

Transgênicos e Evolução

06

Um dos maiores desafios da evolução é explicar a influência das relações interespecíficas no processo evolucionário. Aparentemente, o nível atual de conhecimento não é suficiente para explicar este fenômeno.

Um dos mais importantes objetivos do melhoramento de plantas tem sido o desenvolvimento de variedades resistentes a pragas e doenças. Entretanto, quando uma variedade resistente é lançada e, aparentemente, a disputa entre melhoristas e patógenos é concluída, novas raças patogênicas surgem quebrando a resistência desenvolvida, e uma nova corrida com vitórias parciais de cada lado pode ser prevista. O patógeno precisa da planta para sua sobrevivência e, dessa forma, procura desenvolver mecanismos para vencer a resistência, enquanto a planta precisa manter-se livre da infecção para maximizar seu desempenho.

O caso da co-evolução do feijão com o agente causador da mancha-angular, *Phaeoisariopsis griseola*, é ilustrativo. As raças fisiológicas de *P. griseola* que co-evoluíram com os feijões mesoamericanos tendem a apresentar reações de compatibilidade com as variedades desses feijões, resultando no estabelecimento da doença, enquanto os feijões andinos, que durante o processo evolutivo se desenvolveram distantes das raças fisiológicas mesoamericanas de *P. griseola*, tendem a apresentar resistência as estas (Nietsche et al., 2000; Vieira et al., 1999).

Com a corrida entre patógenos desenvolvendo novos mecanismos de infecção e colonização do hospedeiro e o melhorista introduzindo novos mecanismos de resistência, a transformação gênica torna-se opção de grande importância. Essa transformação permite a utilização de mecanismos de resistência existentes em outras espécies e, portanto, de provável grande durabilidade (Fischbeek, 1995). No entanto, novos questionamentos passam a ser pertinentes, a exemplo de como os novos mecanismos de resistência afetarão o processo co-evolutivo. Embora respostas definitivas a esta e outras perguntas não existam, alguns exemplos análogos podem ajudar a esclarecer tal cenário.

O conceito de co-evolução foi cunhado por Ehrlich e Raven (1964) ao descreverem a aparente influência recíproca das plantas em lagartas. Janzen (1980) definiu e propôs a uniformização do uso do termo co-evolução da seguinte maneira: co-evolução é a interação entre duas ou mais espécies, com a alteração genética de uma afetando a das demais e vice-versa (Figura 6.1).

Co-Evolução em Diferentes Interações

As possíveis interações entre duas espécies podem ser de competição, de mutualismo ou de exploração. Se a interação resulta em desvantagem de sobrevivência de ambas as espécies, a relação estabelecida é de competição; se a interação resulta em vantagem de sobrevivência de ambas, a relação é de mutualismo. Finalmente, se a interação é favorável a uma das espécies e desfavorável à outra, a relação é de exploração.

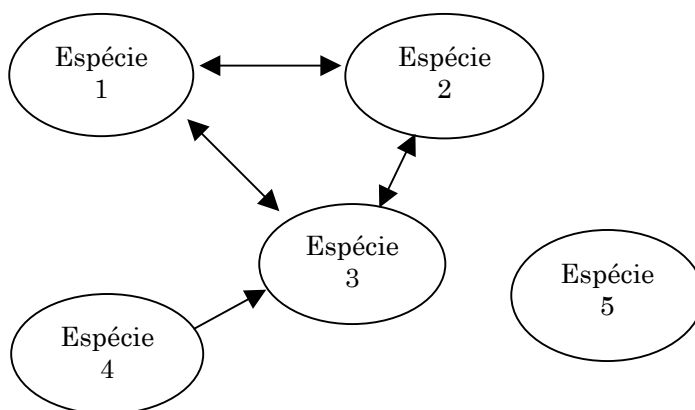


Figura 6.1 – Relações ecológicas entre cinco espécies. Espécies 1 e 2, 2 e 3 e 1 e 3 interagem entre si. Quando a interação entre elas resulta em mudanças gênicas nas espécies, o processo é reconhecido como co-evolução. Nenhum intercâmbio ocorre entre as espécies 3 e 4 (seta apenas em uma direção). A espécie 5 não tem nenhum relacionamento com as demais. As espécies 4 e 5, portanto, não apresentam co-evolução com as demais. Entretanto, elas podem apresentar co-evolução com outras entidades, não representadas neste esquema.

Competição

A persistência de uma planta transgênica no campo depende da sua habilidade de competir no ecossistema. A habilidade de competição, ou agressividade, das variedades transgênicas deve ser estimada, para que se possam fazer inferências sobre o seu risco de colonização em um *habitat*.

