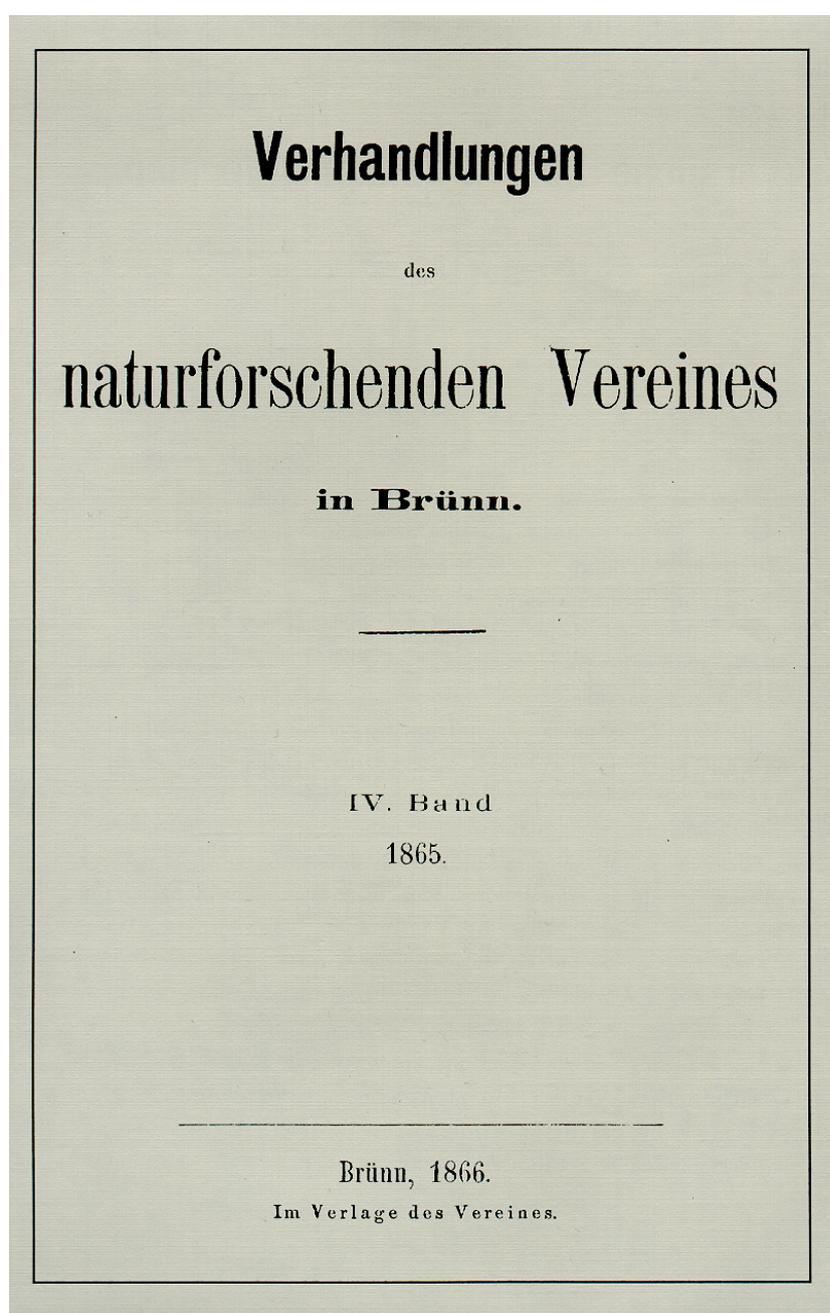


Experimentos com híbridos de outras espécies de plantas*

* A primeira parte da tradução do artigo de Gregor Mendel foi publicada pela revista Genética na Escola v.8, n.1, p.88-103, 2013.

Palavras-chave: artigo de Mendel, herança quantitativa, codominância, genética do feijão



ARTIGO ORIGINAL:

MENDEL, GREGOR Versuche über Pflanzenhybriden. Verhandlungendes naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr 1865, Abhandlungen, 3–47. Apresentado nas reuniões de 08 de fevereiro e 08 de março de 1865 da Sociedade de História Natural de Brünn.

