تفاعل المورثات Genetic Interaction أو تداخل الفعل الجيني Gene Interaction

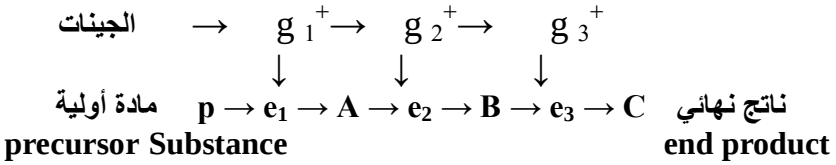
تعرفنا من خلال دراستنا للوراثة المندلية على السلوك الوراثي لزوج واحد أو زوجين من الجينات فالجين له استقلاليته في الانعزال خلال الانقسام الاختزالي وله القابلية في التعبير عن نفسه من خلال النمط الظاهري الخاص بأشكاله المتعددة (الأليلات) فقد تكون له صفة السيادة (A أو B) أو التنحي (a أو b) ومن دراستنا للسلوك الوراثي لزوجين من الجينات لاحظنا استقلالية كل جين في انعزاله عن الجين الآخر وفي إعطاء النمط الظاهري الخاص لكل منهما، ونتيجة لتضريب الهجينين (Aa Bb × Aa Bb) نحصل على النسبة الخاصة للأنماط الظاهرية الخاصة بهذا التزاوج والمتمثلة بـ 9 : 3 : 3 : 1 .

وفيما يلي سنتعرف على التداخلات التي يمكن حدوثها بين فعل زوجين من الجينات، وقبل أن نأتي على ذكر الأمثلة المختلفة وأنواع التداخلات الجينية بين زوجين من الجينات يستحسن أن نوضح باختصار كيفية حصول مثل هذه الظاهرة.

من فرضيات مندل التي بنى عليها قانون التوزيع الحر أن كل عامل وراثي ينتقل من جيل لآخر كوحدة مستقلة، في الحقيقة ليس هناك مثل هذه الاستقلالية التامة في تحديد الصفات المظهرية، أي ليس هناك جين معين يكون وحده مسؤولاً عن ظهور صفة معينة، والطراز المظهري لا يمكن تفسيره دائماً بموجب الوراثة المندلية، فالطراز المظهري للكائن الحي عبارة عن محصلة نواتج سلوك عدة جينات في ظروف بيئية معينة؛ إذاً يتولد النمط الظاهري نتيجة تعبير النواتج الجينية عن نفسها في محيط معين، ويشمل المحيط هنا كل العوامل الخارجية (خارج الخلية) مثل الحرارة والضوء والرطوبة والتغذية وغيرها من العوامل المحيطة بالكائن الحي، وهناك عوامل بيئية داخلية (داخل الخلية) مثل الوظائف الفسلجية للجسم والهرمونات والإنزيمات. إضافةً لذلك فهناك تداخلات بين فعل زوجين من الجينات أو أكثر لتخليق أو تكوين مادة نهائية معينة والجينات تحدد تركيب البروتينات ونوعيتها بموجب فعل الانزيمات (وهي بروتينات أيضاً وتقوم بوظائف التحفيز إذ تسبب انفصال الجزيئات المختلفة واتحادها) لذلك يجب أن تتوفر كافة الجينات اللازمة لإتمام سلسلة تخليق أو بناء حيوي معين.

إن مجمل التفاعلات البايوكيميائية التي تحصل في الخلية تشكل ما يسمى بالأيض الوسطي (التفاعلات الوسيطة للاستقلاب Intermediary metabolism). وتحدث هذه التفاعلات البايوكيميائية على أساس التغيير التدريجي من مادة إلى مادة أخرى أي تتم هذه التفاعلات في خطوات متتالية، وفي كل خطوة يتم تحويل مادة معينة إلى مادة أخرى وكل خطوة تتحقق من التي قبلها بواسطة أنزيم نوعي متخصص. وإن مجموع الخطوات التي تحول المادة الأولية Precursor Substance إلى ناتج نهائي End Product تشكل مسار البناء الحيوي (سلسلة تخليق حيوي Biosynthetic Pathway) وإن مثل هذا المسار يحتاج إلى النواتج الجينية الإنزيمية والتي تعود لجينات متعددة حيث إن كل ناتج أيضي (مثل A وB و C) يتكون بواسطة العامل المساعد للإنزيمات والداخلة في المسار والتي تعين بواسطة عدد من الجينات البرية المختلفة.

والمخطط التوضيحي التالي يمثل هذه السلسـلة، وهو توضيح للتفاعل بين عدة أزواج من الجينات:



من المخطط المذكور أعلاه نلاحظ أن كل مادة من المواد الوسطية A, B, C تنتج من عمل الإنزيمات e_1, e_2, e_3 وهذه الإنزيمات تتحدد بواسطة جينات طبيعية مثل g_1^+, g_2^+, g_3^+ أي مورثات برية الطراز wild type genes .

تفاعل المورثات أو تداخل الفعل الجيني: هو تفاعل أو اشتراك زوجين أو أكثر من الجينات غير الأليلية لإظهار صفة مظهرية معينة. ويستخدم المصطلح تداخل الفعل الجيني ليشير إلى عدد من العمليات الوراثية المختلفة ومنها الحالة التي تعتمد فيها جينات على بعضها لإظهار صفة معينة حيث أن أحدهما يكمل الآخر أو يستخدم في وصف عمل الجينات في تحوير شكل أو شدة صفة ما، كما يشمل أيضاً تأثير العوامل المانعة والمثبطة.

وهنالك أمثلة كثيرة على تداخل فعل زوجين من الجينات وتداخل فعل أكثر من زوجين من الجينات، كما يتضمن تأثير الجينات المميتة والتأثير المتعدد للجينات.

Remove Watermark Now

ويحدث تفاعل المورثات عندما يقرر جينان أو أكثر الإنزيمات الداخلة في مسار البناء الحيوي لمادة معينة. فمثلاً، في حالة تكوين بروتين معين يتحكم في مسار بنائه ثلاثة أزواج من الجينات، فإن وجود أحد هذه الأزواج بصورة متنحية سيؤدي إلى توقف عملية البناء. ويسمى مثل هذا الجين جينا متفوقاً epistatic gene، ويعرف بأنه: جين يمنع ظهور أثر جين آخر غير مقابل له يسمى جيناً غير متفوقاً. فإذا كانت المادة C تعتبر مادة أساسية وضرورية لإنتاج نمط ظاهري طبيعي وعادي وكانت الجينات g_1^+ وg_2^+ وg_3^+ هي جينات غير طبيعية (أي الأليلات الطافرة المتنحية) فإنها تكون غير قادرة على إنتاج الانزيمات السليمة اللازمة للتفاعل الكيماوي الصحيح بل تنتج إنزيمات ناقصة، وعليه فإن الشكل المظهري الغير طبيعي أو الغير عادي (أي النمط الظاهري الطافر) سوف ينتج من التركيب الوراثي النقي المتنحي الأصيل المتماثل الزيجة لأي موقع من المواقع الجينية الثلاثة أعلاه. فإذا كان الجين المتماثل g_3 هو الجين الطافر، فإن الناتج الجيني e_3 سوف يكون ناقصاً ولا يؤدي إلى تحول المادة B إلى المادة C أي أن عملية تحويل المادة B إلى المادة C ستتوقف لذا سوف تتراكم المادة B وتتجمع تجمعاً تراكمياً، وبكميات زائدة عن الحاجة داخل الخلية. وإذا كان الجين المتماثل الطافر هو g_2 فلا يحدث تحول المادة A إلى المادة B وتميل المادة A الى التجمع وبالتالي سوف تتراكم بكميات زائدة داخل الخلايا ولذلك يقال أن هذه المورثات الطافرة تنتج موانع أيضية metabolic blocks، فإذا كان الكائن الحامل للطفرة g_2 تركيبه الوراثي g_2g_2 فإنه يستطيع إظهار الشكل المظهري الطبيعي أي يعطي نمطاً ظاهرياً طبيعياً إذا أعطى أحد المادتين B أو C، أما الكائن الحامل للطفرة g_3 تركيبه الوراثي g_3g_3 فإنه يحتاج المادة C فقط لكي يعطي نمطاً ظاهرياً طبيعياً، وإذا كان التركيب الوراثي للفرد $g_3g_3^+$ أي تركيب هجين (خليط) فإن عملية التمثيل الكيماوي سوف تتم وفق تسلسلها الطبيعي وينتج طراز أو شكل مظهري طبيعي، ومن هذا نستطيع القول إن الجين البري (الطبيعي) g_3^+ يعتمد على الجين البري (الطبيعي) g_2^+ لكي يتمكن من إظهار تأثيره على إنتاج الشكل المظهري الطبيعي العادي، وفي حالة النمط الوراثي g_2g_2 أي جين طافر متنحي متماثل الزيجة للأليل المتنحي g_2 فإن عملية التخليق وطريق البناء الحيوي سوف تتوقف وتنتهي بعد إنتاج المادة A فقط، لذلك فليس للجين g_3 ولا الأليل g_3 أي تأثير على النمط الظاهري أعلاه، أي أن النمط أو التركيب الوراثي g_2g_2 سوف يخفي أو يحجب تعبير الشكل المظهري للأليل في الموقع g_3، الذي يمكن أن ينتج من تأثير الأليلات الموجودة في الموقع g_3 سواء كانت سائدة g_3^+ أو متنحية g_3، ويطلق على هذه الحالة من التفاعل الوراثي بالتفوق.

