

LGN 215 - GENÉTICA

Aula 8 - Genética de Populações

Antonio Augusto Franco Garcia

Filipe Inácio Matias

Marianella F. Quezada Macchiavello

Departamento de Genética
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo

Sumário

Genética de populações

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Equilíbrio de Wright

Literatura

Genética de populações

- ▶ Fornece informações importantes para o melhoramento de plantas e animais, é também, para o melhor entendimento de como se processa a **evolução**
- ▶ A genética de populações estuda os mecanismos da hereditariedade em nível populacional, levando em conta uma amostra aleatória de indivíduos de uma população

Genética de populações

- ▶ **População:** conjunto de indivíduos da mesma espécie, que ocupa o mesmo local, apresenta uma continuidade no tempo e cujos indivíduos possuem a capacidade de acasalar ao acaso e, portanto, de trocar alelos entre si
- ▶ Cada população tem um reservatório gênico que lhe é particular e que a caracteriza (transmitido ao longo das gerações)

Exemplo de população

- ▶ Variedades de plantas alógamas, como a cebola ou o milho, que apresentam polinização aberta, ao acaso (grupos de indivíduos, plantas, cultivados no mesmo local e que, devido a sua forma de polinização, permitem que os cruzamentos ocorram inteiramente ao acaso = **(panmixia)**)



Milho

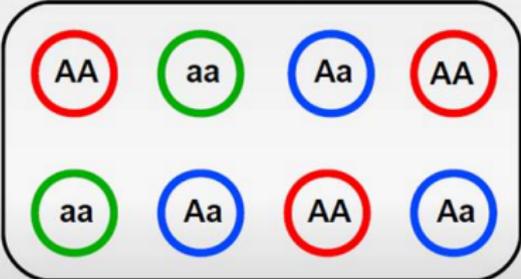


Cebola

Genética de populações

- ▶ As propriedades genéticas das populações são determinadas a partir do conhecimento de suas frequências alélicas e genotípicas
- ▶ **Frequências alélicas:** proporções dos diferentes alelos de um determinado loco na população
- ▶ **Frequências genotípicas:** proporções dos diferentes genótipos para o loco considerado
- ▶ Exemplo:

População



- Qual a frequência de indivíduos com o genótipo "aa" na população?
 - $f(aa) = 2/8 = 0,25$
- Qual a frequência do alelo "a" na população?
 - $f(a) = 7/16 = 0,4375$

Estrutura Genética de Populações



Estrutura Genética de Populações

- ▶ Frequências genotípicas:

- ▶ $f(a_1 a_1) = 2/12$

- ▶ $f(a_2 a_2) = 3/12$

- ▶ $f(a_3 a_3) = 2/12$

- ▶ $f(a_1 a_2) = 1/12$

- ▶ $f(a_1 a_3) = 1/12$

- ▶ $f(a_2 a_3) = 3/12$

- ▶ Frequências alélicas:

- ▶ $f(a_1) = 6/24$

- ▶ $f(a_2) = 10/24$

- ▶ $f(a_3) = 8/24$

Estrutura Genética de Populações

Outros parâmetros populacionais:

- ▶ Número de alelos por loco (A) = 3
- ▶ Heterozigosidade observada:

$$H_o = \frac{\textit{Heterozigotos}}{N} \quad (1)$$

$$H_o = \frac{5}{12} = 0.42 \quad (2)$$

Exemplo: população de plantas de cebola

- ▶ Caráter: cor do bulbo (branco, creme e amarelo)
- ▶ Dominância incompleta
- ▶ Caráter qualitativo
- ▶ Genótipos:
 - II : bulbo branco
 - Ii : bulbo creme
 - ii : bulbo amarelo



II



Ii



ii

Exemplo: população de plantas de cebola

- ▶ Temos 2.000 plantas, distribuídas ao acaso:
 - 100 plantas de bulbos brancos (genótipos $ll = n_1$)
 - 1.000 plantas de bulbos creme (genótipos $li = n_2$)
 - 900 plantas de bulbos amarelos (genótipos $ii = n_3$)
 - De tal forma que: $n_1 + n_2 + n_3 = N$ (número total de indivíduos)
 - $N = 2.000$

- ▶ Frequências genotípicas:
 - $f(ll) = n_1/N = 100/2000 = 0.05$ (D)
 - $f(li) = n_2/N = 1000/2000 = 0.50$ (H)
 - $f(ii) = n_3/N = 900/2000 = 0.45$ (R)

$$D + H + R = 1$$

Exemplo: população de plantas de cebola

- ▶ Frequências alélicas:

- $f(I) = (2 \times 100 + 1000)/(2 \times 2000) = 0.3$

- $f(i) = (2 \times 900 + 1000)/(2 \times 2000) = 0.7$

- ▶ Assim:

- ▶ $II = n_1 = 100$

- ▶ $Ii = n_2 = 1000$

- ▶ $ii = n_3 = 900$

- ▶ Temos que:

- $f(I) = p = (2n_1 + n_2)/2N$

- $f(i) = q = (2n_3 + n_2)/2N$

$$p + q = 1$$

Exemplo: população de plantas de cebola

- ▶ $f(II) = D = 0.05$
- ▶ $f(Ii) = H = 0.50$
- ▶ $f(ii) = R = 0.45$

- ▶ Ou pelas frequências genotípicas:
 - $f(I) = p = D + (1/2)H = 0.05 + (1/2)0,50 = 0.3$
 - $f(i) = q = R + (1/2)H = 0.45 + (1/2)0,50 = 0.7$

$$p + q = 1$$

Exemplo: população de plantas de cebola

O que ocorre com essas frequências ao longo das sucessivas gerações de cruzamentos ao acaso?

	Alelos		Genótipos		
	<i>I</i>	<i>i</i>	<i>II</i>	<i>Ii</i>	<i>ii</i>
Frequências	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>R</i>

Exemplo: população de plantas de cebola

- ▶ Nessa população, serão produzidos apenas dois tipos de gametas, um contendo o alelo I e outro contendo o alelo i . O resultado do cruzamento ao acaso irá depender da união aleatória desses gametas produzindo as seguintes frequências genotípicas:

	Gametas Femininos	
Gametas Masculinos	$I(p)$	$i(q)$
$I(p)$	$II(p^2)$	$Ii(pq)$
$i(q)$	$Ii(pq)$	$ii(q^2)$

Exemplo: população de plantas de cebola

- ▶ A partir dessas frequências genotípicas é possível estimar as novas frequências alélicas. Assim:
- ▶ Frequência do alelo $I(p_1)$:
- ▶ $p_1 = f(I) = D + (1/2)H = p^2 + (1/2)2pq = p^2 + pq = p(p + q) = p$
- ▶ Frequência do alelo $i(q_1)$:
- ▶ $q_1 = f(i) = R + (1/2)H = q^2 + (1/2)2pq = q^2 + pq = q(p + q) = q$
- ▶ $p + q = 1$

Assim as novas frequências alélicas (p_1 e q_1) são iguais as frequências alélicas da geração anterior (p e q)

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- ▶ Nas sucessivas gerações de cruzamentos ao acaso a frequência alélica deverá ser a mesma e, evidentemente, a frequência genotípica também não será alterada
- ▶ Isto foi demonstrado, independentemente, por Hardy e Weinberg, em 1908, e ficou conhecido como **Equilíbrio de Hardy-Weinberg**

“Em uma população grande, que se reproduz por cruzamentos ao acaso (sem autofecundações ou cruzamentos controlados), em que todos os indivíduos são férteis e viáveis, e não existem fatores como seleção, mutação, migração e deriva genética, tanto as frequências alélicas como genotípicas se mantêm constantes ao longo das gerações, e a população encontra-se em equilíbrio.”

Quando ocorre o Equilíbrio?

- ▶ Em populações diplóides e panmíticas (de tamanho grande, em que os cruzamentos ocorrem ao acaso)
- ▶ Onde não há seleção, migração, mutação e deriva genética (mecanismos que alteram as frequências alélicas na população)
- ▶ No equilíbrio:

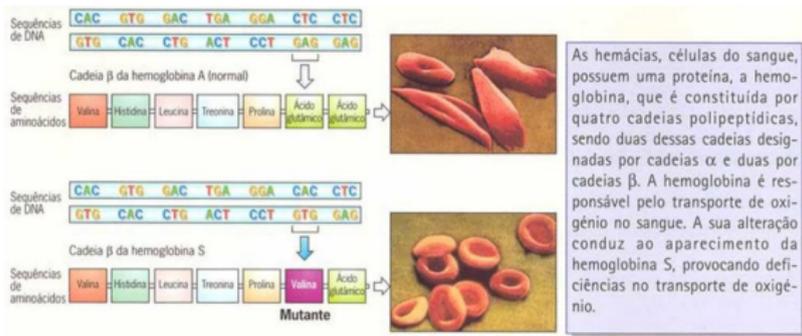
	Alelos		Genótipos		
	<i>I</i>	<i>i</i>	<i>II</i>	<i>Ii</i>	<i>ii</i>
Frequências	p	q	p^2	$2pq$	q^2

Fatores que afetam as frequências alélicas:

- ▶ Mutação
- ▶ Seleção
- ▶ Migração
- ▶ Deriva genética

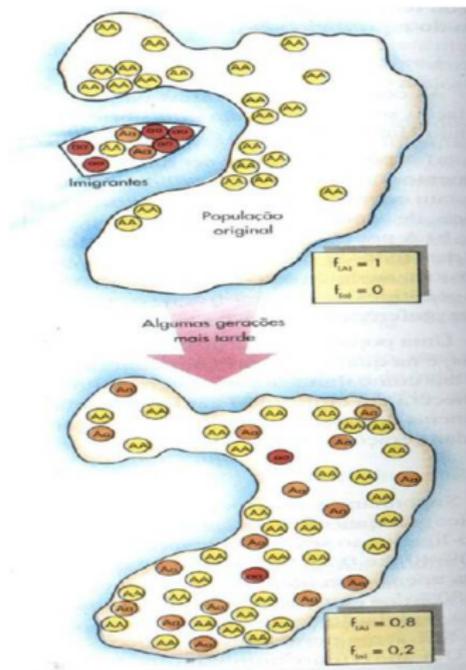
Mutação

- ▶ Alteração na sequência de bases do DNA, se refletindo no polipeptídeo, na proteína formada. Pode resultar no surgimento de novos alelos. Sua ocorrência é muito rara. Por isso, sua importância em termos de alterações nas propriedades genéticas de uma população só ocorre se ela for recorrente, isto é, se o evento mutacional se repetir regularmente com uma dada frequência
 - Exemplo: Anemia Falciforme (doença provocada por mutação gênica)



Migração

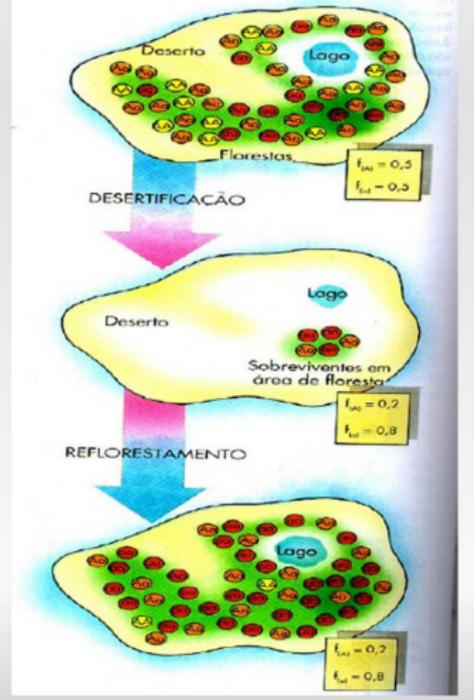
- ▶ Chegada de novos indivíduos na população.
Alteração das frequências alélicas e genotípicas



Deriva genética



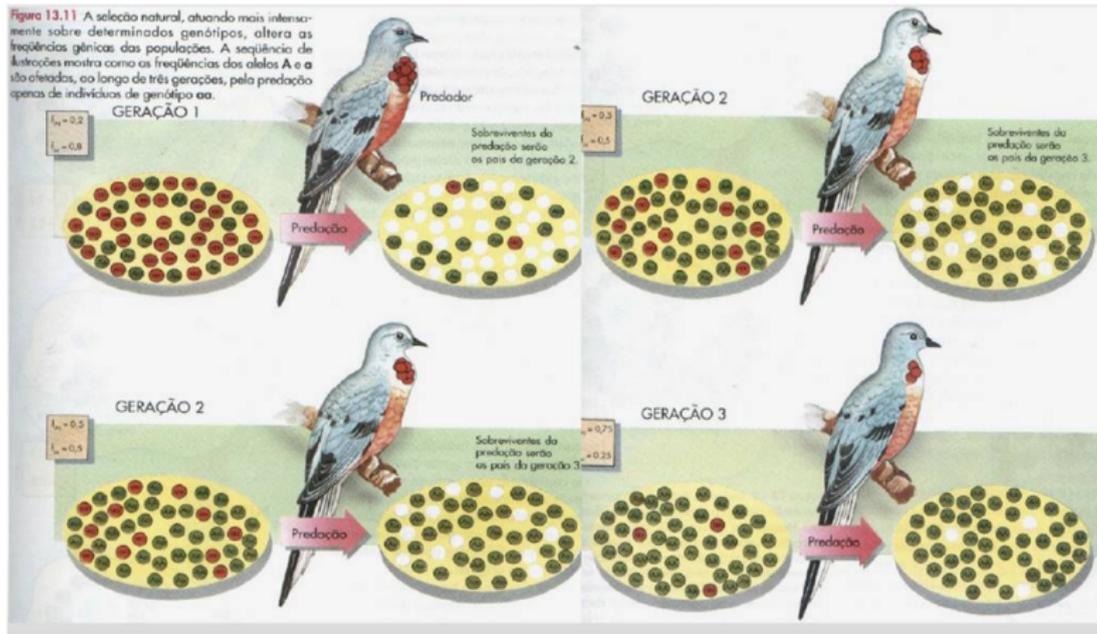
Efeito de Afunilamento (Gargalo)



Seleção Natural

► Mudando as frequências alélicas

Figura 13.11 A seleção natural, atuando mais intensamente sobre determinados genótipos, altera as frequências gênicas das populações. A sequência de ilustrações mostra como as frequências dos alelos A e a são afetadas, ao longo de três gerações, pela predação apenas de indivíduos de genótipo aa.



