

千葉農林総研特報 第4号

CAFRC Spec. Res. Bull.

No. 4 (2013)

ISSN 1347-2593

SPECIAL RESEARCH BULLETIN
OF
THE CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE AND FORESTRY RESEARCH CENTER
No.4 March 2013

千葉県農林総合研究センター特別報告

第 4 号

平成25年 3 月

千葉県農林総合研究センター

CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE AND FORESTRY RESEARCH CENTER

序 文

近年、食の安全・安心や環境保全型農業に対する消費者の関心が高まっている。また、薬剤抵抗性を発達させた難防除害虫の問題が頻発しており、生産現場ではその対応にも苦慮している。このため、複数の防除手段を組み合わせたIPM（Integrated Pest Management：総合的病虫害・雑草管理）の充実と発展が強く求められている。

生物的防除はIPMの中心的手段であるが、現在用いられている天敵昆虫等には、餌種または寄主の範囲が狭く、複数種の害虫に対応できない種が多く含まれている。農作物上では複数種の害虫が同時に発生して被害を及ぼすことが多いため、現状では、複数種の天敵の併用や、天敵と他の害虫防除手段との組み合わせ等により対応する必要がある。また、導入天敵の利用場面では、対象外の餌生物に対する捕食や寄生、同じ種群を餌とする土着天敵に対する生態的影響等が懸念されており、これが国際的に社会問題として注目されるようになっている。我が国でこれまでに実用化された生物農薬の多くも外国産の種を海外で増殖させて輸入したものであり、今後は、これらに代わる有望な土着天敵を発掘し、積極的に利用する必要がある。

本特別報告では、広食性の土着天敵であるオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシに着目し、両種を害虫防除資材として活用することを目的に、両種の飼育法の確立や基礎的な生理生態の解明、両種を圃場に放飼した場合の害虫防除効果の評価を行った。これらの結果を「広食性土着天敵オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの生態解明並びに両種を用いた園芸作物害虫管理に関する研究」として取りまとめたものである。

本研究の成果であるオオメカメムシの利用技術は、施設野菜類における主要害虫の生物的防除と、これを中心としたIPMの充実と発展に寄与するものであり、その実践により、従来以上に安全・安心な農作物の生産や、薬剤抵抗性害虫による被害の回避や軽減が期待される。本研究の内容が関係各位の参考となり、千葉県、さらには我が国の環境保全型農業及びIPMの取り組みに役立てば幸いである。

2013年3月

千葉県農林総合研究センター
センター長 金子 文宜

千葉県農林総合研究センター特別報告 第4号

目 次

広食性土着天敵オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの生態解明並びに
両種を用いた園芸作物害虫管理に関する研究
大井田 寛 1

**SPECIAL BULLETIN OF THE CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE AND FORESTRY
RESEACH CENTER
No. 4 March 2013
CONTENTS**

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 1

広食性土着天敵オオメカメムシ及び
ヒメオオメカメムシの生態解明並びに
両種を用いた園芸作物害虫管理に関する研究

大井田 寛

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 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	4
第1節 野外植物上におけるオオメカメムシの産卵部位	4
1. 緒言	4
2. 材料及び方法	4
3. 結果	4
4. 考察	4
第2節 オオタバコガ卵のみの給餌による発育日数及び捕食数	6
1. 緒言	6
2. 材料及び方法	6
3. 結果	6
4. 考察	8
第3節 人工物に対する産卵特性	9
1. 緒言	9
2. 材料及び方法	9
3. 結果	9
4. 考察	9
第4節 累代飼育法の開発	9
1. 緒言	9
2. 材料及び方法	9
3. 結果	10
4. 考察	11
第3章 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	12
第1節 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	12
1. 緒言	12
2. 材料及び方法	12
3. 結果	12
4. 考察	13
第2節 26℃ 条件下における増殖能力	16
1. 緒言	16
2. 材料及び方法	16
3. 結果	16
4. 考察	18

第4章 オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの捕食能力	19
1. 緒言	19
2. 材料及び方法	19
3. 結果	20
4. 考察	23
第5章 施設栽培の果菜類における害虫防除効果	25
第1節 イチゴにおける害虫防除効果	25
1. 緒言	25
2. 材料及び方法	25
3. 結果	25
4. 考察	27
第2節 スイカにおける害虫防除効果	28
1. 緒言	28
2. 材料及び方法	28
3. 結果	29
4. 考察	30
第3節 ピーマンにおける害虫防除効果	30
1. 緒言	30
2. 材料及び方法	31
3. 結果	33
4. 考察	33
第6章 総合考察	34
1. 大量増殖技術確立に向けた課題	34
2. 生態特性の解明	35
3. 圃場における害虫防除効果	36
4. 結論	38
摘 要	39
引用文献	41
謝 辞	45
Summary	46

第1章 緒言

近年、施設園芸や貿易の拡大に伴い、様々な国や地域から害虫が人為的に持ち込まれるケースが急増している(桐谷ら, 2011)。また最近の試算では、地球上の平均気温は2100年までに1.4~5.8℃上昇すると予想されており(IPCC, 2001)、このような地球温暖化現象は、害虫を含めた昆虫の分布域の変化や世代数の増加、寄主植物との同時性のずれ等に影響を及ぼしつつある(Yamamura and Kiritani, 1998; Yukawa, 2000; Kiritani, 2006)。これらの現状を踏まえ、我が国における農作物の病虫害管理をめぐる問題は、今後さらに複雑化かつ多様化することが予想される。一方、全世界的な異常気象の頻発に加え、世界人口の増加に伴う中長期的な食料需給の不安定化も懸念されている状況下(農林水産省, 2011)、食料自給率が約40%と低い日本においては、食料の安定的な増産に向けた取り組みが喫緊の課題となっている。しかし、我が国では農業の担い手の高齢化と減少が著しいため、自給率向上に向けた農業生産の規模拡大をはかるうえでは、省力的な農業技術の速やかな開発と普及が必須である。

食料の安定的な増産に貢献しうる集約的な栽培が可能な施設園芸の特長として、作物を定植する時点ではほぼ完全に害虫が存在しない状態で栽培を開始できることや、風雨の影響なく適切に温度管理できる隔離環境であること(van Lenteren, 1995)等が挙げられる。しかし、作物の生育に適した施設内の環境条件は害虫の発育や増殖にも適している場合が多く、野外から隔離された施設では土着天敵の密度も低いため、一度害虫が侵入すると、野外よりも急速かつ指数関数的に増加する。このため、施設園芸ではこれら害虫の防除を目的として殺虫剤が多用される傾向があり、その結果、害虫の殺虫剤抵抗性も発達しやすい(矢野, 2003a)。

このような施設園芸で特に重要視されるのは、ハダニ類、アブラムシ類、アザミウマ類、コナジラミ類等の吸汁性微小害虫である(矢野, 2003a)。このうち、アザミウマ類、コナジラミ類及びアブラムシ類には植物ウイルスの媒介者も多く含まれており、その管理はウイルス病の防除対策としても重要であるが(本田, 1988; 本多, 2000; 本多, 2006; 片山, 2006)、殺虫剤に対する抵抗性を発達させている種が多いため、化学的防除がきわめて困難である。

一方、近年は食の安全・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、減農薬・減化学肥料等環境負荷の低減化との両立が可能なIPM (Integrated Pest Management: 総合的病虫害・雑

草管理)の確立が強く要望されている(梅川ら, 2005; 宮井ら, 2009)。前述したように、生産現場では薬剤抵抗性を発達させた難防除害虫の発生が多いため、化学的防除法のみに依存せず複数の防除法を組み合わせるIPMは、その効果的な対策としても有望視される。