يسمى العامل أو الجين المثبط أو المخفي لعمل جين آخر في موقع آخر أو الجين الذي يمنع جيناً آخر في موقع آخر غير أليلي من إظهار تأثيره بالجين المتفوق Epistatic gene إذاً يمكننا القول أن المورثة أو الموقع الذي يكبت أو يحجب فعل مورثة أو موقع آخر أنه متفوق، أما الجين الآخر أو الموقع المثبَط الذي لم يستطع إظهار تأثيره فيسمى بالجين المكبوت أو المتفوق عليه Hypostatic gene .

ومن الجدير ذكره هنا أن ظاهرة السيادة والتي أشرنا إليها سابقاً تضمن كبتاً لمورثة من مورثتي الموقع الواحد على الأخرى أي تقوم مورثة بحجب تأثير المورثة القرينة ضمن الموقع الواحد بينما يتضمن التفوق كبتاً لمورثات موقع محدد على مورثات موقع آخر أو تأثير يحجب به موقع مورثي تعبير موقع مورثي آخر وبذلك فالنسبة المظهرية التقليدية في الجيل الثاني من الهجونة الثنائية (1:3:3:9) تتغير لتعطي تراكيب مظهرية جديدة تحت تأثير التفاعلات الوراثية.

تفاعل المورثات genetic interaction:

توضحت مع بداية القرن العشرين ظاهرة تفاعل المورثات؛ التي أظهرت عمل عدة مورثات لإظهار صفة من صفات الكائن الحي ولوحظ خلال التفاعل المذكور تحورات عن النسب المندلية وذلك لأن التفاعل يتم بين مورثات غير قرينة Non - allelic (A مع B) تمييزاً له عن تأثير السيادة، والتي تعتبر تفاعلاً بين مورثات قرينة Allelic (R مع r و Y مع y).

ومن نماذج تفاعل المورثات وصيغ الانفصال بالطابع الظاهري في الجيل الثاني F_2 :

1- التفاعل المتمم للمورثات: (1:3:3:9 // 4:3:9 // 1:6:9 // 7:9)

2- التفوق: أ- السائد: (1:3:12 // 3:13)

ب- المتنحي: (4:3:9).

3- الوراثة الكمية (تعدد المورثات):

أ- الأثر التراكمي للمورثات (1:4:6:4:1)

ب- الأثر غير التراكمي للمورثات (1:15)

Remove Watermark Now

1- التفاعل المتمم للمورثات أو التكامل بين أثر المورثات complementary genes:

نقول عن شفعين من المورثات انهما متكاملان عندما يكون الموقعان (الشفعان من المورثات) مسؤولين عن تكوين الصفة ما، إذ لا يستطيع أي من الموقعين إنتاج الصفة وحده على انفراد بل يحتاج إنتاج الصفة إلى تكامل فعل شفعين من المورثات (موقعين) معاً، حيث أن كلاً من الشفعي المورثات يكون مسؤولاً عن تكوين مواد تدخل في سلسلة العمليات الكيميائية – الحيوية المؤدية الى تكوين الصفة الظاهرية. ولهذا نقول أن الموقع الأول (شفع المورثات الأول) يكمل الموقع الثاني لإظهار الصفة فالموقعان متكاملان والمورثات متكاملة الأثر وتتحول النسبة (1:3:3:9) الى أحد النسب التالية (1:3:3:9) أو(7:9) أو(1:6:9). إذاً التفاعل المتمم للمورثات هو تهجين بين كائنين يعطي في الجيل الأول F_1 صفة غير موجودة عند الأبوين وفي الجيل الثاني F_2 تكون النسب { 1:3:3:9 // 4:3:9 // 1:6:9 // 7:9 }. وتجتمع دائماً في أفراد الجيل الاول F_1 و 9 أفراد من الجيل الثاني F_2 المورثتان السائدتان (مثلاً A + B) لتعطيا (صفة 1) في حين يؤدي عمل كل مورثة سائدة لوحدها (A-bb و aa-B) لإعطاء الصفات الأبوية الداخلة في التهجين (صفة 2 وصفة 3) وأما اجتماع المورثات المتنحية (aa bb) فيعطي صفة أحد الأبوين (صفة 2 أوصفة 3) أو صفة جديدة (صفة 4). وتجدر الاشارة أننا سنحصل على النتائج السابقة نفسها، عندما نهجن بين الأفراد النقية السائدة والمتنحية (أي AABB × aabb)، لكن أفراد F_1 تكون من صفتي أحد الأبوين لاجتماع المورثات السائدة في الجيل الأول AaBb والمتشابهة ظاهرياً مع الأب AABB، أي نحصل على إحدى النسب السابقة من التهجين (AAbb × aaBB) أو (AABB × aabb)، لكن يعطي النموذج الأول في F_1 صفة غير موجودة عند الأبوين، ويعطي النموذج الثاني في F_1 صفة موجودة عند أحد الأبوين، إذ يكون في كلتا الحالتين الطابع الوراثي AaBb .

أ- النسبة (1:3:3:9) تفاعل متمم للمورثات (تكامل المورثات السائدة، وتكامل المورثات المتنحية):

عبارة عن تكامل عمل المورثات ذات الاثر المختلف فعندما يكون الموقعان سائدين (A-B-) تنتج صفة مظهرية وعندما يكون الموقعان متنحيان تنتج صفة مظهرية أخرى. أما الطابعان الوراثيان (A-bb،aaB-) فيغيب بهما التكامل و ينتجان صفتين مظهريتين أخريين (صفة مظهرية لكل طابع وراثي).

وتعتبر أبسط صور التداخل لفعل الجينات تظهر عندما يؤثر زوجان من الجينات على نفس الصفة، ومن أشهر الامثلة على التفاعل بين الجينات وراثة صفة شكل العرف Comb في الدجاج، في هذه الحالة لا تتحور النسبة غير أننا نلاحظ تغيير في مظهر أفراد الجيل الأول مقارنة بمظهر شكل العرف في الآباء بمعنى آخر يؤدي التداخل بين فعل الجينات إلى ظهور أشكال مظهرية جديدة في النسل الناتج لم تكن موجودة في الآباء.

من دراسة شكل العرف الناتج من تهجين سلالات مختلفة من الدجاج في أوائل القرن العشرين اكتشفت أول حالة من حالات التفاعل بين الجينات كالآتي:

1- سلالات الوايندوت Wyandotte لها عرف يسمى بالعرف الوردي rose comb .

2- سلالات البراهما Brahma ولها عرف بازلائي Pea comb .

3- سلالات الليجهورون Leghorn ولها عرف مفرد single comb

4- سلالات أخرى ذات عرف جوزي Wallnut comb

بإجراء التلقيحات بين السلالات: وباستعمال الرموز: R للعرف الوردي؛ P للعرف البازلائي

1- عند التهجين بين دجاج

مفرد العرف × وردي العرف $\xleftarrow{F1}$ كله وردي $\xleftarrow{F2}$ 3 وردي : 1 مفرد

هذه النتيجة تدل على أن صفة شكل العرف الوردي سائدة سيادة تامة على صفة العرف المفرد، ويتحكم بها زوج واحد من الأليلات أي موقع جيني واحد، ويحدث عادة الانعزال في الجيل الثاني ليعطي 3 وردي : 1 مفرد

P_1 Single × Rose

rr × RR

F_1 وردي Rr %100

F1×F1 Rr × Rr

1rr : 2Rr :1RR

Single 1 : Rose 3

3 وردي : 1 مفرد

2- عند التهجين بين دجاج

مفرد العرف × بازلائي العرف $\xleftarrow{F1}$ كله بازلائي العرف $\xleftarrow{F2}$ 3 بازلائي : 1 مفرد

هذه النتيجة تدل على أن صفة العرف البازلائي وصفة العرف المفرد عبارة عن زوج من الصفات المتضادة وأن صفة العرف البازلائي سائدة سيادة تامة على صفة العرف المفرد وأن هناك زوج واحد من الأليلات أي موقع جيني واحد يتحكم في وراثة هاتين الصفتين، كذلك ظهرت نتيجة الجيل الثاني 3:1.

مفرد العرف بازلائي العرف

P_1: Pea comb × Single comb

PP × pp

F_1 : Pp بازلائي

$F_1 \times F_1$ Pp × Pp

1pp : 2Pp: 1PP

3 بازلائي : 1 مفرد

3- عند التهجين بين دجاج

وردي × بازلائي $\xrightarrow{F1}$ كله جوزي $\xrightarrow{F2}$ (9 جوزي : 3 وردي : 3 بازلائي: 1مفرد)

وحسب قانون مندل الثاني فان ظهور هذه النسبة يدل على وجود زوجين من العوامل الوراثية وليس زوجاً واحداً أي أن الاباء في هذا التلقيح وهم الوردي العرف والبازلائي العرف لابد أنهم يختلفون عن بعضهم بزوجين من الجينات وإن أفراد الجيل الاول F_1 ذوي العرف الجوزي لابد أن يكونوا خليطين لزوجين من العوامل الوراثية.

(Wyandottes (rose comb) × (Brahmas (pea comb)

دجاج وردي العرف ↓ دجاج بازلائي العرف

P_1 RR pp × rr PP

↓

G_1 (Rp) (rP)

↓

F_1 RrPp walnut comb %100

دجاج جوزي العرف

$P_2 = F_1 \times F_1$ Rr Pp × Rr Pp تلقيح ذاتي

↓

G_2 RP , Rp , rP , rp × RP , Rp , rP , rp

F_2 9/16 R- P- , 3/16 R- pp , 3/16 rr P- , 1/16 rr pp

Walnut comb rose comb pea comb single comb

مفرد العرف بازلائي العرف وردي العرف جوزي العرف

إن عدد أفراد F_2 يدل على أن صفة شكل العرف يتحكم فيها شفعان من المورثات غير القرينة، وتنطبق نتيجة التهجين مع التعريف العام للتفاعل المتمم للمورثات، ففي الجيل الأول كانت الصفة جديدة، وفي F_2 توزعت الأفراد على أربعة طوابع ظاهرية (9 جوزي : 3 بازلائي : 3 وردي : 1 مفرد)

لقد اظهر تلقيح الوردي مع البازلائي طراز جديد من العرف يعرف بالجوزي وهذا يتوقف على وجود تفاعل interaction للجينين السائدين PR حيث أن الجينين المسؤولين يظهران تغيراً مهماً في نفس العضو من الكائن.

