



Todo mundo em pânico: interceptação de sinal de defesa química funciona como alerta de predação em opiliões (Arachnida:Opiliones)

Luciano Fabris Sgarbi

RESUMO: Em artrópodes alguns compostos químicos têm a função de defesa contra predação, no entanto esse mecanismo de defesa pode se tornar, involuntariamente, um mecanismo de alerta. Opiliões apresentam uma grande diversidade desses compostos de defesa e, para espécies que compartilham os mesmos predadores, o reconhecimento destes compostos como sinais de predação pode ser vantajoso. Portanto, em um experimento de campo, testei duas hipóteses: (i) a secreção produzida por indivíduos de *Serracutisoma proximum* com a função de defesa contra predação funciona como pista intraespecífica de alerta contra predação; (ii) indivíduos de *S. proximum* são sensíveis à moléculas similares às que indivíduos coespecíficos produzem para defesa contra predadores. Observei que indivíduos de *S. proximum* respondem à secreção de coespecíficos como uma pista de predação, porém não respondem a um composto similar ao que produzem. Este estudo demonstrou que o padrão de resposta a sinais de alerta, já observado em indivíduos agregados, ocorre também em indivíduos solitários.

PALAVRAS-CHAVE: benzoquinonas, ecologia química, Gonyleptidae, interações interespecíficas

INTRODUÇÃO

Muitos compostos químicos podem mediar interações intra ou interespecíficas, funcionando como pistas químicas, indicando alimentos, parceiros sexuais ou predadores (Wyatt, 2003). Para muitas espécies de artrópodes, esses compostos têm, essencialmente, a função de defesa contra predação (Whitman *et al.*, 1994), estando armazenados em glândulas e sendo ejetados quando o indivíduo é atacado ou ameaçado por um predador (Wyatt, 2003). Entretanto, esses compostos, primariamente utilizados como estratégia de defesa, podem funcionar como um mecanismo de alerta (Whitman *et al.*, 1994). Esse alerta ocorre quando outro indivíduo intercepta a pista de predação e busca proteger-se do predador que está nas proximidades, aumentando suas chances de sobrevivência (Wyatt, 2003).

As espécies da ordem Opiliones, popularmente conhecidas como opiliões, são caracterizadas pela presença de um par de glândulas secretoras, localizadas na base do segundo par de patas. Essas glândulas produzem secreções voláteis, que podem variar muito dentro de uma família (Caetano, 2011; Gnaspini & Hara, 2007) ou até mesmo dentro de uma mesma subfamília (Caetano, 2011). As secreções que são produzidas pelos opiliões como mecanismo de defesa contra a predação (Gnaspini & Hara, 2007) podem, em alguns casos, ter efeito letal em alguns predadores (Eisner & Meinwald, 1995).

A natureza química dos compostos que constituem a secreção dos opiliões pode variar muito entre grupos de opiliões, podendo ser benzoquinonas, fenóis, cetonas, alcoóis ou terpenóides (Gnaspini & Hara, 2007). A subfamília Goniosomatinae é caracterizada por produzir uma secreção à base de benzoquinonas, uma característica ancestral em Gonyleptidae (Caetano, 2011). O uso dessa secreção, à base de benzoquinonas, já foi empiricamente testado e é um eficiente mecanismo de defesa contra predação para opiliões agregados (Machado *et al.*, 2005) e também é um eficiente mecanismo de alerta intraespecífico contra predação para opiliões agregados (Machado *et al.*, 2002).

Até o momento não há informações disponíveis sobre a exibição da mesma resposta quando indivíduos se encontram solitários. Já que indivíduos solitários ficam mais vulneráveis à predação e, portanto, detectar a pista de um predador próximo deve ser vantajoso, meu objetivo foi responder a seguinte pergunta: a secreção, à base de benzoquinonas, produzida por indivíduos de *Serracutisoma proximum* (Gonyleptidae: Goniosomatinae) funciona como pista intraespecífica de predação para indivíduos não agregados? Para responder essa pergunta, testei a hipótese de que no momento em que um indivíduo intercepta uma pista de predação intraespecífica, este exibirá um comportamento de

evitar o predador, pois o sinal interceptado é um indicativo de risco de predação.

