

第6章 総合考察

天敵昆虫を用いた害虫の生物的防除法は、(1) 侵入害虫に対し、その原産地から天敵を導入して被害発生地域に定着させ、永続的な防除効果を期待する「伝統的生物的防除」、

(2) 室内で大量増殖した天敵を施設等へ人為的に放飼する「放飼増強法」、(3) 圃場及び周辺環境を整備することにより土着天敵を保護し、その効果を利用する「土着天敵の保護利用」に区分される (Dent, 2000; 矢野, 2003a; Hajek, 2004; van Driesche and Heinz, 2004). このうち放飼増強法は、主に放飼世代の天敵個体群の捕食や寄生による直接的な効果を用いる「大量放飼」と、まず少量の天敵を放飼して圃場に定着させた後、主に次世代以降の活動による害虫防除効果に期待する「接種的放飼」に分けられる (Dent, 2000; 矢野, 2003a; Hajek, 2004; van Driesche and Heinz, 2004). いずれの場合も、天敵の増殖能力や捕食・寄生能力、環境適応性、休眠性等の生態特性を明らかにし、天敵としての能力を事前に評価することが重要であり (矢野, 2003a; Hajek, 2004), 特に放飼増強法においては、害虫防除効果の高い天敵種を選抜する際の基礎的情報として、上記のような生態特性の把握が欠かせない (van Lenteren and Manzaroli, 1999; 矢野, 2003b).

施設園芸における放飼増強法による天敵利用がさかんなヨーロッパでは、コナジラミ類、ハモグリバエ類、アザミウマ類等に対して用いる各種天敵の事前評価が行われており (柿元ら, 2006), このうち捕食性カメムシ類ではハナカメムシ類に関する研究が多い。天敵種間の比較も行われており、例えば、Tommasini (2003) は、*Orius insidiosus* (Say), *Orius majusculus* (Reuter), *Orius laevigatus* (Fieber) 及び *Orius niger* (Wolff) (いずれもカメムシ目: ハナカメムシ科) の4種を対象として増殖能力、捕食能力等を比較し、休眠性等も含めた観点から *O. laevigatus* が天敵として最も有望であると考察している (柿元ら, 2006). 我が国でも同様に、農業生態系における主要種であるナミヒメハナカメムシ *Orius sauteri* (Poppius), コヒメハナカメムシ *Orius minutus* (L.) 及びタイリクヒメハナカメムシの3種 (Yasunaga, 1997a, b, c) を対象に、発育特性及び休眠性 (柿元ら, 2003) 並びに増殖能力 (Kakimoto et al., 2005) が調査され、種間での比較が行われている。

オオメカメムシ類では、Dunbar and Bacon (1972) により *Geocoris tricolor* Fabricius (カメムシ目: オオメカメムシ科), *G. pallens* 及び *G. punctipes* の3種の発育及び増殖に対する温度の影響が、Tamaki and Weeks (1972) により *G. pallens* 及び *G. bullatus* の発育、増殖、捕食等の幅広い生態特性が、また、Crocker and Whitcomb (1980) により *G.*

bullatus, *G. punctipes* 及び *G. uliginosus* の3種の捕食特性が調査され、それぞれ種間で比較・考察されている。日本のオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシも害虫の天敵として利用できる可能性がある種として注目されていたが (安永ら, 1993), 両種の詳しい生態的特性についてはこれまでほとんど調査されておらず、具体的な評価が不可能であった。そこで本研究では、供試個体の安定的な確保のため、まず、野外調査の結果等に基づいた両種の室内飼育法を開発した (第2章)。次に、天敵としての能力評価や上記の室内飼育法を基礎とした大量増殖技術を確立する上で欠かせない、両種の発育・増殖特性や捕食能力に関する調査を行い、比較・考察した (第3章及び第4章)。さらに、害虫発生圃場で2齢または3齢幼虫を大量放飼することによる害虫防除を試み、放飼増強法による生物的防除で用いる場合には、オオメカメムシがヒメオオメカメムシよりも適しており、害虫防除効果も高いことを明らかにした (第5章)。本章では、本研究の結果から放飼増強法に用いる種としてヒメオオメカメムシよりも有望と考えられたオオメカメムシを中心に、害虫の生物的防除資材としての効率の利用をはかるうえでさらに解決すべき課題や生産現場における既存技術との併用方法等について、得られた知見に基づき総合的に考察する。

1. 大量増殖技術確立に向けた課題

本研究において、スジコナダグラメイガ卵を餌、脱脂綿を産卵基質として集団飼育することによるオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの累代飼育法が開発できた (第2章)。しかし、本方法における幼虫の羽化率は両種とも約30%と、大量増殖技術を確立するうえでは、大幅な改善を要するレベルである。加えて、オオメカメムシはヒメオオメカメムシよりも発育に日数を要し (第2章及び第3章)、餌消費量が多いため (第2章)、生産コストはオオメカメムシでヒメオオメカメムシよりも高くなると予想される。行徳 (2005) は、現在の天敵の利用には「使用方法や使用体系が複雑で効果が安定しない」、「費用が高い」という問題点があり、既存の技術に替えて導入するメリットは小さいことを指摘している。これらの問題点を解決するうえでは、「簡単で安定した効果が得られる利用技術」や「少量・少回数の放飼により低コストで効果が得られる技術」等、利用場面で改善をはかることが重要であるが (行徳, 2005), 利用する天敵の生産コストの低減化も同様に重視すべきである。オオメカメムシの大量増殖における生産コストを削減するうえでは、共食いを回避するための容器内の構造上の工夫や、安価な代替餌を用いた飼育法の検討が必要と考

えられる。代替餌に関しては、筆者もこれまでに、北米の *G. punctipes* の飼育用に開発された人工飼料 (Cohen, 1998) やその凍結乾燥粉末によるオオメカメムシの飼育を試みたが、全齢期を通じて本飼料を餌とした場合にはスジコナマダラメイガ卵を与えて飼育した場合と比較して幼虫の羽化率が大幅に低く (大井田, 未発表), 本格的な開発への着手には至っていない。しかし、捕食性カメムシ類を対象とした人工飼料の開発に関する報告は上記の他にもあり (例えば, De Clercq et al., 1998; Ferkovich and Shapiro, 2004a; Ferkovich and Shapiro, 2004b; Castañé and Zapata, 2005; Bonte and De Clercq, 2008等), オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの飼育に適した組成の飼料も開発可能と考えられる。これらの知見を参考に、今後、安価な材料で組成された両種用の人工飼料の開発と、これを用いた生産コストの低い大量増殖技術の確立が望まれる。

一方、第3章で明らかにした両種の卵及び幼虫の発育及び生存に関する知見は、それぞれに適した飼育温度管理による大量増殖技術の効率化と低コスト化に貢献すると考えられる。但し、成虫における増殖能力及び生存日数の調査は26℃条件下のみでの実施に留まっており、羽化後の管理を最適化するための情報が不十分である。海外に生息する両種の近縁種やハナカメムシ類における調査では、飼育温度条件の違いにより内的自然増加率等の増殖パラメータや産卵前期間、羽化後の生存日数等が大きく異なることが報告されているため (Dunbar and Bacon, 1972; Nagai and Yano, 1999; Kakimoto et al., 2005), 今後、飼育管理に用いることが想定される温度帯の複数の温度条件下において、同様の調査を進める必要がある。

