جدول (١٢-٤): تأثير جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى على عشيرة فى حالة توازن (AA = ٠,٣٦، و Aa = ٠,٤٨، و aa = ٠,١٦).

العشيرة الأصلية		نسب التراكيب الوراثية فى النسل بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى		
نوع التزاوج	النسبة	AA	Aa	aa
AA x AA	(٠,٣٦ × ٠,٣٦) = ٠,١٢٩٦	٠,١٢٩٦	صفر	صفر
AA x Aa	٢(٠,٣٦ × ٠,٤٨) = ٠,٣٤٥٦	٠,١٧٢٨	٠,١٧٢٨	صفر
AA x aa	٢(٠,٣٦ × ٠,١٦) = ٠,١١٥٢	صفر	٠,١١٥٢	صفر
Aa x Aa	(٠,٤٨ × ٠,٤٨) = ٠,٢٣٠٤	٠,٠٥٧٦	٠,١١٥٢	٠,٠٥٧٦
Aa x aa	٢(٠,٤٨ × ٠,١٦) = ٠,١٥٣٦	صفر	٠,٠٧٦٨	٠,٠٧٦٨
aa x aa	(٠,١٦ × ٠,١٦) = ٠,٠٢٥٦	صفر	صفر	٠,٠٢٥٦
المجموع	١,٠	٠,٣٦	٠,٤٨	٠,١٦

التراكيب الوراثية	P	P′
AA	٠,٣٦	٠,٣٦
Aa	٠,٤٨	٠,٤٨
aa	٠,١٦	٠,١٦

وتصل أية عشيرة إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى، وتظل على حالة التوازن هذه ما دامت شروط القانون قد تحققت.

وسواء وجدت ثلاثة آليلات أم أكثر من كل جين .. فإن اهتمام المربى يكون منصبا على آليل واحد منها وينظر إلى بقية الآليلات مجتمعة كآليل ثان وبذا يستمر استعمال القانون بنفس طريقة استعماله عند وجود آليلين فقط للجين.

هذا .. ويستفاد من قانون هاردى/فينبرج فى مجال تربية النبات فى عديد من الأوجه التى تتعلق بدراسة العشائر، والفعل الجينى، وتحسين الصفات الكمية.

تأثير الطفرات على توازن هاردى/فينبرج

تؤثر الطفرات على التوازن الذى تصل إليه الآليلات فى العشيرة بعد تحسينها

بالانتخاب، ولكن يتوقف مدى هذا التأثير على ما إذا كانت هذه الطفرات نادرة الحدوث، أم أنه يتكرر حدوثها باستمرار؛ فالطفرات النادرة الحدوث non-recurrent mutations لا يكون لها تأثير يذكر على نسبة الآليلات فى العشيرة؛ لأن فرصتها فى البقاء تكون ضئيلة للغاية، إلا إذا كانت قدرتها على البقاء أكبر من الصور الأخرى (الآليلات الأخرى) لنفس الجين فلو أن العشيرة كلها كانت ذات تركيب وراثى A_1A_1، وحدثت طفرة فى أحد الأفراد إلى A_2 فإن فرصة الفرد المطفر A_1A_2 فى التزاوج تكون ضئيلة جدًا، وإن لم يأخذ فرصته . فإن الطفرة تنقرض، وتعود العشيرة برمتها إلى التركيب الوراثى A_1A_1 كما كانت، لذا فإن هذه الطفرات لا تحدث أى تغير فى نسب الآليلات فى العشيرة، إلا إذا كان الانتخاب لصالحها

ويختلف الأمر مع الطفرات التى يتكرر حدوثها recurrent mutations؛ لأنها لا تفقد أبداً من العشيرة؛ بسبب تكرر حدوثها بانتظام. فإذا فرض وجود آليل A_1، وأنه يطفر بانتظام إلى الآليل A_2؛ بمعدل قدرة "u" فى كل جيل، وإذا كانت نسبة A_1 فى جيل ما هى p_o فإن نسبة الآليل A_2 فى الجيل التالى تكون up_o، وتصبح نسبة الآليل A1 كما يلى

$$A_1 = p_o - up_o$$

ويكون التغير فى نسبة الجين قدره: $(-up_o)$.