إذاً إن اجتماع الجينين R , P أدى إلى ظهور صفة جديدة غير موجودة أصلاً في الآباء (العرف الجوزي) وفي حالة غيابهما ووجود أليلاتهما المتنحية فقد أدى إلى ظهور صفة أخرى أيضاً غير موجودة في الآباء (العرف المفرد) وبقيت النسبة 9 : 3 : 3 : 1 .

*إن ظهور صفة العرف المفرد يتوقف على فعل زوجين مختلفين من الجينات كل زوج منهما له علاقة بصفة شكل العرف، لذا فصفة العرف المفرد لا تظهر إلا إذا كانت الجينات المسؤولة عن صفة العرف الوردي وتلك المسؤولة عن صفة العرف البازلائي موجودة بصورة متنحية ونقية معاً.

وإذا كان هناك أليل واحد على الأقل من الجينات المسؤولة عن صفة العرف الوردي في حالة سائدة (R–) والأليلات المسؤولة عن العرف البازلائي بصورة متنحية فيكون العرف الناتج عرفا ورديا.

بينما وجود أليل واحد على الأقل من الجينات المسؤولة عن صفة العرف البازلائي في حالة سائدة (P–) مع الأليلات المسؤولة عن صفة العرف الوردي بصورة متنحية ينتج أفراد بعرف بازلائي.

Remove Watermark Now

وفي حالة وجود أليل واحد من الأليلات المسؤولة عن العرف الوردي على الأقل في حالة سائدة (R–) مع أليل واحد على الأقل من الجينات المسؤولة عن العرف البازلائي في حالة سائدة (P–) فيكون الناتج عرفاً جوزياً.

ويتضح من هذا المثال بأن هناك فروق أساسية تميز هذه الحالة عن حالة الهجونة الثنائية المندلية السابقة (ملساء صفراء × مجعدة خضراء ← ملساء صفراء ← (9 ملساء صفراء: 3 ملساء خضراء: 3 مجعدة صفراء: 1 مجعدة خضراء) بالآتي: 1- لا يشبه أفراد الجيل الأول F_1 أي من الأبوين.

2- ظهور صفة جديدة في الجيل الأول F_1 بدلاً من ظهور صفتين سائدتين في الوراثة المندلية.

3- يتحقق الانفصال بصفة واحدة في جميع أفراد نسل الجيل الثاني F_2 وليس بصفتين كما هو الحال في الوراثة المندلية. 4- الصفة تتحدد بشفعين من المورثات وفي الوراثة المندلية كل صفة تتحدد بشفع واحد (الملساء RR الصفراء YY). 5- ظهور صفة جديدة ثانية في الجيل الثاني F_2 غير موجودة في الآباء الأصلية.

ونلاحظ النسبة السابقة نفسها عند التهجين بين طيور الببغاء Molepsittacus undulates السماوية والصفراوية، إذ تكون أفراد F_1 خضراء اللون، وفي F_2 كان الانفصال بنسبة (9 أخضر: 3 سماوي: 3 أصفر: 1 أبيض).

ب- النسبة (9 : 3 : 3 : 4) تفاعل متمم للمورثات + التكامل السائد المترافق مع التفوق المتنحي :

يكمل الموقع السائد (A-) الموقع السائد (B-) و بالتالي يعطي الطابع الوراثي (A- B-) صفة مظهرية محددة ويتفوق الموقع (B) المتنحي الأصيل (bb) على الموقع (A) في كل الحالات (أي aa،A-) فيعطي بذلك طابعاً ظاهرياً ثانياً و بينما يظهر الطابع الوراثي (aaB-) طابعاً ظاهرياً ثالثاً وتصبح النسبة (4:3:9).

وبالتالي عندما تقوم الأليلات المتنحية في موقع واحد بإخفاء تعبير الأليلات على حد سواء (السائدة والمتنحية) في موقع آخر، هذا يعرف بالتفوق المتنحي.

مثال1 : وراثة لون الشعر في الارانب :

الآباء: أرانب سماوية اللون AAbb × aaBB أرانب بيضاء اللون

↓

F_1: AaBb أرانب سوداء اللون

$F_1 \times F_1$: أرانب سوداء اللون AaBb × أرانب سوداء اللون AaBb

↓

F_2: 9/16 A- B- , 3/16 A – bb , (3/16 3aaB- + 1/16 aabb)

9/16 سوداء اللون : 3/16 سماوية اللون : 4/16 بيضاء اللون

وقد تبين أن المورثة A- تركب أنزيم الـ Tyrosinase الذي ينظم تركيب الميلانين، والمورثة aa تؤدي إلى غياب الميلانين بسبب انتاجها الانزيم السابق بحالة غير فعالة، أما المورثة B- فتعطي اللون الأسود، والمورثة bb تعطي اللون السماوي، والمورثة aa متفوقة على المورثة B- والمورثة bb لذا يظهر اللون الأبيض.

مثال2: تظهر النسبة السابقة أيضاً في نبات البصل Allum cepa :

أثناء التهجين بين بصل ذي قشرة بيضاء وآخر ذي قشرة صفراء ينتج في الجيل الأول بصل أحمر القشرة ويكون الانفصال في الجيل الثاني وفق النسب التالية 16/9حمراء اللون: 16/3صفراء اللون: 16/4 بيضاء اللون

أصفر × أبيض $\xrightarrow{F1}$ كله أحمر $\xrightarrow{F2}$ (9 أحمر: 3 أصفر :4 أبيض)

ccrr × CCRR $\xrightarrow{F1}$ CcRr $\xrightarrow{F2}$ 9C- R- : 3C-rr : 1cc rr + 3cc R-

تفسير النتائج كما يلي: الجين C يسبب الصبغة، وأليله المتنحي c لا يسبب الصبغة، والجين R يحدد لون الصبغة الحمراء وأليله المتنحي r يحدد اللون الأصفر، ولذلك التراكيب الوراثية للسلالة الحمراء هي CCRR وللسلالة البيضاء هي ccrr، التركيب الوراثي للجيل الأول هو CcRr، أما أفراد الجيل الثاني فتكون:

9 حمراء – C– R، 3 صفراء C– rr، 3 أبيض cc R–، 1 أبيض ccrr

والنتيجة نحصل على ثلاثة أشكال مظهرية 9 أحمر و 3 أصفر و 4 أبيض.

ومن هنا نلاحظ أن كلاً من الجينين R,r لا يستطيعان تكوين اللون إلا في حالة وجود الجين C الخاص بتكوين الصبغة، أما في حالة وجود الجين المتنحي c فيصبح تأثير الجين المكون للون منعدماً كما في التراكيب الوراثية ccrr و ccR –

** هناك حالات معينة يمنع فيها النمط الوراثي المتنحي المتماثل الزيجة Homozygous تعبير أو نفاذ الأليلات الأخرى في الموقع الآخر، ولذلك يطلق عليه بالتفوق المتنحي، ولا تستطيع الأليلات الأخرى أن تعبر عن نفسها إلا عندما يكون الأليل الأول من النوع السائد. حيث يمنع النمط الوراثي المتنحي المتماثل الزيجة (aa) التعبير المظهري للأليلات في الموقع B . لذلك نقول أن الموقع A يظهر تفوقاً متنحياً على الموقع B . تستطيع الأليلات في الموقع B التعبير عن نفسها عندما يكون الأليل السائد حاضراً في الموقع A . لهذا السبب نجد أن كل من النمطين الوراثيين aa bb و - aa B سوف تنتج نمطاً مظهرياً متشابهاً إضافة الى الأنماط الظاهرية الخاصة لكل من A- B- و A- bb لذلك نحصل على نسبة الأنماط الظاهرية 9 : 3 : 4 بدلاً من النسبة 9 : 3 : 3 : 1 .

مثال3: لون الحبوب في الذرة الصفراء: اللون الأرجواني يتطور بوجود اثنين من الجينات السائدة (R و P)، اللون الأحمر في وجود الجين السائد R، والأبيض في حالة متنحية متماثل (pprr).

التضريب بين الأرجواني (PPRR) والأبيض (pprr) للون الحبوب لسلالات من الذرة الصفراء maize تنتج نباتات ذات اللون الأرجواني في F_1 . التضريب بين نباتات الجيل الأولF_1 تنتج ذرية ذات حبوب أرجواني وأحمر وأبيض في F_2 بنسبة 9 : 3 : 4.

Parents: Purple Grains PPRR × White Grains pprr

F_1: PpRr Purple Grains

F_2

	PR	Pr	pR	pr
PR	PPRR [P]	PPRr [P]	PpRr [P]	PpRr [P]
Pr	PPRr [P]	PPrr [W]	PpRr [P]	Pprr [W]
pR	PpRR [P]	PpRr [P]	ppRR [R]	ppRr [R]
pr	PpRr [P]	Pprr [W]	ppRr [R]	pprr [W]

P = Purple, R = Red, and W = White grains

Fig. 8.2. Recessive epistasis for grain colour in maize. The normal dihybrid segregation ratio of 9 : 3 : 3 : 1 is modified to 9 : 3 : 4 in F_2.