<http://www.mendelweb.org/MWGerText.html>

VERSÃO COMENTADA PARA O INGLÊS DO ARTIGO ORIGINAL DE MENDEL:

BATESON, WILLIAM Experiments in Plant Hybridization (1865) by Gregor Mendel

<http://www.mendelweb.org/Mendel.plain.html>

TRADUÇÃO DA VERSÃO EM INGLÊS COM REVISÃO DO ORIGINAL EM ALEMÃO:

MATIOLI, SERGIO RUSSO; EGGERS, SABINE. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. srmatioli@ib.usp.br

É necessário que se façam outros experimentos para verificar se a lei do desenvolvimento descoberta para *Pisum* também se aplica aos híbridos de outras plantas. Com essa finalidade, vários experimentos foram iniciados recentemente. Dois experimentos menores com espécies de *Phaseolus* foram completados, e serão aqui mencionados.

Um experimento com *Phaseolus vulgaris* e *Phaseolus nanus* L. forneceu um resultado perfeitamente concordante. *Ph. nanus*

apresenta talos anões conjuntamente com vagens verdes simples, infladas. *Ph. vulgaris*, por outro lado, possui caules de 10 a 12 pés de altura e vagens amarelas, com constrições quando maduras. As proporções dos números com os quais as formas diferentes apareceram ao longo das gerações foram as mesmas observadas em *Pisum*. Também o desenvolvimento das combinações constantes resultou conforme a lei de combinação simples de caracteres, exatamente como no caso de *Pisum*. Foram obtidas:

Combinações constantes	Caule	Cor das vagens verdes	Forma das vagens maduras
1	longo	verde	inflada
2	longo	verde	constrita
3	longo	amarela	inflada
4	longo	amarela	constrita
5	curto	verde	inflada
6	curto	verde	constrita
7	curto	amarela	inflada
8	curto	amarela	constrita

A cor verde, a forma inflada da vagem e o caule longo foram, como em *Pisum*, caracteres dominantes.

Outro experimento com duas espécies bastante diferentes de *Phaseolus* teve somente um resultado parcial. *Phaseolus nanus* L. serviu como semente parental [planta materna], uma espécie perfeitamente constante, com flores brancas em cachos curtos, e sementes pequenas, e brancas em vagens retilíneas infladas e lisas. Como pólen parental [planta paterna] foi usado *Ph. multiflorus* W., com tronco alto e trepador, flores rubras dispostas em longos cachos, vagens ásperas em forma de lua crescente e grandes sementes de cor pêssego avermelhado com manchas negras.

Os híbridos foram mais semelhantes com o pólen parental [planta paterna], mas as flores apareceram menos intensamente coloridas. Sua fertilidade era muito limitada; das 17 plantas, das quais, no total, desenvolveram muitas centenas de flores, foram obtidas apenas 49 sementes. Estas eram de tamanho médio, tinham coloração semelhante à de *Ph. Multiflorus*, inclusive a cor de fundo não era muito distinta. No ano seguinte, 44 plantas foram cultivadas a partir destas sementes, das quais apenas 31 chegaram à fase de floração. Os caracteres de *Ph. nanus*, que estiveram completamente latentes nos híbridos, reapareceram em várias combinações; as suas proporções, no entanto, com relação às plantas dominantes eram, como esperado, necessariamente muito flutuantes, devido ao pequeno número de plantas analisadas. Certos caracteres, como o tamanho do caule e a forma de cápsula, mostravam proporções de quase exatamente 1: 3, como no caso de *Pisum*.

Os resultados desses experimentos podem ser insignificantes com relação à determinação das proporções das várias características, mas, por outro lado, revelaram um fenômeno notável na mudança das cores das flores e das sementes nos híbridos. Em *Pisum*, sabe-se que as cores das flores e das sementes se mantêm inalteradas na primeira e nas demais gerações e que os híbridos adotam uma das cores das plantas parentais. No experimento que estamos considerando isso é diferente. A coloração branca das flores e das sementes de

Ph. nanus apareceram logo na primeira geração de híbridos em uma única planta bastante fértil, mas as trinta outras plantas desenvolveram cores de várias gradações, desde o vermelho púrpura ao violeta pálido. As cores apresentadas pelos revestimentos das sementes não foram menos variadas que as cores das flores. Nenhuma dessas plantas poderia ser classificada como completamente fértil, sendo que muitas sequer produziram frutos. Outras plantas desenvolveram sementes somente a partir das últimas flores e assim mesmo não maturaram. Somente se obteve sementes bem desenvolvidas de 15 dessas plantas. A maior propensão para a infertilidade foi observada nos cachos que possuíam preponderantemente flores vermelhas, pois de 16 dessas plantas, somente 4 sementes maduras foram obtidas. Três das sementes apresentavam um padrão de desenho semelhante àquele de *Ph. multiflorus*, mas com uma cor de fundo mais ou menos pálida. A quarta planta produziu apenas uma única semente de cor marrom uniforme. As plantas com flores preponderantemente violeta produziram sementes de coloração castanho escuro ou completamente negras.