2. 生態特性の解明

本研究では開発した集団飼育法と同様の飼育環境及び給餌条件におけるオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの発育特性と増殖能力を明らかにした (第3章)。また第4章では、施設園芸の主要害虫に対する両種の最大捕食量を明らかにした。これらの知見により、これまで不可能であった両種を生物的防除資材として用いることを想定した事前評価や利用環境の整備の想定がある程度可能となった。例えば、各種害虫に対する捕食量の観点からはオオメカメムシがヒメオオメカメムシよりも有望であり (第4章)、増殖能力の観点では逆にヒメオオメカメムシがやや優れる (第3章) ことが示唆された。放飼増強法において効果の高い天敵を事前評価で選抜する場合、接種的放飼と大量放飼では重視される要素が異なり (van Lenteren and Manzaroli, 1999), 接種的放飼では増殖能力が重視されるのに対し、大量放飼では重視されない。また、捕食者は1頭が生涯で多数の害虫個体を捕食し、捕食は増殖に直結しないため、内的自然増加率が (対象害虫よりも) 高いこと

は望ましい条件ではあるが、害虫抑圧のための必須条件ではない (矢野, 2003a)。このため、オオメカメムシは内的自然増加率が低い、各害虫に対する捕食能力を重視して上記と同様に評価するならば、大量放飼により適した天敵であると判断できる。また、発育特性の調査結果から、低～中温域ではオオメカメムシが、中～高温域ではヒメオオメカメムシがそれぞれ他方と比較して幼虫期の生存と発育に優れることが明らかとなった (第3章)。本知見は、両種の大量増殖における飼育温度管理のみならず、利用場面における冬季の加温管理や夏季の高温対策の実施の上でも役立つ可能性がある。

しかし、本研究で明らかとなった両種の増殖能力及び捕食能力は単一温度条件下での結果であるため、これらのデータのみでは、利用場面で遭遇する可能性がある多様な温度条件下を想定した両種の能力の事前評価は困難である。また、発育特性及び増殖能力に関しては、増殖用の飼料であるスジコナマダラメイガの卵を餌とした場合のものであり、圃場での防除対象となる害虫種を与えた場合には、その数値は異なることが予想される。

放飼増強法のための研究として重要なのは、放飼方法の最適化と天敵の有効性向上であり、前者は実用化に向け必要な技術である (矢野, 2003a)。最適利用技術は、最少の放飼天敵数で安定した効果を得る方法を、種々の環境条件について導くことであると考えられ、その開発には、種々の条件で天敵を実際に放飼する試験を行い、よりよい方法を見出す経験的方法と、シミュレーションモデル等を利用した方法の2つのアプローチがある (矢野, 2003a)。経験的方法は「このようにしたときには成功した」「このようにしたときには失敗した」という経験値の積み上げであり、こうした経験値が害虫個体群抑制のメカニズムの理解を伴わないものならば、環境の変化や新しい栽培条件の付加によって、容易に失敗を招くかもしれない (浦野ら, 2003)。一方シミュレーションモデル等を利用した方法では、一度モデルが完成すれば、モデルの可能な限界内で最適な利用技術を予測することは比較的容易である (矢野, 2003a)。害虫個体群の抑制条件を一般化したこのような害虫個体群抑制の理論は捕食性天敵でも開発されており (浦野ら, 1998; Urano et al., 2003; 浦野ら, 2003), オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシについてもこれを用いることで必要な放飼数や放飼時期の事前評価が可能になると考えられる。但し、本モデルへの当てはめには、評価対象とする害虫及び本種を与えた場合の天敵の内的自然増加率、天敵1頭当たりの日当たり捕食量等のパラメータが必要である。このため、今後対象害虫を明確にし、それらを餌とした実験を行うことにより、各パラメータを取得すべきである。

Table 6-1. Effects of agrichemicals on mortality of 2nd or 3rd instars of *G. varius*

Active ingredient	Corrected mortality ^a (Criterion of concomitant use)	Source
Insecticide		
Organophosphate		
DDVP(Dichlorvos)	×	Satoh et al. (2012)
DMTP(Methidathion)	×	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Malathion	×	Y. Satoh et al. (unpublished data)
MEP(Fenitrothion)	×	Fukao and Oida (2010)
Synthetic pyrethroid		
Fenpropathrin	×	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Fluvalinate	○	Satoh et al. (2012)
Permethrin	×	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Carbamate		
Methomyl	○	Satoh et al. (2012)
Insect growth regulator		
Chlorfluazuron	×	Satoh et al. (2012)
Lufenuron	×	Satoh et al. (2012)
Neonicotinoid		
Acetamiprid	×	Satoh et al. (2012)
Nitenpyram	○	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Acaricide		
Bifenazate	◎	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Etoxazole	◎	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Milbemectin	◎	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Pyridaben	×	Satoh et al. (2012)
Spiracle blocking		
Decanoyloctanoylglycerol	○	Fukao and Oida (2010)
Hydroxypropyl starch	○	Fukao and Oida (2010)
Propylene glycol fatty acid monoesters	×	Fukao and Oida (2010)
Others		
BT	◎	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Chlorfenapyr	◎	Satoh et al. (2012)
Emamectin benzoate	○	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Pymetrozine	◎	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Pyridalyl	◎	Satoh et al. (2012)
Spinosad	○	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Fungicide		
Polyoxin	◎	Y. Satoh et al. (unpublished data)
Sulfur	◎	Satoh et al. (2012)
Triflumizole	◎	Satoh et al. (2012)

^a ◎: mortality < 30%, ○: 30% ≤ mortality < 80%, ×: 80% ≤ mortality

るため（第4章）、農薬登録後はイチゴにおけるアザミウマ類の防除に有効な生物的防除資材としての活用が期待される。

一方、オオメカメムシは広食性であり、圃場に放飼した際には、農薬登録上の防除対象害虫とともに発生した他種

の害虫に対しても密度抑制効果を発揮することが期待される。しかし本研究における害虫防除効果試験はいずれも特定の害虫種（種群）が単独で発生した場面で行われたものであり、これを検証することはできなかった。捕食選好性に関する予備的な調査では、オオメカメムシに2種の害虫

を同時に与えた場合、害虫種の組み合わせによって両方を同様に攻撃する場合と、片方に偏って捕食する場合があることが確認できている(大井田ら、未発表)。圃場で同時に発生する害虫の組み合わせは非常に多様であるため、全ての場合を想定してオオメカメムシによる捕食の傾向を明らかにすることは困難であるが、捕食嗜好性の解明は広食性の捕食者であるオオメカメムシの応用上非常に重要と考えられるため、今後できるだけ多くのパターンを想定した実験を行い、傾向を明らかにする必要がある。