Ratio = 9 purple : 3 Red : 4 White

يوجد في الذرة عدد من الأصناف للبعض منها بذور غير ملونة (بيضاء) والبعض الآخر قرمزي Purple بسبب وجود صبغة الأنثوسيانين Anthocyanin ولكي يظهر اللون القرمزي يلزم وجود أليلات سائدة لعدة جينات معينة وليس لجين واحد بينما البيضاء لا تحتوي هذه الجينات ويعزى تكون لون الأنثوسيانين القرمزي إلى تداخل فعل الجينات السائدة لعدة جينات وعملها مكمل Complementary أي أن كل أليل يحكم خطوة أساسية في تكوين الصبغة وغياب أي منها يسبب اختلافاً في كل الجهاز المسؤول عن تكوين الأنثوسيانين في النبات ويشل عمله

مثال4 : وراثة لون الفئران :

1- لون الفئران mice coat color

(White) aaBB × AAbb (colored)

↓

F_1 AaBb (agouti رمادي أو ملون بالتناوب)

$F_1 \times F_1$ AaBb × AaBb

↓

F_2 9/16 A- B- , 3/16 A – bb , (3/16 aaB- + 1/16 aabb)

Agouti colored white

بما أن النمط الوراثي المتنحي المتماثل الزيجة (aa) يمنع التعبير المظهري للأليلات في الموقع B نلاحظ أن الأليل a تفوق على الأليل B وأدى إلى ظهور صفة اللون الأبيض كما هو الحال في الطراز الوراثي aabb حيث أن B لا يستطيع التعبير عن نفسه إلا بوجود A لإعطاء اللون الآجوتي . تحورت النسبة بدلاً من 9 : 3 : 3 : 1 إلى 9 : 3 : 4

2- إن الأسس البايوكيميائية لوراثة الأنماط الظاهرية للون الفئران لا زالت غير معروفة ولكن يظهر أن هناك طريقاً ما للتخليق الحيوي يؤدي إلى الألوان الملاحظة في الفئران. ويسيطر على وراثة لون الفئران زوجين من الجينات التي تنعزل عن بعضها بصورة حرة وهما (c) و(a) .

إن الفئران المتماثلة الزيجة للجين المتنحي (c) لا تستطيع صنع الصبغة في أي مكان من جسم الفأر ولذلك تملك شعراً أمهقاً (Albino) في حين أن الفئران المتماثلة الزيجة للجين (a) تنتج شعراً أسوداً، وعند تزاوج فأر أسود اللون مع فأر أمهق اللون يكون ناتج الجيل الأول عبارة عن فئران رمادية اللون والمعروفة بالآجوتية (Agouti) ويمثل التزاوج :

P_1 (مهقاء) AA cc × (سوداء) aa CC

G_1 A c ↓ a C

F_1 (فئران أجوتية) Aa Cc

$F_1 \times F_1$: AaCc × AaCc

↓

F_2: 9/16 A- C- , 3/16 A – cc , (3/16 aaC- + 1/16 aacc)

9 أجوتية 3 سوداء 4 مهقاء

تحورت النسبة بدلاً من 9 : 3 : 3 : 1 إلى 9 : 3 : 4

أن الشعرة الأجوتية تكون سوداء اللون مع حزمة صفراء قرب قمة الشعرة، وعند تزاوج فئران الجيل الأول مع بعضها فإن الأنماط الظاهرية في الجيل الثاني F_2 تكون 9 أجوتية و3 سوداء و4 مهقاء وأفضل تفسير لهذه النتائج الافتراض القائل بأن الموقع (c) يمثل الجين التركيبي للـ (Tyrosine oxidase) وهو الإنزيم الذي يعمل مبكراً في مسار البناء الحيوي للميلانين وبالنسبة للجين (a) فنفترض اشتراكه بوضع صبغة الميلانين في الشعرة، فعند تواجد الجين a لوحده فإن صبغة الميلانين سوف تنتشر في كل الشعرة، وعند تواجد الأليل البري لهذا الجين فإنه سوف ينظم انتشار الصبغة منتجاً التلوين الخاص بالشعرة الأجوتية.

في وراثة لون الجسم في الفئران، هناك سلالات أخرى بيضاء لكن اللون في الطبيعة يكون رمادي و الفئران التي يكون فيها الشعر أسود فإنها تحوي حلقة صفراء في الأعلى تضفي اللون الرمادي، وهي حالة أخرى من تداخل وتفاعل الجينات لإظهار الصفات الوراثية. تظهر مثل هذه الحالة عند دراسة اللون في القوارض كالفئران وغيرها. اللون الطبيعي لهذه الحيوانات هو اللون البري الرمادي Agouti ويلاحظ أن الفئتين الأخيرتين اتحدتا في المظهر وكونتا فئة واحدة هي الأليبنو Albino

ج- النسبة (9: 6 : 1) تفاعل متمم للمورثات أو تكامل أثر المورثات السائدة

تكامل الموقعين السائدين (A-B-) يعطي طابعاً ظاهرياً محدداً. وغياب التكامل السائد (A-bb ،aaB-) يعطي طابعاً ظاهرياً ثانياً والتنحي الأصيل على الموقعين يعطي طابعاً ظاهرياً ثالثاً.

مثال: أشكال الثمار في نبات القرع الصيفي:

يتعين شكل ثمرة القرع الصيفي بواسطة زوجين من الجينات وتتقرر صفة (الشكل الكروي) السائدة على الشكل المتطاول بواسطة أليل عائد لأي من الجينين A أو B، وعندما تتواجد أليلات الشكل الكروي لكلا الجينين معاً نحصل على نمط ظاهري جديد لشكل الثمرة وهو القرصي لذلك فإن التضريب التالي AA bb × aa BB يعطي ثماراً قرصية الشكل في الجيل الثاني : 9/16 قرصية و6/16 كروية و 1/16 متطاولة.

إذا كان الجنينين السائدين B, A ينتجان نفس النمط المظهري (كروية).

في حين تراكم تأثير كل من الجنينين السائدين يعطي نمط جيني مغاير (قرصية).

أما عندما لا يوجد أي جين سائد فنحصل على نمط مغاير (متطاولة).

نبات قرع كروي الثمار aaBB × AAbb نبات آخر من القرع كروي الثمار

↓

F_1: AaBb نبات قرع قرصي الثمار 100%

$F_1 \times F_1$ AaBb × AaBb

↓

9/16 A-B- , 6/16 (3/16 A-bb +3/16 aaB-) , 1/16 aabb

9 قرصية الثمار 6 كروية 1 متطاولة الثمار

Remove Watermark Now

د- النسبة (9 : 7) تفاعل متمم للمورثات أو تكامل أثر المورثات السائدة

وهي جينات تشترك معاً وتكمل فعل بعضها البعض لإظهار صفة معينة. فعندما يعطي كل من التركيبين الوراثيين المتنحيين aa وbb للموقعين الجينيين أنماطاً ظاهرية متشابهة فإن النسبة في F_2 تصبح 9 : 7 حيث أن الأنماط الظاهرية للأنماط الوراثية (aaB- و A- bb و aabb) يغيب التكامل السائد فيها وتعطي الطوابع الوراثية الثلاثة طابعاً ظاهرياً واحداً متشابه، وعندما يتواجد الأليلان السائدان معاً A- B- سوف يكمل أحدهما الآخر ويعطيان نمطاً مظهرياً مختلفاً، حيث يكمل الموقع الأول السائد (A-) أثر الموقع الثاني السائد (B-) ليعطي الطابع الوراثي (A-B-) طابعاً ظاهرياً ناتجاً عن تكامل أثر المورثات السائدة في الموقعين.

مثال: وراثة لون الأزهار في نبات الجلبان العطري *Lathyrus odoratus*

نبات الجلبان العطري ذي الأزهار البيضاء × نبات آخر أزهاره بيضاء أيضاً

CCpp × ccPP

↓

F_1: CcPp نبات أزهاره بنفسجية 100%

$F_1 \times F_1$ CcPp × CcPp

↓

9/16 P- C- , 7/16 (3/16 C- pp +3/16 ccP- , 1/16 ccpp)

9 نباتات أزهارها بنفسجية 7 نباتات أزهارها بيضاء

هذه الحالة هي تكامل عمل المورثات ذات الأثر المتشابه فعند تلقيح سلالتين بيضاء التويج لنباتات الجلبان العطري، السلالتان متشابهتان في مظهرهما ومختلفتان في تركيبهما الوراثي كانت أزهار الجيل الأول كلها بنفسجية وظهور اللون البنفسجي purple يتوقف على اجتماع جينين مختلفين في التركيب الوراثي للفرد وإن غياب اللون الأبيض نشأ نتيجة غياب أحدهما أو كلاهما ولكن عند اجتماعهما يظهر اللون البنفسجي حيث يكمل كل منهما عمل الاخر؛ أما في الجيل الثاني حدث انعزال بنسبة 9 بنفسجية : 7 بيضاء وتؤكد هذه النسبة :

1- وجود زوجين من الجينات تؤثر فى لون الأزهار وليس زوج واحد فظهور هذه النسبة 9 بنفسجية : 7 بيضاء تدل في حقيقتها على تحوير في النسبة المندلية 9: 3: 3: 1 حيث أن الطرز الجينية الثلاثة الأخيرة 3: 3: 1 لها نفس الطراز المظهري وهي لون الأزهار الأبيض.

2- اللون البنفسجي هو الصفة السائدة لظهورها في الجيل الثاني بنسبة 9 : و 7 فقط أبيض .

