

الباب الرابع عشر

وراثة العشائر

Genes in Populations

يعتبر كثير من العلماء أن نظرية داروين التطور (١٨٥٩) هي القوة المحركة لتطوير علم الوراثة نفسه فمثلاً درس كل من بانسون ودى فريزر Bateson & DeVris التوارث لاهتمامهم المبدئى بشئون التطور . ولكن عندما اكتشفت قوانين مندل للتوارث عام ١٩٠٠ فلقد اعتقد كثير من العلماء بأن الأساسيات المنديلية لا تستطيع أن تفسر تلك التغيرات الصغيرة أو البسيطة فى العشائر الحيوية . ثم وجدنا بعد ذلك أن اكتشاف طرق توارث وسلوك الصفات الكمية قد ساعد على استجلاء وتوضيح تلك النقطة .

وحيث أن عملية التطور تعتمد أساساً على التغيرات الحادثة فى التكرار الجينى لعشيرة ما والتي تتزوج فيما بينها اعتباراً فإن تطبيق الأساسيات المنديلية للتوارث للعشائر المتكاثرة جنسياً لابد وأن يعتمد على الفهم الكامل للخطوات التطورية .

ظهر فيما بعد ذلك رأيان للوجود بدأوا فى أول الأمر على أنهما رأيان متعارضان ، ولقد كان لهُذين الرأيين الفضل الكبير لتطور علم وراثه العشائر فيما بعد ذلك عن طريق دراسة تغيرات التكرار الجينى فى هذه العشائر : وأول هذين الرأيين هو ما نادى به أولا جالتون Galton وتلاميذته ثم انتهاء نيلسون ايلي Nelson Ehle (المدرسة البيومترية) . والذي كان له الفضل فى ظهور نظرية الجينات المتعددة فى تفسير توارث وسلوك الصفة الكمية . وعلى أساس هذه النظرية الأخيرة ألا وهى نظرية الجينات المتعددة multiple genes عديد من الجينات مسئولة عن توارث صفة كمية واحدة — فانها قد اوضحت لنا ميكانيكية توارث الاختلافات المظهرية البسيطة بين أفراد الكائنات الحية بالنسبة للصفة الكمية تحت الدراسة .

وثانى هذين الرأيين بدأ منذ نفسه (مدرسة المندلية) ثم استمر بالدراسة بعد ذلك لمعرفة وتحليل تأثير كل من التربية الداخلية inbreeding والتربية الخارجية crossbreeding في العشائر المفتوحة التلقيح . ويرجع الفضل لهذا الرأى الأخير مشتركا مع مبادئ وراثه الصفات الكمية إلى وضع أساس علم وراثه العشائر وأيضا إلى تكوين مفهوم عام لميكانيكية التطور العشوى للعشيرة الحيوية .

ولقد كان يعتقد رجال المدرسة البيومترية في أن دراسة الصفات الكمية واستعمال الطرق الإحصائية المختلفة لتحليل هذه الصفات فان نتيجة هذه الدراسة سوف تؤدى بالتالى الى الوصول الى نظرية عامة لتوارث مثل هذه الصفات . بينما كان يعتقد رجال المدرسة المندلية بأن الأساسيات المندلية لتوارث الصفات المتفارقة سوف يؤدى بالتالى إلى تكوين الأساس العلمى للنظرية العامة للتوارث . وقد يبدو لأول وهلة أن هاتين المدرستين تتعارضان معاً . لكن فى الحقيقة فمنذ العشرينيات الأوائل من هذا القرن فلقد وضح أن هاتين المدرستين أو بالتالى الرأيين لم يكونا متعارضين بل هما فى الحقيقة مكملان لبعضهما البعض أو بمعنى آخر هما وجهان متكاملان لعملة واحدة .

وتعتبر أول بداية لتطبيق الأساسيات المندلية على العشائر المتزاوجة اعتباريا a freely interbreeding population هى تلك التى قام بها يال G.U. Yule عام ١٩٠٢ . ففى هذا العام (١٩٠٢) اقترح يال Yule بأنه إذا ما تركت أفراد عشيرة الجيل الثانى — المنعزلة لزوج واحد من الاليلات (Aa) — تتزوج فيما بينها اعتباريا فان الثلاث تراكيب الوراثية المحتملة ألا وهى AA, Aa, aa لمثل هذا الزوج من الاليلات سوف تظهر بنفس النسب السابقة فى الجيل الثالث وأيضا فى الأجيال المتتالية . أى بمعنى أنه تحت هذه الشروط سوف تكون النسبة الوراثية للتراكيب الوراثية المنعزلة لهذا الزوج ثابتة فى الجيل الثانى وهى نفسها نفس النسبة الوراثية فى الجيل الثالث أو الأجيال المتتالية . أوضح أيضا كاسل W.E. Castle عام ١٩٠٣ أن النسب الوراثية سوف تتغير فى كل جيل وذلك فى حالة ما إذا ترك التركيب الوراثى aa بدون تزواج أو إذا ما استعد من جيل الآباء . ومن جهة

أخرى فانه من المهم أن تشير هنا بأن بحث مندل نفسه المنشور عام ١٨٦٦ عن تجاربه على بازلاء الأكل يحتوى أساساً على جذور علم وراثة العشائر الحديثة . حيث أن مندل نفسه قد ذكر بأن التربية الداخلية المستمرة لعشائر هذا النبات تؤدي بالتالى إلى الاقلال من نسب أقسام التراكيب الوراثية الخليطة وإلى رفع نسب أقسام التراكيب الوراثية المتأثلة . هذا هذا الأساس المندلى هو نفسه المطبق فى علم وراثة العشائر لكن مع الأخذ فى الاعتبار بأنه يستخدم أو يطبق فى الحالة الأخيرة فى العشائر المتزاوجة اعتباطيا randomly crossbreeding populations .

قانون هاردى — وينبرج للتوازن الجينى :

The Hardy/Weinbers principle of genetic equilibrium

شجع العالم بانيت Punnett العالم الرياضى G.H. Hardy — من جامعة كمبريدج — لنشر نظريته عن التوازن الجينى genetic equilibrium للعشائر الحيوية نتيجة لمناقشتها العملية الطويلة حول تجارب Yule السابق ذكرها فى مقدمة هذا الباب . حيث كان يعتقد يال Yule فى النظرية التى تقول فى أنه إذا فرض ودخل جين سائد إحدى العشائر الانسانية — بغض النظر عن تكراره المبدئى — كان دخول مثل هذا الجين لمثل هذه العشيرة الانسانية سوف يؤدي بالتالى إلى أن يكون ^٣ هذه العشيرة ذات شكل مظهرى سائد والرابع الباقى من هذه العشيرة

٤

سوف يكون للشكل المظهرى المتنحى . قد تبدو هذه الفكرة لأول وهلة مقبولة وذلك بسبب أننا نعلم بأن التلقيح الذاتى للهجين الاحادى monohybrid سوف ينتج لنا النسبة المظهرية ٣ : ١ فى الجيل التالى . وعلى الرغم من هذا فلقد اشترط هاردى توفر شرط معين وذلك لكى نحصل على هذه النسبة ٣ : ١ فى تلك العشيرة فلا بد وأن يكون تكرار الجين السائد = ٥٠٪ كما هو الحال فى حالة سلوك الهجين الاحادى — وفى عام ١٩٠٨ اقترح هاردى قانونه الخاص بالتوازن الجينى فى العشائر الحيوية المندلية والذى ينص « على أنه تحت شروط معينة فان التكرار الجينى والنسب الوراثية أيضا (AA, Aa, aa) لجين معين سوف تميل للبقاء ثابتة من

جيل الى آخر .

