

الوراثة الكمية Quantitative genetics

كانت الصفات المندلية الكلاسيكية صفات نوعية Qualitative traits سهلة التصنيف إلى مجاميع متميزة من الأنماط الظاهرية، وقد نتجت هذه الصفات من تأثير جين أو جينين، وبالإضافة إلى الصفات النوعية يوجد الكثير من الصفات المهمة في النباتات والحيوانات والإنسان لا يمكن تصنيفها إلى مجاميع متميزة. ولكن يمكن قياسها والتعبير عنها بوحدات قياس المسافة أو الوزن أو الحجم وبذلك تشكل اختلافات مستمرة وتكون هذه الصفات كمية في طبيعتها وتنتج من فعل وتفاعل عدة جينات تتراوح من 10-100 جين أو أكثر من ذلك، وكذلك تتأثر هذه الصفات بعوامل البيئة المختلفة. ان الاختلافات في الصفات النوعية تكون من النوع غير المستمر Non continuous variations اي انه لا يوجد حد وسط بين الصفتين المتضاربتين، بينما الاختلافات في الصفات الكمية تكون من النوع المستمر Continuous variations كما في لون بشرة الإنسان اي انه يوجد تدرج في اللون، كما ان الصفات الكمية تتأثر بالبيئة، بينما الصفات النوعية لا تتأثر وأن تأثرت فيكون التأثير قليل ومحدود. وكذلك هناك اختلاف آخر بين الصفات النوعية والكمية، فالنوعية وكما سبق ذكره تتأثر بزواج أو زوجين أو ثلاثة أزواج من الجينات، بينما تتأثر الصفات الكمية بعدد كبير من الجينات قد يصل إلى 100 جين أو أكثر. ان التحليل الوراثي للصفات الكمية صعب لأن عدد أزواج الجينات التي تؤثر في الصفات الكمية كبير، ففي دراسة صفة كمية في عشيرة كبيرة اظهرت بأنه يوجد عدد قليل من الأفراد يحملون الأنماط الظاهرية القصوى، بينما أكثر الأفراد يكونون بالقرب من قيمة المعدل لتلك العشيرة. ان هذا النمط من التوزيع المتناظر يتصف بشكل الجرس ويطلق عليه بالتوزيع الطبيعي Normal distribution. لقد لاحظ علماء الوراثة بين عام 1900م-1910م بأن الاختلافات المستمرة تعكس آلية وراثية تختلف عن تلك الاختلافات غير المستمرة ووضعت فرضية الجينات المتعددة Multiple genes hypothesis لتفسير الاختلافات المستمرة. لقد جاء البرهان لهذه الفرضية من الأبحاث لكل من نلسن ايلي Nilsson-Ehle في السويد وايست East في الولايات المتحدة للفترة بين 1910م-1913م.

ان من الصفات الكمية التي درست من قبل نلسن هو لون بذور الحنطة، فعند تضريب صنف الحنطة ذو البذور الحمراء مع آخر ذو البذور البيضاء فأن بذور الجيل الأول ذات لون احمر. وعند ترتيب بذور الجيل الثاني حسب كثافة اللون، فقد لوحظ تدرج مستمر من الأحمر إلى الأبيض وكانت بذور الجيل الثاني بنسبة 16/1 حمراء البذور ونسبة 16/1 بيضاء البذور ونسبة 16/14 بذور متوسطة اللون اي بين لوني الأبوين الأحمر والأبيض، وعندما صنفت بذور الجيل الثاني ذات اللون المتوسط بصورة ادق على اساس كثافة اللون، شوهدت نسبة 16/4 ذات

لون اغمق من لون بذور الجيل الأول وبنسبة 16/6 ذات لون متوسط مثل لون بذور الجيل الأول وبحوالي 16/4 ذات لون افتح من لون بذور الجيل الأول. تدل هذه النتائج على انعزال مستقل لزوجين من الجينات التي تؤثر على نفس الصفة وذات تأثير متجمع، كما في التضريب التالي:

P1 aabb (بذور بيضاء) X AABB (بذور حمراء)
G1 ab AB
F1 100% AaBb (بذور حمراء)

P2 AaBb (بذور حمراء) X AaBb (بذور حمراء)
G2 AB , Ab, aB , ab AB , Ab , aB , ab
F2 A_ B_ aa B_ A_ bb aabb
 بذور حمراء (16/1) لون متوسط (16/14) بذور بيضاء (16/1)