また、野外植物上におけるオオメカメムシの産卵部位を調査した結果、海外の同属他種と同様に、本種は毛茸に富んだ葉の裏側等、植物体の表面に産卵することが確認された。この習性は、本種の簡便な大量増殖法を開発するうえでは非常に有益と考えられたが、本種を利用する圃場に別の捕食者等の他種天敵が存在することを想定した場合、ギルド内捕食 (intraguild predation: IGP) (安田, 1996; 安田ら, 2009) の発生を回避する観点からはやや不利であると考えられる。また *G. punctipes* 等、海外の同属種では、寄生蜂による卵への寄生も報告されている (Cave and Gaylor, 1988a; Cave and Gaylor, 1988b)。オオメカメムシの卵を利用する寄生蜂の存否は明らかになっていないため、現在想定されているオオメカメムシの利用法を進展させ、次世代以降の圃場への定着をはかることにより長期間本種を害虫防除に用いるような場合には、卵寄生蜂等の他種天敵との競争の有無についても調査すべきと考えられる。

4. 結論

本研究の対象とした2種オオメカメムシ類のうち、オオメカメムシは施設野菜類における害虫の生物的防除資材として、幅広い場面での活用が可能であることが示唆された。難防除微小害虫による加害が問題となる施設野菜類では、大量増殖したオオメカメムシを新たな害虫防除資材として組み込むことにより、いずれもIPMがさらに発展することが期待されるが、ここではその一例として、促成イチゴ栽培でオオメカメムシを導入した場合の新たなIPM体系を提案する。

現在提示されている標準的なイチゴのIPM体系 (宮井ら, 2009) では、Fig. 6-1の上段に示したとおり、ハダニ類の防除にチリカブリダニ *Phytoseiulus persimilis* Ahitas-Henriot (ダニ目: カブリダニ科) 及びミヤコカブリダニ *Neoseiulus californicus* (McGregor) (ダニ目: カブリダニ科)、アブラムシ類の防除にコレマンアブラバチ *Aphidius colemani* Viereck (ハチ目: コマユバチ科) の利用がそれぞれ組み込まれている。一方、アザミウマ類に対しては効果の高い生物的防除資材が実用化されていないため、その防除には化学合成農薬が用いられている。本体系の下では、

その他の病虫害の対策も含め、前述の天敵類に影響が少ない化学合成農薬が選択されているが、アザミウマに対する防除を天敵に置き換えられれば、殺虫剤による予期せぬ悪影響が回避される観点から、ハダニ及びアブラムシに対する天敵利用における安心感が増す。そこで、Fig. 6-1の下段のように、このアザミウマ類の防除を担う生物的防除資材としてオオメカメムシを組み込めれば、イチゴにおけるIPMの発展に最も大きく貢献できると考えられる。第5章で試みたイチゴにおけるナミハダニの防除効果試験においては、オオメカメムシを1月下旬から放飼することにより、ハダニに対する高い防除効果が得られた。本研究の外で農薬登録の促進をはかる目的で同時期に実施した防除効果試験 (大井田ら、未発表) でも、オオメカメムシによる安定した害虫防除効果が確認されていることから、2~3月頃に組み込まれているアザミウマの防除薬剤をオオメカメムシに置き換えれば、防除が成功する可能性が高いと考えられる。その時期にはハダニ類に対してチリカブリダニの導入も提示されているが、オオメカメムシが圃場に十分定着すれば、アザミウマのみならずハダニに対しても密度抑制効果を発揮でき、状況次第でこの時期のカブリダニ放飼も省略できる可能性がある。

一方、アザミウマ類に対する防除は、イチゴの定植後間もない10月中~下旬から行われるため、この時期にオオメカメムシの放飼を行い春先までその定着を維持できれば、本種の導入効果はさらに高いと考えられるが、秋季にオオメカメムシを放飼した試験事例はまだ少ない。また、第5章における試験の結果から、本種を長期間安定して作物上に定着させるためには、オオメカメムシ用のバンカープランツの開発や、定着促進に役立つ代替餌 (撒き餌) の利用等、これを促進するための工夫が必要と考えられ、今後、秋季の放飼による害虫防除効果とともに検討する必要がある。

さらに、生産現場ではオオメカメムシによる防除が困難な害虫や病害の発生が予想され、化学的防除法との併用は必須であると考えられる。Table 6-1に示したように、イチゴ等での使用頻度が高い化学合成農薬の一部においてはオオメカメムシに対する影響評価が行われ (深尾・大井田, 2010; 佐藤ら, 2012)、オオメカメムシと各薬剤との併用可否が明らかとなっている。しかし、将来的に多様な野菜類において幅広く実用化するうえでは、依然として情報が不足していると考えられる。また近年は、害虫防除に微生物農薬が用いられる機会も増えていることから、今後これら微生物農薬の生物資材等も調査の対象に加え、オオメカメムシとの併用の可否を明らかにする必要がある。

摘 要

近年、食の安全・安心や環境に配慮した生産活動に対する消費者の関心が高まっており、これらに対応するため、生産者からは、農作物の生産性及び品質の維持と、環境負荷の低減化との両立が可能なIPM（総合的病害虫・雑草管理）の確立が強く要望されている。我が国では、主に外来種の昆虫やダニが生物的防除資材として商品化され、施設園芸におけるIPMの核技術として利用されている。しかし、これらには狭食性の種が多く、近年は外来生物による生態系影響が問題視される事例も増えているため、最近では、広食性の種を中心として、日本の土着天敵を利用する動きが活発化している。

オオメカメムシ亜科の種は広食性の捕食者として知られており、日本本土に広く生息するオオメカメムシ *Geocoris varius* (Uhler) 及びヒメオオメカメムシ *Geocoris proteus* Distantは害虫防除への応用が期待されている。しかし、両種の生理生態に関する知見は乏しく、飼育法が確立されていないため、園芸作物害虫の天敵として機能評価や、生物的防除資材としての両種の利用は困難である。そこで、本研究において両種の飼育法を確立し、基礎的な生態を明らかにするとともに、作物圃場に放飼した場合の害虫防除効果を検討した。

1. オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの産卵特性の解明並びに累代飼育法の開発

(1) 野外植物上におけるオオメカメムシの産卵部位

千葉県東金市のオオメカメムシが常発する雑草地において、クズ、セイタカアワダチソウ、ヨモギ、カナムグラ及びヤブガラシを採取し、実体顕微鏡下で産卵数を調査したところ、クズ及びセイタカアワダチソウの展開葉の裏面に産卵が確認された。一方、ヨモギ、カナムグラ及びヤブガラシでは卵は認められなかった。本種の産卵に対しては毛茸の密度が大きく影響するが、これ以外にも影響を及ぼす要因があると考えられた。

(2) オオタバコガ卵のみの給餌による発育日数及び捕食数

両種の累代飼育法開発に向けた基礎データを得るため、孵化直後から両種幼虫にオオタバコガの卵のみを与えた場合の発育所要日数、生存率、並びに日齢別の捕食数の推移を調査した。幼虫期合計の所要日数はオオメカメムシのほうがヒメオオメカメムシより長かった。同様に雌雄間で比較した場合、オオメカメムシでは統計的に有意な差が認められなかったが、ヒメオオメカメムシでは雄が雌よりも有意に長かった。両種とも1齢幼虫期の生存率は低かったが、ヒメオオメカメムシでは2齢に達した個体はほぼ全て羽化した。一方、オオメカメムシはその後も生存個体数が漸減