أيضا طبق العالم الطبيعي الألماني وينبرج W. Weinberg في نفس هذا العام على حدة القواعد المنديلية في العشائر الإنسانية — ولقد توصل كل من هاردي ووينبرج — منفردين عن بعضهما البعض — إلى اكتشاف أساسيات علم وراثية العشائر . وهذا الأساس هو بالطبع توازن التكرار النسبي الجيني في العشائر المتزاوجة اعتباطيا والمتكاثرة تكاثرا جنسيا والتي فيها يظل التكرار النسبي الجيني لكل اليل معين ثابتا من جيل الى آخر وهذا الثبات في التكرار النسبي يظل قائما داخل مثل هذه العشائر طالما توفرت الشروط الستة التالية :

١ — لا بد وأن تكون العشيرة كبيرة الحجم وذلك بغرض استعادة تأثير الأخطاء التجريبية .

٢ — لا يوجد طفور سواء كان اتجاه هذا الطفور من الجين A إلى الجين a أو العكس . فإذا كان لا بد وأن يكون هناك طفور فقي تلك الحالة الأخيرة لا بد وأن يكون معدل الطفور من الجين A إلى الجين a مساويا لمعدل الطفور العكسي أى من الجين a إلى الجين A . إذا لم يتوفر هذا الشرط فاننا نجد أن التكرار النسبي لأى من الاليلين A أو a سوف يتغير بمضى الزمن .

٣ — لا بد وأن يكون التزاوج بين أفراد هذه العشيرة اعتباطيا ، أى بمعنى أن جميع التزاوجات الممكنة بين افراد هذه العشيرة متساوية الحدوث .

٤ — لا بد وأن تكون جميع التراكيب الوراثية الموجودة في العشيرة متساوية الحيوية وكذلك متساوية الخصوبة .

٥ — لا بد وأن تتوافر نفس الفرصة لجميع الجاميطات في إخصاب بعضها البعض لتكوين زيجوتات النسل .

٦ — لا بد وأن تكون العشيرة نفسها معزولة عن العشائر الأخرى وذلك لحماية العشيرة تحت الدراسة من تأثير تلك الجينات المهاجرة من أوالى العشيرة نفسها .

فاذا ما توافرت جميع تلك الشروط الستة فلا بد أن تتوافر أركان ثبات التكرار النسبي الجيني من جيل الى آخر . ومن جهة أخرى إذا لم تتوافر جميع هذه الشروط الستة أو بعضها فان التكرار النسبي الجيني يتغير من جيل الى آخر . ويعتبر التغير في التكرار النسبي الجيني مع الزمن هو أساس التطور العضوى والذى يعمل على ظهور الأنواع الجديدة من العشيرة الأم .

قانون التوازن الجيني Genetic equilibrium :

سبق القول بأن قانون التوازن الجيني إذا ما توافرت الشروط الستة السابقة فإن التكرار النسبي الجيني لجين ما وكذلك نسب الأشكال المظهرية في العشيرة المنديلية تميل للبقاء ثابتة وفي حالة اتزان بالنسبة لهذا الجين من جيل الى آخر . ولكى نتفهم مغزى هذا الثبات فلا بد وأن نضرب مثالا عن عشيرة نظرية كبيرة العدد وذلك بالنسبة لدراسة زوج واحد من الجينات الايلية : هذه العشيرة تتكون من الثلاثة تراكيب الوراثية وكذلك عدد أفراد كل تركيب وراثي منها :

التركيب الوراثي	عدد الأفراد
AA	١٠, ٠٠٠
Aa	٤٢, ٠٠٠
aa	٨, ٠٠٠
	المجموع ٦٠, ٠٠٠

ولكى نقدر تكرار الاليل A فهو يساوى النسبة ما بين العدد الكلى للاليل A في أفراد العشيرة جميعا الى المجموع الكلى للاليلات A + a في نفس العشيرة . وبالمثل تكرار الاليل a = النسبة ما بين عدد الاليل a الكلى في أفراد العشيرة جميعا الى عدد الاليلات الكلية في العشيرة A + a .

فإذا فرضنا أن تكرار الأليل $p = A$

فإذا فرضنا أن تكرار الأليل $p = a$

حيث أن $1 = p + q$

إذا في حالة العشيرة المتنعة فإن

تكرار التركيب الوراثي $p^2 = AA$

تكرار التركيب الوراثي $pq = Aa$

تكرار التركيب الوراثي $pp = aA$

$^2pq =$

تكرار التركيب الوراثي $q^2 = aa$

وأن تكرار التركيب الوراثي $1 = p^2 + 2pq + q^2 = AA, Aa, aa$

وهذه المعادلة الأخيرة ما هي إلا مفكوك معادلة ذات الحدين $(p + q)^2$.

وبناء على هذا وبالرجوع الى مثالنا السابق فالتنا نجد أن تكرار التركيب الوراثية لهذه العشيرة هو كما يلي :

$$p^2 = \frac{10000}{60000} = 0.167 \text{ (AA)}$$

$$2pq = \frac{42000}{60000} = 0.700 \text{ (Aa)}$$

$$q^2 = \frac{8000}{60000} = 0.133$$

$$1.000 = p^2 + 2pq + q^2$$

من الممكن الآن تقدير التكرار النسبي لكل من الجين A والجين a من التكرار النسبي للتركيب الوراثية السابقة كما يلي :

التكرار النسبي للجين A في العشيرة = التكرار النسبي للجين A في التركيب الوراثي $AA +$ التكرار النسبي للجين A في التركيب الوراثي Aa .

$$0.350 + 0.167 = \frac{0.700}{2} + 0.167 =$$

$$0.517 =$$

وبالمثل نجد أن التكرار النسبي للجين في العشيرة = التكرار النسبي للجين a في التركيب الوراثي aa + التكرار النسبي للجين a في التركيب الوراثي Aa .

$$0.350 + 0.130 = \frac{0.700}{2} + 0.130 =$$

$$0.483 =$$

لاحظ أيضا أن $1 = p + q$ أي $1 = 0.517 + 0.483$

والآن بعد أن قدرنا التكرار النسبي لكل من الجين A والجين a في العشيرة الأصلية فالتنا سوف نحاول الآن دراسة ما إذا كان هذا التكرار النسبي لهذين الاليلين يتغيران من جيل إلى آخر أم أنهما ثابتان في العشيرة وخاصة إذا ما توفرت الشروط الستة الخاصة بالانحياز الجيني ؟ . ولإجابة هذا السؤال فلا بد وأن نركز اهتمامنا على ديناميكية هذه العشيرة . فهذه الديناميكية تحتاج إلى بعض القوانين الإحصائية لتتبعها . فإذا فرض وأن التزاوج ما بين أفراد هذه العشيرة هو تزاوج اعتباطي : إذ نتوقع بناء على ذلك أن تكون جميع التزاوجات المحتملة الناتجة ونسب انسائها كما يلي :

		تكرار التراكيب الوراثية للذكور		
		AA	Aa	aa
		0.176	0.700	0.133
تكرار التراكيب الوراثية للإناث	AA	AA×AA	AA×Aa	AA×aa
	0.167	0.028	0.117	0.022
	Aa	AA×Aa	Aa×Aa	Aa×aa
	0.700	0.117	0.490	0.093
	aa	AA×aa	Aa×aa	aa×aa
	0.133	0.022	0.093	0.018

ومن نتائج هذه التزاوجات المحتملة نجد أن نسبة أفراد النسل المحتوية على الأليل A ونسبة أفراد النسل الأخرى المحتوية على الأليل a من الممكن الحصول عليها كما يلي :

نسبة الأليل في أفراد النسل	نسبة النسل	احتمال التزاوج	التزاوج
0.60000	0.02800	1 AA	AA×AA
0.02925	0.08775	1 AA : 1 Aa	AA×Aa
0.01100	0.01100	1 Aa	AA×aa
0.02925	0.08775	1 AA : 1 Aa	Aa×AA
0.24500	0.24500	1 AA : 2 Aa : 1 aa	Aa×Aa
0.06975	0.02325	1 AA : 1 aa	Aa×aa
0.01100	0.01100	1 Aa	aa×AA
0.06975	0.02325	1 Aa : 1 aa	aa×Aa
0.01800	0.00000	1 aa	aa×aa
0.48300	0.51700	1.000	المجموع

بمقارنة النتيجة النهائية من هذا التحليل السابق نلاحظ أن التكرار النسبي بالنسبة لكل من الأليلين a, A بين أفراد سسل الجيل الأول من هذه العشيرة هو نفسه التكرار النسبي الجيني للعشيرة الأم . وهذا بالطبع هو أهم مميزات العشيرة المتزنة وسيظل ثابتا بتتالي الأجيال مادامت الشروط الستة السابقة متوفرة بين أفراد هذه العشيرة .

