

PARASITISMO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) POR *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

por

CHRISTIAN SHERLEY ARAÚJO DA SILVA-TORRES

(Sob Orientação do Professor Reginaldo Barros)

RESUMO

A dispersão de parasitóides e a localização do hospedeiro podem ser influenciadas por fatores abióticos e bióticos inerentes ao parasitóide e ao seu hospedeiro. Portanto, investigou-se o efeito da idade, do fotoperíodo, e parasitismo de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) submetido a diferentes densidades de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), em laboratório, casa telada e campo. Além disso, o efeito do superparasitismo em lagartas no desempenho de *O. sokolowskii*, a sua capacidade de dispersão em campo, e o efeito do sistema de cultivo de brássicas na sua capacidade de parasitismo foram investigados. Resultados mostram que não houve efeito do regime de luz (luz ou escuro) na taxa de parasitismo; porém, parasitóides apresentaram maior atividade após 3h de exposição à luz. Fêmeas de *O. sokolowskii* parasitam até 20 dias de idade, mas com redução na progênie com a idade. Houve maior parasitismo até a idade de 96 h das fêmeas e ao receberem diariamente um número constante de lagartas comparado à disponibilidade randômica (13,3 *versus* 8,9 lagartas). Adicionalmente, o número de lagartas parasitadas aumentou com a densidade do hospedeiro variando de 1,7 a 10,4, em laboratório, e de 0,61 a 7,0, em campo. Em casa telada, um maior parasitismo foi observado em microparcels com maiores infestações de lagartas, e com o tempo

de exposição das lagartas aos parasitóides (24h: 52,4% e; 72h: 80,7%). Com relação ao superparasitismo, este aumentou o número e a longevidade dos descendentes produzidos por lagarta, mas com redução do tamanho do corpo dos descendentes. No entanto, a duração do desenvolvimento e a razão sexual dos descendentes não foram afetadas. Com relação à dispersão, parasitóides se dispersaram e parasitaram lagartas em taxas semelhantes até 24m a partir do ponto de liberação, e o policultivo de repolho com brócolis, couve-chinesa, coentro e cebolinha não afetou o parasitismo de lagartas por *O. sokolowskii*. Assim, resultados demonstram que *O. sokolowskii* pode ser beneficiado pelo superparasitismo e tem potencial para controlar *P. xylostella* em diferentes densidades e independente do sistema de cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: Controle biológico, traça-das-crucíferas, superparasitismo, resposta funcional, policultivo.

PARASITISM OF *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) BY *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

by

CHRISTIAN SHERLEY ARAÚJO DA SILVA-TORRES

(Under Orientation of Professor Reginaldo Barros)

ABSTRACT

Parasitoid dispersion and host location can be affected by abiotic and biotic factors related to the parasitoid and its host. Therefore, we investigated the effects of age, photoperiod, and parasitism of *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) under different densities of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), in the laboratory, green house and field. Moreover, we investigated the effect of superparasitism on *O. sokolowskii* fitness, its dispersion ability in the field, and the effect of a multiple host plant systems on its parasitism capacity. Results showed that there was no effect of the light regime (light or darkness) on the parasitization; although parasitoid was more active after 3h of light exposure. Female parasitization activity was maintained up to the age of 20 days, but the offspring emerged per host decreased as wasps aged. Parasitism rate increased with parasitoid age up to 96 h and when wasps received a constant number of hosts daily in comparison with a random number (13.3 *versus* 8.9 larvae). In addition, the number of larvae parasitized increased with host density, varying from 1.7 to 10.4, in the laboratory, and from 0.61 to 7.0, in the field. In the green house, parasitism was higher in microparcels with higher host infestation, and with more exposition time to parasitization (24h: 52.4% and; 72h: 80.7%). Regarding the superparasitism, it increased the

number and longevity of offspring produced per larva, but decreased offspring body size. However, developmental time and sex ratio of parasitoid offspring were not affected. Parasitoids were able to disperse and parasitize larvae at similar rates throughout the field up to 24m from the releasing point. Intercropping of cabbage with broccoli, Napa cabbage, cilantro and green onion did not negatively affect parasitism rates of *O. sokolowskii*. Then, results suggest that *O. sokolowskii* could be favored by superparasitism and have the potential to control *P. xylostella* under different densities, regardless of the cropping system.

KEY WORDS: Biological control, diamondback moth, superparasitism, functional response, intercropping.

PARASITISMO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) POR *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

por

CHRISTIAN SHERLEY ARAÚJO DA SILVA-TORRES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Entomologia Agrícola.

RECIFE - PE

Dezembro - 2009

PARASITISMO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) POR *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

por

CHRISTIAN SHERLEY ARAÚJO DA SILVA-TORRES

Comitê de Orientação:

Reginaldo Barros – UFRPE

Ângela Maria Isidro de Farias – UFPE

Jorge Braz Torres - UFRPE

PARASITISMO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) POR *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

por

CHRISTIAN SHERLEY ARAÚJO DA SILVA-TORRES

Orientador:

Reginaldo Barros – UFRPE

Examinadores:

Jorge Braz Torres – UFRPE

Ângela Maria Isidoro de Farias - UFPE

John Russell Ruberson - UGA

Angelo Pallini Filho - UFV

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Lenilda Araújo da Silva, por todo o apoio e incentivo aos estudos durante toda a vida. Ao meu esposo, Jorge B. Torres, por me guiar desde o princípio no campo da Entomologia até este momento na vida profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que sou e conquistei até agora.

A Nossa Senhora da Conceição, mãe admirável que intercede por mim perante Deus e sempre esteve presente na minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco que fez parte da minha vida acadêmica e contribuiu para minha formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao Professor Reginaldo Barros pela confiança depositada e apoio profissional.

Ao Professor Jorge Braz Torres pelo apoio e orientação na realização deste trabalho.

Aos demais Professores do Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola da UFRPE, por contribuírem na minha formação profissional.

Ao Engenheiro Agrônomo Miguel Raimundo de Aguiar Filho e o proprietário Julio Correia Alves pela autorização dos experimentos no Rancho Bela Vista, município de Chã-Grande, PE.

Aos funcionários Darcy e Romildo, pelos serviços prestados ao Curso de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola.

Aos funcionários Zeca (transporte) e Evandro (PRPPG) pela prontidão em reservar e liberar o transporte para realização dos testes de campo.

Aos funcionários, Luiz e Adelmo pela ajuda na casa de vegetação e campo, respectivamente.

Aos estagiários, Alisson, Bruno, Izeudo e Itílio pela ajuda imensurável durante a realização dos experimentos.

Aos colegas de laboratório, Agna, Eduardo, Felipe, Martin, Robério, Roberta Leme pelo apoio e colaboração ao longo dos anos que convivemos juntos.

Aos colegas Alexandre Pontes, Vanessa e Gustavo pelas vezes que me forneceram insetos e couve para criação dos mesmos.

Aos colegas de turma, Ana, Andréia Galvão, Érika Pessoa, Hugo Zago e Tarcísia Lavor pela amizade e boas risadas proporcionadas durante o curso.

SUMÁRIO

	Páginas
AGRADECIMENTOS	viii
CAPÍTULOS	
1 INTRODUÇÃO	01
LITERATURA CITADA.....	09
2 EFEITO DA IDADE, FOTOPERÍODO E DISPONIBILIDADE DE HOSPEDEIRO NO COMPORTAMENTO DE PARASITISMO DE <i>Oomyzus sokolowskii</i> (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)	17
RESUMO.....	18
ABSTRACT	19
INTRODUÇÃO	20
MATERIAL E MÉTODOS	22
RESULTADOS	26
DISCUSSÃO	28
AGRADECIMENTOS	32
LITERATURA CITADA	32
3 SUPERPARASITISM AND HOST SIZE EFFECTS IN <i>Oomyzus sokolowskii</i> , A PARASITOID OF DIAMONDBACK MOTH	41
RESUMO.....	42
ABSTRACT	43
INTRODUCTION	44

	MATERIAL AND METHODS.....	46
	RESULTS.....	49
	DISCUSSION.....	50
	ACKNOWLEDGMENTS	56
	LITERATURE CITED.....	56
4	PARASITISMO DE <i>Plutella xylostella</i> (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) POR <i>Oomyzus sokolowskii</i> (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM DIFERENTES DENSIDADES DO HOSPEDEIRO.....	67
	RESUMO.....	68
	ABSTRACT	69
	INTRODUÇÃO.....	70
	MATERIAL E MÉTODOS.....	72
	RESULTADOS	77
	DISCUSSÃO	79
	AGRADECIMENTOS.....	86
	LITERATURA CITADA.....	86
5	DISPERSAL AND PARASITISM OF <i>Oomyzus sokolowskii</i> (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) IN CRUCIFEROUS AGROECOSYSTEMS GROWN UNDER VARIABLE CONDITIONS	95
	RESUMO.....	96
	ABSTRACT	97
	INTRODUCTION.....	98
	MATERIAL AND METHODS.....	100
	RESULTS.....	106

DISCUSSION.....	108
ACKNOWLEDGMENTS	114
LITERATURE CITED.....	114

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Brassicaceae (=Cruciferae) é constituída por 350 gêneros e 3700 espécies de plantas, comumente conhecidas como brássicas ou crucíferas (Watson & Dallwitz 1992), a qual inclui espécies de grande importância para alimentação humana e produção de óleos e gorduras vegetais e são cultivadas praticamente em todo o mundo, entre elas destaca-se o gênero *Brassica*, que compreende o repolho, a couve, o nabo e a mostarda.

A produção de brássicas ocorre em várias regiões do Brasil, sendo caracterizada por grandes, e principalmente, por pequenos produtores. A produção é geralmente localizada no entorno das grandes cidades por conta de fácil acesso aos centros de comercialização, ou nas regiões montanhosas, por conta do clima mais ameno. Sendo este fato característico da produção em Pernambuco, em que a região do Agreste contribui com a maior parte da produção do estado, atendendo a demanda por produtos frescos nos mercados da Região Metropolitana do Recife e demais cidades do estado.

Por serem de ciclo relativamente curto e requererem clima ameno (entre inverno e verão), as brássicas são comumente utilizadas como cultura de rotação ou antecedendo culturas de verão. Sua comercialização como produto fresco é realizado em feiras livres, comumente pelo próprio produtor eliminando eventuais atravessadores. A antecipação da colheita e comercialização é fundamental no suporte econômico da propriedade. Além disso, várias espécies de brássicas possuem produção contínua permitindo a realização de várias colheitas (ex., couve), ou mesmo, quando no ponto de colheita, ainda resistem por determinado período no campo permitindo à comercialização por etapas (ex., repolho), o que resulta em um fluxo contínuo de renda

retornando as propriedades. Portanto, o cultivo de brássicas possui grande papel social e na diversificação de produção na agricultura familiar não somente em Pernambuco, mas em todas as regiões do Brasil.

A produção de brássicas, em geral, é prejudicada pela ocorrência de várias pragas, dentre elas, a traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Esta praga é considerada a mais destrutiva das brássicas em todo o mundo com custo médio anual de controle ultrapassando um bilhão de dólares (Talekar 1992, Yang *et al.* 1994, Haseeb *et al.* 2004). No Brasil, *P. xylostella* tem causado elevados prejuízos na produção de brássicas, particularmente em repolho, com redução variando de 58-100% da qualidade final do produto, e seu controle pode atingir até 30% dos custos totais da produção (Barros *et al.* 1993, Castelo Branco *et al.* 2001), que pode inviabilizar o cultivo comercial dessa cultura. Além disso, *P. xylostella* utiliza grande número de brássicas sem valor comercial (“daninhas”) como hospedeiro, mantendo-se mesmo na ausência do hospedeiro cultivado (Talekar & Shelton 1993). O vasto número de espécies de brássicas utilizadas como hospedeiro por esta praga tem sido utilizado como informação para possível origem da espécie. Inicialmente, acreditava-se que *P. xylostella* possuísse a região do Mediterrâneo como centro de origem, pois algumas das principais brássicas comercialmente cultivadas foram originadas desta região (Harcourt 1954, Tsunoda 1980). No entanto, Kfir (1998) sugere ser a África do Sul o local mais provável de origem de *P. xylostella* devido à variedade de brássicas nativas usadas como hospedeiros alternativos e ao grande número de parasitóides associados com essa praga naquela região.

Adultos de *P. xylostella* são ativos no final da tarde e início da noite, quando ocorre o acasalamento e a postura (Harcourt 1954, Talekar & Shelton 1993). Fêmeas iniciam oviposição logo após a cópula, ovipositando de 11-188 ovos por fêmea por um período de até quatro dias (Harcourt 1954). Ovos são depositados isoladamente ou em grupos, preferencialmente nas

concavidades das folhas (Gupta & Thorsteinson 1960). No entanto, voláteis liberados pelas plantas, temperatura ambiente, presença de tricomas e cera na superfície das folhas são importante fatores que influenciam a escolha do local de oviposição pelas fêmeas adultas (AVRDC 1986, Lu *et al.* 1988, Uematsu & Sakanoshita 1989, Pivnick *et al.* 1990). Após a eclosão, as lagartas alimentam-se das folhas de brássicas, sendo esta a fase da praga que afeta diretamente a qualidade do produto para comercialização, especialmente, porque são as folhas que formam o produto final (comercializado) no caso do repolho, couve, dentre outras. A fase larval possui quatro instares com duração dependente da temperatura ambiente e da qualidade do alimento (planta hospedeira). Sob condições favoráveis, cada instar dura de 4 a 5,6 dias e com duração do período pupal variando de 4 a 15 dias, dependendo da temperatura (Abraham & Padmanaban 1968, Chelliah & Srinivasan 1986, Harcourt 1963, Lu & Lee 1984), e um total de 22 a 33 dias da oviposição a emergência dos adultos (Talekar & Shelton 1993). Adultos alimentam-se de orvalho e néctar, e apresentam curto período de longevidade. Além disso, como o ciclo da praga é relativamente curto e dependente dos fatores ambientais, é encontrado maior número de gerações e maior potencial de dano da praga nas regiões de clima quente (Talekar & Shelton 1993).

A ocorrência da traça-das-crucíferas nas lavouras independe da escala comercial (grande ou pequenas áreas), sistema de cultivo (convencional, consorciado, orgânico, etc.), espécies plantadas (couve, repolho, couve-flor, brócolis, entre outros), região, entre outros. Tanto em países desenvolvidos da América do Norte e Europa, onde brássicas são cultivadas em grande escala com considerável gerenciamento de produção e capital, como em países em desenvolvimento como o Brasil, o controle de *P. xylostella* é feito principalmente com o uso de inseticidas (Barros *et al.* 1993, Tabashnik *et al.* 1997, França & Medeiros 1998). Em muitas áreas, o custo com inseticidas está acima dos custos com fertilizantes, por exemplo (Lim 1986).

Em geral, utiliza-se grande número de aplicações de inseticidas por ciclo da cultura, podendo variar de uma a quatro aplicações por semana no Brasil (Castelo Branco *et al.* 2001). Devido ao uso contínuo de inseticidas, populações resistentes de *P. xylostella* têm sido selecionadas a praticamente todos os grupos de inseticidas usados para o seu controle, fator que contribui para a ressurgência da praga após aplicação (Nemoto 1986). Além disso, o controle biológico natural de *P. xylostella* é afetado devido à eliminação de inimigos naturais pelo uso intensivo de inseticidas não seletivos. Problemas com perda da eficiência dos inseticidas e reduzido controle natural por agentes de controle biológico no Sudeste da Ásia tem proporcionado perdas de até 90% da produção em função do ataque da praga (Verkerk & Wright 1996).

A quantidade de resíduo nos produtos vegetais aumentou drasticamente com o passar dos anos (Talekar & Shelton 1993), e com a população exigindo produtos de melhor qualidade, bem como maior controle por parte do governo, a forma de comercialização como produto fresco (ex. recém colhido) tem proporcionado a redução do uso de inseticidas químicos no controle de *P. xylostella*. Devido à grande dificuldade de controlar *P. xylostella*, agricultores têm buscado novas tecnologias que possam reduzir as perdas causadas por esta praga, a exemplo do uso do inseticida biológico a base de *Bacillus thuringiensis* (Bt) como alternativa ao uso de inseticidas químicos pela especificidade do produto e menor impacto ambiental. O uso de plantas geneticamente modificadas com expressão de toxinas de *B. thuringiensis* (Bt) contra lagartas é considerado tecnologia de última geração no manejo de pragas, especialmente, em países em desenvolvimento do Continente Asiático devido à importância e expansão da cultura nesta região (Cohen 2005). No entanto, devido à capacidade de *P. xylostella* desenvolver resistência, tanto a inseticidas químicos como ao Bt, antes mesmo da liberação comercial de variedades geneticamente modificadas de repolho expressando a toxina Cry1Ab, já foram detectadas populações expressando altos níveis de resistência em testes preliminares (Tabashnik *et al.* 1998)

e já existem várias populações de *P. xylostella* de diferentes regiões do mundo com resistência as formulações comerciais de Bt (Kirch & Schmutterer 1988, Shelton & Wyman 1991, Tang *et al.* 1992, Sun *et al.* 1995, Feng *et al.* 1996, Zhao *et al.* 1996, Ferré & van Rie 2002). Sendo assim, a adoção de tecnologias avançadas não será totalmente eficaz no manejo da traça-das-crucíferas se medidas integradas de controle não forem adotadas. Portanto, se faz necessário à implementação de práticas de controle desta praga adequando-se à diversidade de ambientes, sistema de cultivo de brássicas e, principalmente, que possa ser adotado independente do nível de tecnologia e sistema de cultivo empregado pelo produtor.

Nesse contexto, o manejo integrado para o controle de *P. xylostella*, com uso de inseticidas seletivos, amostragem, nível de dano, controle cultural, rotação de cultura, uso de feromônio sexual, variedades resistentes e controle biológico surgem como alternativa viável para o controle da praga e, conseqüentemente, na redução de custos e perdas na produção. Além disso, o manejo integrado aumentaria o potencial para o controle biológico de *P. xylostella* através de predadores, parasitóides e fungos entomopatogênicos (Talekar & Shelton 1993, Vandenberg *et al.* 1998, Ferreira *et al.* 2003, Silva *et al.* 2003), os quais estão associados à praga não acarretando custos adicionais (ocorrência natural) ou custos mínimos (práticas indiretas que possam favorecer a ocorrência natural do parasitóide) para o produtor, de forma que a sua utilização não depende da espécie cultivada, da área plantada adaptando-se ao cultivo convencional, consorciado e, principalmente, ao cultivo.

Em todas as fases de desenvolvimento a traça-das-crucíferas está naturalmente exposta a inúmeras espécies de predadores e parasitóides, sendo estes últimos os mais estudados (Talekar & Shelton 1993). Adultos de *P. xylostella* são frequentemente atacados por predadores polípagos tais como pássaros e aranhas. Existem mais de 90 espécies de parasitóides que utilizam ovos, larvas e pupas de *P. xylostella* como hospedeiros, mas apenas 60 espécies parecem ser de relativa

importância (Talekar & Shelton 1993). Parasitóides de ovos do gênero *Trichogramma* contribuem pouco para o parasitismo natural de *P. xylostella*, além de requerer frequentes liberações inundativas na área alvo. Por outro lado, os parasitoides larvais e pupais são os mais frequentes e efetivos no controle da traça (Talekar & Shelton 1993). Dentre estes parasitóides, destacam-se os gêneros *Diadegma* e *Diadromus*, ambos (Ichneumonidae), *Cotesia* (Braconidae), e a espécie *Oomyzus sokolowskii* (Eulophidae). Sendo este último citado como o único calcidóideo com real potencial para controle efetivo de *P. xylostella* em várias regiões do mundo (Fitton & Walker 1992).

Sabe-se que a localização de hospedeiros por parasitóides e seu parasitismo é um processo complexo que envolve várias etapas, tais como a localização do habitat do hospedeiro, localização do hospedeiro propriamente dito e aceitação com posterior parasitismo (Laing 1937, Vinson 1975, 1976). Muitos fatores sejam abióticos (temperatura, umidade, fotoperíodo, vento) ou bióticos (planta hospedeira, idade e fecundidade do parasitóide, tamanho e idade do hospedeiro, competidores, etc.) podem influenciar neste processo (Gordh *et al.* 1999). Parasitóides liberados em campo nem sempre são capazes de encontrar imediatamente seus hospedeiros, os quais podem estar presentes em níveis muito reduzidos ou até mesmo indisponíveis (i.e. previamente parasitados, doentes, em idade inadequada). O fator que determina a eficiência de um parasitóide está intimamente ligado à sua capacidade de busca do hospedeiro em campo, manipular o número de ovos a serem depositados por hospedeiro e sua sobrevivência, em resposta à disponibilidade de hospedeiros. Nessas condições, o estado fisiológico do parasitóide tem implicações importantes para o seu sucesso reprodutivo (Hohmann & Luck 2004).

A modelagem sugere que parasitóides podem ser atraídos e exibem comportamento de agregação em locais de densidade mais elevada do hospedeiro (Hassell 1978). No entanto,

parasitóides também devem ser capazes de localizar hospedeiros em ambientes com baixa densidade (Waage 1983), uma vez que a capacidade de encontrar hospedeiros em baixas densidades proporciona sincronia entre o crescimento populacional do parasitóide e da praga. Assim, uma vez localizados, os hospedeiros podem ser explorados por parasitóides em diferentes proporções, em função da sua densidade, tempo de exposição e distribuição no ambiente (Hassell & May 1973, Foerster *et al.* 2001, Pratioli *et al.* 2005). Portanto, conhecer como os parasitóides respondem as variações na distribuição e na densidade dos hospedeiros é essencial para que se determine a sua eficiência como agente de controle biológico. Relatos de pesquisas têm mencionado que, algumas espécies de parasitóides aumentam a taxa de parasitismo mediante a densidade do hospedeiro (Faria *et al.* 2000, 2008, Sampaio *et al.* 2001, Makundi & Seriah 2005). Assim, é importante conhecer as adaptações comportamentais e biológicas de parasitóides em função da densidade de seus hospedeiros para melhor adequar as estratégias de uso, sejam pela conservação desses inimigos naturais ou utilização dos mesmos de forma aplicada.

O cenobionte *O. sokolowskii* é um parasitoide larval-pupal de *P. xylostella*. Este parasitóide é cosmopolita, sendo citado exercendo controle natural de *P. xylostella* em diferentes regiões produtoras de brássicas no mundo (Ooi 1988, Mushtaque 1990, Fitton & Walker 1992, Talekar & Hu 1996, Wang *et al.* 1999, Silva-Torres *et al.* 2009b). Fêmeas de *O. sokolowskii* parasitam lagartas de *P. xylostella* preferencialmente nos últimos instares larvais (Talekar & Hu 1996), embora também parasite a pupa (Wang *et al.* 1999). O desenvolvimento de *O. sokolowskii* é de forma gregária (emergência de mais de um parasitóide por hospedeiro) e depende da temperatura (Wang *et al.* 1999, Ferreira *et al.* 2003). O desenvolvimento da oviposição a emergência de adultos varia de 13,4 a 26,5 dias (Wang *et al.* 1999, Ferreira *et al.* 2003), sendo o desenvolvimento rápido e gregário fundamentais para o rápido crescimento populacional no

campo. Logo após a emergência, ocorre o acasalamento e as fêmeas começam nova geração parasitando lagartas ou pupas da praga.

No Brasil, *O. sokolowskii* foi encontrado no Rio Grande do Sul (Ferronato & Becker 1984), Pernambuco (Loges 1996) e Distrito Federal (Castelo Branco & Medeiros 2001). Em Pernambuco, Loges (1996) relatou parasitismo de até 97% de *P. xylostella* no final do ciclo da cultura do repolho. Baseado nas exigências térmicas requeridas e nas condições climáticas da principal região produtora de brássicas de Pernambuco, *O. sokolowskii* pode produzir até 24 gerações por ano comparado a 20 gerações possíveis do hospedeiro-praga, *P. xylostella* de acordo com Ferreira *et al.* (2003). No entanto, apesar do potencial para o controle biológico de *P. xylostella*, pouco se conhece do comportamento de dispersão e capacidade de parasitismo deste parasitóide, em campo.

A utilização de *O. sokolowskii* conjuntamente com táticas culturais podem ser implementadas para o controle de *P. xylostella*. Em agroecossistemas com reduzida diversidade de plantas (monoculturas), a incidência de insetos pragas é usualmente elevada (Ryszkowskii *et al.* 1993). No entanto, quando essa diversidade de plantas é mantida, a ocorrência de pragas e, conseqüentemente, seus danos podem ser minimizados (Altieri & Letourneau 1984, Andow 1986, Coll & Bottrell 1994). Portanto, mudanças na composição de plantas em um agroecossistema, através de práticas culturais como o policultivo, podem ter conseqüências na dinâmica de populações de herbívoros e seus respectivos inimigos naturais. Então, o entendimento de como práticas culturais podem afetar a relação entre herbívoro e inimigo natural é importante para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo de pragas, especialmente em casos onde a aplicação de inseticidas é evitada ou proibida (i.e. cultivo orgânico). Assim, acredita-se que o policultivo, poderia favorecer o manejo integrado de

brássicas em especial para o controle de *P. xylostella*, se estas práticas não interferirem negativamente sobre os inimigos naturais como *O. sokolowskii*.

Assim, o objetivo deste estudo foi investigar o parasitismo de *O. sokolowskii* em diferentes condições de disponibilidade de hospedeiros, em laboratório, semi-campo e campo, bem como o potencial de dispersão, localização e parasitismo de *P. xylostella* em sistemas de monocultivo e policultivo de brássicas.

Literatura Citada

- Abraham, E.V. & M.D. Padmanaban. 1968.** Biodynamic and control of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* Curtis in Malaysia. Indian J. Agric. Sci. 28: 513-19.
- Altieri, M.A. & D.K. Letourneau. 1984.** Vegetation diversity and insect pest outbreaks. CRC Crit. Rev. Pl. Sci. 2: 131-169.
- Andow, D.A. 1986.** Plant diversification and insect population control in agroecosystems, p. 277-348. In D. Pimentel (ed.), Some aspects of integrated pest management. Department of Entomology, Cornell University, Ithaca, NY, 368p.
- AVRDC, 1986.** Asian Vegetable Research and Development Center Progress Report Summaries 1985. Shanhua, Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center. 96p.
- Barros, R., I.B. Albert Jr., A.J. Oliveira, A.C.F. Souza & V. Loges. 1993.** Controle químico da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em repolho. An. Soc. Entomol. Brasil 22: 463-469.
- Castelo Branco, M. & M.A. Medeiros. 2001.** Impact of insecticides on diamondback moth parasitoids on cabbage fields in the Federal District of Brazil. Pesqu. Agropecu. Bras. 36: 7-13.

- Castelo Branco, M., F.H. França, M.A. Medeiros & J.G. Leal. 2001.** Uso de inseticidas para o controle da traça-do-tomateiro e traçadas-crucíferas: um estudo de caso. *Hortic. Bras.* 19: 60-63.
- Chelliah, S. & K. Srinivasan. 1986.** Bioecology and management of diamondback moth in India, p. 63-76. In N.S. Telekar (ed), *Diamondback Moth and other crucifers pests*. Proc. 1st International Workshop, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 471p.
- Cohen, J.I. 2005.** Poor nations turn to publicly developed GM crops. *Nat. Biotechnol.* 23: 27-33.
- Coll, M. & D.G. Bottrell. 1994.** Effects of nonhost plant on an insect herbivore in diverse habitats. *Ecology* 75: 723-731.
- Faria, C.A., J.B. Torres & A.M.I. Farias. 2000.** Resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando ovos de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): efeito da idade do hospedeiro. *An. Soc. Entomol. Brasil* 29: 85-93.
- Faria, C.A., J.B. Torres, A.M.V. Fernandes & A.M.I. Farias. 2008.** Parasitism of *Tuta absoluta* in tomato plants by *Trichogramma pretiosum* Riley in response to host density and plant structures. *Ciência Rural* 38: 1504-1509.
- Feng, X., H.Y. Chen, Y.Y. Shau, Q.H. Xie & Y.C. Lu. 1996.** A study on the resistance of the diamondback moth to *Bacillus thuringiensis* in Guangdong. *Acta Entomol. Sin.* 39: 238-245.
- Ferré, J. & J. van Rie. 2002.** Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 501-533.
- Ferreira, S.W.J., R. Barros & J.B. Torres. 2003.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neotrop. Entomol.* 32: 407-411.

- Ferronato, E.M.O. & M. Becker. 1984.** Abundância e complexo de parasitóides de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) em *Brassica oleracea* L. Var. *Acephala* D.C. An. Soc. Entomol. Brasil 13: 261-278.
- Fitton, M. & A. Walker. 1992.** Hymenopterous parasitoids associated with diamondback moth: the taxonomic dilemma. p. 225-232, In N.S. Talekar (ed.), Diamondback moth and other crucifer pests. Proc. 2nd international workshop, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 603p.
- Foerster, L.A., A.K. Doetzer & M.R.F. Avanci. 2001.** Parasitóides larvais de *Mythimna (Pseudaletia) sequax* Franclemont e capacidade de parasitismo de *Glyptapanteles muesebecki* (Blanchard) em relação ao tempo de exposição, temperatura e densidade de hospedeiros. Acta Biol. Par. 30: 139-149.
- França, F.H. & M.A. Medeiros. 1998.** Impacto da combinação de inseticidas sobre a produção de repolho e parasitóides associados com a traça-das-crucíferas. Horticult. Bras. 16:132-135.
- Gordh, G., E.F. Legner, L.E. Caltagirone. 1999.** Biology of parasitic hymenoptera, p. 355-381, In T.S. Bellows & T.W. Fisher (eds.), Handbook of biological control. San Diego: Academic Press, 1046p.
- Gupta, P.D. & Thorsteinson, A.J. 1960.** Food plant relationship of diamondback moth (*Plutella maculipennis* (Curt.)). Sensory relationship of oviposition of the adult female. Entomol. Exp. Appl. 3: 305-314.
- Harcourt, D.G. 1954.** The biology and ecology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis*, Curtis, in eastern Ontario. Phd thesis. Cornell Univ., Ithaca, NY, 107p.
- Harcourt, D.G. 1963.** Major mortality factors in the population dynamics of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae). Mem. Entomol. Soc. Can. 32: 55-56.

