**ARÉA TEMÁTICA: Zoologia**

**SUBÁREA TEMÁTICA: Aplicada**

**DIGESTÃO EM INSETOS FITÓFAGOS: ÊNFASE EM LEPIDOPTERA**

Lílian Maria Carvalho Ferreira¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Campus Recife.

E-mail: lilianmcf@gmail.com

**INTRODUÇÃO**

A notável diversidade e sucesso evolutivo dos insetos concedem-lhes uma capacidade excepcional para explorar uma ampla variedade de habitats e recurso alimentar. Essa pluralidade de hábitos alimentares exige uma complexidade na funcionalidade e na estrutura do canal alimentar (Terra *et al.*, 2012). O intestino médio muitas vezes desempenha um papel central na digestão, absorção de nutrientes e secreção de enzimas digestivas. O processo de secreção enzimática pode estar intimamente relacionado à regiões específicas do intestino e à sua função particular. Nas células do intestino médio da maioria dos insetos, ocorre a formação da Membrana Peritrófica (MP), uma estrutura composta por quitina, glicoproteínas e proteoglicanos. A principal função da MP é proteger as células do intestino médio contra abrasões causadas por partículas de alimentos, como também, fornecer uma barreira contra a entrada de patógenos e evitar a excreção rápida das enzimas digestivas (Terra *et al.*, 1994).

No entanto, é nos insetos holometábolos que se manifestam as modificações mais notáveis na estrutura e função do intestino, devido à mudança na dieta entre a fase larval e a fase adulta. Nesse contexto, a ordem Lepidoptera assume uma posição proeminente, sendo a segunda maior em diversidade de espécies (Terra *et al.*, 2012). A maioria das lagartas de lepidópteras adota uma dieta fitófaga, do tipo mastigadora, principalmente à base de folhas, o que assegura às plantas o papel de fornecedoras de carboidratos, lipídios e fitoesteróis essenciais para a nutrição desses insetos (Suzana-Milan *et al.*, 2023). Como contramedida, esses insetos desenvolveram adaptações morfológicas, comportamentais e fisiológicas para enfrentar os compostos de defesa das plantas. Com as quais é possível explorar efetivamente as plantas como fonte de alimento e habitat, apesar das barreiras químicas que os compostos de defesa podem impor (Nation, 2022). Em aspecto morfológico, existe o desenvolvimento de estruturas físicas específicas, como mandíbulas adaptadas para mordidas ou peças bucais que lhes permitem perfurar tecidos vegetais resistentes. Já nas adaptações fisiológicas, os insetos podem desenvolver enzimas especializadas capazes de desintoxicar ou neutralizar os efeitos dos compostos de defesa das plantas (Terra *et al.*, 2012).

As larvas de lepidópteros apresentam adaptações intestinais que parecem estar otimizadas para o rápido transporte do alimento até o longo intestino médio, onde a digestão pode ter início. As fases de digestão e absorção ocorrem ao longo intestino médio, com as células colunares secretando enzimas e realizando a absorção dos nutrientes. Durante o processo digestivo, as enzimas precisam atravessar a MP para alcançar o alimento, enquanto as moléculas menores resultantes da clivagem precisam passar por poros presentes na própria membrana (Terra *et al.*, 1994).

O estudo das enzimas digestivas de lepidópteros é importante para a compreensão de aspectos fundamentais da biologia desses insetos, suas interações com o ambiente e suas aplicações em setores como a agricultura e a biotecnologia (Silva *et al.*, 2012). Com isso, podendo contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes, assim como para o avanço do conhecimento científico em diversos campos. Sendo assim, essa pesquisa objetiva abordar os principais aspectos relacionados com a fisiologia da digestão nos insetos fitófagos mastigadores, com ênfase em lepidópteros, evidenciando as principais enzimas que atuam na digestão desses insetos, estabelecendo suas funções e mecanismos no organismo.

**MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo compreende uma revisão integrativa da literatura, com o propósito de trazer resultados sobre as principais características envolvidas no mecanismo da digestão em insetos fitófagos mastigadores, com ênfase em Lepidoptera, de maneira ampla incorporando estudos experimentais para um entendimento do tema analisado. A busca por artigos foi realizada pelo buscador Google Acadêmico como também em bases de dados e revistas científicas como, Scielo, Pubmed, ScienceDirect e Insects. Foram utilizados os descritores, digestion in lepidoptera, phytophagous chewing insects, digestive enzymes in lepidoptera e digestive enzymes, entre os meses de maio e agosto de 2023. Foi considerado um amplo período para a escolha dos artigos, devido a densidade e interdisciplinaridade da pesquisa, e por tratar-se de um estudo de base.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As enzimas que desempenham um papel fundamental na digestão de carboidratos são secretadas por glândulas salivares e pelo intestino médio. Entre essas enzimas, destacam-se a α-amilase, α-Glucosidase e a oligo-1,6-glucosidase, e a α- ou β-glicosidases. A α-glicosidase é responsável pela hidrólise de carboidratos como maltose, sacarose, trealose, melezitose, rafinose e estaquiose. A α-Galactosidase atua na hidrólise de melibiose, rafinose e estaquiose, enquanto a β-glicosidase é responsável pela digestão de celobiose, gentiobiose e metil-β-glicosídeos. A β-galactosidase entra em ação na hidrólise da lactose em glicose e galactose, enquanto a β-frutofuranosidase age sobre a sacarose e a rafinose para liberar açúcares simples. Para a digestão completa da celulose, são necessárias enzimas complementares, incluindo endoglucanases, exoglucanases e celobiases, que atuam de forma sequencial para quebrar a celulose em componentes mais simples (Terra *et al.*, 1994; Terra *et al.*, 2012). A abundante expressão de β-glicosidases no intestino de insetos herbívoros sugere sua participação na digestão de diversos compostos presentes nas plantas (Eyun *et al.*, 2014). Em insetos como *Bombyx mori*, o gene da β-glicosidase é expresso exclusivamente no intestino médio, indicando esse local como o principal local de síntese dessa enzima (Byeon *et al.*, 2005). Durante o processo de digestão e ruptura de material foliar no intestino médio, ocorre o contato entre enzimas cianogênicas e β-glicosidases vegetais, o que leva à hidrólise e à geração de cianeto de hidrogênio (HCN) tóxico (Pentzold *et al.*, 2014).

As proteinases, por sua vez, são classificadas em serina, cisteína, ácido aspártico e metaloproteinases, dependendo dos aminoácidos ou metais presentes em seus sítios ativos. As serina proteinases são endoproteinases identificadas no intestino médio de muitos insetos. Tripsina, quimotripsina e aminopeptidases são enzimas comuns em diversos insetos (Terra *et al.*, 1994; Terra *et al.*, 2012). No caso de lepidópteros, é comum a secreção de enzimas semelhantes à tripsina, que apresentam maior atividade em um pH alcalino, um ambiente favorecido no intestino médio devido à secreção de potássio pelas células caliciformes no lúmen intestinal (Terra *et al.*, 2012). A presença de inibidores de proteinase nos alimentos ingeridos, especialmente em alimentos derivados de plantas, provavelmente desencadeou a evolução de uma variedade de enzimas digestivas de proteínas, permitindo que algumas enzimas escapem da inibição (Silva, *et al.*, 2012). No contexto das enzimas digestivas de proteínas, a tripsina e a quimotripsina são as principais enzimas envolvidas na digestão de proteínas no intestino dos insetos. Além disso, as aminopeptidases são exoenzimas responsáveis pela remoção de aminoácidos da extremidade de pequenos peptídeos, sendo encontradas em insetos das ordens Diptera e Lepidoptera (Terra *et al.*, 2012). No caso específico de *Spodoptera frugiperda*, a digestão de proteínas inicia-se em um ambiente altamente alcalino no intestino médio, com a atuação predominante de amilases e serina proteases na membrana peritrófica. Etapas intermediárias e finais da digestão ocorrem através da ação de enzimas localizadas entre a membrana peritrófica e as células intestinais, bem como na superfície dessas células (Gazara *et al.*, 2017).

