

## **Proteínas de ação inseticida com potencial de uso no controle da cigarrinha-das-pastagens: uma revisão<sup>1</sup>**

Thiago Andrei de Sá<sup>2</sup>, Alexander Machado Auad<sup>3</sup>, Jorge Fernando Pereira<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

<sup>2</sup>Graduando em Ciências Biológicas - UFJF. Bolsista CNPq. e-mail: [thiago.andrei@icb.ifjf.com](mailto:thiago.andrei@icb.ifjf.com)

<sup>3</sup>Pesquisadores da Embrapa Gado de Leite - Juiz de Fora, MG. E-mail: [alexander.auad@embrapa.br](mailto:alexander.auad@embrapa.br); [jorge.pereira@embrapa.br](mailto:jorge.pereira@embrapa.br)

<sup>4</sup>Orientador

**Resumo:** As cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae) impactam a produção de forragens no Brasil, causando perdas significativas na produção de leite e carne. Por não haver forrageira altamente resistente a todas as espécies de cigarrinhas, uma alternativa para o controle destes insetos é a obtenção de forrageiras geneticamente modificadas (GM) que expressam proteínas de ação inseticida. Portanto, a escolha dos genes mais eficazes para obtenção das forrageiras GM é uma etapa essencial. Assim, este trabalho objetivou listar as proteínas de ação inseticida que têm sido utilizadas para o controle de insetos hemípteros e identificar aquelas com maior potencial de uso para o controle das cigarrinhas-das-pastagens. Para tanto, foi feita uma revisão bibliográfica no repositório NCBI/PubMed com as palavras-chave “insecticidal proteins” e “hemiptera” limitada a artigos publicados nos últimos 20 anos (2001 a 2020). Foram listados 663 artigos científicos e, após análise, foram identificados 57 que descreviam o uso de proteínas de ação inseticidas contra hemípteros. Foram extraídos dados dos 57 artigos, sendo identificadas as proteínas utilizadas, seus modos de ação, os insetos hemípteros que foram estudados e a taxa de mortalidade obtida. Baseado nos dados levantados, foram definidas três proteínas de ação inseticida que potencialmente podem ser utilizadas para o controle das cigarrinhas-das-pastagens via obtenção de forrageiras geneticamente modificadas.

**Palavras-chave:** cigarrinha-das-pastagens, forrageiras geneticamente modificadas, insetos hemípteros, pastagens, proteínas de ação inseticida, transgênicos

### **Insecticidal proteins with potential use in spittlebug control: a review**

**Abstract:** The attack of spittlebugs (Hemiptera: Cercopidae) impacts the forage production in Brazil, causing significant losses in milk and meat production. Since there are no forages that are highly resistant to all species of spittlebugs, an alternative to control these insects is to obtain genetically modified (GM) forages that express insecticidal proteins. Therefore, choosing the most effective genes for obtaining GM forages is an essential step. Thus, this work aimed to list the insecticidal proteins that have been used to control hemipteran insects and to identify those with the greatest potential for use in the control of spittlebugs. Therefore, a bibliographic review was carried out in the NCBI/PubMed repository with the keywords “insecticidal proteins” and “hemiptera”, limited to articles published in the last 20 years (2001 to 2020). A total of 663 scientific articles were listed and, after analysis, 57 were found to describe the use of insecticidal proteins against hemipteran insects. Data were extracted from the 57 articles as: the insecticidal proteins used, their modes of action, the hemipteran insects that were studied and the mortality rate obtained. Based on the published data, we have listed three insecticidal proteins that could potentially be used to control spittlebugs by obtaining genetically modified forages.

**Keywords:** genetically modified forages, hemipteran insects, insecticidal proteins, pasture, spittlebugs, transgenic

## Introdução

A ordem Hemiptera apresenta mais de 25 mil espécies, sendo que várias destas espécies causam prejuízo aos produtores brasileiros (Grazia et al., 2012). Dentre as que causam problemas à agropecuária nacional encontra-se a cigarrinha-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae) (Auaud et al., 2007). Este nome genérico refere-se a diferentes espécies que atacam plantas forrageiras. Tanto as ninfas como os adultos deste inseto praga se alimentam da seiva das plantas, o que restringe seu crescimento, levando à queda de produção de matéria verde. O ataque das cigarrinhas-das-pastagens também leva ao amarelecimento das folhas, o que é possivelmente ocasionado pelo impacto na síntese de clorofila por alguma enzima (toxina) encontrada na saliva do inseto. O amarelecimento das folhas reduz a qualidade nutricional da forrageira e altera sua palatabilidade, o que reduz a capacidade de suporte (Souza et al., 2008).

Existe baixa variabilidade genética quanto ao desempenho das forrageiras em relação ao ataque das cigarrinhas-das-pastagens (Alvarenga et al., 2017). De forma geral, grande parte das espécies de forrageiras utilizadas no Brasil permite algum nível de sobrevivência de ninfas das cigarrinhas, o que é utilizado para definir a susceptibilidade das espécies. Baseado em estudos com a espécie *Mahanarva spectabilis*, de grande abrangência no território brasileiro, a resistência das diferentes espécies de forrageiras cultivadas no Brasil respeita, de uma forma geral, a seguinte ordem crescente de resistência: *Urochloa ruziziensis* = *U. decumbens* < capim-elefante (cv Roxo de Botucatu < cv Pioneiro) = *Panicum maximum* < *Cynodon dactylon* < *U. brizantha* cv Marandú. Por mais que algumas espécies de forrageiras tenham desenvolvido estratégias que permitam melhor desempenho contra a cigarrinha-das-pastagens, deve-se considerar a obtenção de plantas geneticamente modificadas (GM) expressando proteínas de ação inseticida, uma vez que nenhuma espécie de forrageira é naturalmente altamente resistente às várias espécies de cigarrinhas observadas no Brasil.