والآن اذا ما فحصنا وفندنا اعتقاد يال Yule السابق الكلام عليه بناء على قانون التوازن الجيني نجد أن يال اقترح بأنه إذا ما فرض ودخل جين سائد الى عشيرة ما لم يكن موجودا بها فيما سبق فإن يال يعتقد بأن $\frac{3}{4}$ أفراد النسل لهذه العشيرة ذات شكل مظهرى سائد بينما $\frac{1}{4}$ العشيرة سوف تكون ذات شكل مظهرى متنحى . وبتطبيق قانون هاردى - وينبرج للتوازن الجيني على اقتراح يال فاننا سوف نجد أن اعتقاده هذا خاطيء وليس له أى أساس سليم .

ولتفنيد اعتقاد يال سوف نفترض عشيرة ما مكونة من ١٨ فردا وأن التركيب الوراثى لجميع لهذه الافراد هو التركيب الوراثى aa (تركيب متنحى) . فإذا فرض ودخل فردان آخران الى هذه العشيرة ولكن التركيب الوراثى لكل من هذين الفردين هو AA . والآن كيف يتوزع هذان الأليلان السائدان AA وما هو التكرار النسبى النهائى لهذه العشيرة ؟

ولإجابة هذا السؤال نبدأ أولا بحساب التكرار النسبى للتكرار الوراثى للعشيرة الجديدة بعد دخول هذان الفردان اليها .

$$\text{وبتطبيق المعادلة : } p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$\text{حيث أن } p^2 = \text{هو التكرار النسبى للتركيب الوراثى } Aa$$

$$2pq = \text{هو التكرار النسبى للتركيب الوراثى } Aa$$

$$q^2 = \text{هو التكرار النسبى للتركيب الوراثى } aa$$

$$\text{وبالتطبيق سنجد } \frac{2}{20} + \frac{0}{20} + \frac{18}{20} = 1$$

أى أن :

$$0.100 + 0.000 + 0.900 = 1$$

ومن التكرار النسبى للتركيب الوراثى يمكن حساب التكرار النسبى الجينى
للإليلين a,A كما يلى :

$$p^2 + (2pq) = 0.100 + 0 = 0.10 = A \quad \text{التكرار الجينى للجين}$$

$$q^2 + (2pq) = 0.900 + 0 = 0.90 = a \quad \text{التكرار الجينى للجين}$$

وإذا ما افترضنا أن التزاوج ما بين هؤلاء العشرون فردا فى هذه العشيرة سوف
يكون اعتباطيا . فبناء على ذلك سوف يكون التكرار المحتمل لكل زيجة من هذه
الزيجات المختلفة كما يلى :

		الذكور	
		AA 0.1	aa 0.9
الاناث	AA 0.1	AA × AA 0.01	AA × aa 0.09
	aa 0.9	AA × aa 0.09	aa × aa 0.81

وحساب نسبة الإليلين فى أفراد النسل سوف نجد :

التزاوج	احتمال التزاوج	النسبة في النسل	نسبة الاليل في النسل
			a A
AA x AA	0.01	كل الافراد AA	0.01 0.00
AA x aa	0.09 0.09 0.09 0.18	Aa	0.09 0.09
aa x aa	0.81	كل الافراد aa	0.81 0.00
المجموع	1.00		0.90 0.10

وحيث أن التكرار النسبي للاليلين A, a في الجيل الاول بعد هجرة هذين الفردين الى العشيرة الأصلية هي 0.1 ، 0.9 على التوالي . لاحظ أن التكرار النسبي هنا في الجيل الاول هو نفسه التكرار الجيني للعشيرة الأم . لكن سوف نجد أن نسب التراكيب الوراثية سوف تختلف .

$$\begin{aligned}
 p^2 &= (0.10)^2 = 0.01 & AA \\
 2pq &= 2 \times (0.10) \times (0.90) = 0.18 & Aa \\
 q^2 &= (0.90)^2 = 0.81 & aa
 \end{aligned}$$

ويتوالى التزاوج الاعتيادى لهذه العشيرة سوف يظل نسب التراكيب الوراثية والتكرار النسبي الجيني ثابتة من جيل الى آخر إذا ما توافرت الشروط السابقة . ومن هذا نجد أن نسبة الاليل السائد هو فقط 10٪ من انجموع الكلى وأن نسبة الشكل المظهرى السائد = 19٪ من انجموع الكلى . مع مقارنة هذه النسبة

الأخيرة (١٩٪) مع النسبة المقترحة بواسطة يال (75%) سوف نجد أن نسبة يال المقترحة بعيدة كل البعد عن الحقيقة . وعلى هذا فال اقتراح يال يعتبر اقتراحا خاطئا . اذ فرض وحدثت هجرة أخرى من أو الى هذه العشيرة فاننا نجد أن بعد جيل واحد فقط سوف تصل العشيرة الجديدة الى حالة توازن جيني جديد مرة اخرى .

بقيت نقطة هامة جدا يجب ذكرها الآن وهي خاصة بطريقة حساب التكرار النسبي الجيني . فمثلا في عشيرة متزنة يمكن حساب التكرار النسبي الجيني لاي من الاليلين A أو a مباشرة من تكرار التراكيب الوراثية كما يلي :

إذا فرض وأن :

$$p^2 = 0.021$$

$$2pq = 0.248$$

$$q^2 = 0.731$$

إذا

$$q = \sqrt{0.731} = 0.855$$

$$p + q = 1$$

$$p = 1 - q = 1 - 0.855 = 0.145$$

تعيين التكرار الجيني في حالة السيادة التامة :

Gene frequency determinations for dominant inheritance

نعلم أنه يوجد في حالة توارث صفة وصفية يتحكم فيها اليل سائد A على الاليل a تركيبان وراثيان الا وهما AA و Aa متشابهان تماما من الناحية المظهرية ولا نستطيع التفرقة بينهما من حيث الشكل المظهرى . ففى مثل تلك الحالة إذا ما استدعى الأمر حساب التكرار النسبي الجيني لكل من الاليلين a, A أن نستخدم الجذر التربيعي للتركيب الوراثى المتنحى aa ذلك لأننا نستطيع أن نحدد هذا

التركيب الوراثي مباشرة عن طريق الشكل المظهري . وبأصبح طريقة حساب التكرار الجيني مثل تلك الحالات نصرب المثل التالي

نعتبر قابلية الأشخاص على تذوق المادة الكيميائية Phenylthiocorbar (PTC) صفة وراثية سائدة مسؤولة عن توارثها الجين T . وعن هذا فاننا نجد أن التركيبين TT, Tt في جميع الأفراد ذواقين لهذه المادة ولا يستطيع التفرقة بينهما مظهريا . بينما الأفراد ذوى التركيب الوراثي المتنحي tt فيه من ناجية الشكل المظهري غير ذواقين لهذه المادة . فحصدت عينة من اعتدعية من الطلبة عدد أفرادها ٣٢٠ فردا حيث وجد أن ٢١٨ طالبا منهم ذواقين هذه المادة و ١٠٢ طالبا غير ذواقين لها . إذا سوف نتوقف أن الأفراد الذواقين والذين يبلغ عددهم ٢١٨ طالبا في هذه العينة إما أن يكونوا ذا تركيب وراثي TT أو Tt . بينما ال ١٠٢ طالبا الغير ذواقين فهم جميعا ذوى تركيب وراثي واحد هو tt .

