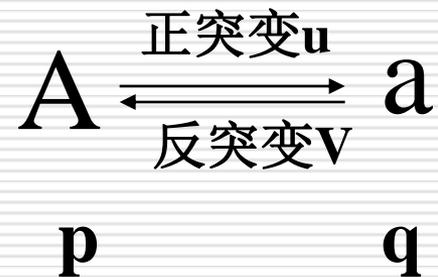

第二节 影响平衡的因素及效应

一、突变

1、突变压：因突变造成的基因频率改变的度量

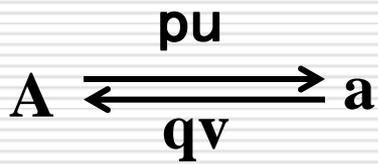
正突变压、负突变压



2、突变压对基因频率的作用

(1) 为自然选择提供原始材料

(2) 突变能够直接导致基因频率的变化



$$\Delta p = q_0 v - p_0 u$$

$$\Delta q = p_0 u - q_0 v$$

当群体达到平衡时，基因频率保持不变：

$$\Delta q = p_0 u - q_0 v = 0;$$

$$\Delta p = p_n u - q_n v = 0;$$

$$\begin{cases} p_n u = q_n v \\ p + q = 1 \end{cases} \implies (1 - q_n) u = q_n v \implies u - q_n u = q_n v$$

$$\implies \begin{cases} q_n = \frac{u}{u+v} \\ p_n = \frac{v}{u+v} \end{cases}$$



❖ 突变压对基因频率的作用

结论：

- 在没有其他因素干扰时，平衡群体的基因频率由正反突变频率的大小决定。
- 给定一对等位基因的正反突变频率，就可以计算平衡状态时的基因频率。

例： $u=1 \times 10^{-6}$ ， $v=5 \times 10^{-7}$ → $p=33\%$ ， $q=67\%$ ；

$u=v=1 \times 10^{-6}$ → $p=q=50\%$

由于大多数基因突变频率很低 ($10^{-4} \sim 10^{-7}$)，因此**突变压对基因频率的改变要经过很多世代**。时间的长短则与世代周期长短密切相关。



二、选择

(一) 自然选择作用的参数

1、适应度(W):一个已知基因型的个体，把它们的基因传递到其后代基因库中的相对能力

	AA	Aa	aa
当代个数	40	50	10
子代数	80	90	10
生殖率	2	1.8	1
W	1	$1.8/2=0.9$	$1/2=0.5$

2、选择系数（ s ）：是它表示在选择的作用下降低的适应值，用以测量某一个基因型在群体中不利于生存的程度

$$s=1-W \quad 0 \leq s \leq 1。$$

(二) 自然选择的模式

1、选择对隐性纯合体不利

基因型	AA	Aa	aa	总和
初始频率	p_0^2	$2p_0q_0$	q_0^2	1
适应度	1	1	$1-s$	
选择后比率	p_0^2	$2p_0q_0$	$q_0^2(1-s)$	1 - sq_0^2
相对频率	$\frac{P_0^2}{1 - sq_0^2}$	$\frac{2p_0q_0}{1 - sq_0^2}$	$\frac{q_0^2(1-s)}{1 - sq_0^2}$	1

$$q_1 = R+1/2 \quad H = \frac{q_0(1-sq_0)}{1 - sq_0^2}$$

$$\Delta q = q_1 - q_0 = \frac{-sq_0^2(1-q_0)}{1 - sq_0^2}$$

$$q_{n+1} = \frac{q_n(1-sq_n)}{1 - sq_n^2}$$

当q很小时 $1 - sq_0^2 \approx 1$

$$\Delta q = -sq_0^2(1-q_0)$$



$$q_1 = R + 1/2 \quad H = \frac{q_0(1 - sq_0)}{1 - sq_0^2}$$

当aa致死或不育
时, $s=1$, 因此

$$q_1 = \frac{q_0(1 - q_0)}{1 - q_0^2} = \frac{q_0}{1 + q_0}$$

$$q_2 = \frac{q_1}{1 + q_1} = \frac{\frac{q_0}{1 + q_0}}{1 + \frac{q_0}{1 + q_0}} = \frac{q_0}{1 + 2q_0}$$

$$q_n = \frac{q_0}{1 + nq_0}$$

$$n = \frac{1}{q_n} - \frac{1}{q_0}$$

假若目前白化病基因频率为**0.01**，假若不让白化病人
生育，要将其频率将至**0.001**，则需要多少代

2、选择对显性个体不利

基因型	AA	Aa	aa	总和
初始频率	p_0^2	$2p_0q_0$	q_0^2	1
适应度	$1-s$	$1-s$	1	
选择后比率	$p_0^2 (1-s)$	$2p_0q_0 (1-s)$	q_0^2	1 - $sp_0(2-p_0)$
相对频率	$\frac{P_0^2(1-s)}{1-sp_0(2-p_0)}$	$\frac{2p_0q_0(1-s)}{1-sp_0(2-p_0)}$	$\frac{q_0^2}{1-sp_0(2-p_0)}$	1

