وبذا فإن التباين بين القيم الوراثية يعتمد – هو الآخر – على درجة السيادة ونسب الآليلات

وبالنسبة لموقع جيني واحد .. فإن مكونات التباين تتحدد، كما بلى (عن Falconer ١٩٨١)،

$$VA = 2pq\,\alpha^2$$
$$= 2\,pq\,[a + d(q - p)]^2$$
$$V_D = (2pqd)^2$$
$$V_G = V_A + V_D$$
$$= 2pq\,[a + d(q - p)]^2 + (2pqd)^2$$

ومن الواضح أن تغير قيم أى من d أو p أو q يؤثر على القيم النسبية لكل من V_A، و V_D، و V_G

وتقدر قيمتا (V_A)، و (V_D) للصفات الكمية التى يتحكم فيها أكثر من جين من مجموع قيم الـ (V_A)، والـ (V_G) لكل جين على التوالى، ويهمل عادة – تباين التفاعل بين هذه الجينات؛ لأن حسابه معقد، بينما يكون قليل الأهمية

استخدام القانون فى تنقية العشائر الخليطة التلقيح من الصفات المتنحية غير المرغوب فيها

يستخدم قانون هاردى/فينبرج فى تقدير مدى التقدم الذى يمكن إحرازه فى تنقية عشيرة ما خلطيه التلقيح من صفة متنحية غير مرغوب فيها، علمًا بأن الجينات التى تتحكم فى مثل هذه الصفات تظل دائما مختفية فى الحالة الخليطة ويؤدى التخلص من النباتات المتنحية الأصلية التى تظهر بها الصفة قبل الإزهار إلى إحراز تقدم كبير فى خفض نسبة الآليل المنحى غير المرغوب فيه (أى خفض q) فى الأجيال الأولى من الانتخاب، عندما تكون قيمة q أصلا كبيرة، ثم يقل مدى التقدم الذى يمكن إحرازه فى كل جيل من الانتخاب كلما انخفضت قيمة q كما يتبين من جدول (١٢ ٥) أما إذا أجرى الانتخاب (استبعاد النباتات غير المرغوب فيها) بعد الإزهار فإن الانخفاض فى قيمة q يقل معدله بعد كل جيل من الانتخاب إلى نصف ما تكون عليه الحال عند

الحال عند إجراء الانتخاب قبل الإزهار، لأن حبوب اللقاح التى تخصب بويضات النباتات المنتخبة تكون من كل من النباتات المرغوب فيها وغير المرغوب فيها على حد سواء.

جدول (١٢-٥): تأثير استبعاد جميع الأفراد الحاملة لصفة متنحية غير مرغوب فيها (q^2) على نسبة الآليل المتنحى (q) فى عشيرة مندلية خلطية التلقيح (عن Burns ١٩٨٣).

عدد الأجيال الانتخابية ضد الصفة	نسبة الآليل المتنحى (q)
صفر (جيل عشيرة الأساس)	٠,٥٠٠
١	٠,٣٣٣
٢	٠,٢٥٠
٣	٠,٢٠٠
٤	٠,١٦٧
٥	٠,١٤٣
٦	٠,١٢٥
٧	٠,١١١
٨	٠,١٠٠
٩	٠,٠٩١
١٠	٠,٠٨٣
٥٠	٠,٠١٩
١٠٠	٠,٠١٠
١٠٠٠	٠,٠٠١

وكمثال على ما تقدم بيانه .. نفترض أن عشيرة فى حالة توازن كانت فيها نسبة النباتات المتنحية الأصيلة $aa = q^2 = ٠,٣٦$. يعنى ذلك أن نسبة الآليل المتنحى (a) = q = $\sqrt{٠,٣٦}$ = ٠,٦، وأن نسبة الآليل السائد (A) = p = ١ - q = ١-٠,٦ = ٠,٤، وبهذا .. تكون نسبة التركيب الوراثى السائد الأصيل $AA = p^2$ = ٠,٤ × ٠,٤ = ٠,١٦، ونسبة التركيب الوراثى السائد الخليط $Aa = 2pq$ = ٢ × ٠,٤ × ٠,٦ = ٠,٤٨.

تتوقف سرعة التخلص من الصفات المتنحية غير المرغوب فيها على ما إذا كان بالإمكان إجراء الانتخاب قبل الإزهار، أم بعده، كما يأتى بيانه.

