حيث تمثل N الحد الأدنى لعدد الجينات المتحكمة فى الصفة وتمثل D الفرق بين متوسطى الأبوين، وVF_1 , VF_2 تباينى الجيلين الأول و الثانى على التوالى (Castle & Wright ١٩٢١) . وتفترض هذه المعادلة مايلى :

١- عدم وجود أى ارتباط أو تفاعل بين الجينات المتحكمة فى الصفة .

٢- لكل الجينات درجة واحدة من الأهمية فى التأثير فى الصفة .

٣- لكل الجينات درجة سيادة واحدة .

٤- يكون أحد الأبوين - فقط - هو مصدر جمع الأليلات الموثرة فى الصفة فى أحد الاتجاهات .

$$N = \frac{D^2}{8VA} \quad **$$

حيث يمثل VA التباين الإضافى الذى يحسب - بدوره- بالمعادلة التالية :

$$\frac{1}{2} VA = 2\ VF_2 - (VB_1 + VB_2)$$

حيث يمثل VF_2 ، و VB_1 ، و VB_2 تباينات الجيل الثانى ، وعشائر التلقيحات الرجعية للأبوين الأول والثانى على التوالى (Mather & Jinks ١٩٧١) .

التقدير الكمى لتأثير الجين على الفرد

تأثير الجينات فى العشائر

يعتبر متوسط العشيرة population mean من أهم القيم الإحصائية التى تستخدم فى الوصف الكمى للعشيرة ، وهو يمثل متوسط التراكيب الوراثية التى تتكون منها العشيرة ، ونوجز - فيما يلى - كيفية التوصل إلى المعادلة التى تستخدم فى حساب متوسط العشيرة (عن Falconer ١٩٨١) :

نفترض أن صفة ما يتحكم فيها جين واحد ، له أليلان ، هما A_1 ، وA_2 . ونفترض - أيضاً - أن القيمة الوراثية genotypic value للتركيب الوراثى الأصيل A_1A_1 هى (+a) ، و للتركيب الوراثى الأصيل الآخر A_2A_2 هى (-a) ، وللتركيب الوراثى الخليط

$A_1 A_2$ هى (d) ؛ فإذا كان الآليل A_1 هو الذى يزيد من الصفة و كانت النقطة (0) تمثل القيمة الوسيطة بين التركيبين الوراثيين الأصيلين ، كما هو مبين فى الشكل التالى :

التركيب الوراثى	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
القيمة الوراثية	+a	d	- a
		o	

فإن قيمة التركيب الوراثى الخليط (أى d) تعتمد على درجة السيادة ؛ ففى غياب السيادة تماماً .. تكون (d) مساوية للصفر ، بينما تكون (d) موجبة إذا كان الآليل A_1 سائداً على A_2 وتكون سالبة إذا كان الآليل A_2 سائداً على A_1 .

وعندما تكون السيادة تامة تكون (d) مساوية لـ (+a) أو لـ (-a) ، بينما تكون قيمة d أكبر من (+a) ، أو أقل من (-a) فى حالة السيادة الفائقة over dominance .

ويعبر عن درجة السيادة بالقيمة : $\frac{d}{a}$.

هذا .. إلا أن القيمة الوراثية للتراكيب الوراثية الموجودة فى العشيرة لا تتأثر بالتراكيب الوراثية فقط ، وإنما بنسبها إلى بعضها البعض أيضاً ، ويطلق على القيمة التى تنتج من ذلك اسم متوسط العشيرة ، وهى التى تحسب كالآتى :

التركيب الوراثي	النسبة	القيمة	النسبة × القيمة
A_1A_1	p^2	+a	p^2a
A_1A_2	2pq	d	2pqd
A_2A_2	q^2	-a	$-q^2a$

المجمـــــوع : $M = a(p-q) + 2dpq$

علماً بأن p^2 ، و 2pq ، و q^2 هى نسب التراكيب الوراثية . و M هو متوسط العشيرة . وتتغير قيمة M فى الحالات المختلفة كما يلى :

