وهذا التكرار الجيني ينتج منه تكرار للتراكيب الوراثية مقداره (0.25AA + 0.50Aa + 0.25aa) أي تكرار التراكيب الوراثية نفسه السابق ذكره في العشيرة. وعلى ذلك يمكن القول أن تكرار التراكيب الوراثية في العشيرة وصل إلى حالة الاتزان لهاردي وينبرج بعد جيل من التزاوج العشوائي وسيظل هكذا، طالما أن التلقيح عشوائي وتكرار الجين لم يتغير.

**(١, ٦, ٣) طرق اختبار الاتزان في العشائر الحيوانية التي يحكمها زوج واحد من الجينات الجسمية وأثر الجين تجمعيا**

ورد عن Falconer في كتابه (Falconer, 1989) عدة طرق لاختبار حالة الاتزان في العشائر نذكر منها الآتي :

١- إذا كان ناتج عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa ÷ الجذر التربيعي لحاصل ضرب [(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي السائد AA) × (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي المتنحي aa)] يساوي ٢ كانت العشيرة متزنة، وعكس ذلك تكون العشيرة في حالة عدم اتزان. أي أن :

$$\frac{Aa}{\sqrt{(AA)(aa)}} = 2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٣, ١٠)$$

٢- إذا تساوي الناتج في طرفي المعادلة التي تنص على أن مربع عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa = ٤ × (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي السائد AA)×(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي المتنحي aa) كانت العشيرة متزنة، وعكس ذلك تكون العشيرة في حالة عدم اتزان. أي أن :

$$(Aa)^2 = 4[(AA)(aa)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٣, ١١)$$

٣- يحسب تكرار التراكيب الوراثية المتوقعة ومنها تحسب عدد الأفراد المتوقعة مقابل كل تركيب وراثي كما هو موضح في الجدول رقم (٣, ٣)، فإذا تساوت الأعداد الفعلية مع الأعداد المتوقعة لكل تركيب وراثي كانت العشيرة متزنة، وعكس ذلك تكون العشيرة في حالة عدم اتزان.

**الجدول رقم (٣, ٣). كيفية حساب تكرار التراكيب الوراثية المتوقع وعدد الأفراد المتوقع لاختبار الاتزان بالعشيرة**

| التراكيب الوراثية | عدد الأفراد الفعلي (n) | تكرار التراكيب الوراثية الفعلي | تكرار التراكيب الوراثية المتوقع | عدد الأفراد المتوقع ($E_n$) |
|---|---|---|---|---|
| AA | $n_1$ | $n_1/N$ | $P^2$ | $En_1 = P^2N$ |
| Aa | $n_2$ | $n_2/N$ | 2pq | $En_2 = 2PqN$ |
| aa | $n_3$ | $n_3/N$ | $q^2$ | $En_3 = q^2N$ |
| **Total** | N | 1.0 | 1.0 | N |

فإذا كانت من $n_1=En_1$, $n_2=En_2$, $n_3=En_3$ كانت العشيرة متزنة، أما إذا كانت $n_1 \neq En_1$ ، $n_2 \neq En_2$ ، $n_3 \neq E\,n_3$ كانت العشيرة غير متزنة.

٤- يقارن نسبة الخليط المحسوبة بعد التزاوج العشوائي بالقيمة **2pq** بالعشيرة الأصلية فإذا كانت نسبة الخليط المحسوبة مساوية لهذه القيمة فإن العشيرة تكون في حالة اتزان. هذا وقد وجد في المثال السابق أن نسبة التراكيب الوراثية الخليطة في العشيرة المتزنة لا تتعدى عن ٥٠٪ ، أي أن 2pq= 0.5 وعادة تصل نسبة التراكيب الوراثية الخليطة ٥٠٪ عندما يكون تكرار الجين يساوي ٥ , ٠ أي أن :

$$P = q = 0.5$$

$$\therefore\ 2pq = 2(0.5)(0.5) = 0.5$$

## (٣, ٦, ٢) أمثلة محلولة لاختبار الاتزان في العشيرة التي يحكمها زوج واحد من الجينات الجسمية وأثر الجين تجمعيا

**مثال محلول رقم (١)** : اختبر حالة الاتزان في العشيرتين التاليتين :

| التراكيب الوراثية | AA | Aa | aa | Total |
|---|---|---|---|---|
| عدد الأفراد في العشيرة الأولى | 432 | 576 | 192 | 1200 |
| عدد الأفراد في العشيرة الثانية | 552 | 336 | 312 | 1200 |