現在の施設園芸におけるIPMは、各作物のすべての主要病虫害を対象に、天敵利用を含む生物的防除手段を基幹技術として組み立てられており(矢野, 2003a)、IPM実践圃場では大量増殖した天敵昆虫等の放飼や微生物資材の散布等が行われている。我が国では、増殖させて圃場に放飼する天敵については、特定防除資材として認められる場合を除きすべて農薬登録が必要であり、2010年現在、18種類の昆虫及びダニ由来の生物農薬が登録されている(桐谷ら, 2011)。これらの中には餌種または寄主の範囲が狭く、複数種の害虫に対応できない種も多く含まれる。しかし農作物上では複数種の害虫が同時に発生して被害を及ぼすことが多いため、このような場合には、各害虫に対応できる複数種の天敵の併用や、他の害虫管理手段への切り替え、天敵と他の害虫管理手段との組み合わせ等により対応する必要がある(矢野, 2003a; 後藤, 2006)。これに対し、高密度餌種への餌の切り替え等が可能な広食性の天敵は、高密度の害虫を効果的に制御するとともに、他の餌種の密度次第では、対象害虫が低密度である条件下でも、密度が不安定に低下することなく害虫制御能力を維持することができる(市岡・松本, 2009)。また、野外で1種の広食性捕食者を用いて行われた生物的防除の実験では、そのうち約75%の例で広食者により効率的に害虫が防除されている(Symondson et al., 2002)。そこで近年は、特定の害虫種に高い密度抑制効果を発揮する狭食性の天敵だけではなく、単独で複数種害虫に対応できるスワルスキーカブリダニ *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (ダニ目:カブリダニ科) やタイリクヒメハナカメムシ *Orius strigicollis* (Poppius) (カメムシ目:ハナカメムシ科)等の広食性天敵の利用も広がりつつある(岡林, 2003; 柿元ら, 2007; 柴尾ら, 2009)。一方、導入天敵の利用場面では、対象外の餌生物に対する捕食や寄生、同じ種群を餌として利用する土着種に対する生態的影響等が懸念されてきた(Howarth, 1991)。1992年には生物多様性条約が発効し、このような外来生物による生態系への影響は、国際的に広く社会から注目されるようになっている。我が国で初期に実用化された生物農薬は、ほとんどが外国産の種を海外で増殖させて輸入したものであった(桐谷ら, 2011)。しかし、花粉媒介昆虫として輸入され施設園芸で利用されてきたヨーロッパ原産のセイヨ

ウオオマルハナバチ *Bombus terrestris* L. (ハチ目:ミツバチ科)の野生化と在来種への影響の問題(五箇, 1998; 鷺谷, 1998)や2005年の外来生物法施行が契機となり,我が国においても外来生物の導入が環境に及ぼす影響に対する社会的な関心が大きく高まった.このような状況下,従来から用いられてきた導入天敵のみではなく,アザミウマ目シマアザミウマ科のアリガタシマアザミウマ *Franklinothrips vespiformis* (Crawford) (井村, 2003; 清水ら, 2004)やコウチュウ目テントウムシ科のナミテントウ *Harmonia axyridis* (Pallas) (手塚, 2003; 世古, 2009),ハチ目ヒメコバチ科のハモグリミドリヒメコバチ *Neochrysocharis formosa* (Westwood) (下元, 2005),ダニ目カブリダニ科のキイカブリダニ *Gynaeseius liturivorus* (Ehara) (古味, 2009; Mochizuki, 2009)等,地域資源である土着天敵を生物的防除資材として積極的に利用する動きが活発化している.

カメムシ目オオメカメムシ科(Geocoridae)オオメカメムシ亜科(Geocorinae)に属する種は,ハチ目,ハエ目,コウチュウ目,カメムシ目,チョウ目,アザミウマ目,ダニ目等を餌とする広食性の捕食者として知られている(Crocker and Whitcomb, 1980; Mukhopadhyay and Ghosh, 1982; Readio and Sweet, 1982).海外では,北米に生息する *Geocoris punctipes* (Say)を中心として研究が進んでおり,その捕食特性や休眠特性(Eubanks and Denno, 1999, 2000a, b; Ruberson et al., 2001),人工飼料

による飼育(Cohen, 2000a),農薬の影響(Elzen, 2001)等多くの知見が蓄積されている.また本種群は,アメリカでは多くの農業生態系において最も密度の高い捕食性天敵として,IPMにおける活用が模索されているほか(Crocker and Whitcomb, 1980; Sweet, 2000),施設内のテンサイに寄生させたモモアカアブラムシ *Myzus persicae* (Sulzer) (カメムシ目:アブラムシ科)を対象とした *Geocoris bullatus* (Say)の防除効果試験では,その放飼によりアブラムシを低密度に抑制できることも報告されている(Tamaki and Weeks, 1972).

日本には,オオメカメムシ亜科に属する種として, Fig.1-1に示したオオメカメムシ *Geocoris varius* (Uhler),ヒメオオメカメムシ *Geocoris proteus* Distant, ツマジロオオメカメムシ *Geocoris ochropterus* (Fieber)及びクロツヤオオメカメムシ *Geocoris itonis* Horváthの4種のほか,チビオオメカメムシ *Geocoris jucundus* (Fieber)を含めた5種の生息が記録されている(Aukema and Rieger, 2001; Miyamoto et al., 2003; 石川ら, 2012).このうち,オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシは,本州,四国及び九州等の平坦地に広く生息し(安永ら, 1993),オオメカメムシについては,カメムシ目,コウチュウ目,ハエ目及びハチ目等(大野, 1955; 渡辺, 1975; 行徳, 1980; 安永ら, 1993; 務川ら, 2006),ヒメオオメカメムシについてはダニ目,カメムシ目及びハチ目等(安永ら, 1993),農業害虫を含めた多様な生物種に対する捕食が観察されてい

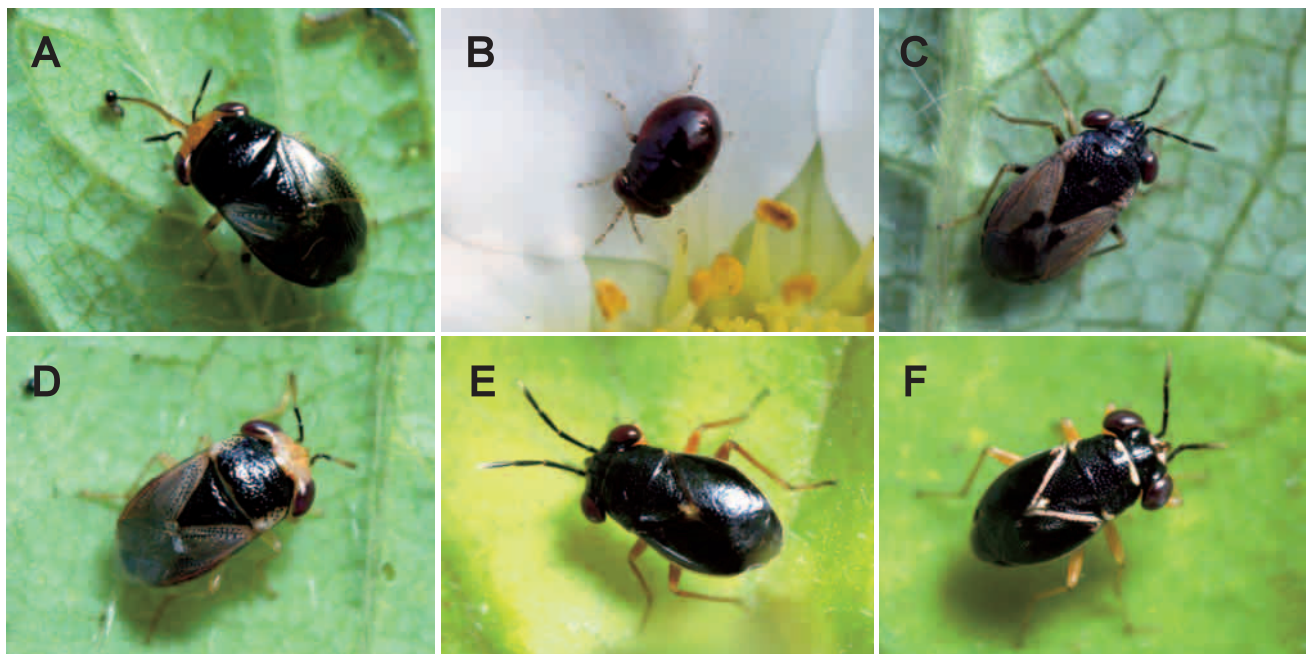


Fig. 1-1. Japanese big-eyed bugs. A: *Geocoris varius* (Uhler) female adult. B: *G. varius* 3rd instar. C: *G. proteus* Distant female adult. D: *G. ochropterus* (Fieber) male adult. E: *G. itonis* Horváth female adult. F: *G. itonis* male adult.

