المحاضرة الخامسة في الوراثة الحيوانية

طلاب المستوي الثاني

برنامج الانتاج الحيواني و الدواجن

إعداد

أ.د. جلال احمد رزق الشربينى

أستاذ ورئيس قسم الوراثه- كليه الزراعه- جامعه سوهاج

وراثة العشائر

POPULATION GENETICS

يهتم علم وراثة العشائر بدراسة الطرق التى يتم بها توريث الصفات المختلفة لأفراد مجتمع معين وعادة ما تكون هذه الصفات صفات نوعية Qualitative characters يتحكم فيها عدد قليل من الجينات. كما يهتم علم وراثة العشائر بتحديد نسبة التراكيب الوراثية Genotypes المختلفة فى جيل Generationمعين بالنسبة لما سوف تكون عليه هذه النسب فى الجيل التالى Next generation.

العشيرة POPULATION

تعرف العشيرة على أنها مجموعة الأفراد التى تعيش معاً فى منطقة بيئية واحدة وقادرة على التكاثر الجنسى فيما بينها بحيث يكون لكل فرد نفس الفرصة فى أن يتزاوج مع أي فرد آخر من هذه العشيرة. ولذا تسمى هذه العشيرة بعشيرة تحت نظام التزاوج العشوائى Random mating population.

التكرار الجينى

GENE FREQUENCY

وهو عبارة عن نسبة كل أليل من الأليلات المختلفة لجين ما فى عشيرة معينة. فمثلا فى عشيرة من مجاميع الدم M ، N تم فحص ١٠٠ فرد ووجد أن عدد أفراد كل مجموعة كما يلى :

Genotypes	MM	MN	NN	total
N° of persons	40	40	20	= 100
N° of Alleles	80	80	40	= 200
Genotypes frequency	0.4	0.4	0.2	= 1.0

ويتم حساب التكرار الجينى لكل أليل من الأليلين M , N كما يلى :

١ - من عدد الأليلات :

$$M = \frac{MM + \frac{1}{2} MN}{200} = \frac{80 + 40}{200} = 0.6$$

$$N = \frac{NN + \frac{1}{2} MN}{200} = \frac{40 + 40}{200} = 0.4$$

٢- من تكرار التراكيب الوراثية :

$$M = MM + \frac{1}{2} MN = 0.4 + 0.2 = 0.6$$

$$N = NN + \frac{1}{2} MN = 0.2 + 0.2 = 0.4$$

المحتوى الجينى

Gene Pool

عبارة عن المجموع الكلى للجينات التى تحملها جاميطات جيل الآباء فى العشيرة والقادرة على الاتحاد الجاميطى لتكوين زيجوتات الجيل التالى.

وبناء على ذلك فإن التكرارات الجينية للجيل الجديد تعتمد على التكرارات الجينية للجيل السابق له ولذلك فإن ما يورث فعلاً من جيل إلى جيل فى المجتمع هو التكرارات الجينية وليست الجينات بنفسها. ولقد اعتقد العلماء فى بداية اكتشاف قوانين مندل أن الأليلات السائدة مهما كان تكرارها الجينى صغير فإنها تصل فى نهاية الأمر إلى حالة من التوازن المستمر Stable equilibriumوهذا التوازن يكون بنسبة (١:٣) لكل من الأفراد الحاملة للصفة السائدة والصفة المتنحية على الترتيب وفقاً لقانون الانعزال. وعلى العكس من ذلك فلقد اكتشفت حالات عديدة أثبتت أن الكثير من الأليلات السائدة توجد بتكرارات صغيرة جداً وذلك من خلال الدراسات التى أجراها العالمان (Hardy & Weinberg) سنة (١٩٠٨) حيث أثبتوا أن التكرارات الجينية لا تعتمد على السيادة أو التنحي بل تبقى بدون تغير من جيل إلى جيل آخر مما يؤدى إلى ثبات تكرارات التراكيب الوراثية ويتم ذلك تحت شروط خاصة ويطلق على العشيرة عندئذ أنها فى حالة من التوازن الوراثى المستمر Genetic stable equilibrium وبناء على هذه النتائج توصل (Hardy & Weinberg) إلى قانونهم للتوازن الوراثى.

