

RRiskBt - UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA QUANTIFICAR RISCO DE RESISTÊNCIA DE PRAGAS A TOXINAS Bt EXPRESSAS EM CULTURAS TRANSGÊNICAS

Aline de Holanda Nunes Maia¹
Durval Dourado Neto²

RESUMO

O *software* RRiskBt, desenvolvido em linguagem Visual BASIC baseado no modelo determinístico de Caprio (1998a), é uma ferramenta que permite quantificar o risco de resistência de pragas a toxinas Bt expressas em culturas transgênicas, utilizando análise de incertezas. A evolução da resistência é um processo governado por fatores genéticos e bioecológicos que se interrelacionam. Um dos parâmetros-chave que influenciam a taxa de evolução da resistência é a frequência inicial do alelo de resistência na população da praga. Neste *software*, a incerteza associada ao parâmetro frequência inicial pode ser representada por uma distribuição Normal truncada, Lognormal truncada ou Uniforme. Estimativas de risco podem ser obtidas para diferentes estratégias de manejo da resistência.

PALAVRAS-CHAVE: software, culturas Bt, modelagem, análise de risco.

RRiskBt - A COMPUTER PROGRAM TO QUANTIFY RISK OF PEST RESISTANCE TO Bt TOXINS EXPRESSED IN TRANSGENIC CROPS

ABSTRACT

The software RRiskBt was developed in Visual BASIC language based on the Caprio's deterministic model (Caprio, 1998). It is a tool to quantify risk of pest resistance evolution to Bt toxins expressed in transgenic crops using uncertainty analysis. Resistance evolution is a process driven by inter related genetic and ecological factors. A key parameter that influences the rate of resistance evolution is the resistance allele initial frequency in the pest population. In the RRiskBt, the uncertainty associated with initial frequency can be represented by Truncated Normal, Truncated Lognormal or Uniform distributions. Risk estimates can be obtained considering different resistance management strategies.

KEYWORDS: software, Bt crops, modelling, probabilistic risk assessment.

1. INTRODUÇÃO

Culturas transgênicas que expressam toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), são cultivadas em vários países desde 1996. As toxinas Bt são ativas contra algumas espécies de pragas das ordens Lepidoptera, Coleoptera e Diptera. O principal risco ambiental associado a essa tecnologia é a evolução de resistência das pragas alvo a essas toxinas, processo governado por fatores genéticos e bioecológicos que se interrelacionam. A estratégia atualmente em uso nos EUA, Canadá e Austrália, recomendada pelas agências governamentais de proteção ao ambiente para manejo da resistência em culturas Bt é o uso de materiais genéticos que expressem a toxina Bt em alta concentração nos tecidos da planta combinada com adoção de refúgios estruturados (ILSI-HESI, 1998; USEPA, 2001; FIFRA, 2001). Os refúgios são áreas ocupadas por plantas hospedeira da praga-alvo, preferencialmente, do mesmo híbrido ou variedade da cultura transgênica, mas que não expressem a toxina (ILSI-HESI, 1998).

¹ Engenheira Agrônoma. Mestre em Estatística. Embrapa Meio Ambiente. ahmaia@cnpma.embrapa.br.

² Engenheiro Agrônomo. Mestre e Doutor em Agronomia. Universidade de São Paulo. dourado@esalq.usp.br.

A escolha de cenários mais eficientes para a estratégias alta dose/refúgio é feita utilizando projeções da evolução da resistência obtidas com o uso de modelos de simulação que se baseiam em fundamentos teóricos de ecologia e genética de populações (Andow & Alstad 1998, USEPA, 2001). Uma abordagem realística para modelagem do processo de evolução da resistência é a simulação estocástica em função do alto grau de incerteza associado aos seus parâmetros. Essa abordagem possibilita estimar o risco de resistência ao final de cada geração da praga, expresso pela probabilidade da frequência do alelo de resistência ($FreqR$) exceder um valor crítico preestabelecido. No modelo determinístico de Caprio, valores esperados de $FreqR$ são estimados a cada geração, ao invés de medidas de risco.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar O *software* RISCOBt, ferramenta que permite simular a evolução da resistência de pragas à toxina Bt expressa em culturas transgênicas, considerando a incerteza associada à frequência inicial do alelo de resistência.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O modelo escolhido para incorporação de incertezas foi o modelo determinístico de Caprio (Caprio 1998a). Devido à sua parcimônia, permite a simulação rápida de cenários para combinações de uma grande amplitude de valores dos parâmetros. Os fundamentos teóricos do modelo de Caprio estão descritos de modo sucinto no relatório de um grupo de especialistas em manejo da resistência em insetos indicado pelo subcomitê *Insect Resistance Management* (IRI) estabelecido pelo (*Health and Environmental Sciences Institute* (HESI) *International*, *Life Sciences Institute* (ILSI)).

Este modelo estima $FreqR$ ao final de cada geração da praga-alvo até que esta frequência atinja uma frequência crítica ($FreqCritica$) preestabelecida pelo usuário. Podem ser consideradas várias estratégias de manejo, variando o tamanho do refúgio, e a aplicação ou não de inseticida na referida área.

Os dados de entrada para simular a evolução da resistência em pragas utilizando o modelo determinístico de Caprio estão descritas na Tabela 1.

TABELA 1: Dados de entrada para simular a evolução da resistência à toxina Bt em pragas-alvo, utilizando o modelo determinístico de Caprio.