أولاً: إذا كان الانتخاب ضد الصفة غير المرغوب فيها قبل الإزهار

إذا أمكن التخلص من جميع النباتات التى تحمل التركيب الوراثى المتنحى aa قبل الإزهار فإن النباتات المتبقية تكون آباء وأمهات للجيل التالى، وتنتج جاميطاتها على النحو التالى: ستكون حبوب لقاح تحمل الآليل السائد (A) تكون نسبتها p – [٠,١٦ (من التركيب الوراثى AA) + ٠,٢٤ (من التركيب الوراثى Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات للجيل التالى)] = ٠,٦٢٥. كما ستكون أيضا حبوب لقاح تحمل الآليل المتنحى (a) تكون نسبتها – q = ٠,٢٤ (من التركيب الوراثى Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات للجيل التالى) = ٠,٣٧٥. وستكون فى الوقت نفسه بويضات بالطريقة نفسها، تكون نسبتها p = ٠,٦٢٥ للبويضات الحاملة للآليل السائد (A)، و q = ٠,٣٧٥ للبويضات الحاملة للآليل المتنحى (a) ويلاحظ أن مجموع p + q = ٠,٦٢٥ + ٠,٣٧٥ = ١,٠٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات.

يؤدى التزاوج الاعتباطى بين هذه الجاميطات، إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المتكونة فى الجيل التالى كما يلى:

	الأمهات	
الآباء	p = A = ٠,٦٢٥	q = a = ٠,٣٧٥
p = A = ٠,٦٢٥	p^2 = AA = ٠,٣٩١	pq = Aa = ٠,٢٣٤
q = a = ٠,٣٧٥	pq = Aa = ٠,٢٣٤	q^2 = aa = ٠,١٤١

أى إن $AA = p^2$ – ٠,٣٩١، و Aa = 2pq – ٠,٤٦٨، و aa = q – ٠,١٤١ (يلاحظ أن مجموع التراكيب الوراثية = ١,٠٠. وهو ما يؤكد دقة الحسابات) يتضح مما تقدم أن استبعاد جميع النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة – قبل الإزهار – أدى إلى تخفيض نسبة الآليل (a) فى العشيرة من ٠,٦ إلى ٠,٣٧٥ [–١,٠٠ ÷ (٠,٤٦٨ ÷ ٢)]. ونسبة النباتات المتنحية الأصيلة من ٠,٣٦ إلى ٠,١٤١ بعد جيل واحد من الانتخاب.

ثانيًا: إذا كان الانتخاب ضد الصفة غير المرغوب فيها بعد الإزهار

إذا لم يمكن التخلص من النباتات التى تحمل التركيب الوراثى المتنحى aa إلا بعد الإزهار فإن ذلك يعنى أن هذه النباتات سوف تشارك بحبوب اللقاح فى مجمع الجينات ولكنها لا تشارك بالبويضات، وبذا .. فإن نسب الجاميطات الحاملة للآليلين (A)، و (a) سوف تختلف بين حبوب اللقاح والبويضات على النحو التالى.

تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل (A)، تكون نسبتها p = ٠,١٦ (من التركيب الوراثى AA) + ٢٤ ٠ (من التركيب الوراثى Aa) = ٠ ٤، كما تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل المتنحى (a) تكون نسبتها q = ٠,٣٦ (من التركيب الوراثى aa) + ٢٤ ٠ (من التركيب الوراثى Aa) = ٠ ٦ يلاحظ أن مجموع p + q = ٠,٤ + ٠,٦ = ١,٠.

تتكون - أيضا - بويضات تحمل الآليل (A)، تكون نسبتها p = [١٦ ٠ (من التركيب الوراثى AA) + ٢٤ ٠ (من التركيب الوراثى Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات المؤنثة)] = ٠ ٦٢٥، كما تتكون - أيضا - بويضات تحمل الآليل المتنحى (a) تكون نسبتها q = ٠,٢٤ (من التركيب الوراثى Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات المؤنثة للجيل التالى) = ٣٧٥ ٠ يلاحظ أن مجموع p + q = ٠.٦٢٥ + ٣٧٥ ٠ = ١ ٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات.

