ALTERAÇÕES GENÉTICAS NAS PLANTAS

ERNESTO PATERNIANI

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Campinas, São Paulo.
Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

1. PLANTAS SILVESTRES E DOMESTICADAS

A agricultura é a maior invenção da humanidade, realizada há 10.000 anos em pelo menos em dois locais, no Velho e no Novo Mundo, de maneira independente. Tendo o homem vivido por cerca de dois milhões de anos em competição com espécies mais fortes, velozes e agressivas, esteve perto da extinção em pelo menos duas ocasiões. A invenção da agricultura é que garantiu a sobrevivência da espécie. Com a agricultura, o homem deu início à domesticação das plantas, o que produziu uma série de mudanças, tornando–as mais adequadas para o cultivo (Harlan, 1992).

Os fatores envolvidos na domesticação das plantas são, essencialmente (Simmonds, 1976):

– Seleção natural para adaptação a novos ambientes e a resistência a pragas e a enfermidades.

– Seleção artificial praticada pelos povos antigos.

– Hibridações naturais intra e inter–específicas (ex. trigo, algodão, etc.).

Concomitantemente, as plantas passaram a perder a capacidade de sobrevivência na natureza, sem o cultivo pelo homem. A seguir as modificações:

– Ausência de mecanismos naturais de dispersão de sementes.

– Ausência ou diminuição de substâncias amargas ou tóxicas.

– Ausência ou diminuição de mecanismos de proteção (espinhos, aristas, etc.).

– Ausência ou diminuição de dormência de sementes, com germinação mais rápida e uniforme.

– Mudanças de coloração de frutas e sementes.

– Gigantismo e maior produtividade.

– Mudanças de sabor e palatabilidade dos alimentos.

– Cereais: maior teor de carboidratos e menor teor de proteínas.

– Mudança de hábito perene para anual.

Merecem destaques mudanças relativas à reprodução, como as seguintes:

– Mudança de reprodução alogâmica para autogâmica.

– Mudança de reprodução dióica para monóica.

2. A Era da Genética Clássica ou Convencional

O melhoramento genético das plantas, a partir de 1900, ano da redescoberta das leis mendelianas, tem desenvolvido uma série de tecnologias para aumentar a eficiência dos programas de melhoramento. Entre essas tecnologias, as seguintes variações sobre a reprodução das plantas têm sido empregadas (Paterniani, 2002):

– Obtenção de plantas com esterilidade masculina. Empregadas para facilitar o uso da heterose ou vigor de híbrido. Plantas macho estereis têm sido úteis também para possibilitar o uso da seleção recorrente em plantas autogâmicas.

– Auto–incompatibilidade e auto–esterilidade. Empregadas para a produção de híbridos em plantas como as brássicas.

– Plantas monoploides por fertilização incompleta. A ocorrência de fertilização apenas dos núcleos polares que formarão o endosperma, pode resultar num embrião haploide de uma oosfera não fertilizada, que produzirá uma planta homozigótica para todos os 100% dos genes. Será uma linha pura completa. Útil para estudos de genética e para abreviar o tempo para a obtenção de linhas puras de espécies autogâmicas, a partir de cruzamentos entre variedades.

– Desenvolvimento de genes gametofíticos Ga e super gametofíticos Ga^S que protegem variedades contra o fluxo gênico.

– Desenvolvimento de mecanismos de isolamento reprodutivo por seleção natural e por seleção artificial.

3. Introdução de Novos Genes nas Plantas

Também convencionais, são consideradas as técnicas de obtenção de novas variedades por mutações artificiais produzidas por radiações ionizantes, não ionizantes e agentes físicos e químicos. Dentre as técnicas que são independentes da reprodução sexual, a ploidia, iniciada por volta de 1920 e a mutagênese descoberta por Muller (1927) e Stadler (1930), são relativamente antigas em relação às demais. Os genes assim obtidos, são completamente aleatórios, razão porque a quase totalidade são deletérios e indesejáveis. No entanto, dentre os milhares de genes produzidos,

tem sido possível identificar genes desejáveis que deram origem às milhares de variedades aprovadas e comercializadas globalmente (Maluszynsky, 1990).