O experimento continuou por mais duas gerações sob circunstâncias igualmente desfavoráveis, já que, mesmo entre os descendentes de plantas bastante férteis havia plantas menos férteis ou até mesmo completamente estéreis. Não apareceram outras cores de flores ou de sementes além daquelas previamente citadas. As características que tinham comportamento recessivo na primeira geração permaneceram assim, sem exceção. daquelas plantas que possuíam flores violetas e sementes marrons ou negras, algumas delas não variaram quanto a esses aspectos nas próximas gerações; a maioria, no entanto, produziu descendência idêntica a elas enquanto algumas produziram flores e tegumento branco. As plantas com flores vermelhas permaneceram tão pouco férteis que nada pode ser dito com certeza a respeito de seu desenvolvimento daí por diante.

Apesar dos diversos problemas que as observações tiveram de enfrentar, parece que os experimentos com a produção de híbridos, com relação à forma das plantas, seguem as



mesmas leis que aquelas verificadas em *Pisum*. No que diz respeito às características relacionadas com cor, certamente parece difícil encontrar uma equivalência clara. Além do fato de que, a partir da união de uma planta com flores brancas e uma com flores vermelho-púrpura resultar em cores diferentes, variando do púrpura ao violeta pálido e ao branco, o que impressiona é que, dentre 31 plantas com flores, apenas uma recebeu o caráter recessivo da cor branca, enquanto em *Pisum* isso ocorre, em média, uma vez em cada quatro descendentes.

Entretanto, mesmo esses resultados enigmáticos provavelmente podem ser explicados pela mesma lei que rege *Pisum* se supusermos que a cor das flores e das sementes de *Ph. multiflorus* é uma combinação de duas ou

mais cores completamente independentes, assim como acontece com os demais caracteres das plantas. Se a cor da flor A for a combinação dos caracteres individuais $A_1 + A_2 + \dots$ e que produzem a impressão geral de cor púrpura, e se esta for fertilizada com pólen de uma planta com o caráter diferenciador, branco, haveria uniões híbridas $A_{1a} + A_{2a} + \dots$, o mesmo aconteceria com as cores dos revestimentos das sementes. De acordo com as premissas acima, cada uma dessas uniões de cores no híbrido seria independente das outras e se desenvolveria de maneira completamente independente das demais. A seguir, é facilmente compreensível que, a partir da combinação de distintas colorações, deve resultar uma série completa de cores. Se, por exemplo, $A = A_1 + A_2$, então os híbridos A_{1a} e A_{2a} formam a série

$$A_1 + 2A_{1a} + a$$

$$A_2 + 2A_{2a} + a$$

Os membros dessa série podem ser classificados em 9 combinações diferentes, e cada uma delas corresponde a uma cor

1 A_1A_2	2 $A_{1a}A_2$	1 A_{2a}
2 A_1A_{2a}	4 $A_{1a}A_{2a}$	2 $A_{2a}a$
1 A_1a	2 A_{1aa}	1 aa

Os números que precedem as distintas combinações refletem o número de plantas com a coloração específica da série. Já que a soma destes números é 16, o total das cores está distribuído pelas 16 plantas, mas, como indicado na própria série, em proporções desiguais.

Se o desenvolvimento das cores ocorre realmente dessa maneira, então o caso acima mencionado, de acordo com o qual a coloração branca de flores e tegumento das sementes em 31 plantas teria aparecido apenas uma vez na primeira geração de plantas híbridas, poderia ser explicado. Essa cor apareceu somente uma vez e, portanto, poderia ter se desenvolvido, em média, apenas uma vez em cada 16 plantas, enquanto que com três caracteres de cor, apareceria somente uma vez em cada 64 plantas.

Não se pode esquecer, no entanto, que esta tentativa de explicação se baseia em uma simples suposição resultante do experimen-

to incompleto que acabamos de descrever. Seria, no entanto, muito proveitoso seguir observando o desenvolvimento das cores nos híbridos em experimentos similares, pois é provável que, dessa forma, poderíamos aprender o significado da variedade extraordinária na coloração de nossas flores ornamentais.