قانون هاردى وفينبرج للتوازن الوراثى
(Hardy & Weinberg) Law of Genetic Equilibrium

ينص هذا القانون على أن التكرارات الجينية تظل ثابتة من جيل إلى أخر وبالتالى تظل تكرارات التراكيب الوراثية ثابتة من جيل إلى جيل وبذلك تصل العشيرة إلى حالة من التوازن الوراثى، وإذا لم تكن هذة العشيرة فى حالة من التوازن الوراثى فأنها تصل إليه بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى إذا توفرت شروط المحافظة على التكرارات الجينية التالية:

١ - أن يتم التزاوج بين أفراد العشيرة بطريقة عشوائية.

٢ - أن يكون عدد أفراد العشيرة كبير نسبياً.

٣ - أن لا يحدث هجرة Migration من وإلى العشيرة.

٤ - أن لا تحدث طفرة Mutation فى العشيرة تؤدى إلى تغيير فى الأليلات.

٥ - أن لا يحدث أى نوع من أنواع الانتخاب Selection فى العشيرة.

مثال:

نفرض أن لدينا مجموعة من النباتات فى منطقة منعزلة وكانت هذه النباتات تختلف فى صفة معينة مثل صفة لون الأزهار وكان عدد النباتات كما يلى :

Genotypes	AA	Aa	aa	total
N° of persons	50	20	30	=100
Genotypes frequency	0.5	0.2	0.3	=1.0

ويمكن حساب التكرار الجينى لكل أليل كما يلى :

$$A = AA + \frac{1}{2} Aa = 0.5 + 0.1 = 0.6$$
$$a = aa + \frac{1}{2} Aa = 0.3 + 0.1 = 0.4$$

تترك هذه النباتات للتلقيح العشوائى فيما بينها مع توفر باقى الشروط السالفة الذكر فنجد أن هناك ٩ طرق ممكنة لحدوث التزاوج العشوائى فى العشيرة بالنسبة للتراكيب الوراثية الثلاث ولكنها فى الواقع عبارة عن ٦ أنواع من التلقيحات حيث أن بعضها تلقيحات

Genotypes		AA	Aa	aa
		0.5	0.2	0.30
AA	0.5	0.25	0.01	0.15
Aa	0.2	0.10	0.04	0.06
aa	0.3	0.15	0.06	0.09

ويمكن معرفة أنواع تكرارات التراكيب الوراثية فى النسل الناتج من التلقيح بين النباتات من الجدول التالى

Types of Mating		Frequency of Mating	Progeny		
			AA	**Aa**	aa
AAX AA	(1)	1 (0.5X0.5) = 0.25	0.25	-	-
AAX Aa	(2)	2 (0.5X0.2) = 0.20	0.10	0.10	-
AAX aa	(2)	2 (0.5X0.3) = 0.30	-	0.3	-
Aa X Aa	(1)	1 (0.2X0.2) = 0.04	0.01	0.02	0.01
Aa X aa	(2)	2 (0.2X0.3) = 0.12	-	0.06	0.06
aa X aa	(1)	1 (0.3X0.3) = 0.09	-	-	0.09
Total	9	1.0	0.36	0.48	0.16

ونلاحظ أن تكرارات التراكيب الوراثية فى النسل قد تغيرت عن تكرارات التراكيب الوراثية للآباء كما يلى :

Genotypes	AA	Aa	aa	Total
Genotypes frequency of parents	0.5	0.2	0.3	= 1.0
Genotypes frequency of progeny	0.36	0.48	0.16	= 1.0

وعلى الرغم من تغير تكرارات التراكيب الوراثية فى النسل عن الآباء فإن التكرارات الجينية تظل ثابتة فى النسل كما يلى :-

$$A = AA = \tfrac{1}{2} Aa = 0.36 + 0.24 = 0.6$$
$$a = aa + \tfrac{1}{2} Aa = 0.16 + 0.24 = 0.4$$