Uma parcela significativa da gordura consumida por insetos consiste em triacilgliceróis. A liberação de ácidos graxos e glicerol a partir desses triacilgliceróis é mediada por lipases secretadas pelo intestino médio. O glicocálice presente no intestino pode auxiliar na emulsificação das gorduras, facilitando o contato entre as lipases e os triacilgliceróis (Terra *et al.*, 2012). Por exemplo, a mariposa *Galleria mellonella* possui esterases e lipases que catalisam a hidrólise de ésteres e a quebra de ácidos graxos de cadeia longa presentes nos componentes cerosos da cera de abelha (Kumar *et al.*, 2022).

**CONCLUSÕES**

Portanto, é evidente que os insetos passaram por mudanças morfológicas, como também, obtiveram adaptações em suas enzimas digestivas sendo possível atender as suas necessidades específicas. Compreender a fisiologia do processo de digestão, juntamente com as variações metabólicas que regulam as enzimas digestivas, oferece uma visão abrangente da dinâmica das populações de insetos herbívoros. Dessa forma, consideramos que o conhecimento sobre essas enzimas pode fornecer informações sobre como os insetos se adaptam a diferentes tipos de dieta, como também de auxiliar desenvolvimento de estratégias de controle de insetos considerados pragas em cultivos agrícolas, além da aplicação biotecnológica, utilizando-se de propriedades específicas dessas enzimas em processos industriais, como a produção de biocombustíveis, ou no desenvolvimento de produtos alimentícios.

**REFERÊNCIAS**

Byeon, G. M., Lee, K. S., Gui, Z. Z., Kim, I., Kang, P. D., Lee, S. M., ... & Jin, B. R. 2005. A digestive β-glucosidase from the silkworm, Bombyx mori: cDNA cloning, expression and enzymatic characterization. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 141(4), 418-427.

Eyun, S.I., Wang, H., Pauchet, Y., ... & Siegfried, B. D. 2014. Molecular Evolution of Glycoside Hydrolase Genes in the Western Corn Rootworm (Diabrotica virgifera virgifera). PLOS one. 9: e94052.

Gazara, R. K., Cardoso, C., Bellieny-Rabelo, D., Ferreira, C., Terra, W. R., & Venancio, T. M. 2017. De novo transcriptome sequencing and comparative analysis of midgut tissues of four non-model insects pertaining to Hemiptera, Coleoptera, Diptera and Lepidoptera. *Gene*, *627*, 85-93.

Kumar, P., Geetha, G. A., Rao, G. K., Divija, S. D., & Jayanthi, P. D. 2022. Isolation and characterization of beewax degrading enzymes from the digestive guts of greater wax moth, Galleria mellonella (Lepidoptera: Pyralidae). Pest Management in Horticultural Ecosystems, 28(1), 107-116.

Marana, S. R., Terra, W. R., & Ferreira, C. 2000. Purification and properties of a β-glycosidase purified from midgut cells of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera) larvae. Insect biochemistry and molecular biology, 30(12), 1139-1146.

Nation, J. L. 2022. Insect physiology and biochemistry. CRC press.

Pentzold, S., Zagrobelny, M., Roelsgaard, P.S., Møller, B.L., Bak S. 2014. The Multiple Strategies of an Insect Herbivore to Overcome Plant Cyanogenic Glucoside Defence. PLoS ONE 9(3): e91337. doi:10.1371/journal.pone.0091337.

Silva, C. P., Lemos, F. J. A., & da Silva, J. R. 2012. CAPÍTULO 5 Digestão em Insetos. Tópicos avançados em entomologia molecular. INCT-EM, 32.

Suzana-Milan, C. S., & Salvadori, J. R. 2023. Alimentação de insetos herbívoros: exigências nutricionais e digestão (ênfase em Lepidoptera). *BIOLOGIA: CONTEXTUALIZANDO O CONHECIMENTO CIENTÍFICO*, *1*(1), 19-37.

Terra, W. R. & C. Ferreira. 1994. Insect digestive enzymes: properties, compartmentalization, and function. Comp. Biochem. Physiol. B. 109: 1-62.

Terra, Walter R.; Ferreira, Clélia. 2012. Molecular and evolutionary physiology of insect digestion. Insect bioecology and nutrition for integrated pest management. Taylor & Francis Group, LLC. Estados Unidos de América, p. 93-115.