Por outro lado, agregações heteroespecíficas de opiliões são relativamente comuns (revisão em: Machado & Macías-Ordóñez, 2007). Estudos demonstram que a secreção heteroespecífica pode funcionar como um mecanismo de alerta contra a predação para indivíduos de diferentes espécies em um agregado (Machado & Vasconcelos, 1998). Como os opiliões em geral produzem secreções de natureza química muito diversificada e possuem sobreposição de distribuição com outras espécies de opiliões que compartilham os mesmos predadores potenciais, busquei responder qual é o nível de especificidade de *S. proximum* à pista química de predação. Minha hipótese é que indivíduos da espécie *S. proximum* são sensíveis a compostos químicos semelhantes aos encontrados em sua secreção. Devido ao fato de *S. proximum* viver em sintopia e compartilhar predadores com outras espécies de opiliões, seria vantajoso interceptar sinais de predação de heteroespecíficos.

MATERIAL & MÉTODOS

Espécie modelo

Utilizei indivíduos da espécie *S. proximum* como modelo de estudo. Indivíduos desta espécie formam agregações em cavidades próximas a corpos d'água durante o dia, e à noite indivíduos solitários são encontrados forrageando na vegetação ou sobre pedras nas proximidades desses corpos d'água (*obs. pess.*). A espécie *S. proximum* pertence à subfamília Goniosomatinae, caracterizada por produzir secreções à base de benzoquinonas, que é uma característica plesiomórfica da família Gonyleptidae (Caetano, 2011). A secreção produzida por *S. proximum* já foi caracterizada quimicamente como uma mistura de 2,3-dimetil-1,4-benzoquinona e 2-etil-3-metil-1,4-benzoquinona (Rocha *et al.*, 2011).

Desenho experimental

Realizei o experimento em um transecto de aproximadamente 500 m em um riacho localizado na Estação Ecológica Juréia-Itatins (24°32'S; 47°15'O), município de Peruíbe, litoral sul do estado de São Paulo, durante três noites do mês de julho de 2011. Para responder minhas perguntas, realizei um experimento de campo em que cada indivíduo de *S. proximum* foi exposto a um tratamento experimental.

No primeiro tratamento, expus os indivíduos de *S. proximum* à secreção de indivíduos da mesma espécie

(n = 14). No segundo tratamento expus os indivíduos de *S. proximum* a uma solução de cresol (n = 13). O cresol é um anel aromático e apresenta uma estrutura molecular similar à estrutura das benzoquinonas encontradas na secreção de *S. proximum*. O terceiro tratamento foi o controle, em que expus os indivíduos de *S. proximum* à água (n = 10).

Em campo, conforme encontrei cada um dos indivíduos de *S. proximum*, estes foram expostos a um tratamento experimental. Assim, o primeiro indivíduo foi exposto à benzoquinona, o segundo indivíduo à creolina e o terceiro à água, e assim repetidamente. Após a observação da resposta do indivíduo à exposição, este indivíduo era guardado e sua secreção era utilizada no experimento seguinte. No tratamento com secreção, cada indivíduo testado recebeu a secreção de um indivíduo diferente e a secreção retirada de cada indivíduo de *S. proximum* foi utilizada em apenas um indivíduo experimental de *S. proximum*.

Imediatamente antes de cada teste, extraí a secreção de um indivíduo de *S. proximum*, pressionando levemente o corpo e apertando a abertura das glândulas contra um pedaço de algodão enrolado na ponta de um palito com 25 cm de comprimento. Na sequência, posicionei o palito, com o algodão embebido com a secreção, a uma distância de 1 a 2 cm de um indivíduo de *S. proximum*. Esse mesmo procedimento foi realizado para os outros tratamentos nos quais o algodão foi embebido com cresol ou com água, de acordo com o tratamento ao qual o indivíduo pertencia. Após cada teste, o algodão e o palito foram descartados. Monitorei o comportamento de cada indivíduo de *S. proximum* por 60 s após a exposição e após esse tempo, categorizei o comportamento do indivíduo em duas categorias comportamentais: (i) fuga, quando os indivíduos se deslocam rapidamente e (ii) imobilidade, quando os indivíduos permaneceram parados no mesmo local.