آلية عمل المورثات ذات الأثر المتشابه : يحكم الصفة زوجان من المورثات، كل زوج مسؤول عن سلسلة معينة من التفاعلات الحيوية، وعمل كل زوج يكمل عمل الزوج الاخر، وبالتالي فإن وجود الزوجين من المورثات معاً ضمن نفس التركيب الوراثي ضروري لظهور الصفة، وبالتالي يعتمد ظهور الصفة السائدة (صفة اللون البنفسجي على الأزهار) على اجتماع زوجين من الجينات بصورة سائدة (نقية أو هجينة) لأن كلا الزوجين من الجينات يشاركان في إنتاج اللون حيث يكمل كلاً من الجينان عمل الجين الآخر إذ يتحكم كل منهما في إنتاج إنزيم معين يؤثر في يؤثر في خطوة أو أكثر من خطوات تكوين صبغة اللون البنفسجي. بحيث لو تخلف أحد الجينين السائدين لا تكتمل تلك الخطوات فتظهر الأزهار بيضاء الذي يحتوي على زوج واحد بصورة سائدة والأخر متنحي .أو الزوجين متنحيين فتكون بيضاء.

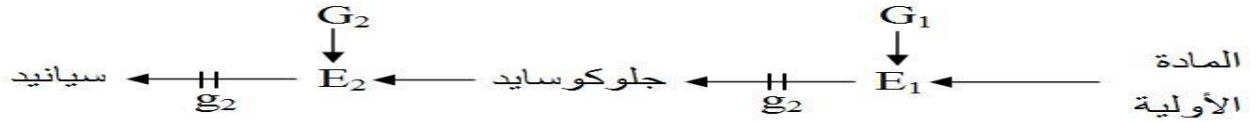
* وقد ثبت بالتجربة أن الجينين السائدين C , P يكمل كل منهما عمل الأخر حيث يشتركان معاً في إنتاج الأنثوسيانين Anthocyanin والنواتج الجينية لهذين الجينيين مكملة لبعضهما وهذا يعني إن اللون البنفسجي للأزهار سوف ينتج عند وجود النواتج الجينية لكل من C و P معاً وعند غياب أحدهما أو كلاهما (عند تواجد الأليلات المتنحية لأي منهما أو لكليهما) ينتج اللون الأبيض وقد ثبت صحة هذا التفسير، لأنه عند خلط مستخلص من أزهار كل من السلالتين الأبوية البيضاء فى أنبوبة اختبار يظهر اللون البنفسجي نتيجة لوجود كل من الإنزيمين الذي يكمل كل منهما عمل الأخر فيكتمل التفاعل ويظهر اللون .

نشاط الأنزيمات	لون الازهار	التركيب الوراثي
كلا الأنزيمان C & P يعملان	بنفسجي	9 C- P-
الأنزيم P لا يعمل	أبيض	3 C- pp
الأنزيم C لا يعمل	أبيض	3 ccP-
كلا الأنزيمان C & P لا يعملان	أبيض	1 ccpp

Remove Watermark Now

مثال2: التداخل الجيني في البرسيم الأبيض white clover :

يلاحظ التداخل الجيني في البرسيم الأبيض بصورة جلية، فبعض سلالات هذا النبات تكون ذات محتوى عالي للسيانيد وأخرى تحتوي على كميات قليلة من هذه المادة، إن النسل الناتج من تضريب سلالتين ذات محتوى قليل للسيانيد يكون ذا محتوى عالي للسيانيد في الأوراق، والنسل الناتج من التلقيح الذاتي لأفراد F_1 يعطي النسبة التالية: 9 عالية السيانيد : 7 قليلة السيانيد وينتج السيانيد من المادة الأولية الجلوكوسايد مولد السيانيد Cyanogenic glucoside وذلك بواسطة تفاعل إنزيمي وتمتلك إحدى سلالات البرسيم الأبيض هذا الإنزيم Linamarase ولكن لا تحتوي على المادة الأولية، وأما السلالة الأخرى فتنتج المادة الأولية ولكن لا تستطيع أن تحوله إلى سيانيد . ويبين المخطط التالي طريق البناء الحيوي للسيانيد :



لقد تبين من خلال التحليل الوراثي أن السيانيد يتشكل من مادة Glucoside Linamarine تحت تأثير أنزيم Linamarase . فالطابع الوراثي L-hh يركب المادة (أي أن المورثة L هي التي تشكلها)، أما الطابع الوراثي ll-H فيركب الإنزيم المذكور(أي أن المورثة H هي التي تشكله)، وبالتالي فاجتماع المورثتين L-H يؤدي إلى الحصول على نباتات غنية بالسيانيد، وبالتالي جميع الطوابع الوراثية الأخرى تكون فقيرة بالسيانيد.

صنف فقير بالسيانيد صنف فقير بالسيانيد

P: llHH × LLhh

↓

F_1: LlHh نباتات غنية بالسيانيد

F_1× F_1: LlHh × LlHh

↓

F_2: 7/16 فقيرة بالسيانيد 9/16 غنية بالسيانيد

(llhh 1/16 + ll H- 3/16 + L- hh 3/16) L- H-

مثال3: وتلاحظ نتائج الانفصال نفسها عند التهجين بين سلالتين من **دودة الحرير** شرانقها بيضاء اللون، إذ تكون شرانق الجيل الأول F_1 صفراء اللون (صفة غير موجودة عند الأبوين)، وفي الجيل الثاني F_2 نحصل على 9/16 صفراء اللون: 7/16 بيضاء اللون.

ثانياً: تفاعلات التفوق Epistasis Interactions

يتميز هذا النموذج من تفاعل المورثات بتفوق مورثة سائدة أو متنحية على مورثة أخرى غير قرينة معها، أي A- تثبط عمل B- و bb أو العكس أو أن الشفع المورثي المتنحي aa يثبط عمل المورثة B- و bb أي: (aa > B- وbb). وتدعى المورثة A- بالمورثة المتفوقة والمورثة B بالمورثة المتفوق عليها، وبالتالي فإن ظاهرة التفوق عكس ظاهرة السيادة وتختلف عن التفاعل المتمم للمورثات:

فالسيادة سيطرة مورثة على مورثة أخرى قرينة معها في الشفع الصبغي (A سائدة على a و B على b).

أما التفوق فهو سيطرة مورثات أحد الموقعين على مورثات الموقع الآخر غير القرين سواء بحالة سائدة أو متنحية (A-B- ,aaB-) أي تمنع مورثة عمل مورثة أخرى.

في حين تشترك مورثتان مع بعضهما لإعطاء صفة ما في التفاعل المتمم للمورثات.

إذا تواجدت علاقة تفوق بين موقعين وراثيين فإن عدد الطوابع الظاهرية التي تظهر في النسل الناتج من أبوين كلاهما ثنائي الهجين يكون أقل من أربعة.

أنواع التفوق Typ of Epistasis :

1- التفوق السائد Dominant Epistasis:

أ- النسبة (12 : 3 : 1): عندما تنتج المورثة السائدة أحد الموقعين (المورثة A مثلاً) طابعاً خاصاً معيناً بغض النظر عن الحالة المورثية في الموقع الآخر فإنه يقال للموقع A أنه متفوق على الموقع B. وبالإضافة إلى ذلك فإنه طالما كانت المورثة A قادرة على التعبير عن نفسها في وجود أي من (B أو b) تكون هذه الحالة تفوقاً سائداً وتستطيع مورثات الموقع المتفوق عليه (B أو b) أن تعبر عن نفسها عندما يكون الطابع الوراثي للفرد أصيلاً متنحياً في الموقع المتفوق (aa) فقط ولذلك فإن الطوابع الوراثية (A-B- ، A-bb) تنتج الطابع الظاهري نفسه بينما ينتج الطابعان الوراثيان (aabb و aaB-) طابعين ظاهريين إضافيين مختلفين وتصبح النسبة التقليدية (1:3:3:9) معدلة وتتحور إلى (1:3:12).

Remove Watermark Now

ومن الأمثلة على التداخل الجيني، تداخل أثر الجينات المسؤولة عن لون ثمار الكوسا: حيث يوجد في الكوسا ثلاثة أصناف من الثمار من حيث اللون هي ثمار بيضاء (عديمة اللون) وصفراء وخضراء وقد وجد من التلقيحات بين نباتات بيضاء الثمار وأخرى صفراء وبين بيضاء وأخرى خضراء أن صفة الثمار البيضاء دائماً هي الصفة السائدة. وكذلك وجد من التلقيحات بين نباتات صفراء الثمار وأخرى خضراء أن صفة الثمار الصفراء هي الصفة السائدة، فنجد من ذلك أن الثمار الصفراء متنحية أمام البيضاء وسائدة على اللون الأخضر. وقد دلت التحليلات الوراثية على وجود جين سائد W متفوق على اللونين الأصفر والأخضر، وطالما أن هذا الجين موجود في التركيب الوراثي للفرد فإنه يمنع تكوين أي لون في الثمرة، وذلك لأن الاليل W يتفوق على Y حيث أن الأليل Y مسؤول عن اللون الأصفر أي أن الأليل W قد حجب تأثير Y ومنع ظهور اللون، أما إذا كان متنحياً أي (ww) يظهر اللون الأصفر في وجود الجين السائد Y ، ويظهر اللون الأخضر في وجود أليله المتنحي y في حالة متماثلة، وتبعاً لذلك يكون التركيب الجيني للثمار الصفراء هو (wwY-) وللثمار الخضراء هو (ww yy) . بينما التركيب الجيني للثمار البيضاء هو إما (W-Y-) أو (W-yy).