Exemplo: Cebola

- ▶ O agricultor colheu o mesmo número de sementes de cada uma das plantas e as semeou no ano seguinte; qual será a proporção de cada um dos tipos de bulbos na cebola que será colhida?
- ▶ Temos: 2.000 plantas
 - *II* – 100 bulbos brancos (5%)
 - *II* – 1.000 bulbos creme (50%)
 - *ii* – 900 bulbos amarelos (45%)
- ▶ A frequência alélica estimada foi:
- ▶ $f(I) = 0.3$
- ▶ $f(i) = 0.7$

Exemplo: Cebola

- ▶ Se os cruzamentos foram ao acaso (panmixia), e não houve seleção, mutação, migração e deriva genética, a nova geração terá:
 - Frequências genotípicas:
 - $f(II) = p^2 = (0.3)^2 = 0.09(9\%)$
 - $f(Ii) = 2pq = 2(0.3 \times 0.7) = 0.42(42\%)$
 - $f(ii) = q^2 = (0.7)^2 = 0.49(49\%)$
- ▶ Se o agricultor obtiver uma nova plantação de 2.000 plantas, ela deverá ter:
 - ▶ 180 plantas com bulbos brancos
 - ▶ 840 plantas com bulbos creme
 - ▶ 980 plantas com bulbos amarelos

Exemplo: Cebola

- ▶ A partir deste plantio, a proporção será sempre a mesma
- ▶ A nova frequência alélica será:
 - $f(l) = [2 \times 180 + 840] / 2 \times 2.000 = 0.3$
 - $f(i) = [2 \times 980 + 840] / 2 \times 2.000 = 0.7$

Com um loco apenas, basta uma geração de intercruzamentos para a população atingir o equilíbrio; com mais locos, o número de gerações para se atingir o equilíbrio é maior

Teste do Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- ▶ Para testar se uma população encontra-se em equilíbrio de Hardy-Weinberg, utiliza-se o teste de Qui-quadrado (χ^2)
- ▶ Como o valor de $\chi_c^2 = 72,56$ é maior que o χ_t^2 , conclui-se que a população inicial não está em equilíbrio de Hardy-Weinberg. No entanto, após uma geração de cruzamentos ao acaso a população atinge o equilíbrio, com frequências genotípicas p^2 , $2pq$ e q^2

Genótipos	Frequências Genotípicas		χ^2
	Observadas	Esperadas	$(F_o - F_e)^2 / F_e$
<i>II</i>	100	$(0,3)^2 \times 2000 = 180$	35,56
<i>Ii</i>	1000	$(2 \times 0,3 \times 0,7) \times 2000 = 840$	30,48
<i>ii</i>	900	$(0,7)^2 \times 2000 = 980$	6,53
Total	2000		$\chi_c^2 = 72,56$

Equilíbrio de Wright

- ▶ Wright (1921) mostrou que as proporções genotípicas para a população que pratica endogamia é igual a:

Genótipos	Frequências Genotípicas Esperadas
<i>AA</i>	$D = p^2 + Fpq$
<i>Aa</i>	$H = 2pq(1 - F)$
<i>aa</i>	$R = q^2 + Fpq$
Total	1,0

- ▶ Em que:
 - F = coeficiente de endogamia, ou seja, a probabilidade de dois alelos num indivíduo serem idênticos por descendência
 - $F = (4DR - H^2) / (4DR - H^2 + 2H)$
 - Quando $F = 0$, Princípio de Hardy-Weinberg

Equilíbrio de Wright

- ▶ Outros parâmetros populacionais:
- ▶ Índice de fixação (f) : $f = 1 - (H_o/2pq)$
 - H_o : heterozigosidade observada
 - $2pq$: heterozigosidade esperada
- ▶ Taxa de autofecundação (s) : $s = \frac{2f}{(1+f)}$
- ▶ Taxa de cruzamento (t) : $t = 1 - s$

Leitura recomendada



M.A.P RAMALHO, J.B. SANTOS, and C.A.B.P. PINTO.
Capítulo 13: Genética de populações.
Genética na Agropecuária, 2004.



D.P SNUSTAD and M.J SIMMONS.
Capítulo 26: Genética de populações.
Fundamentos de Genética, 2010.