Por cerca de um século, o melhoramento convencional tem desenvolvido e liberado novas variedades sem ou com mínimos riscos para o meio ambiente. As evidências e os resultados até então encontrados indicam que a maioria das variedades transgênicas não apresenta riscos diferentes das variedades nao-transgênicas para o meio ambiente (Regal, 1994).

Espécies exóticas quando introduzidas em novo *habitat* podem causar impacto no ecossistema. Argumenta-se que o mesmo poderia ocorrer com as variedade transgênicas, mas a maioria dos OGM não apresenta elevada habilidade de competição, especialmente sem a interferência do homem. Evidências evolucionárias indicam que, quanto mais domesticada ou melhorada a espécie, menor habilidade de competição ela apresenta em sistemas silvestres.

Exploração (parasitismo)

O conceito de exploração pode ser resumido como relacionamento em que uma espécie se beneficia na presença da outra, a qual, por si mesma, é prejudicada pela presença da primeira. Durante o processo evolutivo, as duas espécies atingirão um ponto de equilíbrio somente quando o custo da adaptação superar a pressão de seleção.

Mutualismo (simbiose)

A característica desta inter-relação está no fato de que as duas populações se beneficiam no relacionamento e estariam em desvantagem quando isoladas.

As condições para duas ou mais espécies ou populações desenvolverem mutualismo ainda não são plenamente conhecidas.

Mecanismos Evolucionários

Em genética de população, as forças evolucionárias são estudadas por meio dos seus efeitos sobre as frequências gênicas. Numa população em equilíbrio de Hardy-Weinberg, os fenômenos que podem afetar as frequências gênicas são: *i*) mutação, *ii*) seleção, *iii*) sistemas de acasalamento, *iv*) migração, *v*) deriva genética, *vi*) competição entre populações e *vii*) co-evolução.

Mutação

Mutação, no sentido amplo, significa o aparecimento de novos tipos hereditários. No nível do DNA, a maioria das mutações é de simples substituição de nucleotídeos, deleções, inserções e inversões. As tentativas de induzir alterações genéticas nas espécies cultivadas por meio de mutação, em geral, resultaram em mudanças deletérias. A transformação gênica é uma forma de introduzir alterações genéticas nas plantas de forma direcionada e não-aleatória; ela não é direcionada no sentido da região de inserção do transgene no genoma receptor ou do número de cópias introduzidas, mas o é no sentido de resultar em função preestabelecida.

Seleção

A seleção natural é o mecanismo pelo qual a população se adapta ao ambiente. O coeficiente de seleção é definido como o desvio da adaptação relativa ideal. Talvez a seleção natural seja a força evolucionária menos entendida, uma vez que: *i*) a adaptabilidade do indivíduo depende de inúmeros genes e da interação entre eles e deles com o ambiente; *ii*) as mutações são, em sua maioria, neutras para adaptação e sujeitas somente à deriva genética; *iii*) mutações favoráveis não são selecionadas e fixadas em curto prazo; e *iv*) alterações profundas no fenótipo normalmente reduzem a capacidade de adaptação, uma vez que o organismo é um sistema integrado.

Para avaliar os riscos dos transgênicos, deve-se analisar o efeito do transgene no fenótipo do indivíduo receptor. O estabelecimento e a colonização por um OGM dependerão da natureza do gene introduzido e da sua interação com outros genes do receptor e com o meio ambiente. Variedades transgênicas tendem a ser mais fracas competidoras do que seus correspondentes não-transgênicos, uma vez que os genes introduzidos estabelecem um novo dreno metabólico, além de resultarem em novas interações epistáticas no indivíduo. Adicionalmente, o ambiente em que eles eventualmente manifestam superioridade competitiva tende a ser menor do que aquele onde seus correspondentes não-transgênicos possuem maior habilidade de sobrevivência, isto é, os campos de produção.

Modo de Reprodução

O isolamento reprodutivo entre diferentes populações fundamenta-se em barreiras geográficas e genéticas estabelecidas no processo evolucionário. Em uma população panmítica em equilíbrio de Hardy-Weinberg, o isolamento entre indivíduos não é observado, uma vez que todos eles se

cruzam livremente. Alterações no sistema de acasalamento na população podem levar a um forte isolamento, com conseqüente risco de extinção dos indivíduos transgênicos com baixa capacidade de competição. No caso do escape de organismos geneticamente modificados, devido ao menor tamanho da população desses indivíduos em relação aos da população nativa, a influência da deriva genética aumenta a probabilidade de desaparecimento da população com o transgene.