Análises estatísticas

Para testar a significância dos valores observados entre os diferentes tratamentos, realizei um teste de comparação de proporções par a par. Esse teste foi realizado para as proporções de observações de cada categoria comportamental, entre cada um dos tratamentos. Após a comparação ajustei o valor de probabilidade, utilizando o método de ajuste de probabilidade de *Bonferroni*. Para realizar esse teste utilizei o pacote estatístico R (R Development Core Team, 2010).

RESULTADOS

Dos 14 indivíduos de *S. proximum* expostos à secreção, 12 indivíduos fugiram após a exposição, enquanto no controle nenhum indivíduo fugiu ($p < 0,001$; Figura 1). O cresol não teve efeito como sinal de alerta contra a predação, sendo que apenas um indivíduo de *S. proximum* respondeu à exposição, não sendo diferente do controle ($p > 0,05$; Figura 1).

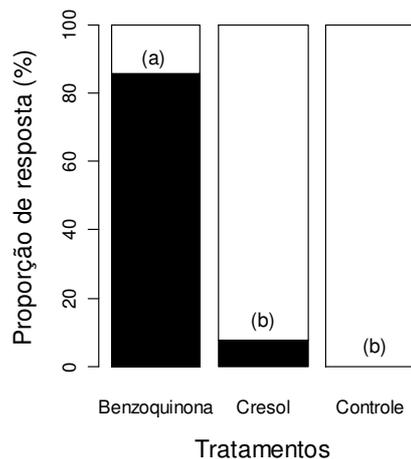


Figura 1. Proporção de observações de cada comportamento de *S. proximum* após a exposição aos diferentes tratamentos: benzoquinona (secreção de *S. proximum*), cresol e o controle (água). A porção preta de cada barra significa a proporção de indivíduos que fugiu após a exposição. A porção branca de cada barra significa a proporção de indivíduos que permaneceu imóvel após a exposição ao tratamento. Letras iguais indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) e letras diferentes indicam diferença significativa entre tratamentos ($p < 0,001$).

DISCUSSÃO

A secreção de indivíduos de *S. proximum* teve um forte efeito como mecanismo de alerta contra a predação para indivíduos solitários, portanto, a minha primeira hipótese foi corroborada. Por outro lado, o cresol não teve efeito como mecanismo de alerta, demonstrando assim, a especificidade na recepção do sinal químico. Desse modo a hipótese de que indivíduos de *S. proximum* são sensíveis a compostos químicos semelhantes aos contidos em sua secreção foi refutada.

A resposta de fuga observada em indivíduos de *S. proximum* após a exposição à secreção produzida por coespecíficos corrobora o padrão já observado para outras espécies de opiliões que vivem em agregados de indivíduos coespecíficos (Machado *et al.*, 2002). Entretanto, este estudo demonstrou que indivíduos de *S. proximum* respondem ao estímulo provocado pela percepção da secreção intraespecífica mesmo

quando indivíduos estão forrageando sozinhos, ou seja, no momento em que estão mais vulneráveis a predadores. Indivíduos que conseguem interceptar uma pista química aumentam a chance de sobrevivência. Consequentemente, tem-se a manutenção no processo evolutivo, de receptores mais sensíveis, que acabam sendo expressos na maioria da população (Wyatt, 2003). Por outro lado, indivíduos de *S. proximum* tem alta sensibilidade quanto ao tipo de substância à qual é exposto. O cresol é estruturalmente semelhante às benzoquinonas contidas na secreção de indivíduos de *S. proximum*, mas a frequência de resposta de fuga foi muito baixa quando os indivíduos foram expostos ao cresol. Entretanto, em campo observei que em duas ocasiões ($n = 5$), indivíduos de *S. proximum* responderam à secreção da espécie de opilião *Gonyleptes fragilis* (Gonyleptidae: Gonyleptinae). A composição química da secreção produzida por *G. fragilis* ainda não foi caracterizada, porém sabe-se que o seu gênero (*Gonyleptes*) e várias outras subfamílias próximas, pertencentes ao mesmo clado, produzem secreções a base de vinil-cetonas (Caetano, 2011). As vinil-cetonas são estruturalmente diferentes das benzoquinonas contidas na secreção de *S. proximum*, porém, a existência de interceptação heteroespecífica da pista química de predação já foi observada entre indivíduos agregados (Machado & Vasconcelos, 1998). Entretanto, no estudo de Machado & Vasconcelos (1998), todas as espécies que responderam à pista química de predação heteroespecífica, pertenciam a clados da família Gonyleptidae que mantêm as benzoquinonas na base da composição de sua secreção.