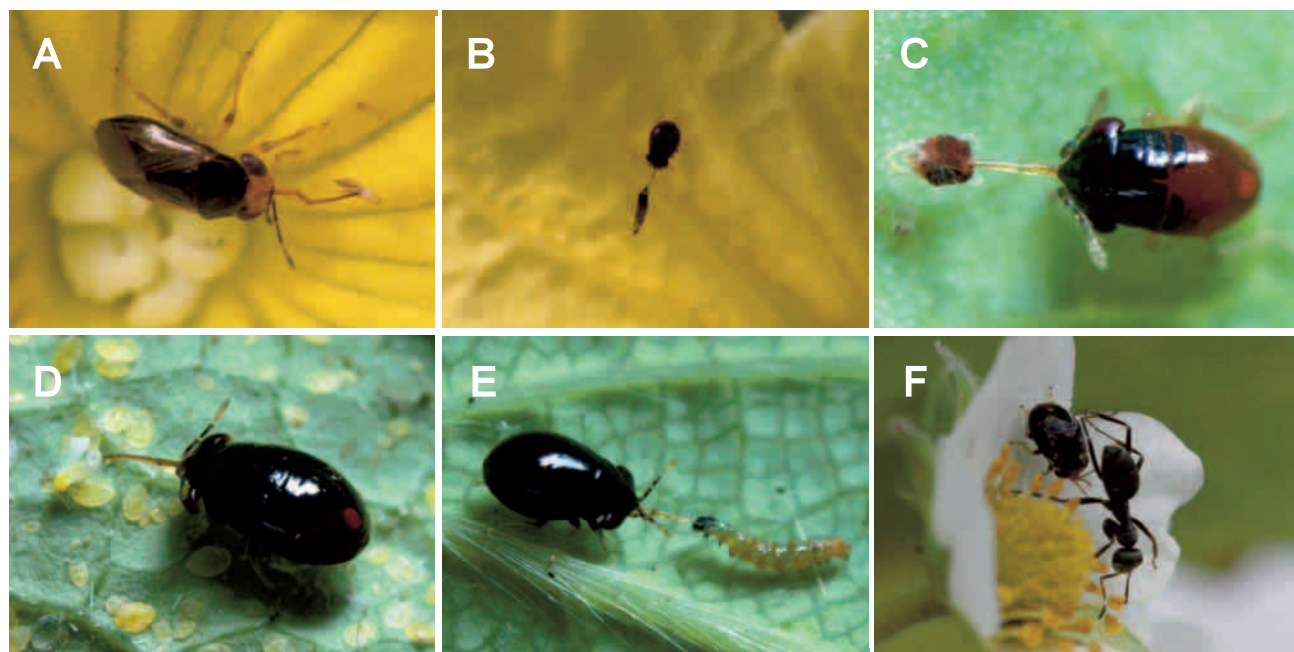


Fig. 1-2. Predation for some prey species by *G. varius*. A: Adult feeding on *Frankliniella occidentalis* adult. B: 1st instar feeding on *Frankliniella intonsa* adult. C: 1st instar feeding on *Tetranychus kanzawai* adult. D: 5th instar feeding on *Bemisia tabaci* adult. E: 3rd instar feeding on *Helicoverpa armigera* 1st instar. F: 5th instar feeding on ant.

る (Fig.1-2)。

以上のように、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシは我が国の広い範囲に生息する土着天敵であり、導入天敵で懸念されるような問題が発生する恐れが少ないうえ、広食性であるため、同所的に存在する複数種の害虫への捕食が期待される。すなわち両種が生物的防除資材として実用化されれば、前述した我が国の天敵利用が抱える問題点の解決に繋がる可能性がある。また両種は、現在生産現場で多く用いられているカブリダニ類等と比較して大型であり、圃場に放飼した場合にはこれら既存の天敵よりも容易に観察可能であると予想される。放飼した天敵を栽培圃場に定着させることは天敵利用の成否を分ける要点の1つであり、生産者にとって、放飼した天敵の定着の確認は非常に重要な作業であるため、容易に観察できることのメリットは大きい。また、前述のように担い手の高齢化が進むなかで新たに開発する省力化技術としての観点からも、大型で見やすい天敵とその利用技術は歓迎されると考えられる。

しかし、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシ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、施設園芸の

生産現場における課題の解決に繋がる可能性がある新たな生物的防除資材としての利用の可否について検討するため、本研究において両種の飼育法を確立し、捕食能力等の基礎的な生態を明らかにするとともに、両種を作物圃場に放飼した場合の害虫防除効果を検討することとした。

第2章では、オオメカメムシを対象として野外における産卵特性を調査するとともに、チョウ目害虫の卵のみを与えた場合のオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの発育や捕食量、人工物に対する産卵特性等を明らかにし、以上に基づいて両種の累代飼育法の開発を行った。第3章では、異なる温度条件下における両種幼虫の発育特性及び26℃条件下における両種成虫の産卵特性を調査した。第4章では、施設園芸害虫4種に対する両種幼虫の捕食能力を明らかにした。第5章では、大量増殖したオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシをそれぞれ害虫が発生したイチゴ及びスイカに放飼して定着性と害虫防除効果を検討したうえ、総合的な観点から害虫防除資材として有望視されるオオメカメムシに研究対象を絞り、ピーマンでの害虫防除効果をあわせて検討した。第6章では、以上の研究等によって得られた知見や今後の課題等を整理し、オオメカメムシを用いた施設園芸害虫の管理について考察した。

第2章 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

第1節 野外植物上におけるオオメカメムシの産卵部位

1. 緒言

天敵の放飼増強法では、大量増殖された天敵が温室や畑作物圃場等に人為的に放飼される(矢野, 2003b)。天敵を室内飼育するためには、その生活史、行動、習性を知ることが基本であり、特に、交尾、繁殖、摂食、寄主探索等に関する知見は重要である(矢野, 2003a)。

北米に生息し、オオメカメムシ科において最も研究が進んでいる *G. punctipes* では、累代飼育法が開発され(Cohen and Debolt, 1983; Cohen, 1985)、生活史パラメータ等も明らかとなっている(Champlain and Sholdt, 1967)。一方、日本のオオメカメムシ類については、第1章で述べたように、野外観察等によって複数種の微小な昆虫等に対する捕食が確認されており(大野, 1955; 渡辺, 1975; 行徳, 1980; 安永ら, 1993; 務川ら, 2006)、オオメカメムシに関しては野外における生活史も明らかとなっているが(務川ら, 2006)、産卵場所等累代飼育に不可欠な特性に関してはほとんど知見がなく、室内飼育法が開発されていない。このため、現状では生物的防除資材としての利用の前提となる天敵としての能力評価が困難である。

そこで、室内飼育法の開発に不可欠な産卵特性を明らかにするため、オオメカメムシを対象として、野外の植物上における産卵部位を観察調査した。

2. 材料及び方法

2007年5月16日に、旧 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(千葉県東金市)敷地内のオオメカメムシが常発する雑草地において、クズ *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi の展開した複葉15枚、未展開の複葉2枚、新芽2個及び蔓2本、セイタカアワダチソウ *Solidago altissima* L. 及びヨモギ *Artemisia indica* Willd. var. *maximowiczii* (Nakai) H.Hara 各15株、カナムグラ *Humulus japonicus* Sieb. et Zucc. 及びヤブガラシ *Cayratia japonica* (Thunb.) Gagn. 各3株を地際で切断して採取し、実体顕微鏡下で各部位への産卵数を調査した。

3. 結果

観察結果をTable 2-1にまとめた。また、実体顕微鏡下(20倍)で撮影したクズ、セイタカアワダチソウ、カナムグラ及びヤブガラシの葉裏と、産みつけられたオオメカメ

ムシの卵をFig. 2-1に示した。

オオメカメムシの卵は、クズ及びセイタカアワダチソウで、それぞれ10個及び1個観察された。産卵部位はいずれも展開葉の裏面であった。一方、ヨモギ、カナムグラ及びヤブガラシには、卵は認められなかった。