يؤدى التزاوج الاعتباطى بين الجاميطات المذكرة والمؤنثة المتكونة، إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المتكونة فى الجيل التالى على النحو التالى:

	الأمهات	
الآباء	$A = p = ٠,٦٢٥$	$a = q = ٠,٣٧٥$
$A = p = ٠,٤$	$AA = p^2 = ٠,٢٥٠$	$Aa = pq = ٠,١٥٠$
$a = q = ٠,٦$	$Aa = pq = ٠,٣٧٥$	$aa = q^2 = ٠,٢٢٥$

أى إن $AA = p^2 = ٠,٢٥٠$، و $Aa = (2pq) = ٠.٥٢٥$، و $aa = q^2 = ٠,٢٢٥$ (يلاحظ أن مجموع نسب التراكيب الوراثية = ١,٠، وهو ما يؤكد دقة الحسابات)

يتبين مما تقدم أن استبعاد جميع النباتات الحاملة للصفة الأصيلة بعد الإزهار أدى

إلى خفض نسبه الآليل (a) فـى العشيرة من ٠,٦ إلى ٤٨٧٥ ٠ [=٢٢٥ ٠ + (٥٢٥ ٠ ÷ ٢)]، ونسبة النباتات المتنحية الأصيلة من ٣٦ ٠ إلى ٢٢٥ ٠ بعد جيل واحد من الانتخاب

ويتضح لدى مقارنة الانخاب قبل الإزهار بالانتخاب بعده – أن مقدار الانخفاض فى نسبه الاليل غير المرغوب فيه كان ٦ ٠ ٣٧٥ ٠ = ٢٢٥ ٠ عندما أجرى لانتخاب قبل الإزهار، بينما كان ٦ ٠ ٤٨٧٥ ٠ = ١١٢٥ ٠ عندما أجرى الانتخاب بعد الإزهار أى إن فاعلية الانتخاب قبل الإزهار كانت ضعف فاعلية الانتخاب بعد لإزهار

تطبيقات القانون فى الانتخاب فى النباتات الخلطية التلقيح

يؤثر الانتخاب لصفة ما على توازن هاردى/فينبرج فى عشائر النباتات الخلطية التلقيح، وذلك على النحو التالى

أولاً: حالة السيادة التامة مع الانتخاب ضد الأفراد المتنحية الأصيلة

سبقت مناقشة هذا الموضوع تحت العنوان السابق، ونوضح الآن كيفية تأثير عمليه الانتخاب على توازن هاردى/فينبرج، مقارنة بحالات الانتخاب الأخرى

اذا كانت النسب الأولية للآليلين A_1، و A_2 (وهما آليلان للجين A) فى العشيره هى p، و q على التوالى، وكانت A_1 سائدة على A_2، وكان معامل الانتخاب coefficient of election ضد الأفراد المتنحيه الأصيلة A_2A_2 هو s، فإنه يمكن الحصول على مساهمة كل تركيب وراثى بعد إجراء عملية الانتخاب – فى إنتاج الجاميطات اللازمة لتكوين الجيل التالى بضرب النسبة الأولية لكل تركيب وراثى فى قيمة التوافق fitness الخاصة به بعد الانتخاب، كما يلى.

	التركيب الوراثى			
	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2	المجموع
النسبه الأولية	p^2	2pq	q^2	1
قيمة التوافق fitness	1	1	1-s	
المساهمة النسبية فى إنتاج الجاميطات	p^2	2pq	$q^2(1-s)$	$1-sq^2$

يلاحظ أن مجموع مساهمات التراكيب الوراثية فى إنتاج الجاميطات اللازمة لتكوين الجيل التالى لا يساوى الواحد الصحيح، بسبب حدوث فقدان قدره sq^2، نتيجة لإجراء عملية الانتخاب التى استبعدت فيها الأفراد المتنحية الأصيلة، وعليه فإنه يحصل على نسبة الآليل A_2 فى الجيل التالى (بعد إجراء عملية الانتخاب ضد الأفراد ذات التركيب الوراثى A_2A_2 بقسمة حاصل جمع مساهمة التركيب الوراثى A_2A_2 ونصف مساهمة التركيب الوراثى A_1A_2 على المجموع الجديد لمساهمات مختلف التراكيب الوراثية فى إنتاج الجاميطات (وهو $1-sq^2$) كما يلى

$$q_1 = q^2 (1 - s) + pq / 1-sq^2$$

ويحسب التغير فى نسبة الآليل q(أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب كما يلى

$$\begin{aligned}\Delta q &= q_1 - q \\ &= [q^2 (1 - s) + pq / 1-sq^2] - q \\ &= -sq^2 (1 - q) / 1 - sq^2\end{aligned}$$