4. A Era da Moderna Biotecnologia

Os progressos relativos ao conhecimento da natureza e estrutura do material genético, o DNA (Watson & Crick, 1953), cujo estudo tem sido usualmente denominado de Biotecnologia, levaram a partir de 1970, ao desenvolvimento de técnicas que permitem a transferência, entre espécies, de genes específicos, sem o concurso da reprodução sexual. A tecnologia recebeu o nome genérico de Engenharia Genética, sendo as plantas assim obtidas denominadas de transgênicas. Foi natural assim, que as novas técnicas de transgênese fossem empregadas para a produção de novas variedades melhoradas. Existe uma vasta literatura sobre as técnicas biotecnológicas, entre as quais as seguintes são pertinentes: Larkin & Scowcroft (1983), Collins *et al.* (1984), Bedbrook (1984), Hiatt (1992), Lindsey (1998) e Silva–Filho & Falco (2001).

As primeiras plantas transgênicas foram obtidas, pela sua maior facilidade, com genes de efeitos muito específicos, como tolerância a herbicidas e resistência a insetos. A soja resistente a herbicida, milho Bt e algodão Bt resistentes a insetos, são as plantas transgênicas mais cultivadas comercialmente em vários países. Plantas transgênicas com propriedades mais amplas, como melhor qualidade nutricional devido a proteínas, vitaminas, composição de ácidos graxos e suplementos minerais já foram obtidas e estão em fase experimental. O "arroz dourado" de grãos amarelos pela presença de caroteno precursor da vitamina A, é uma grande esperança para minimizar os riscos de cegueira de milhões de crianças nos trópicos onde o arroz é o alimento principal. Igualmente promissor é o arroz rico em ferro para evitar anemia em mulheres grávidas e crianças.

É importante salientar que ambos os métodos, convencionais e transgênicos, não são mutuamente excludentes, ao contrário, eles se complementam. Na verdade, os transgenes têm sido incorporados nas variedades já melhoradas pelos métodos convencionais. Assim, as perspectivas são de que o melhoramento de plantas deverá se beneficiar da combinação dessas técnicas disponíveis e que já demonstraram a sua eficiência.

Tanto os novos genótipos obtidos pelos métodos convencionais, como os obtidos por transgênese, são devidamente avaliados, sendo que no caso dos transgênicos, as avaliações têm sido muito mais rigorosas, especialmente com relação à saúde e ao

meio ambiente. A segurança dos produtos transgênicos avaliada em testes de elevado rigor científico, tem sido confirmada na prática, pelos milhões de pessoas que vêm utilizando esses produtos nos últimos dez anos, sem que tenha havido qualquer registro de dano à saúde ou ao meio ambiente. Tudo indica que tais produtos são tão ou mais seguros do que os correspondentes convencionais, e mais benéficos ao meio ambiente.

A diferença fundamental entre o melhoramento convencional e a transgênese, reside no seguinte: enquanto para as demais técnicas de manipulação genética, os melhoristas são os responsáveis pelas avaliações, e quando pertinente, contam com outros pesquisadores, na transgênese, todo o processo, desde a pesquisa inicial, é dependente de aprovações prévias de uma série de instâncias, nas quais freqüentemente a participação científica fica refém da burocracia. Concomitantemente, a multiplicidade de ciências envolvidas nas avaliações de biossegurança dos transgênicos, passou a ter papel fundamental, que no Brasil trata exclusivamente da engenharia genética. A propósito, pode ser elucidativa uma comparação entre a mutagênese e a transgênese, conforme é mostrado a seguir:

Características	**Mutagênese**	**Transgênese**
Objetivos	Gene desconhecido	Gene conhecido
Início	Anos 30	1980
Obtenção do novo gene	Aleatória	Determinada
Herança do novo gene	Mendeliana	Mendeliana
Legislação	Não	Sim
Avaliações	Agronômicas	Agronômicas, saúde e meio ambiente
Genes aprovados comercialmente	Mais de 2000	Cerca de 50
Genes experimentais	Mais de 200.000	Cerca de 300
Benefícios p/agricultor	Sim	Sim
Benefícios p/ meio ambiente	Não avaliado	Sim
Danos à saúde e meio ambiente	Não avaliado	Não