なお、クズの表面の毛茸密度は、未展開の複葉及び新芽で展開葉の葉裏より高かった。また、展開葉の裏面の毛茸密度は、クズ及びヨモギで、セイタカアワダチソウ、カナムグラ及びヤブガラシよりも高かった。

4. 考察

海外に生息するオオメカメムシ類については、軟毛のある植物体の表面に対して水平に、または土壤中に1個ずつ産卵するとの記述がある(Sweet, 2000)。オオメカメムシ類の植物上における産卵部位については複数の報告があり、いずれの調査でも卵は葉裏で多く確認されている(Tamaki and Weeks, 1972; Wilson and Gutierrez, 1980; Naranjo, 1987)。また、10種類の植物を用いた調査の結果、毛茸(trichome)が表面に密生するダイズ *Glycine max* (L.) やハシカグサモドキ *Richardia scabra* L. では他種と比較して *G. punctipes* による産卵数が多く、ダイズでは、毛茸の密度が高い葉裏、茎及び生長点付近に特に卵が多くみられると報告されている(Naranjo, 1987)。務川ら(2006)は5月にオオメカメムシの越冬世代成虫が多数確認され、産卵が行われているとしている。そこで本研究では5月に調査を実施したところ、オオメカメムシは毛茸が密に生えたクズの葉裏へ多く産卵することが明らかとなった。後藤(2006)も3年間の野外調査の中で、シソ *Perilla frutescens* (L.)、クズ及びイチゴ *Fragaria × ananassa* Duchesne でオオメカメムシが産卵することを確認している。このうちクズ及びイチゴでは複数個体が一定期間連続して観察されており、クズは野外におけるオオメカメムシの重要な産卵場所の一つになっていると考えられる。但し、クズにおける部位別の調査では、展開葉の裏面よりさらに毛茸が密生した未展開葉や新芽への産卵は確認できなかった。さらに、本研究の調査対象植物のうち、ヨモギでは過去の調査でオオメカメムシ成虫の生息が継続的かつ多数観察され(大井田, 未発表)、表面には毛茸が発達しているにも関わらず産卵が認められなかった。したがって、本種の産卵に対しては毛茸の密度以外にも影響を及ぼす要因があると考えられ、今後解明を要する。

Table 2-1. The plants in the habitat of *G. varius* and number of their eggs observed on each plant species^a

Plant species	Observation		Number of <i>G. varius</i> eggs observed	Remarks
	Parts of plants	n		
<i>Pueraria lobata</i>	developed compound leaf (upper surface)	15	0	
	developed compound leaf (lower surface)	15	10	All eggs were oviposited along the vein. Six eggs and 1 egg were oviposited on the leaves infested by spider mites and thrips, respectively.
	underdeveloped compound leaf	2	0	
	growing piont	2	0	
	vine	2	0	
<i>Solidago altissima</i>	whole of above-ground part	15	1	The egg was oviposited on the lower surface of the lower leaf.
<i>Artemisia indica</i> var. <i>maximowiczii</i>	whole of above-ground part	15	0	
<i>Humulus japonicus</i>	whole of above-ground part	3	0	
<i>Cayratia japonica</i>	whole of above-ground part	3	0	

^a Survey date: May 16, 2007, Location: Togane city, Chiba pref.

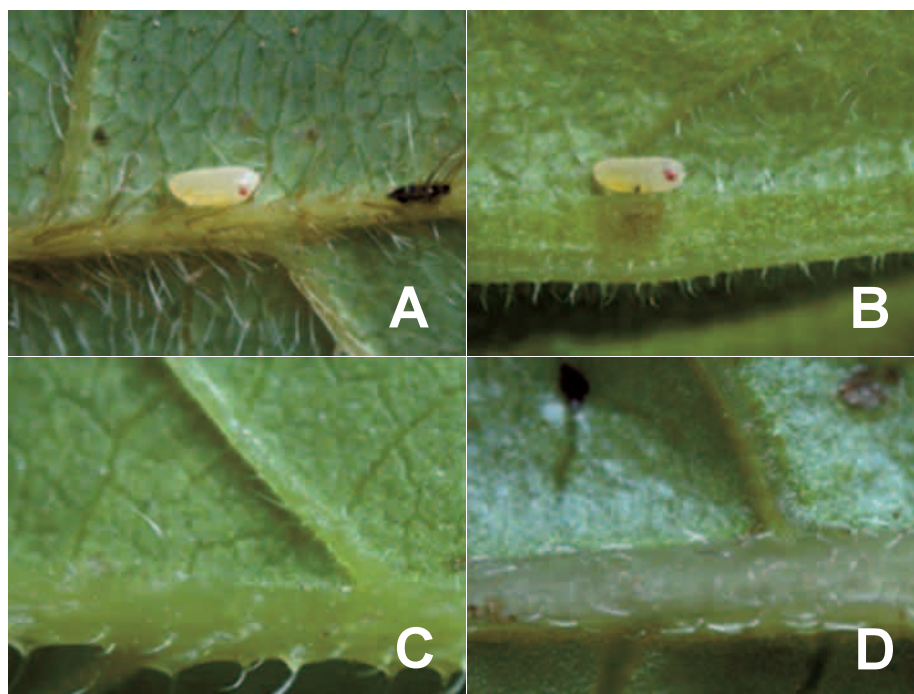


Fig. 2-1. The lower leaf surface of weeds and oviposited eggs of *G. varius*. A: *Pueraria lobata* (petiole density: high, oviposited eggs: many). B: *Solidago altissima* (petiole density: low, oviposited eggs: few). C: *Humulus japonicus* (petiole density: low, oviposited eggs: none). D: *Cayratia japonica* (petiole density: low, oviposited eggs: none).

第2節 オオタバコガ卵のみの給餌による発育日数及び捕食数

1. 緒言

予備実験において、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシはヤガ科のオオタバコガ *Helicoverpa armigera* (Hübner) 及びハスモンヨトウ *Spodoptera litura* (Fabricius)、スズメガ科のエビガラスズメ *Agrius convolvuli* (L.) 等チョウ目の卵を捕食し生存することが確認できた(大井田, 未発表)。これらチョウ目昆虫の卵は凍結等により長期間保存できるため、両種の餌として利用できれば、安定的かつ効率的な飼育が可能であると考えられる。そこで、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。

2. 材料及び方法

(1) 供試昆虫

試験には、2000年5月に千葉県東金市のヨモギから採集したオオメカメムシ及び1999年9月に同市内のハウスで栽培されていたキク *Chrysanthemum morifolium* Ramat. から採集したヒメオオメカメムシを用いた。両種の餌には、1996年秋に千葉県木更津市、山武市(旧成東町)、匝瑳市(旧野栄町)及び富里市のピーマン *Capsicum annuum* L.var.grossum から採集し、Shimizu et al. (2006) の方法で人工飼料(インセクタLFS, 日本農産工業(株))を餌として累代飼育されたオオタバコガの卵を用いた。

(2) 試験方法

内径41 mm×高さ20 mmのガラスシャーレに直径47 mmの濾紙を敷き、オオタバコガに産卵させたキッチンペーパー(リードペーパー, ライオン(株), 以下同製品)

の断片(冷凍保存したもの)を入れた。ここに、孵化後24時間以内のオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの1齢幼虫を1頭放ち、逃亡を防止する目的でキッチンペーパーを1枚挟み込んで蓋をした後、26℃, 15L:9D条件下に置いた。餌の交換は原則として3日または4日毎とした。

オオメカメムシを78頭、ヒメオオメカメムシを47頭供試したが、幼虫期発育日数及び捕食数は羽化した個体の値(オオメカメムシ雌6頭及び雄5頭、ヒメオオメカメムシ雌19頭及び雄13頭)のみを用いて算出した。また、生存率の算出対象は試験開始2日目以降に生存したオオメカメムシ39頭及びヒメオオメカメムシ45頭のみとし、試験開始前の体の損傷等による影響を受けた可能性がある試験開始翌日の死亡虫(オオメカメムシ39頭およびヒメオオメカメムシ2頭)は除外した。