ونستنتج من ذلك أنه بعد جيل واحد من التلقيح العشوائى ومع توفر باقى شروط (Hardy & Weinberg) للمحافظة على تكرارات التراكيب الوراثية فإن التكرارات الجينية ظلت ثابتة فى النسل كما كانت فى جيل الآباء بينما تغيرت تكرارات التراكيب الوراثية فى النسل عن مثيلاتها فى الآباء وهذا يدل على أن العشيرة كانت غير متوازنة، وبعد جيل واحد من التزاوج العشوائى أصبحت متوازنة وسوف تظل متوازنة طالما أن هذة الشروط كانت موجودة. ويمكن إثبات ذلك بتكرار التلقيحات بين أفراد النسل الناتج فسوف نرى أن تكرارات التراكيب الوراثية تظل ثابتة وذلك لثبات التكرارات الجينية.

Types of Mating		Frequency of Mating	Progeny		
			AA	Aa	aa
AA X AA	(1)	1 (0.36X0.36) = 0.1296	0.1296	-	-
AA X Aa	(2)	2 (0.36X0.48) = 0.3456	0.1728	0.1728	-
AA X aa	(2)	2 (0.36X0.16) = 0.1152	-	0.1152	-
Aa X Aa	(1)	1 (0.48X0.48) = 0.2304	0.0576	0.1152	0.0576
Aa X aa	(2)	2 (0.48X0.16) = 0.1536	-	0.0768	0.0768
aa X aa	(1)	1 (0.16X0.16) = 0.0256	-	-	0.0256
	9	1.0	0.36	0.48	0.16

ومن خلال البيانات المدونة بالجدول السابق يلاحظ أن تكرارات التراكيب الوراثية ظلت ثابتة فى النسل الجديد. وسوف يظل هكذا جيلاً بعد الآخر طالما كانت التكرارات الجينية ثابتة .

الإثبات الجبرى لقانون (Hardy & Weinberg)

ويمكن وضع العلاقة بين التكرارات الجينية وتكرارات التراكيب الوراثية فى صورة جبرية كما يلى :-

نرمز لتكرار الأليل A بالرمز p، ونرمز لتكرار الأليل a بالرمز q

حيث أن : $p + q = 1.0$

وعلى ذلك فإن تكرارات التراكيب الوراثية عند التوازن تكون كما يلى :

Genotypes	AA	Aa	aa
Genotypes frequency at equilibrium	p^2	$2pq$	q^2

فى المثال السابق كانت التكرارات الجينية هى :

$$A = p = 0.6$$

$$a = q = 0.4$$

وعند التوازن كانت تكرارات التراكيب الوراثية كما يلى :

AA	Aa	aa
0.36	0.48	0.16
(0.6) (0.6)	2 (0.6)(0.4)	(0.4) (0.4)
$(0.6)^2$	2(0.6) (0.4)	$(0.4)^2$
AA	Aa	aa
$(0.6)^2$	2 (0.6)(0.4)	$(0.4)^2$
p^2	2pq	q^2

وسوف تظل تكرارات هذه التراكيب الوراثية ثابتة من جيل إلى جيل آخر طالما كانت الشروط التى وضعها (Hardy & Weinberg) متوفرة ويمكن إثبات ذلك جبرياً كما يلى :

Types of Mating		Frequency of Mating	Progeny		
			AA	Aa	aa
AAX AA	(1)	$1\ (p^2 \times p^2) = p^4$	p^4	-	-
AA X Aa	(2)	$2\ (p^2 \times 2pq) = 4p^3q$	$2p^3q$	$2p^3q$	-
AA X aa	(2)	$2\ (p^2 \times q^2) = 2p^2q^2$	-	$2p^2q^2$	-
Aa X Aa	(1)	$1\ (2pq \times 2pq) = 4p^2q^2$	p^2q^2	$2p^2q^2$	p^2q^2
Aa X aa	(2)	$2\ (2pq \times q^2) = 4pq^3$	-	$2pq^3$	$2pq^3$
aa X aa	(1)	$1\ (q^2 \times q^2) = q^4$	-	-	q^4
9		$(p^2+2pq+q^2) = 1.0$	p^2	$2pq$	q^2