Proteínas de ação inseticida vêm sendo utilizadas para controles de insetos, sendo a proteína *cry* a mais conhecida. Esta proteína foi isolada da bactéria *Bacillus thuringiensis* e é amplamente utilizada na agricultura para controle de insetos mastigadores (lepidópteros e coleópteros) (Campanini et al., 2012). Entretanto, há pouca informação sobre o uso de proteínas *cry* no controle eficaz de hemípteros. Assim, faz-se necessário identificar possíveis proteínas de ação inseticida que possam ser utilizadas para controle de hemípteros e possivelmente das cigarrinhas-das-pastagens.

A presente revisão tem como objetivos listar proteínas de ação inseticida que vêm sendo estudadas para controle de diferentes espécies de hemípteros e identificar aquelas proteínas com maior potencial de uso para o controle das cigarrinhas-das-pastagens.

## Material e Métodos

Foram feitas buscas no repositório de artigos científicos PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) com as palavras-chave “insecticidal proteins” e “hemiptera” e considerando o ano de publicação entre 2001 e 2020. Os 663 artigos resultantes desta busca foram revisados e 57 deles descreviam o uso de proteínas de ação inseticidas contra hemípteros.

Após a leitura e análise, as informações dos 57 artigos científicos foram organizadas de forma a listar as proteínas de ação inseticida utilizadas, a espécie de hemíptero foi estudada, o modo de ação das proteínas (seu efeito no inseto), e o índice de mortalidade. Estas informações e as referências dos 54 artigos podem ser encontradas no Anexo I. A análise também se baseou nas espécies que produzem a proteína, que foram separadas em quatro grupos (plantas, animais, bactérias ou fungos).

## Resultados e Discussão

Foram encontrados 57 artigos científicos descrevendo proteínas de ação inseticida contra hemípteros. Para otimizar, os resultados foram divididos em quatro grupos (plantas, animais, bactérias ou fungos) baseados na espécie que produz a proteína de ação inseticida. O grupo das plantas foi o de maior número com 42 estudos, sendo as espécies mais comuns alho-comum (*Allium sativum*) e a leguminosa *Canavalia ensiformis*, com 9 e 8 estudos respectivamente. Para o grupo de animais, foram encontrados sete estudos e, dentre estes, dois utilizaram proteínas originárias de *Segestria florentina* e dois de *Manica rubica*. O grupo de bactérias abrangeu seis pesquisas, todas fazendo uso de diferentes tipos de bactérias. Para o grupo de fungos foram feitos 14 estudos, sendo cinco destes a partir de proteínas de *Xerocomus chrysenteron*.

Em relação aos anos de publicação, 18 estudos foram publicados nos últimos cinco anos, variando de 1 a 7 publicações por ano. Dentre estes artigos, as proteínas mais utilizadas foram lectinas e aglutininas e dentre elas houve um foco maior em aglutinina de *Galanthus nivalis* e de *Allium sativum*, contabilizando um total de 13 usos em pesquisas (aqui podendo ser contada mais de uma vez por artigo). Para observar a ação das proteínas, foram utilizadas 29 espécies de insetos hemípteros, sendo que *Myzus persicae* e *Acyrtosiphon pisum* foram os mais recorrentes, aparecendo 17 e 11 vezes, respectivamente.

Um ponto importante dos estudos foi o índice de mortalidade reportado com as proteínas utilizadas. Dentre os 57 artigos, nove pesquisas obtiveram mortalidade menor ou igual a 40%, nove entre 40 e 70% e 42 reportaram mortalidade maior que 70%. Dez trabalhos não disponibilizaram informações acerca do índice de mortalidade. Dentre os 42 com mortalidade acima de 70%, 15 obtiveram mortalidade de 100%. Em relação a essas 15 proteínas, sete se enquadraram na categoria de causar toxicidade para o inseto e não apenas impactos na fertilidade.

Para sugerir as melhores proteínas dentre aquelas com 100% de mortalidade, considerou-se o menor tempo necessário para a morte de toda a população de hemípteros estudada. As proteínas de ação inseticida que levaram selecionadas foram a quitinase de *Pseudomonas fluorescens* (72 horas) (Suganthi et al., 2017), a avidina recombinante de *Gallus gallus* (quatro dias) (Hinchliffe et al., 2010), e a proteína SFI1 de *Segestria florentina* associada a GNA (sete dias) (Down et al., 2006).

## Conclusões

Com as informações levantadas neste trabalho de revisão foi possível concluir que algumas proteínas de ação inseticida têm potencial de serem avaliadas para o controle da cigarrinha-das-pastagens. Ressalta-se que outros repositórios, além do PubMed, devem ser buscados para englobar o maior número possível de proteínas. Dentre as proteínas encontradas, deve-se levar em consideração aquelas que resultaram em 100% de mortalidade dos hemípteros no menor tempo possível como as identificadas por Down et al. (2006), Hinchliffe et al. (2010) e Suganthi et al. (2017). Uma vez que

essas proteínas forem utilizadas em projetos de pesquisa na Embrapa, será possível avaliar o impacto das forrageiras geneticamente modificadas expressando tais proteínas no controle das cigarrinhas-das-pastagens.