وبافتراض أن التزاوج بين افراد هذه العشيرة يتم بطريقة عشوائية وأن هذه العينة من الطلبة هي ايضا عينة اعتباطية من نفس العشيرة الأصبية الكبيرة الحجم . فانه يمكننا الآن حساب التكرار النسبي لكل من الجين T واليلة t في هذه العشيرة .

$$\text{وحيث أن عدد الأفراد الغير ذواقين } tt = 102 \text{ طالبا}$$

$$q = \frac{102}{320} = 0.32 = \text{التكرار النسبي للتركيب الوراثي } tt$$

التكرار النسبي الجيني للاليل t هو

$$q = \sqrt{0.32} = 0.56$$

$$P + q = 1$$

وحيث أن

$$P = 1 - q = 1 - 0.56 = 0.44$$

التكرار النسبي للجين T = 0.44

ومن التكرار النسبي الجيني السابق يمكن حساب تكرار التراكيب الوراثية في العينة المسحوبة كما يلي :

$$p^2 = (0.44)^2 = 0.10$$

أو أن عدد الطلبة ذوى التركيب الوراثي TT الذواقين للمادة هو = ٦١ طالبا

$$2pq = 2(0.44)(0.56) = 0.49$$

أى بمعنى أن عدد الطلبة ذوى التركيب الوراثي Tt الذواقين للمادة هو :

$$= 107 \text{ طالبا}$$

$$\text{المجموع} = 218 \text{ طالبا}$$

$$q^2 = (0.56) = 0.32$$

أى أن عدد الطلبة ذوى التركيب الوراثي tt الغير ذواقين = ١٠٢ طالبا

كما قلنا سابقا أنه من المهم لكى نصل الى تقديرات دقيقة للتكرارات النسبية الجينية أو الوراثية فلا بد وأن تكون العشيرة متزاوجة اعتباطيا فيما بين افرادها بعضها البعض . ولايضاح أهمية تلك النقطة تحلل المثال التالى :

إذا كان لدينا عشيرتان منعزلتان بعضهما البعض وكل من ال عشيرتين في حالة اتزان جينى ووراثى . فإذا فرض وقدزنا التكرار النسبى الجينى للعشيرة الجديدة المكونة من افراد هاتين العشيرتين معا فان هذا التكرار النسبى الجينى لن يعكس بدقة تكرار التراكيب الوراثية فى العشيرتين الاصليتين . ولاثبات ذلك نفرض أن العشيرتين هما كما يلي :

العشيرة A

العشيرة B

AA Aa aa

التركيب الوراثى AA Aa aa

640 320 40

عدد الافراد 250 500 250

العشيرة C (مجموع العشيرتين A + B)

التركيب الوراثي AA Aa aa

640 320 40

250 500 250

مجموع عدد الافراد 2000 = 890 850 590

التكرار النسبي (0.445) (0.410) (0.145)

ومنها نستطيع حساب التكرار النسبي للجين a والليل A كما يلي :

$$q + 0.55 + 0.41 = 0.35$$

$$p = 1 - q = 1 - 0.35 = 0.65$$

وبتطبيق التكرار النسبي الجيني فانه يمكن حساب تكرار التراكيب الوراثية للعشيرة كما يلي :

$$p^2 = (0.65)^2 = 0.42$$

أى أن عدد الأفراد المتوقعة ذوى التركيب الوراثي AA = 0.42×2000
= 840 فردا

$$2pq = 2 (0.65) (0.35) = 0.46$$

أى أن عدد الأفراد المتوقعة ذوى التركيب الوراثي Aa = 0.46×2000
= 920 فردا

$$q^2 = (0.35)^2 = 0.12$$

أى أن عدد الأفراد المتوقعة ذوى التركيب الوراثي aa = 0.12×2000
= 240 فردا

بمقارنة هذه الأفراد المتوقعة بالافراد المشاهدة فى العشيرة C نجد أن عدد الافراد المتوقعة لا تتوافق مع عدد الافراد المشاهدة فى العشيرة C وذلك لسبب بسيط جدا وهو أننا افترضنا اصلا أن العشيرة (ما هى إلا عشيرة مكونة من عشيرتين

منعزلتين بعضها عن بعض أى أنه لا يوجد تزاوج اعتباطى بين جميع أفراد العشيرة C أى أنها عشيرة غير مترنة ولهذا السبب انحرفت القيم المتوقعة عن المشاهدة .

وللوصول الى حالة توازن جينى للعشيرة C لابد وأن يتم التزاوج اعتباطيا بين جميع افرادها حتى ولو لمدة جيل واحد فقط .

تعيين التكرار الجينى فى حالة السيادة العامة :

Gene frequency determination for condominant inheritance

تعيين التكرار الجينى فى حالة السيادة العامة لا يختلف كثيرا عن مثيله فى حالة السيادة التامة السابق مناقشته . فمثلا فى حالة دراسة مجموعة الدم MN فى الانسان وجدناها صفة وراثية تسلك سلوك الصفات المندلية البسيطة وهى صفة ذات سيادة عامة *condominant* . لذلك فإن التركيب الوراثى MM ينتج لنا افرادا ذوى شكل مظهرى لمجموعة الدم (M) والتركيب الوراثى MN ينتج لنا افرادا ذوى شكل مظهرى لمجموعة الدم MN . بينما التركيب الوراثى NN ينتج لنا افرادا ذوى شكل مظهرى لمجموعة الدم N .

درست مجموعة الدم M,N لعينة من الأفراد وذلك بغرض تعيين التكرار النسبى لكل من الاليلين N,M وكانت النتائج المشاهدة كما يلى :

عدد افراد مجموعة الدم M = 512 فردا وعدد مجموعة الدم N = 88 فردا وعدد افراد المجموعة MN = 400 فردا .

تكرار المجموعة ذات التركيب الوراثى MM تساوى

$$p^2 = 0.512$$

وتكرار المجموعة ذات التركيب الوراثى MN تساوى

$$2 pq = 0.400$$

وتكرار المجموعة ذات التركيب الوراثى NN تساوى

$$q^2 = 0.088$$

حيث أن $p^2 + 2 pq + q^2 = 1$

من هذه البيانات ، يمكن حساب التكرار النسبي الجيني لكل من الأليلين N,M كما يلي :

التكرار النسبي للأليل M هو :

$$p^2 = (2pq) = 0.512 + (0.400) = 0.912$$

والتكرار النسبي للأليل N هو

$$q^2 + (2pq) = 0.088 + (0.400) = 0.488$$

ومن هذا التكرار يمكن حساب تكرار التراكيب الوراثية المتوقعة ل هذه العشيرة كما يلي (بافتراض أن العشيرة متزاوجة اعتباطيا) :

$$p^2 = (0.71)^2 = 0.505$$

$$2pq = 2(0.71)(0.29) = 0.412$$

$$q^2 = (0.29)^2 = 0.083$$

من تكرار التراكيب الوراثية النسبية يمكن حساب العدد المتوقع لكل تركيب وراثي كما يلي :

$$\text{العدد المتوقع لمجموع الدم M} = 0.505 \times 1000 = 505 \text{ فردا}$$

$$\text{العدد المتوقع لمجموعة الدم N} = 0.083 \times 1000 = 83 \text{ فردا}$$

$$\text{للعدد المتوقع لمجموعة الدم MN} = 0.412 \times 1000 = 412 \text{ فردا}$$

وبمقارنة الأعداد المتوقعة هذه مع الأعداد المشاهدة في العينة المسحوبة نجد أن كلا منهما تتوافق مع الأخرى ومن هذه النتيجة الأخيرة يمكن الاستنتاج بأن تلك العشيرة الانسانية هي عشيرة في حالة توازن جيني .