ويلاحظ من الجدول أن تكرارات التراكيب الوراثية عند التوازن لم تتغير فى النسل الناتج عن مثيلاتها فى الآباء وذلك نتيجة لثبات تكرارات التراكيب الوراثية تحت شروط (Hardy & Weinberg) والتى يمكن حسابها كما يلى :

$$A = p = AA + \frac{1}{2} Aa$$

$$p2 + pq = p\ (p + q) = p$$

$$a = q = aa + \frac{1}{2} Aa$$

$$q2 + pq = q\ (p + q) = q$$

مثال :

نفرض أن لدينا مجموعة من النباتات عدد أفرادها كما يلى :-

RR	Rr	rr	total
30	40	30	100
0.3	0.4	0.3	1.0

ويمكن حساب التكرارات الجينية كما يلى :

$$R = p = 0.3 + 0.2 = 0.5$$

$$r = q = 0.3 + 0.2 = 0.5$$

وعلى ذلك فإن تكرارات التراكيب الوراثية عند التوازن تكون كما يلى :

RR	Rr	rr	total
P^2	2pq	q^2	
0.25	0.5	0.25	1.0

وسوف تظل هذه التكرارات الوراثية ثابتة من جيل لآخر طالما كانت التكرارات الجينية ثابتة عندما تكون شروط (Hardy & Weinberg) قائمة .

التوازن الوراثى فى حالة تعدد الأليلات

Equilibrium with multiple Alleles

يطبق قانون (Hardy & Weinberg) للتوازن الوراثى أيضاً فى حالة تعدد أليلات الجين الواحد طبقاً لنفس المبادئ السابق ذكرها. فإذا كان لدينا ٣ أليلات ولتكن A1 ، A2 ، A3 بتكرارات p ، q ، r على التوالى بحيث يكون مجموع هذه التكرارات مساوياً الواحد الصحيح كما يلى :

$$p + q + r = 1.0$$

وفى حالة التوازن الوراثى تصبح تكرارات التراكيب الوراثية كما يلى :

A_1A_1	A_1A_2	A_1A_3	A_2A_2	A_2A_3	A_3A_3	total
p^2	$2pq$	$2pr$	q^2	$2qr$	r^2	$= 1.0$

فإذا كان التكرار الجينى للأليلات الثلاث هو :

$A3 = r = 0.2$, $A2 = q = 0.5$, $A1 = p = 0.3$

فإن توازن تكرارات التراكيب الوراثية يتحقق بعد جيل واحد من التزاوج

Q / P	A_1 $p = 0.3$	A_2 $q = 0.5$	A_3 $r = 0.2$
A_1 $p = 0.3$	A_1A_1 $P^2 = 0.09$	A_1A_2 $pq = 0.15$	A_1A_3 $pr = 0.06$
A_2 $q = 0.5$	A_1A_2 $pq = 0.15$	A_2A_2 $q2 = 0.25$	A_2A_3 $qr = 0.10$
A_3 $r = 0.2$	A_1A_3 $pr = 0.06$	A_2A_3 $qr = 0.10$	A_3A_3 $r^2 = 0.04$

ومن الجدول السابق يتضح أن تكرارات التراكيب الوراثية فى حالة التوازن هى :

A_1A_1	A_1A_2	A_1A_3	A_2A_2	A_2A_3	A_3A_3	total
p^2	$2pq$	$2pr$	q^2	$2qr$	r^2	$= 1.0$
0.09	0.30	0.12	0.25	0.20	0.04	$= 1.0$