### Referências

- AUAD, A.M.; SIMÕES, A.D.; PEREIRA, A.V.; BRAGA, A.L.F.; SOUZA-SOBRINHO, F.; LÉDO, F.J.da S., PAULA-MORAES, S.V.; OLIVEIRA, S.A.; FERREIRA, R.B. Seleção de genótipos de capim-elefante quanto à resistência à cigarrinha-das-pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1077-1081, 2007.
- ALVARENGA, R., AUAD, A.M., MORAES, J.C., SILVA, S.E.B., RODRIGUES, B.S., SILVA, G.B. Spittlebugs (Hemiptera: Cercopidae) and their plant hosts: strategy for pasture diversification. **Applied Entomology and Zoology**, v.52, p.653-660, 2017. doi: [10.1007/s13355-017-0521-0](https://doi.org/10.1007/s13355-017-0521-0)
- CAMPANINI, E.B.; DAVOLOS, C.C.; ALVES, E.C.C.; LEMOS, M.V.F. Isolation of *Bacillus thuringiensis* strains that contain Dipteran-specific *cry* genes from Ilabela (São Paulo, Brazil) soil samples. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.1-5, 2012.
- DOWN R.E., FITCHES E.C., WILES D.P., CORTI P., BELL H.A., GATEHOUSE J.A., EDWARDS J.P. Insecticidal spider venom toxin fused to snowdrop lectin is toxic to the peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) and the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Pest Management Science**, v.62, p.77-85, 2006. doi: [10.1002/ps.1119](https://doi.org/10.1002/ps.1119). PMID: 16206236
- GRAZIA, J.; CAVICHIOLI, R. R.; WOLF, R. R. S.; FERNANDES, J. A. M.; TAKIYA, D. M. Hemiptera. Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Ed.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2012. p. 347-405.
- HINCHLIFFE G., BOWN D.P., GATEHOUSE J.A., FITCHES E. Insecticidal activity of recombinant avidin produced in yeast. **Journal of Insect Physiology**, v.56, p.629-39, 2010. doi: [10.1016/j.jinsphys.2010.01.007](https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2010.01.007). Epub 2010 Feb 9. PMID: 20132821.
- SOUZA, J.C., SILVA, R.A., REIS, P.R., QUEIROZ, D.S., SILVA, D.B. Cigarrinhas-das-pastagens: histórico, bioecologia, prejuízos, monitoramento e medidas de controle. **Circular Técnica 42**, ISSN 0103-4413, Belo Horizonte: EPAMIG, 2008.
- SUGANTHI, M.; SENTHILKUMAR, P.; ARVINATH, S.; CHANDRASHEKARA, K. N. Chitinase from *Pseudomonas fluorescens* and its insecticidal activity against *Helopeltis theivora*. **Journal of General and Applied Microbiology**, v.63, p.222-227, 2017. doi: [10.2323/jgam.2016.11.001](https://doi.org/10.2323/jgam.2016.11.001). Epub 2017 Jul 6. PMID: 28680004.

## Anexo I

### Resumo “Proteínas de ação inseticida com potencial de uso no controle da cigarrinha-das-pastagens: uma revisão”

Thiago Andrei de Sá, Alexander Machado Auad, Jorge Fernando Pereira

Informações sobre proteínas de ação inseticida utilizadas para controle de hemípteros.

Proteína	Espécie que produz a proteína	Espécie de hemíptero que foi estudada	Impacto da proteína no inseto	Índice de mortalidade	Referência
Aalt/GNA	<i>Galanthus nivalis</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	morte e reduz fecundidade	~ 50%	Liu et al., 2015
Aglutinina AAA	<i>Allium altaicum</i>	<i>Aphis gossypii</i>	hemaglutinação	~ 40%	Upadhyay et al., 2011
Aglutinina ASAL	<i>Allium sativum</i>	<i>Lipaphis erysimi</i>	toxicidade e morte	31,25 - 87,5%	Bandyopadhyay et al., 2001
Aglutinina ASAL	<i>Allium sativum</i>	<i>Dysdercus cingulatus</i>	toxicidade e morte	50 - 100%	Bandyopadhyay et al., 2001
Aglutinina CEA	<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	morte e reduz fecundidade	não disponível	Roy et al., 2014
Aglutinina CEA	<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Lipaphis erysimi</i>	morte e reduz fecundidade	não disponível	Roy et al., 2014
Aglutinina CEA	<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Lipaphis erysimi</i>	morte e reduz fecundidade	70 - 81.67%	Das et al., 2018
Aglutinina PTA	<i>Pinellia ternata</i>	<i>Myzus persicae</i>	informação não disponível	> 90%	Yao et al., 2003
Aglutinina PTA	<i>Pinellia ternata</i>	<i>Myzus persicae</i>	reduz fecundidade	> 80%	Jin et al., 2011
Aglutinina PTA	<i>Pinellia ternata</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	61%	Qi et al., 2011
Aglutinina RSA	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	destruição do tecido intestinal e morte	não disponível	Hamshou et al., 2013
Aglutinina SNA-I	<i>Sambucus nigra</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Shahidi-Noghabi et al., 2008
Aglutinina SNA-I	<i>Sambucus nigra</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	não disponível	Shahidi-Noghabi et al., 2008
Aglutinina SSA	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	toxicidade e morte	100%	Hamshou et al., 2010
Aglutinina ZGA	<i>Zephyranthes grandiflora</i>	<i>Myzus nicotianae</i>	morte e reduz fecundidade	não disponível	Ye et al., 2008
AprA	<i>Pseudomonas entomophila</i>	<i>Riptortus pedestris</i>	citotoxicidade a hemócitos	~ 80%	Lee et al., 2018

Informações sobre proteínas de ação inseticida utilizadas para controle de hemípteros -  
Continuação.