ويعنى ذلك أن تأثير الانتخاب على نسب الجينات لا يعتمد على شدة الانتخاب (s) فقط، وإنما يعتمد – كذلك – على النسبة الأولية للجينات

ثانياً: حالة السيادة التامة مع الانتخاب ضد الأفراد السائدة

يعنى إجراء الانتخاب ضد الأفراد السائده أن قيمة التوافق تصبح 1-s لكل من التركيبين الوراثيين A_1A_1، و A_2A_2 وعندما يكون الانتخاب تامًا – أى عندما تكون قيمة (s) واحدًا صحيحًا – فإن التغير فى نسبة الآليل q (أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب يصبح كما يلى:

$$\Delta q = 1 - q$$

أى إنه لو سمح للأفراد ذات التركيب الوراثى المتنحى الأصيل فقط بالتكاثر فإن نسبة الآليل المتنحى تصبح واحدا صحيحًا بعد جيل واحد من الانتخاب

ثالثاً: حالة السيادة غير التامة

عندما يكون الفرد الخليط A_1A_2 وسطًا بين الأفراد الأصيله فإن قيمة التوافق تصبح

1-½ s للأفراد ذوى التركيب الوراثى A_1A_2، و 1-s للأفراد التى يجرى الانتخاب صدها، بينما تبقى قيمة التوافق واحدا صحيحا بالنسبة للأفراد التى تحمل التركيب الوراثى المرغوب

رابعاً: حالة الانتخاب لصالح الأفراد الخليطة

تنتخب الأفراد الخليطة A_1A_2 فى حالات السيادة الفائقة Overdominance وبينما تكون قيمة التوافق واحدا صحيحا بالنسبة للأفراد الخليطة فإنها تصبح (1-s_1)، و (1-s_2) للتركيبين الأصيلين A_1A_1، و A_2A_2 على التوالى

ويبين جدول (١٢ ٦) التغير فى نسبة الآليل q (أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب فى حالات السيادة المختلفة التى سبق بيانها (عن Falconer ١٩٨١)

جدول (١٢-٦) التغير فى نسبة الآليل q (أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب فى حالات السيادة المختلفة

حالة السيادة	الآليلات أو التراكيب الوراثية المستبعدة	التراكيب الوراثية ونسبها الأولية: A_1A_1 p^2	A_1A_2 $2pq$	A_2A_2 q^2	التغير فى نسبة الآليل A_2 (أو Δq)
		قيمة التوافق			
لا توجد سيادة	A_2	1	1 - ½ s	1 - s	$-\frac{½ sq(1-q)}{1-sq}$
السيادة تامة	A_2A_2	1	1	1 - s	$-\frac{sq^2(1-q)}{1-sq^2}$
السيادة تامة	A_1	1 - s	1 - s	1	$+\frac{sq^2(1-q)}{1-s(1-q^2)}$
يوجد تفوق	A_1A_1، و A_2A_2	1 - s_1	1	1 - s_2	$+\frac{pq(s_1p - s_2q)}{1 - s_1p^2 s_2q^2}$

(أ) يمكن إهمال المقام إذا كانت قيمة (s) صغيرة، ويعتبر البسط – حينئذ – مماثلاً لـ Δq.

تأثير النسب الأولية للآليلات فى كفاءة عملية الانتخاب

يوضح شكل (١٢-٣) مدى التغير فى نسبة الآليل مع الانتخاب (أو Δq)، عند اختلاف نسبته الأولية، مع معامل انتخاب (s) قيمته ٠,٢، وهى القيمة الشائعة - غالبًا - بالنسبة للصفات الكمية بمثل المنحنيان العلويان العلاقة فى حالة غياب السيادة، بينما يمثلها المنحنيان السفليان فى حالة السيادة التامة وبينما تعنى علامة (+) أن الانتخاب لصالح الآليل ذى النسبة الأولية q . فإن علامة (-) تعنى أن الانتخاب ضد هذا الآليل.