ويمكن حساب التكرار الجينى للأليلات الثلاث كما يلى :

$$A1\ (p) = p2 + ½\ (2pq) + ½\ (2pr) = p$$

$$A2\ (q) = q2 + ½\ (2pq) + ½\ (2qr) = q$$

$$A3\ (r) = r2 + ½\ (2pr) + ½\ (2qr) = r$$

ومن المثال السابق تكون التكرارات الجنينية كما يلى :

$$A1\ (p) = 0.09 + 0.15 + 0.06 = 0.3$$

$$A2\ (q) = 0.25 + 0.15 + 0.10 = 0.5$$

$$A3\ (r) = 0.04 + 0.06 + 0.10 = 0.2$$

وعندما تكون نسب الأشكال المظهرية معلومة ونسب التراكيب الوراثية غير معلومة فيمكن حساب التكرار الجينى لكل كما يلى :

$$q = \sqrt{q2 + 2qr + r2 -} \quad r$$

$$p = \sqrt{q2 + 2pr + r2 -} \quad r$$

$$r = \sqrt{r2}$$

التوازن والارتباط بالجنس

Equilibrium and sex linkage

من شروط (Hardy & Weinberg) بتحقيق التوازن الوراثى فى العشيرة أن يكون حجم العشيرة كبير ويتساوى فيه التكرارات الجينية فى الذكور Males والإناث Females .

$$A = p\ (\ pm = pf\ )$$

$$a = q\ (\ qm = qf\ )$$

وبذلك فإن هذه العشيرة إن لم تكن متوازنة وراثياً، تصل إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى. فإذا كان هناك جين مرتبط بالجنس أى

يوجد على كروموسوم (X) وله أليلان هما A بتكرار p ، a بتكرار q وأن تركيب الأنثى XX والذكر XY فيكون التركيب الوراثى للذكور والإناث فى حالة التوازن كما يلى :

الذكور ♂		الإناث ♀		
a Q	A p	aa q^2	Aa 2pq	AA p^2

وسوف تظل تكرارات التراكيب الوراثية فى كل من الذكور والإناث ثابتة من جيل إلى آخر تحت شروط (Hardy & Weinberg) ويمكن إثبات ذلك

Types of Mating	Frequency of Mating	Female			Male	
		AA	Aa	aa	A	a
AA X A	p^3	P^3	-	-	P^3	-
Aa X A	$2p^2q$	p^2q	p^2q	-	p^2q	p^2q
aa X A	pq^2	-	pq^2	-	-	pq^2
AA X a	p^2q	-	p^2q	-	P^2q	-
Aa X a	2pq2	-	pq^2	pq^2	pq^2	pq^2
aa X a	q^3	-	-	q^3	-	q^3
	$(p + q) = 1.0$	$p^2(p+q) = p^2$	$2pq\ (p+q) = 2pq$	$q^2(p+q) = q^2$	$p^2+2pq+q^2 = p$	$p^2+2pq^2+q^2 = q$

أى يتحقق التوازن للتراكيب الوراثية فى جيل واحد من التزاوج العشوائى عندما تكون التكرارات الجينية كل من الألليلات a ، A متساوية فى الذكور والإناث .

مثال :

إذا كان لدينا عشيرة من الحيوانات تحتوى على أفراد بالنسب التالية :

الذكور ♂		الإناث ♀		
a	A	aa	Aa	AA
0.4	0.6	0.2	0.4	0.4

فإن التكرار الجينى للأليل A فى كل من الذكور والإناث يساوى ٠.٦ والتكرار الجينى للأليل a فى كل من الذكور والإناث يساوى ٠.٤ أى أن :

$$pm = pf = 0.6$$
$$qm = qf = 0.4$$

وعلى ذلك فبعد جيل واحد من التزاوج العشوائى تصل هذة العشيرة إلى حالة من التوازن الوراثى وتصبح تكرارات التراكيب الوراثية كما يلى :

الإناث ♀			الذكور ♂	
AA	Aa	aa	A	a
0.36	0.48	0.16	0.6	0.4

وتستمر العشيرة فى هذه الحالة من التوازن الوراثى طالما أن شروط (Hardy & Weinberg) قائمة . أما عندما يختلف التكرار الجينى لكل أليل فى الذكور عن الإناث فإن التوازن الوراثى فى العشيرة لا يمكن أن يتحقق فى جيل واحد بل يتطلب الأمر عدد من الأجيال المتتالية للوصول إلى حالة التوازن. فإذا كانت العشيرة تحتوى على النسبة التالية من الأفراد :