した。体外消化による捕食に必要な水分を十分に確保できなかったことがオオメカメムシの生存率低下の一因となった可能性がある。オオタバコガ冷凍卵に対する捕食数は、両種とも齢が進むにつれて多くなった。オオメカメムシはすべての齢期でヒメオオメカメムシより捕食数が多かった。オオメカメムシの捕食数はすべての齢期で雄よりも雌が多かった。日齢別捕食数は両種とも各齢期前半で多く、特にオオメカメムシの3~5齢幼虫期ではその傾向が顕著であった。

(3) 人工物に対する産卵特性

安価で簡便なオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの大量増殖法を確立するため、表面構造等が異なる複数の人工物を両種に与え、産卵基質としての評価を行った。両種の卵はともに脱脂綿片上及びキッチンペーパー上で認められたが、産卵基質の選択傾向には種間で差が認められた。

(4) 累代飼育法の開発

産卵場所として脱脂綿を用い、水と購入で調達可能なスジコナマダラメイガの卵を与えて集団で管理することによるオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの累代飼育法の開発を試みた。両種ともに1齢幼虫期に死亡する個体が多く、羽化したのはそれぞれ約1/3であった。

両種とも脱脂綿片への産卵が最も多かったが、産卵場所選択傾向には有意な差があった。本法により両種の累代飼育が可能となったが、生物的防除資材としての利用を前提とした商業的大量増殖法に応用するためには、生存率の向上が課題であり、そのためには共食いの防止等をはかる必要がある。

2. オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの発育・増殖特性

(1) 異なる温度条件下における卵~幼虫期の発育日数と生存率

異なる温度条件下でオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの卵~幼虫期の発育日数及び生存率を調査した。卵の発育日数は飼育温度間で有意に異なり、種と飼育温度との間には交互作用が検出された。33℃におけるオオメカメムシ及び36℃におけるヒメオオメカメムシを除き、卵の平均発育日数は飼育温度が高まるにつれて短くなった。36℃条件下では、オオメカメムシの卵は孵化しなかった。オオメカメムシの卵の33及び36℃における孵化率は、他の温度条件下よりも有意に低かった。一方ヒメオオメカメムシでは、20℃における孵化率が他の温度条件下と比較して有意に低かった。幼虫の発育日数は、種間及び飼育温度間で有意に異なった。また、種と飼育温度との間、種、飼育

温度及び雌雄の間には、交互作用が検出された。幼虫の平均発育日数は飼育温度が高まるにつれて短くなった。36℃条件下では、オオメカメムシは3齢への脱皮までの間に全ての幼虫が死亡した。一方ヒメオオメカメムシ幼虫では、3~5齢期の生存率が24~36℃において20℃よりも高かった。卵及び幼虫期の発育有効積算温量(K)は、オオメカメムシではそれぞれ151.1日度及び433.0日度、ヒメオオメカメムシではそれぞれ98.3日度及び226.9日度と推定された。また、卵及び幼虫期の発育零点(T_0)は、オオメカメムシではそれぞれ13.3及び13.4℃、ヒメオオメカメムシではそれぞれ16.1及び16.9℃と推定された。

(2) 26℃条件下における増殖能力

26℃, 15L:9D条件下における成虫の産卵状況や生存期間を調査した。オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの産卵前期間はそれぞれ、18.7日及び5.3日であり、種間に有意な差が認められた。オオメカメムシはヒメオオメカメムシと比較して有意に長く生存したが、両種とも雌雄の生存期間の間には有意な差が認められなかった。産卵雌率、総産卵数及び日当たり産卵数には種間での有意差は認められなかった。両種とも死亡直前まで継続的な産卵が観察され、産卵曲線には明確なピークはなかった。オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの純増殖率(R_0)はそれぞれ116.9及び93.9、平均世代時間(T)はそれぞれ155.5及び87.8、内的自然増加率(r_m)はそれぞれ0.031及び0.051であった。以上よりオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの26℃、長日条件下における増殖能力は低いことが明らかとなった。

3. オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの捕食能力

ナミハダニ、ミカンキイロアザミウマ、ワタアブラムシ及びオオタバコガの4種を被食者として、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの幼虫にそれぞれ単独で与えた場合の最大捕食量を室内実験で明らかにし、個々の餌種について両捕食者の発育ステージ間で比較した。餌の種類及び発育ステージに対する最大捕食量は、捕食者の発育ステージに関わらずオオメカメムシがヒメオオメカメムシより多い傾向にあった。ミカンキイロアザミウマ2齢幼虫及びオ

オタバコガ卵に対する最大捕食量は、ヒメオオメカメムシよりもオオメカメムシが、また両種とも3齢幼虫よりも5齢幼虫で多く、種間及び発育ステージ間に有意差が認められた。ナミハダニ雌成虫、ワタアブラムシ無翅成虫及びオオタバコガの孵化直後の1齢幼虫に対する最大捕食量に関しては、いずれも捕食者の種間には有意差がなかったが、発育ステージ間には有意差が認められた。最大捕食量の観点からの評価を通じて、オオメカメムシがヒメオオメカメムシよりも高い捕食能力を持ち、園芸作物の各種害虫に対する生物的防除資材として有望であると考えられた。

4. 施設栽培の果菜類における害虫防除効果

(1) イチゴにおける害虫防除効果

オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシを作物上へ放飼した場合の定着性と害虫防除効果を評価するため、ナミハダニの発生が認められたイチゴをモデルとして両種をそれぞれ単独で放飼し、害虫及び両種の密度推移を比較した。オオメカメムシは、長期間植物上に定着し、その結果害虫密度が低く維持された。一方ヒメオオメカメムシは植物上への定着率が低く、害虫防除効果はやや低かった。

(2) スイカにおける害虫防除効果

前述のイチゴでの試験と同様に、ワタアブラムシが発生したスイカにオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシをそれぞれ単独で放飼し、両種の定着性と害虫防除効果を比較した。定着性の結果はイチゴと同様であり、オオメカメムシはアブラムシの密度を抑制したが、ヒメオオメカメムシには実用的な害虫防除効果が認められなかった。

(3) ピーマンにおける害虫防除効果

生物的防除資材として有望視されるオオメカメムシを対象を絞り、ピーマンのアザミウマ類に対する防除効果を検討した。イチゴ及びスイカでの試験と同様にオオメカメムシは作物上に定着し、比較対象とした慣行防除区と同程度に害虫密度を抑制した。オオメカメムシ放飼区でも殺菌剤の散布が継続して行われたが、これによるオオメカメムシへの悪影響は認められなかった。