- Haseeb, M., T.X. Liu, & W.A. Jones. 2004.** Effects of selected insecticides on *Cotesia plutellae*, endoparasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl* 49: 33-46.
- Hassell, M.P. 1978.** The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton: Princeton University, 237p.
- Hassell, M.P. & R.M. May. 1973.** Stability in insect host-parasite models. *J. Anim. Ecol.* 42: 693-726.
- Hohmann, C.L. & R. Luck. 2004.** Effect of host availability and egg load in *Trichogramma platneri* Nagarkatti (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and its consequences on progeny quality. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 47: 413-422.
- Kfir, R. 1998.** Origin of the diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 91:164-167.
- Kirch, K. & Schmutterer, H. 1988.** Low efficacy of a *Bacillus thuringiensis* (Berl.) formulation in controlling the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in the Philippines. *J. Appl. Entomol.* 105: 249-55.
- Laing, J. 1937.** Host-finding by insect parasites. In: Observations on the finding hosts by *Alysia manducator*, *Mormoniella vitripennis* and *Trichogramma evanescens*. *J. Anim. Ecol.* 6: 298-317.
- Lim, G. S. 1986.** Biological control of the diamondback moth. p. 159-171, In N.S. Talekar & T.D. Griggs (eds.), Diamondback moth management. Proc. 1st International Workshop, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 471p.
- Loges, V. 1996.** Danos causados pela traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) em cultivares de repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* (L.) e efeito sobre a população da praga e do parasitóide *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov, 1912), em condições de campo. Tese de mestrado, UFRPE, Recife, 98p.

- Lu, F.M. & H.S. Lee. 1984.** Observation of the life history of diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) in whole year. J. Agric. Res. China 33: 424-430.
- Lu, Z.Q., L.F. Chen & S.D. Zhu 1988.** Studies on the effect of temperature on the development, fecundity and multiplication of *Plutella xylostella* L. Insect Knowledge 25: 147-149.
- Makundi, R.H. & J.E. Sariah. 2005.** A functional response of braconid parasitoids of the bean stem maggot, *Ophiomyia spencerella* (Diptera, Agromyzidae), in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Tanzania. J. Pl. Dis. Prot. 112: 478-484.
- Mushtaque, M. 1990.** Some studies on *Tetrastichus sokolowskii* Kurd (Eulophidae: Hymenoptera), a parasitoid of diamondback moth in Pakistan. Pakistan J. Zool. 22: 37-43.
- Nemoto, H. 1986.** Factors inducing resurgence in the diamondback moth after application of methomyl, p. 387-394. In N.S. Talekar & T.D. Griggs (eds.), Diamondback moth management. Proc. 1st international workshop, AVRDC, Tainan, Taiwan, 495p.
- Ooi, P.A.C. 1988.** Laboratory studies of *Tetrastichus sokolowskii*. Entomophaga 33: 145-152.
- Pivnick, K.A., B.J. Jarvis, G.P. Slater, C. Gillott & E.W. Underhill. 1990.** Attraction of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) to volatiles of oriental mustard; the influence of age, sex and prior exposure to males of host plants. Environ. Entomol. 19: 704-709.
- Pratissoli, D., U.R. Vianna, E.F. Reis, G.S. Andrade & A.F. Silva. 2005.** Influência da densidade de ovos de *Spodoptera frugiperda* em alguns aspectos biológicos de três espécies de *Trichogramma*. Rev. Bras. Milho e Sorgo 4:1-7.
- Ryszkowskii, L., J. Karg, G. Margalit, M.G. Paoletti & R. Zlotin. 1993.** Aboveground insect biomass in agricultural landscapes of Europe, p. 71-82. In R.G.H. Bunce, L. Ryszkowskii & M.G. Paoletti (eds.), Landscape ecology and agroecosystems. Lewis, Ann Arbor, Michigan, 241p.

- Sampaio, M.V., V.H.P. Bueno & E.R. Pérez-Maluf. 2001.** Parasitismo de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) em diferentes densidades de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Neotrop. Entomol. 30: 81-87.
- Shelton, A.M. & J.A. Wyman. 1991.** Insecticide resistance of diamondback moth in North America, p. 447-457. In N.S. Telekar (ed.), Diamondback Moth and other crucifers pests. Proc. 2nd International Workshop, AVRDC, Shanhuan, Taiwan, 603p.
- Silva, A.C.A., R. Barros, E.J. Marques & J.B. Torres. 2003.** Suscetibilidade de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) aos fungos *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. E *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. Neotrop. Entomol. 32: 653-658.
- Silva-Torres, C.S.A., I.V.A.F. Pontes, J.B. Torres, R. Barros. 2009a.** New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. Neotrop. Entomol., in press.
- Silva-Torres, C.S.A., R. Barros. & J.B. Torres. 2009b.** Efeito da idade, fotoperíodo e disponibilidade do hospedeiro no comportamento de parasitismo de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae). Neotrop. Entomol. 38: 512-519.
- Sun, Y.Q., Y.Q. Chen & Y. Ying. 1995.** Insecticide resistance in diamondback moth in South China. Pestic. Sci. 43:355-357.
- Tabashnik, B.E., N.L. Cushing & M.W. Johnson 1997.** Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to insecticides in Hawaii: inter-island variation and resistance. J. Econ. Entomol. 80: 1091-1099.
- Tabashnik, B.E., L. Yong-Biao, T. Malvar, L.M. Heckel & J. Ferré. 1998.** Insect resistance to *Bacillus thuringiensis*: uniform or diverse? Philos. Trans. R. Soc. Lond. B 353: 1751-1756.
- Talekar, N.S. & A.M. Shelton. 1993.** Biology, ecology, and management of the diamondback moth. Annu. Rev. Entomol. 38: 275-301.

- Talekar, N.S. & W.J. Hu. 1996.** Characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Oomyzus sokolowskii* (Hym., Eulophidae). *Entomophaga* 41: 45-52.
- Talekar, N.S. 1992.** Management of diamondback moth and other crucifer pests. Proc. 2nd international workshop, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 603p.
- Tang, Z.H., C.L. Zhou, S.C. Wu, H.Z. Zheng, H.L. Sheng & Y.Z. Gu. 1992.** Insecticide resistance and the effects of synergists in the diamondback moth in Shanghai. *Acta Phytophysiol. Sin.* 19: 179-185.
- Tsunoda, S. 1980.** Eco-physiology of wild and cultivated forms in Brassica and allied genera, p. 109-132. In S. Tsunoda, K. Hinata & C. Gomez-Campo (eds.), *Brassica Crops and Wild Allies: Biology and Breeding*, Jpn. Sci. Soc. Press, Tokyo, 354p.
- Uematsu, H. & A. Sakanoshita. 1989.** Possible role of cabbage leaf wax bloom in suppressing diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) oviposition. *Appl. Entomol. Zool.* 24: 253-257.
- Vandenberg, J.D., M. Ramos & J.A. Altre. 1998.** Dose-response and age and temperature related susceptibility of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) to two isolates of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliaceae). *Environ. Entomol.* 27: 1017-1021.
- Verkerk, R.H.J. & D.J. Wright. 1996.** Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review. *Bull. Entomol. Res.* 86: 205-216.
- Vinson, S.B. 1975.** Biochemical coevolution between parasitoids and their hosts, p. 14-48. In P. Price (ed.), *Evolutionary Strategies of Parasitic Insects and Mites*. Plenum Press, New York, 225p.
- Vinson, S.B. 1976.** Host selection by insect parasitoids. *Annu. Rev. Entomol.* 21:109-134.
- Waage, J.K. 1983.** Aggregation in field parasitoids populations of *Diadegma* (Hym.: Ichneumonidae). *Ecol. Entomol.* 8: 447-459.

- Wang, X., S. Liu, S. Guo & W. Lin. 1999.** Effect of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl* 44: 391-402.
- Watson, L. & M.J. Dallwitz. 1992 onwards.** The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 9th September 2009. <http://delta-intkey.com>.
- Yang, J.C., Y. Chu, & N.S. Talekar. 1994.** Studies on the characteristics of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) by a larval parasite *Diadegma semiclausum* (Hym.: Ichneumonidae). *Entomophaga* 39: 397-406.
- Zhao, J.Z., S.C. Wu, Y.Z. Gu, G.R. Zhu & Z.L. Ju. 1996.** Strategy of insecticide resistance management in the diamondback moth. *Sci. Agric. Sin.* 29:8-14.

CAPÍTULO 2

EFEITO DA IDADE, FOTOPERÍODO E DISPONIBILIDADE DE HOSPEDEIRO NO COMPORTAMENTO DE PARASITISMO DE *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)¹

CHRISTIAN S.A. SILVA-TORRES, REGINALDO BARROS E JORGE B. TORRES

Departamento de Agronomia – Entomologia, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois
Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil.

¹Silva-Torres, C.S.A., R. Barros, R. & J.B. Torres. 2009. Efeito da idade, fotoperíodo e disponibilidade de hospedeiro no comportamento de parasitismo de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae). Neotropical Entomology 38: 512-519.

RESUMO – *Plutella xylostella* (L.) é uma praga de difícil controle em virtude de seu alto potencial reprodutivo e de causar danos, e ampla distribuição geográfica, além de apresentar resistência a inseticidas. No entanto, as fases de larva e pupa dessa praga são naturalmente parasitadas por *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov), favorecendo o incremento do parasitismo natural. Este estudo investigou o efeito da idade do parasitóide, disponibilidade de hospedeiro e fotoperíodo no comportamento reprodutivo de *O. sokolowskii*. O número de encontros entre parasitóide e hospedeiro e a taxa de parasitismo aumentaram com a idade das fêmeas até 96h. O parasitismo foi maior quando fêmeas do parasitóide receberam diariamente um número constante de hospedeiros comparado à disponibilidade randômica (13,3 *versus* 8,9 lagartas). A atividade de parasitismo ocorreu até 20 dias de idade e com longevidade semelhante entre os tratamentos (constante = 33,5 d; randômico = 34,7 d). O número de descendentes por fêmea, no entanto, decresceu com a sua idade, sendo o mesmo observado para o número de parasitóides emergidos por lagarta parasitada. A exposição contínua do hospedeiro à luz ou ao escuro por 12h não afetou a taxa de parasitismo; porém, parasitóides apresentaram maior atividade após 3h de exposição à luz. Assim, futuros estudos e possível utilização de *O. sokolowskii*, em campo, devem considerar a liberações de parasitóides com idade entre 48h e 72h e, preferencialmente, na madrugada para maiores chances de sucesso de parasitismo.

PALAVRAS-CHAVE: Traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, localização de hospedeiro, maturação sexual, controle biológico

EFFECT OF AGE, PHOTOPERIOD AND HOST AVAILABILITY ON THE PARASITISM
BEHAVIOR OF *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

ABSTRACT – The high reproduction rate, potential to cause damage, wide geographic distribution and resistance to insecticides of *Plutella xylostella* (L.) makes difficult its efficient control. However, larvae and pupae of this pest are naturally parasitized by *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov), providing opportunities to improve the natural parasitism. This study investigated the effects of the age of adult parasitoids, host availability and time of exposure on *O. sokolowskii* parasitism behavior. The number of larvae encounters by parasitoid females and the parasitism rate increased with parasitoid age up to 96h. The parasitization was higher when wasps received a constant number of hosts daily in comparison with a random number (13.3 versus 8.9 larvae parasitized). Female parasitization activity was maintained up to the age of 20 days in both treatments and exhibited similar longevity (constant host = 33.5 d; and random host = 34.7 d). The progeny produced per female and the number of parasitoids emerged per host significantly decreased as wasps aged. There was no significant effect of the light regime (12h darkness or 12h light exposure) on the parasitization, although parasitoid was more active after 3h of light exposure. Therefore, further studies on field application of *O. sokolowskii* should consider the release of 48h- to 72h-old parasitoids at dawn as a way to increase the success of host parasitization.

KEY WORDS: Diamondback moth, *Plutella xylostella*, host searching, sexual maturation, biological control

Introdução

Parasitóides liberados em campo nem sempre são capazes de encontrar imediatamente seus hospedeiros, os quais podem estar presentes em níveis muito reduzidos ou até mesmo indisponíveis, i.e. previamente parasitados, doentes, em idade inadequada, etc. O fator que determina a eficiência de um parasitóide está intimamente ligado à sua capacidade de encontrar o hospedeiro em campo, manipular o número de ovos a serem depositados por hospedeiro e sua sobrevivência, em resposta à disponibilidade de hospedeiros. Nessas condições, o estado fisiológico do parasitóide tem implicações importantes para seu sucesso reprodutivo (Hohmann & Luck 2004).

Em geral, organismos, incluindo parasitóides, necessitam atingir a maturidade sexual para iniciar sua reprodução. Assim, o potencial de ação de parasitóides pode ser mais ou menos favorecido com o aumento da sua idade (Honda & Kainoh 1998, Persad & Hoy 2003, Amalin *et al.* 2005). Sabe-se também que a idade do parasitóide pode afetar sua capacidade de aprendizado e, conseqüentemente, a localização do hospedeiro. Por exemplo, Honda & Kainoh (1998) mostraram que fêmeas mais velhas do parasitóide *Ascogaster reticulatus* Watanabe, são capazes de depositar maior número de ovos bem como associar odores de plantas ao hospedeiro. Além disso, fatores como fotoperíodo, temperatura e disponibilidade de hospedeiros podem afetar tanto o comportamento de parasitóides, interferindo na sua atividade e capacidade de busca pelo hospedeiro, como o seu ciclo biológico, afetando sua longevidade, fecundidade e diapausa (Bai & Smith 1993, Sagarra *et al.* 2000, Tatsumi & Takada 2005, Larios *et al.* 2007).

O parasitóide gregário *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) parasita lagartas de *Plutella xylostella* (L.), preferencialmente nos últimos instares (Talekar & Hu 1996), e também a pupa (Wang *et al.* 1999). Ele vem sendo registrado exercendo controle natural de *P. xylostella* em diferentes regiões produtoras de brássicas do mundo (Ooi 1988, Mushtaque 1990, Talekar & Hu

1996, Wang *et al.* 1999). No Brasil, *O. sokolowskii* foi encontrado no Rio Grande do Sul (Ferronato & Becker 1984), Pernambuco (Loges 1996) e Distrito Federal (Castelo Branco & Medeiros 2001). Em Pernambuco, Loges (1996) relatou parasitismo de até 97% de *P. xylostella* no final do ciclo da cultura do repolho. Fitton & Walker (1992) relataram que *O. sokolowskii* seria o único calcidóideo com real potencial de controle de *P. xylostella*.

Plutella xylostella, também conhecida como traça-das-crucíferas, é a mais importante praga das brássicas no mundo (Talekar 1992). No Brasil, ela tem causado perdas elevadas na produção das brássicas, particularmente em repolho, reduzindo de 58% a 100% a qualidade final do produto; seu controle pode atingir até 30% dos custos totais de produção (Castelo Branco & Guimarães 1990, Barros *et al.* 1993, Castelo Branco *et al.* 2001). Assim, pesquisas buscando estabelecer táticas para o controle desta praga devem ser adequadas à diversidade de ambientes e sistemas de cultivo.

Apesar de *O. sokolowskii* apresentar potencial para o controle de *P. xylostella* já evidenciados em estudos de laboratório e campo no Brasil (Loges 1996, Ferreira *et al.* 2003) e em outros países (Talekar & Hu 1996, Wang *et al.* 1999), pouco se conhece sobre seu comportamento. Segundo Wang *et al.* (1999) e Ooi (1988), fêmeas de *O. sokolowskii* com menos de 24h de idade parasitam maior número de lagartas a 25°C e apresentam decréscimo de fecundidade com o aumento da idade da fêmea, chegando a produzir descendentes até no máximo 13 dias, se receberem um número constante de hospedeiros. Por outro lado, o número de hospedeiros encontrados por parasitóides diariamente no campo pode ser variável, podendo influenciar a taxa de parasitismo e sua longevidade (Hohmann & Luck 2004). Portanto, a relação existente entre a densidade do hospedeiro e a taxa de ataque do inimigo natural é um componente essencial da associação hospedeiro-parasitóide (Wang & Ferro 1998).

Assim, o objetivo deste estudo foi determinar a idade ideal, o ritmo diário de atividade de busca e parasitismo, e o efeito da disponibilidade de hospedeiro na longevidade e capacidade de parasitismo de fêmeas de *O. sokolowskii* sobre lagartas de *P. xylostella*. Espera-se que fêmeas de *O. sokolowskii* sejam mais ativas durante as primeiras horas da fotofase, quando lagartas de *P. xylostella* também se mostram ativas. Consequentemente espera-se também que *O. sokolowskii* tenha maior taxa de parasitismo diurno, com decréscimo de sua capacidade de parasitismo com o envelhecimento das vespas.

Material e Métodos

Lagartas de *P. xylostella* foram obtidas da colônia previamente estabelecida no Laboratório de Biologia de Insetos da UFRPE, de acordo com Barros & Vendramim (1999). A colônia do parasitóide *O. sokolowskii* foi estabelecida de espécimes oriundos de lagartas de *P. xylostella* coletadas em plantio orgânico de couve chinesa (*Brassica campestris*; Brassicaceae) no Município de Chã-Grande, Agreste de Pernambuco. Após a emergência do parasitóide, a sua multiplicação foi feita empregando o hospedeiro *P. xylostella*, ambos criados a $25,5 \pm 1,17^{\circ}\text{C}$, $67 \pm 12\%$ UR e fotofase de 12h.

Criação do parasitóide *O. sokolowskii*. Lagartas de terceiro-quarto instar de *P. xylostella*, criadas em couve comum (*Brassica oleracea* var. *acephala*; Brassicaceae), foram utilizadas como hospedeiro para o parasitóide. Pedacões de folhas de couve contendo, em média, 15 lagartas de *P. xylostella* foram expostas a 15 fêmeas para o parasitismo durante 96h no interior de recipientes plásticos de 500 ml. Como alimento para os parasitóides, foi oferecida solução de mel a 30%. As pupas de *P. xylostella* obtidas foram transferidas para tubos de vidro (1 x 7,5 cm) até a emergência de adultos dos parasitóides, os quais foram alimentados com solução de mel oferecido na parede

interna do tubo. A população do parasitóide completou quatro gerações em laboratório por ocasião do início dos experimentos.

Produção da planta hospedeira. Folhas de couve utilizadas na criação de *P. xylostella* foram oriundas de plantas cultivadas sem o uso de inseticidas de cultivo estabelecido em Aldeia, Camaragibe, PE. As plantas de repolho utilizadas nos experimentos foram cultivadas em telado. Sementes de repolho 242 cultivar repolho 60 dias (Isla S.A., Porto Alegre, RS) foram semeadas em potes plásticos transparentes de 300 ml (Copobras, São Ludgero, SC), contendo solo e húmus. As plantas foram irrigadas diariamente e quando possuíam cinco a sete folhas foram utilizadas nos experimentos.

Atividade de parasitismo em relação à idade de *O. sokolowskii*. Fêmeas do parasitóide de diferentes idades: < 24h, 24-48h, 48-72h e 72-96h após emergência, previamente alimentadas, acasaladas e sem experiência de parasitismo, foram testadas individualmente. Inicialmente, foi introduzido em um tubo de vidro (2 cm de diâmetro x 8,5 cm de altura) um pedaço de folha de couve comum (2 x 1 cm) sobre papel de filtro do mesmo tamanho. Os pedaços de couve foram infestados com cinco lagartas de *P. xylostella* de terceiro e quarto ínstars, pois larvas são preferidas pelo parasitóide em comparação a pupas (Nakamura & Noda 2001). Em seguida, fêmeas de *O. sokolowskii* (n = 30) foram liberadas individualmente em cada tubo e observadas por 30 min. Após o término da observação, os tubos contendo o material biológico foram mantidos em laboratório até a formação das pupas, para a determinação da taxa de parasitismo.

O número de fêmeas que localizou-ovipositou o hospedeiro durante o período de observação, bem como a taxa de parasitismo das lagartas expostas aos parasitóides no período, foram comparados entre as diferentes idades das fêmeas liberadas com o objetivo de identificar a idade de maior atividade de parasitismo. Assim, a proporção de fêmeas observadas (n = 30) localizando o hospedeiro foi comparada entre as idades das mesmas utilizando o PROC FREQ do SAS

mediante teste de χ^2 . A porcentagem de lagartas parasitadas do total de lagartas ofertadas às fêmeas de diferentes idades foi submetida à análise de variância utilizando o PROC GLM do SAS, com subsequente Teste de Tukey HSD para a comparação de médias (SAS Institute 2000).

Capacidade de parasitismo de *O. sokolowskii* de acordo com a densidade de hospedeiro.

Fêmeas acasaladas do parasitóide com menos de 24h de idade foram inseridas individualmente em recipientes plásticos de 250 ml (Plaszom, Orleans, SC), com tampas apresentando abertura circular de 5 cm fechada com tela antiafídica. No interior dos potes foi colocado um disco de papel de filtro no fundo, sobre o qual foi colocado um pedaço (2 x 1 cm) de folha de couve manteiga da Georgia (Isla S.A., Porto Alegre, RS) e um filete de mel na parede do pote, sendo os parasitóides submetidos aos seguintes tratamentos: testemunha, caracterizada pela disponibilidade constante de hospedeiro (quatro lagartas/dia de 3^o-4^o instar de *P. xylostella*), e tratamento com disponibilidade randômica de hospedeiro, o qual consistiu em zero, uma, duas ou quatro lagartas de 3^o-4^o ínstars de *P. xylostella*, diariamente.

A cada 24h, a partir do primeiro dia de vida, cada fêmea recebeu ou não hospedeiros, de acordo com o seu tratamento. Para o tratamento randômico, foi construída uma tabela, via sorteio, onde foi determinado o número de lagartas oferecidas diariamente aos parasitóides. Por outro lado, os parasitóides do tratamento hospedeiro constante receberam diariamente o mesmo número de lagartas até a sua morte. Foi testado o total de 10 e 15 fêmeas para o tratamento hospedeiro constante e tratamento hospedeiro randômico, respectivamente.

Após a exposição ao parasitóide por 24h, as lagartas foram coletadas e acondicionadas em tubos de vidro contendo um pedaço de couve manteiga até a formação das pupas, para a determinação da taxa de parasitismo, do número de descendentes produzidos por hospedeiro parasitado e da mortalidade do parasitóide. Todas as pupas inviáveis, sem emergência do parasitóide ou mariposa, foram dissecadas para determinação da ocorrência ou não do parasitismo.

A sobrevivência dos parasitóides durante o experimento foi comparada entre tratamentos hospedeiro constante e randômico pelos testes de Log-Rank e Wilcoxon utilizando-se do método Kaplan-Meier via Proc LIFETEST do SAS. O número de lagartas parasitadas por *O. sokolowskii* foi submetido ao teste t, usando o PROC TTEST do SAS. O número de descendentes produzidos por lagarta parasitada foi submetido à análise de variância com medidas repetidas no tempo, utilizando o PROC ANOVA do SAS (SAS Institute 2000).

Atividade de *O. sokolowskii* de acordo com a fotofase e escotofase. O horário de maior atividade de parasitismo das fêmeas do parasitóide frente às condições de luz e escuro foi avaliado em 100 fêmeas do parasitóide com 48-72h de idade e provenientes das condições de luz estabelecidas para o experimento. Assim, 50 fêmeas após 12h de escuro (noite anterior) foram submetidas ao parasitismo por 12h de luz (dia consecutivo) e, da mesma maneira, 50 fêmeas do parasitóide mantidas em 12h de luz foram submetidas ao parasitismo de lagartas durante as 12h seguintes de escuro (noite consecutiva). As condições de luz e escuro foram obtidas mantendo os parasitóides em câmaras climatizadas com fotoperíodo ajustado às condições desejadas.

As fêmeas foram liberadas em arenas compostas de recipientes de plástico transparente de 500 ml (Copobras, São Ludgero, SC). No interior da arena foi introduzido um disco de folha de couve, com aproximadamente 8 cm de diâmetro, colocado sobre um disco de papel de filtro. Cada disco de folha de couve foi infestado com cinco lagartas de 3^o-4^o ínstars de *P. xylostella*. Foram utilizadas 10 repetições (cinco lagartas/recipientes, correspondendo cada recipiente a uma repetição) com a exposição total de 50 lagartas/tratamento. As fêmeas do parasitóide possuíam 48h de idade, estavam previamente acasaladas e alimentadas.

Com o término das 12h de exposição (luz ou escuro), as fêmeas foram retiradas e as lagartas mantidas no recipiente até a formação das pupas. Em seguida, as pupas foram individualizadas para a avaliação do parasitismo. Os dados obtidos foram submetidos ao teste t

utilizando o PROC TTEST do SAS para a comparação do parasitismo entre os regimes de exposição de luz ou escuro (SAS Institute 2000).

Atividade de parasitismo de *O. sokolowskii* ao longo da fotofase. Fêmeas do parasitóide com 48-72h de idade, previamente acasaladas e alimentadas com mel, foram submetidas à luz artificial nos diferentes intervalos de duração de fotofase após a escotofase (12h). A exposição do parasitóide a diferentes intervalos de luz foi obtida logo após o início da exposição à luz (dia): < 1, 3, 6 e 10h de exposição à luz após início do dia.

Após a exposição ao regime de luz específico, 30 fêmeas do parasitóide foram liberadas individualmente em tubo de vidro (2 cm de diâmetro x 8,5 cm de altura) contendo um pedaço de folha de couve comum (2 x 1 cm) sobreposto em papel de filtro do mesmo tamanho e observadas por 30 min. Esses pedaços de couve foram infestados com cinco lagartas de *P. xylostella* de 3^o-4^o ínstars. O número de fêmeas que localizou-ovipositou o hospedeiro foi comparado entre os diferentes grupos de fêmeas liberadas com o objetivo de identificar qual seria o período de maior atividade de parasitismo. Assim, a proporção de fêmeas (n = 30) expostas a cada tempo de luz após escuro localizando o hospedeiro foi comparada utilizando o PROC FREQ do SAS mediante teste de χ^2 (SAS Institute 2000).

Resultados

Fêmeas de *O. sokolowskii* foram capazes de localizar e parasitar lagartas de 3^o-4^o ínstars de *P. xylostella* alimentando-se de couve por 30 min, condições em que o número de hospedeiros disponíveis é constante e variável.

Atividade de parasitismo em relação à idade de *O. sokolowskii*. A atividade de parasitismo de *O. sokolowski* está relacionada à sua idade após emergência (Fig. 1A). Na maioria dos casos, o número de encontros entre fêmeas de *O. sokolowskii* e lagartas de *P. xylostella* aumentou com o

aumento da idade das fêmeas, sendo que aquelas com mais de 48h e até 96h de idade apresentaram maior número de encontros com o hospedeiro ($\chi^2 = 69,60$; $P < 0,0001$) (Fig. 1A). O maior número de encontros realizados entre 48h e 96h também resultou em maior porcentagem de parasitismo (Tabela 1).

Capacidade de parasitismo de *O. sokolowskii* de acordo com a densidade de hospedeiro. O número médio (\pm EP) de lagartas parasitadas por *O. sokolowskii* foi maior quando as vespas receberam diariamente um número constante de hospedeiro ($13,3 \pm 1,72$; máximo de 19 lagartas), comparado ao encontro randômico de hospedeiro ($8,9 \pm 1,02$; máximo de 15 lagartas) ($t_{23} = 2,35$; $P = 0,0275$). Entretanto, em ambos os tratamentos, fêmeas foram capazes de parasitar lagartas até 20 dias após a emergência (Fig. 2A).

O número de descendentes produzidos por fêmea decresceu com o avanço da sua idade, mas foi semelhante entre os tratamentos hospedeiro constante e randômico (Fig 2B, C). Da mesma forma, não houve diferença entre as condições de exposição de hospedeiro para o número de descendentes produzidos por lagarta parasitada ($F_{1, 19} = 0,34$; $P = 0,5670$) (Fig. 2C).

A longevidade média dos parasitóides foi de 33,5 e 34,7 dias para os tratamentos randômico e constante, respectivamente, não havendo diferença entre as curvas de sobrevivência pelos testes de Wilcoxon ($\chi^2 = 0,02$; $P = 0,86$) e Log-Rank ($\chi^2 = 0,22$; $P = 0,63$) (Fig. 3).

Atividade de *O. sokolowskii* de acordo com a fotofase e escotofase. O número médio (\pm EP) de lagartas parasitadas por *O. sokolowskii* durante 12h de luz e 12h de escuro foi, em média, 2,6 vezes maior no período de luz do que no de escuro ($1,3 \pm 0,30$ versus $0,5 \pm 0,34$ lagartas), diferindo apenas a 10% de significância ($F_{1, 18} = 3,10$; $P = 0,0901$).

Atividade de parasitismo de *O. sokolowskii* ao longo da fotofase. O tempo após exposição à luz afetou a atividade de parasitismo de *O. sokowloskii*. O número de vespas que realizou ao

menos um encontro e parasitou uma lagarta aumentou com o número de horas de exposição à luz, atingindo assíntota entre 3h e 6h de exposição à luz ($\chi^2 = 44,47$; $P < 0,0001$) (Fig. 1B).

Discussão

A maior atividade de *O. sokolowskii* e o aumento na taxa de encontro com o hospedeiro após certo desenvolvimento na fase adulta indicam que esse parasitóide necessita de um período de maturação sexual para que possa responder mais eficientemente ao hospedeiro, como observado para outras espécies (Persad & Hoy 2003, Amalin *et al.* 2005). Enquanto a idade ideal para parasitar com sucesso lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) varia de 48h a 96h para *Cotesia marginiventris* (Cresson) (Rajapakse 1992), para *Ceratogramma etiennei* Delvare, a idade ideal varia de um a dois dias após emergência (Amalin *et al.* 2005). Portanto, é importante saber a idade em que os parasitóides estão mais ativos e fecundos para tomar a decisão adequada sobre a idade ideal dos parasitóides a serem liberados em campo para obtenção de níveis significativos de parasitismo, bem como em estudos de comportamento em que a oviposição faz parte das variáveis em observação.

A exposição das fêmeas de *O. sokolowskii* a pelo menos 3h de luz, início da fotofase, serviu como estímulo para que elas aumentassem a atividade de busca pelo hospedeiro. Após o período inicial de exposição à luz, a atividade de busca se estabiliza durante o decorrer da fotofase, sendo a fêmea capaz de localizar o hospedeiro com eficiência durante o decorrer do dia, o que reforça a importância da consideração do tempo de exposição à luz para esse parasitóide. Além disso, mesmo não havendo diferenças entre a atividade de parasitismo na fotofase e escotofase para *O. sokolowskii*, possivelmente pela grande variação nos dados, os resultados indicam maior atividade diurna do parasitóide, já que o número médio de lagartas parasitadas na fotofase foi 2,3 vezes maior do que durante a escotofase. Similarmente, maior atividade diurna de parasitismo foi

observada para vários Hymenoptera Parasítica (Gauld 1991, Jervis & Copland 1996, Lewis & Whitfield 1999, Tunçbilek & Ayvaz 2003). Assim, é mais provável que, no campo, o parasitismo de *P. xylostella* por *O. sokolowskii* ocorra mais intensamente durante a fotofase, especialmente, no seu início, visto que outros fatores abióticos não testados, como o aumento da temperatura e do vento com o decorrer do dia, podem afetar a atividade de parasitóides (Saavedra *et al.* 1997, Sagarra *et al.* 2000).