(3) 調査方法

試験開始1日後から各個体が羽化または死亡するまでの間、生死を毎日確認し、生存個体については脱皮の有無およびオオタバコガ卵の捕食数をあわせて調査した。完全な吸汁が確認できた卵数を捕食数とした。

(4) データの解析

発育については幼虫期を通じた発育所要日数、捕食量については幼虫期を通じた合計捕食数をそれぞれ対象とし、種及び性を要因とする2元配置分散分析を行った。分散分析で2要因間に交互作用が検出された場合には、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシにおける単純主効果の検定を行った。

3. 結果

幼虫期を通じた発育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約6.5日長く(Table 2-2)、種間で有意に異なった(Table 2-3)。齢期別には5齢幼虫期の差が大きく、オオメカメムシがヒメオオメカメムシよりも約3.5日長かった。また、種及び性の2要因間には交互作用

Table 2-2. Nymphal development time (mean $\pm$ SE) of *G. varius* and *G. proteus* reared on *H. armigera* eggs without water at 26°C under a 15L9D photoperiod

Species	Sex	n ^a	Nymphal stage ^b					
			1st	2nd	3rd	4th	5th	Total
<i>G. varius</i>	Female	6	6.2 $\pm$ 0.16	5.3 $\pm$ 0.09	5.8 $\pm$ 0.07	6.5 $\pm$ 0.09	10.7 $\pm$ 0.14	34.5 $\pm$ 0.31
	Male	5	6.2 $\pm$ 0.17	5.0 $\pm$ 0.00	5.2 $\pm$ 0.17	6.6 $\pm$ 0.11	10.6 $\pm$ 0.23	33.6 $\pm$ 0.23
<i>G. proteus</i>	Female	19	5.7 $\pm$ 0.15	4.3 $\pm$ 0.13	4.6 $\pm$ 0.17	5.5 $\pm$ 0.23	6.9 $\pm$ 0.19	27.1 $\pm$ 0.31
	Male	13	6.2 $\pm$ 0.30	4.5 $\pm$ 0.24	4.7 $\pm$ 0.17	5.3 $\pm$ 0.17	7.5 $\pm$ 0.18	28.3 $\pm$ 0.46

^a Number of emerged individuals.

^b Nymphal development times were calculated with emerged individuals.

Table 2-3. Levels of significance by two-factor ANOVA of effects of predator species and sex on nymphal development time

Factor	df	SS	F-value	P-value
Species	1	327.07	144.27	<0.0001
Sex	1	0.25	0.11	0.7396
Species × Sex	1	9.36	4.13	0.0049
Sex in <i>G. varius</i> ^a	1	2.21	0.97	0.3297
Sex in <i>G. proteus</i> ^a	1	12.16	5.36	0.0259
Error	39	88.42		

^a Simple main effects on sex within species were tested.Table 2-4. Nymphal survival rates at each stadium of *G. varius* and *G. proteus* reared on *H. armigera* eggs without water at 26°C under a 15L9D photoperiod

Species	Stadium ^a					1st instar to adult
	1st	2nd	3rd	4th	5th	
<i>G. varius</i>	61.5 (39) ^b	91.7 (24)	90.9 (22)	75.0 (20)	73.3 (15)	28.2 (39)
<i>G. proteus</i>	77.8 (45) ^b	97.1 (35)	97.1 (34)	100 (33)	97.0 (33)	71.1 (45)

^a The percentages of nymphs that survived to the next stadium are shown. Numbers in parentheses are the number of nymphs at the beginning of each stadium.^b The nymphs that died by the day after the start of the experiment (39 of *G. varius* and 2 of *G. proteus*) were excluded from the calculation of survival rate.Table 2-5. Number of *H. armigera* eggs consumed (mean ± SD) by *G. varius* and *G. proteus* at each stadium of nymphs at 26°C under a 15L9D photoperiod

Species	Sex	n ^a	Number of <i>H. armigera</i> eggs consumed ^b					
			1st instar	2nd instar	3rd instar	4th instar	5th instar	1st instar to adult
<i>G. varius</i>	Female	6	20.3 ± 6.7	36.3 ± 10.7	69.5 ± 25.9	121.7 ± 29.0	274.8 ± 50.5	522.7 ± 94.3
	Male	5	19.0 ± 3.2	35.2 ± 6.2	56.8 ± 24.2	84.4 ± 24.5	178.0 ± 24.9	373.4 ± 54.6
<i>G. proteus</i>	Female	19	11.3 ± 2.5	15.7 ± 4.8	21.8 ± 5.8	46.3 ± 15.1	87.5 ± 14.1	182.6 ± 24.6
	Male	13	11.2 ± 4.0	16.4 ± 4.1	20.9 ± 4.3	38.0 ± 12.7	68.0 ± 12.4	154.5 ± 21.9

^a Number of emerged individuals. The number of *H. armigera* eggs consumed was calculated with data of emerged individuals.^b Only the eggs that were entirely sucked were counted as consumed eggs.

も検出され、単純主効果検定ではヒメオオメカメムシのみで雌雄間に有意差が認められた。

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 (Table 2-4)。一方、オオメカメムシはその後も生存個体数が漸減し、4齢及び5齢幼虫期の生存率もやや低かった。

オオタバコガ卵に対する各齢期及び幼虫期合計の捕食数を、種及び雌雄別にTable 2-5に示した。オオメカメムシ、ヒメオオメカメムシともに、齢が進むにつれて捕食量が増加した。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。幼虫期の合計捕食数は種間で有意に異なり (Table 2-6)、雌雄それぞれ、オオメカメム

Table 2-6. Levels of significance by two-factor ANOVA of effects of predator species and sex on the number of *H. armigera* eggs consumed

Factor	df	SS	F-value	P-value
Species	1	629661.43	336.38	< 0.0001
Sex	1	63447.06	33.90	< 0.0001
Species × Sex	1	29552.12	15.79	0.0003
Sex in <i>G. varius</i> ^a	1	60765.10	32.46	< 0.0001
Sex in <i>G. proteus</i> ^a	1	6125.22	3.27	0.0781
Error	39	73002.19		

^a Simple main effects on sex within species were tested.

シがヒメオオメカメムシの約2.9倍及び約2.4倍であった。合計捕食数は雌雄間でも有意に異なったが、種及び性の2要因間には交互作用も検出された。単純主効果検定の結果、オオメカメムシの合計捕食数には雌雄間で有意な差があったが、ヒメオオメカメムシでは雌雄差は認められなかった。

また、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 (Fig. 2-2)。

4. 考察

26℃、長日条件下でオオタバコガ卵のみを餌とした場合の幼虫発育期間は、ヒメオオメカメムシのほうがオオメカメムシより短かった。一方、捕食数はオオメカメムシのほうがヒメオオメカメムシよりも多く、特に3齢幼虫期以降の各齢期前半には大幅に上回った。天敵としての能力を詳細に比較するためには、各餌種に対する捕食能力、増殖能力、異なる温度条件下での発育特性等をあわせて考慮する必要があるが、生物的防除資材として幼虫期に放飼する場合には、対象害虫を長期間にわたり多く捕食できる可能性があるオオメカメムシが有望であると考えられた。しかし、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、餌消費量が多く、生存率が低いとため、増殖コストはオオメカメムシがヒメオオメカメムシよりも高いと予想される。オオメカメムシの実用化に際しては、コストを下げるために安価な人工飼料等の代替餌の開発を検討する必要がある。また、オオタバコガ卵のみを与えて飼育した場合、特にオオメカメムシでは生存率が極めて低かった。オオメカメムシ類を含む捕食性のカメムシ目の昆虫は体外消化により唾液に含まれる酵素を用いて固体の餌を溶かし吸汁することが知られており (Cohen, 2000b)、そのためには体内に十分な水分を蓄えておく必要があると考えられる。餌として用いたオオタバコガの卵には一定の水分が含まれるが、オオメカメムシと同様の方法で捕食するヒメハナカメ