**الحل**

**١ – اختبار الاتزان بالعشيرة الأولى**

أ ) ناتج عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa ÷ الجذر التربيعي لحاصل ضرب [(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA ) × (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa)] يساوي ٢ ومن ثم فالعشيرة متزنة :

$$\frac{Aa}{\sqrt{(AA)(aa)}} = 2$$

$$\therefore \frac{576}{\sqrt{(432)(192)}} = 2$$

ب) مربع عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa = ٤(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA) (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa) ومن ثم فالعشيرة متزنة :

$$\because (Aa)^2 = 4[(AA)(aa)]$$

$$\therefore (576)^2 = 4[(432)(192)]$$

$$\therefore 331776 = 331776$$

جـ) تساوت الأعداد الفعلية مع الأعداد المتوقعة لكل تركيب وراثي ومن ثم كانت العشيرة متزنة :

تكرار الجين : $p = (432+288)/1200 = 0.6$ A

تكرار الجين : $q = 0.4$ a

وتحسب الأعداد المتوقعة على النحو التالي :

| التراكيب الوراثية | عدد الأفراد الفعلي (n) | تكرار التراكيب الوراثية الفعلي | تكرار التراكيب الوراثية المتوقع | عدد الأفراد المتوقع ($E_n$) |
|---|---|---|---|---|
| AA | $n_1 = 432$ | 432 ÷ 1200=0.36 | $P^2=(0.6)^2= 0.36$ | $En_1 = 0.36(1200) = 432$ |
| Aa | $n_2=576$ | 576 ÷ 1200=0.48 | $2pq= 2(0.6)(0.4) = 0.48$ | $En_2= 0.48(1200) = 576$ |
| aa | $n_3=192$ | 192 ÷ 1200=0.16 | $q^2=(0.4)^2= 0.16$ | $En_3= 0.16(1200) = 192$ |
| **Total** | N =1200 | 1.0 | 1.0 | N=1200 |

د ) تقارن نسبة الخليط المحسوبة بالقيمة 2pq في العشيرة الأصلية :

نسبة الخليط = ٢(٠ , ٦) (٠ , ٤) = ٠ , ٤٨

وهذه النسبة تساوي القيمة 2pq في العشيرة الأصلية ومن ثم فإن العشيرة متزنة.

يلاحظ من جميع الاختبارات التي أجريت أن العشيرة الأولى في حالة اتزان.

**٢- اختبار الاتزان للعشيرة الثانية**

أ ) ناتج عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa ÷ الجذر التربيعي لحاصل ضرب (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA )(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa) لا يساوي ٢ ومن ثم فالعشيرة غير متزنة :

$$\frac{336}{\sqrt{(552)(312)}} \neq 2$$

ب) مربع عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa لا يساوي ٤(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA) (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa) ومن ثم فالعشيرة غير متزنة:

$$(336)^2 = 4(522)(312)$$

$$\therefore \quad 112896 \neq 68889$$

جـ) استخدام جدول مربع كاي :

تكرار الجين A : $p = (522+168)/1200 = 0.6$

تكرار الجين a : $q = 0.4$

وتحسب الأعداد المتوقعة على النحو التالي :

| التراكيب الوراثية | عدد الأفراد الفعلي (n) | تكرار التراكيب الوراثية الفعلي | تكرار التراكيب الوراثية المتوقع | عدد الأفراد المتوقع ($E_n$) |
|---|---|---|---|---|
| AA | $n_1$= 552 | 552 ÷ 1200= 0.46 | $P^2=(0.6)^2$ = 0.36 | $En_1$ = 0.36(1200) = 432 |
| Aa | $n_2$= 336 | 336 ÷ 1200= 0.28 | 2pq= (0.6)(0.4) = 0.48 | $En_2$= 0.48(1200) = 576 |
| aa | $n_3$= 312 | 312 ÷ 1200= 0.26 | $q^2=(0.4)^2$= 0.16 | $En_3$= 0.16(1200) = 192 |
| Total | N = 1200 | 1.0 | 1.0 | N= 1200 |

يلاحظ أن :

- عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa ÷ الجذر التربيعي لحاصل ضرب (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA)(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa ≠٢).
- مربع عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa لا يساوي ٤( عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA)(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa)
- $n_3 \neq En_3$ , $n_2 \neq En_2$ , $n_1 \neq En_1$
- نسبة الخليط وهي ٢(٦ , ٠)(٤ , ٠) = ٤٨ , ٠ لا تساوي القيمة 2pq في العشيرة الأصلية لذلك فالعشيرة الثانية ليست في حالة اتزان.