引用文献

- Aukema, B. and C. Rieger (eds.) (2001) *Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region. Vol. 4, Pentatomorpha I*. The Netherlands Entomological Society, Amsterdam, 346pp.
- Begon, M., J. L. Harper and C. R. Townsend (1996) *Ecology: individuals, populations, and communities*. Blackwell Science, Oxford, 1,068pp.
- Birch, L. C. (1948) The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17:15 – 26.
- Bonte, M. and P. De Clercq (2008) Developmental and Reproductive Fitness of *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae) Reared on Factitious and Artificial Diets. *J. Econ. Entomol.* 101: 1127 – 1133.
- Campbell, A., B. D. Frazer, N. Gilbert, A. P. Gutierrez, M. Mackauer (1974) Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11:431 – 438.
- Castañé, C., and R. Zapata (2005) Rearing the predatory bug *Macrolophus caliginosus* on a meat-based diet. *Biol. Control* 34: 66 – 72.
- Cave, R. D. and M. J. Gaylor (1988a) Influence of temperature and humidity on development and survival of *Telenomus reynoldsi* parasitizing *Geocoris punctipes* eggs. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 81: 278 – 285.
- Cave, R. D. and M. J. Gaylor (1988b) Parasitism of *Geocoris* eggs by *Telenomus reynoldsi* and *Trichogramma pretiosum* in Alabama. *Environ. Entomol.* 17: 945 – 951.
- Champlain, R. A. and L. L. Shoult (1967) Life history of *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae) in the laboratory. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 60: 883 – 885.
- Cohen, A. C. (1985) Simple method for rearing the insect predator *Geocoris punctipes* (Heteroptera: Lygaeidae) on a meat diet. *J. Econ. Entomol.* 78: 1173 – 1175.
- Cohen, A. C. (1993) Organization of digestion and preliminary characterization of salivary trypsin-like enzymes in predaceous Heteropteran, *Zelus renardii*. *J. Insect Physiol.* 10: 823 – 829.
- Cohen, A. C. (1995) Extra-oral digestion in predaceous terrestrial arthropoda. *Annu. Rev. Entomol.* 40: 85 – 103.
- Cohen, A. C. (1998) Artificial media for rearing entomophages comprising cooked whole egg. U. S. Patent 5,834,177. November 10, 1998.
- Cohen, A. C. (2000a) Feeding fitness and quality of domesticated and feral predators: Effects of long-term rearing on artificial diet. *Biol. Control* 17: 50 – 54.
- Cohen, A. C. (2000b) How carnivorous bugs feed. In *Heteroptera of Economic Importance*. (C. W. Schaefer and A. R. Panizzi eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida, pp.563 – 570.
- Cohen, A. C. (2004) *Insect Diets: Science and Technology*. CRC Press, Boca Raton. 324pp.
- Cohen, A. C. and J. W. DeBolt (1983) Rearing *Geocoris punctipes* on insect eggs. *Southwest. Entomol.* 8: 61 – 64.
- Crocker, K. O. and W. H. Whitcomb (1980) Feeding niches of the bigeyed bugs *Geocoris bullatus*, *G. punctipes* and *G. uliginosus* (Hemiptera: Lygaeidae). *Environ. Entomol.* 9: 508 – 513.
- De Clercq, P., F. Merlevede, and L. Tirry (1998) Unnatural prey and artificial diets for rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). *Biol. Control* 12: 137 – 142.
- Dent, D. (2000) *Insect Pest Management, 2nd edition*. CABI Bioscience, Ascot, UK, 432pp.
- Dunbar, D. M. and O. G. Bacon (1972) Influence of temperature on development and reproduction of *Geocoris atricolor*, *G. pallens*, and *G. punctipes* (Heteroptera: Lygaeidae) from California. *Environ. Entomol.* 1: 596 – 599.
- Elzen, G. W. (2001) Lethal and sublethal effects of insecticide residues on *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae). *J. Econ. Entomol.* 94: 55 – 59.
- Eubanks, M. D. and R. F. Denno (1999) The ecological consequences of variation in plants and prey for an omnivorous insect. *Ecology* 80: 1253 – 1266.
- Eubanks, M. D. and R. F. Denno (2000a) Health food versus fast food: the effects of prey quality and mobility on prey selection by a generalist predator and indirect interactions among prey species. *Ecol. Entomol.* 25: 140 – 146.
- Eubanks, M. D. and R. F. Denno (2000b) Host plants mediate omnivore-herbivore interaction and influence prey suppression. *Ecology* 81: 936 – 947.

- Ferkovich, S. M. and J. P. Shapiro (2004a) Increased egg-laying in *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) fed artificial diet supplemented with an embryonic cell line. *Biol. Control* 31: 11–15.
- Ferkovich, S. M. and J. P. Shapiro (2004b) Comparison of prey-derived and non-insect supplements on egg-laying of *Orius insidiosus* maintained on artificial diet as adults. *Biol. Control* 31: 57–64.
- 深尾 聡・大井田 寛 (2010) 広食性天敵オオメカメムシに対する気門封鎖型殺虫剤の影響. 関東病虫研報 57:131–132.
- 五箇公一 (1998) 侵入生物の在来生物相への影響- セイヨウオオマルハナバチは日本在来マルハナバチの遺伝子組成を汚染するか?. 日本生物地理学会会報 53:91–101.
- 後藤千枝 (2006) 広食性天敵オオメカメムシの発生生態. 今月の農業50 (2) :67–71.
- 行徳直己 (1980) ナガカメムシ科2種の捕食特性. 昆虫と自然15 (7) :34.
- 行徳 裕 (2005) 天敵農業利用の現状と問題点. 日本農業学会誌 30:165–170.
- Hajek, A. E. (2004) *Natural enemies – An introduction to biological control* -. Cambridge University Press, Cambridge, 378pp.
- Holling, C. S. (1959) Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can. Entomol.* 91: 385–398.
- 本多健一郎 (2000) ウイルス媒介性. アブラムシの生物学 (石川 統 編). 東京大学出版会, 東京. pp.181–207.
- 本多健一郎 (2006) トマト黄化葉巻病と媒介コナジラミ, 防除法を巡る研究情勢と問題点. 野菜茶業研究集報 3:115–122.
- 本田要八郎 (1988) アザミウマ類の媒介ウイルス病. 農作物のアザミウマ 分類から防除まで (梅谷献二・工藤巖・宮崎昌久 編). 全国農村教育協会, 東京. pp.338–345.
- Howarth, F. G. (1991) Environmental impact of classical biological control. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 485–509.
- 市岡孝朗・松本 崇 (2009) 捕食寄生者・寄生系の低密度安定化機構. 生物間相互作用と害虫管理. (安田弘法・城所 隆・田中幸一 編). 京都大学出版会, 京都. pp.45–68.
- 井村岳男 (2003) アリガタシマアザミウマによる施設キュウリのアザミウマ類防除の可能性. 関西病虫研報 45:47–49.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) Summary for policymakers, <http://www.ipcc.ch/>
- 石川 忠・高井幹夫・安永智秀 (編) (2012) 日本原色カメムシ図鑑 第3巻. 全国農村教育協会, 東京. 573pp.
- 伊藤嘉昭・法橋信彦・藤崎憲治 (1980) 生物学教育講座7巻 動物の個体群と群集. 東海大学出版会, 東京. 273pp.
- 柿元一樹・日本典秀・野田隆志 (2003) 鹿児島産ヒメハナカメムシ類3種の飼育温度と日長に対する反応. 応動昆 47:19–28.
- Kakimoto, K., S. Urano, T. Noda, K. Matuo, Y. Sakamaki, K. Tsuda and K. Kusigemati (2005) Comparison of the reproductive potential of three *Orius* species, *O. strigicollis*, *O. sauteri*, and *O. minutus* (Heteroptera: Anthocoridae), using eggs of the Mediterranean flour moth as a food source. *Appl. Entomol. Zool.* 40: 247–255.
- 柿元一樹・井上栄明・高木正見 (2006) 日本産ヒメハナカメムシ類3種の生物的特性に基づいた有望種の評価. 農業および園芸81:855–862.
- 柿元一樹・井上栄明・山口卓宏・深町三朗・島 克弥・田口義広・斎木陽子・大野和朗 (2007) タイリクヒメハナカメムシの成虫と卵の同時放飼法による定着促進効果. 応動昆51:29–37.
- 片山晴喜 (1997) ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) の発育と産卵に対する温度の影響. 応動昆41: 225–231.
- 片山晴喜 (2006) ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) の発生生態と防除に関する研究. 静岡農試特報 27:1–63.
- Kiritani, K. (2006) Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Popul. Ecol.* 48: 5–12.
- 桐谷圭治・鎮西康雄・福山研二・五箇公一・石橋信義・国見裕久・久野英二・正木進三・松村正哉・守屋成一・中筋房夫・根本 久・大塚 彰・高藤晃雄・竹田 敏・田付貞洋・若村定男・渡邊朋也・矢野栄二・湯川淳一 (2011) 応用動物昆虫学の最近の進歩. 応動昆55:95–131.
- 古味一洋 (2009) 土着天敵キイカブリダニの生態的特性の解明と生物的防除資材としての利用法に関する研究. 高知農技セ特報 9:1–43.
- 宮井俊一・河合 章・萩原 廣・高橋賢司・吉田幸二・吉富 均 (編) (2009) 生物機能を活用した病害虫・雑草管理と肥料削減:最新技術集. 中央農業総合研究セ