كما درس ايست East عام 1913م وراثته طول كوز الذرة الصفراء بتضريب صنف Tom thumb قصير الكوز ذا المدى 5-8 سم ومعدل 6.6 سم بالصنف بلاك مكسيكان Black Mexican طويل الكوز ذا المدى 13-21 سم ومعدل 16.8 سم. كان طول كيزان الذرة في الجيل الأول متوسط بين الأبوين وذا مدى 9-15 سم ومعدل 12.1 سم، اما طول كيزان الذرة في الجيل الثاني فأنها بلغت مدى واسع 7-21 سم، وكان عدد قليل منها بقدر طول كيزان الصنف القصير الكوز، وعدد قليل آخر منها بقدر طول كيزان الذرة ذا الصنف الطويل الكوز، وعدد كبير منها متوسطة الطول بقدر طول كيزان الجيل الأول بمعدل 12.9 سم. ان هذه النتائج من حيث الأساس مشابهة إلى نتائج لون بذرة الحنطة، لكن في هذه الحالة لا يمكن تصنيف الكيزان إلى مجاميع متميزة من حيث الطول، إلا ان الزيادة في الاختلافات في الجيل الثاني مقارنة بالجيل الأول يمكن تفسيرها على اساس انعزال عدد من الجينات التي تؤثر على طول الكوز بصورة تجميعية وبذلك يكون سبب الاختلاف بين كيزان كل من الأبوين والجيل الأول بيئي، اما سبب الاختلاف بين كيزان الجيل الثاني فهو بيئياً ووراثياً (بسبب انعزال عدد من الجينات التي قدرت بأربعة ازواج).

ترتكز وراثته الصفات الكمية على جينات كثيرة (متعددة) المنعزلة باستقلال عادة، ولكنها تؤثر على نفس النمط الظاهري وبطريقة تجميعية، وكل جين ينتج جزء من التأثير الكلي ولا توجد سيادة كاملة بين الأليلات وتؤثر عوامل البيئة على الناتج النهائي للصفات الكمية ويمكن التعبير عن النمط الظاهري للصفة الكمية بالمعادلة التالية:

$$\text{النمط الظاهري} = \text{النمط الجيني} + \text{البيئة} + (\text{النمط الجيني} \times \text{البيئة})$$

ويمكن قياس كل جزء من المعادلة احصائياً بواسطة الأختلاف Variance وتصبح المعادلة:

الأختلاف بالنمط الظاهري = الأختلاف بالنمط الجيني + الأختلاف بالبيئة + الأختلاف (النمط الجيني x البيئة)

وبتعبير آخر:

$$\sigma^2P = \sigma^2G + \sigma^2E + \sigma^2GE$$

وعند دراسة هذه الصفات يجب فصل التأثير الوراثي عن التأثير البيئي باستعمال طرق إحصائية خاصة.

تقدير عدد الجينات للصفات الكمية Estimating the number of genes for quantitative traits

تساعد معرفة عدد الجينات التي تعين الصفات الكمية في تطوير طرق جديدة وكفوءة للبحث عنها، وكذلك يمكن الاستفادة من هذه المعلومات مباشرة في تربية النبات والحيوان، ولكن يصعب تعيين عدد الجينات بالضبط المشمولة في تضريب ما بسبب وجود الأختلافات البيئية والأختلافات الوراثية بنفس القياس. وتوجد طريقة لتقدير عدد الجينات للصفة الكمية بالاستفادة من قيمة الأختلاف الوراثي Genotype variance وتحت شروط معينة. تتألف عشيرة السلالة أو الخط النقي من افراد متشابهة بالتركيب الوراثي إلا انها تظهر الأختلاف بالنمط الظاهري، وعليه يكون كل هذا الأختلاف في الخط النقي اختلافاً بيئياً Environmental variance. في الصفة الكمية ذات التوزيع الطبيعي تكون معدلات افراد الجيل الأول والجيل الثاني متوسط بين معدلي الأبوين، وإذا لم يحدث تبدل في البيئة من جيل لآخر فإن أختلاف البيئة بين افراد الجيل الأول يجب ان يكون مساوياً إلى أختلاف البيئة بين افراد الجيل الثاني، لذا تعزى الزيادة في الأختلاف للنمط الظاهري بين افراد الجيل الثاني على الأختلاف للنمط الظاهري بين افراد الجيل الأول إلى اسباب وراثية، وعليه فإن الأختلاف الوراثي بين افراد الجيل الثاني σ^2GF2 يساوي الأختلاف للنمط الظاهري بين افراد الجيل الثاني σ^2PF2 ناقصاً الأختلاف للنمط الظاهري بين افراد الجيل الأول σ^2PF1 ، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$\sigma^2GF2 = \sigma^2PF2 - \sigma^2PF1$$

ويعبر عن الأختلاف الوراثي بين افراد الجيل الثاني بالمعادلة التالية:

$$\sigma^2GF2 = (a^2N) / 2$$

إذ ترمز a إلى مقدار مساهمة كل اليل فعال و N ترمز إلى عدد أزواج الجينات المتعلقة في الصفة الكمية، ويمكن تقدير قيمة a من الصيغة:

$$a = D / 2N$$

إذ ترمز D إلى قيمة الفرق بين معدلي الأبوين لصفة كمية وبالتعويض يكون مقدار N كما يلي:

$$\sigma^2PF2 - \sigma^2PF1 = \sigma^2GF2 = a^2N / 2 = D^2 / 8N$$

$$N = \frac{D^2}{8(\sigma^2PF2 - \sigma^2PF1)}$$

وعند استعمال المعادلة الأخيرة يجب توفر الشروط التالية:

1. تكون مساهمة الجينات المتعددة متساوية وبصورة إضافية لإنتاج الصفة الكمية.
2. لا يوجد سيادة كاملة بين اليلات الجينات المتعددة.
3. لا يوجد ارتباط بين الجينات المتعددة.
4. لا يوجد تفاعل بين الجينات المتعددة.