الإناث ♀			الذكور ♂	
AA	Aa	aa	A	a
0.2	0.6	0.2	0.2	0.8

وعلى ذلك فإن التكرار الجينى لكل إليل يختلف فى الذكور عن الإناث كما يلى :

الإناث ♀		الذكور ♂	
A	a	A	A
p_f	q_f	p_m	q_m
0.5	0.5	0.2	0.8

ولآن الذكور تحتوى على كروموسوم X واحد والإناث تحتوى على كروموسومان X فإن تكرار الأليل المرتبط بالجنس عند التوازن يكون مساوياً لحاصل جمع 1/3 تكرار هذا الأليل فى الذكور ، 2/3 تكراره فى الإناث أى أن :

$$A = p = \tfrac{1}{3}\, p_m = \tfrac{2}{3}\, p_f = \frac{pm + 2\,pf}{3}$$

$$= \frac{0.2 + 2(0.5)}{3} = 0.4$$

$$a = q = \frac{qm + 2qf}{3} = \frac{0.8 + 2(0.5)}{3} = 0.6$$

وبذلك يصبح تكرارات التراكيب الوراثية عند التوازن كما يلى :

الذكور ♂		الإناث ♀		
a	A	aa	Aa	AA
0.6	0.4	0.36	0.48	0.16

وحالة التوازن هذه تصل إليها العشيرة بعد عدة أجيال متتالية من التزاوج العشوائى بالإضافة إلى توفر شروط (Hardy & Weinberg) .

التوازن الوراثى فى حاله تعدد الجينات

Genetic Equilibrium and Multiple Genes

تصل جميع التكرارات الوراثيه للجينات الواقعه على الكروموسومات الجسميه الى حاله التوازن الوراثى لكل جين على حده فى جيل واحد من التزواج العشوائى للمجتمع، ولكن اذا اخذنا فى الاعتبار زوجين من الجينات او اكثر فان تكرارات التراكيب الوراثيه لا تصل الى حاله التوزان مباشره بل تصل تدريجيا وبعد مرور عدد كبير من الاجيال.

ومن اجل توضيح هذا الامر، ناخذ زوجين من الجينات كل زوج منها يقع على كروموسوم مستقل عن الاخر، اى انهما غير مرتبطان ببعضهما ولكل زوج من الجينات اليلان فقط ولتكن هذه الجينات :

الجين (A) واليله (a) والجين (B) واليله (b) ولكل اليل من هذه الاليلات تكراره

نعلم انه فى حاله التوازن لكل جين على حده يكون تكرار التراكيب الوراثيه هى:

للجين **A; a**

$$p^2 (AA) = 2pq (Aa) : q^2$$

للجين **B; b**

$$r^2 (BB) = 2rs (Bb) : s^2 (bb)$$

وعلى ذلك فان تكرار التراكيب الوراثيه لكل من الجينين تكون:

$$(P^2 + 2pq + q^2) (r^2 + 2rs + s^2)$$

ومن معلومات على الجبر البسيطه أن حاصل ضرب المعادلتين السابقتين يساوى تماما مفكوك المعادله الاتيه:

$$(pr + ps + qr + qs)^2$$

ولكن هذه المعادله الجبريه هى عباره عن تربيع تكرار الجاميطات الحامله للايلات الاربع اى:

$$(AB + Ab + aB + ab)^2$$

ومن ثم عندما تصل تكرارات التراكيب الوراثيه التسع الى حاله التوازن الوراثى بعد عدد من الاجيال تكون تكرارات هذه التراكيب الوراثيه كما يلى:

$AABB= p^2r^2$ $AABb= 2p^2rs$ $AaBB=2pqr^2$

$AaBb= 4pqrs$ $AAbb=p^2q^2$ $Aabb=2pqs^2$

$aaBB= q^2r^2$ $aaBb= 2q^2rs$ $aabb=q^2s^2$

وهنا يجب ملاحظه ان توازن تكرارات التراكيب الوراثيه السابقه يتوقف على توازن تكرارات الجاميطات المكونه لها والتى تكون عند التوازن كما يلى :

AB Ab aB ab

Pr ps qr qs

وعلى ذلك فبمجرد ان تصل تكرارات الجاميطات الى حاله التوازن الوراثى تصل تكرارات التراكيب الوراثيه لافراد المجتمع الى حاله التوازن فى نفس الوقت، ولا يبقى الا معرفه متى يصل المجتمع الى هذه الحاله من التوازن.