١- فى حالة غياب السيادة تكون (d) مساوية للصفر ، وتصبح المعادلة كما يلى :

$$M = a(1-2q)$$

٢- فى حالة السيادة التامة تكون (d) مساوية لـ (a) ، وتصبح المعادلة كما يلى :

$$M = a\ (1-2q^2)$$

٣- فى حالة تأثر الصفة بعديد من العوامل الوراثية - كما فى الحال فى الصفات الكمية - تصبح المعادلة كما يلى :

$$M = \Sigma\ \ a\ (p - q) + 2\ \ \Sigma\ dpq$$

ولكى يتسنى فهم العوامل المؤثرة على متوسط العشيرة .. فإنه تلزم دراسة متوسط تأثير كل جين على حدة averege effect of single genes ، وهو الذى يمثل بمتوسط انحراف قيمة الأفراد التى تحتوى على هذا الجين عن متوسط العشيرة . فلو أن هذا الجين يوجد منه أليلان هما A_1 ، و A_2 بنسبة p ، و q على التوالى .. فإنه يمكن تقدير متوسط تأثير الأليل A_1 (أو α_1) ، والأليل A_2 (أو α_2) كما يلى :

قيم ونسب التراكيب الوراثية المتكونة

الجاميطات	A_1A_1 a	A_1A_2 d	A_2A_2 -a	متوسط قيم التراكيب الوراثية المتكونة	متوسط العشيرة	متوسط تأثير الجين
A_1	p	q		pa + qd	- [a (p-q) + 2dpq]	q [a+d (p-q)]
A_2		p	q	-qa + pd	- [a (p-q) + 2dpq]	- p [a+d (q-p)]

وبفرض أن الجاميطات التى تحمل الأليل A_1 تتحد عشوائياً مع الجاميطات الأخرى فى العشيرة .. فإن نسبة التراكيب الوراثية المنتجة تكون P من A_1A_1 ، و q من A_1A_2 ، وتكون القيمة الوراثية للتركيب A_1A_1 هى (+a) ، وللتركيب A_1A_2 هى (d) ، ويكون المتوسط هو pa+qd ، ويكون الفرق بين هذه القيمة ومتوسط العشيرة هو متوسط تأثير الأليل A_1 . وبحساب قيمة متوسط العشيرة من المعادلة الخاصة بها .. نجد أن :

$$\alpha_1 = pa + qd - [\ a\ (p-q) + 2\ dpq]$$
$$= q\ [a + d\ (p-q)]$$
$$\alpha_2 = -\ p\ [\ a + d\ (p-q)]$$

ويكون متوسط تأثير الجين (أو α) كما يلى :

$$\alpha = a + d\ (p - q)$$

وتكون العلاقة بين α ، و α_1 ، و α_2 كما يلى :

$$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$$

$$\alpha_1 = q\,\alpha$$

$$\alpha_2 = -p\,\alpha$$

وتحسب لكل تركيب وراثى ما تعرف بقيمة التربية breeding value كما يلى :

التركيب الوراثى	قيمة التربية
A_1A_1	$2\alpha_1 = 2q\,\alpha$
A_1A_2	$\alpha_1 + \alpha_2 = (p-q)\,\alpha$
A_2A_2	$2\alpha_2 = -2p\alpha$

وتحسب قيمة التربية فى حالة وجود أكثر من أليلين على أساس أنها تمثل مجموع تأثير أى أليلين يوجدان فى التركيب الوراثى للفرد ، وهى تمثل جزءاً من القيمة الوراثية للفرد ، وهو الذى يحدد متوسط قيمة النسل أو سلوكه ويعرف الفرق بين القيمة الوراثية ، وقيمة التربية بالانحراف الذى يرجع إلى السيادة dominance deviation ؛ إذ إن :

$$G = A+D$$

حيث تمثل "G" القيمة الوراثية ، و "A" قيمة التربية ، و "D" الانحراف العائد إلى السيادة . وتحسب القيمة الوراثية لجميع الجينات معاً كما يلى :