A simulação de imprevisibilidade de hospedeiros por encontros randômicos não interferiu no comportamento de parasitismo como esperado. O número de hospedeiros parasitados não aumentou após as fêmeas serem submetidas à escassez de hospedeiros nos dias anteriores (dado não apresentado para fêmeas recebendo diferentes números de hospedeiros randomicamente). A estratégia de parasitismo foi similar entre tratamentos randômico e constante, com decrescente número de lagartas parasitadas ao longo do tempo, e não apresentando resposta de incremento da taxa de parasitismo após serem submetidos à condição de escassez de hospedeiros em resposta à imprevisibilidade de encontros com hospedeiros viáveis. Esse fato poderia explicar o maior número de lagartas parasitadas por *O. sokolowskii* na presença diária de um número constante de hospedeiros a partir da emergência, pois o número de hospedeiros parasitados por dia sempre variou abaixo do total de hospedeiros ofertados, seja na condição de disponibilidade constante ou randômica.

Por outro lado, não houve diferença na produção de descendentes entre os tratamentos, indicando a resposta de compensação do parasitóide pela inconstância na disponibilidade de hospedeiro, depositando mais ovos quando hospedeiros estão disponíveis. Esses resultados foram similares aos encontrados por Wang *et al.* (1999) (média de 13,2 lagartas parasitadas), quando fêmeas de *O. sokolowskii* receberam o número constante de cinco lagartas por dia a 25°C. Sabe-se que parasitóides são capazes de ajustar o número de ovos depositados e a razão sexual de seus

descendentes de acordo com a disponibilidade de hospedeiro (Godfray 1994). Em condições de campo, é mais provável que os parasitóides encontrem um número variável de hospedeiros disponíveis em função da sua abundância, idade apropriada ao parasitismo, de estarem parasitados ou, até mesmo, infectados por organismos entomopatogênicos. Isso pode resultar em menor taxa de parasitismo, mudança da razão sexual dos descendentes, mas ser compensado em maior número de descendentes produzidos por hospedeiro.

Ao contrário do que se esperava, a disponibilidade do hospedeiro não afetou a longevidade e atividade de parasitismo dos parasitóides. Além disso, a ocorrência do mesmo padrão de parasitismo entre tratamento constante e randômico mostrou que fêmeas de *O. sokolowskii* parasitam poucas lagartas por dia, independente da variabilidade de encontro com o hospedeiro. Isso pode significar que *O. sokolowskii* exibe uma estratégia de baixo parasitismo diário, indicando uma adaptação à condição de imprevisibilidade de hospedeiros no campo. Outra hipótese relacionada à condição de baixa taxa de parasitismo diário é a produção e maturação de ovos ao longo da vida adulta, como no caso de parasitóides sinovigênicos (Quicke 1997, Papaj 2000), não havendo, portanto, interferência da variabilidade da disponibilidade de hospedeiros.

No entanto, em condições de campo é possível que a escassez de hospedeiros viáveis ao parasitismo estimule o parasitóide a continuar procurando por hospedeiros por um período maior de tempo, controlando a ovulação e a reabsorção de seus ovos, e aumentando sua longevidade. Estudos com diferentes insetos têm mostrado que organismos que investem mais em reprodução podem ter redução na longevidade como resultado de um balanço energético entre reprodução e sobrevivência (Reznick 1985, Bell & Koufopanou 1986, Stearns 1992). Apesar de existir pouca evidência da existência desse balanço em Hymenoptera Parasitica, Hohmann & Luck (2004) mostraram que ele existe em *Trichogramma platneri* Nagarkatti, sugerindo que parasitóides devem alocar mais recursos para sobrevivência para aumentar o tempo de busca do hospedeiro

quando tais hospedeiros são escassos. No caso de *O. sokolowskii*, ainda são necessários mais estudos para se confirmar ou não a existência desse balanço.

Wang *et al.* (1999) e Ooi (1988) encontraram que fêmeas de *O. sokolowskii* viveram em média 12,4 e 11,1 dias e produziram descendentes até o 13^o e 10^o dia, respectivamente. Essa menor longevidade e reprodução em relação aos nossos resultados podem estar associadas às diferenças na história de vida das diferentes linhagens do parasitóide utilizadas nos estudos, bem como a variáveis experimentais não controladas, como a manipulação do material biológico. Populações de *O. sokolowskii* de Hangzhou, China, entram em quiescência durante o inverno (Liu *et al.* 1997), diferentemente da linhagem do Agreste de Pernambuco, que não deve apresentar quiescência devido à baixa variabilidade das condições climáticas durante o ano, e também pelo fato de ser constatado parasitismo de *P. xylostella* em todas as estações, indicando possíveis diferenças de estratégia de vida entre linhagens.

Com base nos resultados encontrados, caso seja necessário liberar *O. sokolowskii* no campo para o controle da traça-das-crucíferas, as liberações devem considerar a utilização de parasitóides de 48-72h de idade e conduzidas antes das primeiras horas de luz, facilitando a adaptação do parasitóide às condições ambientais pelo aumento gradativo da temperatura e luminosidade na madrugada do dia seguinte, e estimulando sua dispersão gradual em busca de hospedeiros na área alvo, no entorno ao ponto de liberação. Por questões práticas, no Agreste de Pernambuco, sugere-se a liberação de fêmeas de 48-72h de idade *O. sokolowskii*, levadas ao campo na noite anterior e acondicionadas em recipientes abertos apenas no momento de sua colocação em áreas experimentais de repolho e couve orgânica. Essa técnica de liberação evita a dispersão imediata das fêmeas do parasitóide, uma vez que as mesmas são inativas durante a escotofase.

Agradecimentos

A Maria T Lavor e José Menezes Jr. pela ajuda nas observações e Manoel Guedes C. Gondim Jr. (UFRPE) e ao editor da revista pelas sugestões no manuscrito. A FACEPE pela bolsa BPD-0013-5.01/05 e a CAPES pelo apoio via projeto PROCAD No. 83054.

Literatura Citada

- Amalin, D.M., J.E. Peña & R.E. Duncan. 2005.** Effects of host age, female parasitoid age, and host plant on parasitism of *Ceratogramma etiennei* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Fla. Entomol. 88: 77-82.
- Bai, B. & S.M. Smith. 1993.** Effect of host availability on reproduction and survival of the parasitoid wasp *Trichogramma minutum*. Ecol. Entomol. 18: 279-286.
- Barros, R., I.B. Albert Jr, A.J. Oliveira, A.C.F. Souza & V. Loges. 1993.** Controle químico da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em repolho. An. Soc. Entomol. Brasil 22: 463-469.
- Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). An. Soc. Entomol. Brasil 28: 469-476.
- Bell, G. & V. Koufopanou. 1986.** The cost of reproduction. Oxford Surv. Evol. Biol. 3: 83-131.
- Castelo Branco, M. & A.L. Guimarães. 1990.** Controle da traça-das-crucíferas em repolho. Hortic. Bras. 8: 24-25.
- Castelo Branco, M. & M.A. Medeiros. 2001.** Impact of insecticides on diamondback moth parasitoids on cabbage fields in the Federal District of Brazil. Pesqu. Agropecu. Bras. 36: 7-13.

- Castelo Branco, M., F.H. França, M.A. Medeiros & J.G.T. Leal. 2001.** Uso de inseticidas para o controle da traça-do-tomateiro e traça-das-crucíferas: um estudo de caso. *Hortic. Bras.* 9: 60-63.
- Ferreira, S.W.J. Barros R. & J.B. Torres. 2003.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neotrop. Entomol.* 32: 407-411.
- Ferronato, E.M.O. & M. Becker. 1984.** Abundância e complexo de parasitóides de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) em *Brassica oleracea* L. Var. *Acephala* D.C. *An. Soc. Entomol. Brasil* 13: 261-278.
- Fitton, M. & A. Walker. 1992.** Hymenopterous parasitoids associated with diamondback moth: the taxonomic dilemma, p. 225-232. In N.S. Talekar (ed.), *Diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the second international workshop.* Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan, 453p.
- Gauld, I.D. 1991.** The Ichneumonidae of Costa Rica, 1. *Mem. Am. Entomol. Inst.* 47: 1-589.
- Godfray, H.C.J. 1994.** *Parasitoids.* Princeton University Press, Princeton, 473p.
- Hohmann, C.L. & R. Luck. 2004.** Effect of host availability and egg load in *Trichogramma platneri* Nagarkatti (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and its consequences on progeny quality. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 47: 413-422.
- Honda, T. & Y. Kainoh. 1998.** Age-related fecundity and learning ability of the egg-larval parasitoid *Ascogaster reticulatus* Watanabe (Hymenoptera: Braconidae). *Biol. Control* 13: 177-181.
- Jervis, M.A. & M.J.W. Copland. 1996.** The life cycle, p.63-160. In M. A. Jervis & N. Kidd (eds.), *Insect natural enemies: practical approaches to their study and evaluation.* Chapman & Hall, London, 491p.

- Larios, G.L.B., K. Ohno & F. Fukuhara. 2007.** Effects of photoperiod and temperature on preimaginal development and summer diapause of *Chrysocharis pubicornis* (Zetterstedt) (Hymenoptera: Eulophidae), a pupal parasitoid of leafminers (Diptera: Agromyzidae). *Appl. Entomol. Zool.* 42: 189-197.
- Lewis, C.N. & J.B. Whitfield. 1999.** Braconid wasp (Hymenoptera: Braconidae) diversity in forest plots under different silvicultural methods. *Environ. Entomol.* 28: 986-997.
- Liu, S.S., X.G. Wang, S.J. Guo, J.H. He & H.M. Song. 1997.** A survey of insect parasitoids of *Plutella xylostella* and the seasonal abundance of the major parasitoids in Hangzhou, China, p.61-66. In *The management of diamondback moth and other crucifer pests – Proceedings of the Third Workshop.* MARDI, Malaysia.
- Loges, V. 1996.** Danos causados pela traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) em cultivares de repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* (L) e efeito sobre a população da praga e do parasitóide *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov, 1912), em condições de campo. Dissertação de Mestrado, UFRPE, Recife, 98p.
- Mushtaque, M. 1990.** Some studies on *Tetrastichus sokolowskii* Kurd (Eulophidae: Hymenoptera), a parasitoid of diamondback moth in Pakistan. *Pak. J. Zool.* 22: 37-43.
- Nakamura, A. & T. Noda. 2001.** Host-age effects on oviposition behavior and development of *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae), a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Entomol. Zool.* 36: 367-372.
- Ooi, P.A.C. 1988.** Laboratory studies of *Tetrastichus sokolowskii*. *Entomophaga* 33: 145-152.
- Papaj, D.R. 2000.** Ovarian dynamics and host use. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 423-448.
- Persad, A.B. & M.A. Hoy. 2003.** Manipulation of female parasitoid age enhances laboratory culture of *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Aphidiidae) reared on *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). *Fla. Entomol.* 86: 429-436.

- Quicke, D.L.J. 1997.** Parasitic wasps. Chapman & Hall, London, 470p.
- Rajapakse, R.H.S. 1992.** Effect of host age, parasitoid age, and temperature on interspecific competition between *Chelonus insularis* Cresson, *Cotesia marginiventris* Cresson and *Microplitis manilae* Ashmead. Insect Sci. Appl. 13: 87-94.
- Reznick, D. 1985.** Costs of reproduction: an evaluation of the empirical evidence. Oikos 44: 257-267.
- Saavedra, J.L.D., J.B. Torres & M.G. Ruiz. 1997.** Dispersal and parasitism of *Heliothis virescens* eggs by *Trichogramma pretiosum* (Riley) in cotton. Int. J. Pest Manage. 43: 169-171.
- Sagarra, L.A., C. Vincent, N.F. Peters, R.K. Stewart. 2000.** Effect of host density, temperature, and photoperiod on the fitness of *Anagyrus kamali*, a parasitoid of the hibiscus mealybug *Maconellicoccus hirsutus*. Entomol. Exp. Appl. 96: 141-147.
- SAS Institute. 2000.** SAS User's guide: statistic version 8 for Windows. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Stearns, S.C. 1992.** The evolution of life histories. Oxford, Oxford University Press, 262p.
- Talekar, N.S. 1992.** Diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the Second International Workshop, 1990. Shanhua, Taiwan, Asian Vegetable Research and Development Center, 603p.
- Talekar, N.S. & W.J. Hu. 1996.** Characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Oomyzus sokolowskii* (Hym., Eulophidae). Entomophaga 41: 45-52.
- Tatsumi, E. & H. Takada. 2005.** Effects of photoperiod and temperature on adult oligopause of *Aphelinus asychis* and larval diapause of *A. albipodus* (Hymenoptera: Aphelinidae). Appl. Entomol. Zool. 40: 447-456.

- Tunçbilek, A.S. & A. Ayvaz. 2003.** Influences of host age, sex ratio, population density, and photoperiod on parasitism by *Trichogramma evanescens* Westw. (Hym., Trichogrammatidae). J. Pest Sci. 76: 176-180.
- Wang, B. & D.N. Ferro. 1998.** Functional response of *Trichogramma ostinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) under laboratory and field conditions. Environ. Entomol. 27: 752-758.
- Wang, X., S. Liu, S. Guo & W. Lin. 1999.** Effect of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. Biocontrol 44: 391-402.

Tabela 1. Parasitismo (porcentagem média \pm EP) de lagartas de *Plutella xylostella* por fêmeas inexperientes e acasaladas de *Oomyzus sokolowskii* com diferentes idades (n = 30 fêmeas).

Idade do parasitóide	Parasitismo
< 24h	67,5 \pm 3,96 b
24-48h	80,2 \pm 3,79 ab
48-72h	82,2 \pm 4,46 a
72-96h	91,8 \pm 3,29 a
Estatística (F _{GL} , P)	F _{3, 112} = 6,58; P = 0,0004

Valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey.

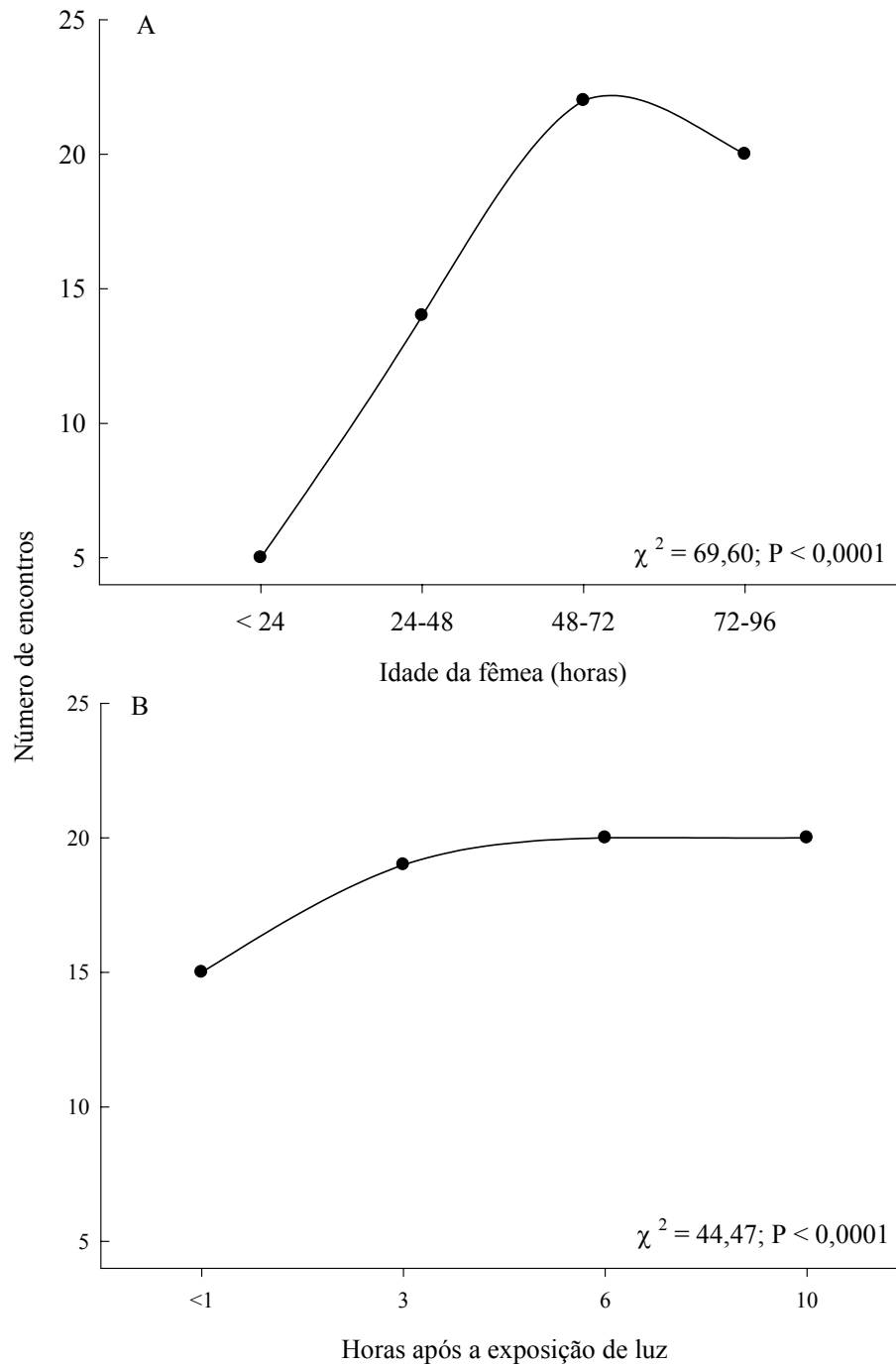


Figura 1. Número de encontros de lagartas de *Plutella xylostella* com fêmeas de *Oomyzus sokolowskii* com diferentes idades (A) e tempo decorrido da fotofase (B).

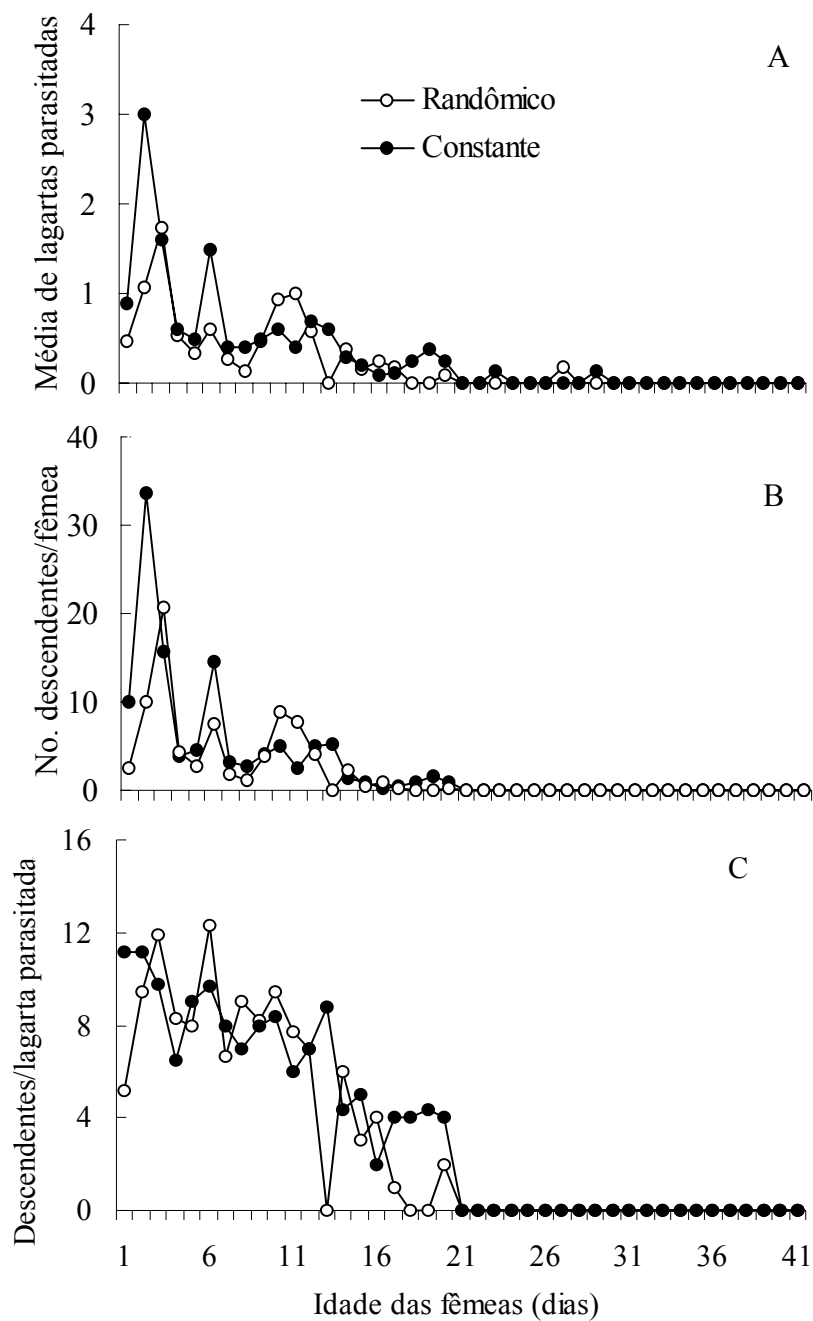


Figura 2. Número médio de lagartas de *Plutella xylostella* parasitadas ao longo do tempo nos tratamentos randômico e constante (A); número total de descendentes produzidos pelo parasitóide *Oomyzus sokolowskii* ao longo do tempo (B) e; número médio de descendentes produzidos por lagarta parasitada (C).

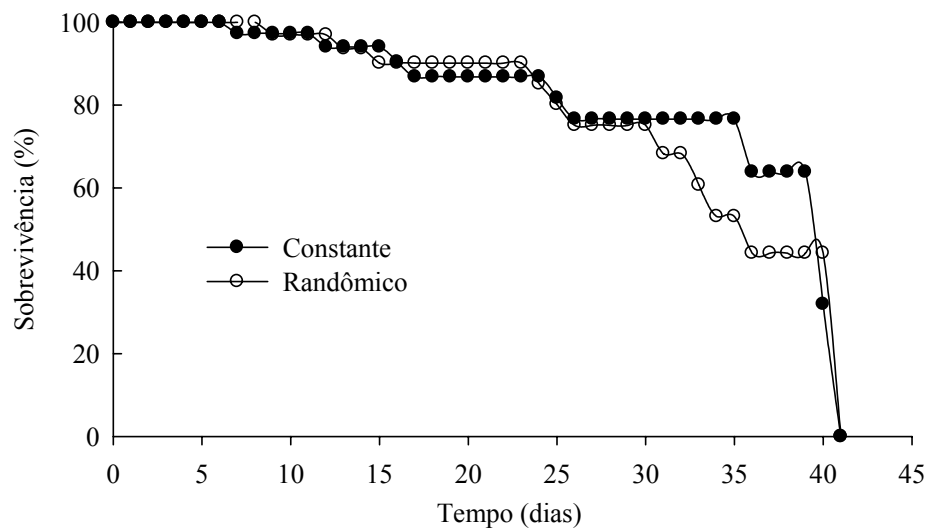


Figura 3. Sobrevivência de fêmeas de *Oomyzus sokolowskii* submetidas à exposição constante ou randômica de hospedeiro (lagartas de *Plutella xylostella*) até a morte. Não existe diferença entre as curvas de sobrevivência através dos testes de Wilcoxon ($\chi^2 = 0,02$; $P = 0,86$) e Log-Rank ($\chi^2 = 0,22$; $P = 0,63$).

CAPÍTULO 3

SUPERPARASITISM AND HOST SIZE EFFECTS IN *Oomyzus sokolowskii*, A PARASITOID OF DIAMONDBACK MOTH

CHRISTIAN S.A. SILVA-TORRES, IZEUDO T. RAMOS-FILHO, JORGE B. TORRES E REGINALDO
BARROS

Departamento de Agronomia – Entomologia. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois
Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil.

¹Silva-Torres, C.S.A., I.T. Ramos-Filho, J.B. Torres & R. Barros. 2009. Superparasitism and host size effects in the gregarious parasitoid wasp *Oomyzus sokolowskii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 133: 65-73.

EFEITO DO SUPERPARASITISMO E TAMANHO DO HOSPEDEIRO EM *Oomyzus*

sokolowskii, UM PARASITÓIDE DA TRAÇA-DAS-CRUCÍFERAS

RESUMO – Muitos aspectos da biologia de um parasitóide podem ser afetados pelo seu hospedeiro. O tamanho do hospedeiro, por exemplo, poderia afetar o seu desempenho, especialmente para parasitóides gregários, no qual o recurso é utilizado por múltiplos indivíduos. *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjmov) (Hymenoptera: Eulophidae) é um endoparasitóide gregário de larva e pupa da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), a principal praga das brássicas no mundo, sendo também capaz de superparasitar seu hospedeiro. Este estudo foi focado na hipótese que por causa da disponibilidade de recurso ser maior em hospedeiros de maior tamanho, parasitóides que se desenvolverem em hospedeiros maiores irão se beneficiar. No entanto, espera-se que hospedeiros superparasitados produzam mais descendentes de parasitóides com menor tamanho. Resultados mostraram que o superparasitismo aumentou o número de descendentes produzidos por hospedeiro e a longevidade destes descendentes, mas com redução do tamanho do corpo. No entanto, a duração do desenvolvimento e razão sexual dos descendentes foi semelhante entre hospedeiros parasitados uma, duas ou três vezes. Independente do superparasitismo, os parasitoides que emergiram de hospedeiros maiores e que foram alimentados com solução de mel viveram mais que os descendentes de hospedeiros menores e alimentados de forma semelhante (36,4 vs. 22,1 dias). Os resultados suportam parcialmente a hipótese que *Oomyzus* melhorou o seu desempenho com o aumento do tamanho do hospedeiro. Além disso, o superparasitismo parece ser vantajoso para *Oomyzus* devido ao aumento do número e longevidade dos seus descendentes.

PALAVRAS-CHAVE: Competição intraespecífica, qualidade do hospedeiro, parasitóide gregário, tamanho do hospedeiro, traça-das-crucíferas, controle biológico.

ABSTRACT – Many aspects of a parasitoid’s biology may be affected by its host. Host size, for example, could affect parasitoid fitness, especially in gregarious parasitoids, in which the resource is used by multiple siblings. *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) is a gregarious larval-pupal endoparasitoid of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), a major pest of crucifers worldwide, and is able to superparasitize the host. This study focuses on the hypothesis that because resource availability is higher in larger hosts, parasitoids developing in larger hosts will fare better. However, superparasitized hosts are expected to yield larger numbers of parasitoid offspring of smaller body size. Results showed that superparasitism increased the number of parasitoid offspring produced per host and increased offspring longevity, but decreased offspring body size. However, developmental time and sex ratio of parasitoid offspring was similar among hosts parasitized once, twice, or three times. Regardless of superparasitism, parasitoids emerging from larger hosts that were fed honey solution lived longer than similarly-fed progeny from smaller hosts (36.4 vs. 22.1 days). The results partially support the hypothesis that *Oomyzus* gained fitness from an increase in host size; moreover, superparasitism seems advantageous for *Oomyzus* due to increased offspring numbers and longevity.

KEY WORDS: Intraspecific competition, host quality, gregarious parasitoid, host size, diamondback moth, biological control

Introduction

Biological control of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), has been pursued by many applied entomologists because this cosmopolitan pest is the most important worldwide pest of cruciferous plants (Sarfraz *et al.* 2005). Furthermore, populations of diamondback moth have become resistant to most classes of insecticides (Nemoto 1986; Li *et al.* 2006), including advanced pest control technology such as *Bacillus thuringiensis* applications (Tabashnik *et al.* 1998). The larval-pupal endoparasitoid *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) is of particular interest in this respect. This parasitoid has been found naturally parasitizing *P. xylostella* worldwide (Ooi 1988, Mushtaque 1990, Finton & Walker 1992, Talekar & Hu 1996, Wang *et al.* 1999, Ferreira *et al.* 2003). Because larval and pupal stages of its host occur concurrently in large numbers on the same plant and host generations overlap, this parasitoid has the opportunity to select different host sizes in the same patch. Furthermore, superparasitism (i.e., sequential ovipositions by more than one female) occurs (Mushtaque 1990). However, despite the potential significance for biological control of parasitism of different host ages and superparasitism, such as increased chance of controlling hosts of different sizes and stages, as well as producing larger number of parasitoids per host, respectively, there is little data on the impact of these variables on the life history of *O. sokolowskii*.

Hosts can exert a variety of effects on a parasitoid's biology, including changes in oviposition rate, offspring longevity, sex ratio, body size, and fecundity (Silva-Torres & Matthews 2003). These traits are often used to measure the efficiency of a parasitoid. According to Hassell (2000), host selection and, hence, exploitation of host resources by parasitoids have major effects on their fitness. Based on aspects assessed in our study, we will express fitness as number, sex ratio, developmental time, body size, and longevity of reproductive offspring

produced.

The concept of ‘host-quality’ is based on the amount of food available inside the host for the developing larval parasitoids, thus a high-quality host usually means a larger one (Hardy *et al.* 1992, Zaviezo & Mills 2000). Greater resource availability in ‘high-quality hosts’ is expected to promote larval survival and to produce offspring with larger body size and with higher fecundity rates than parasitoids emerged from ‘low-quality’ hosts (King 2000).

The reproductive capacity of a parasitoid is usually related to its size at emergence (Hardy *et al.* 1992, Fidgen *et al.* 2000); therefore, ultimate fitness can be predicted by immature survival, body size of emerged adults, and their longevity (Godfray 1994). In gregarious parasitoids, production of offspring is frequently correlated with size of the host (Zaviezo & Mills 2000), as larger hosts yield larger individuals, assuming that the number of offspring and their sex ratio is constant. In the laboratory, experiments with various species of parasitoids under different circumstances have shown high variance in offspring production and in other indirect fitness traits, such as body size, sex ratio, and fecundity (Freeman & Ittyeipe 1982, Godfray 1994, Ueno 1999, Silva-Torres & Matthews 2003). Resource availability is assumed to be higher in larger hosts. For some parasitoids, there is evidence that greater resource availability (large host size) increases size and fitness of the offspring (Hardy *et al.* 1992, Zaviezo & Mills 2000).

Another characteristic that correlates with host quality is whether that host has been parasitized previously. The embryos developing in superparasitized hosts might compete for resources (van Alphen & Visser 1990, Godfray 1994). Theoretically, as the number of parasitoid eggs increases per unit of host, the fitness of each individual developing in that host will decrease (Charnov & Skinner 1984). Thus, to identify a suitable host and to adjust the number of offspring produced is of great importance and has consequences for the fitness of a gregariously-developing parasitoid. Many parasitoid species have the ability to discriminate between

parasitized and unparasitized hosts (Ueno & Tanaka 1994, Bell *et al.* 2005), but this discrimination does not necessarily lead to avoidance of superparasitism (Burton-Chellew *et al.* 2008). Furthermore, superparasitism usually results in larger numbers of offspring with smaller size and shorter adult longevity (Gu *et al.* 2003, Silva-Torres & Matthews 2003, Keasar *et al.* 2006). Therefore, gregariousness and superparasitism can adversely affect parasitoid fitness. On the other hand, such negative effects of gregariousness and superparasitism can be counteracted or counterbalanced by summing the total fitness of all individuals in a clutch (Vet *et al.* 1994). Thus, in cases where hosts are rare and parasitoid egg load is large, superparasitism may be advantageous (Weisser & Houston 1993, Yamada & Miyamoto 1998).