Proteína	Espécie que produz a proteína	Espécie de hemíptero que foi estudada	Impacto da proteína no inseto	Índice de mortalidade	Referência
Avidina recombinante	<i>Gallus gallus</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	toxicidade aguda e morte	100%	Hinchiliffe et al., 2010
Asparaginase	<i>Zea mays</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	neurotoxicidade	95%	Gul et al., 2020
Canatoxina (CNTX)	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Dysdercus peruvianus</i>	morte e reduz desenvolvimento	> 90%	Stanisçuaski et al., 2005
Concanavalina A	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i>	morte e reduz fecundidade	~ 75%	Sprawka et al., 2014
Concanavalina A	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	toxicidade e morte	não disponível	Sauvion et al., 2004
crisantemol sintase (CHS)	<i>Tanacetum cinerariifolium</i>	<i>Aphis gossypii</i>	reduz a fecundidade	não disponível	Hu et al., 2018
Cry1Ac:ASAL	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Nilaparvata lugens</i>	reduz fertilidade	70 - 80%	Boddupally et al., 2018
D-galactose:XCL	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Jaber et al., 2008
D-glicose:XCL	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Jaber et al., 2008
D-manose:XCL	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Jaber et al., 2008
defensina BrD1	<i>Brassica rapa</i>	<i>Nilaparvata lugens</i>	informação não disponível	100%	Choi et al., 2009
fitohemaglutinina (PHA)	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Sitobion avenae</i>	reduz fecundidade	não disponível	Sprawka et al., 2012
GalNAc:XCL	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Jaber et al., 2008
GNA	<i>Galanthus nivalis</i>	<i>Rhopalosiphum maidis</i>	morte de ninfas	36%	Wang et al., 2005
GNA:CaMV 35S	<i>Galanthus nivalis</i>	<i>Myzus persicae</i>	reduz a fertilidade	20-50%	Mi et al., 2017
GNA:ST-LS1	<i>Galanthus nivalis</i>	<i>Myzus persicae</i>	reduz a fertilidade	45-55%	Mi et al., 2017
Hv1a/GNA	<i>Hadronyche versuta</i>	<i>Myzus persicae</i>	toxicidade oral e morte	100%	Yang et al., 2014
IF8	<i>Isaria fumosorosea</i>	<i>Diaphorina citri</i>	toxicidade e morte	> 80%	Keppanan et al., 2019
Jaburetox	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Rhodnius prolixus</i>	morte e impacto fisiológico	não disponível	Fruttero et al., 2016
Lectina ASA-I	<i>Allium sativum</i>	<i>Dysdercus koenigii</i>	morte e impacto fisiológico	> 70%	Roy et al., 2002
Lectina ASA-I	<i>Allium sativum</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	toxicidade aguda e crônica	100%	Fitches et al., 2008
Lectina ASA-II	<i>Allium sativum</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	toxicidade aguda e crônica	100%	Fitches et al., 2008
Lectina ASAL	<i>Allium sativum</i>	<i>Nilaparvata lugens</i>	morte e impacto fisiológico	36%	Saha et al., 2006
Lectina ASAL	<i>Allium sativum</i>	<i>Nephotettix virescens</i>	morte e impacto fisiológico	32%	Saha et al., 2006

Lectina ASAL	<i>Allium sativum</i>	<i>Aphis craccivora</i>	morte e reduz fecundidade	66 - 83%	Chakraborti et al., 2009
--------------	-----------------------	-------------------------	---------------------------	----------	--------------------------

Informações sobre proteínas de ação inseticida utilizadas para controle de hemípteros -  
Continuação.

Proteína	Espécie que produz a proteína	Espécie de hemíptero que foi estudada	Impacto da proteína no inseto	Índice de mortalidade	Referência
Lectina ATL	<i>Arum maculatum</i>	<i>Aphis craccivora</i>	toxicidade e morte	7,5 - 55%	Majumder et al., 2005
Lectina ATL	<i>Arum maculatum</i>	<i>Lipaphis erysimi</i>	toxicidade e morte	12,5 - 50%	Majumder et al., 2005
Lectina CEA	<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Dysdercus koenigii</i>	morte e impacto fisiológico	50%	Roy et al., 2002
Lectina DEA	<i>Dieffenbachia sequina</i>	<i>Dysdercus koenigii</i>	morte e impacto fisiológico	~ 40%	Roy et al., 2002
Lectina PeCL	<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Myzus persicae</i>	toxicidade e morte	> 60%	Francis et al., 2011
Lectina XCL	<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Jaber et al., 2007
Lectina WsMBP1	<i>Withania somnifera</i>	<i>Probergrothius sanguinolens</i>	morte de ninfas	96,7%	George et al., 2018
MDUStBa15	<i>Xenorhabdus nematophilus</i>	<i>Ferrisia virgata</i>	toxicidade e morte	82,5 - 87,5%	Hemalatha et al., 2018
Orysata	<i>Oryza sativa</i>	<i>Myzus persicae</i>	toxicidade e morte	50 - 63%	Al Atalah et al., 2014
Orysata	<i>Oryza sativa</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	morte de ninfas	~ 90%	Al Atalah et al., 2014
PI1a/GNA	<i>Pireneitega luctuosus</i>	<i>Myzus persicae</i>	paralisa e morte	100%	Yang et al., 2014
proteína CytCo	<i>Conidiobolus obscurus</i>	<i>Takecallis taiwanus</i>	informação não disponível	não disponível	Wang et al., 2020
proteína derivada	<i>Lecanicillium lecanii</i>	<i>Myzus persicae</i>	morte e reduz fecundidade	41 - 54%	Hanan et al., 2019
proteína do micélio	<i>Lecanicillium lecanii</i>	<i>Diaphorina citri</i>	sem sintomas	> 80%	Keppanan et al., 2019
proteína sobrenatante	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Aphis gossypii</i>	toxicidade e morte	> 80%	Kim et al., 2010
quitinase	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Helopeltis theivora</i>	destruição do tecido intestinal e morte	100%	Suganthi et al., 2017
quitinase termotolerante	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Aphis gossypii</i>	toxicidade e morte	não disponível	Kim et al., 2010
SFI1/GNA	<i>Segestria florentina</i>	<i>Nilaparvata lugens</i>	morte	100%	Down et al., 2005
SFI1/GNA	<i>Segestria florentina</i>	<i>Myzus persicae</i>	reduz fertilidade	84%	Down et al., 2005
SLP1	<i>Streptomyces laindensis</i>	<i>Lipaphis erysimi</i>	informação não disponível	100%	Xu et al., 2016

Tma12	<i>Tectaria macrodonta</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	reduz fertilidade	> 90%	Shukla et al., 2016
U-MYRTX-MANr1	<i>Manica rubida</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	morte e reduz fecundidade	93%	Heep et al., 2019
Urease	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Dysdercus peruvianus</i>	toxicidade e morte	> 80%	Real-Guerra et al., 2013
Urease	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Oncopeltus fasciatus</i>	toxicidade e morte	> 80%	Defferrari et al., 2011

Informações sobre proteínas de ação inseticida utilizadas para controle de hemípteros -  
Continuação.