$$G = A+D+I$$

حيث تمثل : (A) مجموع قيم التربية للجينات المختلفة ، و (D) مجموع الانحرافات العائدة إلى السيادة ، و (I) مجموع الانحرافات العائدة إلى التفاعل بين الجينات غير الأليلية epistatic deviation . ويقال عند غياب (D) ، و (I) أن الجينات ذات تأثر إضافى؛ إذ يعنى الفعل الإضافى للجين additive gene action إما غياب السيادة بالنسبة للأليلات فى الموقع الجينى الواحد (الجينات الأليلية) ، وإما غياب التفوق بالنسبة للجينات غير الأليلية .

ويمكن بيان العلاقة بين القيم التى سبقت دراستها كما يلى :

التركيب الوراثى :	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
النسبة :	p^2	2pq	q^2
القيمة الخاصة بالتركيب الوراثى :	a	d	-a

الانحراف عن متوسط العشيرة

القيمة الوراثية :	2q (a - p d)	a(q-p) + d(1-2pq)	- 2 p (a + q d)
	2q (α- q d)	(q-p) α+ 2pqd	- 2 p (α+pd)
قيمة التربية :	2 q α	(p-q) α	-2 p α
الانحراف العائد إلي السيادة :	$-2\,q^2\,d$	2pqd	$-2\,p^2\,d$

هذا .. مع العلم بأن القيمة الوراثية قد عبر عنها بقيمة (a) ، أو بقيمة (α) ، وعبر عن الانحراف العائد إلى السيادة فى صورة (d) ، علماً بأن (d) = صفراً فى غياب السيادة ؛ حيث تتساوى القيمة الوراثية مع قيمة التربية .

درجة السيادة

تعتبر درجة السيادة degree of dominance (أو potence ratio) مقياساً لمتوسط سيادة كل الجينات المتحكمة فى الصفة فى أحد الآباء على الجينات التى توجد فى الأب الآخر ، وتحسب درجة السيادة بمقارنة المتوسطات المشاهدة لعشائر كل من الجيلين الأول (F_1) ، والثانى ($\bar{F}_2$) ، والتلقيحات الراجعة إلى الأب الأول ($\bar{B}_1$) والثانى ($\bar{B}_2$) بالقيم المحسوبة التالية (عن Powers وأخرين ١٩٥٠) .

المتوسط المشاهد الذى تنسب إليه درجة السيادة	القيمة المحسوبة التى يقارن بها المتوسط المشاهد
$\bar{F}_1$	$\bar{P}_1 + \bar{P}_2 / 2$
$\bar{F}_2$	$\bar{P}_1 + 2\bar{F}_1 + \bar{P}_2 / 4$
$\bar{B}_1$	$\bar{P}_1 + \bar{F}_1 / 2$
$\bar{B}_2$	$\bar{P}_2 + \bar{F}_1 / 2$

ويلى ذلك تقدير جوهرية الاختلافات بين المتوسطات الحسابية للعشائر (القيم المشاهدة) بالقيم التى تقارن بها (القيم المحسوبة) ؛ با ختبار "t" على النحو التالى :

$$t = \frac{\text{المتوسط المشاهد – المتوسط المحسوب}}{\text{الانحراف القياسى للمتوسط المشاهد}}$$

فإن لم يوجد فرق معنوى بين المتوسط المشاهد والمتوسط المحسوب .. كان ذلك دليلاً على غياب السيادة ، أما إذا وجد فرق معنوى بين المتوسطين .. فإن الحالة قد تكون واحدة من ثلاث كما يلى :

١- سيادة جزئية إذا كان المتوسط المشاهد للعشيرة بين متوسطها المحسوب ، والمتوسط المشاهد لأحد الآباء .

٢- سيادة تامة عندما لايختلف المتوسط المشاهد للجيل الأول – جوهرياً – عن المتوسط المشاهد لأحد الآباء .

٣- سيادة فائقة Overdominance عندما يزيد المتوسط المشاهد للجيل الأول على الأب الأعلى فى الصفة أو يقل عن الأب الأقل .