Até o momento, com certeza não se sabe muito mais além do fato de que a cor das flores na maioria das plantas ornamentais é um caráter extremamente variável. Tem sido frequentemente comentado que a estabilidade das espécies seria fortemente perturbada ou até mesmo sobrepujada pelo cultivo, consequentemente consideram-se as formas cultivadas como resultado aleatório desprovido de regras; a coloração de plantas ornamentais é na verdade frequentemente citada como um exemplo de enorme instabilidade. Entretanto, não é compreensível porque a simples transferência para o solo do jardim resultaria em uma revolução tão radical e persistente no organismo vegetal. Ninguém iria seriamente argumentar que, no campo aberto, o desenvolvimento das plantas é regido por leis diferentes daquelas que existem no canteiro do jardim. Aqui, como lá, as alterações típicas devem ocorrer se as condições vitais para uma espécie são alteradas, e a espécie possui a capacidade de adaptar-se às novas condições. Admite-se que, através do cultivo e o trabalho humano, se favorece o surgimento de novas variedades, que, sob circunstâncias naturais, teriam sido perdidas; mas nada justifica a premissa de que a tendência para a formação de variedades é tão extraordinariamente aumentada que a espécie rapidamente perde toda autonomia e estabilidade, e que sua descendência apresente uma série interminável de formas extremamente variáveis. Se a mudança nas condições do vegetal fosse a única causa da variabilidade, poder-se-ia esperar que aquelas plantas cultivadas que crescem há séculos sob condições quase idênticas conseguiriam atingir constância e autonomia novamente. Isso, sabe-se muito bem, não é o caso, já que é precisamente sob tais circunstâncias que não somente as formas mais variadas, mas também as formas mais variáveis são encontradas. Somente as Leguminosae, tais como *Pisum*, *Phaseolus* e *Lens*, cujos órgãos de fertilização são prote-

gidos pela quilha, constituem uma notável exceção. Também aqui surgiram numerosas variedades em condições muito diversas ocorridas durante os mais de 1000 anos de cultivo. Em condições de vida estáveis, entretanto, estas permaneceriam autônomas e independentes, como se crescessem na natureza.

É mais do que provável que, no que se diz respeito à variabilidade das plantas cultivadas, existe um fator que tem recebido pouca atenção até então. Várias experiências nos forçam a concluir que nossas plantas cultivadas, com poucas exceções, são membros de distintas séries híbridas, cujo desenvolvimento, com o passar do tempo, foi modificado e atrasado através de frequentes cruzamentos entre os membros. Não se pode ignorar o fato de que as plantas são cultivadas em grande número e de forma conjunta, proporcionando uma oportunidade favorável para a fertilização cruzada entre as espécies e variedades presentes. Essa possibilidade é apoiada pelo fato de que são encontrados sempre alguns poucos exemplares dentre a enorme gama de variedades, que permanecem com as características constantes, se a influência externa for cuidadosamente excluída. Estas formas se desenvolvem precisamente como aqueles membros de uma série híbrida composta. Mesmo quanto ao caráter mais sensível entre todos, o da cor, não se pode deixar de perceber que as diferentes formas apresentam tendências distintas para a variação. Entre as plantas que surgem de uma fertilização espontânea frequentemente há aquelas cujos descendentes variam amplamente na constituição e no arranjo das cores, enquanto há outras que apresentam apenas desvios discretos e, dentre um número maior de exemplos algumas plantas que transmitem a coloração de suas flores diretamente e sem alterações para os seus descendentes. As espécies cultivadas de *Dianthus* fornecem um exemplo instrutivo. Um exemplar de flores brancas de *Dianthus caryophyllus*, originário de uma planta de flores igualmente brancas, permaneceu, durante o período de floração, isolado em uma estufa; as numerosas sementes obtidas a partir dessa planta produziram somente plantas com flores brancas. Um resultado semelhante foi obtido a partir de uma planta com flores vermelhas de brilho

violeta e uma com flores brancas listradas de vermelho. Muitas outras plantas, que foram isoladas de forma semelhante, produziram descendentes com colorações e desenhos variados.

Quem estuda a variedade de coloração que resulta da fertilização de um mesmo tipo de cruzamento entre plantas ornamentais, não poderá negar que aqui também o desenvolvimento segue uma lei específica que, possivelmente se expressa através da combinação de vários caracteres de cor independentes.