P_1 : كوسا أبيض الثمار WW YY × ww yy كوسا أخضر الثمار

F_1 Ww Yy (100% كوسا أبيض الثمار هجينة)

$P_2 = F_1 \times F_1$ تلقيح ذاتي Ww Yy × Ww Yy

↓

♀ \ ♂	W Y	W y	w Y	w y
WY	WW YY أبيض	WW Yy أبيض	Ww YY أبيض	Ww Yy أبيض
Wy	WwYy أبيض	WWyy أبيض	WwYy أبيض	Ww yy أبيض
wY	WwYY أبيض	Ww Yy أبيض	ww YY أصفر	ww Yy أصفر
wy	Ww Yy أبيض	Ww YY أبيض	ww Yy أصفر	ww yy أخضر

F_2 (9/16 W-Y- + 3/16 W-yy) , 3/16 wwY- , 1/16 wwyy

12white 3 yellow 1 green

نسبة الطرز الشكلية للأفراد الناتجة في الجيل الثاني: 12 نبات أبيض الثمار : 3 نباتات صفراء الثمار : 1 نبات أخضر الثمار. تحورت النسبة بدلاً من 1 : 3 : 3 : 9 إلى 1 : 3 : 12

ب- النسبة (13: 3) التفوق السائد المتنحي (تداخل الفعل السائد والمتنحي)

Dominant And Recessive Interaction

في هذا النوع من التفوق، الأليل السائد على موقع واحد يمكن أن يخفي تعبير كلاً من الأليليين (السائد والمتنحي) على الموقع الثاني. وهذا يعرف أيضاً بالتداخل الجيني المثبط (المورثات المانعة).

وبالتالي في هذا النوع من التفوق، عندما يعطي النمط الوراثي السائد في أحد الموقعين مثل A- والنمط الوراثي المتنحي للموقع الآخر bb نفس النمط الظاهري، فإننا نحصل على النسبة 13 : 3 بدلاً من النسبة الكلاسيكية 9 : 3 : 3 : 1. وهكذا نلاحظ إن الأنماط الوراثية الثلاثة A- B- و A- bb و aa bb تنتج نمطاً ظاهرياً واحداً.

مثال1 : لون الريش في بعض سلالات الدجاج chickens color

في الدجاج لا يتكون اللون في الريش في حالة الأليل السائد للجين A أو عند وجود الأليل المتنحي في حالة متماثل الزيجة للجين B لذلك فإن التضريب التالي Aa Bb × Aa Bb سوف يعطي في النسل الناتج 3 دجاج ملون (aa B-) والدجاج غير الملون سوف يحتوي على A ونسبته 12 أو bb ونسبته 1 .

دجاج الليكهورن أبيض اللون دجاج البليموث روك أبيض اللون

WWCC × wwcc

100% دجاج أبيض اللون WwCc → F_1

$F_1 \times F_1$ WwCc × WwCc

↓

F_2 (9/16 W-C- : 3/16 W-cc :1/16 wwcc) : 3/16 wwC-

9White 3White 1White 3colored

13/16 أبيض اللون 3/16 ملونة

تدل هذه النتيجة على أن دجاج الليكهورن وعلى الرغم من امتلاكه مورثة التلون؛ فإنه يكون أبيض اللون لوجود المورثة المتفوقة W- والتي تمنع التلون، فإذا اعتبرنا المورثة C- مسببة للتلون و cc تعطي عدم التلون والمورثة المتفوقة المانعة للتلون بـ W- و ww لا تأثير لها، نصل إلى النتائج الموجودة في مخطط التهجين.

إذاً W يمنع C المسؤول عن اللون في الدجاج ولا يتكون اللون في الريش في حالة الأليل السائد للجين W أو عند وجود الأليل المتنحي في حالة متماثل الزيجة للجين C (يسمى هذا النوع بالجينات المانعة inhibitory genes) وهي جينات تؤثر في عمل جينات أخرى فتمنعها من إظهار صفات معينة مما يؤدي إلى حصول تغيير في النسبة المظهرية المتوقعة

مثال2: صبغة الأنثوسيانين anthocyanin pigmentation في الأرز.

اللون الأخضر للنباتات محكوم بواسطة الجين I الذي هو سائد على اللون الأرجواني. اللون الأرجواني مسيطر عليه من قبل الجين السائد P. يتم التحكم في اللون الأرجواني من الجين السائد P. عندما يتم التضريب بين نبات ذات لون أخضر (IIpp) وآخر أرجواني (iiPP) ، كان F_1 أخضر. ويمكن تفسير ذلك على النحو التالي.

Parents: Green Plant IIpp × Purple Plant iiPP

F_1: IiPp — Green Plant

F_2	IP	Ip	iP	ip
IP	IIPP [G]	IIPp [G]	IiPP [G]	IiPp [G]
Ip	IIPp [G]	IIpp [G]	IiPp [G]	Iipp [G]
iP	IiPP [G]	IiPp [G]	iiPP [P]	iiPp [P]
ip	IiPp [G]	Iipp [G]	iiPp [P]	iipp [G]

G = Green Plant, P = Purple Plant

Fig. 8.4. Inhibitory epistasis for anthocyanin pigmentation in rice. The normal dihybrid ratio is modified to 13 : 3 ratio in F_2 generation.

Ratio = 13 Green : 3 Purple

2- التفوق المتنحي Recessive Epistasis النسبة (9 : 3 : 4)

في حالات معينة يمنع النمط الوراثي المتنحي المتماثل الزيجة (aa) التعبير المظهري للأليلات في الموقع B . لذلك نقول ان الموقع A يظهر تفوقاً متنحياً على الموقع B . تستطيع الأليلات في الموقع B التعبير عن نفسها عندما يكون الأليل السائد حاضراً في الموقع A . لهذا السبب نجد إن كل من النمطين الوراثيين aa bb و aa B- سوف تنتج نمطاً مظهرياً متشابهاً إضافة الى الأنماط الظاهرية الخاصة لكل من A- B- و A- bb لذلك نحصل على نسبة الأنماط الظاهرية 9 : 3 : 4 بدلاً من النسبة 9 : 3 : 3 : 1 مثل وراثة لون الفئران، ألوان الشعر في الأرانب، نبات البصل. (تم ذكرها سابقاً ضمن المحاضرة).

يتميز التفوق المتنحي: بتفوق مورثة متنحية على أخرى سائدة أو متنحية غير قرينة معها aa > B- و bb

ويمكن توضيح هذا التفوق بالرجوع إلى وراثة ألوان الشعر في الأرانب (النسبة 9 : 3 : 4)، فالأرانب البيضاء الأربعة تتوزع إلى ثلاثة أرانب لها الطابع الوراثي aaB-، والتي تبدو بيضاء اللون على الرغم من أنها تحمل مورثة اللون الأسود B-، إذ أن aa تثبط تشكل الصباغ الأسود، وأرنب واحد ذو طابع وراثي aabb يكون أبيض اللون لأن aa تمنع تشكل الصباغ السماوي المسؤول عنه المورثة bb، وبالتالي فإن المورثة المتنحية aa متفوقة على المورثة B- والمورثة bb وتظهر ظاهرة التفوق المتنحي لذا يظهر اللون الأبيض.

Remove Watermark Now

ثالثاً: توريث الصفات الكمية (وراثة الجينات المتعددة Polygenic Inheritance)

أ- الأثر التراكمي (التجميعي) للمورثات (1:4:6:4:1)

كانت الصفات المندلية الكلاسيكية صفات نوعية Qualitative traits سهلة التصنيف إلى مجاميع متميزة من الأنماط الظاهرية ونتجت هذه الصفات من تأثير جين أو جينين بالإضافة الى الصفات النوعية يوجد الكثير من الصفات المهمة في النباتات والحيوانات والإنسان لا يمكن تصنيفها الى مجاميع متميزة. ولكن يمكن قياسها والتعبير عنها بوحدات قياس المسافة أو الوزن أو الحجم وبذا تشكل اختلافات مستمرة. وتكون هذه الصفات كمية Quantitative traits في طبيعتها وتنتج من فعل وتفاعل عدة جينات تتراوح من 10 – 100 جين أو أكثر من ذلك، وكذلك تتأثر هذه الصفات بعوامل البيئة المختلفة. ومن الأمثلة على الصفات الكمية هي الصفات المهمة زراعياً واقتصادياً في الكثير من النباتات والحيوانات: كإنتاج الحبوب وارتفاع النبات إنتاج الحليب والبيض. ولذا فإن معظم التجارب في المحطات الزراعية التجريبية في سورية وفي بقية أنحاء العالم تدور حول دراسة هذه الصفات وتحسينها. ومن الصفات الكمية في الإنسان هي القامة أو صفة الطول ودرجة الذكاء، وزن الجسم ولون القزحية ولون بشرة الجلد: - إن تدرج لون بشرة الإنسان يخضع لتأثير ثلاث أزواج من الجينات على الأقل فالشخص الأسود يكون تركيبه الجيني AA BB CC أما الشخص الأبيض، فيكون تركيبه الجيني aa bb cc، أما الشخص الذي يكون تركيبه الجيني Aa Bb Cc فتكون درجة اللون وسطاً بين الأسود والأبيض، وكلما زاد عدد الجينات ذات الحرف الكبير، زادت درجة قتامة اللون، أي زادت نسبة الميلانين وهذا ما يسمى الوراثة الكمية Quantitive genetic. فالصفات الكمية تخضع لوراثة تعدد الجينات، ويلاحظ عند دراسة هذه الصفات أنها متصلة ويتحكم في إظهار هذه الصفات عدد أكبر من المورثات إذ يسمى أثرها الأثر التراكمي أو التجميعي للمورثات، إذ تعطي كل مورثة سائدة التأثير نفسه الذي تعطيه المورثات السائدة الأخرى، فلا توجد سيادة فيما بينها، ويرمز للمورثات المسؤولة عن الصفات الكمية بحروف مرقمة A_1, A_2, A_3 أو R_1, R_2, R_3 ... الخ. وبالتالي تتناسب درجة ظهور الصفة طرداً مع زيادة عدد أشفاع المورثات السائدة، وعلى العكس فإن تجمع القرائن المتنحية يؤدي إلى إضعاف ظهور الصفة.