تعيين التكرار النسبي الجيني في حالة الأليلات المتعددة

Gene frequency determination for a multiple allele series

أفضل مثال لتلك الحالة هي دراسة مجموعة الدم ABO في حالة الإنسان حيث نجد أن صفة مجموعة الدم ABO في الإنسان يتحكم فيها سلسلة الأليلات

متعددة كما سبق شرحه في هذه السلسلة في أبسط صورها هي ثلاثة اليلات هي

$$I^A, I^B, i$$

ومن هذه الاليلات الثلاثة فانه من المتوقع الحصول لى ستة تراكيب وراثية هي :

$$I^A I^A \text{ مجموع الدم A}$$

$$I^A i \text{ مجموع الدم A}$$

$$I^A I^B \text{ مجموعة الدم AB}$$

$$I^B I^B \text{ مجموعة الدم B}$$

$$I^B i \text{ مجموعة الدم B}$$

$$ii \text{ مجموعة الدم O}$$

الليل i والذي يحدد مجموعة الدم O هو اليل متنحى كما نعلم وعلى هذا فانه توجد لدينا اربعة اشكال مظهرية فقط لمجموعة الدم هذه هي :

Blood type	genotypes
A	$I^A I^A, I^A i$
B	$I^B I^B, I^B i$
AB	$I^A I^B$
O	ii

وفي عينة مسحوبة مكونة من 500 شخص كان عدد أفراد كل مجموعة شكل مظهرى هي كما يلى :

$$195 = \text{مجموعة الدم A}$$

$$70 = \text{مجموعة الدم B}$$

$$25 = \text{مجموعة الدم AB}$$

$$210 = \text{مجموعة الدم O}$$

ولكى نستطيع تعيين التكرار النسبي الجيني فنحن نحتاج الى حرف آخر خلال ما سبق ذكره للرمز لتكرار الاليل i وهذا الحرف هو r . وعلى هذا الاساس نفرض أن :

P = التكرار النسبي للاليل I^A

q = التكرار النسبي للاليل I^B

r = التكرار النسبي للاليل a

وبذلك نستطيع أن نعبر عن تكرار التراكيب الوراثية كما يلي :

$$p^2 + 2pr + r^2 + 2pq + 2qr + q^2$$

$I^A I^A$	$I^A i$	ii	$I^A I^B$	$I^B I^B$	$I^B i$	$I^B I^B$
A		O	AB	B		
195		210	25	70		

ولحساب التكرارات النسبية الجينية المختلفة سوف نبدأ بالتكرار النسبي للتركيب الوراثي fi :

$$r^2 = \frac{210}{500} = 0.42$$

∴ التكرار النسبي للاليل i هو :

$$r = 0.42 = 0.65$$

والتكرارات النسبية للاشكال المظهرية لمجموعة الدم O,A هي :

$$p^2 + 2pr + r^2 = (p + r)^2$$

$$(p + r)^2 = \frac{210}{500} + \frac{195}{500}$$

$$0.81$$

$$\dots p + r = 0.81 = 0.9$$

بالتعويض عن r :

$$\dots p + 0.65 = 0.90$$

$$\dots p = 0.25$$

$$p + q + r = 1$$

$$\dots 0.25 + q + 0.65 = 1$$

$$\dots q = 0.10$$

ومن ذلك نستطيع حساب التكرارات النسبية المتوقعة للتراكيب الوراثية المختلفة

كما يلي :

$$p^2 = (0.25)^2 = 0.06$$

$$2 p^r = 2 (0.65) (0.25) = 0.33$$

$$2 pq = 2 (0.65) (0.10) = 0.05$$

$$r^2 = (0.65)^2 = 0.42$$

$$2 q^r = 2 (0.10) (0.65) = 0.13$$

$$q^2 = (0.10)^2 = 0.01$$

ويضرب كل من هذه التكرارات النسبية الأخيرة في مجموعة عدد الأفراد الكلي المتحصل عليه في العينة نستطيع تقدير عدد الأفراد المتوقعة لكل تركيب وراثي كما

يلي :

$$p^2 = 30 \text{ فردا}$$

ذوى تركيب وراثي $I^A I^A$ (مجموعة الدم A)

$$2 p^r = 165 \text{ فردا}$$

المجموع

195 فردا

ذوى تركيب وراثى $I^A I^B$ (مجموعة A)

$$2pq = 25 \text{ فردا}$$

ذوى تركيب وراثى $I^A I^B$ (مجموعة AB)

$$r^2 = 215 \text{ فردا}$$

ذوى تركيب وراثى ii (مجموعة O)

$$2q^2 = 65 \text{ فردا}$$

ذوى تركيب وراثى $I^B I^B$ (مجموعة B)

$$q^2 = 5 \text{ أفراد}$$

المجموع

مئة فردا

ذوى تركيب وراثى $I^B I^B$ (مجموعة B)

وبمقارنة هذه الأعداد المتوقعة لكل شكل مظهرى مع مثيلتها المشاهدة فى أفراد العينة نجد أن الأعداد المتوقعة متطابقة تماما مع تلك المشاهدة مما يدل على أن هذه العشيرة الانسانية فى حالة اتزان جينى بالنسبة لصفة مجموعة الدم ABO .

ومن الأمثلة السابقة عن طرق تعيين التكرار الجينى النسبى لأى جين وجدنا أنه طالما عرفت التراكيب الوراثية الخاصة بالصفة فإنه من السهل عندئذ حساب التكرار الجينى النسبى . وعلى الرغم من ذلك فإن معرفة التكرار النسبى الجينى لجين ما ليس من الضرورى أن يكون هاما فى حد ذاته بالنسبة لعلم وراثية العشائر ولكن الأهم من ذلك هو معرفة التغيرات الحادثة لهذا الجين المعين بمضى الزمن وذلك لمعرفة تأثيره من الناحية التطورية . تلك القوى التى تعمل على عدم ثبات التكرار الجينى النسبى تتلخص فى تلك القوى التالية :

١- الطفرات Mutation

٢- الانتخاب Selection

٣- الانحراف الوراثى Genetic drift

٤- الانحراف الانعزالى Segregation distortion أو شذوذية الانعزال .

٥- الهجرة Migration

وسنشير بطريقة مبسطة الى تأثير كل عامل من هذه العوامل المختلفة على تغيير التكرار النسبي الجيني في العشائر المتدلية .

العوامل التي تؤثر على الاتزان الجيني

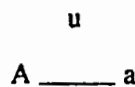
Forces influencing genetic equilibrium

١ — الطفرات Mutation :

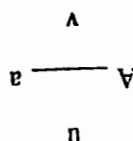
يعرف الطفور بمعناه العام على أنه أى تغير في التركيب الوراثى . وقد يشمل هذا التغير الانتقالات والانقلابات الكروموسومية .. الخ . ولكن في الاستعمال الشائع يشمل الطفور ايضا أية تغيرات وصفية داخل الجين نفسه . وهذا التعريف هو الذى سوف نستخدمه في مناقشتنا الحالية .

وتعتبر الطفرات هامة جدا في وراثة العشائر وبالتالي فهي هامة جدا بالنسبة للتطور ذلك لانها تعمل على تغيير التكرار الجيني النسبي وايضا تعمل على امداد الانتخاب الطبيعى بالمادة الخام raw material والذى بدوره يؤثر على التكرار النسبي الجيني للعشيرة .

