

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Variabilidade nas Espécies Autógamas

B) Variedades recentes

São normalmente constituídas de um único genótipo, ou alguns poucos genótipos diferentes (2 a 4).

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.1

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- O símbolo F, derivado de planta filial, é amplamente utilizado pelos melhoristas ⇔ emprego em casos de hibridação entre duas linhagens, ou seja, quando a frequência alélica nas gerações segregantes é igual a 1/2;
- Plantas da geração F₁, derivadas de cruzamentos simples ou biparentais, são homogêneas geneticamente;

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.2

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- Geração F₂ é derivada do intercruzamento dos F₁'s ou da autofecundação (⊗) dos mesmos ⇔ populações derivadas por ⊗ sucessivas estarão nas gerações F_n (F₃, F₄, F_{...}, F_∞).
- O índice do F sempre indica a geração da semente - embrião - e não da planta.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.2

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- O símbolo S será dado quando houver intercruzamento ao acaso de vários (seleção recorrente), ou quando a população segregante é proveniente do cruzamento de vários pais em proporções não definidas;
- A diferença básica é S₀ é adotado para a população de referência ou em equilíbrio e, portanto, equivale à geração F₂;

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.2

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- F₂ ou S₀ colhidas individualmente, as famílias derivadas serão simbolizadas por F_{2:3}, ou S_{0:1} ⇔ o primeiro número do índice refere-se à geração da planta que originou a família e o segundo índice à geração utilizada para a sua avaliação;
- Como exemplo, uma população F_{2:n}, corresponderá a avaliação de famílias derivadas de plantas F₂ na geração n.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.2

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Efeito da endogamia na constituição genética das populações segregantes

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

➤ Em uma geração F qualquer, a frequência de heterozigotos será fornecida por $(1/2)^{m-1}$ e a frequência de homozigotos $1-(1/2)^{m-1}$. Assim, no decorrer das autofecundações há incremento na frequência de locos em homozigose e diminuição dos locos em heterozigose.

➤ O que acontecerá na geração F_{∞} ?

Melhoramento de espécies autóгамas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Tabela 2. Informações sobre híbridos provenientes de genótipos com diferente número de alelos.

Nº de pares de alelos	Tipos de gametas possíveis em F_1	Tipos de genótipos possíveis em F_2	Tamanho mínimo de uma população perfeita
1	2	3	4
2	4	9	16
3	8	27	64
4	16	81	256
10	1.024	50.049	1.084.576
n	2^n	3^n	4^n

Melhoramento de espécies autóгамas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

➤ Considerando n genes pode-se inferir sobre a frequência de homozigotos e heterozigotos numa geração F_x qualquer.

↓

Distribuição binomial
(locos em homozigose ou heterozigose).

Melhoramento de espécies autóгамas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

➤ Pode-se então prever a probabilidade de cada um dos eventos por meio da expansão do binômio:

$$(a + b)^n = \sum_{i=0}^n C_n^i a^i b^{n-i}$$

em que:

- a é a frequência dos locos em homozigose $[1-(1/2)^{m-1}]$;
- b é a frequência em heterozigose $[(1/2)^{m-1}]$;
- i é o nº de locos desejados em homozigose e varia de 0 a n ;
- n é o nº de locos envolvidos.

Melhoramento de espécies autóгамas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

➤ Substituindo a e b na expressão do binômio tem-se, após algumas operações matemáticas a expressão apresentada por Allard (1971 - Cap. 6) - $[(2^{m-1}-1)+1]^n$.

✓ Por exemplo, se queremos verificar o que é esperado quando se tem quatro genes segregando ($n=4$) na geração F_6 , isto é, após quatro gerações de autofecundação ($m-1=5$), tem-se: $[(2^5-1)+1]^4$.

Melhoramento de espécies autóгамas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

⇒ Se $i = 0$; nenhum loco em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^0 (31^0 \times 1^{4-0}) = \frac{4!}{0!(4-0)!} (31^0 \times 1^4) = 1$$

⇒ Se $i = 1$; um loco em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^1 (31^1 \times 1^{4-1}) = \frac{4!}{1!(4-1)!} (31^1 \times 1^3) = 124$$

⇒ Se $i = 2$; dois locos em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^2 (31^2 \times 1^{4-2}) = \frac{4!}{2!(4-2)!} (31^2 \times 1^2) = 5766$$

Melhoramento de espécies autóгамas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

⇒ Se $i = 3$; três locos em homozigose;

$$(3+1)^4 = C_4^3(3^1 \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{3!(4-3)!} (3^1 \times 1^{4-3}) = 119164$$

⇒ Se $i = 4$; quatro locos em homozigose;

$$(3+1)^4 = C_4^4(3^1 \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{4!(4-4)!} (3^1 \times 1^{4-4}) = 923521$$

Total de 1.048.576 indivíduos, sendo que 88,07% serão completamente homozigóticos e 11,93% ainda terão pelo menos um dos locos em heterozigose

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Tabela 3. Número de plantas em diferentes classes em diferentes gerações segregantes para 4 genes.