فاذا كان جميع افراد المجتمع خليط اى كانت بالتركيب الوراثى **AaBb** فان تكرارات الاليلات **A, a, B, b** تكون متساويه أى ان:

$$p= q= r= s= 0.5$$

وعلى ذلك فان تكرار الانواع الاربع المختلفه فى الجاميطات والتى تنتجها الافراد الخليطه تكون فى حابه توازن وبالتالى تصبح تكرارات التراكيب الوراثيه فى حاله توازن وبعد جيل واحد من التزاوج العشوائى لافراد المجتمع الخليط. وتعتبر هذه الحاله هى الحاله الوحيده التى يتحقق فيها التوازن فى جيل واحد.

وعموما اذا كانت التكرارات الاوليه للاليلات الاربع عير متساويه فان وصول تكرارات الجاميطات وبالتالى تكرارات التراكيب الوراثيه الى حاله الاتزان الوراثى يتاخر طويلا ويستغرق عدد من الاجيال المتتاليه.

ولكى نحدد عدد الاجيال اللازمه لاحداث التوازن يلزم تحديد امرين:

١- معرفه التكرار الجاميطى المتوقع ان تصل اليه الجاميطات فى حاله التوازن.

٢- معرفه كيفيه تحديد حاله التوازن.

ولكى نعرف هذين الامرين ينبغى ان نقسم انواع الجاميطات

AB, Ab, aB, ab

الى نوعين:

نوع تجاذبى Coupling AB, ab

(يوجد فيه اليلان السائدان معا والمتنحيان معا)

نوع تنافرى Repulsion Ab, aB

وبما ان تكرار الجينات فى جاميطات النوع التجاذبى هى نفس تكرار الجينات فى جاميطات النوع التنافرى ، فانه من المتوقع ان تكون نسبه التركيب الوراثى الناتج من النوعين متساويه وفى حاله التوازن اى ان:

Ab X aB = AB X ab

(تنافرى) (تجاذبى)

فمثلا :

اذا كان تكرارات كل من الاليلين السائدين A,B = 0.6 وتكرارات كل من الاليلين المتنحيين a,b= 0.4 فانه فى حاله التوازن يكون:

Ab X aB	**AB X ab**
Repulsion	**Coupling**
(0.6)(0.4) x (0.4)(0.6)	(0.6)(0.6) X (0.4)(0.4)

فاذا كان هناك فرق بين نسبه الجاميطات فى النوع التجاذبى مع نسبه الجاميطات فى النوع التنافرى فى المجتمع الاساسى، فان هذا الفرق يمثل التغير فى تكرارات الجاميطات الذى يجب ان يتحقق لكى تثل هذه الجاميطات الى حاله التوازن.

فاذا كان

Ab X aB - AB X ab = (+d)

فعند الوصول لحاله التوازن فى المجتمع يكون هذا الفرق **(+d)** قد أضيف لكل جاميطه من النوع التجاذبى وتطرح من كل جاميطه من النوع التنافرى.

أما اذا كان

Ab X aB - AB X ab = (-d)

فأن العكس هو الذى يحدث أى أن **(-d)** يضاف لكل جاميطه من النوع التنافرى وتطرح من كل جاميطه من النوع التجاذبى.

مثال:

أذا كان المجتمع الاساسى يحتوى على التكرارات الجاميطيه التاليه:

تنافر		تجاذبى	
aB	Ab	ab	AB
0.3	0.3	0.1	0.3