**مثال محلول رقم (٢)** : في قطيع من أبقار الشورتهورن وجدت الأعداد التالية طبقا للون الشعر فهل هذه العشيرة متزنة أم لا؟

| WW | Ww | ww | Total |
|---|---|---|---|
| 160 | 480 | 360 | 1000 |

$$p = \frac{160 + \frac{1}{2}(480)}{1000} = 0.4$$

$$q = 1-P = 0.6$$

وبما أن نسبة الخليط يمكن حسابها كالآتي :

$$2pq = 2(0.4)(0.6) = 0.48$$

وهذه القيمة مساوية لنسبة التركيب الوراثي الخليط، ومن ثم فإن العشيرة متزنة.

**مثال محلول رقم (٣)** : هل العشيرة التالية في حالة اتزان أم لا ؟

| التراكيب الوراثية | AA | Aa | aa | Total |
|---|---|---|---|---|
| عدد الأفراد في العشيرة | 30 | 20 | 50 | 100 |
| نسبة الأفراد في العشيرة | 0.3 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |

$p = [30+½(20)]/100=0.4$ $\therefore q= 1-p= 0.6$

ونسبة الخليط المحسوبة هي $2pq = 2(0.4)(0.6) = 0.48$

وبما أن نسبة التركيب الوراثي الخليط بالعشيرة الأصلية يساوي ٢ , ٠، إذاً العشيرة ليست في حالة اتزان. متى تصل هذه العشيرة إلى حالة الاتزان ؟ تصل العشيرة إلى حالة الاتزان بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي حيث نحصل على :

| $P^2$ | 2pq | $q^2$ |
|---|---|---|
| 0.16 | 0.48 | 0.36 |

وبالتالي فإن $P = 0.4$، $q = 0.6$ وأن نسبة الخليط المحسوبة تساوي $2pq = 0.48$ أي أن قيمة 2pq تساوي نسبة الخليط المحسوبة وبالتالي وصلت العشيرة إلي حالة الاتزان بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي.

**مثال محلول رقم (٤)** : في قطيع أبقار الشورتهورن السابق ذكره حيث كانت الأعداد المشاهدة طبقا للون الشعر كما يلي :

| أحمر RR | طوبي Rr | أبيض rr | Total |
|---|---|---|---|
| 476 | 438 | 86 | 1000 |

فهل العشيرة متزنة أم لا ؟

**الحل**

يمكن اختبار الاتزان بالعشيرة بأحد الاختبارات التالية :

١ – عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Aa ÷ الجذر التربيعي لحاصل ضرب (عدد أفراد التركيب الوراثي النقي AA)(عدد أفراد التركيب الوراثي النقي aa).

إذا كان الناتج يساوي ٢ كانت العشيرة متزنة وعكس ذلك لا تكون العشيرة متزنة وفى مثالنا هذا نجد أن :

$$\frac{438}{\sqrt{(476)(86)}} = 2.16 \neq 2$$

إذاً العشيرة غير متزنة.

٢- مربع عدد أفراد التركيب الوراثي الخليط Rr = ٤ ( عدد أفراد التركيب الوراثي النقي RR) ( عدد أفراد التركيب الوراثي النقي rr) فإذا تساوي الناتج في طرفي المعادلة كانت العشيرة متزنة وعكس ذلك تكون العشيرة في حالة عدم اتزان. وفى مثالنا هذا يلاحظ أن :

$$(438)^2 = 4(476)(86)$$

$$\therefore 191844 \neq 163744$$

٣- إذا تساوت الأعداد المشاهدة مع الأعداد المتوقعة لكل تركيب وراثي كانت العشيرة متزنة وعكس ذلك لا تكون العشيرة متزنة. ومن جدول مربع كاي السابق ذكره في اختبار عشوائية التزاوج في العشيرة نشاهد أن عدد الأفراد المتوقع لكل تركيب وراثي لا يساوي الأعداد المشاهدة لكل تركيب مناظر ومن ثم فإن العشيرة غير متزنة.

٤- نسبة الخليط المحسوبة لا تساوي قيمة 2pq بالعشيرة الأصلية ومن ثم فإن العشيرة غير متزنة. وفي مثالنا نجد أن :

$$p = 0.695 \qquad q = 0.305$$

$$2pq = 2(0.695)(0.305) = 0.424 \neq 0.438$$