Proteína	Espécie que produz a proteína	Espécie de hemíptero que foi estudada	Impacto da proteína no inseto	Índice de mortalidade	Referência
Urease	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Dysdercus peruvianus</i>	toxicidade e morte	80%	Follmer et al., 2005
Urease	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Rhodnius prolixus</i>	toxicidade e morte	~ 100%	Defferrari et al., 2014
Veneno bruto	<i>Manica rubida</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	morte e reduz fecundidade	100%	Heep et al., 2019
Xbpi-1	<i>Xenorhabdus bovienii</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	toxicidade e morte	80%	Jin et al., 2014

### Referências

- AL ATALAH, B., SMAGGLE, G., VAN DAMME, E. J. Oryzata, a jacalin-related lectin from rice, could protect plants against biting-chewing and piercing-sucking insects. **Plant Sci.** 2014 May;221-222:21-8. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.01.010. Epub 2014 Jan 31. PMID: 24656332.
- BANDYOPADHYAY, S., ROY, A., DAS, S. Binding of garlic (*Allium sativum*) leaf lectin to the gut receptors of homopteran pests is correlated to its insecticidal activity. **Plant Science.** 2001 161(5), 1025–1033. doi:10.1016/s0168-9452(01)00507-6.
- BLACKBURN, M. B., DOMEK, J. M., GELMAN, D. B., HU, J. S. The broadly insecticidal *Photorhabdus luminescens* toxin complex a (Tca): activity against the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, and sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci*. **J Insect Sci.** 2005 Nov 11;5:32. doi: 10.1093/jis/5.1.32. PMID: 17119614; PMCID: PMC1615239.
- BODDUPALLY, D., TAMIRISA, S., GUNDRU, S.R., VUDEM, D. R., KHAREEDU, V. R. Expression of hybrid fusion protein (Cry1Ac::ASAL) in transgenic rice plants imparts resistance against multiple insect pests. **Sci Rep.** 2018 May 31;8(1):8458. doi: 10.1038/s41598-018-26881-9. PMID: 29855556; PMCID: PMC5981619.
- CAMPANINI, E. B., DAVOLOS, S. S., ALVES, E. C., LEMOS, M. V. Isolation of *Bacillus thuringiensis* strains that contain Dipteran-specific cry genes from Ilha Bela (São Paulo, Brazil) soil samples. **Brazilian Journal of Biology, Jaboticabal**, v. 72, p. 243-247, 2012.
- CHAKRABORTI, D., SARKAR, A., MONDAL, H. A., DAS, S. Tissue specific expression of potent insecticidal, *Allium sativum* leaf agglutinin (ASAL) in important pulse crop, chickpea (*Cicer arietinum* L.) to resist the phloem feeding *Aphis craccivora*. **Transgenic Res.** 2009 Aug;18(4):529-44. doi: 10.1007/s11248-009-9242-7. Epub 2009 Jan 29. PMID: 19184504.



- CHOI, M. S., KIM, Y. H., PARK, H. M., SEO, B. Y., JUNG, J. K., KIM, S. T., KIM, M. C., SHIN, D. B., YUN, H. T., CHOI, I. S., KIM, C. K., LEE, J. Y. Expression of *BrD1*, a plant defensin from *Brassica rapa*, confers resistance against brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) in transgenic rices. **Mol Cells**. 2009 Aug 31;28(2):131-7. doi: 10.1007/s10059-009-0117-9. Epub 2009 Aug 20. PMID: 19714315.
- DASs, A., GHOSH, P., DAS, S. Expression of Colocasia esculenta tuber agglutinin in Indian mustard provides resistance against *Lipaphis erysimi* and the expressed protein is non-allergenic. **Plant Cell Rep**. 2018 Jun;37(6):849-863. doi: 10.1007/s00299-018-2273-x. Epub 2018 Mar 8. PMID: 29520589.
- DEFFERRARI, M. S., DEMARTINI, D. R., MARCELINO, T. B., PINTO, P. M., CARLINI, C. R. Insecticidal effect of *Canavalia ensiformis* major urease on nymphs of the milkweed bug *Oncopeltus fasciatus* and characterization of digestive peptidases. **Insect Biochem Mol Biol**. 2011 Jun;41(6):388-99. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.008. Epub 2011 Mar 4. PMID: 21377528.
- DEFFERRARI, M. S., DA SILVA, R., ORCHARD, I., CARLINI, C. R. Jack bean (*Canavalia ensiformis*) urease induces eicosanoid-modulated hemocyte aggregation in the Chagas' disease vector *Rhodnius prolixus*. **Toxicon**. 2014 May;82:18-25. doi: 10.1016/j.toxicon.2014.02.006. Epub 2014 Feb 18. PMID: 24561121.
- DOWN, R. E., FITCHES, E. C., WILES, D. P., CORTI, P., BELL, H. A., GATEHOUSE, J. A., EDWARDS, J. P. Insecticidal spider venom toxin fused to snowdrop lectin is toxic to the peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) and the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). **Pest Manag Sci**. 2006 Jan;62(1):77-85. doi: 10.1002/ps.1119. PMID: 16206236.
- FOLLMER, C., CARLINI, C. R. Effect of chemical modification of histidines on the copper-induced oligomerization of jack bean urease (EC 3.5.1.5). **Arch Biochem Biophys**. 2005 Mar 1;435(1):15-20. doi: 10.1016/j.abb.2004.12.001. PMID: 15680902.
- FRANCIS, F., JABER, K., COLINET, F., PORTETELLE, D., HAUBRUGE, E. Purification of a new fungal mannose-specific lectin from *Penicillium chrysogenum* and its aphicidal properties. **Fungal Biol**. 2011 Nov;115(11):1093-9. doi: 10.1016/j.funbio.2011.06.010. Epub 2011 Jul 6. PMID: 22036288.
- FRUTTERO, L. L., MOYETTA, N. R., UBERTI, A. F., GRAHL, M. V., LOPES, F. C, BROLL, V., FEDER, D., CARLINI, C.R. Humoral and cellular immune responses induced by the urease-derived peptide Jaburetox in the model organism *Rhodnius prolixus*. **Parasit Vectors**. 2016 Jul 25;9(1):412. doi: 10.1186/s13071-016-1710-3. PMID: 27455853; PMCID: PMC4960889.
- GEORGE, B. S., SILAMBARASAN, S., SENTHIL, K., JACOB, J. P., GHOSH, DASGUPTA, M. Characterization of an insecticidal protein from *Withania somnifera* against lepidopteran and hemipteran pest. **Mol Biotechnol**. 2018 Apr;60(4):290-301. doi: 10.1007/s12033-018-0070-y. PMID: 29492788.
- GUL, A., HUSSAIN, G., IQBAL, A., RAO, A. Q., DIN, S. U., YASMEEN, A., SHAHID, N., AHAD, A., LATIF, A., AZAM, S., SAMIULLAH, T. R., HASSAN, S., SHAHID, A. A., HUSNAIN, T. Constitutive expression of Asparaginase in *Gossypium hirsutum* triggers insecticidal activity against *Bemisia tabaci*. **Sci Rep**. 2020 Jun 2;10(1):8958. doi: 10.1038/s41598-020-65249-w. PMID: 32488033; PMCID: PMC7265412.
- HAMSHOU, M., SMAGGHE, G., SHAHIDI-NOGHABI, S., DE GEYTER, E., LANNON, N., VAN DAMME, E. J. Insecticidal properties of *Sclerotinia sclerotiorum* agglutinin and its