This work was designed to investigate the effects of host size and superparasitism on *O. sokolowskii* offspring's developmental time, number, sex ratio, size, and longevity under laboratory conditions. The following predictions were tested. (1) Females ovipositing in large hosts will have more offspring than females ovipositing in small hosts because resource availability is higher in larger hosts. Offspring developing in larger hosts will exhibit shorter developmental time, larger size, and greater longevity than offspring originating from small hosts. (2) Females will accept previously parasitized hosts, and superparasitism will increase the number of offspring per host, but offspring will develop more slowly, stay smaller, and live shorter than offspring originated from singly parasitized hosts of the same size.

Material and Methods

Parasitoid-host system studied. *Oomyzus sokolowskii* is a gregarious koinobiont parasitoid. It parasitizes any larval instar and pupa of the diamondback moth, and after parasitism, the host continues to grow (Talekar & Hu 1996, Wang *et al.* 1999). An average of 12 wasps can develop in a parasitized host (Ferreira *et al.* 2003). The period from parasitism to adult emergence lasts

from 13.4 to 26.5 days, depending on temperature (Wang *et al.* 1999, Ferreira *et al.* 2003). In Brazil, *O. sokolowskii* was found in Rio Grande do Sul State (Ferronato & Becker 1984), Pernambuco State (Loges 1996), and Distrito Federal (Castelo Branco & Medeiros 2001). The level of parasitism can be high: Loges (1996) found up to 97% parasitism of *P. xylostella* in late-season cabbage fields near harvest.

Insect cultures. Experiments were conducted in the Department of Agronomy of the Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Brazil. Larvae of *P. xylostella* were obtained from cultures started with field-collected material in 2005, and maintained in the Biological Control and Insect Ecology Laboratory according to Barros *et al.* (1993) and were of the 45th generation. The parasitoid cultures were established from parasitized larvae and pupae of the diamondback moth collected in an organic field of Chinese kale (*Brassica campestris* L.; Brassicaceae) located in Chã-Grande County (coordinates: 505m altitude, 08°15'14.4'' S, 35°30'0.3'' W), Pernambuco State, and when tested they were of the 50th generation. After parasitoid emergence, cultures were reared using laboratory-reared *P. xylostella* larvae, and maintained at 25.5 ± 1.2 °C, $67 \pm 12\%$ r.h., and L13:D11. Naïve, mated, and fed *O. sokolowskii* females (2-4 days old) were used in the experiments.

Superparasitism of *Oomyzus sokolowskii* in hosts of two sizes. Second and early fourth instars larvae of *P. xylostella* within weight ranges of 2-3 and 7-8 mg, respectively (hereafter considered as small and large host size), were treated to one, two, or three ovipositions. Each *P. xylostella* larva was placed in a glass vial (2.0 × 8.5 cm) containing a piece of kale [*Brassica oleracea* L. var. *acephala* (Brassicaceae)] placed over a piece of filter paper, both measuring 2.0 × 1.0 cm; the filter paper was added to absorb excess humidity and larval feces. One parasitoid female was released inside the vial, which was then closed with plastic film (Alpfilm™, São Paulo, SP,

Brazil). Parasitoid behavior was observed continuously until an oviposition event was completed, as signaled by the parasitoid female inserting her ovipositor into the larva and keeping it inserted for more than 1 min (Mushtaque 1990). This time criterion was necessary because the wasp also stings the host to feed on hemolymph, but then it retracts its ovipositor quickly. Immediately after completing oviposition, the wasp was removed from the vial.

To obtain superparasitism, immediately after the first oviposition, the same procedure was followed with a second and then a third female wasp. A total of 29, 20, and 22 (large hosts) and 28, 25, and 19 (small hosts) replications were measured for one, two, and three ovipositions, respectively.

After parasitization, the hosts were reared on kale leaves. Adult emergence was recorded for both *P. xylostella* moths and parasitoids to estimate parasitism rate, developmental time from host exposure to wasp emergence, number of live offspring produced from each parasitized host (hereafter considered as successful brood size), sex ratio, offspring body size (based on measurements of forewing and hind tibia), and offspring adult longevity. To measure offspring longevity, wasps of each treatment were divided into two groups: those deprived of food and those fed with 50% diluted honey. In addition, a sample of 30 parasitoid females was randomly collected from each treatment to measure forewing and hind tibia lengths. Measurements were made using a micrometer scale (0.01 mm), attached to the ocular of a light microscope (10-40 \times , Zeiss; Indústria Brasileira, São Paulo). Host larvae from which no wasps or adult *P. xylostella* emerged were dissected to verify parasitization.

Statistical analysis. Data was tested for normality (Kolmogorov D: normal test) and homogeneity of variance (Bartlett's test) prior to analysis. The number of live offspring per host and developmental time were analyzed using covariance analysis (ANCOVA) with host size as co-factor. Sex ratio (the proportion of females in the secondary clutch per host) and wing and

hind tibia lengths were analyzed using two-way ANOVA with host size and number of ovipositions as main effects. Survival was analyzed using three-way ANOVA with host size, number of ovipositions, and food source as main effects. All procedures were performed using SAS software (SAS Institute 2000).

Results

Regardless of host size, *O. sokolowskii* females were able to superparasitize *P. xylostella*. Moreover, the average number (\pm SE) of offspring produced per host was similar in large (14.7 ± 1.47) and small hosts (15.8 ± 1.49) (Table 1). With both host sizes, increased number of ovipositions per host increased parasitoid offspring produced per host ($F_{1,92} = 26.78$, $P < 0.0001$; Fig. 1). In fact, the average number of offspring produced per host doubled when hosts were oviposited three times, relative to singly oviposited hosts (Fig. 1).

Offspring sex ratio (females / females + males) was similar, regardless of host size and number of ovipositions (Table 1), varying from 0.71 to 0.80 for large hosts, and from 0.69 to 0.77 for small hosts. Host size and number of ovipositions per host did not significantly affect offspring developmental time (Table 1) and the average (\pm SE) developmental time was 17.03 ± 1.87 days. Nonetheless, there was a significant decrease in developmental time as the number of offspring produced per host increased, regardless of the number of ovipositions (for small host: $F_{1,40} = 9.22$, $P = 0.0042$; for large host: $F_{1,50} = 38.84$, $P < 0.0001$; Fig. 2).

Forewing and hind tibia lengths demonstrated that offspring emerging from large hosts were on average significantly larger than those emerging from small hosts (Table 1; Fig. 3). In contrast, superparasitism significantly reduced offspring body size (Table 1, Fig. 3). These two variables interacted significantly (Table 1). Offspring from a single oviposition in larger hosts

were as large as or larger than parasitoids from the other treatments and those emerged from a small host with three ovipositions were smaller than those of any other treatment group (Fig. 3).

Host size also had a significant positive effect on parasitoid offspring longevity. Parasitoid offspring from large hosts lived longer [average (\pm SE) longevity: 20.1 days] than those emerging from small hosts (12.4 days) and the difference was significant ($F_{1, 323} = 77.43$, $P < 0.0001$). Parasitoid offspring longevity was also affected by superparasitism ($F_{2, 323} = 22.09$, $P < 0.0001$). In fact, superparasitism slightly increased offspring longevity (Fig. 4). Simulated nectar feeding was the single most important factor in parasitoid offspring longevity. Longevity of adult parasitoid offspring was up to eight times greater when adult parasitoids had access to diluted honey (Table 1, Fig. 4). There was a significant interaction among food provisioning, host size, and number of oviposition per host for offspring longevity (Table 1). Honey-fed parasitoid offspring from large hosts lived significantly longer than individuals in any other group (Fig. 4). The data also suggest that there might be some sort of optimum number of developing offspring per host, as fed offspring from two ovipositions lived longer than fed offspring from one or three ovipositions in larger host ($F_{2, 77} = 6.44$, $P = 0.0026$; Fig. 4).

Discussion

The extent of *O. sokolowskii* superparasitism in *P. xylostella* in the field has not been well documented, but our results confirmed that it readily occurs in the laboratory. Naive females readily accepted a parasitized host regardless of its size, but superparasitism may be a consequence of host limitation, as wasps were offered a host previously parasitized by a conspecific. Parasitoids are more likely to accept parasitized hosts after they had encountered parasitized hosts repeatedly (host limitation), when carrying large egg loads, or when near the end of their reproductive period (Clarck & Mangel 2000, Keasar *et al.* 2006). Here we used

young mated naïve females of *O. sokolowskii* and offered them previously parasitized hosts. Mushtaque (1990) also found that when offered only one host, up to five *O. sokolowskii* stung the host simultaneously. Lack of discrimination against previously parasitized hosts could have implications in the context of augmentative releases of *O. sokolowskii* to control *P. xylostella*. If superparasitism results in an increase in numbers of parasitoid offspring produced per host depending on the ‘host quality’ at oviposition time, than discrimination ability is not necessary. This fact has consequences for the parasitoids’ functional response, as they can use the same host several times and superparasitism could increase the size of the parasitoid population in the field.

It is commonly asserted that parasitoid females are capable of distinguishing variations in host size and/or superparasitism and adjusting their clutch size accordingly. For example, changes in offspring numbers in response to host size have been demonstrated for *Copidosoma koehlerii* Blanchard (Kearse *et al.* 2006), *Eulophus pennicornis* (Nees) (Bell *et al.* 2005), and *Hyssopus pallidus* (Askew) (Zaviezo & Mills 2000). However, although Nakamura & Noda (2002) previously found that fecundity and adult emergence of *O. sokolowskii* increased with host age (hence, host size), our study failed to confirm this. In fact, when we considered only host size (within one, two, or three ovipositions per host) there was no significant difference in the number of offspring produced, suggesting that *O. sokolowskii* may not be able to evaluate the host size promptly when other host aspects, such as superparasitism, are involved. This makes sense, considering that *O. sokolowskii* parasitizes larvae of *P. xylostella* in different instars (i.e., size) up to pupal stage.

Superparasitism significantly affected the number of offspring produced (secondary clutch considered here as successful brood); three successive ovipositions on a host resulted in a two-fold increase in emerging parasitoid offspring. When considering only small hosts, the number of offspring produced per host was already doubled after two ovipositions, as we expected (data not

shown), but for large hosts the doubling only became apparent at three ovipositions. For augmentative biological control, superparasitism could be beneficial because it could quickly increase the numbers of parasitoids in the field, but further studies are needed to address the question of clutch size adjustment, because females could reduce the number of eggs laid when they find a previously parasitized host.

The size of the host (resource quantity) affected offspring body size. As host size increased, offspring body size increased as well. Another variable that could be significant here is host age (or resource quality), as the host sizes (small and large) used in this study were linked with different instars, viz., second and early fourth, respectively. Therefore, host age could also play a role in offspring body size. This is suggested by the fact that the differences in offspring body size remained consistent regardless of superparasitism status. Parasitoids emerging from small hosts were significantly smaller than those emerging from large hosts. In another study, Noda & Nakamura (2004) also found a positive relationship between host size and adult size of *O. sokolowskii*.

According to Harvey *et al.* (2004), larger hosts are expected to be more profitable than small ones, because they have more resources available for the developing offspring. Hence, solitary idiobiont wasps developing in such hosts are expected to be larger than wasps developing in small hosts, and have higher fitness because size is positively correlated with fecundity and longevity. Although *O. sokolowskii* is a gregarious koinobiont species, this idea of larger host-more profitability also seems to apply here as can be concluded from the results for body size and longevity. Small hosts may either contain insufficient resources to allow a complete development, or adult wasps may exhibit abnormalities that reduce their fitness (Harvey *et al.* 1995). Large hosts may also be preferable because they are less likely to be superparasitised or predated upon as they will soon pupate and find a hiding place, although there is a trade-off

because they generally have better immunological defenses (greater chances of encapsulation) than small hosts (Strand & Pech 1995). Therefore, other aspects of parasitoid life history, such as pre-adult mortality and developmental time, need to be considered besides adult size and longevity to draw any conclusions about parasitoid fitness. In fact, we found that, regardless of the number of ovipositions, 15% of all parasitized large hosts had parasitoids that did not complete development and died before emergence, vs. only 7% of parasitized small hosts. This result indicates that host size and its physiological status are also important for parasitoid success. Further studies are needed to understand how host size within the same host developmental stage would affect parasitoid fitness.

Regardless of host size, offspring body size was significantly reduced by superparasitism. Superparasitized hosts gave rise to smaller parasitoids than did singly parasitized hosts. Usually, in gregarious parasitoids, superparasitism results in larger numbers of offspring but smaller individuals (Vet *et al.* 1994, Gu *et al.* 2003, Silva-Torres & Matthews 2003); as the number of offspring increases with superparasitism, resources become even more limited for developing wasps. On the other hand, under circumstances of host scarcity, as in our experiments, superparasitism could be beneficial despite decreasing individual fitness of offspring. Theoretically, the total gain of higher offspring production from a superparasitized host can still reach a maximum if we consider the fitness of all offspring together (Vet *et al.* 1994).

In an interesting twist, developmental time was not affected by the number of ovipositions per host or by host size. This suggests that even though sibling competition could be higher in superparasitized hosts, parasitoids' development was not affected by superparasitism, nor by differences in host size or nutritional suitability. In another study, Nakamura & Noda (2001) found that developmental time of *O. sokolowskii* in second and third *P. xylostella* instars tended to be shorter than in early fourth instars, though overall there were no significant differences

among mean developmental times of *O. sokolowskii* in hosts of different instars. According to Dorn & Beckage (2007), parasitoids face a trade-off between body size and developmental time: whether to grow larger at the cost of a longer developmental time, or to develop faster at the cost of producing individuals of a smaller size. Moreover, resources run out faster in small hosts and the developing parasitoids need to speed up their developmental time at the expense of body size. Our findings partially support this idea, as the wasps emerging from larger hosts were larger than wasps emerging from small hosts, and offspring took on average 1 day longer to emerge from large hosts (16.6 days for small hosts, 17.4 days for large hosts), however this 1-day difference was not a significant delay in developmental time. According to Strand (2000), larger hosts have more powerful immunological defenses and might be less nutritionally compatible for the developing parasitoids and their survival than younger (i.e., our ‘smaller’) hosts. Our results also support this hypothesis, because we had higher offspring mortality (secondary clutch) in larger (i.e., older) hosts. Therefore, we assume that changes in host physiology might have affected the developing *O. sokolowskii* larvae but further investigations are needed to determine which physiological mechanisms are involved in this process.

In this study, the sex ratio of *O. sokolowskii* was not affected either by host size or superparasitism, despite the fact that many parasitic Hymenoptera seem able to control offspring sex ratio in response to environmental variables (Godfray 1994). Host size, host age, and superparasitism have all been reported to affect sex ratios in various parasitoid species (Charnov 1982, Ueno 1999, West *et al.* 2001, Gu *et al.* 2003, Burton-Chellew *et al.* 2008) and host quality might have different effects on size and longevity of female and male offspring. We did not consider males in our measurements because there was no difference in offspring sex ratio among treatments. As with our study, Nakamura & Noda (2002) found no host size effects upon *O. sokolowskii* sex ratio.

Offspring longevity was significantly affected by host size, superparasitism, and food provision. Of these factors, food was clearly the most important; regardless of host size, fed wasps lived up to eight times longer than unfed ones. Similarly, Noda & Nakamura (2004) found that larger, fed naïve females lived longer than smaller ones. Honey-fed offspring from superparasitized hosts generally lived longer than those from singly-parasitized hosts. These results were unexpected, as other studies have shown that superparasitism usually results in more offspring having a shorter lifespan and smaller size (Silva-Torres & Matthews 2003, Keasar *et al.* 2006). However, our results suggest that superparasitism in *O. sokolowskii* is favorable in situations of host scarcity to assure offspring production. Moreover, fed and mated long-lived parasitoids could have better chances of host encounter because they have more searching time available than short-lived ones.

In summary, we confirmed the hypothesis that resource availability is higher in larger than in smaller hosts. The hypothesis that superparasitism enhances the negative effects of resource limitation was partially confirmed. *Oomyzus sokolowskii* benefited from an increase in host size, producing larger offspring and longer survival for both honey-fed (36.4 vs. 22.1 days) and unfed (4.4 vs. 3.5 days) offspring in comparison to results with smaller hosts; these trends held true regardless of superparasitism status. However, superparasitism increased the number of offspring produced per host. Although superparasitism decreased offspring body size as expected, it had no effect on developmental time and sex ratio, and the offspring arising from superparasitism lived significantly longer than those from a single oviposition. Therefore, we come up with a new hypothesis: superparasitism in *O. sokolowskii* is adaptive. This species is gregarious and specific for *P. xylostella*, and the costs and benefits of sibling competition during development in the same host seem to be already weighed and balanced through evolution of the host-parasitoid relationship. Further work should be done to confirm this hypothesis, considering especially

offspring fecundity of parasitoids developing in superparasitised hosts and using not only naïve but also experienced parasitoid females, which could have a different response to superparasitism. In addition, it would be interesting to look at how the amount of time between ovipositions would affect superparasitism and developing offspring. Here we offered hosts to parasitoids right after an oviposition, but the costs of superparasitism may increase with time as older parasitoid larvae may outcompete younger ones.

Acknowledgements

Financial support for this study was provided by the CAPES foundation through PROCAD/CAPES No. 83054. The authors express their appreciation to Robert W. Matthews and Janice Matthews (University of Georgia, Athens, GA, USA) for their valuable suggestions on the manuscript.

Literature Cited

- Barros, R., I.B. Albert Jr., A.J. Oliveira, A.C.F. Souza & V. Loges. 1993.** Controle químico da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em repolho. An. Soc. Entomol. Brasil 22: 463-469.
- Bell, H.A., G.C. Marris, A.J. Prikett & J.P. Edwards. 2005.** Influence of host size on the clutch size and developmental success of the gregarious parasitoid *Eulophus pennicornis* (Nees) (Hymenoptera: Braconidae) attacking larvae of the tomato moth *Lacanobia oleracea* (L.) (Lepidoptera: Noctuidae). J. Exp. Biol. 208: 3199-3209.
- Burton-Chellew, M.N., T. Koevoets, B.K. Grillenberger, E.M. Sykes, S.L. Underwood et al. 2008.** Facultative sex ratio adjustment in natural populations of wasps: cues of local mate competition and precision of adaptation. Am. Nat. 172: 393-404.

- Castelo Branco, M. & M.A. Medeiros. 2001.** Impact of insecticides on Diamondback Moth parasitoids on cabbage fields in the Federal District of Brazil. *Pesqu. Agropecu. Bras.* 36: 7-13.
- Charnov, E.L. 1982.** The Theory of Sex Allocation. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 355p.
- Charnov, E.L. & S.W. Skinner. 1984.** Evolution of host selection and clutch size in parasitoid wasps. *Fla. Entomol.* 67: 5-21.
- Clarck, C.W. & M. Mangel. 2000.** Dynamic State Variable Models in Ecology: Methods and Applications. Oxford University Press, New York, 289p.
- Dorn, S. & N.E. Beckage. 2007.** Superparasitism in gregarious hymenopteran parasitoids: ecological, behavioural and physiological perspectives. *Physiol. Entomol.* 32: 199-211.
- Ferreira, S.W.J., R. Barros & J.B. Torres. 2003.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neotrop. Entomol.* 32: 407-411.
- Ferronato, E.M.O. & M. Becker. 1984.** Abundância e complexo de parasitóides de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) em *Brassica oleracea* L. Var. *Acephala* D.C. *An. Soc. Entomol. Bras.* 13:261-278.
- Fidgen, J.G., E.S. Eveleigh & D.T. Quiring. 2000.** Influence of host size on oviposition behaviour and fitness of *Elachertus cacoeciae* attacking a low-density population of spruce budworm *Choristoneura fumiferana* larvae. *Ecol. Entomol.* 25: 156-164.
- Fitton, M. & A. Walker. 1992.** Hymenopterous parasitoids associated with diamondback moth: the taxonomic dilemma, p. 225-232. In N.S. Talekar (ed.), Diamondback moth and other crucifer pests. Proc. 2nd international workshop, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 603p.

- Freeman, B.E. & K. Ittyeipe. 1982.** Morph determination in *Melittobia*, an eulophid wasp. Ecol. Entomol. 18: 129-140.
- Godfray, H.C.J. 1994.** Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 463p.
- Gu, H., Q. Wang & S. Dorn. 2003.** Superparasitism in *Cotesia glomerata*: response of host and consequences for parasitoids. Ecol. Entomol. 28: 422-431.
- Hardy, J.C.W., N.T. Griffiths & H.C.J. Godfray. 1992.** Clutch size in a parasitoid wasp: a manipulation experiment. J. Anim. Ecol. 61: 121-129.
- Harvey, J.A., I.F. Harvey & D.J. Thompson. 1995.** The effect of host nutrition on development of the solitary parasitic wasp, *Venturia canescens*. Entomol. Exp. Appl. 75: 213-220.
- Harvey, J.A., T.M. Bezemer, J.A Elzinga & M.R. Strand. 2004.** Development of the solitary endoparasitoid *Microplitis demolitor*: host quality does not increase with host age and size. Ecol. Entomol. 29: 35-43.
- Hassell, M.P. 2000.** The spatial and temporal dynamics of host-parasitoid interactions. Oxford University Press, New York, 200p.
- Keasar, T., M. Segoli, R. Bakar, S. Steinberg, D. Giron, MR. Strand, A. Bouskila & A. Harari. 2006.** Costs and consequences of superparasitism in the polyembryonic parasitoid *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae). Ecol. Entomol. 31: 277-283.
- King, B.H. 2000.** Sex ratio and oviposition responses to host age and the fitness consequences to mother and offspring in the parasitoid wasp *Spalangia endius*. Behav. Ecol. Sociobiol. 48: 316-320.
- Li, A., Y. Yang, S. Wu, C. Li & Y. Wu. 2006.** Investigation of resistance mechanisms to fipronil in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). J. Econ. Entomol. 99: 914-919.

- Loges, V. 1996.** Danos causados pela traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) em cultivares de repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* (L.) e efeito sobre a população da praga e do parasitóide *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov, 1912), em condições de campo. Tese de mestrado, UFRPE, Recife, 98p.
- Mushtaque, M. 1990.** Some studies on *Tetrastichus sokolowskii* Kurd (Eulophidae: Hymenoptera), a parasitoid of diamondback moth in Pakistan. Pak. J. Zool. 22: 37-43.
- Nakamura, A. & T. Noda. 2001.** Host-age effects on oviposition behavior and development of *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae), a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Appl. Entomol. Zool. 36: 367-372.
- Nakamura, A. & T. Noda. 2002.** Effects of host age and size on clutch size and sex ratio of *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae), a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Appl. Entomol. Zool. 37: 319-322.
- Nemoto, H. 1986.** Factors inducing resurgence in the diamondback moth after application of methomyl, p. 387-394. In N.S. Talekar & T.D. Griggs (eds.), Diamondback moth management. Proc. 1st international workshop, AVRDC, Tainan, Taiwan, 495p.
- Noda, T. & A. Nakamura. 2004.** Influences of adult body size on longevity and fecundity in *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. Japanese Journal of Appl. Entomol. Zool. 48: 226-229.
- Ooi, P.A.C. 1988.** Laboratory studies of *Tetrastichus sokolowskii*. Entomophaga 33: 145-152.
- Sarfraz, M., A.B. Keddie, L.M. Dossall. 2005.** Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. Biocontrol Sci. Technol. 15: 763-789.
- SAS Institute. 2000.** SAS User's Guide: Statistics version 8 for Windows. SAS Institute, Cary, North Carolina.

- Silva-Torres, C.S.A. & R.W. Matthews. 2003.** Development of *Melittobia australica* Girault and *Melittobia digitata* Dahms (Parker) (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Neobellieria bullata* (Parker) (Diptera: Sarcophagidae) puparia. Neotrop. Entomol. 32: 645-651.
- Strand, M.R. 2000.** Developmental traits and life-history evolution in parasitoids, p. 139-162. In M.E. Hochberg & A.R. Ives (eds.), Parasitoid Population Biology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 382p.
- Strand, M.R. & L.L. Pech. 1995.** Immunological basis for compatibility in parasitoid-host relationships. Annu. Rev. Entomol. 40: 31-56.
- Tabashnik, B.E., L. Yong-Biao, T. Malvar, L.M. Heckel & J. Ferré. 1998.** Insect resistance to *Bacillus thuringiensis*: uniform or diverse? Philos. Trans. R. Soc. Lond. B 353: 1751-1756.
- Talekar, N.S. & W.J. Hu. 1996.** Characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Oomyzus sokolowskii* (Hym., Eulophidae). Entomophaga 41: 45-52.
- Ueno, T. 1999.** Host size dependent sex ratio in a parasitoid wasp. Res. Popul. Ecol. 41: 47-57.
- Ueno, T. & T. Tamaka. 1994.** Can a female parasitoid recognize a previously rejected host? Anim. Behav. 47: 988-990.
- van Alphen, J.J.M. & M.E. Visser. 1990.** Superparasitism as an adaptive strategy for insect parasitoids. Annu. Rev. Entomol. 35: 59-79.
- Vet, L.E.M., A. Datema, A. Janssen & H. Snellen. 1994.** Clutch size in a larval-pupal endoparasitoid: consequences for fitness. J. Anim. Ecol. 63: 807-815.
- Wang, X., S. Liu, S. Guo & W. Lin. 1999.** Effect of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. BioControl 44: 391-402.
- Weisser, W.W. & A.I. Houston. 1993.** Host discrimination in parasitic wasp: when is it advantageous? Funct. Ecol. 7: 27-39.

West, S.A., K.E. Flanagan & H.C.J. Godfray. 2001. Variable host quality, life history invariants, and the reproductive strategy of a parasitoid wasp that produces single sex clutches. *Behav. Ecol.* 12: 577-583.

Yamada, Y.Y. & K. Miyamoto. 1998. Payoff from self and conspecific superparasitism in a dryinid parasitoid, *Haplogonatopus atratus*. *Oikos* 81: 209-216.

Zaviezo, T. & N. Mills. 2000. Factors influencing the evolution in clutch size in a gregarious insect parasitoid. *J. Anim. Ecol.* 61: 1047-1057.

Table 1. Results of variance analysis for the effects of host size, superparasitism, and their interaction on traits of *Oomyzus sokolowskii*. Graphic representations of means for significant treatment effects are given in Figures 1-3.

Fitness traits	Host size (small vs. large)		Superparasitism (1-3 ovipositions per host)		Host size*superparasitism	
	F _{d.f.}	P	F _{d.f.}	P	F _{d.f.}	P
Developmental time	F _{1, 90} = 0.85*	0.36	F _{2, 90} = 0.76	0.47	-	
No. offspring	F _{1, 90} = 0.14*	0.71	F _{2, 90} = 13.21	<0.0001	-	
Offspring wing size	F _{1, 174} = 110.02	<0.0001	F _{2, 174} = 103.37	<0.0001	F _{2, 174} = 7.62	0.0007
Offspring tibia size	F _{1, 174} = 50.30	<0.0001	F _{2, 174} = 32.43	<0.0001	F _{2, 174} = 3.77	0.0250
Offspring sex ratio	F _{1, 88} = 0.59	0.44	F _{2, 88} = 0.70	0.50	F _{2, 88} = 0.75	0.48
Offspring longevity - Fed wasps	F _{1, 156} = 63.01	<0.0001	F _{2, 156} = 14.01	<0.0001	F _{2, 156} = 5.39	0.0055
Offspring longevity - Unfed wasps	F _{1, 167} = 22.44	<0.0001	F _{2, 167} = 5.85	0.0035	F _{2, 167} = 14.05	<0.0001

Values marked with an * represent the results of a Fisher test from analysis of covariance (ANCOVA), and unmarked values represent results from analysis of variance (ANOVA).

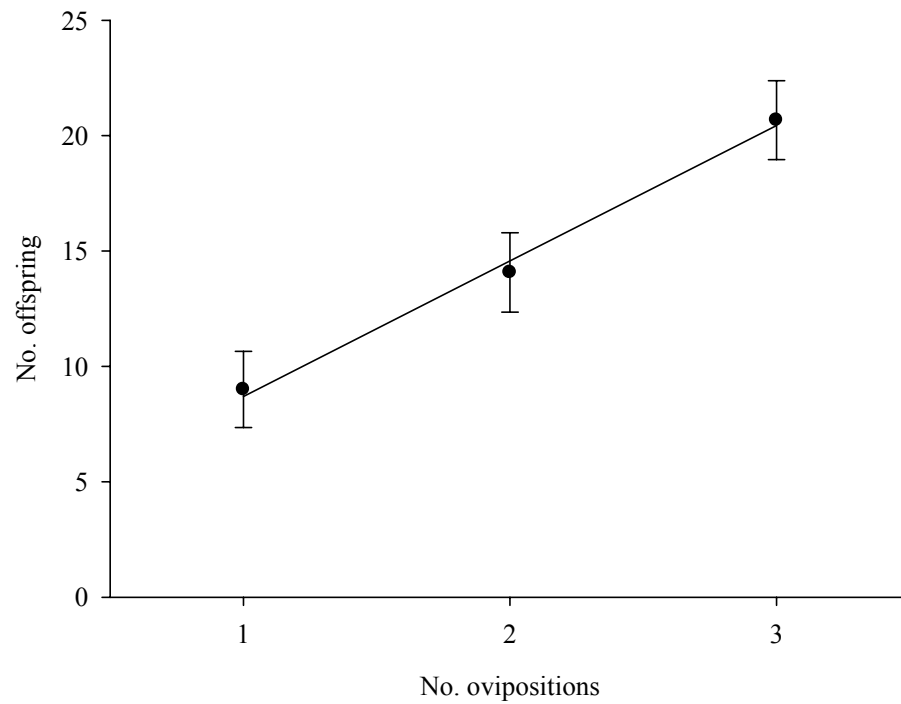


Figure 1. Mean (\pm SE) number of *Oomyzus sokowloskii* offspring produced per host under one, two, and three ovipositions ($F_{1,92} = 26.78$, $P < 0.0001$; $y = 2.83 + 5.87x$, $r^2 = 0.22$).