A espécie *G. fragilis* pertence à subfamília Gonyleptinae. Ao longo da evolução, o gênero *Gonyleptes*, juntamente com outros grupos dentro da família Gonyleptidae, divergiu-se dos demais grupos e passou a produzir uma secreção, com compostos a base de vinil-cetonas, ao invés de benzoquinonas (Caetano, 2011). Diante desse fato surge uma nova questão: os receptores de vinil-cetona surgiram após o surgimento da secreção a base de vinil-cetonas, ou os receptores de vinil-cetona são também uma característica plesiomórfica da família Gonyleptidae? Minha hipótese é que os receptores de vinil-cetona são uma característica plesiomórfica da família Gonyleptidae. Com esse tipo de estudo, compreenderíamos melhor como se dá a evolução das defesas químicas e da interceptação intra ou interespecífica dessas substâncias entre os artrópodes. Outra sugestão para estudos posteriores é que seja avaliada a resposta a substâncias produzidas por espécies que vivem em sintopia, independente da composição da secreção.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos professores Glauco e Paulo Inácio pela ajuda inicial na elaboração deste trabalho. Ao Murilo e a Barbara pelas dicas e sugestões na redação do manuscrito. Gostaria de agradecer a todos pelo ótimo convívio, especialmente à galera do Quarto Apnéia, e pedir desculpas às pessoas às quais eu ajudei a dar um apelido (na minha conta são mais de 12), inclusive o coordenador e a monitora.

REFERÊNCIAS

- Caetano, D.S. 2011. Reconstruindo parentesco e desfazendo preconceitos: filogenia de Gonyleptidae (Arachnida, Opiliones) usando caracteres ecológicos, comportamentais e químicos. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 61 pp.
- Eisner, T. & J. Meinwald. 1995. *Chemical ecology: the chemistry of biotic interaction*. National Academy Press, Washington.
- Gnaspini, P. & M.R. Hara. 2007. Defense mechanisms, pp. 375-399. Em: *Harvestmen: the biology of opiliones* (R. Pinto-da-Rocha, G. Machado & G. Giribet, eds.). Harvard University Press, Massachusetts.
- Machado G. & C.H.F. Vasconcelos. 1998. Multi-species aggregations in neotropical harvestmen (Opilines, Gonyleptidae). *The Journal of Arachnology*, 26:389-391.
- Machado G. & R. Macías-Ordóñez. 2007. Social behavior, pp. 400-413. Em: *Harvestmen: the biology of opiliones* (R. Pinto-da-Rocha, G. Machado & G. Giribet, eds.). Harvard University Press, Massachusetts.
- Machado G.; V. Bonato & P.S. Oliveira. 2002. Alarm communication: a new function for the scent-gland secretion in harvestmen (Arachnida: Opiliones). *Naturwissenschaften*, 89:357-360.
- Machado, G.; P.C. Carrera; A.M. Pomini & A.J. Marsaioli. 2005. Chemical defense in harvestmen (Arachnida, Opiliones): do benzoquinone secretions deter invertebrate and vertebrate predators? *Journal of Chemical Ecology*, 31:2519-2539.
- R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Rocha, D.F.O.; K. Hamilton; C.C.S. Gonçalves; G. Machado & A.J. Marsaioli. 2011. 6-Alkyl-3,4-dihydro-2H-pyrans: Chemical secretion compounds in neotropical harvestmen. *Journal of Natural Products*, no prelo.
- Whitman D.W.; M.S. Blum & D.W. Alsop. 1994. Allomones: chemicals for defense, pp. 289-351. Em: *Insect defenses: adaptative mechanisms and strategies of prey and predators* (D.L. Evans , J.O. Schmidt, eds.) State University of New York, Albany.
- Wyatt, T.D. 2003. *Pheromones and animal behaviour: communication by smell and taste*. Cambridge University Press, Cambridge.