Deriva Genética

Deriva genética é a alteração na freqüência gênica devida ao acasalamento tendencioso, decorrente exclusivamente do tamanho limitado da população. Se um transgene possui adaptabilidade neutra, a deriva genética altera a sua freqüência aleatoriamente, levando-o à fixação ou à eliminação. A deriva genética em pequenas populações pode ter maior força do que a seleção natural e definir sua extinção ou fixação.

Migração

A freqüência gênica em um sistema com subpopulações pode ser alterada pela migração de indivíduos entre elas ou pela dispersão do pólen. A migração no sentido amplo inclui a troca gênica entre espécies (transferência gênica horizontal), mas o isolamento reprodutivo entre as espécies normalmente exclui esse intercâmbio.

Co-evolução

O comportamento evolucionário dos indivíduos nativos em uma comunidade com variedades transgênicas deve ser

analisado para se estimarem os possíveis impactos do processo co-evolucionário no contexto das interações interespecíficas.

Transgênicos e Co-Evolução

A tecnologia do DNA recombinante oferece oportunidades para introdução de mecanismos de resistência nas espécies. Por exemplo, no caso do milho *Bt*, as variedades produzem uma toxina que age seletivamente em lagartas, e, portanto, um processo de co-evolução entre o inseto e a planta deve ocorrer. O inseto pode evitar a pressão negativa de seleção ou desenvolver resistência.

A toxina *Bt* pode ser comparada com um inseticida que exerce pressão de seleção contínua durante todo o ciclo da planta. Experiências anteriores com esse tipo de pressão de seleção indicam que o inseto pode desenvolver um mecanismo de resistência. Mais de 15 anos de uso da toxina *Bt* na agricultura já se passaram, mas nenhum relato de redução na eficiência desse inseticida biológico foi documentado. Com o lançamento das variedades *Bt*, tem-se recomendado a adoção de programas de manejo da resistência para assegurar sua durabilidade. Mais detalhes sobre esse tópico são apresentados no capítulo 13.

O risco de aparecimento de resistência contra a toxina *Bt* existe mesmo sem o uso das variedades transgênicas, uma vez que os produtores pulverizam suas lavouras com inseticidas contendo essa toxina (McGaughey e Johnson, 1992). Acredita-se que a resistência do inseto vá surgir com ou sem as variedades *Bt*. Isso é só uma questão de tempo. Compete aos cientistas e, especialmente, aos produtores adotarem programas de manejo da resistência para que sua proteção seja o mais duradoura possível.

Literatura Consultada

- Alyokhin, A.V.; Ferro, D.N. 1999. Modifications in dispersal and oviposition of Bt-resistant and Bt-susceptible Colorado potato beetles as a result of exposure to *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis* Cry3A toxin. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 90: 93-101.
- Alyokhin, A.V.; Ferro, D.N. 1999. Reproduction and dispersal of summer-generation Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 28: 425-430.
- Ehrlich, P.R e Raven, P. H. 1964. Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution* 18:586-608.
- Fischbeck, G. 1995. Biotechnologische Anstätze für die Züchtung gesunder Pflanzen und ihre Bedeutung für die Entwicklung unweilschonender Anbauverfahren. In: Schell, T. e Mohr, H. (eds) *Biotechnologie - Gentechnik*. Berlin. Springer Verlag. Pp. 181-200.
- Janzen, D. H. 1980. When is it coevolution? *Evolution* 34:611-612.
- McGaughey, W. H. e Johnson, D. E. 1992. Indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) resistance to different strains and mixtures of *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol* 85: 1594-1600.
- Nietsche, S.; Borém, A.; Carvalho, G.A.; Paula Jr.; T.J.; Ferreira, C. F.; Barros, E. G. e Moreira, M. A. 2001. Genetic diversity of *Phaeoisariopsis griseola* in the State of Minas Gerais, Brazil. *Euphytica* 117:77-84.
- Salisbury, P.A. 2000. The myths of gene transfer - a canola case study. *Plant Protection Quarterly* 15: 71-76.
- Squire, G.R.; Crawford, J.W.; Ramsay, G.; Thompson, C.; Bown, J. 1999. Gene flow at the landscape level. In: *Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops*. Proceedings of a symposium held at Keele, 57-64pp. BCPC Symposium Proceedings No.72; British Crop Protection Council.

Trewavas, A. 1999. Much food, many problems: a new agriculture, combining genetic modification technology with sustainable farming, is our best hope for the future. *Nature London* 402: 231-232.