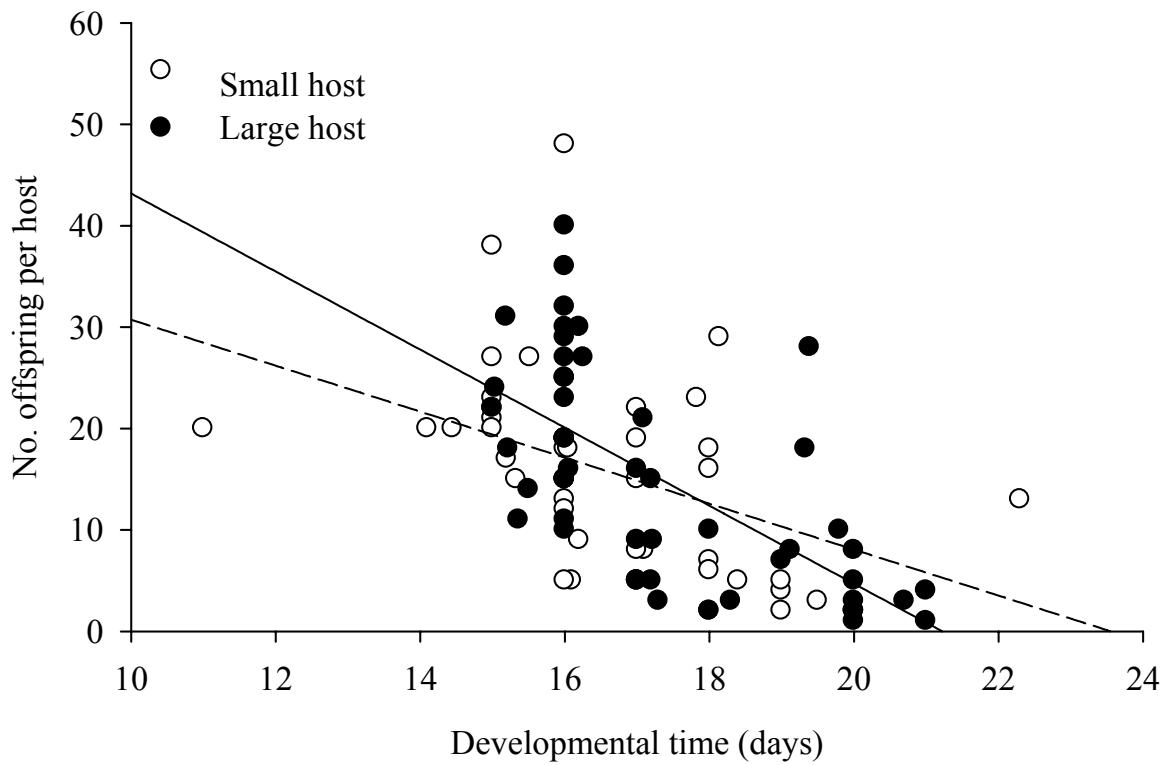


Figure 2. Relationship between *Oomyzus sokowloskii* developmental time and number of offspring produced per small host ($F_{1, 40} = 9.22$, $P = 0.0042$; $y = 53.39 - 2.26x$, $r^2 = 0.43$; solid line) and large host ($F_{1, 50} = 38.84$, $P < 0.0001$; $y = 81.66 - 3.84x$, $r^2 = 0.66$; dashed line) under one, two, and three ovipositions.

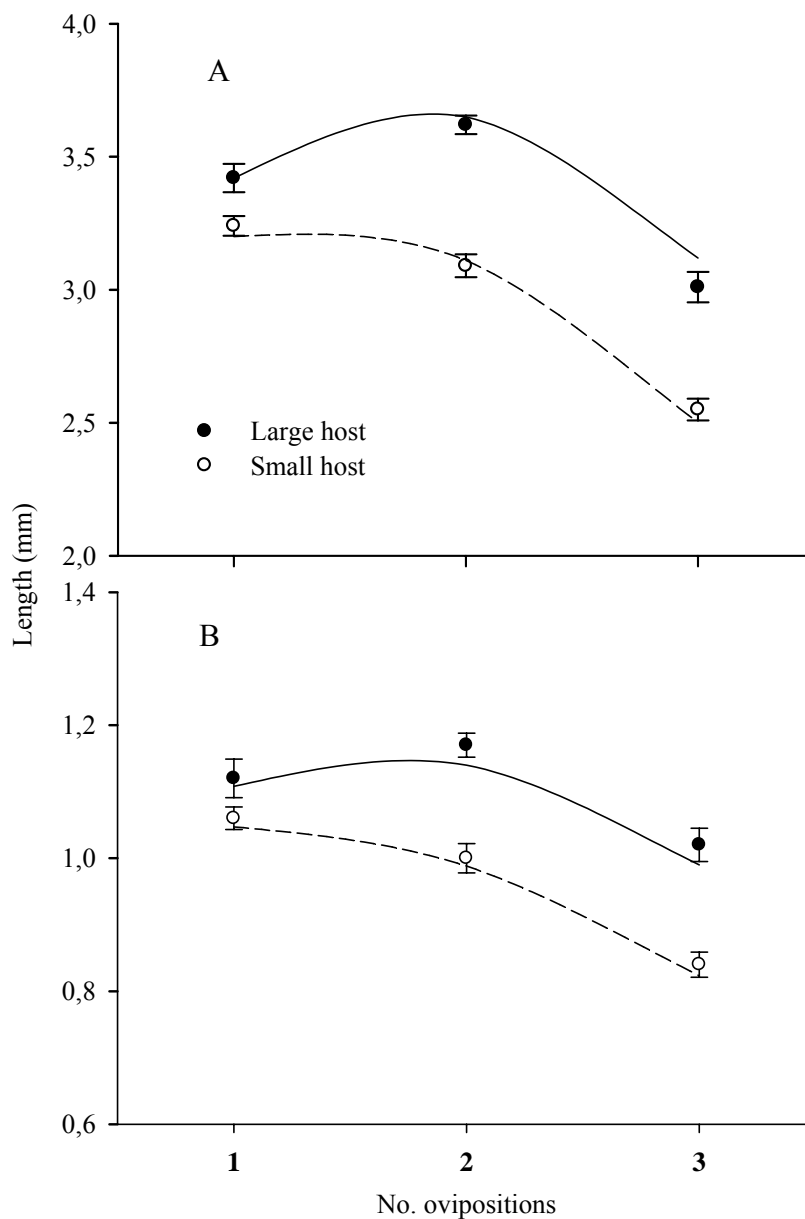


Figure 3. Mean (\pm SE) (A) forewing and (B) hind tibia lengths for *Oomyzus sokolowskii* females produced in large hosts (7-8 mg) and small hosts (2-3 mg) under one, two, and three ovipositions per host. Wing: small host, $y = 2.97 + 0.46x - 0.20x^2$, $r^2 = 0.64$; large host, $y = 2.44 + 1.37x - 0.39x^2$, $r^2 = 0.47$. Tibia: small host, $y = 1 + 0.106x - 0.053x^2$, $r^2 = 0.41$; large host, $y = 0.89 + 0.31x - 0.092x^2$, $r^2 = 0.18$.

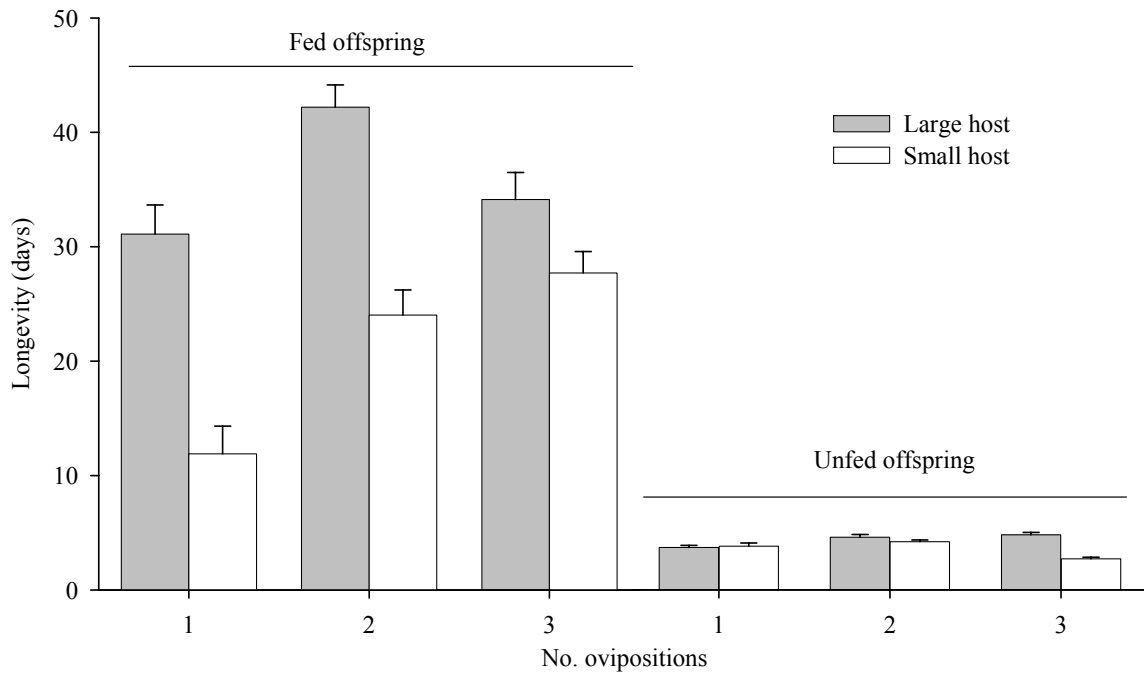


Figure 4. Mean (+ SE) longevity of naïve *Oomyzus sokolowskii* females developed in large hosts (7-8 mg) and small hosts (2-3 mg) from one, two, and three ovipositions. See Table 1 for statistical analysis.

CAPÍTULO 4

PARASITISMO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) POR
Oomyzus sokolowskii (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM
DIFERENTES DENSIDADES DO HOSPEDEIRO¹

CHRISTIAN S. A. SILVA-TORRES, REGINALDO BARROS E JORGE B. TORRES

Departamento de Agronomia – Entomologia. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois
Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil.

¹Silva-Torres, C.S.A., R. Barros & J.B. Torres. Parasitismo de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) por *Oomyzus sokolowskii* em diferentes densidades do hospedeiro. A ser submetido à Revista Brasileira de Entomologia.

RESUMO – Localizar habitats, manter ou aumentar a taxa de parasitismo da praga independente da sua densidade, são atributos que um parasitóide deve possuir para que se obtenha sucesso no controle de pragas. Neste estudo, o parasitóide de larvas e pupas da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), foi submetido a diferentes densidades do hospedeiro em laboratório, casa telada e campo. Em laboratório e campo, *O. sokolowskii* foi exposto às densidades de 2, 4, 8 e 16 lagartas. Em laboratório empregaram-se arenas de 300mL e em campo, plantas de couve foram confinadas em gaiolas de organza (30 x 50cm). Em casa telada, foram utilizadas microparcels compostas por seis plantas de repolho infestadas com 25, 50, 85 ou 100 lagartas. O número de lagartas parasitadas aumentou com a densidade do hospedeiro variando de 1,7 a 10,4, em laboratório, e de 0,61 a 7,0, em campo. Em casa telada a maior taxa de parasitismo foi observada nas microparcels com densidades mais elevadas do hospedeiro. Além disso, o tempo de exposição aos parasitóides, proporcionou maior taxa de parasitismo após 72 h (24 h: 52,4% e; 72 h: 80,7%) independente da densidade. Os resultados demonstram que *O. sokolowskii* responde positivamente a um incremento na densidade de *P. xylostella*, embora a taxa de parasitismo permaneça constante independente da disponibilidade do hospedeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade do hospedeiro, reposta funcional, traça-das-crucíferas, controle biológico

PARASITISM OF *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) BY *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) UNDER DIFFERENT HOST DENSITIES

ABSTRACT – Amongst the attributes of a parasitoid to successfully control a pest, it must locate infested habitats regardless of its host density, and increase parasitism rate with an increase of pest infestation. In this study, the larval-pupal parasitoid *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae) was submitted to different densities of its host, the diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). In the laboratory and in the field, *O. sokolowskii* was exposed to the densities of 2, 4, 8 or 16 DBM larvae. In the laboratory, 300mL arenas were used, and in the field, kale plants were placed in cages (30 x 50cm). In the greenhouse, microparcels consisted of six cabbage plants each infested with 25, 50, 85 or 100 DBM larvae were used. The number of parasitized larvae increased with host density and varied from 1.7 to 10.4 (laboratory) and from 0.61 to 7.0 (field). In the green house, parasitism rate was higher in microparcels with higher pest infestation. In addition, the time of exposition was significant, with higher parasitism rate at 72 h after host exposure (24 h: 52.4%; and 72 h: 80.7%), regardless of host density. Therefore, results show that *O. sokolowskii* respond to increases in host density, but maintain the parasitism rate unchanged regardless of variations in the host availability.

KEY WORDS: Host density, functional response, diamondback moth, biological control

Introdução

A localização de hospedeiros por parasitóides é um processo complexo que envolve várias etapas, tais como a localização do habitat do hospedeiro, localização do hospedeiro propriamente dito, aceitação e, posteriormente, o parasitismo do hospedeiro (Laing 1937, Vinson 1976). Além disso, fatores abióticos (i.e. temperatura, umidade, fotoperíodo, vento) ou bióticos (i.e. planta hospedeira, idade e fecundidade dos parasitóides, tamanho e idade do hospedeiro, competidores, etc.) podem influenciar neste processo (Gordh *et al.* 1999).

A modelagem sugere que parasitóides podem ser atraídos e exibem comportamento de agregação em locais de densidade mais elevada do hospedeiro (Hassell 1978). No entanto, parasitóides também devem ser capazes de localizar hospedeiros em ambientes com baixa densidade (Waage 1983), uma vez que a capacidade de encontrar hospedeiros em baixas densidades proporciona sincronia entre o crescimento populacional do parasitóide e da praga. Assim, uma vez localizados, os hospedeiros podem ser explorados por parasitóides em diferentes proporções, em função da sua densidade, tempo de exposição e distribuição no ambiente (Hassell & May 1973, Foerster *et al.* 2001, Pratioli *et al.* 2005). Consequentemente, conhecer como os parasitóides respondem as variações na distribuição e na densidade dos hospedeiros é essencial para que se determine a sua eficiência como agente de controle biológico. Relatos de pesquisas têm mencionado que, algumas espécies de parasitóides, aumentam a taxa de parasitismo mediante a densidade do hospedeiro (Faria *et al.* 2000, 2008, Sampaio *et al.* 2001, Makundi & Seriah 2005). Assim, é importante conhecer as adaptações comportamentais e biológicas de parasitóides em função da densidade de seus hospedeiros para melhor adequar as estratégias de uso, sejam pela conservação desses inimigos naturais ou utilização dos mesmos de forma aplicada.

O endoparasitóide gregário *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) tem sido citado exercendo controle natural de larvas e pupas da traça-das-

crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em várias regiões produtoras de brássicas do mundo (Mushtaque 1990, Talekar & Hu 1996, Wang *et al.* 1999), incluindo o Agreste de Pernambuco (Silva-Torres *et al.* 2009a). No entanto, pouco se conhece sobre o seu potencial de controle. O desenvolvimento de *O. sokolowskii*, do parasitismo a emergência do adulto, pode variar de 13,4 a 26,5 dias dependendo da temperatura conjuntamente com outros fatores (Wang *et al.* 1999, Ferreira *et al.* 2003) caracterizando um ciclo de desenvolvimento relativamente rápido, o que pode ser fundamental para o crescimento populacional em campo. Ferreira *et al.* (2003) estimou que *O. sokolowskii* pode produzir até 24 gerações por ano comparado a 20 gerações possíveis de *P. xylostella* para as condições do Agreste de Pernambuco, fato que pode estimular o controle biológico da praga nessa região, reforçando as afirmações de Fitton & Walker (1992) ao mencionarem que *O. sokolowskii* é o único calcidóideo com o real potencial de controle de *P. xylostella*.

De acordo com Loges (1996), *O. sokolowskii* parasitou até 97% de *P. xylostella* no final do ciclo da cultura do repolho em Pernambuco, Brasil no ano de 1995. Esta alta taxa de parasitismo, no entanto, é usualmente tardia e após a população da praga ter atingido o nível de dano econômico. Portanto, o conhecimento da capacidade de resposta (parasitismo) de *O. sokolowskii* a variações na densidade do hospedeiro pode fornecer dados e informações acerca de parâmetros comportamentais envolvidos neste processo, possibilitando a simulação de estimativas que poderão indicar o real potencial de sucesso deste parasitóide em colonizar habitats infestado pela praga. Então, neste caso, o controle biológico poderá se tornar uma prática viável para o manejo de *P. xylostella*.

As respostas de parasitóides relacionadas com a densidade do hospedeiro podem ser de dois tipos: resposta funcional e resposta numérica. A resposta funcional relaciona a densidade do hospedeiro com o número de hospedeiros parasitados pelo parasitóide. Existem pelo menos três tipos de curvas que podem representar a resposta funcional de inimigos naturais. Segundo

Holling (1959), na resposta funcional tipo I o número de hospedeiros mortos (parasitados) aumenta linearmente até um máximo com o aumento de hospedeiro disponível, ou seja, a taxa de parasitismo é constante. Além disso, na resposta funcional tipo II o número de hospedeiros parasitados atinge uma hipérbole assíntota, ou seja, a proporção de parasitismo decresce com o aumento de hospedeiro disponível. Por fim, na resposta funcional tipo III a curva é sigmóide, correspondendo a um aumento na proporção de hospedeiros parasitados até o ponto de inflexão da curva, seguido de um decréscimo na proporção de parasitismo. Neste caso, os parasitóides aumentam a taxa de busca com o aumento da densidade do hospedeiro até certo ponto, e conseqüentemente também o parasitismo. Quando a densidade de hospedeiro ultrapassa a capacidade de parasitismo (inflexão da curva), esta proporção declina. A resposta numérica relaciona o número de indivíduos do parasitóide, pela agregação e maior multiplicação, com o aumento da densidade do hospedeiro (Holling 1959). Conseqüentemente, ambas as respostas são fundamentais na dinâmica populacional hospedeiro-parasitóide, pois podem indicar a capacidade de um parasitóide na regulação da densidade do hospedeiro (Murdoch & Oaten 1975, Van Lenteren & Bakker 1976, Schenk & Bacher 2002).

Assim, espera-se que fêmeas de *O. sokolowskii* sejam capazes de responderem prontamente ao incremento na densidade de *P. xylostella*, parasitando proporcionalmente mais lagartas à medida que estas estejam mais disponíveis no ambiente. Adicionalmente, espera-se aumentar proporcionalmente sua população por meio de seus descendentes, e com isso ter potencial de reduzir efetivamente a população desta praga antes que a mesma atinja o nível de dano econômico.

Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito da densidade populacional de *P. xylostella* na capacidade de parasitismo de *O. sokolowskii*.

Materiais e Métodos

Criações do hospedeiro e do parasitóide. As lagartas de *P. xylostella* utilizadas nos experimentos foram obtidas de colônia mantida no Laboratório de Biologia de Insetos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), de acordo com Barros & Vendramim (1999). Também, vespas fêmeas de *O. sokolowskii* utilizadas nos experimentos foram provenientes de colônia mantida no mesmo laboratório de acordo com Silva-Torres *et al.* (2009a). A colônia do parasitóide *O. sokolowskii* foi estabelecida de espécimes oriundos de lagartas de *P. xylostella* coletadas em plantio orgânico de couve chinesa (*Brassica campestris*; Brassicaceae) no Município de Chã-Grande, Agreste de Pernambuco, sendo a identificação confirmada pelo Dr. Marcelo Tavares (UFES). Após a emergência do parasitóide, a sua multiplicação foi feita empregando-se o hospedeiro *P. xylostella*, ambos criados a $25,5 \pm 1,17^{\circ}\text{C}$, $67 \pm 12\%$ UR e fotofase de 12 h. Fêmeas do parasitóide utilizadas nos experimentos estavam previamente acasaladas e alimentadas, com 48-72 h de idade, e dependendo do experimento encontravam-se de 35 a 40 gerações em laboratório.

Efeito da densidade do hospedeiro no parasitismo de *O. sokolowskii* em laboratório. Este estudo foi conduzido no Laboratório de Ecologia de Insetos e Controle Biológico da UFRPE. As condições de laboratório foram de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotoperíodo de 13L:11E.

Discos de folhas de repolho, cultivar repolho 60 dias (Isla S.A., Porto Alegre, RS), medindo 8cm diâmetro, foram utilizados nos experimentos. Cada disco de folha foi acondicionado em recipiente plástico de 300mL sobre disco de papel filtro de igual tamanho para absorver a umidade. Em seguida, lagartas de terceiro-quarto ínstar de *P. xylostella* foram liberadas sobre os discos de folhas nas densidades de duas, quatro, oito e 16 lagartas por recipiente empregando-se sete, sete, seis e cinco repetições, respectivamente. Em seguidas, os recipientes foram fechados com tampa contendo uma abertura circular fechada com telado, permitindo desse modo a circulação de ar. Dez fêmeas do parasitóide (48-72 h de idade) foram agrupadas em tubos de vidro (1 x 7,5cm) fechados com chumaço de algodão. Após 1h

da infestação dos discos de folhas com as lagartas, as fêmeas do parasitóide foram liberadas no interior de cada recipiente.

Parasitóides e lagartas permaneceram nos recipientes plásticos por 48 horas, procedendo-se em seguida, a individualização das lagartas em tubos de vidro contendo fragmento de folha de repolho, os quais foram fechados com filme de PVC transparente (ALPFILM™) e mantidos por um período de aproximadamente 10 dias. Observaram-se a emergência de adultos de *P. xylostella* ou do parasitóide, quantificando-se: o número de lagartas parasitadas e o número de descendentes produzidos por lagarta em função das densidades de lagartas oferecidas ao parasitóide. As pupas que não originaram parasitóides ou mariposas foram dissecadas sob lâmpada de bancada com aumento 10X para determinação da ocorrência ou não do parasitismo.

O número de lagartas parasitadas e a taxa de parasitismo foram comparados com relação às densidades de lagartas oferecidas através de análise de regressão (SAS Institute 2000), utilizando-se o modelo que melhor representou os resultados mediante o coeficiente de determinação e a significância dos seus parâmetros.

Efeito da densidade do hospedeiro no parasitismo de *O. sokolowskii* em microparcels.

Testes foram conduzidos em dois telados da UFRPE, cada um medindo 6 x 2 x 2m (comprimento x largura x altura), fechados lateralmente com tela antiafídica e cobertos com filme agrícola utilizados em casa de vegetação. Cada telado continha quatro microparcels circulares de 1,0m de diâmetro e 0,5m de altura. Em cada microparcels foram cultivadas seis plantas de repolho, até o início da formação da cabeça, quando então foram utilizadas nos experimentos. As plantas das microparcels foram infestadas aleatoriamente com 25, 50, 85 e 100 lagartas de *P. xylostella* de terceiro-quarto instar, sendo que todas as plantas de cada microparcels receberam lagartas. As densidades de lagartas de *P. xylostella* nas microparcels

visaram caracterizar condições de diferentes densidades da praga e distribuição espacial da mesma.

A infestação das lagartas sobre as plantas foi feita manualmente 12 h antes da liberação dos parasitóides, sendo a infestação da lagarta feita no final da tarde e a liberação do parasitóide ao amanhecer do dia seguinte. No dia da infestação das plantas com as lagartas, tubos contendo parasitóides foram também levados para os telados para aclimação dos mesmos ao ambiente. Os tubos contendo os parasitóides foram colocados sobre um suporte de madeira a aproximadamente 30cm acima da altura das plantas localizado entre as quatro microparcels de forma equidistante. Um total de 400 fêmeas do parasitóide, com 48-72 h de idade, foi liberado por telado. A exposição das lagartas aos parasitóides foi de 24 h ou 72 h, respectivamente, com cinco repetições de 24 h e seis repetições de 72 h, repetidas no tempo durante o período de Setembro a Novembro de 2008. Após os respectivos períodos de exposição ao parasitismo todas as plantas das microparcels foram coletadas, etiquetadas e levadas ao laboratório para a coleta e quantificação das lagartas. As lagartas coletadas das plantas, agora consideradas como lagartas recuperadas das microparcels, foram transferidas para recipientes plásticos de 250mL contendo, na parte inferior, fragmento de folha de repolho colocado horizontalmente sobre disco de papel filtro para absorção da umidade e de fezes das lagartas confinadas. Aquelas que atingiram a fase de pupa foram individualizadas em tubos de vidro de 5mL tampados com pedaços de algodão e monitoradas até a emergência de adultos de *P. xylostella* ou de *O. sokolowskii*. Todas as pupas inviáveis, sem emergência do parasitóide ou mariposa, foram dissecadas para a confirmação da ocorrência ou não do parasitismo.

As condições do ambiente, durante o período experimental, foram monitoradas com DataLogger WatchDog em intervalos de 30 minutos, registrando-se a temperatura média (\pm DP) de $30 \pm 8,8^{\circ}\text{C}$ (min = $21,3^{\circ}\text{C}$; máx = $53,5^{\circ}\text{C}$), $66,4 \pm 24,8\%$ de UR, e fotofase natural aproximada de 12 h.

O número de lagartas recuperadas por microparcela foi inferior ao número liberado em todas as densidades (i.e., 25, 50, 85 e 100). Portanto, a taxa de parasitismo [(lagartas parasitadas/lagartas recuperadas)*100] foi utilizada para avaliar o efeito da densidade no parasitismo. Os dados referentes à taxa de parasitismo foram submetidos a testes de normalidade (Kolmogorov D: normal test) e homogeneidade de variância (Bartlett's test), após os quais foram transformados em arcoseno da raiz (x/100) para atender os pré-requisitos da análise de variância (ANOVA), em seguida foram submetidos à ANOVA (SAS Institute 2000).

As taxas de parasitismo, decorridas 24 e 72 h da liberação do parasitóide em função das densidades do hospedeiro foram comparadas através do teste t utilizando-se o PROC TTEST do SAS. Além disso, as taxas de parasitismo em função da densidade de lagartas recuperadas, bem como o número de descendentes produzidos as 24 e 72 h após a liberação dos parasitóides foram submetidos à análise de regressão (SAS Institute 2000), utilizando-se o modelo que melhor se ajustou aos dados mediante coeficiente de determinação e significância dos parâmetros. Para inferir sobre o efeito do tempo de exposição (24 e 72 h) na taxa de parasitismo em função da densidade de lagartas, as inclinações dos modelos ajustados foram testadas para igualdade empregando-se o PROC MIXED do SAS (SAS Institute 2000).

Efeito da densidade do hospedeiro no parasitismo de *O. sokolowskii* em campo. O experimento foi conduzido em plantio orgânico de couve “Manteiga” (*Brassica oleracea* var. *acephala*) em aproximadamente 0,75ha localizado no município de Chã Grande, PE (coordenadas: 08°15'14.4" S, 35° 30'0.3" W) e altitude de 505m, durante o mês de Março/2009 onde as condições de campo foram monitoradas com DataLogger WatchDog a intervalos de 30 minutos registrando-se temperatura média (\pm DP) de $25,3 \pm 4,0^{\circ}\text{C}$ (mín = $19,8^{\circ}\text{C}$; máx = $35,3^{\circ}\text{C}$), umidade relativa de $79,0 \pm 16,7\%$ e fotoperíodo natural de 12,5L:11,5E.

Plantas de couve com aproximadamente 50cm de altura foram selecionadas aleatoriamente na área do plantio, inspecionadas para a retirada de artrópodes e, posteriormente, confinadas em gaiolas cilíndricas de tecido organza de 30 x 50cm (diâmetro e comprimento), dotadas com um zíper lateral visando facilitar o manuseio no seu interior. As plantas foram infestadas com lagartas do terceiro ínstar de *P. xylostella* nas densidades de 2, 4, 8 e 16 lagartas por planta, sendo 21, 17, 17 e 10 repetições por cada densidade, respectivamente. Em seguida, 10 fêmeas do parasitóide *O. sokolowskii*, com 48-72 h de idade, oriundas da criação de laboratório, foram liberadas no interior de cada gaiola, permanecendo por 72 h. Após este período as lagartas foram coletadas e acondicionadas em recipientes plásticos de 250mL contendo fragmentos de folha de couve sobre disco de papel filtro no fundo para absorver a umidade e fezes das lagartas. Após o final da fase larva, as pupas foram individualizadas em tubos de vidro de 5mL tampados com pedaço de algodão e monitoradas até a emergência de adultos de *P. xylostella* ou de *O. sokolowskii*. As pupas inviáveis, sem emergência do parasitóide ou mariposa, foram dissecadas para determinação da ocorrência ou não do parasitismo, anotando-se o número de lagartas parasitadas, bem como a produção de descendentes por hospedeiro parasitado.

O efeito da densidade de lagartas de *P. xylostella* no parasitismo de *O. sokolowskii* medido pelo número de lagartas parasitadas, taxa de parasitismo e o número de descendentes produzidos foi determinado através de análise de regressão (SAS Institute 2000), selecionando-se o modelo que melhor se ajustou aos resultados mediante os valores do coeficiente de determinação e significância dos parâmetros.

Resultados

Efeito da densidade do hospedeiro no parasitismo de *O. sokolowskii* em laboratório. O número de lagartas de *P. xylostella* parasitadas por *O. sokolowskii* durante 48 h aumentou

significativamente em função da densidade de lagartas ($F_{1, 28} = 102,54$, $P < 0.0001$, Fig. 1). O número médio (\pm EP) de lagartas parasitadas variou de $1,71 \pm 0,18$ a $10,4 \pm 1,32$, quando 2 a 16 lagartas foram expostas ao parasitóide (Fig. 1). A taxa de parasitismo de lagartas, entretanto, não diferiu em função do aumento da densidade de lagartas a nível de 5% de probabilidade ($F_{1, 24} = 3,19$, $P = 0,0871$), variando, em média, de 65 a 85% nas respectivas densidades testadas.

O número de descendentes produzidos por lagarta parasitada decresceu significativamente com o aumento da densidade do hospedeiro ($F_{1, 121} = 20,32$, $P < 0.0001$, Fig. 2).

Efeito da densidade do hospedeiro no parasitismo de *O. sokolowskii* em microparcelas. O parasitismo de *P. xylostella* por *O. sokolowskii* foi influenciado pelas variações na densidade do hospedeiro e no tempo de exposição. De modo geral, foi observado um maior número de lagartas parasitadas em função do número de lagartas recuperadas nas microparcelas em 24 h ($F_{1, 18} = 14,73$; $P = 0,0012$) e 72 h ($F_{1, 22} = 512,10$; $P < 0,0001$) (Fig. 3). Além disso, o aumento na taxa de parasitismo foi superior quando lagartas permaneceram expostas ao parasitismo por 72 h (Proc Mixed, $t_{39} = -3,26$; $P = 0,0023$, Fig. 3). As porcentagens de parasitismo em função da densidade de lagartas recuperadas foram independentes da densidade inicial de lagartas por microparcela, sendo de $52,4 \pm 5,09\%$ após 24 h e de $80,7 \pm 2,46\%$ após 72 h ($F_{1, 7} = 23,28$; $P < 0.0001$). Considerando-se cada densidade de hospedeiro disponível separadamente, observa-se que houve um incremento significativo na taxa de parasitismo em função do tempo apenas nas densidades intermediárias de lagartas por microparcelas (50 e 85) (Tabela 1). Para a menor e maior densidade, 25 e 100 lagartas por microparcela com seis plantas cada, houve um incremento de aproximadamente 30% na taxa de parasitismo, no entanto esta diferença só foi significativa ao nível de 10% de probabilidade (Tabela 1).