- ンター, つくば. 225pp.
- Miyamoto, S., M. Hayashi and T. Yasunaga (2003) New records of three Pentatomomorphan species (Heteroptera) from the Ryukyu Islands, Japan. *Jpn. J. Syst. Entomol.* 9: 117–119.
- Mochizuki, M. (2009) Development, reproduction and prey consumption of the thrips predator *Gynaeseius liturivorus* (Ehara) (Acari: Phytoseiidae). *J. Acarol. Soc. Jpn.* 18: 73–84.
- 務川重之・後藤千枝・下田武志・小堀陽一・村田未果・鈴木芳人・矢野栄二・大井田 寛・上遠野富士夫 (2006) オオメカメムシ *Piocoris varius* (Heteroptera: Lygaeidae) の茨城県および千葉県における生活史. *応動昆*50:7–12.
- Mukhopadhyay, A. and L. K. Ghosh (1982) Two new species of *Geocoris* Fallén (Heteroptera, Lygaeidae) with some notes on their food habits and habitats. *Kontyû* 50: 169–174.
- 村井 保 (1988) ヒラズハナアザミウマの生態と防除に関する研究. *鳥根農試研報*23:1–73.
- 村井 保・石井卓爾 (1985) トマト白ぶくれ症の原因とその発生. *鳥根農試研報* 20:1–11.
- Nagai, K. and E. Yano (1999) Effects of temperature on the development and reproduction of *Orius sauteri* (Poppius) (Heteroptera: Anthocoridae), a predator of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.* 34: 223–229.
- 長坂幸吉・高橋尚之・岡林俊宏・安部順一郎・大矢慎吾 (2010) 日本の促成栽培施設におけるアブラムシ対策としてのバンカー法の実用化. *中央農研研究報告* 15:1–50.
- 永田 靖・吉田道弘 (1997) 統計的多重比較法の基礎. サイエンティスト社, 東京, 187pp.
- Naranjo, S. E. (1987) Observations on *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae) oviposition site preferences. *Florida Entomol.* 70: 173–175.
- 農林水産省 (2011) 食料・農業・農村白書 平成23年版. 農林統計協会, 東京. 502pp.
- 大野正男 (1955) ハムシを捕食する昆虫について. *あきつ* 4:60–65.
- 岡林俊宏 (2003) 農業現場における天敵利用技術の開発と普及の課題. *植物防疫*57:530–534.
- Readio, J. and M. H. Sweet (1982) A review of the Geocorinae of the United States east of the 100th meridian (Hemiptera: Lygaeidae). *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.* 12: 1–91.
- Ruberson, J. R., K. V. Yeargan and B. L. Newton (2001) Variation in diapause responses between geographic populations of the predator *Geocoris punctipes* (Heteroptera: Geocoridae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 94: 116–122.
- 斉藤奈都子・下田武志・後藤千枝・野村昌史・矢野栄二 (2005) オオメカメムシとヒメオオメカメムシの採餌場所選択ならびに採餌活動におよぼす植物の影響. *応動昆* 49:231–236.
- 佐藤侑美佳・小堀陽一・大井田 寛・野村昌史 (2012) 広食性捕食天敵オオメカメムシ *Geocoris varius* (Uhler) (Heteroptera: Geocoridae) に対する各種農薬の影響評価. *応動昆* 56:43–48.
- 世古智一 (2009) 露地用天敵に利用できる飛翔能力の低いナミテントウ系統の作出. *植物防疫*63:297–301.
- 柴尾 学・桃下光敏・山中 聡・田中 寛 (2009) スワルスキーカブリダニ放飼による施設キュウリのミナミキイロアザミウマおよびタバココナジラミの同時防除. *関西病虫研報*51:1–3.
- Shimizu, K., K. Shimizu and K. Fujisaki (2006) Timing of diapause induction and overwintering success in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hb.) (Lepidoptera: Noctuidae) under outdoor conditions in temperate Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 41: 151–159.
- 清水 徹・金城あかね・大石 毅・安田慶次・光畑雅宏 (2004) 新天敵農薬:アリガタシマアザミウマ剤の使い方. *植物防疫*58:225–229.
- 下田武志・後藤千枝・矢野栄二 (2003) ナミハダニ被害インゲンマメ葉の匂いに対するオオメカメムシおよびヒメオオメカメムシの反応. *関東病虫研報* 50:157–160.
- 下田武志・務川重之・後藤千枝 (2008) オオメカメムシ幼虫の生存と発育に及ぼす花粉や花蜜等の影響. *関東病虫研報* 55:107–111.
- 下元満喜 (2005) 促成栽培ナスのマメハモグリバエに対する土着天敵寄生蜂ハモグリミドリヒメコバチの防除効果. *高知農技セ研報*14:19–24.
- Sokal, R.R., F. J. Rohlf (1995) *Biometry*. 3rd ed. W. H. Freeman and Company, New York, 887pp.
- Sweet, M. H. (2000) Economic importance of predation by big-eyed bugs (Geocoridae). In *Heteroptera of Economic Importance* (C. W. Schaefer and A. R. Panizzi eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 713–735.
- Symondson, W. O. C., K. D. Sunderland and M. H. Greenstone (2002) Can generalist predators be