5. Benefícios dos Milhos Bt

– Redução no uso de inseticidas
– Redução no uso de combustíveis fósseis
– Redução de contaminação com fungos produtores de micotoxinas
– Produtos mais saudáveis com menos agentes cancerígenos
– Menos intoxicações com os agricultores
– Milhos mais valorizados, de melhor qualidade

– Maior rentabilidade agrícola

6. Alguns Depoimentos de Agricultores Africanos (Driessen & Boynes Jr., 2006)

Elizabeth Ajele (África do Sul): "As plantas antigas eram destruídas pelos insetos, porém não as novas da biotecnologia. Com os ganhos obtidos com o novo milho Bt, eu posso cultivar cebola, espinafre e tomate, e com a venda posso comprar fertilizantes. Nós estávamos lutando para manter a fome fora das nossas casas. Agora o futuro é promissor. Se alguém me proibir de plantar o novo milho, eu vou chorar".

Richard Sithole (África do Sul): "Agora eu não preciso comprar agroquímicos. Com o milho anterior, eu colhia 100 sacos nos meus 15 hectares. Com o milho Bt eu colho 1000 sacos"

Thandi Myeni (viúva, professora primária e mãe de cinco filhos, na África do Sul): "Com o novo algodão Bt, eu só pulverizo duas vezes ao em vez de seis. No fim do dia, nós sabemos que a cultura não vai ser destruída, e teremos colheita e dinheiro".

7. Benefícios Globais dos Cultivos de Plantas Transgênicas (Graham & Barfoot, 2007)

Desde 1996, quando o cultivo das plantas transgênicas passou a se expandir, globalmente, chegando em 2006 a passar a marca de 100 milhões de hectares, os efeitos globais mais salientes registrados são como segue:

– Redução de 224 milhões de kg de pesticidas, equivalente a 40% do volume anual do ingrediente ativo aplicado nas lavouras da União Européia. Como conseqüência, houve diminuição de mais de 15% do impacto ambiental associado ao uso de pesticidas.

– A tecnologia GM também, reduziu significativamente a emissão de gases de efeito estufa da agricultura, o que no ano de 2005, foi equivalente a eliminar 4 milhões de automóveis das estradas.

– A análise revela que houve um substancial ganho econômico ao nível do agricultor, chegando a US$ 5 bilhões em 2005 e a US$ 27 bilhões para todo o período de dez anos.

8. Co–Existência de Milho GM e Não GM em Cultivos Comerciais

Co–existência. A evolução e o desenvolvimento das sociedades, conduz a uma crescente variabilidade e diversidade de atividades, culturas, ideologias, etc. A agricultura não é exceção, pois desde a sua invenção há dez mil anos, vem produzindo uma série de inovações, em especial as tecnológicas. Nunca houve tanta diversidade de atividades agrícolas, como as desenvolvidas nos últimos cem anos. Merecem destaque as inovações de natureza genética, como a heterose ou vigor de híbrido, iniciada com o advento do milho híbrido e depois ampliada para outras espécies. Outras significativas alterações genéticas como a ploidia induzindo mudanças numéricas nos cromossomos (Pelloquin 1981), indução artificial de mutações (Muller, 1927; Stadler, 1930), desenvolvimento e utilização da esterilidade masculina em plantas (Rogers & Edwardson, 1952), são relevantes. Em função dessas inovações, milhares de novas cultivares têm sido desenvolvidas, cultivadas e adotadas afim de atender as preferências e conveniências dos variados setores da sociedade. A experiência mostra que, essas diversidades têm sido não apenas desejáveis, pois têm contribuído para benefícios da sociedade, como têm co–existido sem dificuldades salientes.

Milhos GM e não GM. O milho (*Zea mays* L.) é a espécie com maior diversidade de raças e variedades, com ampla distribuição e cultivo desde os climas temperados até os tropicais. Cerca de 300 raças têm sido identificadas (Brown & Goodman, 1976) originando as milhares de variedades cultivadas globalmente. O Brasil conta com boa diversidade genética, cujas raças indígenas e comerciais são descritas por Paterniani & Goodman (1977). Embora o milho seja uma espécie emblemática quanto ao sistema de reprodução alogâmica, a co–existência de toda essa diversidade tem sido mantida. Mesmo os povos indígenas americanos que desempenharam papel fundamental no desenvolvimento das inúmeras raças de milho, sabiam como manter as suas cultivares livres de presenças adventícias não desejáveis.