NOTAS CONCLUSIVAS

Não deixa de ser interessante comparar as observações feitas com *Pisum* com os resultados obtidos por duas autoridades nesse ramo do conhecimento, Kölreuter e Gärtner. De acordo com a opinião compartilhada de ambos, os híbridos, em sua aparência externa, ora possuem uma aparência intermediária entre as espécies originais, ora assemelham-

-se tanto a um dos tipos parentais, que podem se tornar, às vezes, indistinguíveis deles. De suas sementes geralmente germinam várias formas que diferem do tipo normal se a fecundação foi feita pelo seu próprio pólen. Como regra, a maioria dos indivíduos obtidos por fertilização mantém a forma híbrida, alguns poucos se assemelham à planta que recebeu o pólen [materna] e um ou outro se assemelha com a planta que forneceu o pólen [paterna]. Isso, entretanto, não acontece com todos os híbridos. Algumas vezes parte da prole aproxima-se de um dos estoques originais, e outra parte aproxima-se do outro; ou então a prole inteira se assemelha à planta híbrida e assim permanece através das gerações. Os híbridos das variedades comportam-se como os híbridos das espécies, mas possuem maior variabilidade de formas e uma tendência mais pronunciada para reverterem-se aos tipos originais.

No que se refere à forma dos híbridos e ao seu desenvolvimento mais comum, a concordância com as observações feitas com *Pisum* é inegável. A situação é diferente com os casos excepcionais citados. Gärtner admite que a determinação exata da forma da prole implica grande dificuldade, pois depende da subjetividade do observador. Entretanto, outro fator pode contribuir para tornar os resultados flutuantes e incertos, mesmo sob observação das mais cuidadosas e diferenciadas. Para os experimentos, na maioria das vezes, foram utilizadas plantas classificadas como boas, diferenciadas por um grande número de caracteres. Além dos caracteres conspícuos e bem definidos, naqueles em que a semelhança é uma questão de grau, deve-se levar em conta que aquilo que é às vezes difícil para se definir com palavras é suficiente, como todo especialista em plantas sabe, para atribuir às formas uma aparência peculiar. Quando se aceita que o desenvolvimento dos híbridos segue as leis válidas para *Pisum*, a série em cada experimento separado deveria conter muitíssimas formas, pois o número de termos, como se sabe, aumenta com o cubo do número de caracteres diferenciadores. Com um número relativamente pequeno de plantas experimentais os resultados podem ser somente aproximadamente corretos, e em casos isolados, podem flutuar considera-

velmente. Se, por exemplo, os dois estoques originais diferem quanto a sete caracteres e foram produzidas 100 a 200 plantas híbridas a partir deste cruzamento para determinar o grau de semelhança física da prole, podemos facilmente verificar o quão incerta a determinação pode se tornar, uma vez que, para 7 caracteres diferenciadores a série de combinações possíveis contém 16.384 indivíduos classificados com 2.187 combinações diferentes. O grau de semelhança com uma ou outra planta parental poderia variar substancialmente, dependendo do acaso com que esta ou aquela forma final aparecer mais frequentemente diante do observador. Se, além disso, aparecerem entre os caracteres diferenciadores, alguns de herança dominante, que são transmitidos quase ou completamente inalterados para os híbridos, esperamos encontrar na prole uma proporção maior de plantas semelhantes àquela planta mãe do estoque original que contiver o maior número de características dominantes. Na experiência descrita com *Pisum*, na qual havia três tipos de caracteres diferentes, todos os caracteres dominantes pertenciam ao progenitor paterno. Embora na prole houvesse representantes semelhantes a ambos os estoques originais, o tipo da planta paterna sobrepujou tanto, que dentre 64 plantas da primeira geração, 54 eram idênticas à paterna ou somente se diferenciavam quanto a uma única das características. Com isso se vê o quão leve pode ser inferir a natureza interna dos híbridos baseando-se nas suas semelhanças externas.

Gärtner menciona que, nos casos em que o desenvolvimento foi regular dentre a prole dos híbridos, não houve plantas idênticas aos dois estoques originais, e que apenas uns poucos indivíduos se assemelhavam a eles. Com uma série de desenvolvimento muito maior, isso não poderia ser de outra forma. Para sete caracteres diferenciadores, por exemplo, ocorrem, entre os mais de 16.000 indivíduos - proles dos híbridos - somente 2 plantas idênticas às plantas do estoque original. Por conseguinte, é praticamente impossível que estas apareçam entre um pequeno número de plantas experimentais; com alguma probabilidade, no entanto, podemos contar com o aparecimento de algumas formas semelhantes.

Nós nos deparamos com uma diferença essencial naqueles híbridos cuja prole permanece constante e que se reproduzem como verdadeiras espécies puras. Segundo Gärtner, a esta classe pertencem os híbridos extremamente férteis de *Aquilegia atropurpurea canadensis*, *Lavatera pseudolbia thuringiaca*, *Geum urbano-rivale*, alguns híbridos de *Dianthus*; e, de acordo com Wichura, os híbridos da família do salgueiro. Para a história evolutiva das plantas esta circunstância é de especial importância, uma vez que os híbridos constantes adquirem o estado de novos tipos distintos. A exatidão dos fatos é garantida por observadores eminentes, e não pode ser posta em dúvida. Gärtner teve a oportunidade de acompanhar *Dianthus armeria deltoides* até a décima geração, uma vez que esta planta se propagou espontaneamente no seu jardim.