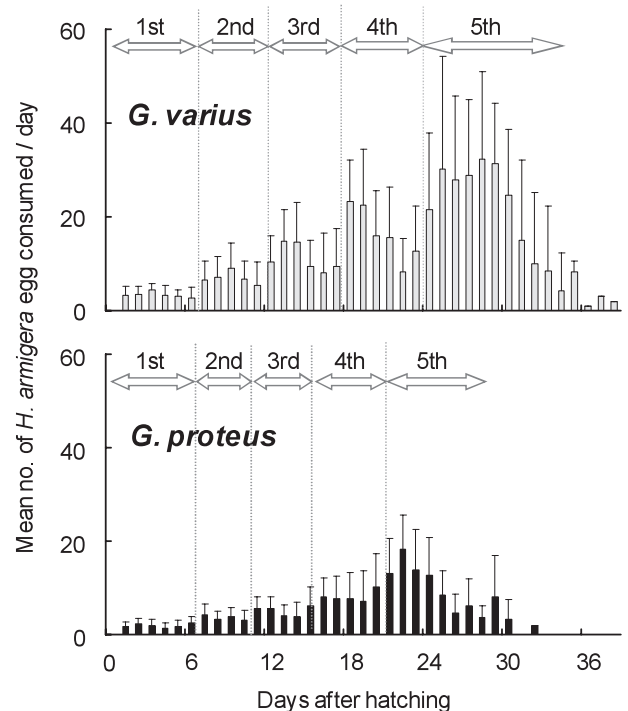


Fig. 2-2. Daily consumption of *H. armigera* eggs by *G. varius* and *G. proteus* nymphs at 26℃ under a 15L9D photoperiod. White arrows indicate the mean duration of nymphal stadia (see Table 2-2). Data of emerged individuals (11 of *G. varius* and 32 of *G. proteus*) were used for calculation of daily egg consumption. Vertical lines indicate SD.

ムシ類の増殖にはスジコナマダラメイガ卵等の餌昆虫だけではなく適度の給水が必要であると報告されている (矢野, 2003a)。本研究においても、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。このため、大量増殖法の開発に関しては、餌とともに給水することを前提として進める必要があると考えられる。

第3節 人工物に対する産卵特性

1. 緒言

第1節の野外調査において、オオメカメムシは毛茸に富むクズの葉裏へ多く産卵することが明らかとなった。 *G. punctipes*でも同様の知見があり、オオメカメムシ類の産卵には、起毛性等、産卵基質の表面構造の違いが大きく影響すると考えられる。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には、採卵に人工の素材を用いることが重要と考えられるが、人工物に対する両種の産卵習性は明らかになっていない。そこで本節では、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う。

2. 材料及び方法

産卵基質としての適性を比較するために、厚みや起毛性の異なるシート状の素材を飼育容器に入れ、それぞれへの産卵数を調査した。

(1) 供試虫

発育所要日数の調査と同じ個体群をもとに、購入したスジコナマダラメイガ *Ephestia kuehniella* Zeller (チョウ目：メイガ科) の卵 (凍結保存) 及び水を与えて、26℃, 15L:9D条件下で飼育したオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシを供試した。

(2) 試験方法及び調査方法

内径86 mm × 高さ20 mmのガラスシャーレに直径90 mmの濾紙を敷き、水を含ませた直径10 mmの綿球を2個入れたスクリュ管の蓋 (内径21 mm × 高さ12 mm) 及びスジコナマダラメイガの卵を貼り付けたカバーアップテープ (住友スリーエム (株)) の断片 (8 mm × 8 mm) を中央に置いた。これらの周囲に、20 mm × 20 mmの大きさのコピー用紙 (厚さ約0.08 mm)、キッチンペーパー (厚さ約1 mm) 及び脱脂綿片 (厚さ約2 mm) をランダムに配置し、ここに、交尾済みのオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの雌成虫を1頭放って蓋をした後、26℃, 15L:9D条件下に置いた。72時間後に各資材への産卵数を調査した。試験には両種それぞれ25頭を用いた。

3. 結果

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、オオメカメムシではそのうちの約98%、ヒメオオメカメムシでは同じく約90%が脱脂綿片への産卵であった (Table 2-7)。コピー用紙への産卵はなかった。

4. 考察

Naranjo (1987) は、綿球にはオオメカメムシ類が多く産卵する植物及びその産卵部位と同様の特性があり、*G. punctipes*の室内飼育のための産卵基質として優れているこ

Table 2-7. Number of eggs deposited by *G. varius* and *G. proteus* in 72 hours at 26°C under a 15L9D photoperiod

Species	n	Number of eggs deposited (mean ± SE)		
		Cotton fabric	Kitchen paper	Copier paper
<i>G. varius</i>	25	8.5 ± 0.33	0.2 ± 0.02	0
<i>G. proteus</i>	25	3.6 ± 0.17	0.4 ± 0.04	0

とに言及している。本研究においても、産卵基質としてオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシに与えた人工素材のうち、毛茸が発達した植物体の表面構造と最も類似し起毛性に富む脱脂綿で多くの卵が得られたことから、両種は海外の近縁種と同様の産卵習性を持つと考えられた。また、ヒメオオメカメムシについては今回野外調査を実施できなかったが、室内での産卵基質選択実験ではオオメカメムシと類似の結果が得られており、本種の産卵習性も他のオオメカメムシ類と同様であると考えられる。

第4節 累代飼育法の開発

1. 緒言

以上の試験を通じて、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの室内飼育における産卵基質には脱脂綿が適していることが明らかになった。また、餌のみを与えて幼虫を飼育した場合、水分の不足等が生じ、特にオオメカメムシでは死亡率が高くなる可能性が示唆された。さらなる研究の発展と生物的防除資材としての大量増殖法の確立をはかるためには、これらの知見を踏まえて効率的かつ安定的な室内飼育法を確立する必要がある。そこで本節では、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両種の累代飼育法の開発を試みた。

2. 材料及び方法

(1) 幼虫の飼育方法及び羽化率

内径115 mm × 高さ30 mmのガラスシャーレに直径125 mmの濾紙を敷き、合計約4.5 mlの水を含ませた直径10 mmの綿球5個を入れた直径35 mm × 高さ14 mmのプラスチックシャーレの本体1個、20 mm角のキッチンペーパー片を敷き0.1 gのスジコナマダラメイガ冷凍卵を載せた同プラスチックシャーレの蓋2個、及び縦約20 mm × 横約30 mm × 厚さ約10 mmのS字状ポリスチレン製緩衝材5個を Fig. 2-3のように配置した。ここに孵化後24時間以内のオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの1齢幼虫を30頭放ち、逃亡を防止する目的でキッチンペーパーを1枚挟

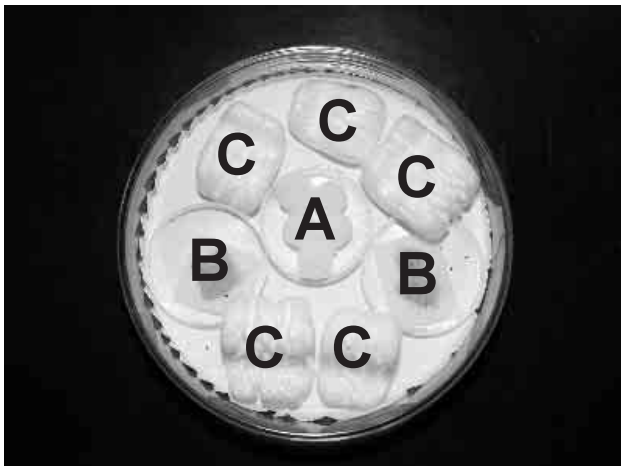


Fig. 2-3. Container used for group rearing of *G. varius* and *G. proteus* nymphs. A: a Petri dish body containing five moist cotton balls. B: a Petri dish lid containing *E. kuehniella* eggs on a piece of kitchen paper. C: an S-shaped buffer material made of polystyrene.