يتضح من الشكل ما يلى

١ - يكون الانتخاب أكثر فاعلية عندما تكون نسبة الآليلات وسطية، وتقل كفاءته - تدريجيًا - بزيادة قيمة q أو نقصها

٢ - يكون الانتخاب قليل الفاعلية ضد الآليلات المتنحية، عندما تكون نسبها منخفضه فى العشيرة

ويمكن التعبير عن التغير فى نسبة الآليلات مع الانتخاب، ببيان العلاقة بين نسبة الآليلات وأجيال الانتخاب كما فى شكل (١٢-٤)، وهو الذى يمكن إعداده من شكل (١٢-٣)، الذى بنى على أساس أن معامل الانتخاب s قيمته ٠,٢ ويمثل السكلان العلويان التغير فى نسبة الآليل (q) مع الانتخاب، بينما يمثل الشكلان السفليان التغير فى نسبة التركيب الوراثى الأصيل (q^2) مع الانتخاب وبينما تعنى العلامة (+) أن الانتخاب لصالح الآليل ذى النسبة الأولية (q) فإن علامة (-) تعنى أن الانتخاب ضد هذا الآيل، لذا . فإن قيمة q أو (q^2) تزداد فى الحالة الأولى وتقل فى الحالة الثانية

يتضح من الشكل أن التغير فى نسبة الآليلات، أو فى نسبة التراكيب الوراثية يكون بطيئًا للغاية فى بداية عملية الانتخاب عندما تكون هذه النسب منخفضة جدًا أو مرتفعة جدًا ابتداء، ولكن معدل التغير يزداد فى الحالات الوسطية لهذه النسب، ثم ينخفض مرة أخرى بالقرب من نهاية عملية الانتخاب.

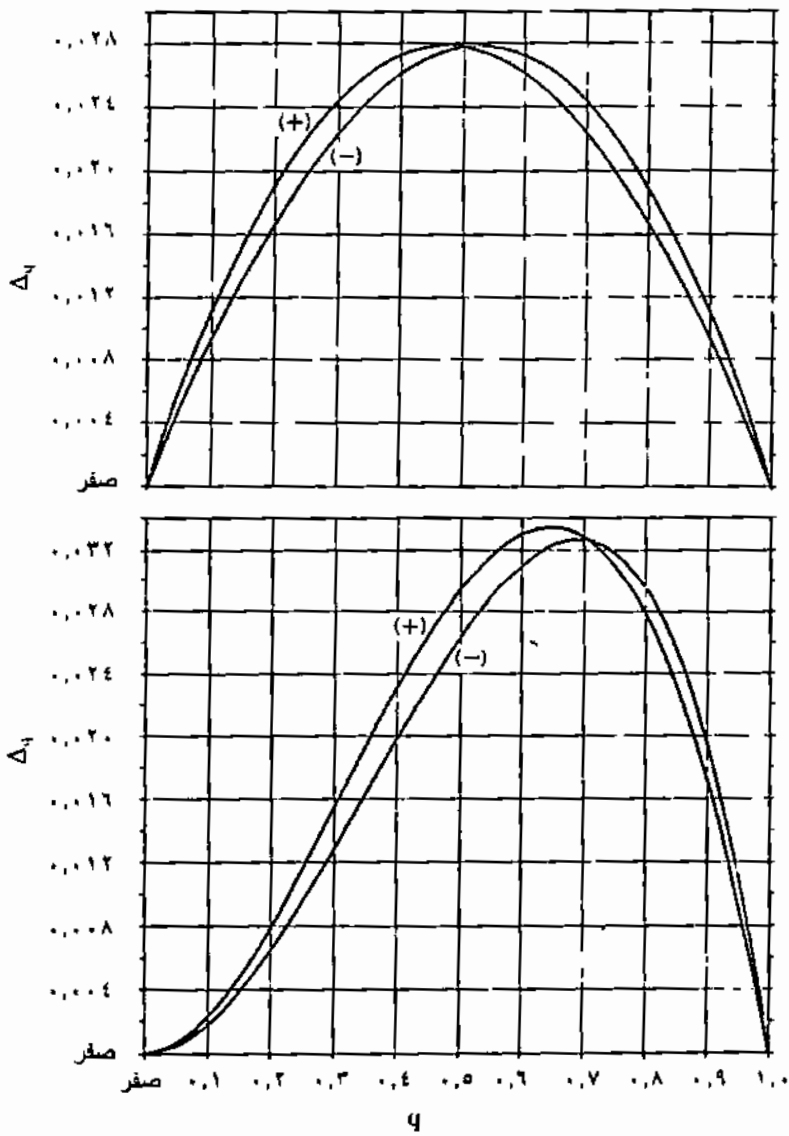
وكما سبق بيانه فى جدول (١٢-٢) فإنه يمكن الاستغناء عن المقام فى معادلات حساب قيمة Δq حينما تكون قيمة s أو q صغيرة جدًا نظرًا لأنه يكون قريبًا جدًا من الواحد الصحيح، وتحسب قيمة Δq حينئذ بالمعادلات التالية