ويعطى Mather (١٩٤٩) معادلة أخرى لحساب درجة السيادة كما يلى :

$$\text{درجة السيادة} = \frac{\text{المتوسط المشاهد للجيل الأول – المتوسط المحسوب للجيل الأول}}{\frac{١}{٢}\text{ (متوسط الأب ذى القيمة المرتفعة – متوسط الأب ذى القيمة المنخفضة)}}$$

فإن زادت قيمة درجة السيادة على (+١) أو نقصت عن (-١) كان ذلك دليلاً على وجود سيادة فائقة . وإن كانت (+١) ، أو (-١) .. كان ذلك دليلاً على وجود سيادة تامة وإن كانت (صفر) .. كان ذلك دليلاً على غياب السيادة ، وإن تراوحت بين أكثر من (-١) وأقل من (+١) – فيما عدا قيمة الصفر – كان ذلك دليلاً على وجود سيادة جزئية .

تقدير درجة الجنوح skewenss عن التوزيع الطبيعى

يعتبر الجنوح عن التوزيع الطبيعى فى عشائر الجيل الثانى دليلاً على الانحراف عن

التأثير الاضافى للجينات المتحكمة فى الصفات الكمية ، وتقدر درجة الجنوح على النحو التالى :

$$\text{درجة الجنوح} = \frac{٣ \text{ (المتوسط المشاهد للجيل الثانى – القيمة الوسطى median)}}{\text{الانحراف القياسى للجيل الثانى}}$$

يستعمل اختبار "t" لتحديد مدى جوهرية الجنوح المحسوبة ، مع حساب قيمة "t" على النحو التالى (عن Snedecor ١٩٥٦) :

$$t = \frac{\text{درجة الجنوح}}{\sqrt{٦ن(ن-١)/(ن-٢)(ن+١)(ن+٣)}}$$

حيث تمثل (ن) عدد أفراد الجيل الثانى . وتدل قيمة الجنوح الموجبة على زيادة عدد الأفراد ذوى القيم الأقل من المتوسط ، بينما تدل القيمة السالبة على زيادة عدد الأفراد ذوى القيم الأعلى من المتوسط .

المتوسطات الهندسية

يظهر التأثير الهندسى geometric action للجينات فى بعض الصفات كصفة حجم الثمار مثلاً ؛ حيث تتفاعل الجينات مع بعضها بطريقة ليست اضافية additive ، وإنما تضاعفية multiplicative ، وهو ما يتمشى مع طبيعة الصفة ؛ حيث يكون الحجم حاصل ضرب أرقام ، وليس بحاصل جمع أبعاد ، ويقال إن الجينات ذات تأثير هندسى geometric gene action عندما تكون المتوسطات الهندسية المحسوبة بمختلف العشائر الهندسية أقرب إلى القيم الملاحظة لهذه العشائر ، بينما يقال إن الجينات ذات تأثر حسابى arithmatic gene action عندما تكون متوسطاتها الحسابية أقرب إلى قيمتها الملاحظة . وتحسب المتوسطات الهندسية على النحو التالى (عن Powers & Lyon ١٩٤١) .

$$\text{المتوسط الهندسى المتوقع للجيل الأول} = \sqrt{\text{المتوسط المشاهد للأب الأول} \times \text{المتوسط المشاهد للأب الثانى}}$$

المتوسط الهندسى المتوقع للجيل الثانى = العدد المقابل (antilogarithm) لـ :

لوغاريتم المتوسط المشاهد للأب الأول + ٢ لوغاريتم المتوسط المشاهد للجيل الأول + لوغاريتم المتوسط المشاهد للأب الثانى

٤

- المتوسط الهندسى المتوقع للتلقيح الرجعى للأب الأول =

المتوسط المشاهد للجيل الأول × المتوسط المشاهد للأب الأول

المتوسط الهندسى المتوقع للتلقيح الرجعى للأب الثانى =

المتوسط المشاهد للجيل الأول × المتوسط المشاهد للأب الثانى

ويمكن تصور التأثيرين الإضافى والهندسى للجينات بمثال تزيد فيه قيمة الصفة بزيادة عدد الجينات التى تتحكم فيها على النحو التالى :

١- فى حالة التأثير الإضافى : قد تكون قيمة الصفة : ٣ ، و ٦ ، و ٩ ، و ١٢ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ٣ وحدات ؛ أو ١ ، و ١,١ ، و ١,٢ ، و ١,٣ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ٠,١ وحدة .