み込んで蓋をした後、26℃、15L:9D条件下に置いた。餌及び水の交換は原則として3日または4日毎とした。全個体が羽化するまでの間、餌交換時に齢期別の生存虫数を調査した。試験は5反復とした。

(2) 採卵方法及び産卵数

幼虫の飼育容器に産卵基質を追加して採卵装置とした。直径10 mmの綿球2個をほぐし10片程度に分割したものを

産卵基質とし、これらを緩衝材の間と上に配置した。ここに、交尾済のオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの雌雄成虫各10頭を放ち、幼虫と同様に飼育した。餌交換時に産卵基質、シャーレに挟んだキッチンペーパー及び餌の下に置いたキッチンペーパーを回収し、それぞれへの産卵数を調査した。試験は5反復とした。産卵場所の選択傾向については、カイ2乗検定により解析した。

3. 結果

(1) 幼虫の飼育方法及び羽化率

オオメカメムシ、ヒメオオメカメムシともに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 (Fig. 2-4)。オオメカメムシは3齢幼虫期まで個体数の減少傾向が続いたが、4齢幼虫期に達した個体はほとんどが羽化した。一方、ヒメオオメカメムシは2～3齢幼虫期には比較的多く生存したものの、4～5齢幼虫期に再びやや大きく個体数が減少した。

(2) 採卵方法及び産卵数

両種とも脱脂綿片への産卵が最も多かったが (Table 2-8)、脱脂綿片、天井部のキッチンペーパー及び餌下のキッチンペーパーへの産卵比率は、オオメカメムシでそれぞれ約93%、約2%及び約5%、ヒメオオメカメムシでそれぞれ約79%、約14%及び約6%であり、両種の産卵場所選択傾向には有意な差があった ($\chi^2 = 125.57$, $p < 0.01$, カイ2乗検定)。

Table 2-8. The number of eggs deposited by 10 females of *G. varius* and *G. proteus* in 10 days of group rearing with 10 males at 26℃ under a 15L9D photoperiod

Species	n	The number of eggs deposited by 10 females (mean $\pm$ SE)		
		Cotton fabric	Kitchen paper (ceiling)	Kitchen paper (under diet)
<i>G. varius</i>	5	208.0 $\pm$ 17.25	4.6 $\pm$ 0.54	10.4 $\pm$ 1.37
<i>G. proteus</i>	5	257.0 $\pm$ 13.87	46.8 $\pm$ 3.29	20.0 $\pm$ 2.75

** indicates a significantly difference of selection for ovipositional substrates between *G. varius* and *G. proteus* (chi-square test; $\chi^2 = 125.57$, $p < 0.01$).

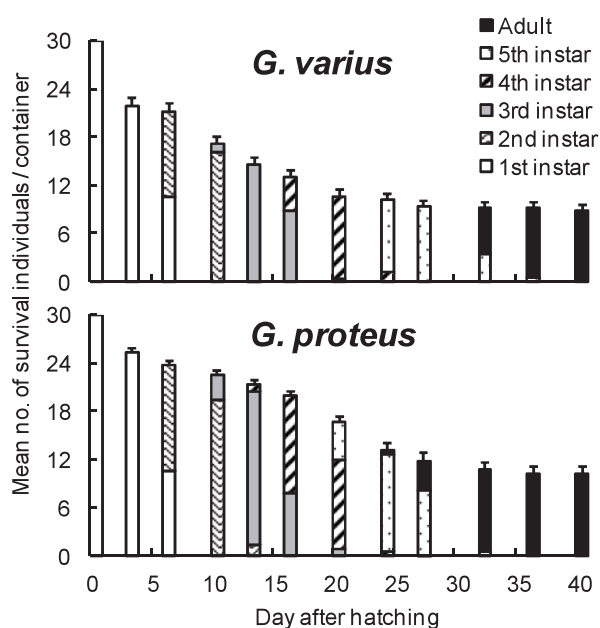


Fig. 2-4. Changes in number and stadium of surviving individuals of *G. varius* and *G. proteus* in group rearing on *E. kuehniella* eggs at 26°C under a 15L9D photoperiod. Vertical lines indicate SE (n = 5).

4. 考察

本研究において考案したオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの累代飼育法では、水場を設置したうえ、捕食性天敵の増殖によく利用され（矢野，2003a），かつ購入による入手が可能なスジコナマダラメイガの卵を餌とし，産卵

場所選択実験の結果両種の産卵性に優れた脱脂綿を産卵基質として用いた。スジコナマダラメイガ卵については，オオタバコガの卵を用いた場合と同程度の日数で両種が発育可能であることに加え，成虫の十分な産卵や長期間の生存が可能であることから（第3章），餌としての品質上の問題はないと考えられる。また，本累代飼育法（集団飼育）では，オオメカメムシ，ヒメオオメカメムシともに十分量を産卵することが確認できた。但し，両種間で各素材への産卵選択傾向が異なったことから，今後それぞれの種により適合した採卵方法を模索することにより，産卵数のさらなる増加に繋がる可能性もある。

一方，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この方法を応用するためには，1齢幼虫期を中心とする生存率の向上が課題である。オオメカメムシ類は大きな複眼で餌を視認し近づくことが知られており（Sweet, 2000），オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシについても，活動性の高い微小害虫を視覚的に認識し，攻撃行動を示すことが経験的に知られている（大井田，未発表）。また，近縁種的大量飼育では共食いが生じ，体サイズの小さな個体が攻撃されると報告されている（Radio and Sweet, 1982）。本研究においても飼育容器内の個体間の共食いが生存率低下の大きな原因となった可能性が考えられ，今後は飼育装置の改良や飼育密度の最適化により餌との遭遇頻度の増加や共食いの防止等をはかる必要がある。

第3章 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

第1節 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

1. 緒言

第2章において、野外におけるオオメカメムシの産卵特性が明らかとなり、本知見に基づいて、スジコナマダラメイガの卵及び脱脂綿をそれぞれ餌及び産卵基質と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室内飼育法が確立された。両種は広食性の捕食者であり、栽培圃場で問題となる害虫の生物的防除資材としての活用が期待されているが、これらを圃場に放飼して用いるためには、前述の室内飼育法を大幅に効率化した商業的大量増殖法の開発が不可欠である。両種の飼育法の低コスト化や効率化をはかるうえでは、発育特性や増殖能力を明らかにし、生存率の向上や出荷時期の調節を可能とするための飼育管理技術を確認する必要があるが、これらの基礎的な生態については知見がない。そこで本節では、異なる温度条件下における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、上記飼育管理技術の確立に資する。

2. 材料及び方法

(1) 供試虫

用いたオオメカメムシは、2000年5月に千葉県東金市のヨモギから採集した成虫由来の個体群、ヒメオオメカメムシは、1999年9月に同市内のキクから採集した成虫由来の個体群である。いずれも、第2章で開発した飼育法により、スジコナマダラメイガの卵を餌に、脱脂綿片を産卵基質に用いて $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、15L: 9Dの条件下で累代飼育した。

(2) 卵の発育日数及び生存率

20, 24, 26, 30, 33及び $36 \pm 1^\circ\text{C}$ の6温度条件下における両種の卵の発育日数及び生存率を調査した。日長条件はいずれも15L: 9Dとした。前述の累代飼育において24時間以内に産下された卵を脱脂綿片ごと回収し、供試した。回収した脱脂綿片を直径9 cm、高さ1.8 cmのガラスシャーレに入れ、各温度条件に設定した恒温器内に置いた。なお、乾燥を防止するため、ガラスシャーレには、水を含ませた脱脂綿が入った直径2.5 cm、高さ1 cmのプラスチックシャーレを入れた。また、ガラスシャーレの本体と蓋の間にはキッチンペーパーを挟み込み、孵化した幼虫の逃亡を防止した。20 $^\circ\text{C}$ 条件下では孵化開始15日後まで、その他の温度条件下では孵化開始10日後まで、それぞれ24時間毎に孵

化状況を確認した。調査期間内に孵化しなかった卵については死亡個体とみなした。

(3) 幼虫の発育日数及び生存率

前述の卵を対象とした調査と同じ温度条件及び日長条件下で幼虫の発育日数及び生存率を調べた。各温度条件下で孵化した孵化後24時間以内の1齢幼虫を前述のガラスシャーレに入れ、個体飼育した。但し、卵の孵化率が極めて低かった33 $^\circ\text{C}$ 及び全く孵化が認められなかった36 $^\circ\text{C}$ における幼虫の発育日数及び生存率の調査には、26 $^\circ\text{C}$ 条件下で孵化した幼虫を用いた。ガラスシャーレには、卵の調査の場合と同様の方法で水を含ませた脱脂綿を入れ、幼虫の吸水場所とした。また、吸水用の脱脂綿を入れたものと同型のプラスチックシャーレの中に2 cm × 2 cmのキッチンペーパー片を敷き、ここにスジコナマダラメイガの卵を載せ、餌場として飼育容器に入れた。なお、予備実験において、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの幼虫には1頭あたり200個/日以上スジコナマダラメイガ卵を与えれば不足しないことが確認できたため、本実験では300～350個/日の卵を各個体に与えた。餌については、吸水用の脱脂綿とともに3または4日毎に交換した。各個体の齢期と生存個体数を24時間毎に調査した。幼虫の脱皮殻を発育の指標として用いた。