١ في حالة غياب السيادة تصبح المعادلة

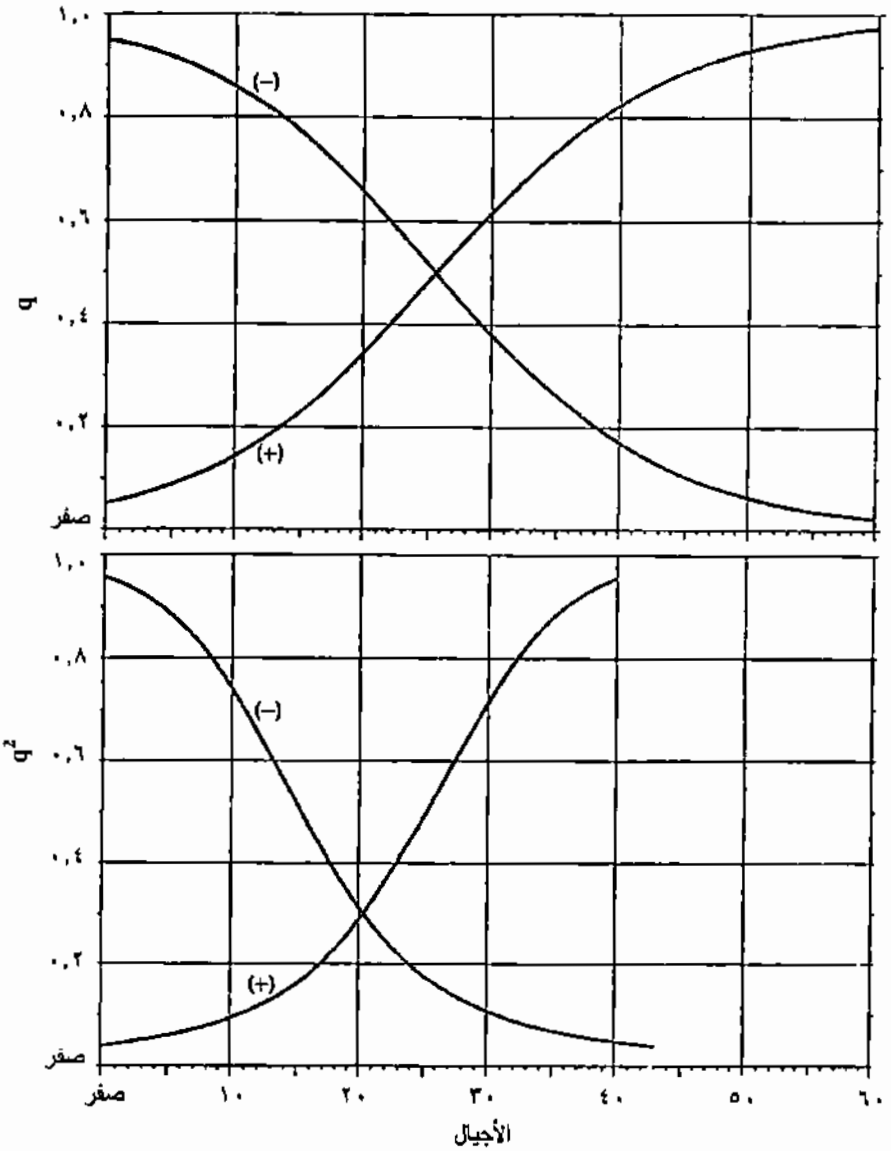
$$\Delta q = +1.0\ q(1-q)$$

٢ في حالة السيادة التامة تصبح المعادلة

$$\Delta q = +0.5\ q(1-q)$$



شكل (١٢-٣) العلاقة بين النسبة الأولية للأليل (q)، والتغير في نسبته (Δq) عند الانتخاب، مع معامل انتخاب (s) تبع قيمته ٠,٢ يراجع المتن للتفاصيل