- effective biocontrol agents?. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 561–594.
- Tamaki, G. and R. E. Weeks (1972) Biology and Ecology of two predators, *Geocoris pallens* Stål and *G. bullatus* (Say). *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.* 1446: 1–46.
- 手塚俊行 (2003) 新天敵農薬: ナミテントウ剤の使い方. 植物防疫 57: 376–379.
- Tommasini, M. G. (2003) Evaluation of *Orius* species for biological control of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). PhD dissertation, Wageningen University, The Netherlands, 214pp.
- 梅川 學・宮井俊一・矢野栄二・高橋賢司 (編) (2005) IPMマニュアル-総合的病害虫管理技術-. 養賢堂, 東京. 236pp.
- 浦野 知・島 克弥・本江孝一 (1998) 捕食性天敵を大量放飼するための解析モデルとそのミナミキイロアザミウマの天敵 *Wollastoniella rotunda* を用いた生物的防除への適用. 九病虫研会報 44: 79–82.
- Urano, S., K. Shima, K. Hongo, and Y. Suzuki (2003) A simple criterion for successful biological control on annual crops. *Popul. Ecol.* 45: 97–103.
- 浦野 知・島 克弥・柿元一樹 (2003) 一年生作物における天敵の放飼量と放飼時期. 植物防疫 57: 500–504.
- van Driesche, R. G. and K. M. Heinz (2004) An overview of biological control in protected culture. In *Biocontrol in protected culture* (Heinz, K. M., R. G. van Driesche and M. P. Parrella eds.) Ball Publishing, Batavia, IL, pp.1–24.
- van Lenteren, J. C. (1995) Integrated pest management in protected crops. In *Integrated Pest Management: Principles and Systems Development* (Dent, D. R. ed.), Chapman & Hall, London, pp.311–343.
- van Lenteren, J. C. and G. Manzaroli (1999) Evaluation and use of predators and parasitoids for biological control of pests in greenhouses. In *Integrated pest and disease management in greenhouse crops* (Albajes R et al. eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp.183–201.
- 鷲谷いづみ (1998) 保全生態学からみたセイヨウオオマルハナバチの侵入問題. 日本生態学会誌 48: 73–78.
- 渡辺 守 (1975) オオメカメムシがアゲハの幼虫を吸食. 昆虫と自然 10 (14) : 11.
- Wilson, L. T. and A. P. Gutierrez (1980) Within-plant distribution of predators on cotton: Comments on sampling and predator efficiencies. *Hilgardia* 48: 3–11.
- Yamamura, K. and K. Kiritani (1998) A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperature zones. *Appl. Entomol. Zool.* 33: 289–298.
- 矢野栄二 (2003a) 天敵-生態と利用技術. 養賢堂, 東京, 296pp.
- 矢野栄二 (2003b) 放飼増強法における有望天敵種・系統の選抜. 植物防疫 57: 495–499.
- 安田弘法 (1996) 食物連鎖とギルド内捕食. 日本農薬学会誌 21: 223–230.
- 安田弘法・梶田幸江・滝澤 匡 (2009) 捕食者-餌系の種間相互作用. 生物間相互作用と害虫管理. (安田弘法・城所 隆・田中幸一 編). 京都大学出版会, 京都, pp.19–43.
- Yasunaga, T. (1997a) The flower bug genus *Orius* Wolff (Heteroptera: Anthocoridae) from Japan and Taiwan, part I. *Appl. Entomol. Zool.* 32: 355–364.
- Yasunaga, T. (1997b) The flower bug genus *Orius* Wolff (Heteroptera: Anthocoridae) from Japan and Taiwan, part II. *Appl. Entomol. Zool.* 32: 379–386.
- Yasunaga, T. (1997c) The flower bug genus *Orius* Wolff (Heteroptera: Anthocoridae) from Japan and Taiwan, part III. *Appl. Entomol. Zool.* 32: 387–394.
- 安永智秀・高井幹夫・山下 泉・川村 満・川澤哲夫 (1993) 日本原色カメムシ図鑑 (友国雅章 監修). 全国農村教育協会, 東京. 380pp.
- Yukawa, J. (2000) Synchronization of galls with host plant phenology. *Popul. Ecol.* 42: 105–113.

謝 辞

本研究のとりまとめにあたり、懇切なご指導とご鞭撻を賜った千葉大学大学院園芸学研究科准教授の野村昌史博士並びに同教授（現京都大学大学院農学研究科教授）の天野洋博士に深く感謝の意を表す。また、千葉大学大学院園芸学研究科教授の雨宮良幹博士、中牟田 潔博士並びに沖津 進博士には、本論文の審査を賜った。あわせて厚くお礼申し上げます。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター元室長の鈴木芳人博士並びに同元室長（現近畿大学農学部教授）の矢野栄二博士には、論文の執筆について一貫したご指導を賜った。また、同センターの後藤千枝博士、下田武志博士、光永貴之博士、元同センター（現クミアイ化学工業株式会社生物科学研究所）の務川重之博士、並びに千葉県農林総合研究センター次長の片瀬雅彦博士には、論文の構成や統計解析等について多くの貴重なご助言を賜るとともに、温かい励ましを頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

本研究を開始した当初、元静岡県病害虫防除所長の池田二三高氏並びに元東京農業大学農学部助教授の立川周二博士には、オオメカメムシ類を対象とする研究への本格的な着手について、お勧めと激励を賜った。株式会社アグリ総研商品開発部の手塚俊行博士並びに小原慎司氏には、オオメカメムシ製剤の農薬登録に向けてご尽力頂くとともに、本研究遂行にあたって害虫防除効果試験用供試虫の提供を賜った。九州大学農学部名誉教授の広瀬義躬博士、埼玉大学教育学部教授の林 正美博士、並びに元東京農業大学農学部嘱託助教（現バイエルクロップサイエンス株式会社）の石川 忠博士には、オオメカメムシ科（Geocoridae）の分類学的再検討に関する情報や日本に生息する近縁種についての貴重なご助言を賜った。元千葉県農業試験場昆虫研究室長（現住友化学工業株式会社）の清水喜一氏には、研究開始時の上司として本研究推進への温かいご理解とご指

導を賜った。元千葉県農林総合研究センター次長（現法政大学生命科学部教授）の上遠野富士夫博士には、本研究の核となった実験の組み立てと遂行にあたり、研究環境の整備と懇切なご指導及びご助言、並びに学位取得の強いお勧めを賜った。元千葉県農林総合研究センター長の宇田川雄二博士並びに元同センター北総園芸研究所長の松丸恒夫博士には、千葉大学大学院博士後期課程への社会人入学に際し、激励と強い後押しを頂いた。千葉県農林総合研究センターの深尾 聡氏、元同センター（現千葉県君津農業事務所）の塚本崇志博士、元同センター北総園芸研究所（現千葉県立農業大学校）の小林伸三氏、並びに元同研究所（現千葉県海匝農業事務所）の小林 理氏には、圃場におけるオオメカメムシの害虫防除効果試験の実施にあたり、試験区の設計と調査に関して大きな協力を賜った。元千葉県農業総合研究センター長の藤家 梓博士並びに独立行政法人国際農林水産研究センター熱帯・島嶼研究拠点の小堀陽一博士には、学位取得に向けて温かい励ましの言葉を頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

また、在職中の大学院在籍と本研究のとりまとめに対し、温かいご理解とご協力を賜った、元千葉県農業総合研究センター生産環境部応用昆虫研究室長の吉井幸子氏、元千葉県農林総合研究センター生産環境部病理昆虫研究室長の竹内妙子博士、同室長の牛尾進吾氏、同研究室の横山とも子博士、河名利幸氏、金子洋平氏、武田 藍氏、元同研究室（現千葉県農林総合研究センター北総園芸研究所）の小塚玲子氏をはじめ、千葉県農林総合研究センターの各位に厚くお礼申し上げます。

なお本研究の一部は、農林水産省委託「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」における「環境にやさしい在来天敵オオメカメムシ類を用いた園芸作物害虫防除に関する研究（平成14～16年度）」において実施した。

Summary

Biological Study of the Polyphagous Indigenous Predators *Geocoris varius* (Uhler) and *G. proteus* Distant (Heteroptera: Geocoridae) and their Potential as Biological Control Agents for Horticultural Pests

Hiroshi OIDA

Key words: Geocoridae, big-eyed bug, predator, biological control, IPM

In greenhouses, spider mites, aphids, whiteflies, leafminers, and thrips cause serious damage to many vegetables and flowers, yet these pests are difficult to control because they are tiny and have developed resistance to pesticides. Furthermore, farmers are under pressure from consumers to reduce the use of chemical pesticides for health reasons, and so integrated pest management (IPM) is becoming increasingly important. There are high expectations for biological control (augmentation of natural enemies) and IPM because of their safe image and sustainability.