إذا فرض وأن الجين A يطفر الى اليلة a بمعدل طفور ثابت u فانه يمكننا تمثيل تلك الحالة كما يلى :



فاذا ما كان اتجاه الطفور اتجاها واحدا فقط من A الى a فبمضى الزمن نجد في النهاية أن جميع الاليات A قد طفرت الى اليلات a . وعموما نادرا ما يكون الطفور في اتجاه واحد فقط بل غالبا ما يكون الطفور في الاتجاهين العكسين . أى ايضا من a الى A وبمعدل طفور ثابت ايضا سوف ترمز له بالرمز v . وهذه العلاقة ممثلة كما يلى :



إذا ما أخذنا في اعتبارنا الآن معدل الطفور من A إلى a والعكس وتأثير هذه
لات على تكرار كل من a, A في العشيرة فإنه يمكننا وضع الرموز التالية :

(أ) التكرار النسبي الجيني المبدئي (قبل الطفور) للآليل $p. = A$

(ب) .. " " " " " " $q. = a$

(ج) معدل طفور من A إلى a $u =$

(د) معدل طفور من a إلى A $v =$

نجد أنه بعد جيل واحد من الطفور في هذه العشيرة أن :

نسبة الأليلات a المطفرة إلى A $v q. =$

ونسبة الأليلات A المطفرة إلى a $u p. =$

.. التكرار النسبي الجيني للآليل A في هذا الجيل الأول بعد الطفور يساوي :

$$\text{frequency of A} = p. + vq. + up.$$

وأن التكرار النسبي الجيني للآليل a في الجيل الأول بعد الطفور يساوي

$$\text{frequency of a} = q. + up. + vq.$$

وفي هاتين المعادلتين الأخيرتين إذا فرضنا وكان معدل الطفور في اتجاه معين
يساوي معدل طفور في الاتجاه العكسي أي $u = v$ وكذلك إذا فرضنا وكانت

$$p. = q.$$

فإنه من المستطرد أن لا يحدث أي تغير وذلك بالنسبة للتكرار النسبي الجيني
كل من الأليلين a, A بمضي الزمن .

' لكن إذا فرضنا وكانت :

$$u \neq v$$

$$p. \neq q.$$

ففي تلك الحالة الأخيرة سوف نجد أنه يحدث تغير في التكرار النسبي الجيني
للأليلين a, A بمضي الزمن . وهذا التغير بالطبع يتوقف على مدى المكسب من

الطفور A الى a أو الخسارة للطفور من a الى A .

(أ) فإذا ما كانت الخسارة من طفور a الى A $vq. =$

وكان المكسب من طفور A الى a $up. =$

٢. التغير في التكرار الجيني للاليل a تساوى :

$$\text{change in frequency of } a = up. - vq.$$

(ب) فإذا كانت الخسارة من طفور A الى a $up. =$

وإذا ما كان المكسب من طفور a الى A $vq. =$

$$\therefore \text{Change in frequency of } A = vq. - up.$$

وإذا فرض ايضا وكان التكرار النسبي للاليل A اكبر من التكرار النسبي الجيني للاليل a ، إذا فان التغير في التكرار الجيني للاليل a سوف يكون اكبر . وبناء عليه سوف يكون هناك زيادة للاليل a على حساب طفور A . في بعض الاحيان قد تزداد a الى الدرجة التى تجعل الطفور العكسى يتوازن مع الطفور الأسمى . عند نقطة التوازن هذه تسمى الاتزان الطفرى للاليل a .

mutational equilibrium (q)

ويعبر عن نقطة التوازن هذه بما يلى :

$$O = bv - dn$$

$$bv = dn$$

وحيث أن :

$$P = 1 - q$$

$$bv = (b - l) u$$

$$bv = bn - n$$

$$(v + n) b = bv + bn - n$$

وبالمثل الاتزان الطفرى للاليل A (p) يعبر عنه كما يلى

$$O = dn \text{ — } bv$$

$$bv = dn$$

وحيث أن :

$$d \text{ — } l = b$$

$$(d \text{ — } l) = dn$$

$$d \text{ — } v = dn$$

$$(n + v) d = dn + pv = v$$

ومن المهم هنا أن نشير الى أن نقطة التوازن الطفرى نادرا ما توجد في الطبيعة ذلك لأنها تحتاج الى آلاف الأجيال من العشيرة الأصلية الطبيعية للوصول إليها .

وعلى هذا فان سرعة التطور تعتبر بطيئة جداً من جهة التطور بالمقارنة بالقوى الأخرى التى تؤثر على التكرار النسبى الجينى لجين معين تأثيراً كبيراً حتى قبل أن تصل العشيرة الى هذا التوازن . من ضمن هذه القوى الأخرى هو الانتخاب الطبيعى والذى سنتناقشه فيما يلى :

٢- الانتخاب الطبيعى Natural selection

يعتبر الانتخاب من أقوى العوامل الفعالة بل قد يكون هو العامل الفعال الوحيد فى تغير التكرار الجينى النسبى لجين معين وبالتالي مؤثراً فى عملية التطور نفسها .

وقد كان اعتقاد داروين الرئيسى بالنسبة لنظرية التطور هو أن العشيرة الحيوية تتحور (تتطور) نتيجة التغيرات البيئية . وهذه الظاهرة الأخيرة هى التى نسميها الانتخاب الطبيعى .

عموما تنتج جميع الكائنات الحية انسالاً باعداد اكبر مما تحتاجه البيئة التى تعيش فيها . وبناء عليه فانه من المنتظر أن يموت بعضاً من النسل نتيجة لعدم توفر الظروف المعيشية لها . وحيث أن جميع أفراد العشيرة تختلف فيما بينها وراثياً حيث

أنه لا نستطيع أن نجد فردين متماثلين تماما من جميع أوجه التراكيب الوراثية (ماعدا افراد التوائم الصنوية) بالنسبة لافراد العشيرة جميعاً . فإننا نجد أن هناك أفراداً من النسل لها قدرة تأقلمية أكبر من أفراد أخرى . وبناء عليه فإن هؤلاء الأفراد لها القدرة على المعيشة تحت هذه الظروف البيئية المعينة . عندئذ سوف تنتج هذه الأفراد ذات القدرة التأقلمية الأكبر نسلاً أكبر من تلك الأفراد ذات القدرة التأقلمية الأقل من العشيرة . ولهذا السبب فانه من المتوقع أن تتكاثر تلك الجينات الخاصة بالتراكيب الوراثية للأفراد ذات التأقلم الأكبر أكثر من مثيلتها الخاصة بالأفراد ذات التأقلم الأقل . وهذا بالتالى يؤدى الى تغير فى التكرار النسبى الجينى بالنسبة لهذه الجينات الخاصة بالعشيرة .

من أهم العوامل التى تلعب دوراً هاماً فى فاعلية الانتخاب الطبيعى هى موائمة الفرد الحيوية fitness . هذا التعريف الأخير من الصعب تحديده تحديداً دقيقاً على الرغم من أنه ذو استعمال واسع الانتشار وعلى هذا فانه من الضرورى تعريفه بصورة مبسطة . فاذا ما قبلنا أن الانتخاب الطبيعى هو « حيوية الافراد العالية الموائمة » Survival of the fittest أى بمعنى آخر هو زيادة الحيوية للأفراد العالية الموائمة عن تلك الافراد القليلة الموائمة .

ومن هذا نجد أنه من الصعب وضع تعريف دقيق للموائمة ذلك لأننا سوف نجد أنفسنا ندور فى حلقة مفرغة . هذه الحلقة المفرغة اتت من : أن الافراد الأكثر موائمة هى تلك الافراد الأكثر حيوية . وأن تلك الافراد الأكثر حيوية هى تلك الافراد الأكثر موائمة .

وسوف نكتفى هنا فى مناقشتنا على أن نعطي صورة مبسطة لتعريف الموائمة على أنها « درجة مقدرة شكل مظهرى معين على إعطاء جيناته الى الجيل التالى » .