مثال:

سلالتين يختلفون في طول الكيزان، ففي السلالة الأبوية الأولى معدل الطول 21 سم والثانية معدل الطول فيها 8 سم وكانت الاختلافات المظهرية في $F1$ كانت بحدود 8 سم اما قيمة الاختلافات في افراد الجيل الثاني فكانت 16 سم. ما هو عدد الأزواج الجينية المسؤولة عن هذه الصفة ؟

الحل:

$$D = 21 - 8 = 13 \text{ cm}$$

$$N = \frac{(13)^2}{8(16-8)} = \frac{169}{64} = 3 \text{ Gene pairs}$$

امثلة اخرى لتوارث صفات ناتجة عن جينات متعددة:

1. صفة لون الجلد في الإنسان Skin colour in human being:

درس العالم دافنبورت صفة لون البشرة في الفئة المسماة مولاتو Mulatto وهم خليط بين الزوج والبيض، فوجد تدرجاً في لون الجلد بسبب وجود زوجين من الجينات B1B1 و B2B2 ضروريان لتكوين صبغة الميلانين، وكانت السيادة بين اليلاتهما غير تامة او تراكمية الأثر كالتالي:

الأنماط الجينية	الأنماط المظهرية
B1B1 B2B2	لون أسود
B1B1 B2b2 , B1b1 B2B2	لون بني قاتم
B1b1 B2b2 , b1b1 B2B2 , B1B1 b2b2	لون بني متوسط
B1b1 b2b2 , b1b1 B2b2	لون بني خفيف (قمحي)
b1b1 b2b2	لون أبيض

2. حجم الجسم في الدواجن Chicken body size:

يتميز افراد الدواجن بإحجام مختلفة تتراوح بين الكبيرة الحجم إلى الصغيرة الحجم. لقد وجد ان هناك 4 ازواج من الجينات A , B , C & D تتحكم في اظهارها، ويمكن التعبير عن نفس الجينات بأن نرسم لها بنفس الحرف مع اعطاء الجينات ارقاماً متتابعة مثل A^1A^1 , A^2A^2 , A^3A^3 , A^4A^4 ويكون التركيب الوراثي لأكبر الدواجن حجماً هو AA BB CC (جميعها DD) والتركيب الوراثي لأصغر الدواجن حجماً هو aa bb cc dd (جميعها متتحية) والتركيب الوراثي للأحجام الوسطية يعتمد على عدد الجينات السائدة في التركيب الوراثي للفرد، فكلما زاد عدد الأليلات السائدة كلما زاد الحجم والعكس صحيح.

التوريث Heritability

يعرف التوريث بأنه درجة سيطرة الوراثة على صفة معينة، وأن معرفة مقدار التوريث لكل صفة كمية ضروري لأتباع طريقة معينة في التربية وتحسين هذه الصفة ويرمز لها بالرمز h^2 والذي يساوي نسبة الاختلاف بالنمط الوراثي σ^2_G إلى الاختلافات بالنمط الظاهري σ^2_P اي ان:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_P} = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_G + \sigma^2_E}$$

وقد يمكن قياس التوريث لكل صفة كمية على مستويين: الأول يكون واسعاً والذي يتضمن كل الاختلاف الوراثي الناتج من التأثير الإضافي للجينات المتعددة وتأثير السيادة بين اليالات الجينات المتعددة وتأثير التفاعل بين الجينات المتعددة، والثاني يكون دقيقاً الذي يشمل الاختلاف الوراثي الناتج من التأثير الإضافي فقط للجينات. تكون حساب قيمة التوريث من صفر إلى واحد كما في الأمثلة التالية:

1. إذا كان كل الاختلاف في النمط الظاهري هو اختلاف بيئي، اي ان: $\sigma^2_E = \sigma^2_P$ ويكون $\sigma^2_G = 0$ فعليه تكون قيمة التوريث مساوية إلى الصفر.
2. إذا كان كل الاختلاف في النمط الظاهري هو وراثي، اي ان: $\sigma^2_G = \sigma^2_P$ وبذلك تكون قيمة التوريث مساوية إلى واحد.
3. إذا كان نصف الاختلاف في النمط الظاهري يعود إلى تأثير النمط الوراثي، اي ان: $\sigma^2_G = 1/2 \sigma^2_P$ او $2\sigma^2_G = \sigma^2_P$ وبذلك تكون قيمة التوريث مساوية إلى النصف.