ومن أمثلة تعدد الجينات في النبات وراثة لون حبة القمح:

عند التهجين بين صنف من القمح ذي حبوب حمراء داكنة وآخر ذي حبوب بيضاء اللون. كانت حبوب الجيل الأول حمراء متوسطة اللون، أي كانت ذات لون متوسط بين الأبوين، حيث كانت أفتح من البذور الحمراء للصنف الأبوي الأول ولكن أغمق من البذور البيضاء للصنف الأبوي الثاني. وعند ترتيب حبوب الجيل الثاني حسب كثافة اللون، لوحظ تدرج مستمر من الأحمر الداكن إلى الأبيض. وكانت النسب لحبوب F_2 كمايلي:

حبوب قمح ذات لون أحمر داكن × حبوب قمح بيضاء اللون

$R_1R_1\ R_2R_2$ $r_1r_1\ r_2r_2$

↓

F_1 : $R_1r_1\ R_2r_2$ حبوب قمح حمراء متوسطة اللون

$F_1 \times F_1$: $R_1r_1\ R_2r_2$ × $R_1r_1\ R_2r_2$

↓

F_2

16\1 حبوب حمراء داكنة مثل الأب الأحمر البذور $R_1R_1\ R_2R_2$. (أربع مورثات سائدة).

16\14 حبوب حمراء متوسطة اللون أي تتراوح بين لوني الأبوين كمايلي:

4\ 16 حبوب حمراء درجة ثانية أي ذات لون أعمق من لون بذور الجيل الأول

(ثلاث مورثات سائدة). $(R_1r_1\ R_2R_2\ 16\ 2 + R_1R_1\ R_2r_2\ 16\ 2)$

16\6 حبوب حمراء درجة ثالثة أي ذات لون متوسط مثل لون بذور الجيل الأول

(مورثتان سائدتان). $(R_1r_1\ R_2r_2\ 16\ 4 + r_1r_1\ R_2R_2\ 16\ 1 + R_1R_1\ r_2r_2\ 16\ 1)$

16\4 حبوب حمراء درجة رابعة أي ذات لون أفتح من لون بذور الجيل الأول.

(مورثة سائدة واحدة). $(r_1r_1\ R_2r_2\ 16\ 2 + R_1r_1\ r_2r_2\ 16\ 2)$

16\1 حبوب بيضاء اللون $r_1r_1\ r_2r_2$ (جميع المورثات متنحية).

وبالتالي نلاحظ في الجيل الثاني انفصال بنسبة (15 ملون: 1 أبيض)، وتوزعت النباتات إلى خمسة طوابع ظاهرية بنسبة (1: 4: 6: 4: 1) وتسعة طوابع وراثية.

Remove Watermark Now

إن الانعزال بنسبة (1:15) يدل على أن هناك زوجين من الجينات يتحكمان في صفة لون الحبة في القمح كذلك أجرى Nilsson - Ehle تضريبات أخرى بين صنفين آخرين من القمح: الأول ذو حبوب حمراء والثاني ذو حبوب بيضاء. كانت بذور الجيل الأول ذات لون متوسط. ولكن حبوب الجيل الثاني تدرجت من اللون الأحمر الداكن إلى الأبيض؛ وكانت نسبها (حوالي 1\64 ذات بذور حمراء وحوالي 1\64 ذات بذور بيضاء، وحوالي 62\64 ذات بذور متدرجة في اللون بين لوني الأبوين)، وعندما صنفت هذه البذور بصورة أدق شوهدت النسب (حوالي 6\64 ذات لون أحمر أفتح قليلاً من الأب الأحمر البذور، وحوالي 15\64 ذات لون أفتح من لون بذور الجيل الأول، وحوالي 20\64 ذات لون متوسط مثل لون بذور الجيل الأول وحوالي 15\64 ذات لون أفتح من لون بذور الجيل الأول وحوالي 6\64 ذات لون أغمق قليلاً من بذور الأب الأبيض).

وبالتالي نلاحظ في الجيل الثاني انفصال بنسبة (63 \ 64 أحمر اللون: 1\64 أبيض)، وتوزعت النباتات إلى سبعة طوابع ظاهرية بنسبة (1: 6: 15: 20: 15: 6: 1) و 27 طابع وراثي. وبالتالي نتائج هذا التضريب تشابه نتائج التضريب المندلي الثلاثي الهجين من حيث الأساس.

إن الانعزال بنسبة (1:63) يدل على وجود ثلاثة أشفاع من المورثات السائدة للأب الأول $R_1R_1R_2R_2R_3R_3$، وثلاثة أشفاع من المورثات المتنحية للأب الثاني $r_1r_1r_2r_2\ r_3r_3$.

ب- الأثر غير التراكمي (غير التجميعي) للمورثات... النسبة (1:15) : تسمى أيضاً التفوق السائد المتماثل التأثير أو المورثات المتضاعفة السائدة أو المورثات المتكررة السائدة أو تماثل أثر المورثات:

توجد بعض الصفات الوصفية التي تتوارث عن طريق تعدد المورثات غير التجميعي؛ إذ تبين أن مورثة واحدة سائدة كافية لإعطاء الصفة نفسها التي يسببها تجمع عدة مورثات سائدة، في حين أن وجود زوجين من المورثات معاً بحالة متنحية يمنع تكوين الصفة.

في هذه الحالة تتحور النسبة 9: 3: 3: 1 إلى 15: 1. وهنا تنتج الأليلات السائدة لكل من الموقعين الجينين A وB نفس الطابع الظاهري Phenotype ودون أن تظهر تأثيراً تراكمياً. حيث ينتج الموقع الاول (A-) طابعاً ظاهرياً والموقع الثاني (B-) ينتج الطابع الظاهري نفسه وكذلك الطابع الوراثي (A-B-) ينتج الطابع الظاهري نفسه كما في الحالتين السابقتين أما الطابع الوراثي (aabb) ينتج طابعاً ظاهرياً ثانياً.

مثال1: صفة شكل محفظة البذرة في ثمرة نبات كيس الراعي Capsula Bursa pastoris

يوجد في النبات البري جينان يقرران شكل محفظة البذرة (القرون أو الكبسولة) حيث توجد سلالتان تختلفان في نوع الكبسولة فهناك سلالة ذات كبسولة مثلثية الشكل والأخرى بيضاوية الشكل. والأليلات المسببة للشكل المثلثي Triangular تكون سائدة على الأليلات التي تقرر النمط الظاهري البيضاوي Ovoid،

عند اجراء تهجين بين سلالة مثلثية الشكل $T_1T_1T_2T_2$ وأخرى بيضاوية الشكل $t_1t_1t_2t_2$. ظهرت أفراد الجيل الأول كلها مثلثية الكبسولة $T_1t_1T_2t_2$؛ أما نسب الأنماط الظاهرية لـ (F_2) الناتجة من تضريب ثنائي الهجين للمثلثي ($T_1t_1T_2t_2 \times T_1t_1T_2t_2$) توزعت النباتات على طابعين ظاهريين بنسبة 15 مثلثية و 1 بيضاوية مما يدل على وجود زوجين من العوامل يتحكم في توارث هذه الصفة.

مثال2: وراثة وجود الأرياش على الأرجل في الدجاج

عارية الأرجل من الأرياش aabb × AABB مغطاة الأرجل بالأرياش

↓

F_1: Aa Bb مغطاة الأرجل بالأرياش

F_1 x F_1: AaBb × AaBb

F_1: 1aabb : (3 aaB- : 3A-B- : 9A- bb)

1عارية 15مغطاة

يسبب أو ينتج وجود أحد الجينين السائدين أو كلاهما بحالة خليطة أو أصلية نفس الطراز المظهري بدون تأثير تجميعي (الأثر غير تراكمي).

التأثيرات المتعددة للمورثة الواحدة Pleiotropism:

قدرة المورثة على التعبير عن ذاتها مظهرياً بأكثر من صفة (على الرغم من أن زوجاً واحداً من المورثات يحكمها)، أي تتحكم المورثة الواحدة بعدة صفات في آن واحد، حيث نلاحظ صفة واحدة تكون الأكثر وضوحاً وتسمى الصفة الرئيسة وعدة صفات هي الأقل وضوحاً تسمى الصفات الثانوية. وتتضح ظاهرة التأثيرات المتعددة للمورثة الواحدة في الكثير من الأمثلة في الإنسان والحيوان والنبات، ومن أمثلة الظاهرة المذكورة:

Remove Watermark Now

مرض فقر الدم المنجلي، مرض التالاسيميا، مرض الرقاص العصبي، نقص الأصبغة والانخفاض الشديد لمعامل الذكاء في الأفراد المصابين بحمض الفينيلكيتونيوريا.