نجد أنه من الصعوبة بمكان إعطاء أمثلة تؤيد تأثير الانتخاب الطبيعى فى العشائر الطبيعية وذلك لعدة أسباب أولها أن الباحث نفسه لا يستطيع اطلاقاً التحكم فى جميع الظروف البيئة الأخرى لنفس العشيرة ، وثانى هذه الأسباب أنه

لأبد من توفر مشاهدات وبيانات عديدة عما حدث في الماضي بالنسبة لهذه العشيرة لكون لديه تصور كامل عما كانت عليه العشيرة سابقا . وعلى الرغم من تلك الصعوبات إلا أننا نجد أنه متوفر تحت أيدينا بعض الأمثلة الجيدة لعشائر حيوية تفسر لنا تأثير الانتخاب الطبيعي على أنه عامل قوى جدا يعمل على تغيير التكرار الجيني النسبي لجين معين .

فعلى سبيل المثال زادت مقاومة الحشرات القشرية التي تصيب أشجار الموالح في جنوب كاليفورنيا بالولايات المتحدة للمبيدات الحشرية عما كانت عليه سابقا .

أيضا نحن نعلم أن الذباب قد أصبح مقاوما لمادة الـ D.D.T في نهاية العشرين عاما الماضية والتي انتشر فيها استعمال تلك المادة كمييد حشري .

كذلك نجد أيضا أن دودة ورق القطن لها الفرصة الكبيرة جدا في مهاجمة القطن المصرى بالرغم من استعمال المبيدات الحشرية المختلفة باستمرار .

جميع هذه الأمثلة تدل بكل وضوح على أن المبيدات الحشرية ما هي إلا في الحقيقة أداة انتحائية تعمل على إبادة الأفراد الضعيفة بينما الأفراد المقاومة للمبيد نفسه تبقى بالعشيرة نتيجة لعملية الانتخاب هذه .

من أكمل الدراسات الهامة لتتبع تأثير الانتخاب الطبيعي على تغيير التكرار الجيني في العشيرة هي تلك الدراسة الخاصة بدراسة تغير لون حشرة moths في المناطق الصناعية في كل من ألمانيا وإنجلترا حيث وجد أنه على مدى أكثر من المائة عام السابقة فإن كثير من العشائر الحشرية في تلك المناطق الصناعية قد تغير لونها من اللون الرمادى الفاتح الى اللون الرمادى الغامق . وهذا التغير في لون الحشرات في تلك المناطق الصناعية يزداد بزيادة انتشار المصانع نفسها والتي تعمل بالتالى على تغيير ألوان الأشجار والمباني المحيطة نتيجة لما تنفثه من دخان من مداخنها .

وجد أن اللون الغامق في هذه الحشرات ما هو إلا نتيجة لطفرات سائدة . ولقد دلت الاختبارات الوراثية على أن تلك الطفرات السائدة لم تنتج تلقائياً نتيجة للتلوث البيئي ولكنها نتيجة للطفرات الذاتية للعشيرة وبمعدل ثابت وحتى قبل انتشار المصانع . وهذه المشاهدات توضح لنا أن التغير في لون الحشرات من لون فاتح الى اللون الغامق ما هو إلا نتيجة لزيادة موائمة الأفراد الغامقة اللون في البيئة الصناعية . وهذه بالتالى تؤدي الى حماية تلك الافراد الغامقة من أعدائها الطبيعية لأنها تعطىها المقدرة على الاختفاء منها في هذه البيئة الملوثة صناعياً . بينما نجد الصورة على وجه عكسى في المناطق الريفية الأخرى النقية البيئية حيث نجد في تلك المناطق الأخيرة أن الأفراد الغامقة اللون لا تستطيع الاختفاء عن أعدائها الطبيعية بينما العكس هو الصحيح فان الأفراد الفاتحة اللون في المناطق الريفية لها المقدرة على الاختفاء عن الأعداء الطبيعية أى بمعنى آخر هذه الحشرات ذات اللون الفاتح تتأقلم بصورة أكبر من تلك البيئة الريفية . وعلى هذا فاننا نستطيع الاستنتاج بأن الانتخاب الطبيعي يلائم ما بين الكائن وبين المعيشة في بيئة معينة نتيجة للملاحظات المستمرة على المثال السابق .

الانحراف الوراثى Raudom genetic drift

يعطى كل فرد من أفراد العشيرة المنذلية ملايين من الجاميطات . وجاميطه واحدة فقط من هذه الملايين من الجاميطات هى التى تتحد مع الجاميطه الأخرى من الجنس المقابل لتكوين فرد واحد من النسل . فاذا ما كان عدد أفراد النسل في العشيرة هو عدد بسيط فمعنى ذلك أن عدد الجاميطات الأبوية المكونة لهؤلاء النسل صغيراً أو قليلاً . وعلى العكس من ذلك فاذا ما كان عدد أفراد النسل الناتجة من العشيرة كبيراً فان معنى ذلك أن عدداً كبيراً من الجاميطات الأبوية قد دخلت في تكوينهم . أو أننا نستطيع القول بأن العدد القليل من النسل يمثل عينة بسيطة أو قليلة العدد من الجاميطات الأبوية وبالتالي فانه العينة الصغيرة من الجاميطات الأبوية يؤدي بالضرورة الى زيادة الخطأ التجريبي . والمثال التالى يوضح لنا تلك النقطة :

إذا وجد لدينا صندوق معلق به ثلاثون كرة سوداء وعشرون كرة أخرى حمراء اللون فإذا أمكننا سحب كرة واحدة من هذه الكرات الخمسون في كل مرة اعتباطياً وبته إرجاعها مرة أخرى الى الصندوق قبل السحب التالى . فإننا نجد أن احتمال خمسة كرات فقط مسحوبة على التتالى وأن تكون في نفس الوقت جميعاً حمراء لن يصل هذا الاحتمال الى $\frac{1}{2}$. أما إذا ما حاولنا مرة أخرى وزدنا حجم العينة بحيث جعلناها ١٥ كرة بدلا من الخمس كرات في المرة الأولى فاننا سوف نجد في الحالة الثانية أن احتمال الحصول على ١٥ كرة حمراء سوف يكون تقريباً واحد في كل مائة مليون .

يوضح لنا هذا المثال بكل بساطة أنه في العشائر الصغيرة الحجم فان احتمال أن يكون جميع أفراد النسل من نفس النوع يعتمد أساساً على الصدفة . وعليه فإن الانحراف الوراثى Random genetic drifts ما هو إلا التذبذب الاعباطى في التكرارات النسبية الجينية . وأن تأثير الانحراف الوراثى بالتالى في العشائر الكبيرة الحجم سوف يكون صغيراً جداً جداً بحيث يمكننا أهمله وعدم أخذه في الاعتبار .

إذا ما حاولنا أيضاً تبسيط المثال السابق وراثياً وافترضنا أنه يوجد لدينا عشيرة كبيرة الحجم من كائن ما وكان تكرار الجين A في هذه العشيرة $p = 0.4$ وأن تكرار الاليل a في نفس العشيرة $q = 0.6$. فإذا سحبنا من هذه العشيرة عينة اعتباطية فاننا نتوقع بالتالى أن يظل هذان التكراران ثابتان عند 0.6, 0.4 مع الأخذ في الاعتبار انحرافهما بعض الشيء في حدود الخطأ التجريبي . والمقياس الإحصائى الذى يقيس لنا انحراف القيم المشاهدة عن القيم المتوقعة نتيجة للخطأ التجريبي هو الانحراف القياسى . وهذا الانحراف القياسى لعينة مسحوبة من عشيرة كبيرة هو :

$$= \sqrt{pq}$$

$$= \frac{1}{2N}$$

حيث أن N = عدد الأفراد الشائبة التركيب الموجودة في العينة .

ففى عينة مكونة من ١,٠٠ شخص من اثال السابق جد أن الانحراف القياسى :

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.6 \times 0.4}{2 \times 1000.6}} = 0.0035$$

ومن هذا نجد أن التكرار النسبى الجينى للاليل A المشاهد سوف ينحصر ما بين القيمتين .

$$0.4 \pm$$

$$\text{أو ما بين } 0.3965 \text{ وبين } 0.40035$$

ومن ناحية أخرى نفرض أننا سحبنا فقط عينة مكونة من عشرون شخصا ففى تلك الحالة الأخيرة سوف يكون الانحراف القياسى للعينة التالية :

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.6 \times 0.4}{40}} = \underline{\underline{0.077}}$$

وفى الحالة الثانية سوف نجد أن التكرار النسبى الجينى المشاهد للجين A سوف ينحصر ما بين 0.323 و 0.477 .