A resposta do parasitóide em função da densidade de hospedeiros disponíveis com um aumento da taxa de parasitismo, entretanto, não foi observada. A taxa de lagartas parasitadas não foi diferente entre as condições de disponibilidade de hospedeiro ($F_{3, 36} = 0,28$; $P = 0,8426$). Também, não houve interação significativa entre o tempo após liberação e a condição de disponibilidade de hospedeiros nas microparcelas ($F_{3, 36} = 0,05$; $P = 0,9869$).

O número de descendentes produzidos por hospedeiro parasitado foi semelhante nas diferentes densidades de hospedeiro disponíveis por microparcela ($F_{1, 614} = 0,32$; $P = 0,5714$). A média (\pm EP) de descendentes produzidos por lagartas parasitadas nas microparcelas variou de $19,2 \pm 0,99$ a $22,2 \pm 0,83$.

Efeito da densidade do hospedeiro no parasitismo por *O. sokolowskii* em campo. O número de lagartas de *P. xylostella* parasitadas por *O. sokolowskii*, confinados em campo durante 72 h de exposição, aumentou com a disponibilidade do hospedeiro ($F_{1, 64} = 115,75$, $P < 0,0001$, Fig. 1). O número médio (\pm EP) de lagartas parasitadas por *O. sokolowskii* variou de $0,6 \pm 0,14$ a $7,0 \pm 0,63$, quando confinado com 2 a 16 lagartas por planta de couve (Fig. 1). No entanto, a taxa de parasitismo de lagartas não diferiu entre as diferentes densidades de lagartas ($F_{1, 64} = 1,49$; $P = 0,2263$), variando, em média, de 30 a 40% entre as densidades estudadas.

Considerando-se a produção de descendentes, não houve diferença no número médio de descendentes produzidos por hospedeiro em função da sua disponibilidade, com médias (\pm EP) de $9,8 \pm 1,35$ a $12,5 \pm 0,69$ descendentes por lagarta parasitada ($F_{1, 150} = 0,58$; $P = 0,4480$, Fig. 2).

Discussão

O número de lagartas parasitadas por *O. sokolowskii* aumentou significativamente com a densidade do hospedeiro nas condições de laboratório, telado e campo, sugerindo uma

resposta positiva do parasitóide em relação ao aumento populacional da praga (Figs. 1 e 3). Por outro lado, e diferentemente do esperado, não houve aumento na taxa de parasitismo em função de hospedeiros disponíveis, o qual indicaria o comportamento do parasitóide em apresentar uma resposta de aumento no parasitismo em função de maior disponibilidade de hospedeiro. Podemos observar também que a taxa de parasitismo foi praticamente reduzida pela metade em condições de telado e campo (~ 40%) em relação ao laboratório (~ 80%), independente da densidade do hospedeiro. Isto sugere que variações ambientais, tais como mudanças na temperatura, umidade relativa, fotoperíodo e, principalmente, a precipitação, uma vez que chuvas foram frequentes durante a condução do experimento em campo, poderiam interferir sobre o parasitismo de *P. xylostella* por *O. sokolowskii* após as liberações.

Entre outras características, o aumento na taxa de lagartas parasitadas como resposta a maior disponibilidade de hospedeiros sugere que o parasitóide tem potencial na regulação populacional da praga (Godfray 1994). Para *O. sokolowskii*, a resposta funcional não apresentou um incremento na taxa de parasitismo com o aumento da densidade do hospedeiro, e esta espécie parece apresentar uma resposta funcional do tipo I, ou seja, a taxa de parasitismo é mantida constante independente da densidade de hospedeiros. Resultados semelhantes foram encontrados em outro estudo, quando *O. sokolowskii* foi oferecido um número constante e excedente de lagartas de *P. xylostella* versus um número variável de lagartas diariamente, este parasitóide também manteve a mesma estratégia de parasitismo entre as condições de hospedeiro constante e variável, sempre parasitando um número constante de lagartas por dia abaixo do número máximo oferecido, mesmo quando submetidos a condições prévias de escassez de hospedeiro (Silva-Torres *et al.* 2009a). Segundo Holling (1961), uma resposta de parasitismo inversamente proporcional à densidade de hospedeiros, é o tipo de comportamento mais comum entre os inimigos naturais. Neste tipo de resposta (funcional) o parasitóide apresenta um incremento na taxa de hospedeiros

parasitados em baixas densidades do hospedeiro, mas em altas densidades existe um decréscimo gradativo, ou seja, atinge um platô assintoticamente. Por exemplo, Yang *et al.* (1994) encontraram que quanto maior a densidade de *P. xylostella* menor a porcentagem de lagartas parasitadas por *Diadegma semiclausum* Hellen (Hymenoptera: Ichneumonidae). Nossos resultados sugerem que isto não ocorre em *O. sokolowskii* entre densidades de 2, 4, 8 e 16 ou 25-100 lagartas de *P. xylostella*, pois o mesmo manteve a mesma taxa de parasitismo, indicando uma ausência de resposta a variações na densidade de *P. xylostella*. Por outro lado, Chen *et al.* (2008) relataram que quando fêmeas de *O. sokolowskii* foram oferecidas em confinamento a densidades elevadas de 20 até 50 lagartas de *P. xylostella* por 48 h em laboratório, a taxa de parasitismo apresentou um decréscimo gradativo e inversamente proporcional ao aumento da disponibilidade de hospedeiro, indicando assim uma resposta funcional inversamente dependente da densidade do hospedeiro e sugerindo que este parasitóide não poderia regular a praga em altas densidades. Além disso, os autores encontraram que fêmeas de *O. sokolowskii* são capazes de causar interferência mútua, talvez pela marcação do hospedeiro com feromônio, a qual poderia reduzir assim o número de lagartas atacadas por parasitóide, o mesmo podendo ter ocorrido em nosso estudo, uma vez que utilizamos grupos de 10 fêmeas (laboratório e campo) ou 800 fêmeas (casa telada) para avaliação do parasitismo em diferentes densidades do hospedeiro; portanto reduzindo a taxa de parasitismo final obtida. Outra hipótese relacionada à constante taxa de parasitismo apresentada por *O. sokolowskii* em nossos resultados seria a produção e maturação de ovos ao longo da vida adulta como no caso de parasitóides sinovigênicos (Quicke 1997, Papaj 2000) e, portanto, não sofrer interferência da variabilidade da disponibilidade de hospedeiros. No entanto, estudos fisiológicos voltados à produção e maturação de ovos em *O. sokolowskii* ainda são necessários para maiores esclarecimentos.

A disponibilidade e distribuição espacial de hospedeiro, entretanto, exercem papel importante no comportamento de parasitismo de *O. sokolowskii*. Quando os parasitóides foram liberados em casa telada contendo microparcels com diferentes condições de infestação da praga, portanto representando uma variabilidade na distribuição da mesma, além de oferecer a possibilidade de dispersão, localização e parasitismo, os parasitóides foram capazes de localizar, agregar e parasitar mais lagartas em áreas com maior infestação da praga (Fig. 3). Portanto, e diferente do que foi sugerido por Chen *et al.* (2008), nossos resultados sugerem que em campo os parasitóides podem se deslocar tanto para áreas com baixa ou alta infestação, porém ainda mais importante, os parasitóides são capazes de parasitar mais lagartas nas áreas com maior infestação da praga. É provável que esta resposta tenha sido resultado de uma maior concentração de pistas visuais e, provavelmente químicas, auxiliando assim as vespas no processo de localização e manutenção dos parasitóides em áreas com hospedeiro em densidades mais elevadas, uma vez que a intensidade de injúria por planta nas microparcels pode aumentar consideravelmente com o aumento da infestação da praga.

Sabe-se que plantas podem utilizar substâncias químicas (voláteis) para promoverem a ação efetiva de inimigos naturais de insetos herbívoros (Turlings *et al.* 1995, Van den Boom *et al.* 2004). Este tipo de ação é chamada de resistência induzida indireta, onde a produção de compostos atrativos a inimigos naturais se dá dentro de um curto período após a herbivoria (Schoonhoven *et al.* 2005). Estudos neste sentido são inexistentes com *O. sokolowskii* embora sendo considerado um dos principais parasitóide de *P. xylostella*. No entanto, estudos envolvendo outras espécies de parasitóides têm mostrado que estes são capazes de responder a pistas liberadas pela interação planta hospedeira-herbívoro no processo de localização do hospedeiro (Vinson 1976, Tumlinson *et al.* 1993, Meiners & Hilker 2000, Colazza *et al.* 2004), em especial nas interações de parasitóides específicos como *O. sokolowskii*. Por exemplo, fêmeas do parasitóide *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Braconidae)

são capazes de responder a plantas de canola, *Brassica napus* L., infestadas por lagartas de *P. xylostella* (Potting *et al.* 1999). Este tipo de comportamento também foi identificado em outra espécie de *Oomyzus*. Fêmeas de *Oomyzus gallerucae* Fonscolombe (Hymenoptera: Eulophidae) foram atraídas por voláteis liberados por plantas de *Ulmus campestris* L. (Urticaceae) infestadas com ovos de *Xanthogaleruca luteola* (Muller) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Meiners & Hilker 1997). Assim, é possível que fêmeas de *O. sokolowskii* foram atraídas por plantas de repolho atacadas por *P. xylostella*, em baixas e altas densidades e que esta atração foi intensificada para áreas sob maior infestação da praga, um comportamento desejado para o controle biológico aplicado. No entanto, estudos mais específicos para investigar a ação de voláteis de brássicas na atratividade de *O. sokolowskii* ainda são necessários para confirmar esta hipótese.

Os resultados mostram que houve um incremento significativo na taxa de lagartas parasitadas quando estas foram expostas por mais tempo (72 h) aos parasitóides em casa telada. Este resultado indica que o parasitismo por *O. sokolowskii* também é dependente do fator tempo, uma vez que a taxa de parasitismo praticamente dobrou de aproximadamente 40% em 24 h para 80% em 72 h de exposição. O tempo de exposição tem sido também constatado como sendo importante para outros parasitóides. De acordo com Foerster *et al.* (2001) a porcentagem de lagartas de *Mythimna (Pseudaletia) sequax* Franclemont (Lepidoptera: Noctuidae) parasitadas por *Glyptapanteles muesebecki* (Blanchard) (Hymenoptera: Braconidae) aumentou com o tempo de exposição. É provável que com o aumento do tempo disponível, parasitóides sejam estimulados a continuar procurando e tenham maiores chances de localizar e parasitar mais hospedeiros em campo, especialmente aqueles sinovigênicos, que necessitam de tempo para a produção de novos ovos durante a vida adulta e; portanto, sendo limitados pelo tempo para a expressão de todo o seu potencial de parasitismo. Em condições de confinamento em campo, onde a variabilidade ambiental foi

maior, incluindo precipitação durante os testes, mesmo quando os parasitóides tiveram um período de 72 h para localizar e parasitar o hospedeiro, a taxa de parasitismo foi inferior ao laboratório. Assim, uma hipótese complementar é que além do tempo de exposição, outros fatores tais como a área de forrageamento e às condições ambientais (temperatura, chuva, vento, intensidade de luz) interagem e podem interferir na capacidade de parasitismo de parasitóides. Resultados semelhantes foram encontrados por Weisser *et al.* (1997) ao estudar o impacto de condições climáticas na capacidade de forrageamento e parasitismo de *Aphidius rosae* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae). Neste estudo os autores concluíram que o potencial de parasitismo de *A. rosae* em condições de campo seria bem variável e inferior às condições de laboratório se o clima não fosse favorável. Assim, as variações encontradas na capacidade de parasitismo de *O. sokolowskii* podem ter sido resultado das diferentes condições experimentais adotadas no laboratório, semi-campo e campo, mas ficando evidente que o tempo de exposição é um fator importante para incremento na sua taxa de parasitismo.

Em laboratório, *O. sokolowskii* mostrou uma redução significativa no número de descendentes produzidos por lagarta parasitada com o aumento da densidade de *P. xylostella*, sugerindo que *O. sokolowskii* é capaz de ajustar sua progênie em função da disponibilidade de hospedeiros, depositando mais ovos/lagarta quando hospedeiros disponíveis estão em baixa densidade sugerindo o superparasitismo, o qual também foi evidenciado em outros estudos (Silva-Torres *et al.* 2009b). Possivelmente, as fêmeas de *O. sokolowskii* são capazes de distribuir a progênie de maneira mais uniforme quando o hospedeiro está em alta densidade, ou ocorrer menor número de encontros com hospedeiros já parasitados. É provável que isto tenha ocorrido pela diferença entre a relação do número de fêmeas progenitoras/hospedeiro disponível. Na baixa densidade de lagartas, registrou-se uma média de 5 fêmeas do parasitóide/lagarta, enquanto que na densidade mais alta esta relação foi reduzida para 0,6 fêmeas/lagarta. Segundo a literatura, algumas espécies de parasitóides são capazes de ajustar

o número e o sexo dos descendentes em função da relação número de fêmeas progenitoras e disponibilidade de hospedeiro (Godfray 1994, Burton-Chellew *et al.* 2008), o mesmo ocorrendo para *O. sokolowskii* (Chen *et al.* 2008). O número total de descendentes produzidos por fêmea de *Glyptapanteles muesebecki* em 24 h aumentou com a densidade de hospedeiros e houve uma distribuição mais regular nos descendentes produzidos por hospedeiro, enquanto que em condições de escassez de hospedeiros houve a ocorrência de superparasitismo sobre lagartas de *M. sequax* (Foerster *et al.* 2001). Em contraste aos resultados de laboratório, não houve diferença no número de descendente de *O. sokolowskii* produzidos por lagarta parasitada em condições de microparcels e campo. Possivelmente esta divergência de resultados ocorreu pelo fato de que em laboratório, os parasitóides estavam confinados em arenas (potes 300mL), assim dando chances de múltiplos encontros com hospedeiros previamente parasitados, principalmente em densidades baixas, favorecendo o superparasitismo. Enquanto que em condições de microparcels e campo, os parasitóides tiveram uma área maior para forrageamento, reduzindo assim as chances de encontrar hospedeiros já parasitados e, conseqüentemente, o superparasitismo.

Em suma, os resultados encontrados indicam que *O. sokolowskii* tem potencial para localizar e parasitar *P. xylostella*, seja em altas ou baixas densidades populacionais, e que o tempo de 72 h é importante para atingir níveis mais elevados de parasitismo. Este fato reforça a importância da utilização de táticas de manejo que visem à conservação deste parasitóide em campo, seja de ocorrência natural ou após liberações de parasitóides no início da colonização da praga. Entre elas, a disponibilidade de alimento para os parasitóides, pois os mesmo vivem significativamente mais quando alimentados (Silva-Torres *et al.* 2009b), e o uso de inseticidas seletivos para o controle de *P. xylostella* quando necessários.

Agradecimentos

A CAPES pela bolsa concedida ao primeiro autor através do projeto PROCAD No. 83054. A profa. Ângela Maria Isidro de Farias pelas correções e sugestões no manuscrito. A Júlio Correia Alves (proprietário) e Miguel Raimundo de Aguiar Filho (Eng. Agrônomo) porque permitiram a instalação do experimento em áreas de produção orgânica de couve.

Literatura Citada

- Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). An. Soc. Entomol. Brasil 28: 469-476.
- Burton-Chellew, M.N., T. Koevoets, B.K. Grillenberger, E.M. Sykes, S.L. Underwood et al. 2008.** Facultative sex ratio adjustment in natural populations of wasps: cues of local mate competition and precision of adaptation. Am. Nat. 172: 393-404.
- Chen, R.X., F. Zhang, W.G. Huangfu, H.Y. Yao, J.B. Zhou & U. Kuhlmann. 2008.** Reproductive attributes of the eulophid *Oomyzus sokolowskii*, a biological control agent of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Biocontrol Sci. Technol. 18: 753-765.
- Colazza, S., A. Fucarino, E. Peri, G. Salerno, E. Conti & F. Bin. 2004.** Insect oviposition induces volatile emission in herbaceous plants that attract egg parasitoids. J. Exp. Biol. 207: 47-53.
- Faria, C.A., J.B. Torres & A.M.I. Farias. 2000.** Resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando ovos de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): efeito da idade do hospedeiro. An. Soc. Entomol. Brasil 29: 85-93.

- Faria, C.A., J.B. Torres, A.M.V. Fernandes & A.M.I. Farias. 2008.** Parasitism of *Tuta absoluta* in tomato plants by *Trichogramma pretiosum* Riley in response to host density and plant structures. *Ciência Rural* 38: 1504-1509.
- Ferreira, S.W.J., R. Barros & J.B. Torres. 2003.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neotrop. Entomol.* 32: 407-411.
- Fitton, M. & A. Walker. 1992.** Hymenopterous parasitoids associated with diamondback moth: the taxonomic dilemma, p. 225-232. In N.S. Talekar (ed), *Diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the second international workshop.* Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan, 453p.
- Foerster, L.A., A.K. Doetzer & M.R.F. Avanci. 2001.** Parasitóides larvais de *Mythimna (Pseudaletia) sequax* Franclemont e capacidade de parasitismo de *Glyptapanteles muesebecki* (Blanchard) em relação ao tempo de exposição, temperatura e densidade de hospedeiros. *Acta Biol. Paranaense* 30: 139-149.
- Godfray, H.C.J. 1994.** Parasitoids. Princeton: Princeton University Press, 473 p.
- Gordh, G., E.F. Legner, L.E. Caltagirone. 1999.** Biology of parasitic hymenoptera, p.355-381. In T.S. Bellows & T.W. Fisher (eds.), *Handbook of biological control.* San Diego: Academic Press, 1046p.
- Hassell, M.P. 1978.** The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton: Princeton University, 237p.
- Hassell, M.P. & R.M. May. 1973.** Stability in insect host-parasite models. *J. Anim. Ecol.* 42: 693-726.
- Holling, C.S. 1959.** The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Entomol.* 91: 293-320.
- Holling, C.S. 1961.** Principles of insect predation. *Annu. Rev. Entomol.* 6: 163-182.

- Laing, J. 1937.** Host-finding by insect parasites. I. Observations on the finding of hosts by *Alysia manducator*, *Mormoniella vitripennis* and *Trichogramma evanescens*. J. Anim. Ecol. 6: 298-317.
- Loges, V. 1996.** Danos causados pela traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) em cultivares de repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* (L.) e efeito sobre a população da praga e do parasitóide *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov, 1912), em condições de campo. Tese de mestrado, UFRPE, Recife, 98p.
- Makundi, R.H. & J.E. Sariah. 2005.** A functional response of braconid parasitoids of the bean stem maggot, *Ophiomyia spencerella* (Diptera, Agromyzidae), in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Tanzania. J. Pl. Dis. Prot. 112: 478-484.
- Meiners, T. & M. Hilker. 1997.** Host location in *Oomyzus gallerucae* (Hymenoptera: Eulophidae), an egg parasitoid of the elm leaf beetle *Xanthogallerucae luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae). Oecologia 112: 87-83.
- Meiners, T. & M. Hilker. 2000.** Induction of plant synomones by oviposition by a phytophagous insect. J. Chem. Ecol. 26: 221-232.
- Murdoch, W.W. & A. Oaten. 1975.** Predation and population stability. Adv. Ecol. Res. 9:1-131.
- Mushtaque, M. 1990.** Some studies on *Tetrastichus sokolowskii* Kurd (Eulophidae: Hymenoptera), a parasitoid of diamondback moth in Pakistan. Pak. J. Zool. 22: 37-43.
- Papaj, D.R. 2000.** Ovarian dynamics and host use. Annu. Rev. Entomol. 45: 423-448.
- Potting, R.P.J., G.M. Poppy & T.H. Schuler. 1999.** The role of volatiles from cruciferous plants and pre-flight experience in the foraging behaviour of the specialist parasitoid *Cotesia plutellae*. Entomol. Exp. Appl. 93: 87-95.

- Pratissoli, D., U.R. Vianna, E.F. Reis, G.S. Andrade & A.F. Silva. 2005.** Influência da densidade de ovos de *Spodoptera frugiperda* em alguns aspectos biológicos de três espécies de *Trichogramma*. Rev. Bras. Milho e Sorgo 4:1-7.
- Quicke, D.L.J. 1997.** Parasitic Wasps. London: Chapman & Hall, 470p.
- Sampaio, MV., V.H.P. Bueno & E.R. Pérez-Maluf. 2001.** Parasitismo de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) em diferentes densidades de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Neotrop. Entomol. 30: 81-87.
- SAS Institute. 2000.** SAS User's Guide: Statistics version 8 for Windows. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Schenk, D. & S. Bacher. 2002.** Functional response of a generalist insect predator to one of its prey species in the field. J. Anim. Ecol. 71: 524-531.
- Schoonhoven, L.M., J.J.A. van Loon & M. Dicke. 2005.** Insect-plant biology. New York: Oxford University Press, 421p.
- Silva-Torres, C.S.A., R. Barros, J. B. Torres. 2009a.** Efeito da idade, fotoperíodo e disponibilidade de hospedeiro no comportamento de parasitismo de *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae). Neotrop. Entomol. 38: 512-519.
- Silva-Torres, C.S.A., I.T. Ramos Filho, J.B. Torres, R. Barros. 2009b.** Superparasitism and host size effects in *Oomyzus sokolowskii*, a parasitoid of diamondback moth. Entomol. Exp. Appl. 133: 65-73.
- Talekar, N.S. & W.J. Hu. 1996.** Characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Oomyzus sokolowskii* (Hym., Eulophidae). Entomophaga 41: 45-52.
- Tumlinson, J.H., W.J. Lewis, L.E.M. Vet. 1993.** How parasitic wasps find their hosts. Sci. Am. 268: 100-106.

- Turlings, T.C.J., J.H. Loughrin, P.J. McCall, U.S.R. Rose, W.J. Lewis & J.H. Tumlinson. 1995.** How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92: 4169-4174.
- Van den Boom, C.E.M., T.A. Van Beek, M.A. Posthumus, A.E. De Groot & M. Dicke. 2004.** Qualitative and quantitative variation among volatile profiles induced by *Tetranychus urticae* feeding on plants from various families. J. Chem. Ecol. 30: 69-89.
- Van Lenteren, J.C. & K. Bakker. 1976.** Functional responses in invertebrates. Net. J. Zool. 26: 567-572.
- Vinson, S.B. 1976.** Host selection by insect parasitoids. Annu. Rev. Entomol. 21:109-133.
- Waage, J.K. 1983.** Aggregation in field parasitoids populations of *Diadegma* (Hym.: Ichneumonidae). Ecol. Entomol. 8: 447-459.
- Wang, X., S. Liu, S. Guo & W. Lin. 1999.** Effect of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. Biocontrol 44: 391-402.
- Weisser, W.W., W. Völkl & M.P. Hassell. 1997.** The importance of adverse weather conditions for behavior and population ecology of an aphid parasitoid. J. Anim. Ecol. 66: 386-400.
- Yang, J.C., Y. I. Chu, N.S. Talekar. 1994.** Studies on the characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) by a larval parasite *Diadegma semiclausum* (Hym.: Ichneumonidae). Entomophaga 39: 397-406.

Tabela 1. Densidades de infestação e porcentagem de parasitismo de lagartas de *Plutella xylostella* por *Oomyzus sokolowskii* em microparcels em casa telada sob diferentes níveis de infestação em função da densidade média de lagartas recuperadas por microparcela.

Densidade inicial ¹	24 h		72 h	
	Lagartas recuperadas	Taxa de parasitismo	Lagartas recuperadas	Taxa de parasitismo ²
25	18,2 (9 - 23)	54,4 ± 11,97	17,5 (8 - 25)	82,5 ± 6,62 ^{0,0603}
50	36,2 (20 - 50)	57,3 ± 8,52	32,6 (13 - 47)	81,5 ± 5,0 ^{0,0334}
85	64,4 (32 - 85)	48,9 ± 10,63	25,6 (16 - 42)	81,3 ± 2,73 ^{0,0105}
100	69,6 (54 - 95)	49,0 ± 12,32	62,2 (42 - 80)	77,5 ± 5,38 ^{0,0508}

¹Densidade inicial de lagartas infestadas correspondente a seis plantas de repolho por microparcela.

²Valores sobrescritos indicam o valor de *P* comparando-se as taxas de parasitismo entre 24 e 72 horas (na linha) pelo teste de t a 5% de probabilidade.

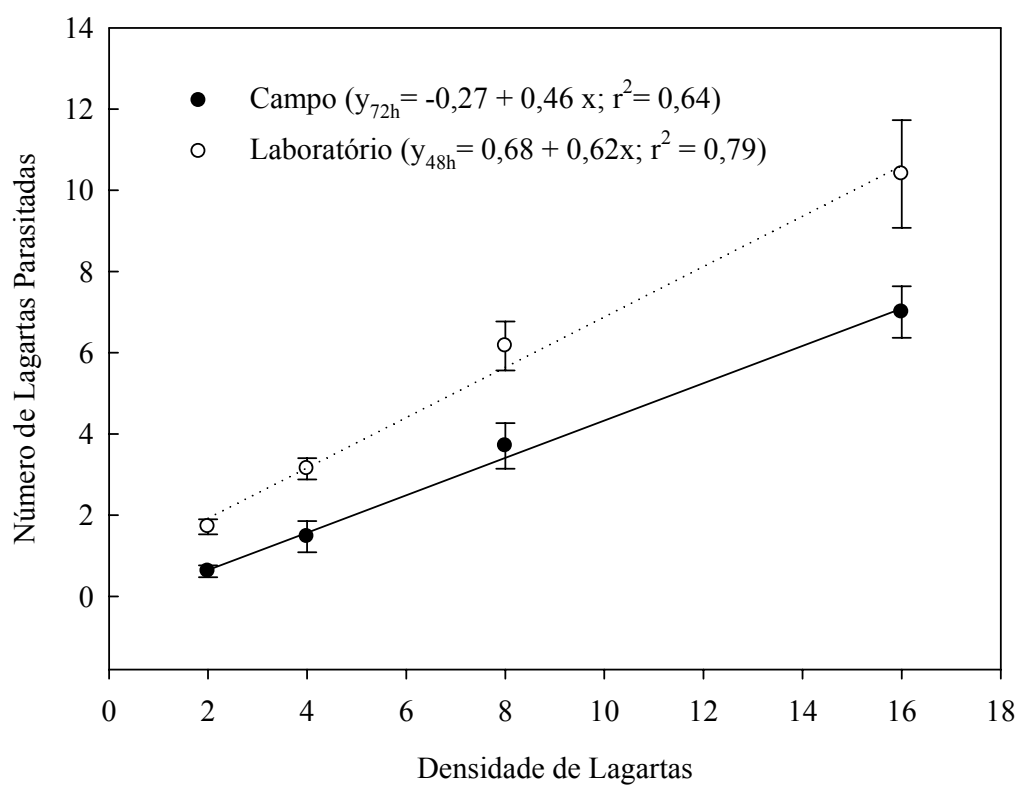


Figura 1. Número médio (\pm EP) de lagartas de *P. xylostella* parasitadas por *O. sokolowskii* quando confinado com diferentes densidades de lagartas em laboratório e campo. Laboratório: $F_{1,24} = 110,21$; $P < 0,0001$; campo: $F_{1,64} = 115,75$; $P < 0,0001$.

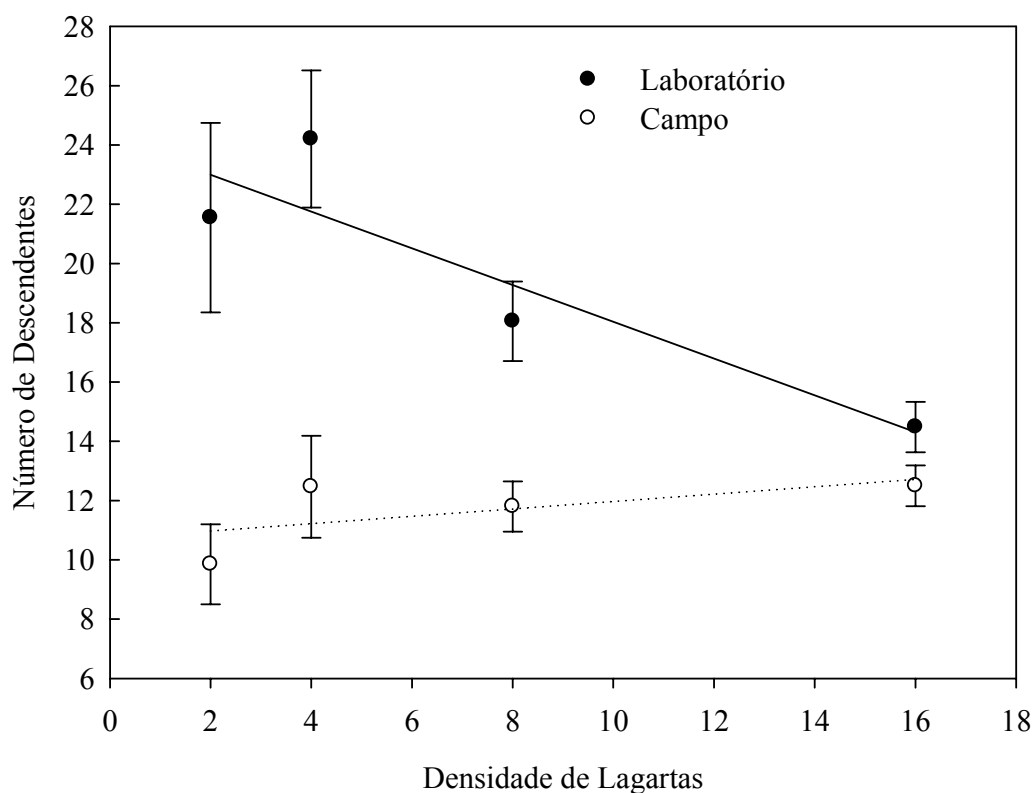


Figura 2. Número médio (\pm EP) de descendentes de *Oomyzus sokolowskii* produzidos por lagarta parasitada de *Plutella xylostella* em um período de 48 h em laboratório ($y = 24,23 - 0,62x$; $r^2 = 0,82$; $F_{1,121} = 20,32$; $P < 0,0001$) e 72 h em campo ($y = 10,72 + 0,1246x$; $r^2 = 0,38$; $F_{1,150} = 0,58$; $P = 0,4480$) em função de diferentes densidades do hospedeiro.