$$P_1 = \frac{p_0(1-s)}{1-sp_0(2-p_0)}$$

$$\Delta p = p_1 - p_0 = \frac{-sp_0(1-p_0)^2}{1-sp_0(2-p_0)} < 0$$

3、选择对杂合个体有利

基因型	AA	Aa	aa	总和
初始频率	p_0^2	$2p_0q_0$	q_0^2	1
适应度	$1-s$	1	$1-t$	
选择后比率	$P_0^2(1-s)$	$2p_0q$	$q_0^2(1-t)$	1 $-P_0^2s-q_0^2t$
相对频率		$\frac{2p_0q_0}{1-P_0^2s-q_0^2t}$	$\frac{q_0^2(1-t)}{1-P_0^2s-q_0^2t}$	1

$$q = \frac{q_0(1-q_0t)}{1-P_0^2s-q_0^2t} \quad \Delta q = \frac{p_0q_0(P_0s-q_0t)}{1-P_0^2s-q_0^2t} \quad \Delta q = \frac{p_nq_n(P_ns-q_nt)}{1-P_n^2s-q_n^2t}$$

若群体平衡:

$$ps-qt=0$$

$$q = \frac{s}{s+t}$$

$$p = \frac{t}{s+t}$$

三、突变和选择联合作用

$$\Delta q = p_0 u - q_0 v = (1-q)u$$

$q_0 v \approx 0$



$$\Delta q = -s q_0^2 (1-q_0)$$



若群体平衡： $(1-q)u = s q_0^2 (1-q_0)$

$$u = s q_0^2$$

$$q = \sqrt{\frac{u}{s}}$$



8万人有一个是色盲纯合体，他们的平均子女数约为正常人一半，试计算突变率

四、迁移

迁移(migration): 群体间的个体移动或基因流动叫做迁移

	原有个体	迁入个体	总计
比率	1-m	m	1
a 基因频率	q₀	q_m	

$$q = (1-m) q_0 + m q_m$$

$$\begin{aligned} \Delta q &= (1-m) q_0 + m q_m - q_0 \\ &= m (q_m - q_0) \end{aligned}$$

五、遗传漂变(又称遗传漂移, 简称漂变)

❖ **遗传漂变** (genetic drift) : 指因抽样误差造成基因频率的随机波动。

- 群体遗传平衡的前提条件是随机交配的大群体。小群体相当于大群体的一个样本, 样本容量越小, 样本与总体间存在的偏差就越大, 从而造成样本(小群体)与总体(大群体)基因频率的差异。
 - 漂变发生在基因频率为 $0\sim 1$ 的群体中, 群体越小, 漂变的可能性就越大。
-

❖ 实例

设现有一种猪群（母群体），其痲症基因（隐性有害基因） a 的频率为 $q=0.01$ ，则 $p=0.99$ 。现从该群体中引种两种猪，有下列三种可能：

引种个体基因型		概 率	由引种个体组成的子群体基因频率	
AA (p^2)	AA (p^2)	0.9606	$q=0$	$p=1$
Aa	AA	0.0388	$q=0.25$	$p=0.75$
Aa	Aa	0.0004	$q=0.50$	$p=0.50$

此例说明：

- 1) 来自同一母群体的子群体，其基因频率与母群体不同。
- 2) 多次随机抽样组成的子群体之间，其基因频率不同。
- 3) 频率低的基因很易在群体中消失，向高的方向漂变的可能性较小；相反频率高的基因向高的方向漂变的可能性很大，消失的可能性很小。
- 4) 漂变发生在基因频率大于0而小于1的群体中。

❖ 漂变的特点

- 遗传漂变没有确定的方向，世代群体间基因频率变化是随机的，因此又称为随机遗传漂变 (random genetic drift)。
 - 遗传漂变可以解释中性突变 (无适应能力差异的突变) 频率在不同世代群体间的变化。
-

遗传漂移对基因频率的影响

- ◆ 减少遗传变异
 - ◆ 由于纯合个体增加，杂合个体减少
 - ◆ 遗传漂移使大群体分成许多小群体
 - ◆ 将一些中性或不利的性状保留下来
-

非随机交配

❖ 选型交配 (assortative mating)

➤ **正选型交配** (positive assortative mating) : 指表型或基因型相似的个体间交配的机会多于它们间随机交配的机会, 又称为**选同交配**。

➤ **负选型交配** (negative assortative mating) : 指不同表型或基因型的个体间交配的机会多于它们间随机交配的机会, 又称为**负选异交配**。杂交就是一种负选型交配。

❖ **近亲交配** (inbreeding) : 简称近交, 指有亲缘关系的个体相互交配而繁殖后代。

❖ **非随机交配只改变群体的基因型频率, 而不影响基因频率。**