Com *Pisum* foi demonstrado experimentalmente que os híbridos formam ovos e pólenes de tipos diferentes, residindo neles a razão da variabilidade da sua descendência. Similarmente, em outros híbridos, cujos descendentes se comportam de forma semelhante, podemos assumir uma causa parecida; para aqueles que, por outro lado, permanecem constantes, parece justificável supor que as suas células reprodutivas são todas iguais correspondendo à célula híbrida original. Na opinião de fisiologistas de renome, nas Fanerógamas unem-se, para o propósito da reprodução, uma célula de pólen e uma de ovo [óvulo], para formar uma única célula*, que é capaz, por assimilação de nutrientes, e formação de novas células, tornar-se um organismo independente. Este desenvolvimento segue uma lei constante, que se baseia sobre a composição material e a disposição dos elementos que na célula alcançam uma união vivificante. Se as células reprodutivas são iguais entre si e correspondem ao ovo [óvulo] da planta mãe, o desenvolvimento do novo indivíduo irá seguir a mesma lei que rege a planta mãe. Se houver a possibilidade de um ovo [óvulo] se unir com uma célula de pólen dissimilar, devemos então esperar uma complementação entre esses elementos distintos. A célula resultante torna-se a base do organismo híbrido, cujo desenvolvimento segue necessariamente um esquema diferente daquele de cada uma das duas plantas

* Em *Pisum*, não há dúvida de que, para a formação do novo embrião, deve haver uma união perfeita entre os elementos de ambas as células reprodutivas. Como poderíamos explicar de outra forma que, dentre os descendentes dos híbridos, ambos os tipos originais reaparecem em igual número e com todas as suas peculiaridades? Se a influência da célula-ovo [óvulo] sobre a célula do pólen fosse apenas externa, se somente desempenhasse o papel nutritivo, então o resultado das fertilizações artificiais não poderia ser outro senão que os híbridos desenvolvidos deveriam assemelhar-se única e exatamente com o pai fornecedor do pólen, ou pelo menos, lhe ser bastante próximo. Nada disto foi comprovado pelos experimentos até agora. Uma prova contundente da união completa dos conteúdos de ambas as células é a experiência sempre compartilhada, de que a forma do híbrido é igual, independentemente da planta original fornecer pólen ou ovo [óvulo].

originais. Se o compromisso for completo, ou seja, que o embrião híbrido consiste em células iguais, nas quais as diferenças foram inteira e permanentemente compensadas, então esperaríamos que o híbrido, assim como qualquer outra planta estável ou independente, produza uma prole constante. As células reprodutivas que são formadas em suas vasilhas de sementes [ovário] e anteras são de um tipo só, e concordam com a célula híbrida original.

No que diz respeito a esses híbridos cuja prole é variável, podemos assumir hipoteticamente que entre os elementos diferenciadores das células do ovo e as células de pólen ocorre uma compensação, na medida em que a formação da célula “compensada” dê origem ao híbrido, mas, no entanto, a compensação fosse apenas temporária e não se sustentasse durante toda a vida da planta híbrida. Uma vez que no hábito da planta nenhuma mudança é perceptível durante todo o período de vegetação, deveríamos assumir que só seria possível para os elementos diferenciadores liberarem-se da união ocorrida, quando as células de fertilização se desenvolvem. Na formação dessas células todos os elementos existentes participam de um arranjo totalmente livre e homogêneo, em que apenas as células diferentes se excluem mutuamente. Desta forma, o número dos tipos de células-ovo e grãos de pólen equivaleria ao número de combinações possíveis dos elementos formativos.

A presente tentativa de explicação sobre a principal diferença no desenvolvimento de híbridos quanto à união permanente ou temporária dos elementos celulares distintos pode, naturalmente, apenas assumir o valor de uma hipótese para a qual a falta de dados confiáveis oferece várias possibilidades. Alguma justificativa para a opinião expressa reside na evidência observada em *Pisum*, na qual o comportamento de cada par de caracteres contrários na união híbrida é independente das outras diferenças entre as duas plantas originais, e, ainda, que o híbrido produz apenas tantos tipos de óvulos e pólen, como há formas possíveis de combinação. Os caracteres diferentes de duas plantas devem, por fim, depender apenas das diferenças na

composição e no agrupamento dos elementos independentes que interagem vividamente nas células originais.

