو صغيرة وقد تحتل مساحة واسعة كما قد تكون محدودة الانتشار وتركيبها الوراثي معين لكنه قد يتعرض إلى تغاير فجائي أو تدريجي .

والعشيرة المندلية (Mendelian population) : هي مجموعة من الأفراد ذات علاقة قربى وراثية معينة كالأنواع (species) والمجموعات (varieties) والسلالات (strains) ، توجد ضمن حدود جغرافية معينة وتتكاثر هذه الأفراد جنسياً ويتم تزاوجها بصورة خليطة وعشوائية .

وعلى هذا الأساس فإن أكبر العشائر المندلية يتمثل بالنوع (species) على اعتبار ان أهم شرط من شروط أفراد النوع الوأحد هو إمكانية التزاوج البيني والتي لا تتوفر بصورة طبيعية في مجاميع الأحياء الأكبر من ذلك كالجنس (genus) والعائلة (family) والرتبة (order) . فالنوع البشري (Homo sapiens) يمثل عشيرة كبيرة من الأحياء يمكن تقسيمها إلى عشائر صغيرة أو سلالات وتتقسم هذه السلالات بدورها إلى تجمعات أو أقوام تختلف عن بعضها البعض في اللغة والمركز الجغرافي والبيئة والدين والاقتصاد . وقد يؤثر كل من العوامل المذكورة على التزاوج البيني . فالتزاوج البيني العشوائي بين الأفراد التي تنتمي إلى قومية وأحدة ومنطقة ولغة وأحدة ودين وأحد ومنطقة جغرافية وأحدة يكون أكثر احتمالاً من التزاوج البيني بين الأفراد التي تختلف فيما ذكرناه .

هذا ويبحث علم الوراثة – وراثة العشائر (Population genetics) في التكوين الوراثي للعشائر وكيفية انتقال جيناتها من جيل إلى آخر وهو بعد هذا وذاك يبحث في تفسير وتحليل التغيرات في التكرارات الجينية (Gene frequencies) ولهذا فإن دراسة سلوك الصفات وتوارثها في العشائر تكون أكثر صعوبة وتعقيداً من دراسة توارث نفس الصفات على مستوى الأفراد أو العوائل .

وتتجلى أهمية دراسة وراثة العشائر في محأولتها لتفهم عملية التطور ضمن العشيرة الوأحدة مستندة في ذلك على مقدار التغير الذي يطرأ على تكراراته الجينية استجابة إلى قوة الانتخاب (selection) فالطفرة تمد العشيرة بجينات جديدة وتعتبر هذه الجينات اللبنة الأولى لعملية التطور ، أما الانتخاب فهو المسؤول عن تعيين الاتجاه الذي يسلكه التطور .

وبالإضافة إلى ما ذكر فإن دراسة وتفهم وراثة العشائر تعين الباحث في وضع اصبعه على الجينات غير المرغوب بها والجينات المرغوب بها فتساعده على التخلص من الأولى وتشجيع وتثبيت الثانية مما يؤدي إلى تحسين النبات وتحسين الحيوان وحل مشاكل كثيرة تتعلق بالأمراض الوراثية والنفسية للإنسان ومحأولة التخلص من منها أو معالجتها بشكل من الأشكال وعلى هذا الأساس فان تفهم وراثة العشائر يساعدنا على تفهم واستعياب عملية التطور العضوي كما يعيننا على تطور الكائنات الحية ومن ضمنها الإنسان في سبيل الوصول إلى حياة أكثر رفاهية وأوفر صحة وأهم سعادة لبني الإنسان .

قانون هاردي فاينبرك (Hardy – Weinberg Law) :

يتعلق هذا القانون بدراسة وراثة العشائر المندلية ، وقد قدمه كل من هاردي من انكلترا وفاينبرك من المانيا سنة 1908 وسمي باسميهما . وينص هذا القانون على ان "التكرارات النسبية لأي جين يحتمل أن تظل ثابتة في العشيرة من جيل إلى آخر بشرط عدم وجود القوى التي تغير من تكرار تلك الجينات " . فإذا كان هناك عشيرة مندلية وكان تكرار الأليل (A) بنسبة (p) وتكرار الأليل (a) بنسبة (q) فإن نسب الأنماط الجينية الثلاثة (aa , Aa , AA) لهذا

الزوج من الأليلات هي $(p^2 + 2pq + q^2)$ وهي تمثل مفكوك ذات الحدين $(p + q)^2$ مع العلم ان $(p + q = 1)$.

وعلى هذا فإن (p^2) هي الجزء من الجيل التالي الذي يتوقع أن يكون متغلباً نقياً (AA) وان (2pq) هو الجزء من الجيل التالي الذي يتوقع أن يكون هجيناً (Aa) وان (q^2) هو جزء من الجيل التالي الذي يتوقع أن يكون متنحياً للجيل (aa) ، وهكذا فان القانون الذي يعبر عن توقعات الطراز الجيني للجيل الناتج من دلائل تكرارات المجموع الجيني (Genic pool) للأبوين يدعى بقانون هاردي فاينبرك وتكون نسب الطرز الجينية لهذا القانون مشابهة في الجيل التالي للنسب التي كانت موجودة في الجيل الذي يسبقه ، ويقال للعشيرة عند ذاك بأنها في حالة توازن (Equilibration) ومن الممكن توضيح ما ذكرناه في المخطط التالي :

	Female gamete **A** (p)	Female gamete **a** (q)	
Male gamete **A** (p)	**AA** (p^2)	**Aa** (pq)	Frequency of **AA** = p^2
Male gamete **a** (q)	**Aa** (pq)	**aa** (q^2)	Frequency of **Aa** = 2pq
			Frequency of **aa** = q^2

وتجدر الملاحظة إلى إن النسبة المئوية للكاميتات التي تحتوي على (A) والكاميتات التي تحتوي التي تحتوي على (a) يجب أن يكون مجموعهما 100% لكي تكون جميع الكاميتات المؤلفة للمجموع الجيني قد وضعت في الحساب . ولهذا فإن تكرار النمط الوراثي المتوقع في الجيل التالي يمكن أن يلخص كما يلي : $(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1.0$.