شكل (١٢-٤): التغير فى نسبة الآليل (q) وفى نسبة التركيب الوراثى المتحى الأصيل (q^2) مع الانتخاب، مع معامل انتخاب (s) تبلغ قيمته ٠,٢ يراجع المتن للتفاصيل (عن Falconer ١٩٨١).

ويظهر تأثير التغير فى نسب الجينات على حجم العشيرة الأصلية، وفرص تمثيل

كل الآليلات المرغوب فيها في جدولي (١٢ ٧)، و (١٢ ٨) إن نسب الأفراد التي تحتوي على واحد على الأقل من الآليلات المرغوب فيها (بالمعادلة $[1-(1-p)^2]$ من جدول (٢ ١)] تُظهر أنه مع زيادة نسب الآليلات المرغوب فيها (p) تزداد التراكيب الوراثية التي تحتوي على تلك الآليلات وعند معدل متوسط للنسبة بحيث (p = ٠ ٥) فإن ٢٣ ٧ فقط من الأفراد يكون بها آليل واحد على الأقل – مرغوبا فيه عند كل من المواقع الجينية الخمسة، ولكن مع زيادة p إلى ٠ ٨ فإن نسبة تلك الأفراد تزداد إلى ٨١ ٥.

يتبين مما تقدم أنه مع سبب حجم العشيرة فإن الزيادة في نسبة الآليلات المرغوب فيها توفر احتمالا أكبر من النباتات التي تحتوي على الجينات المرغوب فيها في كل المواقع وفي مقابل ذلك مع الزيادة في نسبة الجينات قد تكفي عشيرة أصغر حجما لإنتاج أفراد تحمل آليلات مرغوب فيها عند كل المواقع الجينية (عن Chah I & Gou ٢٠٠٢)

جدول (١٢ ٧) عدد النباتات التي يتوقع أن تحمل آليلا واحد مرغوبا فيه من كل ١٠٠٠ نبات

P	لكل ١٠٠٠ نبات في n من المواقع الجينية			
	٥	١٠	٢٠	٤٠
٠ ٢	٦	—	--	
٠ ٥	٢٣٧	٥٦	٣	--
٠ ٦	٤١٨	١٧٥	٣٠	١
٠,٧	٦٢٤	٣٨٩	١٥٢	٢٣
٠ ٨	٨١٥	٦٦٥	٤٤٢	١٩٥
٠ ٩	٩٥١	٩٠٤	٨١٧	٦٦٧
٠ ٩٥	٩٨١	٩٧٥	٩٥١	٩٠٤

عدد أجيال الانتخاب اللازمة لإحداث التغيير المطلوب

يُطرح هذا السؤال غالبا - في برامج التربية - عن عدد الأجيال اللازمة من الانتخاب لإحداث التغيير المطلوب في نسبة الآليل غير المرغوب فيه في العشيرة ؟

جدول (١٢-٨): عدد النباتات التى يتوقع أن تكون أصيلة فى الجين المرغوب فيه من كل ١٠٠٠ نبات.

P	لكل ١٠٠٠ نبات فى n من المواقع الجينية			
	٥	١٠	٢٠	٤٠
٠,٤٥	—	—	—	—
٠,٥٠	١	—	—	—
٠,٥٥	٣	—	—	—
٠,٦٠	٦	—	—	—
٠,٦٥	١٣	—	—	—
٠,٧٠	٢٨	١	—	—
٠,٧٥	٥٦	٣	—	—
٠,٨٠	١٠٧	١٢	—	—
٠,٩٠	٣٤٩	١٢٢	١٥	—

تتوقف الإجابة على هذا السؤال على أربعة أمور، هى.