A validade das leis formuladas para *Pisum* ainda necessita ser confirmada, e, portanto, a repetição dos experimentos mais importantes é desejável, como, por exemplo, aquela relacionada com a composição das células fertilizadoras dos híbridos. Um diferencial pode facilmente escapar de um observador, pois, embora inicialmente possa parecer pouco importante, ainda assim pode se acumular de tal maneira a não ser desprezível para o resultado final. Se os híbridos variáveis de outras espécies de plantas estiverem inteiramente de acordo disso, deve ser verificado experimentalmente. Enquanto isso, podemos assumir que em aspectos importantes uma diferença essencial dificilmente pode ocorrer, uma vez que a unidade no plano de desenvolvimento da vida orgânica está fora de questão.

Em conclusão, os experimentos realizados por Kölreuter, Gärtner, e outros com respeito à transformação de uma espécie em outra através de fertilização artificial merece menção especial. Uma importância particular tem sido atribuída a essas experimentações que Gärtner classifica “entre as mais difíceis de toda a produção de bastardos.”

Quando se pretende transformar a espécie **A** na espécie **B**, ambas devem ser unidas por fertilização e os híbridos resultantes, em seguida, devem ser fertilizados com o pólen de **B**. Depois, das várias proles resultantes, seriam selecionadas aquelas que apresentassem maior semelhança com **B** que, novamente seriam fertilizadas com pólen **B**, e assim sucessivamente até que, finalmente, **B** se mantivesse constante nas gerações seguintes. Por este processo, a espécie **A** teria sido transformada na espécie **B**. Gärtner, sozinho, efetuou 30 desses experimentos com plantas de gêneros *Aquilegia*, *Dianthus*, *Geum*, *Lavatera*, *Lychnis*, *Malva*, *Nicotiana*, e *Oenothera*. O período de transformação não foi igual para todas as espécies. Embora em algumas espécies três ciclos de fertilização tivessem sido suficientes, com outras espécies cinco ou seis ciclos foram necessários, e até mesmo em uma mesma espécie foram observadas flutu-

ações de experimento em experimento. Gärtner atribui esta diferença à circunstância de que “o poder específico pelo qual uma espécie, durante a reprodução, efetua a mudança e a transformação do tipo parental para outro varia consideravelmente de planta para planta, e que, conseqüentemente, os períodos com os quais uma espécie se transforma em outra também deve variar, como também o número de gerações, de modo que a transformação em algumas espécies ocorre em maior, e em outras em menor número de gerações”. Além disso, o mesmo observador nota “que estes experimentos dependem de qual tipo e que indivíduo seja escolhido para posterior transformação”.

Ao se assumir que nestes experimentos a constituição das formas resulta da maneira semelhante àquela de *Pisum*, todo o processo de transformação decorreria de uma explicação bastante simples. Os híbridos formam tantos tipos de células reprodutivas quanto existem combinações possíveis dos caracteres conjugados nelas, e um deles é sempre do mesmo tipo que aquele das células de pólen que o fertilizou. Conseqüentemente, existe a possibilidade de que todos esses experimentos resultem em uma forma constante igual à planta produtora de pólen, já a partir da segunda fertilização. Se isso realmente será obtido dependerá do número de plantas experimentais, bem como do número de caracteres diferenciadores que são unidos pela fertilização. Vamos, por exemplo, assumir que as plantas selecionadas para o experimento diferem quanto a 3 caracteres, e que a espécie **ABC** deverá ser transformada na outra espécie **abc** através de repetidos ciclos de fertilização com o pólen deste último. Os híbridos resultantes do primeiro cruzamento formarão 8 tipos diferentes de células ovo, a saber:

ABC, ABc, AbC, aBC, Abc, aBc, abC, abc

Estes, no segundo ano de experimento, são cruzados novamente com grãos de pólen **abc**, dos quais foi obtida a série:

**AaBbCc + AaBbc + AabCc + aBbCc
+ Aabc + aBbc + abCc + abc**

Uma vez que a forma **abc** ocorre uma vez na série de 8, é pouco provável que ela estaria faltando entre as plantas experimentais,

mesmo se estas tivessem sido cultivadas em um número menor, e a transformação da espécie **ABC** em **abc** teria ocorrido já depois da segunda fertilização. Se por acaso ela não apareceu, então a fertilização deve ser repetida com uma das formas mais semelhantes, **Aabc, aBbc, abCc**. Percebe-se que tal experimento deve estender-se mais quanto menor for o número de plantas experimentais e quanto maior for o número de caracteres diferenciadores nas duas espécies originais; e que, além disso, na mesma espécie, pode facilmente ocorrer um atraso de uma ou até mesmo de duas gerações, como Gärtner observou. A transformação de uma espécie numa outra amplamente divergente pode ser concluída no quinto ou sexto ano de experimentação, uma vez que o número de células ovo diferentes formadas nos híbridos cresce com o quadrado do número de caracteres diferentes.