أما إذا حدثت الطفرة فى كلا الاتجاهين، وبفرض وجود آليلين فقط للجين هما A_1، و A_2، وأن نسبتيهما الأولية p_o، و q_o على التوالى، وأن A_1 يطفر إلى A_2، بمعدل قدره u فى كل جيل، بينما يطفر A_2 إلى A_1 بمعدل قدره v فى كل جيل . فإن نسبة الآليل A_2 تزيد فى كل جيل بمقدار up_o؛ بسبب الطفرة فى هذا الاتجاه، وتقل بمقدار vq_o بسبب الطفرة فى الاتجاه الآخر؛ وبذا .. يصبح التغير فى نسبة الآليلات (Δq) بعد جيل واحد كما يلى:

$$\Delta_q = up_o - vq_o$$

يستمر هذا التغير فى نسبة الآليلات إلى أن يصل الآليلان إلى حالة توازن بينهما، وهى التى يتساوى عندها up مع vq؛ ذلك لأن زيادة نسبة أحد الآليلين – تدريجيًّا –

بسبب الطفرات .. تعنى تبقى نسبة أقل من الآليل الآخر الذى تحدث فيه الطفرة فى هذا الاتجاه، فى الوقت الذى تتوفر فيه نسبه أعلى من الآليل الذى تحدث فيه طفرة فى الاتجاه المضاد. ونجد عند التوازن أن Δq تساوى صفرًا.

هذا وتتراوح نسبة الطفرات فى الطبيعة – بوجه عام – من $١٠^{-٨}$ إلى $١٠^{-٤}$ فى الجيل الواحد. وتعد هذه النسبة ضئيلة جدًا وبرغم أنها قد تؤثر فى تطور الأنواع على المدى البعيد . إلا أنها لا تؤثر فى نسبة الآليلات بشكل ملحوظ يمكن قياسه.

وتدل الحالات المشاهدة على أن معدل حدوث الطفرات من الطرز البرية wild types إلى الطرز المطفرة mutant types يكون ١٠ أضعاف المعدل فى الاتجاه العكسى؛ وبذا .. فإن نسبة الآليلين عند وصولهما إلى حالة التوازن تكون ٠,١ للطرز البرية، و ٠,٩ لطرز الطفرات؛ أى إن الطفرات تكون هى الآليلات الشائعة فى العشائر الطبيعية. كما تجدر الإشارة إلى أن أى تغير فى معدل حدوث الطفرات – مثل زيادة جرعة التعرض للإشعاعات – لا يؤثر فى حالة التوازن مادام التغير واحدًا فى كلا اتجاهى الطفور

تأثير الهجرة إلى العشيرة فى توازن هاردى/فينبرج

تؤثر الهجرة migration إلى العشيرة على حالة التوازن الذى تصل إليه الآليلات فى العشيرة بعد تحسينها، ويتوقف مدى هذه التأثير على معدل الهجرة، وعلى الفرق بين نسبة الآليل فى الأفراد المهاجرة والأفراد الأصلية.

فقد فرض أن كانت نسبة الأفراد المهاجرة إلى عشيرة كبيرة فى الحجم هى m ونسبه الأفراد الأصلية (1-m)، وأن نسبة آليل ما هى q_m بين الأفراد المهاجرة، و q_o بين الأفراد الأصلية، فإن نسبة الآليل فى العشيرة المختلطة (q_1) تصبح كما يلى.

$$q_1 = mq_m + (1-m)\, q_o$$
$$= m\,(q_m - q_o) + q_o$$

ويصبح التغير فى نسبة الآليل (Δq) بعد جيل واحد من الهجرة كما يلى:

$$\Delta_q = q_1 - q_o$$
$$= m\,(q_m - q_o)$$