- interaction with insect tissues and cells. **Insect Biochem Mol Biol**. 2010 Dec;40(12):883-90. doi: 10.1016/j.ibmb.2010.08.008. Epub 2010 Sep 6. PMID: 20826211.
- HAMSHOU, M., VAN DAMME, E. J., CACCIA, S., CAPPELLE, K., VANDERBORRE, G., GHESQUIÈRE, B., GEVAERT, K., SMAGGHE, G. High entomotoxicity and mechanism of the fungal GalNAc/Gal-specific *Rhizoctonia solani* lectin in pest insects. **J Insect Physiol**. 2013 Mar;59(3):295-305. doi: 10.1016/j.jinsphys.2012.12.003. Epub 2013 Jan 2. PMID: 23291362.
- HANAN, A., BASIT, A., NAZIR, T., MAJEED, M. Z., QIU, D. Anti-insect activity of a partially purified protein derived from the entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* (Zimmermann) and its putative role in a tomato defense mechanism against green peach aphid. **J Invertebr Pathol**. 2020 Feb;170:107282. doi: 10.1016/j.jip.2019.107282. Epub 2019 Nov 21. PMID: 31759949.
- HEEP, J., SKALJAC, M., GROTMANN, J., KESSEL, T., SEIP, M., SCHIMDTBERG, H., VILCINSKAS, A. Identification and Functional Characterization of a Novel Insecticidal Decapeptide from the Myrmicine Ant *Manica rubida*. **Toxins (Basel)**. 2019 Sep 25;11(10):562. doi: 10.3390/toxins11100562. PMID: 31557881; PMCID: PMC6832575.
- HEMALATHA, D., PRABHU, S., RANII, W. B., ANANDHAM, R. Isolation and characterization of toxins from *Xenorhabdus nematophilus* against *Ferrisia virgata* (Ckll.) on tuberose, *Polianthes tuberosa*. **Toxicon**. 2018 May;146:42-49. doi: 10.1016/j.toxicon.2018.03.012. Epub 2018 Mar 27. PMID: 29596848.
- HINCHLIFFE, G., BOWN, D. P., GATEHOUSE, J. A., FITCHES, E. Insecticidal activity of recombinant avidin produced in yeast. **J Insect Physiol**. 2010 Jun;56(6):629-39. doi: 10.1016/j.jinsphys.2010.01.007. Epub 2010 Feb 9. PMID: 20132821.
- HOGERVORST, P. A., FERRY, N., GATEHOUSE, A. M., WÄCKERS, F. L., ROMEIS, J. Direct effects of snowdrop lectin (GNA) on larvae of three aphid predators and fate of GNA after ingestion. **J Insect Physiol**. 2006 Jun;52(6):614-24. doi: 10.1016/j.jinsphys.2006.02.011. Epub 2006 Mar 6. PMID: 16620868.
- HU, H., LI, J., DELATTE, T., VERVOORT, J., GAO, L., VERSTAPPEN, F., XIONG, W., GAN, J., JONGSMA, M. A., WANG, C. Modification of chrysanthemum odour and taste with chrysanthemol synthase induces strong dual resistance against cotton aphids. **Plant Biotechnol J**. 2018 Aug;16(8):1434-1445. doi: 10.1111/pbi.12885. Epub 2018 Feb 9. PMID: 29331089; PMCID: PMC6041446.
- JABER, K., FRANCIS, F., PAQUEREAU, L., FOURNIER, D., HAUBRUGE, E. Effect of a fungal lectin from *Xerocomus chrysenteron* (XCL) on the biological parameters of aphids. **Commun Agric Appl Biol Sci**. 2007;72(3):629-38. PMID: 18399496.
- JABER, K., CUARTERO Diaz, G., HAUBRUGE, E., FRANCIS, F. Investigation of carbohydrate binding property of a fungal lectin from *Xerocomus chrysenteron* and potential use on *Myzus persicae* aphid. **Commun Agric Appl Biol Sci**. 2008;73(3):629-38. PMID: 19226804.
- JIN, S., ZHANG, X., DANIELL, H. *Pinellia ternata* agglutinin expression in chloroplasts confers broad spectrum resistance against aphid, whitefly, Lepidopteran insects, bacterial and viral pathogens. **Plant Biotechnol J**. 2012 Apr;10(3):313-27. doi: 10.1111/j.1467-7652.2011.00663.x. Epub 2011 Nov 13. PMID: 22077160; PMCID: PMC3468414.
- JIN, D., ZENG, F., DONG, S., ZHANG, H. Effects of a protease inhibitor protein from *Xenorhabdus bovienii* on physiology of pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*). **Pestic Biochem**