Com a tecnologia do DNA recombinante, novas cultivares de milhos GM estão participando do universo agrícola do cultivo do milho. Como no passado, as mesmas metodologias empregadas para a prevenção de presenças adventícias não desejáveis, podem ser úteis para a co–existência de milhos GM e não GM. Basicamente, tanto os indígenas, como os agricultores de modo geral, têm empregado a separação temporal ou espacial entre os cultivos. Igualmente, para a produção de sementes livres de presenças adventícias, as normas aprovadas pelos órgãos competentes, estabelecem distâncias de 200 m ou separação temporal de 25 dias nas datas de plantios.

Face à antiguidade e amplitude da cultura do milho, existe uma vasta experiência

acumulada, a maioria não publicada, mas de notório conhecimento geral, com referência a técnicas de prevenção de presenças adventícias não desejáveis. Com o advento de milhos GM, um renovado interesse por pesquisas específicas tem sido o alvo de entidades preocupadas com efeitos não desejáveis de milhos GM em cultivares não GM, em especial nos cultivos de milho orgânico. Na Espanha, Messeguer *et al.* 2005, utilizando técnicas de genética molecular determinaram freqüências de presenças adventícias em condições reais de co–existência de milho Bt e milhos convencionais. Analisando efeitos de bordadura, distâncias entre os campos e épocas de florescimento, verificaram que distância de 20 m é suficiente para manter a presença adventícia de fluxo de polem de milho Bt, a baixo do nível de 0,9% no campo.

Altman (2003) relata que a Espanha vem cultivando milhos GM e orgânicos há vários anos, sem efeitos notórios, mostrando a viabilidade da co–existência entre essas tecnologias. Historicamente, com a ampliação do cultivo de milho híbrido, a preocupação de manter variedades tradicionais livres de cruzamentos com milhos híbridos, é do produtor dessas variedades tradicionais. Assim, o ônus da separação entre os cultivos é sempre o do agricultor que deseja manter a sua variedade preservada. Dessa maneira, Altman (2003) considera que deve ser do agricultor orgânico a tarefa e o ônus da separação, uma vez que é quem vai se beneficiar do maior valor agregado do seu produto.

A diversidade de cultivares. A agricultura convive com grande diversidade de cultivares de cada espécie. Como já mencionado, a freqüência de cruzamentos que ocorrem entre as plantas, é uma característica da espécie e não do fato de ser transgênica. Portanto, todo e qualquer fluxo gênico altera o genoma receptor, seja o doador transgênico ou não. No caso das plantas autogâmicas, que se autofecundam naturalmente, não há muita preocupação com cruzamentos, pois são pouco freqüentes. A preocupação é maior para as plantas alogâmicas. Assim, no caso do milho, são cultivados inúmeros híbridos, variedades melhoradas e variedades locais mantidas por agricultores. Por isso é que para a manutenção de variedades livres de contaminação gênica, são necessárias medidas específicas de isolamento. que podem ser de natureza espacial (300 metros) ou temporal (três semanas). Essas medidas são rotineiramente empregadas pelos pesquisadores bem como por agricultores interessados em preservar seus materiais genéticos.

9. Considerações Finais

A co–existência de cultivares diferentes é tão antiga quanto a agricultura.

As comunidades antigas como os antigos povos das Américas e os agricultores modernos, têm sabido conviver sem problemas, com cultivares distintas, de polinização cruzada como o milho.

Inovações tecnológicas variadas, como o milho híbrido, entre outras, têm convivido com variedades convencionais ao longo do tempo.

Não há razão para que uma nova tecnologia como o milho GM, não possa conviver com as demais tecnologias, inclusive com a agricultura orgânica, com as mesmas técnicas que evitam as presenças adventícias. Isso já está comprovado nos países que por vários anos mantém a co–existência de milhos GM e não GM.

Tradicionalmente, compete ao agricultor que deseja preservar a sua cultivar, o ônus da preservação, em função dos ganhos adicionais resultantes dessa preservação.