(AA) (Aa) (aa)

وإذا صادف وان اصبحت العشيرة غير متوازنة لسبب من الأسباب فإن جيلاً وأحداً من التزاوج البيني العشوائي يكون كافياً للوصول إلى حالة التوازن حيث يحافظ على التوازن من جيل إلى آخر . خصوصاً إذا ما توفرت شروط هاردي فاينبرك في التوازن .

شروط التوازن (Equilibrium conditions) :

١- تكون العشيرة كبيرة وغير محدودة وتتزاوج عشوائياً .
٢- أن لا يوجد فعل للإنتخاب أي إن كل طراز جيني تكون فرصة استمراره في الحياة مساوية للطرز الآخرى ، وكل طراز جيني تساوي فعاليته في انتاج الجيل التالي بقية الطرز .

٣- أن تكوت العشيرة مغلقة (closed) أي لا توجد هجرة (Migration) من وإلى العشيرة .
٤- أن لا توجد طفرة من حالة أليلية معينة إلى حالة آخرى أو إذا حدثت الطفرات فإن سرعة الطفرات المتقدمة (Forward mutation) تسأوي سرعة الطفرات الراجعة (Back mutation) أي ان تكرار طفور (A) إلى (a) يسأوي تكرار طفور (a) إلى (A) .
٥- ان يكون الانقسام الاختزالي اعتيادياً لكي يكون عامل الصدفة هو العامل الوحيد في تكوين نوعية الكاميتات .
٦- أن تتسأوى جميع الأنماط الوراثية في حيويتها وقابلتيها في التزاوج والإنجاب .

التكرار الجيني (Gene frequency) :

التكرار الجيني هو نسبة عدد المواقع التي يشغلها جين معين إلى مجموع مواقع هذا الجين في عشيرة مندلية . ولذا فان التكرار الجيني يوضح مقدار وجود جين معين في عشيرة معينة ، وتتراوح قيمة التكرار الجيني بين الوأحد صحيح والصفر .

حساب التكرارات الجينية (Calculating gene frequencies) :

مواقع الكروموسومات الجسمية ذات أليلين (Autosomal loci with two alleles):

أ- **<u>التغلب غير التام :</u>** علمنا فيما سبق أن التغلب عندما يكون غير تام فإن النمط المظهري يكون دليلاً مميزاً للنمط الجيني أو الوراثي عندما يكون نقياً أو هجيناً .

فإذا كانت لدينا عينة عدد أفرادها (N) والتي كان فيها (D) للأفراد النقية المتغلبة (AA) و (H) للأفراد الهجينة (Aa) و (R) للأفراد النقية المتنحية (aa) فعلى هذا الأساس تكون :

$$N = D + H + R$$

وبما ان جميع الأفراد (N) هي ثنائية المجموعة (Diploid) بالنسبة لهذا الجين فهذا يعني أن عدد الأليلات في هذه العشيرة يسأوي (2N) فإذا ما اعتبرنا ان (p) تمثل تكرار الجين (A) و (q) تمثل تكرار الجين (a) ، فعلى هذا الأساس تكون :

$$p = \frac{2D+H}{2N} = \frac{D+1\backslash 2\ H}{N}$$

$$q = \frac{2R+H}{2N} = \frac{R+1\backslash 2\ H}{N}$$

مثال : وجد عند فحص عدد كبير (3000) من ماشية الشورتهورن ان نسبة الألوان فيها كالآتي : 47.6% حمراء (RR) ، 43.8% ذات لون طوبي (Rr) ، 8.6% بيضاء (rr) ، فما هو التكرار الجيني لكل من الجينين (R)،(r) في هذه العشيرة ؟

الحل :

التكرار الجيني للجين (R) = $0.476 + \frac{0.438}{2}$ = 69.5%

التكرار الجيني للجين (r) = $0.086 + \frac{0.438}{2}$ = 30.5%

ب- **أليلات جسمية متغلبة ومتنحية (Dominant and recessive autosomal alleles)** :

ان النمط المظهري في مثل هذه الحالة لا يمكن أن يكون أداة للتعرف على النمط الجيني أو الوراثي إلا بعد إجراء تهجينات اختبارية مضنية . ذلك انه قد يكون النمط الوراثي (AA)،(Aa) والنمط المظهري الوحيد في هذه الحالة والذي يمكن أن يكون أساساً للتعرف على النمط الوراثي وهو النمط المعبر عن الصفة المتنحية (aa) ، فإذا كانت العشيرة في حالة توازن فعند ذاك نستطيع أن نحصل على مقدار (q) أو تكرار الجين المتنحي من (q^2) الذي يمثل النمط الوراثي أو المظهري .

مثال : إذا كان 75% من عشيرة ذات نمط مظهري متغلب (A-) فما هي التكرارات الجينية في هذه العشيرة ؟

الحل : إن الـ 75% تمثل تكرار النمط المظهري المتغلب (p^2) النقي + النمط المظهري الهجين.