Parâmetro	Descrição
<i>AreaDeRefugio</i>	Proporção da área total ocupada pelo refúgio
<i>FreqInicial</i>	Frequência inicial do alelo de resistência (R) na área de refúgio
<i>FreqCritica</i>	Frequência crítica do alelo R na área da cultura transgênica
<i>SFImatRef</i>	Sobrevivência da lagarta-do-cartucho durante a fase imatura, na área de refúgio.
<i>CoefEndogamia</i>	Coefficiente de endogamia da população da lagarta-do-cartucho
<i>SFImatSStran</i>	Sobrevivência da subpopulação SS durante a fase imatura na área da cultura transgênica
<i>SFImatRRtran</i>	Sobrevivência da subpopulação RR durante a fase imatura na área da cultura transgênica
<i>SFImatRStran</i>	Sobrevivência da subpopulação RS durante a fase imatura na área da cultura transgênica
<i>DispPRErand</i>	Proporção de indivíduos de cada <i>habitat</i> que se dispersa de forma aleatória na área total antes do acasalamento
<i>DispPOSrand</i>	Proporção de indivíduos com dispersão pré-acasalamento restrita aos respectivos <i>habitats</i> de origem que se dispersa de forma aleatória na área total após o acasalamento

O *software* RiskBt foi desenvolvido em linguagem de programação Visual BASIC, incorporando técnicas de análise de incerteza ao modelo determinístico. A análise de incertezas é realizada do seguinte modo: (i) quantificação de incertezas do parâmetro $FreqInicial$ em termos de distribuições de probabilidade, com as opções Normal truncada, Lognormal truncada ou Uniforme; (ii) Amostragem da distribuição de probabilidade escolhida para caracterizar a incerteza associada ao parâmetro $FreqInicial$ num processo iterativo; (iii) Propagação dos efeitos das incertezas através do modelo; (iv) Geração das distribuições de probabilidade empíricas de $FreqR$ ao final de cada geração utilizando método Monte Carlo com amostragem aleatória e (v) Cálculo do risco de resistência ao final de cada geração da praga-alvo, ou seja a probabilidade de $FreqR$ exceder a $FreqCritica$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste software a evolução da resistência pode ser simulada utilizando o modelo determinístico ou estocástico. No primeiro caso, são gerados uma tabela com os valores de *FreqR* e as frequências dos indivíduos resistentes homozigotos (*FreqRR*) a cada geração até que *FreqR* exceda a *FreqCritica* e um gráfico mostrando a evolução de *FreqR* ao longo das gerações da praga alvo. No modelo que incorpora análise de incertezas, são gerados os seguintes resultados (i) um arquivo com os n ($n=100, 500, 1000$ ou 5000) valores de *FreqInicial* amostrados da distribuição escolhida (Normal truncada, Lognormal truncada ou Uniforme); (ii) Um histograma de frequências dos valores de *FreqInicial*; (iii) Um arquivo com os valores de *FreqR* para cada geração da praga correspondentes a cada valor amostrado de *FreqInicial*; (iv) Um gráfico do risco de resistência em função do número de ordem da geração; (v) Uma tabela com os a informação utilizada para gerar o gráfico e (vi) Um arquivo com a seguinte informação: distribuição de probabilidade escolhida para caracterizar a incerteza de *FreqInicial*, tamanho da área de refúgio utilizada na simulação, número de ordem da geração da praga e risco de resistência.

Quando diferentes cenários são simulados variando a área de refúgio ou utilizando diferentes distribuições para *FreqInicial* o arquivo descrito no item (vi) armazena todas as informações geradas em cada simulação. Essa informação é útil para comparação de estratégias de manejo da resistência com base em medidas de risco relativo.

4. CONCLUSÕES

O Software RriskBt incorpora uma abordagem probabilística para quantificação de risco de evolução de resistência a toxinas Bt. Esta abordagem, utilizando análise de incertezas, é de importância fundamental para fornecer subsídios aos tomadores de decisão sobre a adoção da biotecnologia de culturas transgênicas inseticidas num estágio em o conhecimento sobre o processo gerador é ainda extremamente incerto. As técnicas de análise de incerteza utilizadas no *software* permitem que o conhecimento de especialistas seja incorporado ao processo pela caracterização da incerteza utilizando distribuições de probabilidade. O modelo implementado é relativamente simples, com pequeno número de parâmetros, quando comparado aos modelo espaciais estocásticos utilizados para simular a evolução da resistência; pode ser utilizado como ferramenta didática para entendimento de processo de evolução da resistência e das ferramentas de auxílio à tomada de decisão em ambientes de incerteza.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDOW, D.A.; ALSTAD, D.N. F2 Screen for Rare Resistance Alleles. *Journal of Economic Entomology*, v.91, n.3, p.572-578. 1998.
- CAPRIO, M. A. Evaluating resistance management for multiple toxins in presence of external refuges. *Journal of Economic Entomology*, v.91, n.5, p.1021-1031. 1998a.
- CAPRIO, M. A. Non random mating model. (www.msstate.edu/Entomology/PgJava/ILSI_model.html). 1998b.
- FIFRA – Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act Scientific Advisory Panel. Sets of scientific issues being considered by the Environmental Protection Agency regarding: **Bt plant-pesticides risk and benefit assessments**. Final report, 18-20 October, 2000 (SAP Report no. 2000-07, March 2001).
- ILSI/HESI. An evaluation of insect resistance management in Bt field corn: a science based framework for risk assessment and risk management. 1997.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Bt Plant-Pesticides Biopesticides Registration Action Document**, US EPA, Washington, 2001