مرض فقر الدم المنجلي في الإنسان Sickle cell anemia:

يسببه الطابع الوراثي Hb^S Hb^S، يعرف الهيموغلوبين الطبيعي في الإنسان البالغ باسم هيموغلوبين A أو Hb^A ومع ذلك فقد أمكن اكتشاف ما يربو على 200 نمط من الهيموغلوبينات الشاذة في البشر، أكثر هذه الهيموغلوبينات انتشاراً هو الهيموغلوبين S أو Hb^S ويعاني الأفراد الذين ينتجون Hb^S من مرض فقر الدم المنجلي، الذي ينتشر في المناطق الموبوءة بالملاريا في إفريقيا وكذلك بين الزنوج الأمريكيين المنحدرين عن سكان هذه المناطق، ويعد الطابع الظاهري (الهيموغلوبين المنجلي Hb^S) التأثير الرئيس للمورثة الطافرة، ولها تأثيرات ثانوية، إذ ينشأ المرض عن حدوث خلل وراثي في الجين المسئول عن بناء الهيموغلوبين في كريات الدم الحمراء ينتج عنه تغير في تركيب الهيموغلوبين فيسبب تشوه بشكل الكريات الحمراء، أي انطواء الكريات الحمراء وتقوسها على شكل هلال أو منجل، مما يؤدي إلى انخفاض كمية الأوكسجين التي تحملها هذه الكريات الحمراء، وتتحطم بسرعة في الجسم (عمرها أقل من 120 يوم) الأمر الذي يؤدي إلى فقر دم حاد وشديد. ولا يسبب ذلك ضعفاً جسمياً فقط وإنما يؤدي إلى فشل قلبي، وإلى ميل هذه الكريات إلى التكتل والتجمع وسد الشرايين الدموية لأعضاء مهمة كالدماغ والقلب والكلى والطحال وبالتالي تموت الأفراد متماثلة اللواقح بالنسبة للقرين المتنحي Hb^S Hb^S، قبل البلوغ عادة فهي عرضة لانتخاب بيئي وحذف محتمل وتموت قبل الزواج أو بالموت المورثي أي الإخفاق في التكاثر، وعند الظروف العادية فإن الفرد الخليط (Hb^A Hb^S) لا تظهر عليه أي أعراض من تلك المذكورة سابقاً ولا يفرق عن الفرد الأصيل (Hb^A Hb^A) .

تستطيع المورثة المتنحية Hb^S الموجودة في الأفراد الخليطة ذات الطابع الوراثي Hb^A Hb^S أن تنقذ حامليها من الملاريا في افريقيا وقد تؤدي إلى الموت في سكان المرتفعات الشاهقة وعند ركوب الطائرات.

بكلمات أخرى: قد يموت الأفراد الحاملون للطابع الوراثي Hb^A Hb^A من جراء الإصابة بالملاريا، في حين يبدي الأفراد في حالة تخالفية اللواقح Hb^A Hb^S صفة الخلايا المنجلية ويكون نحو 40% من الهيموغلوبين فقط غير طبيعي، ويسبب ذلك فقر دم خفيف فقط، وفي المناطق التي ينتشر فيها وباء الملاريا خاصةً في افريقيا وآسيا يُحَصَّن حاملو الصفة الأخيرة من العدوى بالمرض ويعود ذلك إلى عدم قدرة البلاسموديوم المسبب لمرض الملاريا من العيش وتكملة دورة حياته في كريات الدم الحمراء المنجلية (المحتوية على الهيموغلوبين الشاذ) وأيضاً لقدرة هيموغلوبين هؤلاء الأفراد أن ينقل الأوكسجين بصورة كافية؛ وبالتالي الأشخاص المتخالفو اللواقح تكون وفاتهم نادرة جداً بالملاريا، أما الأشخاص Hb^S Hb^S، فيموتون عن طريق فقر الدم المنجلي، وبالتالي استطاع الاصطفاء أن يبقي ويكسب الأشخاص متخالفي اللواقح Hb^A Hb^S قدراً من المقاومة للملاريا وهذا يفسر انتشار المورثة الطافرة في المناطق الموبوءة بالملاريا. .

<u>آلية مرض فقر الدم المنجلي من الناحية الجزيئية</u>

يوجد في كريات الدم جزء مهم جداً وهو الهيموغلوبين وقد عرف أن هيموغلوبين الإنسان عبارة عن بروتين وزنه الجزيئي نحو 76000 وأنه يتركب من جلوبين ويتكون كل جزيء هيموغلوبين من 4 سلاسل عديدة الببتيد منها سلسلتان من النمط α (كل سلسلة α تحتوي على 141 حمض أميني)، وسلسلتان من النمط β (كل سلسلة β تحتوي على 146 حمض أميني)، تم تحديد تتابع الحموض الأمينية في كل من Hb^A و Hb^S، وقد تبين أن سلاسل α متطابقة تماماً في كل نمط من الهيموغلوبين Hb^A و Hb^S، وكذلك السلاسل β متطابقة ماعدا الحمض الأميني في الموقع رقم /6/، يشكل هذا المكان حمض الغلوتاميك في السلاسل β للهيموغلوبين الطبيعي Hb^A، أما في سلاسل β للهيموغلوبين المنجلي Hb^S، فيوجد الفالين بدلاً منه.

Hb^A		Hb^S	
حمض الغلوتاميك		حمض الفالين	
DNA	mRNA	DNA	mRNA
← CTT	GAA	← CAT	GUA
← CTC	GAG	← CAC	GUG

تم اكتشاف أكثر من 200 طفرة مختلفة في المورثتين المتحكمتين في تخليق السلسلة α والسلسلة β في هيموغلوبين الإنسان، معظمها يؤدي إلى عديد ببتيد، ويكون الخلل به في صورة إحلال حمض أميني مكان آخر،

وقد وجد أن الكودونين GAA و GAG هما الشفرة الخاصة بحمض الغلوتاميك، وإن إحلال اليوراسيل U مكان الأدينين A في وسط الكودونين السابقين يحولهما إلى GUA و GUG، وكلاهما في الواقع مخصص للفالين وهو الحمض الأميني الذي يحل محل حمض الغلوتاميك في الهيموغلوبين المنجلي، وعلى ذلك يكون الفرق الأساسي بين ضحية الأنيميا المنجلية وشخص لديه هيموغلوبين عادي هو وجود الأدينين A بدلاً من التايمين T في الجزء من الـDNA الذي يُنسخ إلى الـmRNA الخاص بالسلسلة β من الهيموغلوبين، وبالتالي نجد أن هذا التغير الضئيل أدى إلى ظهور فقر الدم القاتل في الأفراد؛ اللذين يحملون المورثتين المتنحيتين Hb^S .Hb^S

مما سبق نلاحظ: تمثل حالة أنيميا الخلايا المنجلية في الإنسان مثال لحالتان وراثيتان هما السيادة المشتركة والجينات المميتة المتنحية.

1- المورثات المميتة هي حالة وراثية لبعض المورثات إذا وجدت بصورة نقية أو متماثلة فإنها تسبب تعطيل النمو وتوقف الحياة في مراحل مختلفة من العمر لربع النسل غالباً وفي مثالنا يمكن تمييز العامل المميت المتنحي بعدد الطرز المظهرية التي تعيش حيث يظهر طراز مظهري واحد بنسبة 75% .

2- تعتبر المورثتين الطبيعية والمنجلية ذات سيادة مشتركة Codominance حيث ينتج الشخص متباين اللواقح Hb^A / Hb^S، كلاً من Hb^A و Hb^S في كريات الدم الحمراء نفسها.

أي تعطي المورثة Hb^A التركيب $_2{}^A\beta + {}_2{}^A\alpha$ والمورثة Hb^S التركيب $_2{}^S\beta + {}_2{}^A\alpha$ بنسبة 2/1 لكل منهما.

مرض التالاسيميا Thalassemia :

يتحكم به مورثة متنحية، ويسمى كذلك فقر دم البحر الأبيض المتوسط، وفي الحالة الطبيعية ينتج الجنين نوعاً خاصاً من الهيموغلوبين يدعى الهيموغلوبين الجنيني Fetus Haemoglobin (Hb^F) وبعد الولادة يتم تكوين هيموغلوبين يدعى هيموغلوبين البالغين Adult Haemoglobin (Hb^A) خلال الأشهر الأولى من حياة الطفل. في الأطفال المصابين بالتالاسيميا لا يتم إنتاج الهيموغلوبين الطبيعي للبالغين منهم. ويستمر إنتاج الهيموغلوبين الجنيني، لذا تكون خلايا الدم الحمراء هشة سريعة التحطم في أثناء مرورها بالكبد والطحال، وذات كفاءة منخفضة لنقل الأكسجين وتظهر أعراض المرض قبل أن يبلغ الطفل سن الثانية من عمره، إذ يصاب بفقر دم حاد ويبدو شاحباً ويقل نموه ويتضخم لديه الطحال، ويتراكم الحديد في أعضاء مختلفة من الجسم مما يؤدي إلى حدوث مشاكل في القلب والكبد والغدد الصماء وضعف في الجهاز المناعي كذلك يحدث تشوه في نمو العظام وتصبح هشة، وفي حالة متوسطي الإصابة تظهر الأعراض السابقة في مراحل عمرية أكبر ولكن بدرجة أقل. ويتم توارث هذا المرض نتيجة وجود الأليل (H^F) المسؤول عن إنتاج الهيموغلوبين الجنيني أما الأليل (H^A) فهو مسؤول عن إنتاج هيموغلوبين البالغين.

التركيب الوراثي	التركيب الظاهري
$H^A H^A$	غير مصاب (طبيعي)
$H^A H^F$	إصابة متوسطة (تكون الأفراد ذات كريات حمراء صغيرة وعددها كبير لكن الصحة وإلى حد ما تكون طبيعية)
$H^F H^F$	مصاب (تكون الأفراد ذات كريات حمراء أصغر من السابقة، وعدداً كبيراً جداً وتتحطم بسرعة ولا يستطيع نخاع العظم الأحمر تعويض هذا النقص فيصاب الشخص بفقر دم شديد ويحتاج لعمليات نقل دم ويلاحظ تضخم الطحال عندهم ويتم موتهم قبل سن الرشدلكن الصحة وإلى حد ما تكون طبيعية)

هذا وفي في حال زواج فردين $H^AH^F \times H^AH^F$ سيكون 25% من الأبناء من الطابع الوراثي H^FH^F .

********** انتهت المحاضرة **********