حالة السيادة

يتم اختيار المعادلة المناسبة لكل حالة من حالات السيادة – كما سبق بيانه – ففى حالة استبعاد النباتات المتنحية الأصيلة .. تكون المعادلة المناسبة كما يلى.

$$q_1 = q^2 (1 - s) + pq / 1 - sq^2$$

وهى المعادلة التى تحدد نسبة الآليل المتنحى بعد جيل واحد من الانتخاب ضده

شدة الانتخاب

يتوقف عدد الأجيال اللازمة لإحداث التغيير المطلوب على شدة الانتخاب، وهى التى تتوقف على درجة توريث الصفة، فلو فرض أن استبعدت جميع النباتات المتنحية الأصيلة (أى كانت s = ١) – كما هى الحال فى حالات الانتخاب الطبيعى ضد الطفرات المتنحية الميتة، وكما يحدث فى برامج التربية عند الانتخاب ضد الصفات المتنحية غير المرغوبة – فإن المعادلة السابقة تصبح كما يلى:

$$q_1 = q / 1 + q$$

وباستعمال الرموز q_0، و q_1، و q_2، و q_t لنسبة الآليل المتنحى بعد صفر، و ١، و ٢، و t جيل من الانتخاب ضده فإنه يمكن التوصل إلى المعادلات التالية

$$q_1 = q_0 / 1 + q_0$$

$$q_2 = q_1 / 1 + q_1 = q_0 / 1 + q_0$$

$$q_t = q_0 / 1 + tq_0$$

ويصبح بالتالى – عدد الأجيال (t) اللازمة لتغيير نسبة الآليل من q_0 إلى q_t كما يلى (عن Falconer ١٩٨١)

$$t = q_t - q_t / q_0 q_t$$

$$= (1 / q_t) - (1 / q_0)$$

النسبة الأصيلة للآليل (أو q_0)

يكون التغير فى نسب الآليلات مع الانتخاب منخفضًا للغاية. عندما تكون نسبة الآليل منخفضة أو مرتفعة أصلا كما سبق أن أوضحنا، ففى حالة استبعاد جميع النباتات المتنحية الأصيلة (كما فى المثال السابق) فإن يلزم ١٢ جيلا لزيادة نسبة الآليل السائد من ٠,٩ إلى ٠,٩٥ بينما يلزم ٣٢ جيلاً أخرى لزيادة نسبته من ٠,٩٥ إلى ٠,٩٨ وإذا فرض أن معامل الانتخاب s كان ٠,٢ وهو ما يحدث عندما تكون درجة التوريث منخفضة فإنه يلزم فى هذه الحالة ٥٤ جيلاً لزيادة نسبة الآليل السائد من ٠,٩ إلى ٠,٩٥، و ١٥٥ جيلا لزيادة نسبته من ٠,٩٥ إلى ٠,٩٨، هذا بفرض عدم ظهور الاليل غير المرغوب كطفرة أثناء إجراء عملية الانتخاب

عدد الصفات التى ينتخب لها المربى

يؤثر عدد الصفات التى ينتخب لها المربى على شدة الانتخاب الممكنة، حيث تقل شدة الانتخاب مع كل زيادة فى عدد الصفات. فلو أن المطلوب هو انتخاب أفضل ٥ من النباتات فى عشيرة مكونة من ١٠٠٠ نبات مثلا لأمكن – فعلاً – إجراء الانتخاب على أفضل ٥٪ من النباتات فى هذه الصفة. ولكن شدة الانتخاب تخف حدتها مع زيادة عدد الصفات التى ينتخب لها المربى، حيث يلزم – حينئذ – إجراء الانتخاب على أفضل ٣٢٪، و ٣٧٪، و ٥٥٪، و ٧٤٪ من النباتات عند الانتخاب لصفتين،

وثلاث، وخمس، وعشر صفات على التوالى، بفرض تساوى شدة الانتخاب بالنسبة لجميع الصفات المنتخبة؛ وذلك حسب المعادلة التالية:

النسبة المئوية لأفضل النباتات التى يجب الإبقاء عليها = $\sqrt[ن]{س} \times ١٠٠$

حيث إن:

ن = عدد الصفات المنتخبة.

س = نسبة الأفراد التى يجب الإبقاء عليها للمحافظة على حجم العشيرة (٥٪ فى المثال السابق؛ عن Allard ١٩٦٤).