Gärtner encontrou, através de experimentos repetidos, que o período de transformação varia entre algumas espécies, de modo que frequentemente uma espécie **A** pode ser transformada em uma espécie **B** uma geração mais cedo do que a espécie **B** transforma-se na espécie **A**. Ele deduz daí que a opinião de Kölreuter, de que “as duas naturezas em híbridos encontram-se perfeitamente em equilíbrio” não pode ser mantida.

No entanto, parece que Kölreuter não merece tal crítica, mas sim que Gärtner negligenciou um momento importante, ao qual Kölreuter faz referência em outra parte de seu trabalho, onde consta que “é essencial qual indivíduo é escolhido para a transformação”. Experimentos levados a cabo com duas espécies de *Pisum* neste contexto, demonstraram que, com relação à escolha dos indivíduos mais aptos para o propósito de fertilização, faz uma grande diferença qual de duas espécies é transformada na outra. As duas plantas experimentais, neste caso, diferiam quanto a 5 caracteres; aqueles da espécie **A** eram todos dominantes e, aqueles da espécies **B**, todos recessivos. Para a transformação mútua, **A** foi fertilizado com pólen de **B** e **B** com pólen de **A**, e isso foi repetido com ambos os híbridos no ano seguinte. Através do primeiro experimento **B/A**, resultaram 87 plantas

no terceiro ano do experimento disponíveis para a seleção representando as 32 formas possíveis para cruzamentos posteriores; com o segundo experimento, **A/B**, resultaram 73 plantas que pareciam idênticas à planta paterna, mas que em sua composição interna, no entanto, devem ter sido tão variadas como as formas resultantes do experimento anterior. Uma seleção controlada foi, portanto, somente possível com o primeiro experimen-

to; com o segundo, a seleção teve de ser feita de forma aleatória, apenas. Destas últimas apenas uma porção das flores foram cruzadas com o pólen **A**, as outras foram deixadas para fertilizarem-se consigo mesmas. Dentre as 5 plantas que foram selecionados em ambos os experimentos para a fertilização, houve concordância com a planta paterna durante no cultivo do próximo ano, da maneira mostrada abaixo:

1º Experimento	2º Experimento	Diferença
2 plantas	-- --	em todos caracteres
3 plantas	-- --	em 4 caracteres
-- --	2 plantas	em 3 caracteres
-- --	2 plantas	em 2 caracteres
-- --	1 planta	em 1 caráter

No primeiro experimento, a transformação foi completada desta maneira; para o segundo, que foi interrompido, provavelmente teriam sido necessárias mais duas fertilizações.

Embora não ocorra com frequência que os caracteres dominantes pertençam exclusivamente a uma das plantas originais, sempre fará diferença qual das duas plantas possui a maioria dos caracteres dominantes. Se a planta paterna tem a maioria, então a seleção de formas para cruzamentos posteriores determinará um menor grau de segurança do que no caso reverso, o que deve implicar em um atraso no período de transformação, desde que o experimento só é considerado como concluído quando uma forma chega, não só a se assemelhar externamente à planta paterna, mas também permanece constante nas gerações seguintes.

Através do sucesso dos experimentos de transformação, Gärtner, foi levado a opor-

-se à opinião daqueles naturalistas que discordam da estabilidade das espécies vegetais e acreditam em uma evolução contínua das espécies vegetais. Ele percebe que a transformação completa de uma espécie em outra é uma prova indubitável de que as espécies atingem limites além dos quais elas não podem mudar. Embora essa opinião não possa ser aceita incondicionalmente, por outro lado, encontra-se nos experimentos de Gärtner uma confirmação notável sobre a capacidade de transformação inerente às plantas cultivadas, já expressa anteriormente.

Entre as espécies experimentais ocorrem plantas cultivadas, tais como *Aquilegia atropurpurea* e *A. canadensis*, *Dianthus caryophyllus*, *D. chinensis*, e *D. japonicus*, *Nicotiana rustica* e *N. paniculata* e os híbridos entre essas espécies não perderam nada de sua estabilidade depois de quatro ou cinco gerações.