لاحظ هنا فى الحالة الأخيرة أن قيمة التكرار النسبى الجينى للاليل A بعدت كثيراً عن مثيلها فى العشيرة الأم .

وبناء على ما سبق يتضح لنا أنه إذا ما تكونت عشيرة جديدة عن عدد كبير من الآباء فإن غينة مقدارها ٢٠,٠٠ شخصا تؤكد لنا أن التكرار النسبى الجينى بالنسبة للاليلين فى كل من العشيرة الأصلية (الآباء) والعشيرة الجديدة سيكونان متساويين . لكن إذا ما كانت تلك العشيرة الجديدة متكونة عن عدد قليل من الآباء (عشرون أباً فقط) فإن عوامل الصدفة سوف يؤدى بالتالى الى

تغير التكرار النسبي الجيني في العشيرة الجديدة عن مثيلتها في العشيرة الأم نتيجة للخطأ التجريبي .

تعتبر دراسة توزيع مجاميع الدم في الإنسان وخاصة مجموعة الدم ABO في العشائر الإنسانية هي نتيجة للانحراف الوراثي (نتيجة لهجرة بعض أفراد قليلة العدد الى اماكن بعيدة منعزلة عن العشائر الأم واستيطانها في تلك الأماكن الجديدة) .

فعلى سبيل المثال نجد انتشار مجموعة الدم O بين الهنود الحمر في أمريكا . وهؤلاء الهنود الحمر يعتقد أنهم قد هاجروا أصلاً الى أمريكا من آسيا . ومن المعروف أن مجموعة الدم O قليلة الانتشار في آسيا . فعليه فإن انتشار مجموعة الدم O في الهنود الحمر (العشيرة الجديدة) عما هو موجود في العشيرة الأم ما هو إلا نتيجة للانحراف الوراثي .

٤ — شذوذية الانعزال Segregation distortion

من دراستنا لباب الطفرات وجدنا أن هناك عدة تقسيمات لهذه الطفرات فمنها ما هو جيني وأخرى كروموسومية ، وهذه بالتالي منها ما هو خاص بالتركيب الكروموسومي أو بعدد الكروموسومات في المجموعة الكروموسومية .. الخ . فمثلاً في حالة الانقلاب البعيد عن منطقة السنترومير paracentric inversion والخليط أيضاً نجد أن مثل هذا الانقلاب يؤثر تأثيراً فعالاً جداً على اختزال حيوية الذكور ولكن نفس هذا الانقلاب لا يؤثر على حيوية الإناث . ذلك بسبب أن الجاميطات الأنثوية الفعالة يصلها جميع الكروموسومات الغير منقلبة بينما الكروموسومات المحتوية على الانقلاب أو الكروموسومات التي فقدت أجزاء كروموسومية نتيجة لهذا الانقلاب فانها عادة ما تتوزع الى الأجسام القطبية . هذه الظاهرة الناتجة عن عدم انتظام عشوائية التوزيع بالنسبة للجاميطات المذكورة والمؤتة تسمى بظاهرة Segregations distortion أو Meiotic drive . ونتيجة لهذه الظاهرة فإذا فرض ووجد زوج من الأليلات Aa في خلية من الخلايا التي سوف تكون الجاميطات

نجد أن تكرار الجاميطات المحتوية على الاليل A غير متساوية مع تلك الجاميطات المحتوية على الاليل a .

وحيث أن قانون هاردي — وينبرج يشترط انتظام خطوات الانقسام الميوزي وبالتالي تساوى عدد الجاميطات المحتوية على الاليل A مع عدد الجاميطات المحتوية على الاليل a وأن كلا النوعين من الجاميطات متساويان أيضا في الحيوية ولكل منهما نفس المقدرة على إخصاب الجاميطات الأخرى ، وحيث أننا نجد أن شذوذية الانحرال Segregation distortion تعمل على المستوى الجاميطي (وليس الزيجوتي) بحيث تؤثر على نسب الجاميطات الناتجة .

٥- الهجرة Migration :

تعتبر حركة الأفراد أو هجرتها بمعنى أدق من أو الى عشيرة منعزلة ذات تأثير فعال على تغيير التكرار النسبي الجيني في مثل هذه العشيرة . والمثال التالي يوضح لنا تأثير الهجرة على التكرار الجيني في عشيرة منعزلة . حيث نجد في هذا المثال أن هناك عشيرتان منعزلتان عن بعضهما . العشيرة الأولى تمتاز بتكرار نسبي جيني كما يلي :

$$A \text{ frequency} = p_1 = 0.6$$

قبل الهجرة

$$a \text{ frequency} = p_1 = 0.4$$

بينما تمتاز العشيرة الثانية بالتكرارات التالية :

$$a \text{ frequency} = 0.7$$

قبل الهجرة

$$A \text{ frequency} = 0.3$$

هاجر عدد من أفراد العشيرة الثانية الى العشيرة الأولى وبلغت نسبة الأفراد المهاجرة الى العشيرة الأولى ٢٠٪ من حجم العشيرة الأولى . وحيث أن التكرارات الجينية لكل من العشيرتين الأصليتين مختلفتين عن بعضهما البعض فإن التوازن

الجيني للعشيرة الجديدة سوف يتغير بالتالى بعد هجرة هؤلاء الأفراد . لاحظ أنه في كل جيل جديد من أجيال العشيرة الجديدة أن قيمة q بها هي عبارة عن متوسط q_I , q_{II} . موزونة بالنسبة ما بين عدد الأفراد الأصليين الى عدد الأفراد المهاجرين ، ويمكن توضيح ذلك فيما يلي :

العشيرة الأولى

$$\text{قبل الهجرة} \left\{ \begin{array}{l} \text{التكرار النسبي للجين} \\ p_a = 0,6 = A \\ \text{التكرار النسبي للجين} \\ q_a = 0,4 = a \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{نسبة} \\ \%100 \end{array}$$

عدد $\times$ من الأفراد المهاجرة

العشيرة الجديدة بعد الهجرة

التكرار النسبي للجين نسبة $\%20$

$$p_2 = 0,3 = A$$

التكرار النسبي للجين

$$q_2 = 0,7 = a$$

التكرار النسبي للجين

$$p_1 = 0,6 = A$$

التكرار النسبي للجين

$$q_1 = 0,4 = a$$

العشيرة الجديدة

نسبة $\%80$

من عدد أفراد

العشيرة الجديدة

$$\dots q = 0.2 q_2 + 0.8 q_1 =$$

$$0.2 (0.7) + 0.8 (0.4) = 0.40$$

(frequency of a)

$$p = 1 - 0.54 \text{ (frequency of A)}$$

العشيرة الثانية

التكرار النسبي للجين $= A$

$$p_a = 0,3$$

التكرار النسبي للجين $= a$

$$q_a = 0,7$$

نسبة
 $\%100$

العشيرة الثانية

التكرار النسبي للجين $p_2 = 0,3 = A$

التكرار النسبي للجين $q_2 = 0,7 = a$

نجد أن تلخيصا لدراستنا لجميع العوامل السابقة أن بواسطة قانون هاردي —
ينبرج للتوازن الجيني نستطيع أن نعبّر تأثير بعض القوى التي تعمل على تغيير
لتكرار النسبي الجيني للعشائر المتبدلية . وهذا التغيير في التكرار الجيني يؤدي
بالتالي الى تكوين أنواع جديدة من الكائن الحي . أو بمعنى آخر يؤدي الى التطور
العضوي للعشيرة .