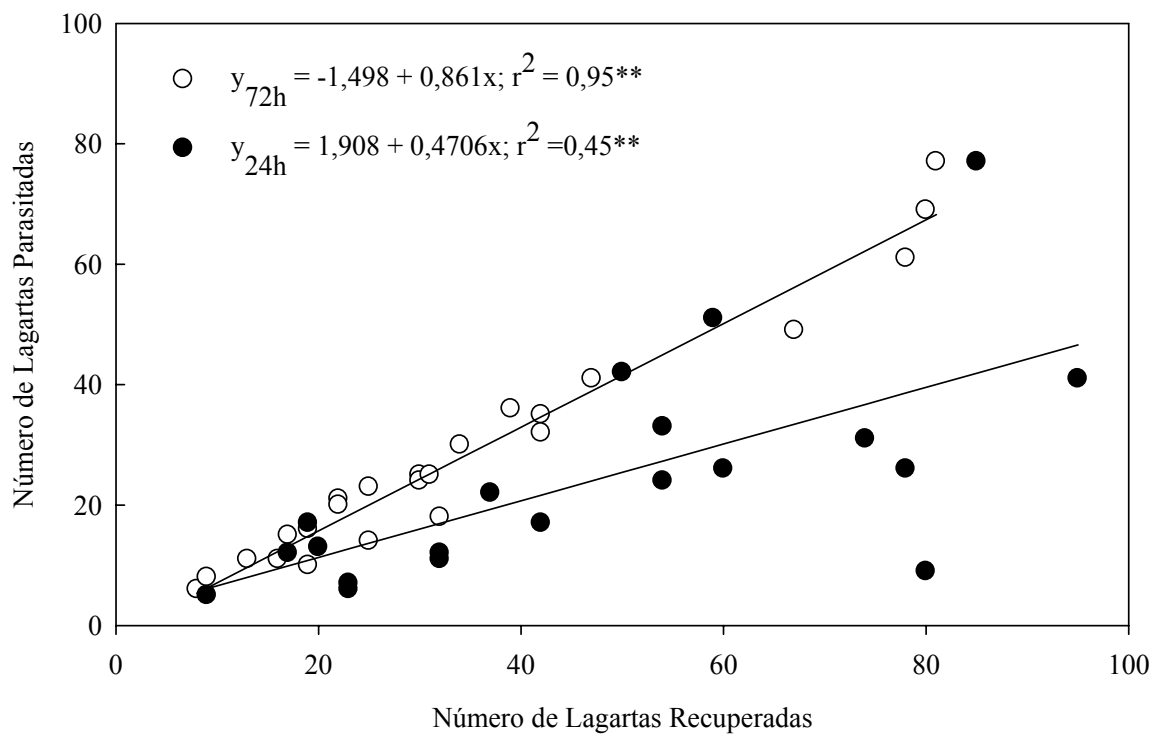


Figura 3. Número de lagartas de *Plutella xylostella* parasitadas por *Oomyzus sokolowskii* expostas por 24 ou 72 horas, respectivamente, em função do número de lagartas recuperadas de seis plantas por microparcela. **Significativo a 1% de probabilidade.

CAPÍTULO 5

DISPERSAL AND PARASITISM OF *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) IN CRUCIFEROUS AGROECOSYSTEMS GROWN UNDER VARIABLE CONDITIONS¹

CHRISTIAN S. A. SILVA-TORRES, JORGE B. TORRES E REGINALDO BARROS

Departamento de Agronomia – Entomologia. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil.

¹Silva-Torres, C.S.A., J.B. Torres & R. Barros. Dispersion and parasitism capacity of *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae) in cruciferous agroecosystems grown under variable conditions. To be submitted.

ABSTRACT. Determining the most efficacious method for a parasitoid's release is challenging, and depends on the crop area to be covered and the environmental conditions created by the agroecosystems. Releases of the parasitoid *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) and the effect of crucifers cropping systems were investigated aiming to control the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). First, we investigated the dispersal ability of *O. sokolowskii*. Kale plants were infested with 20, 25, 30 and 35 *P. xylostella* larvae each, at distances of 0, 8, 16, and 24m, from a central release point in the field. Second, the effect of a multiple host plant system composed of cabbage, broccoli and Napa cabbage on the parasitism capacity of *O. sokolowskii* was investigated. Lastly, the parasitism capacity of *O. sokolowskii* and the colonization rate of DBM were investigated comparing crop systems composed of a monoculture of cabbage, and three different intercropping systems: cabbage and green onion, cabbage and cilantro, and cabbage, green onion and cilantro. For all experiments, selected plants were infested with sentinel DBM larvae and caged with mesh that allowed parasitoid search inside the cages while reducing the impact of opportunists on DBM larvae. Results showed that parasitoids were able to disperse and parasitize *P. xylostella* at similar rates throughout a field of kale up to 24m from the releasing point. Intercropping of cabbages with other crop plants did not negatively affect parasitism rates of *O. sokolowskii*, and did not interfere with cabbage colonization by *P. xylostella*.

KEY WORDS: Diamondback moth, biological control, intercropping, host location

DISPERSÃO E PARASITISMO DE *Oomyzus sokolowskii* (KURDJUMOV)
(HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM AGROECOSSISTEMAS DE CRUCÍFERAS
CULTIVADAS SOB CONDIÇÕES VARIÁVEIS

RESUMO - Liberação de parasitóides é um desafio que depende do tamanho da área de cultivo a ser atingido e as diferentes condições ambientais criadas pelos agroecossistemas. Assim, foram investigadas liberações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), e o efeito de policultivo no parasitismo de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Primeiramente, investigou-se a capacidade de dispersão de *O. sokolowskii*. Plantas de couve foram infestadas com 20, 25, 30 e 35 larvas de *P. xylostella* cada, a distâncias de 0, 8, 16, e 24m, a partir de um ponto central no campo. Em seguida, foi investigado o efeito de múltiplas plantas hospedeiras, repolho, brócolis e couve-chinesa, na capacidade de parasitismo de *O. sokolowskii*. No terceiro experimento, a capacidade de parasitismo e a taxa de colonização da praga foram investigadas comparando-se sistemas de cultivo compostos por monocultivo de repolho, e três diferentes sistemas de policultivo: repolho e cebolinha, repolho e coentro, e repolho, cebolinha e coentro. Em todos os experimentos, plantas selecionadas foram infestadas com lagartas sentinelas de *P. xylostella* e confinadas de forma a permitir a entrada dos parasitóides enquanto reduzia o impacto de oportunistas sobre as lagartas. Os parasitóides foram capazes de se dispersar e parasitar *P. xylostella* em taxas semelhantes em todo o campo de couve atingindo a distância máxima de 24m a partir do ponto de liberação. O policultivo de repolho com outras culturas não reduziu significativamente a taxa de parasitismo de *O. sokolowskii* e a colonização de repolho por *P. xylostella*.

PALAVRAS-CHAVE: Traça-das-crucíferas, controle biológico, policultivo, localização de hospedeiro

Introduction

Changing plant composition in an agroecosystem can have consequences for herbivores and their natural enemies' populations. Therefore, crop growing practices can have significant and complex impacts on insect population dynamics (Poswal *et al.* 1993, Badenes-Perez *et al.* 2005). Understanding how such practices affect pest population dynamics is important for developing sustainable and environmentally friendly approaches to pest management, especially in cases where insecticides are either avoided or not permitted (e.g., organic farming).

In many agroecosystems, landscape diversity has been simplified (i.e., extensive areas of monocultures) and insect communities are often dominated by a few pest species (Ryszkowski *et al.* 1993). On the other hand, insect pest damage tends to be lower in diverse agroecosystems (Andow 1986, Coll & Bottrell 1994). According to Root (1973) two hypotheses have been proposed to explain lower pest problems in diverse agroecosystems. The first is related to the insect pest and is called “the resource concentration hypothesis”, which predicts that specialist insect herbivores are less likely to find their host plant in mixed crops. Alternatively, “the natural enemies' hypothesis” predicts that populations of generalist natural enemies will be greater in diverse agroecosystems because of an increased availability and diversity of alternative host/prey, food sources, refuge and suitable microhabitats.

Research encouraging the use of agroecosystem diversification to reduce insect pests was based on early studies conducted with crucifers. Vostrikov (1915) noticed that cabbage, *Brassica oleracea* var. *capitata* L., grown near tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill., suffered less attack by insect pests, and later Ulliyett (1947) proposed that weeds should be left around cruciferous fields to maintain the natural enemies of the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), which is considered the most destructive among the cruciferous pests worldwide. More recently, farmers have routinely applied

insecticides to control *P. xylostella*, but this can be very expensive for growers (França & Medeiros 1998, Haseeb *et. al.* 2004, Cheng *et. al.* 2008). Moreover, the use of broad spectrum insecticides has resulted in pest resurgence after insecticide application, widespread insecticide resistance, and has proved to be detrimental to biological control agents (Nemoto 1986, Metcalf 1994). Lately, public concerns about ecological and economic consequences of pesticide use have increased, stressing the need for alternative pest control methods. Therefore, efforts have been made around the world to search for alternative control measures for *P. xylostella* and to develop an integrated pest management (IPM) package for this pest.

Studies seeking alternative methods to control *P. xylostella* should consider the diversity of habitats where this pest occurs and differences in crucifer growing systems. Among the alternatives, biological control and cultural practices could be used synergistically to reduce populations of *P. xylostella*. Additionally, there are many parasite species that attack *P. xylostella* (Silva-Torres *et al.* 2009a) and the use of these freely-available natural enemies would make developing an IPM package more economical and sustainable.

Reducing colonization of insects within a field can be the first line of defense in preventing pest outbreaks. In diverse agroecosystems, non-host plants may disrupt host finding by herbivores (Thiery & Visser 1986, Guerin 1987). In Pernambuco (Brazil) crucifers are rarely grown in monoculture; they are invariably planted in a mixed cropping system where small plots of different crucifer varieties are interspersed among equally small plots of non-crucifer vegetable species. Under such circumstances, it is possible that the presence of non-crucifers affects the process of host location by both herbivore (*P. xylostella*) and its parasitoids either by acting as a physical barrier, camouflaging the host crop, and/or chemically by changing volatile bouquet within the field. In fact, intercropping with a non-host plant has been shown to disrupt host finding by *P. xylostella* and other insects, even if the non-host plant has no repellent properties (Finch *et al.* 2003). Additionally, *P. xylostella* egg load on crucifers

can be significantly reduced in the presence of non-host plants such as the herb sage, *Salvia officinalis* L., thyme, *Thymus vulgaris* L., and white clover, *Trifolium pretense* L. (Dover 1986, Asman *et al.* 2001). For natural enemies that rely on plant volatiles to locate their hosts, previous work has shown that their response depend on the plant-herbivore-parasitoid species involved because some species can be favored by the habitat diversity while others may be negatively affected (Perfecto & Vet 2003).

The endoparasitoid, *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), has been found naturally parasitizing larvae and pupae of *P. xylostella* (Fitton & Walker 1992, Wang *et al.* 1999). In Brazil, *O. sokolowskii* was found in Rio Grande do Sul (Ferronato & Becker 1984), Distrito Federal (Castelo Branco & Medeiros 2001), and Pernambuco (Silva-Torres *et al.* 2009b). According to Fitton & Walker (1992), *O. sokolowskii* is the only chalcidoid with real potential to control *P. xylostella* but field studies on the behavior of this parasitoid are lacking. Therefore, the objectives of this study were: 1) to investigate the dispersion ability of *O. sokolowskii* in cruciferous agroecosystems, and 2) to investigate the effects of landscape diversity on the colonization of host plants by *P. xylostella* and the parasitism capacity of *O. sokolowskii*. We expect *O. sokolowskii* to be capable of dispersing throughout the field such that intercropping with different cruciferous cultivars or intercropping with different plant species would not negatively affect its parasitism capacity.

Material and Methods

Experiments were carried out in two locations of Pernambuco (Brazil): Chã-Grande County (coordinates 08°15'14.4'' S, 35° 30'0.3'' W, and 505m above sea level) and Aldeia County (coordinates 07°56'25.8'' S, 35°01'38.9'' W, and 137m above sea level). DBM larvae and parasitoid wasps used in the experiments originated from colonies established at the Biological Control and Insect Ecology Laboratory of the Universidade Federal Rural de

Pernambuco (UFRPE) following procedures in Barros & Vendramim (1999) and Silva-Torres *et al.* (2009c), respectively. Laboratory conditions were: temperature of $25.5 \pm 1.17^{\circ}\text{C}$, $67 \pm 12\%$ RH and a L13:D11 photoperiod. Naive, mated, and fed *O. sokolowskii* females (2-4 days old), reared for 35 generations in the laboratory, were used in the experiments. Prior to release, females were separated from males with the help of a magnifying lamp (10x) based on the difference of their body size and antennal morphology (males have long hairs on the antennal club and are usually smaller than females).

Dispersal of *O. sokolowskii*. The experiment was conducted from February to April 2008. Kale plants (*Brassica oleracea* var. *acephala*) (Isla S.A., Porto Alegre, RS) were grown in Chã Grande, PE, in an area of 621m^2 (23m wide x 27m long), according to the specific agronomic recommendations for cultivation of organic kale. Kale seedlings were grown in 128-well polystyrene trays filled with potting substrate for vegetables (Brasplant[®], Arthur Nogueira, SP). The trays were kept in a greenhouse for up to 20 days, after which seedlings were transplanted in the experimental area spaced at 50cm between rows and 40cm between plants within the row. During the experiment the environmental conditions were on average $27.6 \pm 1.66^{\circ}\text{C}$, $53.6 \pm 13.9\%$ RH, and 12.5h L: 11.5h D of natural photoperiod (HOBOWare[™] Software, ONSET Computer Corp). The central point of the experimental area was marked and later used as the release point of the parasitoid wasps. Afterwards, two transect lines, from one corner to the other, crossing at the central point were marked in the field and 15 kale plants (\cong 80 days old) were selected. Selected plants were eight meters apart and distributed throughout the kale field. Next, the selected plants were fully inspected and cleaned from any arthropod found, then they were infested with sentinel DBM third instar larvae in the following densities: 20, 25, 30 and 35 larvae per plant, according to the distances 0, 8, 16, and 24m from the release point in the field, respectively. Host densities increased with distance from the release point to adjust for possible effects of hosts per area ratio to be explored by the parasitoids. First, eight

of the 15 plants monitored were enclosed in cylindrical cages (50cm diameter x 80cm high) made with 4mm mesh nylon fastened with wooden sticks to reduce the action of DBM predators on the sentinel DBM larvae. Meanwhile, the remaining plants were left uncaged. Previous tests showed that the overall average (\pm SE) numbers of recovered DBM larvae from uncaged and caged plants were 3.04 ± 0.58 and 9.4 ± 0.67 , respectively [$F_{1, 151} = 63.96$, $P < 0.0001$; repeated measures analysis of variance using SAS package (SAS Institute 2000)]. Hence, thereafter this previous tests all plants were caged to continue the experiments.

Parasitoid wasps were placed in glass vials (1.0 x 7.5cm) held in a cardboard box (10 x 15cm). The box was positioned at the central point of the field 30cm above the tops of the kale plants. The vials containing the female wasps were opened at sunset of the same day after sentinel DBM larvae were released in the kale field (~ 4 hours after), to minimize immediate escape of the parasitoids from the experimental field while also promoting acclimatization of the wasps through the night and permitting more normal dispersal the following morning after sunrise, since this parasitoid species is diurnal (Silva-Torres *et al.* 2009c). Two field plots were used to compare release rates of 800 and 400 female wasps per plot. The releases were conducted six and four times, respectively, with one week intervals between releases and repeated over time due to having limited field areas available during the experiment. Three days after infestation, all remaining DBM larvae from the artificial infestation were collected, and monitored in the laboratory until either an adult DBM or a parasitoid emerged. Control for natural parasitism in these fields was measured by placing sentinel DBM larvae without wasp releases, once at the beginning, once in the middle and once at the end of the experiment to follow the establishment of the parasitoids in the area. All pupae that failed to emerge were dissected to determine whether parasitism had occurred.

Data on parasitism rate as function of the number of released wasps, distance from the releasing site and geographic direction (N, S, E and W) were submitted to general linear model

analysis through the PROC GLM of SAS considering release date as a blocking factor, and subsequently analyzed using Tukey's test for mean comparisons (SAS Institute 2000) between densities of wasps and distance from the release point.

Parasitism of DBM on different host plants. Plants of cabbage (*B. oleracea* var. *capitata*), broccoli (*B. oleracea* var. *italica* L.) and Napa cabbage (*B. campestris* subsp. *pekinensis* L.; Brassicaceae) were grown in Chã Grande, PE, in an area of 270m² (9m wide x 30m long), according to the specific agronomic recommendations of organic farming in the region. Seeds were obtained from Isla S.A., Porto Alegre, RS, a Brazilian company. Field conditions monitored during the experiment were on average 20.9 ± 2.41°C, 86.2 ± 12.76% RH, and 12.5h L: 11.5h D of natural photoperiod (HOBOWare™ Software, ONSET Computer Corp). Plant seedlings were grown in polystyrene trays filled with potting substrate for vegetables (Brasplant®, Arthur Nogueira, SP). The trays were kept in a green house for up to 20 days, after which seedlings were transplanted into field beds. Each plant species (cabbage, broccoli and Napa cabbage) was planted individually in one bed (1m wide x 30m long), which was alternated by cabbage beds of the same size. Beds were 1m apart from each other. Each bed held four rows of plants spaced at 30cm between plants within the row and 20cm between rows. A central point of the experimental area was marked and later used as the release point of the parasitoid wasps. When plants were 30 days old, twelve plants, four of each species, were selected within the experimental area. Selected plants were always located in one of the central rows of the bed and 2m apart from each other within the bed. Next, the selected plants were infested with 30 DBM third instar larvae. All infested plants were enclosed in cylindrical cages (50cm diameter x 80cm high) made with 4mm mesh nylon fastened with wooden sticks to reduce the action of other enemies. Then 800 female wasps were released in the central point of the field at a height of 30cm above the top of the plants. Three days after infestation and parasitoid release, the infested plants were inspected for DBM larvae, which were collected

and monitored in the laboratory until either an adult DBM or parasitoids emerged. Four infestations of DBM and releases of parasitoid wasps were conducted during June and July 2008. The natural parasitism was measured by releasing only sentinel DBM larvae, once at the beginning and once at the end of the experiment to follow the establishment of the parasitoids in the experimental area. All pupae that failed to emerge were dissected to determine whether parasitism had occurred.

Parasitism rate as function of wasp releases (control vs. 800 females) was submitted to Students' t test through PROC TTEST of SAS using releasing times as a blocking factor. In addition, parasitism rates as a function of plant species (ca. cabbage, broccoli and Napa cabbage) were analyzed using analyses of variance through the PROC GLM of SAS (SAS Institute 2000), and a post-hoc means comparison test when significant.

Parasitism of DBM larvae in an intercropping system. Different combinations of cabbage, green onion (*Allium fistulosum* L., Alliaceae) and cilantro (*Coriandrum sativum* L., Apiaceae) were grown in two areas of 140m² according to the specific agronomic recommendations of organic farming. The experiment was conducted in two localities, Chã Grande (average temperature of $25.3 \pm 0.16^{\circ}\text{C}$, $74.9 \pm 0.93\%$ RH and 12.5h L: 11.5h D of natural photoperiod), and Aldeia (average temperature of $25.4 \pm 3.61^{\circ}\text{C}$, $88.5 \pm 15.91\%$ RH, and 12h L:D of natural photoperiod), (HOBOWare™ Software, ONSET Computer Corp.).

Field plots planted with cabbage in monoculture served as the control treatment. The other three treatments consisted of cabbage intercropped with (2) green onion, (3) cilantro, and (4) green onion and cilantro simultaneously comprised. The experiment was set up in random blocks with five replications per treatment. Plants were cultivated in five beds (1m wide x 20m long), each one being considered as treatment block. Then, each bed was split into four areas (5m long x 1m wide), which received the treatments randomly, so that every bed/block held all four treatments. The intercropping system consisted of three rows of plants per bed as follows:

Two rows of cilantro (cv. *verdão*) were planted directly in the beds at a density of 60 seeds per linear meter, 2cm deep, 7 days before transplanting of cabbage seedlings and green onion sprouts. Green onion sprouts were obtained from older beds containing green onion plants and were transplanted directly into the beds at 20cm between plants within the row. Seedlings of cabbage were grown in 128-well polystyrene trays filled with potting substrate for vegetables (Brasplant®, Arthur Nogueira, SP). The trays were kept in a greenhouse for up to 20 days, after which seedlings were transplanted into beds spaced at 30cm within the row. Cabbage plants were placed in the central row, except in the control where cabbage was also planted in the borders of the bed resulting in three rows of cabbage per bed. The non-host plants (cilantro and green onion) always composed the two rows of plants in the borders of the beds.

DBM population growth in the experimental areas was followed over seven weeks, starting one week after transplantation of seedlings spanning March to April 2009 in Chã Grande and April to June 2009 in Aldeia. Ten plants, randomly selected for each treatment were fully inspected each week for DBM larvae and pupae. At the last sampling week (7), when all plants were fully grown, and the cabbage head was beginning to be formed, a total of 20 cabbage plants (one per treatment) were artificially infested with 20 DBM third instar larvae, previously reared in the laboratory. All infested plants were confined using cylindrical cages described above to reduce the action of opportunists other than *O. sokolowskii*.

In both experimental areas (Chã Grande and Aldeia), 400 female wasps were released in the field as described above. Three days after infestation and release of parasitoid wasps, infested plants were fully inspected and the DBM larvae were collected, and held for rearing in the laboratory until either an adult DBM or a parasitoid emerged. The releasing of parasitoid wasps was conducted twice with one week interval between releases. Natural parasitism in the experimental field was measured by placing sentinel DBM larvae on cabbage plants, one week before the first release of wasps (initial control) and one week after the last release of wasps in

the field (final control) to follow the establishment of the parasitoids in the experimental area. All pupae that failed to produce adults were dissected to determine whether parasitism had occurred.

Prior to analyses, all data were submitted to normality (Kolmogorov D: normal test) and homogeneity (Bartlett's test) tests of variance through PROC UNIVARIATE of SAS. Most of the parameters showed significant deviation from a normal distribution according to results of normality tests applied; hence percentage data were arcsine transformed (square root (x/100)) to meet the assumptions of the ANOVA. Next, data on DBM population growth were analyzed using one-way analysis of variance with repeated measures on time (sampling dates) through PROC GLM of SAS. Parasitism rates [prior (initial control) and after (final control) wasp releases] and as function of wasp releases (release 1 and release 2) were compared by Students' t-test, using PROC TTEST of SAS. Meanwhile, parasitism rate as function of wasp releases and intercropping treatments were submitted to two-way ANOVA using PROC GLM of SAS. All analyses were conducted using the SAS package (SAS Institute 2000).

Results

Dispersion of *O. sokolowskii*. Parasitism rate of DBM larvae by *O. sokolowskii* was significantly higher when wasps were released in comparison with the natural parasitism ($F_{2, 77} = 17.79$, $P < 0.0001$, Fig.1), with about a 100% increase in the parasitism rate of DBM larvae in the field following release of the wasps. On the other hand, there was no significant difference in the parasitism rate of DBM larvae when either 800 or 400 wasps were released (Fig. 1). Similarly, parasitoid wasps were equally able to parasitize DBM larvae across all tested distances ($F_{3, 77} = 1.49$, $P = 0.2244$) and directions ($F_{4, 64} = 1.34$, $P = 0.2658$) from the releasing point in the kale field. The average (\pm SE) of DBM parasitism rate in the different

distances from the releasing point varied from 63.9 ± 10.9 to $84.2 \pm 7.11\%$ and from 62.7 ± 9.33 to $81.1 \pm 4.10\%$, when 400 and 800 female wasps were released in the field, respectively.

Parasitism of DBM in different host plants. Considering all three host plants together, the parasitism rate of DBM larvae was significantly greater when wasps were released in the experimental area in comparison with the natural parasitism rate ($t_{22} = 5.91$, $P < 0.0001$), reaching a parasitism average (\pm SE) of $13.3 \pm 4.66\%$ and $53.3 \pm 5.80\%$ for natural and augmentative releases, respectively. Likewise, considering each cruciferous cultivar separately, there was a significant increase in the DBM parasitism rate after releasing the wasps in the field (cabbage: $t_6 = 2.58$, $P = 0.0416$; broccoli: $t_6 = 3.34$, $P = 0.0156$; Napa cabbage: $t_6 = 3.85$, $P = 0.0085$, Fig. 2). In contrast, there was no significant difference in the DBM parasitism rate across all three cruciferous cultivars ($F_{2,9} = 0.83$, $P = 0.4660$, Fig. 2).

Parasitism of DBM larvae in an intercropping system. There was a significant increase in the DBM population from in cabbage from time of transplant up to pre-heading formation in the two experimental locations, Chã Grande ($F_{6,12} = 58.58$, $P < 0.0001$, Fig. 3A) and in Aldeia ($F_{6,12} = 908.83$, $P < 0.0001$, Fig. 3B). The average (\pm SE) number of DBM larvae found per cabbage plant varied from 0 to 7.7 ± 1.35 and from 0 to 5.5 ± 0.41 , in Chã Grande and Aldeia, respectively. In addition, the DBM populations grew similarly in cabbage monoculture field plots as in cabbage plots intercropped with cilantro, green onions, or both non-host plants, in Chã Grande ($F_{3,24} = 1.46$, $P = 0.2487$, Fig. 3A) and in Aldeia ($F_{3,24} = 0.08$, $P = 0.9696$, Fig. 3B).

Following the increase in DBM populations across the growing season and comparing natural parasitism prior to and after release of wasps, the natural parasitism rate of DBM by *O. sokolowskii* doubled in Aldeia ($t_{18} = 0.86$, $P = 0.4016$, Fig. 4A) and tripled in Chã Grande ($t_{18} = 5.69$, $P < 0.0001$, Fig. 4A), indicating possible establishment of the parasitoid population in both fields. After augmentative releases of wasps in the field, there was a significant increase

in DBM parasitism rates from 5.5 to 45.5% in Aldeia ($t_{28} = -0.25$; $P < 0.0002$). On the other hand, after the second release of wasps in Aldeia there was a significant decrease in DBM parasitism rate (Fig. 4B). In Chã Grande, there was also an increase in parasitism rate from 17.32 to 28.24% after releases of wasps in the field; however it was not significant ($t_{28} = -1.75$; $P = 0.0913$).

DBM parasitism rate was similar across all field plots irrespective of the type of cropping system used in Chã Grande ($F_{3, 39} = 2.40$; $P = 0.0861$) and in Aldeia ($F_{3, 38} = 0.33$; $P = 0.8053$).

Discussion

Dispersal is an important part of the life-history of all insects, and is often believed to be a stabilizing force in their population dynamics (Stein *et al.* 1994). Studies on the dispersal of parasitoids have demonstrated the importance of movement for achieving efficiency in inundative releases (Saavedra *et al.* 1997) and in the establishment of insects introduced for insect pest control (Hopper & Roush 1993). Females of *O. sokolowskii* were able to equally disperse and parasitize DBM throughout a kale field comprising an area of 621m² at a distance of up to 24m (field corners) from a single release point (center of the field). In contrast, other studies have shown that some parasitoid species show reduced parasitism rates as distance from the releasing point increases (Nogueira de Sá *et al.* 1993), and parasitism rates increase in patches of higher host densities (Cronin 2009), or near to the host from which parasitoids emerged (Weisser & Völki 1997). Our results suggest that *O. sokolowskii* is capable of attacking DBM larvae/pupae with the same intensity throughout the field, at least in small cultivation areas like the one used in this experiment. In fact, in Pernambuco (Brazil) growers rarely use areas larger than one hectare for cultivation of crucifers. Usually, they have small plots of different crucifer species side by side, a fact that contributes to the spread of *P.*

xylostella from crop to crop, but at the same time favors the spread of the parasitoid, assuming an equivalent response of the parasitoid across different plant species.

It is possible that *O. sokolowskii* can disperse and parasitize DBM at even further distances. Our experimental area was relatively small, but if one considers the maximum distance reached by the wasps (24m) as a radius of dispersal in a circular area, the wasps could have reached an area of approximately 1800m², more than double the area used in our tests. Therefore, in case of augmentative releases in large areas of cruciferous plants, only six release points should suffice to cover an area of one hectare, lessening the cost for growers; however, additional tests are needed to verify this hypothesis because other factors such as plant height, wind speed, light intensity, and rain could affect parasitoid dispersal (Paranhos *et al.* 2007).

Overall, natural parasitism rate of DBM increased significantly after *O. sokolowskii* was released in the experimental areas, indicating establishment of this natural enemy in the field. Growers should exploit the reproductive potential of *O. sokolowskii* resulting in population increases before DBM populations reach a threshold of economic damage. This could be complemented by adopting certain pest management practices, such as the use of selective insecticides, which would conserve the parasitoid populations in their fields. Based on the thermal requirements of *O. sokolowskii* and *P. xylostella*, as well as the climatic conditions of the main crucifer growing region in Pernambuco, Brazil (Chã Grande included), this parasitoid species can complete 24 generations during one year compared to 20 generations of the DBM (Ferreira *et al.* 2003). In addition, Loges *et al.* (1996) found that parasitism rates of *O. sokolowskii* can reach as much as 97% at the end of the cabbage growing season in the same region, showing high potential for control of *P. xylostella*. In Chã Grande, crucifers are cultivated year around because of the favorable climatic conditions; hence there is a constant problem of *P. xylostella* in the field, but it also favors the maintenance of *O. sokolowskii* in the area.

In the first experiment, kale plants had been present for a longer period in the field, prior to the experiment (old plantation), along with other crucifers cultivated in nearby plots, serving as sources of both pests and natural enemies. In fact, the natural parasitism rate at the beginning of the dispersal experiment (trial 1) in Chã Grande was relatively high (40%) in comparison with the natural parasitism rate found in the multiple host trial (trial 2) in Chã Grande (13%) and intercropped cabbage (trial 3) in either Chã Grande (19%) and Aldeia (6%). These results further indicate the ability of the parasitoid to disperse between neighboring areas, because the kale area used in the dispersal trials had other cultivated crucifers nearby. But this was not true for the two last trials.

There was no effect of parasitoid release density on DBM parasitism rate. Actually, the average parasitism rate varied from approximately 62 to 84% in both densities (400 and 800 female wasps), suggesting that the lower number of wasps released in the field was sufficient to achieve reasonable DBM control levels. This benefits the grower, because fewer parasitoids cost less thereby making augmentative release more economically advantageous. Similar results were found by Trissi *et al.* (2006) when investigating the effects of density of the egg parasitoid, *Trissolcus grandis* Thomson (Hymenoptera: Scelionidae) on the parasitism rate of *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae). They found that parasitism rate was not affected by the parasitoid release densities from one to three wasps per square meter.