٢- فى حالة التأثير الهندسى : قد تكون قيمة الصفة ٣ ، و ٩ ، و ٢٧ ، و ٨١ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ثلاثة أضعاف القيمة السابقة ؛ أو ١ ، و ١,١ ، و ١,٢١ ، و ١,٣٣١ ، و ١,٤٦٤١ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ١,١ ضعف القيمة السابقة ، أى يضيف حوالى ١٠٪ إلى القيمة السابقة .

ويلاحظ أن توزيع الأفراد فى الأجيال الانعزالية يكون دائماً مجنحاً skewed عندما تكون الجينات ذات فعل هندسى ، وللتأكد من صحة فرضية التأثير الهندسى للجينات .. يجب ألا تختلف القيم المشاهدة لعشائر الجيلين الأول والثانى ، وكذلك التلقيحات الرجعية – معنوياً – عن القيم المحسوبة على أساس التأثير الهندسى . ويؤدى تحويل القيم المشاهدة للأفراد فى حالة الصفات التى تؤثر عليها الجينات بطريقة هندسية إلى لوغاريتمات ، إلى أن يصبح توزيع الأفراد قريباً من التوزيع الطبيعى .

وبينما لايوجد أى ارتباط بين متوسطات أو تباينات الآباء والجيلين الأول والثاني وعشائر التلقيحات الرجعية فى حالة التأثير الإضافى للجينات .. نجد أن هذه القيم تكون مرتبطة ببعضها ، عندما تكون الجينات ذات تأثير هندسى ؛ ويصاحب زيادة المتوسطات زيادة التباينات فى حالة التأثير الهندسى ، بينما لايشترط ذلك فى حالة التأثير الإضافى ؛ حيث قد تصاحب زيادة المتوسطات زيادة أو نقص فى التباينات (Brewbaker ١٩٦٤) .

مكونات التباين فى الصفات الكمية

يصعب فى الصفات الكمية تتبع كل جين على حدة فى الأجيال الانعزالية ، كما يصعب تقسيم النباتات إلى أقسام محددة حسب النسب المندلية المعروفة كما فى الصفات البسيطة أو التى يتحكم فيها عدد قليل من الجينات. ويسعى المربى – بدلاً من ذلك – إلى تقدير التباين Variance– وهو قيمة إحصائية – للدلالة على مدى الاختلافات المشاهدة فى الصفة فى العشائر التى يقوم بدراستها .

يعرف التباين الكلى المشاهد باسم تباين الشكل المظهرى Phenotypic Variance ، ويرمز له بالرمز (V_{Ph}) ؛ ونظرا لأن الاختلافات التى تشاهد فى الشكل المظهرى ترجع إلى تأثير كل من التركيب الوراثى ، والعوامل البيئية على كل فرد من أفراد العشيرة ؛ لذا .. فإن :

$$V_{Ph} = V_G + V_E$$

حيث يمثل (V_G) التباين الذى يرجع إلى تأثير التركيب الوراثى أو التباين الوراثى Genotypic Variance ، بينما يمثل (V_E) التباين الذى يرجع إلى تأثير البيئة أو التباين البيئى Environmental Variance .

التباين البيئى

يقدر التباين البيئى لأية صفة ؛ بحساب مدى التباين فى هذه الصفة فى عشيرة يحمل جميع أفرادها نفس التركيب الوراثى؛ كأن تكون جميعها – مثلاً – سائدة أصيلة ، أو متنحية أصيلة ، أو خليطة فى الصفة ويحسب التباين البيئى بالمعادلة التالية :

$$V_E = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$