- Physiol.** 2014 Jan;108:86-91. doi: 10.1016/j.pestbp.2013.12.010. Epub 2014 Jan 9. PMID: 24485320.
- KEPPANAN, R., KRUTMUANG, P., SIVAPERUMAL, S., HUSSAIN, M., BAMISILE, B. S., AGUILA, L. C. R., DASH, C. K., WANG, L. Synthesis of mycotoxin protein IF8 by the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* and its toxic effect against adult *Diaphorina citri*. **Int J Biol Macromol.** 2019 Mar 15;125:1203-1211. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.09.093. Epub 2018 Sep 15. PMID: 30227211.
- KEPPANAN, R., SIVAPERUMAL, S., HUSSAIN, M., BAMISILE, B. S., AGUILA, L. C. R., QASIM, M., MEKCHAY, S., Wang, L., KRUTMUANG, P. Molecular characterization of pathogenesis involving the GAS 1 gene from entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* and its virulence against the insect host *Diaphorina citri*. **Pestic Biochem Physiol.** 2019 Jun;157:99-107. doi: 10.1016/j.pestbp.2019.03.012. Epub 2019 Mar 18. PMID: 31153482.
- KIM, J. S., ROH, J. Y., CHOI, J. Y., WANG, Y., SHIM, H. J., JE, Y. H. Correlation of the aphicidal activity of *Beauveria bassiana* SFB-205 supernatant with enzymes. **Fungal Biol.** 2010 Jan;114(1):120-8. doi: 10.1016/j.mycres.2009.10.011. Epub 2009 Nov 24. PMID: 20965068.
- KIM, J. S., JE, Y. H. A novel biopesticide production: attagel-mediated precipitation of chitinase from *Beauveria bassiana* SFB-205 supernatant for thermotolerance. **Appl Microbiol Biotechnol.** 2010 Aug;87(5):1639-48. doi: 10.1007/s00253-010-2543-1. Epub 2010 May 6. PMID: 20445976.
- LEE, S. A., JANG, S. H., KIM, B. H., SHIBATA, T., YOO, J., JUNG, Y., KAWABATA, S. I., LEE, B. L. Insecticidal activity of the metalloprotease *AprA* occurs through suppression of host cellular and humoral immunity. **Dev Comp Immunol.** 2018 Apr;81:116-126. doi: 10.1016/j.dci.2017.11.014. Epub 2017 Nov 23. PMID: 29174605.
- LIU, S. M., LI, J., ZHU, J. Q., WANG, X. W., WANG, C. S., LIU, S. S., CHEN, X. X., LI, S. Transgenic plants expressing the AaIT/GNA fusion protein show increased resistance and toxicity to both chewing and sucking pests. **Insect Sci.** 2016 Apr;23(2):265-76. doi: 10.1111/1744-7917.12203. Epub 2015 Mar 17. PMID: 25641865.
- MAJUMDER, P., MONDAL, H. A., DAS, S. Insecticidal activity of *Arum maculatum* tuber lectin and its binding to the glycosylated insect gut receptors. **J Agric Food Chem.** 2005 Aug 24;53(17):6725-9. doi: 10.1021/jf051155z. PMID: 16104791.
- MI, X., LIU, X., YAN, H., LIANG, L., ZHOU, X., YANG, J., SI, H., ZHANG, N. Expression of the *Galanthus nivalis* agglutinin (GNA) gene in transgenic potato plants confers resistance to aphids. **C R Biol.** 2017 Jan;340(1):7-12. doi: 10.1016/j.crv.2016.10.003. Epub 2016 Dec 7. PMID: 27938939.
- QI, G., LAN, N., MA, X., YU, Z., ZHAO, X. Controlling *Myzus persicae* with recombinant endophytic fungi *Chaetomium globosum* expressing *Pinellia ternata* agglutinin: using recombinant endophytic fungi to control aphids. **J Appl Microbiol.** 2011 May;110(5):1314-22. doi: 10.1111/j.1365-2672.2011.04985.x. Epub 2011 Mar 17. PMID: 21414115.
- REAL-GUERRA, R., CARLINI, C. R., STANISÇUASKI, F. Role of lysine and acidic amino acid residues on the insecticidal activity of Jackbean urease. **Toxicon.** 2013 Sep;71:76-83. doi: 10.1016/j.toxicon.2013.05.008. Epub 2013 May 30. PMID: 23726854.
- ROY, A., BANERJEE, S., MAJUMDER, P., DAS, S. Efficiency of mannose-binding plant lectins in controlling a homopteran insect, the red cotton bug. **J Agric Food Chem.** 2002 Nov 6;50(23):6775-9. doi: 10.1021/jf025660x. PMID: 12405774.