Geocorid species (Heteroptera: Geocoridae) are well known worldwide as polyphagous predators of many species of Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Thysanoptera, and Acarina. In Japan, *Geocoris varius* and *Geocoris proteus* (Heteroptera: Geocoridae) are indigenous predators of small pests, including thrips, aphids, and mites, and could be used as biological control agents for tiny pests of horticultural crops in greenhouses. However, for practical use of these two indigenous Geocorids, information on their biological characteristics is limited. The objective of this study was to develop a rearing method, to estimate the development and survival of immature stages, reproduction, and predation ability of *G. varius* and *G. proteus* under laboratory conditions, and to investigate their effectiveness as biological control agents in greenhouses.

1. Oviposition site preference and rearing for successive generations of *G. varius* and *G. proteus*

We investigated the oviposition site preference of *G. varius* in the fields and those of *G. varius* and *G. proteus* to the artificial materials in the laboratory, and established rearing methods for both species in the laboratory. The potential host weeds examined were *Pueraria lobata*, *Solidago altissima*, *Artemisia indica* var. *maximowizii*, *Humulus japonicus*, and *Cayratia japonica* in the habitat of *G. varius*. We found *G. varius* eggs on the lower leaf surface of *P. lobata* and *S. altissima*. Notably, we found more eggs on *P. lobata* with a higher trichome density than *S. altissima*. We studied the development of *G. varius* and *G. proteus* on eggs of *Helicoverpa armigera* without water at 26°C and a 15L9D photoperiod. The nymphal periods of *G. varius* and *G. proteus* were about 34 and 27.5 days, respectively. The amount of *H. armigera* eggs consumed by females and males of *G. varius* nymphs was about 2.9 and 2.4 times, respectively, that of *G. proteus*. By contrast, the survival rate of *G. varius* was lower than that of *G. proteus*, particularly in the 1st instar nymph. *Geocoris varius* and *G. proteus* females deposited most of their eggs on cotton fabric in preference to kitchen paper and copier paper. They did not oviposit on the copier paper. From these results, we established a method of rearing *G. varius* and *G. proteus* on eggs of *Ephestia kuehniella* with water on cotton pieces for oviposition.

2. Development and reproductive potential of *G. varius* and *G. proteus* provided with *E. kuehniella* eggs

We studied the development of *G. varius* and *G. proteus*, reared on *E. kuehniella* eggs, at six temperatures of 20, 24, 26, 30, 33, and 36°C and their reproduction at 26°C. The lower developmental thresholds (T_0) and the thermal con-

stant (K) of eggs and nymphs of *G. varius* were 13.3°C and 151.1 degree-days and 13.4°C and 433.0 degree-days, respectively; those of *G. proteus* were 16.1°C and 98.3 degree-days and 16.9°C and 226.9 degree-days, respectively. The survival rate of *G. varius* eggs was significantly lower at 33°C than at ≤ 30 °C, and no eggs hatched at 36°C. It was lowest at 20°C in *G. proteus*. The survival rate throughout the nymphal period increased with temperature up to 30°C in *G. varius*, and it was lowest at 20°C in *G. proteus*. *Geocoris varius* adults survived longer than *G. proteus* adults and they continued ovipositing till just before death. The net reproductive rate (R_0), the mean generation time (T), and the intrinsic rate of natural increase (rm) of *G. varius* were calculated 116.9, 155.5, and 0.031, and those of *G. proteus* were 93.9, 87.8, and 0.051, respectively.

3. Prey consumption by *G. varius* and *G. proteus* provided with horticultural major pests

We investigated the number of prey consumed in 24 h by 3rd and 5th instars of *G. varius* and *G. proteus*, provided with 4 prey species: *Tetranychus urticae* adult females, *Frankliniella occidentalis* 2nd instar, *Aphis gossypii* apterous adults, and *H. armigera* eggs or 1st instar. The number of prey consumed differed significantly among prey densities in all predator \times prey combinations, except in 3rd instar of *G. varius* provided with *T. urticae* or *A. gossypii*. *Geocoris varius* consumed prey maximally at higher prey density than *G. proteus* in 3rd instar with *F. occidentalis* larvae or *H. armigera* eggs, and in 5th instar, except with *F. occidentalis* larvae. Maximum numbers of prey consumed differed significantly between predator instars. *Geocoris varius* consumed more prey than *G. proteus* at 5th instar for all prey species. They also consumed more *F. occidentalis* larvae and *H. armigera* eggs than *G. proteus* at 3rd instar. These results show the higher predatory potential of *G. varius* and its promise as a biological control agent against major horticultural pests.

4. Biological control of two-spotted spider mite of strawberry and cotton aphid of watermelon by *G. varius* and *G. proteus* in greenhouses

Geocoris varius and *G. proteus*, were evaluated for control of the *T. urticae* on strawberry and *A. gossypii* on watermelon under greenhouse conditions. Third instar nymphs of either of the two predators were released three times to each greenhouse. The release of *G. varius* suppressed the population densities of both mite and aphid to a lower level than the control greenhouses. *Geocoris varius* persisted on the plants throughout the research periods. By contrast, the release of *G. proteus* suppressed the mite density in the strawberry greenhouse over a short period, but had no effect on the aphid density in the watermelon greenhouse. The instability of pest control efficacy of *G. proteus* may be caused by their micro-habitat selection since they were frequently observed on the ground rather than plants. These results suggest that *G. varius* is more suitable for the release than *G. proteus*.

5. Biological control of *Frankliniella intonsa* and *F. occidentalis* by *G. varius* on sweet pepper in greenhouses

We tested the effectiveness of releasing *G. varius* for control of two flower thrips, *Frankliniella intonsa* and *F. occidentalis*, in sweet pepper greenhouses. Second instar nymphs of *G. varius* were released three times at the rate of 5 nymphs per plant per release. The release of *G. varius* suppressed the thrips density to low levels for 2 months, while the conventional chemical control was unsuccessful. The effectiveness of *G. varius* was not influenced by several applications of fungicides. *Geocoris varius* nymphs were constantly found on the plant throughout the experiments and adults emerged 2 months after the release. Our result suggests that *G. varius* is a promising biological control agent of the flower thrips.