Gerações de \otimes	Classes				Total de indivíduos
	Todos os 4 locos em homoz.	3 locos em homoz. e 1 em heteroz.	2 locos em homoz. e 2 em heteroz.	1 loco em homoz. e 3 em heteroz.	
F ₂	1 (6,25%)	4	6	4	16
F ₃	81 (32%)	108	54	12	258
F ₄	2.401 (59%)	1.372	294	28	4.098
F ₅	50.625 (77,25%)	13.500	1.350	60	65.538
F ₆	923.521 (88%)	119.164	5.766	124	1.048.576
F ₇	15.752.961 (94%)	1.000.188	23.814	252	16.777.216
F ₈	260.144.641 (97%)	8.193.532	96.774	508	268.435.456

Desse modo pode ser esperado que famílias derivadas de indivíduos após cinco ou mais gerações de autofecundação poderão ainda segregar.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Tabela 4. Número de plantas necessários para se ter todos os genes favoráveis com diferentes números de genes avaliados.

Geração	Número de plantas para se ter todos os genes favoráveis									
	2 genes		4 genes		6 genes		8 genes		10 genes	
	Hom	Hom + Het	Hom	Hom + Het	Hom	Hom + Het	Hom.	Hom + Het	Hom	Hom + Het
F ₂	46	4	765	8	12.269	15	196.327	28	3.141.251	52
F ₃	20	6	150	18	1.076	49	7.659	127	54.473	328
F ₅	12	9	61	36	281	132	1.284	471	5.848	1.672
F ₇	11	10	50	44	209	173	868	676	3.589	2.626
F ₁₀	10	10	47	46	192	188	777	754	3.127	3.007
F _∞	10	10	46	46	190	190	765	765	3.100	3.100

¹Número de plantas estimadas pela expressão: $(\log(1 - 0,95)) / (\log(1 - \text{freq. do evento}))$.

⇒ Freq. do evento:
 = Homozigotos = $[(2^{m-1}-1)/2^m]^n$;
 = Homozigotos e/ou heterozigotos = $[(2^{m-1}+1)/2^m]^n$;
 Em que m é o número de gerações e n é o número de genes avaliados.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

➤ Com o decorrer das \otimes , conforme já mencionado, a freqüência de homozigotos aumenta e a de heterozigotos diminui. Em função desse fato o número de plantas necessário para manter todos os alelos em homozigose diminui, ao passo que o número necessário de plantas com alelos favoráveis em homozigose ou heterozigose aumenta;

➤ Esses resultados mostram que o número de indivíduos na geração F₂ não necessita ser grande, contudo ele deve ser aumentado com o avanço das gerações.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.3

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Seleção de linhas puras

1. Teoria das linhas puras

➤ A teoria das linhas puras foi desenvolvida pelo botânico dinamarquês W.L. Johannsen em 1903, que conduziu uma série de experimentos com a variedade de feijão Princess;

➤ Utilizou um lote de sementes de diferentes tamanhos no qual investigou o efeito da seleção sobre o peso médio das sementes das progênies.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.4

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

(Snustad et al., 1997)

Teoria das linhas puras de Johannsen

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.4

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

➤ Johanssen estabeleceu três princípios com seus estudos:

- 1) há variações herdáveis e variações causadas pelo ambiente;
- 2) a seleção só é efetiva se recair sobre diferenças herdáveis;
- 3) a seleção não gera variação.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.4

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Métodos de Melhoramento de Espécies Autógamas

A) Métodos para explorar a variabilidade genética existente nas populações

- Introdução de linhagens;
- Seleção massal \Rightarrow caracteres de alta h^2 ;
- Seleção de Plantas Individuais com teste de progênie \Rightarrow caracteres de alta e baixa h^2 .

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Métodos de Melhoramento de Espécies Autógamas

B) Método em que a variabilidade deve ser gerada artificialmente

- Método da População (Bulk);
- Método do Genealógico (Pedigree);
- Método do SSD;
 - (descendente de uma única semente)
- Método do Retrocruzamento;
 - (caracteres qualitativos)

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

1. Introdução de linhagens

- A introdução de linhagens é considerado um método de melhoramento, pois contribui efetivamente para a melhoria do potencial genético em uma dada região.
- Visualizada sob dois enfoques:
 - introdução de germoplasma para ser utilizado como fonte de variabilidade em hibridações;
 - uso direto em uma dada região.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

- Procedimentos legais a serem seguidos na introdução \Rightarrow Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN);
- Lei de proteção de cultivares \Rightarrow não há nenhuma restrição na utilização de linhagens provenientes de outros programas para fins de utilização em hibridação.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Esquema de condução de populações introduzidas.

```

graph TD
    A[Identificar fontes de germoplasma] --> B[Ensaio de observação ou preliminares]
    B --> C[Ensaio de rendimento preliminar]
    B --> D[Ensaio de adaptação preliminar]
    C --> E[Ensaio de observação com repetição]
    D --> E
    E --> F[Registro da cultivar]
  