10. Referências Bibliográficas

ALTMAN, K. Co–existence between organic, traditional and biotech agriculture. Univ. of Bern, Switzerland. 2003.

BEDBROOK, J.R. Perspectives on genetic manipulation in plants. In: T. Kossuge; C.P. Meredith & A. Hollaender (Eds.) Genetic Engineering in Plants. Plenum Press, N.Y., p. 627–636. 1984.

BROWN, W.L. & GOODMAN, M.M. Races of Corn. *In* Corn and corn Improvement. Amer. Soc. Agron. USA: 49–88. 1976.

COLLINS, G.B., TAYLOR, N.L. & DE VERNA, J.W. *In vitro* approaches to interspecific hybridization. p.323–383. In: J.P. Gustafson (Ed.) Gene Manipulation in Plant Improvement. Ed. Plenum Press, N. Y. 1984. 1984.

DRIESSEN, P. & BOYNES JR., C. Out of Africa. What thoughtless activists want to do with biotechnology. www.CORE–online.org. 2006.

EAST, E.M. & JONES, D.F. Inbreeding and Outbreeding. Lippincott, Philadelphia. 1918.

GRAHAM, B. & BARFOOT, P. Global Impact of Biotech Crops: Socio–Economic and Environmental Effects in the First Ten Years of Commercial Use. http://www.pgeconomics.co.uk/. 2007.

HARLAN, J.R. Crops & Man. American Society of Agronomy, USA. 284 p. 1992.

HIATT, A. (Ed.). Transgenic Plants – Fundamentals and Applications. Marcel Dekker, Inc. N.Y., 340 p. 1992.

JAMES, C. Global Review of Commercialized Transgenic Crops, ISAAA Amer. Center, Cornel University, Ithaca, NY, 15 p. 2006.

LINDSEY, K. (Ed.). Transgenic Plant Research. Harwood Academic Publishers. The Netherlands, 296 p. 1998.

MALUSZYNSKY, M. Induced mutations – An integrated tool in genetics and plant breeding. p.127–162. In: J.P. Gustafson (Ed.) Gene Manipulation in Plant Improvement II. Plenum Press, N.Y. 1990.

MESSEGUER, J., PEÑAS, J., BALLESTER, M., BAS, J., SERRA, J., SALVIA, M., PALAUDELMAS, C. & MELE, E. Pllen mediated gene flow in maize is real situations of coexistence. CSIC–IRTA de Genetica Molecular Vegetal. Centre de Cabrils. Espanha. 2005.

MULLER, H.J. Artificial transmutation of the gene. Science 66:84–87. 1927.

PATERNIANI, E. & GOODMAN, M.M. Races of maize in Brazil and adjacent areas. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Mays y Trigo), México, D.F. 1977.

PATERNIANI, E. Maize breeding in the tropics. Critical Reviews in Plant Sciences 9:124–154. 1990.

PATERNIANI, E. Uma Percepção Crítica sobre Técnicas de Manipulação Genética. Ver. Brás. de Milho e sorgo 1:77–84. 2002.

PELLOQUIN, S.J. Chromosomal and Cytoplasm Manipulations. Plant Breeding II:117–150. 1981.

ROGERS, J.S. & EDWARDSON, J.R. The utilization of cytoplasmic male–sterile inbreds in the production of corn hybrids. Agron. Jour. 44:8–13. 1952.

SHULL, G.H. Hybridization methods in corn breeding. An. Breeders' Mag. 1: 98–107. 1910.

SILVA–FILHO, M.C. & FALCO, M.C. Plantas transgênicas no melhoramento. In: Nass, L.L., Valois, A.C.C., Melo, I.S. & Valadares–Inglis, M.C. (Eds.) *Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas*. Fundação Rondonópolis, MT. p.1011–1056. 2001.

SIMMONDS, N.W. Evolution of Crop Plants. Longman Inc. New York, USA.. 339 p. 1976.

STADLER, L.J. Some genetic effects of X–rays in plants. Journal of Heredity v.30, p.3–19. 1930.

WATSON, J.D. & CRICK, F.H.C. Molecular Structure of nucleic acidas. Science 224: 470–471. 1953.