Releasing 800 wasps in a small area like the one used in our experiments may result in increased competition and superparasitism. Previous studies (Neil & Specht 1990, Moreira *et al.* 2009) have shown that a reduced parasitoid efficiency reflected as low parasitism rate may occur if the density of parasitoids released in the field is too high and the host density is low, hence the probability of wasps finding unparasitized hosts decreases, resulting in superparasitism. This might explain the parasitism rates found in this study when 800 wasps were released in comparison with 400 wasps. On the other hand, we also need to consider that

superparasitism may be beneficial from the parasitoid's perspective by producing a higher number of descendants resulting in a rapid increase in the population of the natural enemy in the area (Silva-Torres *et. al.* 2009b). However, above a certain level the competition caused by superparasitism can be so high that the population of the parasitoid will decline (DeBach & Smith 1947).

Herbivorous insects need to be able to find their host plants in time and space; hence, the concentration of resources can be an important factor in the host selection process. According to Root (1973) herbivorous insects have higher chances of finding and staying where host plants are more concentrated (e.g., clumped). Our results showed that the abundance of *P. xylostella* (reflected as population growth) was not affected by local factors such as host plant abundance. In fact, DBM populations increased as plants aged with similar intensity in either monoculture or intercropped cabbage.

It is commonly known that some plants produce odors that repel herbivores, thus reducing pest colonization. For example, non-host chemicals such as rutin found in tomato plants were found to deter *P. xylostella* oviposition on cabbage (Tabashnik 1985). Our results suggest that any volatiles released by cilantro and green onion or the physical barrier imposed by these plants were not deterrents to *P. xylostella* colonization on nearby cabbage plants. Also, irrespective of crop system, DBM population reached greater numbers in Chã Grande than in Aldeia (Fig. 3). This finding is likely related to the fact that the experimental area in Chã Grande was located near areas cultivated with other cruciferous cultivars. Heavy rain during the survey period in Aldeia from April to June 2009 may have been a contributing factor to the observed differences as well.

Another hypothesis that could explain the similar colonization of cabbage plants by *P. xylostella* in monoculture and in the intercropping systems relates to the proximity between beds of different plant species used in our experiments. Our experimental beds were 1 m apart

from each other, and only this small space and a physical barrier of non-host plants separated cabbage plants of different beds. Therefore, it is possible that *P. xylostella* did not perceive host-plant aggregation due to the degree of the spatial heterogeneity being within its range of between-plant dispersal, although our experimental design reflected the grower system commonly used in the locality. Similar results were found by Badenes-Perez *et al.* (2005), when the ovipositional preference of *P. xylostella* was investigated. In that study they found that DBM ovipositional preference was related to plant age and that intercropping of cabbage with either tomato, *L. esculentum*, or Fava bean, *Vicia fava* L., did not reduce the number of eggs laid on cabbage. In contrast, Dover (1986) found that *P. xylostella* egg load on Brussels sprouts, *Brassica oleracea* L. var. *gemmifera* (DC.) Zenker, was reduced in the presence of the herbs sage, *S. officinalis*, and thyme, *T. vulgaris*. Additionally, other studies have shown that complex agroecosystems correlated with reduced pest damage and increased herbivore mortality due to parasitism (Kruess 2003, Thies *et al.* 2005). Therefore, it seems that the effect of mixed crops on pest colonization is likely often site-specific, variable and complex.

Results also showed that the variety of DBM host plants tested did not affect the parasitism capacity of *O. sokolowskii*. Actually, DBM parasitism rates were similar in cabbage, broccoli and Napa cabbage. *Oomyzus sokolowskii* females were similarly able to parasitize DBM larvae when cabbage plants were cultivated in a monoculture system or in a more complex system (e.g., intercropping with non-host plants) with cilantro and green onions. Even a difference in plant structure, as in the ones used in our experiments, did not affect parasitism efficiency on *P. xylostella* whether on cruciferous plants in monoculture or in intercropping systems. Therefore, the use of *O. sokolowskii* to control DBM is promising, especially in organic fields in which alternative control methods to replace the use of insecticides are strongly encouraged.

The effects of mixed crops on parasitism of *P. xylostella* are variable. There was no difference in parasitism by either *Cotesia plutellae* Kurdjumov (Hymenoptera: Braconidae) or *Diadegma semiclausum* Hellen (Hymenoptera: Ichneumonidae) of *P. xylostella* in cabbage planted in monoculture or associated with non-crucifer plants (Talekar & Yang 1993). Additionally, in Hawaii, Bach & Tabashnik (1990) found that the presence of tomato next to cabbage significantly increased parasitism of *P. xylostella* by *C. plutellae*. In contrast, another study showed that when *D. semiclausum*, was offered *B. oleracea* plants infested by DBM larvae interspersed by plants of either *Sinapis alba* L. or *Hordeum vulgare* L., parasitoids did not find the host-infested plants at the same rate. The parasitoids searched preferentially on *S. alba* and *H. vulgare* plants, resulting in fewer initial host encounters, possibly creating a dynamic enemy-free space for the host on adjacent *B. oleracea* plants (Bukovinszky *et al.* 2007). Also, Perfecto & Vet (2003) showed that the effect of plant diversity on host finding and parasitism depends on the parasitoid species involved, because the parasitoid with a wider host range, *Cotesia glomerata* (L.) (Hymenoptera: Braconidae) was negatively affected by the presence of non-host plants, and the species with the narrower host range, *Cotesia rubecula* Marshall (Hymenoptera: Braconidae), actually increased its foraging efficiency in the diverse system. *Oomyzus sokolowskii* seems to conform to this last category regarding its host specificity to larvae and pupae of DBM. However, other factors such as host-plant density, plant age, plant structure as well as infochemicals released by them could interfere with the searching behavior of parasitoids, depending on the herbivore-plant-parasitoid system involved.

It has been theorized that if the associations that parasitoids have with their hosts and host plants are strong, the barriers imposed by non-host plants should not prevent them from locating their hosts (Andow 1991). It is possible that due to *O. sokolowskii* being a specialist parasitoid of *P. xylostella* using a restricted set of cues to locate its hosts in the field, the

influence of a plant mosaic composed of visual and chemical cues from host and non-host plants is reduced or even minimized. Previous studies have shown that one of the plant responses to herbivory is induced by an herbivore-derived elicitor and that various natural enemies are able to discriminate between volatiles induced by different herbivore species (Schoonhoven *et al.* 2005). Therefore, it is expected that even in more complex systems, such as the intercropping here tested, *O. sokolowskii* females may be able to discriminate and to find plants attacked by its host *P. xylostella* at a rate equal to that observed in the monoculture.

In summary, released *O. sokolowskii* females were able to broadly disperse and equally parasitize *P. xylostella* throughout a field of crucifers up to 24 m from the release point, regardless of the host density, distance or direction in the field. Natural parasitism rates in recently formed fields were initially low but quickly increased and even tripled after a few parasitoid releases of 400 female wasps in the area, reaching levels that suggest that this parasitoid has potential to reduce DBM populations. In addition, intercropping systems of crucifer plants with other crucifers or with green onion and cilantro did not negatively affect the efficiency of *O. sokolowskii* in parasitizing *P. xylostella* and so could be used by growers to increase profits from the cultivated areas. However, DBM levels were not reduced by intercropping cabbage with other non-host plants (cilantro and green onion).

Acknowledgments

We thank Robert W. Matthews (University of Georgia, Athens, GA, USA) and John R. Ruberson (University of Georgia, Tifton, GA, USA) for their valuable suggestions on an early version of this manuscript. CAPES Foundation provided funding support through project PROCAD/CAPES No. 83054.

Literature Cited

- Andow, D.A. 1986.** Plant diversification and insect population control in agroecosystems. p. 277-348, In D. Pimentel (ed.), Some aspects of pest management. Department of Entomology, Cornell University, Ithaca, NY, 368p.
- Andow, D.A. 1991.** Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 561-586.
- Asman, K., B. Ekbom & B. Rämert. 2001.** Effect of intercropping on oviposition and emigration behavior of the leek moth (Lepidoptera, Acrolepiidae) and the diamondback moth (Lepidoptera, Plutellidae). *Environ. Entomol.* 30: 288-294.
- Bach, C.E. & B.E. Tabashnik. 1990.** Effect of nonhost plant neighbors on population densities and parasitism rate of the diamondback moth (Lepidoptera, Plutellidae). *Environ. Entomol.* 19: 987-994.
- Badenes-Perez, F.R., B.A. Nault & A.M. Shelton. 2005.** Manipulating the attractiveness and suitability of hosts for diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 98: 836-844.
- Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *An. Soc. Entomol. Brasil* 28: 469-476.
- Bukovinszky, T.R. Gols, L. Hemerik, J.C. van Lenteren & L.E.M. Vet. 2007.** Time allocation of a parasitoid foraging in heterogeneous vegetation: implications for host-parasitoid interactions. *J. Anim. Ecol.* 76: 845-853.
- Castelo Branco, M. & M.A. Medeiros. 2001.** Impacto de inseticidas sobre parasitóides de traça-das-crucíferas em repolho, no Distrito Federal. *Pesqu. Agropecu. Bras.* 36: 7-13.

- Cheng, L., Y.U. Guang, C. Zi-hao & L.I. Zhong-yin. 2008.** Insensitive acetylcholine receptor conferring resistance of *Plutella xylostella* to nereistoxin insecticides. *Agric. Sci. China* 7: 847-852.
- Coll, M & D.G. Bottrell. 1994.** Effects of nonhost plant on an insect herbivore in diverse habitats. *Ecology* 75: 723-731.
- Cronin, J.T. 2009.** Habitat edges, within-patch dispersion of hosts, and parasitoid oviposition behavior. *Ecology* 90: 196-207.
- DeBach, P. & H.S. Smith. 1947.** Effects of parasite population density on the rate of change of host and parasite populations. *Ecology* 28: 290-298.
- Dover, J.W. 1986.** The effect of labiates herbs and white clover on *Plutella xylostella* oviposition. *Entomol. Exp. Appl.* 42: 243-247.
- Ferreira, S.W.J., R. Barros & J.B. Torres. 2003.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neotrop. Entomol.* 32: 407-411.
- Ferronato, E.M.O. & M. Becker. 1984.** Abundância e complexo de parasitóides de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) em *Brassica oleracea* L. Var. *Acephala* D.C. *An. Soc. Entomol. Brasil* 13:261-278.
- Finch, S., H. Billiald, R.H. Collier. 2003.** Companion planting - do aromatic plants disrupt host-plant finding by the cabbage root fly and the onion fly more effectively than non-aromatic plants? *Entomol. Exp. Appl.* 109: 183-195.
- Fitton, M. & A. Walker. 1992.** Hymenopterous parasitoids associated with diamondback moth: the taxonomic dilemma, p. 225-232. In N.S. Talekar (ed.), *Diamondback moth and other crucifer pests*. Proc. 2nd international workshop, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 603p.

- França, F.H. & M.A. Medeiros. 1998.** Impacto da combinação de inseticidas sobre a produção de repolho e parasitóides associados com a traça-das-crucíferas. *Hortic. Bras.* 16: 132-135.
- Guerin, P.M. 1987.** Semiochemicals in insect-plant relations: their application as agents for masking crop colonization by pests, p. 257-274. In V. Deluchi (ed.), *Integrated pest management: Quo vadis?*, Parasitis, Geneva, Switzerland, 411p.
- Haseeb, M., T.X. Liu, & W.A. Jones. 2004.** Effects of selected insecticides on *Cotesia plutellae*, endoparasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl* 49: 33-46.
- Hopper, K.R. & R.T. Roush. 1993.** Mate finding, dispersal, number released, and the success of biological control introductions. *Ecol. Entomol.* 18: 321-331.
- Kruess, A. 2003.** Effects of landscape structure and habitat type on a plant-herbivore-parasitoid community. *Ecography* 26: 283–290.
- Loges, V. 1996.** Danos causados pela traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) em cultivares de repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* (L) e efeito sobre a população da praga e do parasitóide *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov, 1912), em condições de campo. Master's Thesis, UFRPE, Recife, 98p.
- Metcalf, R.F., 1994.** Insecticides in pest management, p. 245-314. In R.L. Metcalf & W.H. Luckman (eds.), *Introduction to insect pest management*. Wiley-Interscience Publication, New York, 650p.
- Moreira, M.D., M.C.F. Santos, E.B. Beserra & J.B. Torres. 2009.** Parasitismo e Superparasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Sitotroga cerealella* (Oliver) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotrop. Entomol.* 38: 237-242.

- Neil, K. & A. Specht. 1990.** Field releases of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for suppression of corn earworm, *Heliothis zea* (Bodie) (Lepidoptera: Noctuidae), egg populations on sweet corn in Nova Scotia. *Can. Entomol.* 122: 1259-1266.
- Nemoto, H. 1986.** Factors inducing resurgence in the diamondback moth after application of methomyl, p. 387-394. In N.S. Talekar & T.D. Griggs (eds.), *Diamondback moth management*. Proc. 1st international workshop, AVRDC, Tainan, Taiwan, 495p.
- Nogueira de Sá, L.A., J.R.P. Parra & S. Silveira Neto. 1993.** Capacidade de Dispersão de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 para controle de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) em milho. *Sci. Agric.* 50: 226-231.
- Paranhos, B.A.J., P.C.D. Mendes, N.T. Papadopoulos & J.M.M. Walder. 2007.** Dispersion patterns of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) in citrus orchards in southeast Brazil. *Biocontrol Sci. Technol.* 17: 375-385.
- Perfecto, I & L.E.M. Vet. 2003.** Effect of a nonhost plant on the location behavior of two parasitoids: The tritrophic system of *Cotesia* spp. (Hymenoptera: Braconidae), *Pieris rapae* (Lepidoptera: Pieridae), and *Brassica oleraceae*. *Environ. Entomol.* 32: 163-174.
- Poswal, M.A.T., A.D. Akpa & O. Alabi. 1993.** Cultural control of pests and diseases: prelude to integrated pest management practices for resource-poor farmers in Nigerian agriculture. *J. Sustain. Agric.* 3: 5-48.
- Root, R.B. 1973.** Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.* 43: 94-125.
- Ryszkowskii, L., J. Karg, G. Margalit, M.G. Paoletti & R. Zlotin. 1993.** Aboveground insect biomass in agricultural landscapes of Europe, p. 71-82. In R.G.H. Bunce, L. Ryszkowskii & M.G. Paoletti (eds.), *Landscape ecology and agroecosystems*. Lewis, Ann Arbor, Michigan, 241p.

- Saavedra, J.L.D., J.B. Torres, M.G. Ruiz. 1997.** Dispersal and parasitism of *Heliothis virescens* eggs by *Trichogramma pretiosum* (Riley) in cotton. *Int. J. Pest. Manage.* 43: 169-171.
- SAS Institute 2000.** SAS User's Guide: Statistics version 8 for Windows. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Schoonhoven, L.M., J.J.A. van Loon & M. Dicke. 2005.** *Insect-plant biology*. New York, Oxford University Press, 421p.
- Silva-Torres, C.S.A., I.V.A.F. Pontes, J.B. Torres & R. Barros. 2009a.** New Records of Natural Enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. *Neotrop. Entomol.*, in press.
- Silva-Torres, C.S.A., I.T. Ramos Filho, J.B. Torres & R. Barros. 2009b.** Superparasitism and host size effects in *Oomyzus sokolowskii*, a parasitoid of diamond back moth. *Entomol. Exp. Appl.* 133: 65-73.
- Silva-Torres, C.S.A., R. Barros & J.B. Torres. 2009c.** Efeito da idade, fotoperíodo e disponibilidade de hospedeiro no comportamento de parasitismo de *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae). *Neotrop. Entomol.* 38: 512-519.
- Stein, S.J., W.P. Price, T.P. Craig & J.K. Itami. 1994.** Dispersal of a galling sawfly: implications for studies of insect population dynamics. *J. Anim. Ecol.* 63: 666-676.
- Tabashnik, B.E. 1985.** Deterrence of diamondback moth (Lepidoptera, Plutellidae) oviposition by plant compounds. *Environ. Entomol.* 14: 575-578.
- Talekar, N.S. & J.C. Yang. 1993.** Influence of crucifer cropping system on the parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Yponomeutidae) by *Cotesia plutellae* (Hym., Braconidae) and *Diadegma semiclausum* (Hym., Ichneumonidae). *Entomophaga* 38: 541-550.
- Thiery, D. & J.H. Visser. 1986.** Masking of host plant odor in the olfactory orientation of the colorado potato beetle. *Entomol. Exp. Appl.* 165-172.

- Thies, C., I. Roschewitz & T. Tschardtke. 2005.** The landscape context of cereal aphid–parasitoid interactions. *Proc. R. Soc. London B* 272: 203–210.
- Trissi, A.N., M. El Bouhssini, J. Ibrahim, M. Abdulhai, B.L. Parker, W. Reid & F.J. El-Haramein. 2006.** Effect of egg parasitoid density on the population suppression of Sunn Pest, *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae), and its resulting impact on bread wheat grain quality. *J. Pest Sci.* 79: 83-87.
- Ulyett, G.C. 1947.** Mortality factors in population of *Plutella maculipennis* Curtis (Tineidae, Lep.) and their relation to the problem of control. Union S. Africa Dept. Agric. For. Entomol. Mem. 2: 77-102.
- Vostrikov, P. 1915.** Tomatoes as insecticides. The importance of Solanaceae in the control of pests of agriculture. *Novotcherkassk* 10: 9-12.
- Wang, X., S. Liu, S. Guo & W. Lin. 1999.** Effect of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl* 44: 391-402.
- Weisser, W.W. & W. Völkl. 1997.** Dispersal in the aphid parasitoid, *Lysiphlebus cardui* (Marshall) (Hym., Aphidiidae). *J. Appl. Entomol.* 121: 23-28.

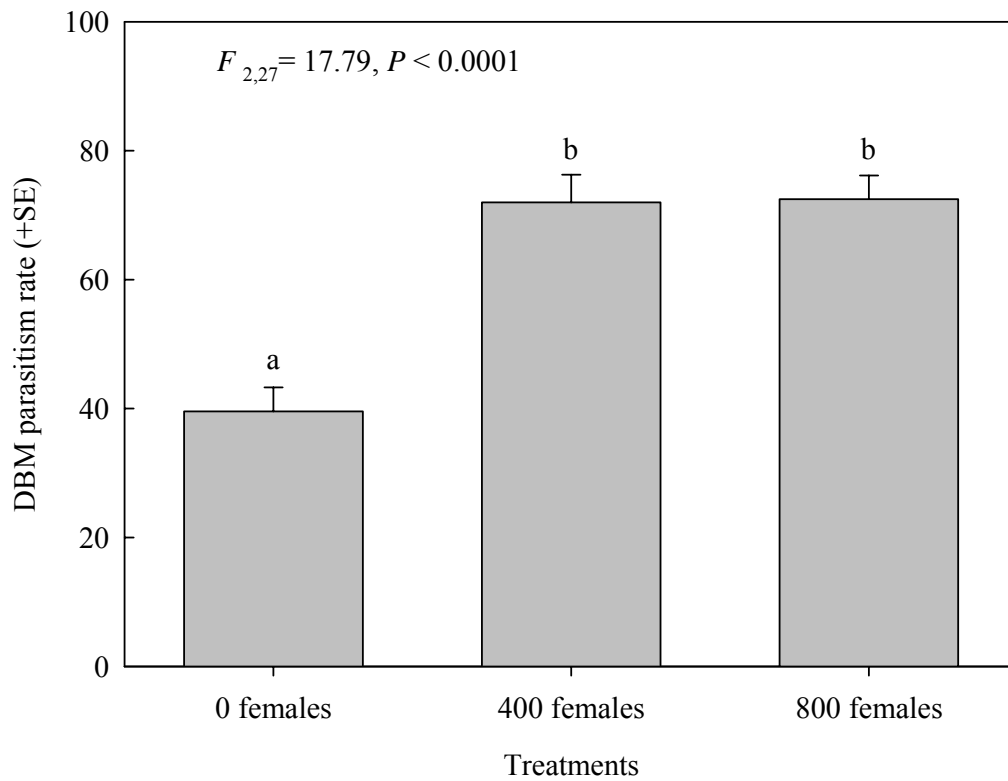


Figure 1. Parasitism rate (+SE) of *Plutella xylostella* larvae when submitted to different densities of *O. sokolowskii* released in a kale field. Bars under the same letter do not differ by Tukey HSD test ($\alpha = 0.0167$ after Bonferroni's correction).

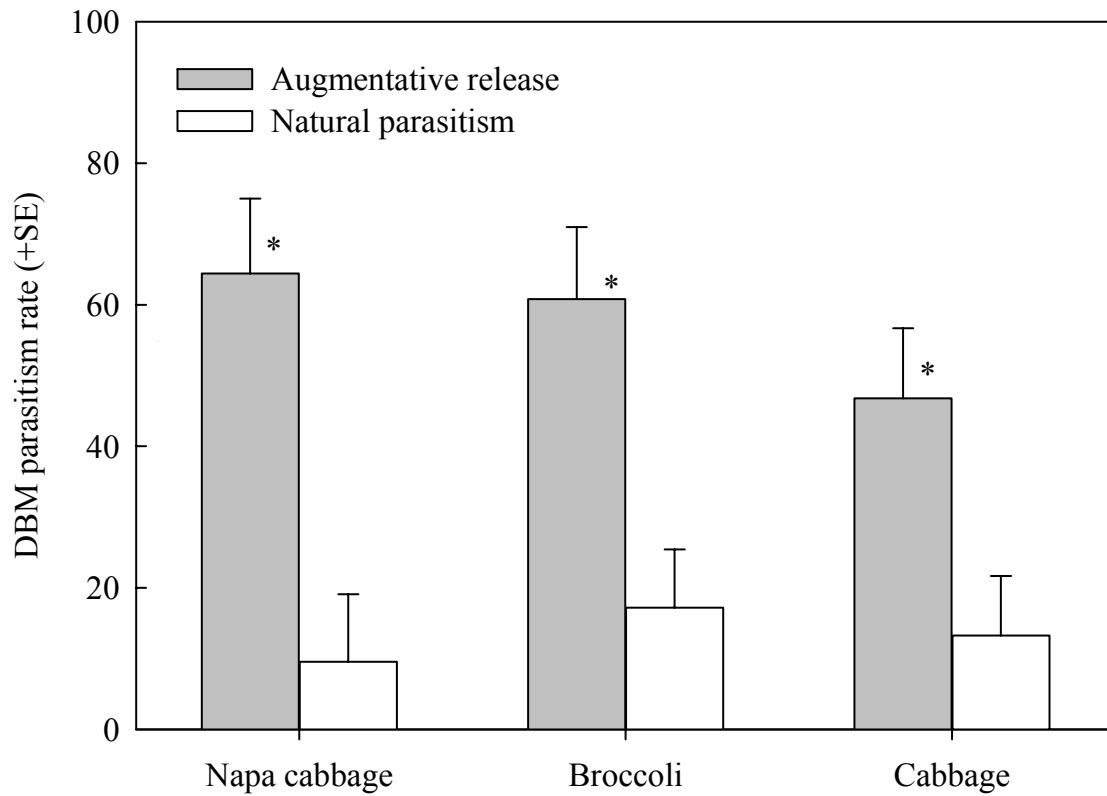


Figure 2. Parasitism rate (+SE) of *Plutella xylostella* larvae by *Oomyzus sokolowskii* in different crucifer plants. *Statically different between treatments of augmentative release of wasps and natural parasitism at 0.05 level of significance by t-test.

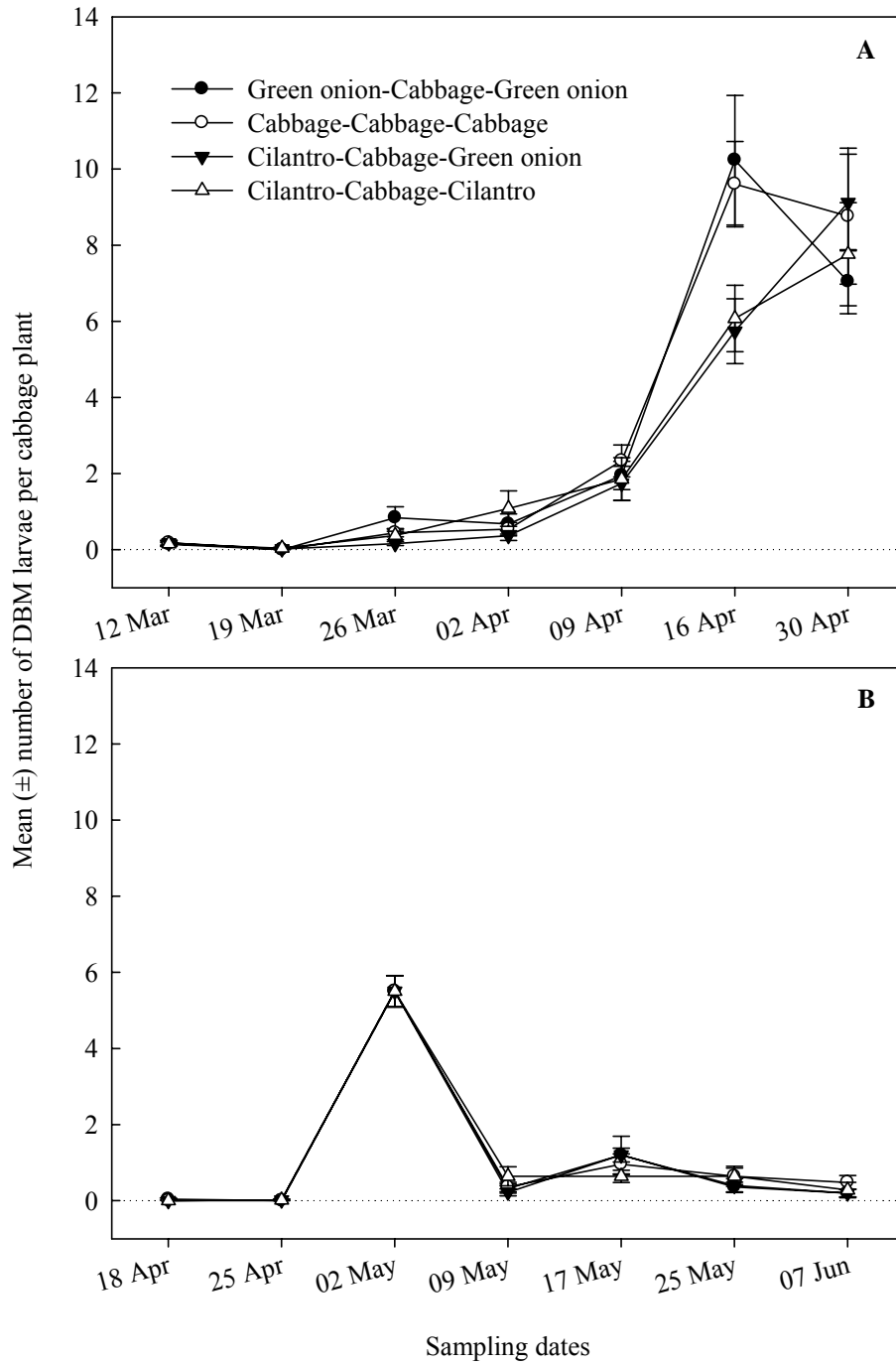


Figure 3. Densities of *Plutella xylostella* larvae per cabbage plant cultivated under different cropping designs in Chã Grande (A) and Aldeia (B).

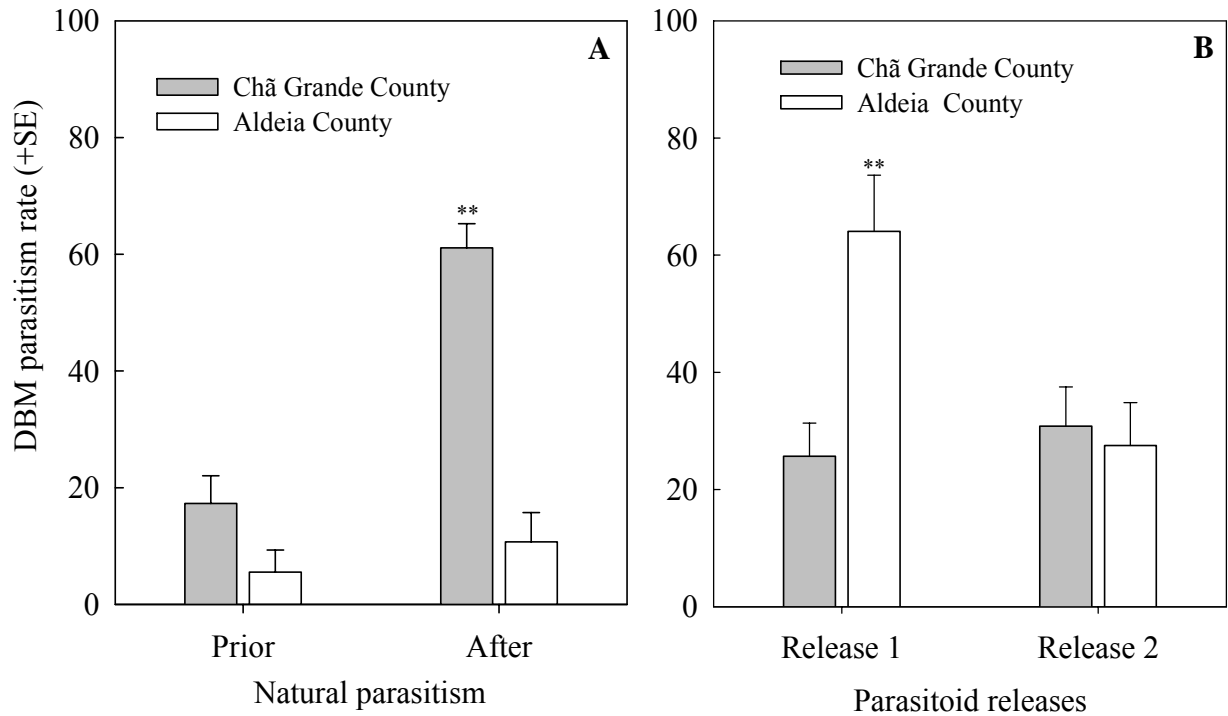


Figure 4. Parasitism rate (+SE) of *Plutella xylostella* larvae by *Oomyzus sokolowskii* in Chã Grande and Aldeia. Natural parasitism was measured one week before and one week after the parasitoid releases (A; Aldeia: $t_{18} = 0.86$; $P = 0.4016$; Chã-Grande: $t_{18} = 5.69$; $P < 0.0001$), and augmentative releases with one week intervals between releases (B; Aldeia: $t_{18} = 3.07$; $P = 0.0066$; Chã-Grande: $t_{18} = -0.7$; $P < 0.49$).