- ROY, A., GUPTA, S., HESS, D., DAS, K. P., DAS, S. Binding of insecticidal lectin *Colocasia esculenta* tuber agglutinin (CEA) to midgut receptors of *Bemisia tabaci* and *Lipaphis erysimi* provides clues to its insecticidal potential. **Proteomics**. 2014 Jul;14(13-14):1646-59. doi: 10.1002/pmic.201300408. Epub 2014 May 30. PMID: 24753494.
- SAHA, P., MAJUMDER, P., DUTTA, I., RAY, T., ROY, S. C., DAS, S. Transgenic rice expressing *Allium sativum* leaf lectin with enhanced resistance against sap-sucking insect pests. **Planta**. 2006 May;223(6):1329-43. doi: 10.1007/s00425-005-0182-z. Epub 2006 Jan 11. PMID: 16404581.
- SAUVION, N., NARDON, C., FEBVAY, G., GATEHOUSE, A. M., RAHBÉ, Y. Binding of the insecticidal lectin Concanavalin A in pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Harris) and induced effects on the structure of midgut epithelial cells. **J Insect Physiol**. 2004 Dec;50(12):1137-50. doi: 10.1016/j.jinsphys.2004.10.006. PMID: 15670861.
- SHAHIDI-NOGHABI, S., VAN DAMME, E. J., SMAGGHE, G. Carbohydrate-binding activity of the type-2 ribosome-inactivating protein SNA-I from elderberry (*Sambucus nigra*) is a determining factor for its insecticidal activity. **Phytochemistry**. 2008 Dec;69(17):2972-8. doi: 10.1016/j.phytochem.2008.09.012. Epub 2008 Oct 23. PMID: 18951590.
- SHUKLA, A. K., UPADHYAY, S. K., MISHRA, M., SAURABH, S., SINGH, R., SINGH, H., THANKUR, N., RAI, P., PANDEY, P., HANS, A. L., SRIVASTAVA, S., RAJAPURE, V., YADAV, S. K., SINGH, M. K., KUMAR, J., CHANDRASHEKAR, K., VERMA, P. C., SINGH, A. P., NAIR, K. N., BHADOURIA, S., WAHAJUDDIN, M., SINGH, S., SHARMA, S., OMKAR, UPADHYAY, R. S., RANADE, S. A., TULI, R., SINGH, P. K. Expression of an insecticidal fern protein in cotton protects against whitefly. **Nat Biotechnol**. 2016 Oct;34(10):1046-1051. doi: 10.1038/nbt.3665. Epub 2016 Sep 5. PMID: 27598229.
- SPRAWKA, I., GOLAWSKA, S., GOLAWSKI, A., CZERNIEWICZ, P., SYTYKIEWICZ, H. Antimetabolic effect of phytohemagglutinin to the grain aphid *Sitobion avenae* fabricius. **Acta Biol Hung**. 2012 Sep;63(3):342-53. doi: 10.1556/ABiol.63.2012.3.4. PMID: 22963915.
- SPRAWKA, I., GOLAWSKA, S., PARZYCH, T., GOLAWSKI, A., CZERNIEWICZ, P., SYTYKIEWICZ, H. Mechanism of entomotoxicity of the Concanavalin A in *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae). **J Insect Sci**. 2014 Jan 1;14:232. doi: 10.1093/jisesa/ieu094. PMID: 25525100; PMCID: PMC5634058.
- STANISQUASKI, F., FERREIRA-DASILVA, C. T., MULINARI, F., PIRES-ALVES, M., CARLINI, C. R. Insecticidal effects of canatoxin on the cotton stainer bug *Dysdercus peruvianus* (Hemiptera: Pyrrhocoridae). **Toxicon**. 2005 May;45(6):753-60. doi: 10.1016/j.toxicon.2005.01.014. PMID: 15804524.
- SUGANTHI, M., SENTHILKUMAR, P., ARVINTH, S., CHANDRASHEKARA, K. N. Chitinase from *Pseudomonas fluorescens* and its insecticidal activity against *Helopeltis theivora*. **J Gen Appl Microbiol**. 2017 Sep 5;63(4):222-227. doi: 10.2323/jgam.2016.11.001. Epub 2017 Jul 6. PMID: 28680004.
- UPADHYAY, S. K., MISHRA, M., SINGH, H., RANJAN, A., CHANDRASHEKAR, K., VERMA, P. C., SINGH, P. K., TULI, R. Interaction of *Allium sativum* leaf agglutinin with midgut brush border membrane vesicles proteins and its stability in *Helicoverpa armigera*. **Proteomics**. 2010 Dec;10(24):4431-40. doi: 10.1002/pmic.201000152. Epub 2010 Nov 17. PMID: 21136596.
- UPADHYAY, S. K., SAURABH, S., SINGH, R., RAI, P., DUBEY, N. K., CHANDRASHEKAR, K., NEGI, K. S., TULI, R., SINGH, P. K. Purification and characterization of a lectin with

- high hemagglutination property isolated from *Allium altaicum*. **Protein J**. 2011 Aug;30(6):374-83. doi: 10.1007/s10930-011-9342-0. PMID: 21732172.
- WANG, Y., CHEN, S., WANG, J., ZHOU, X. Characterization of a cytolytic-like gene from the aphid-obligate fungal pathogen *Conidiobolus obscurus*. **J Invertebr Pathol**. 2020 Jun;173:107366. doi: 10.1016/j.jip.2020.107366. Epub 2020 Mar 26. PMID: 32224143.
- WANG, Z., ZHANG, K., SUN, X., TANG, K., ZHANG, J. Enhancement of resistance to aphids by introducing the snowdrop lectin gene *gna* into maize plants. **J Biosci**. 2005 Dec;30(5):627-38. doi: 10.1007/BF02703563. PMID: 16388137.
- XU, L., LIANG, K., DUAN, B., YU, M., MENG, W., WANG, Q., YU, Q. A Novel insecticidal peptide *SLP1* produced by *Streptomyces laindensis* H008 against *Lipaphis erysimi*. **Molecules**. 2016 Aug 22;21(8):1101. doi: 10.3390/molecules21081101. PMID: 27556442; PMCID: PMC6273262.
- YADAV, S. K., ARCHANA, SINGH, R., SINGH, P. K., VASUDEV, P. G. Insecticidal fern protein *Tma12* is possibly a lytic polysaccharide monoxygenase. **Planta**. 2019 Jun;249(6):1987-1996. doi: 10.1007/s00425-019-03135-0. Epub 2019 Mar 22. PMID: 30903269.
- YANG, S., FITCHES, E., PYATI, P., GATEHOUSE, J. A. Effect of insecticidal fusion proteins containing spider toxins targeting sodium and calcium ion channels on pyrethroid-resistant strains of peach-potato aphid (*Myzus persicae*). **Pest Manag Sci**. 2015 Jul;71(7):951-6. doi: 10.1002/ps.3872. Epub 2014 Aug 28. PMID: 25077959.
- YAO, J., PANG, Y., QI, H., WAN, B., ZHAO, X., KONG, W., SUN, X., TANG, K. Transgenic tobacco expressing *Pinellia ternata* agglutinin confers enhanced resistance to aphids. **Transgenic Res**. 2003 Dec;12(6):715-22. doi: 10.1023/b:trag.0000005146.05655.7d. PMID: 14713200.
- YE, S. H., CHEN, S., ZHANG, F., WANG, W., TIAN, Q., LIU, J. Z., CHEN, F., BAO, J. K. Transgenic tobacco expressing *Zephyranthes grandiflora* agglutinin confers enhanced resistance to aphids. **Appl Biochem Biotechnol**. 2009 Sep;158(3):615-30. doi: 10.1007/s12010-008-8418-6. Epub 2008 Dec 9. PMID: 19067248. 57