```

Fonte de variabilidade em hibridações

Ensaio discriminatório

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

- É evidente que o trabalho do melhorista, também nesse caso, é fundamental, pois embora ele não tenha criado as linhagens, deve utilizar de suas habilidades para identificar aquelas que deverão ser recomendadas aos agricultores;
- Com a lei de proteção de cultivares, para que ocorra a introdução de linhagens de outros programas nacionais há necessidade de um acordo formal entre as instituições envolvidas, para que o material recomendado possa ser comercializado como semente.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

2. Método Massal

Em algumas espécies autógamas, tais como arroz e feijão, os agricultores não possuem o hábito de adquirir sementes anualmente. Nessa condição, é esperado que ocorra variabilidade dentro da “cultivar” em uso.

↓

Variabilidade é devido a mistura mecânica de linhagens diferentes, cruzamentos e ocorrência de mutação

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

- O emprego desse método é relativamente pequeno. Ele utiliza basicamente a habilidade dos melhoristas em, visualmente, identificar os indivíduos genotipicamente superiores.
- Eficiente para caracteres de alta herdabilidade, onde há uma boa correspondência entre o fenótipo e o genótipo, ou seja, quando é pequena a influência do ambiente na manifestação do caráter.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Esquema de condução de populações pelo método massal

Selecionam-se plantas com base em critérios visuais pré-determinados. As sementes são misturadas e semeadas para formar a população da geração seguinte.

ou

As linhagens selecionadas, poderão ser utilizadas individualmente para formar uma nova linhagem ou misturadas todas as sementes para formar uma variedade com mistura de linhas puras.

Selecionam-se plantas com base em critérios visuais. As sementes são misturadas e semeadas para formar a população da próxima geração. O processo se repete.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

- Para melhorar a eficiência do método, o melhorista pode ajustar a intensidade de seleção à herdabilidade (h^2) do caráter;
- O método só é aconselhável também para aqueles caracteres que são pouco influenciados pela densidade de semeadura, pois há necessidade que as plantas sejam mais espaçadas para facilitar a seleção visual.

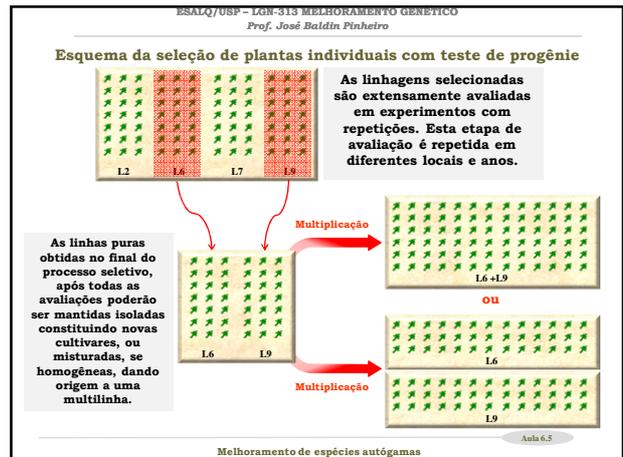
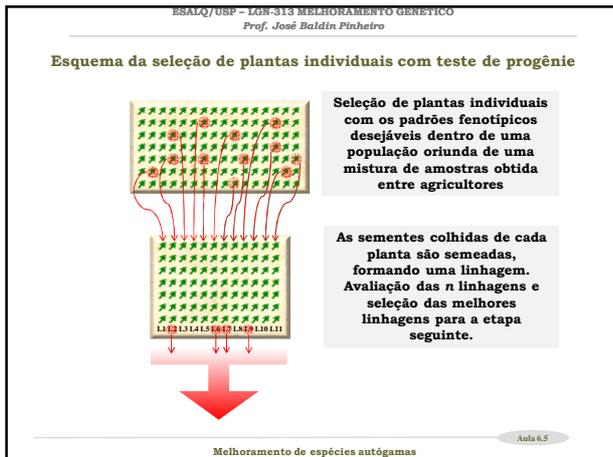
Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5

ESALQ/USP - LGR-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

3. Seleção de plantas Individuais com teste de progênie

- Este método consiste na seleção individual de plantas feita na população original, seguida da observação de suas descendências, para fins de avaliação. Nenhum genótipo é criado, apenas procura-se isolar os melhores genótipos já presentes na população heterogênea.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.5



ESALQ/USP - LGN-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Bibliografia

1. ALLARD, R.W. Principios do melhoramento genético das plantas. Cap. 6, 7, 8, 9 e 10.
1. BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV. Cap. 10, 13 e 14. 1997.
2. RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed.) **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis: Fundação-MT, 2001. pp.201-230.

Melhoramento de espécies autógamas Aula 6.6

ESALQ/USP - LGN-313 MELHORAMENTO GENÉTICO
Prof. José Baldin Pinheiro

Aula 06

Obrigado!
jbaldin@usp.br

Melhoramento de espécies autógamas