(4) データの解析

卵及び幼虫の発育日数については、それぞれ共分散分析を行った。昆虫の発育速度（発育日数の逆数）と飼育温度の関係は、発育に悪影響を及ぼす極端な低温及び高温の条件を除くと直線で示される (Campbell et al., 1974)。そこで、最小二乗法により、飼育温度に対する卵及び幼虫の発育速度の回帰直線を求めた。発育零点 (T_0) をこの回帰直線とx軸との交点から求め、卵及び幼虫の発育有効積算温度 (K) についても本回帰直線を用いて算出した。33 $^\circ\text{C}$ におけるオオメカメムシ及び36 $^\circ\text{C}$ におけるヒメオオメカメムシの卵の発育には明らかな遅延が認められたため、これらのデータは直線回帰から除外した。卵及び幼虫の生存率についてはそれぞれ、有意水準をBonferroni-Holmの方法 (Sokal and Rohlf, 1995; 永田・吉田, 1997) により調整したFisherの正確確率検定を用いて比較した。

3. 結果

(1) 卵の発育日数及び生存率

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 (Table 3-1)。33 $^\circ\text{C}$ におけるオオメカメムシおよび36 $^\circ\text{C}$ におけるヒメオオメ

Table 3-1. Effects of species, temperature, and sex on the developmental time of eggs and nymphs of *G. varius* and *G. proteus* reared on *E. kuehniella* eggs under a 15L9D photoperiod

Factors	df	SS	F-value	p-value
Egg developmental time				
Species	1	1.28	0.22	0.64
Temperature	1	14080.54	2438.39	< 0.01
Species × Temperature	1	588.51	101.91	< 0.01
Error	649	3747.66		
Nymphal developmental time				
Species	1	2791.63	54.89	< 0.01
Temperature	1	52221.19	1026.97	< 0.01
Sex	1	118.27	2.33	0.13
Species × Temperature	1	863.00	16.97	< 0.01
Species × Sex	1	1.69	0.03	0.86
Temperature × Sex	1	13.59	0.27	0.61
Species × Temperature × Sex	1	239.22	4.70	0.03
Error	292	14852.01		

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 (Table 3-2)。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 (Table 3-3)。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。

(2) 幼虫の発育日数及び生存率

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が、雌雄間には有意な差はなかった (Table 3-1)。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 (Table 3-2)。

オオメカメムシ幼虫の生存率は、36℃ を除くすべての温度条件下では2～4齢期にかけて高かったが、20℃ 及び24℃ 条件下では1齢及び5齢においてやや低かった (Table 3-4)。36℃ 条件下では、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。

(3) 発育零点及び発育有効積算温量

Fig. 3-1に、飼育温度に対する卵及び幼虫の発育速度の回帰直線を示した。これらの回帰直線から、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。

4. 考察

卵の発育日数は飼育温度間で異なり、幼虫の発育日数は種間並びに飼育温度間で異なった (Table 3-1)。平均発育日数は飼育温度が高くなるにつれて短くなったが、オオメカメムシでは33及び36℃ で、ヒメオオメカメムシでは36℃ でそれぞれ高温による発育遅延が認められた (Table 3-2)。特に36℃ 条件下では、オオメカメムシの脱皮及び生存がきわめて大きく阻害された (Tables 3-3 and 3-4)。脱皮の際に高い確率で発生したオオメカメムシ幼虫の死亡は、古い外表皮からの脱出時に高温、乾燥等による何らかの障害が発生し、脱皮を終える前に新しい外表皮の硬化が生じたことによると考えられる。一方、ヒメオオメカメムシの20℃ における生存率は、他の飼育温度条件下の約半分に留まった。さらに、卵及び幼虫の発育日数においては、種と飼育温度との間に交互作用が検出された (Table 3-1)。この交互作用は、オオメカメムシとヒメオオメカメムシとの間における発育速度の増加率の違いによるものと考えられる。すなわち、20及び24℃ ではヒメオオメカメムシとオオメカメムシの発育速度は同様であったが、26℃ 以上ではヒメオオメカメムシがオオメカメムシを明らかに上回り、

Table 3-2. Developmental time (mean $\pm$ SE) of *G. varius* and *G. proteus* eggs and nymphs reared on *E. kuehniella* eggs at six constant temperatures under a 15L9D photoperiod

Species	Temp (°C)	Egg ^a	Nymphal stages					
			1st	2nd	3rd	4th	5th	Total ^a
<i>G. varius</i>	20	23.4 $\pm$ 0.08 (76)	14.2 $\pm$ 0.40	10.0 $\pm$ 0.36	10.6 $\pm$ 0.21	13.7 $\pm$ 0.82	21.2 $\pm$ 1.39	69.6 $\pm$ 1.53 (20)
	24	13.3 $\pm$ 0.07 (66)	8.0 $\pm$ 0.24	5.3 $\pm$ 0.11	6.3 $\pm$ 0.11	8.4 $\pm$ 0.59	15.3 $\pm$ 1.36	43.3 $\pm$ 1.71 (23)
	26	12.1 $\pm$ 0.10 (54)	6.7 $\pm$ 0.15	5.3 $\pm$ 0.12	4.7 $\pm$ 0.17	6.1 $\pm$ 0.14	9.9 $\pm$ 0.12	32.6 $\pm$ 0.31 (26)
	30	9.1 $\pm$ 0.11 (41)	4.9 $\pm$ 0.09	3.7 $\pm$ 0.09	4.0 $\pm$ 0.07	4.9 $\pm$ 0.17	8.0 $\pm$ 0.16	25.5 $\pm$ 0.33 (30)
	33 ^b	8.0 $\pm$ 0.00 (5)	4.7 $\pm$ 0.09	3.3 $\pm$ 0.09	3.9 $\pm$ 0.09	4.2 $\pm$ 0.12	6.8 $\pm$ 0.09	22.9 $\pm$ 0.18 (28)
	36 ^b	-	-	-	-	-	-	-
<i>G. proteus</i>	20	23.7 $\pm$ 0.14 (42)	13.7 $\pm$ 0.48	11.1 $\pm$ 0.19	11.8 $\pm$ 0.37	12.3 $\pm$ 0.18	17.9 $\pm$ 0.29	66.7 $\pm$ 0.64 (12)
	24	13.3 $\pm$ 0.07 (79)	7.3 $\pm$ 0.23	5.6 $\pm$ 0.27	5.3 $\pm$ 0.14	5.7 $\pm$ 0.09	8.8 $\pm$ 0.14	32.7 $\pm$ 0.35 (23)
	26	9.9 $\pm$ 0.06 (81)	5.6 $\pm$ 0.18	4.0 $\pm$ 0.07	4.2 $\pm$ 0.17	4.5 $\pm$ 0.18	7.0 $\pm$ 0.20	25.4 $\pm$ 0.30 (29)
	30	7.2 $\pm$ 0.07 (57)	4.9 $\pm$ 0.12	2.6 $\pm$ 0.15	2.7 $\pm$ 0.16	2.8 $\pm$ 0.09	4.4 $\pm$ 0.10	17.4 $\pm$ 0.24 (25)
	33	5.8 $\pm$ 0.04 (86)	2.9 $\pm$ 0.08	2.1 $\pm$ 0.03	2.1 $\pm$ 0.04	2.4 $\pm$ 0.07	3.8 $\pm$ 0.07	13.3 $\pm$ 0.13 (49)
	36	5.6 $\pm$ 0.06 (66)	2.4 $\pm$ 0.08	2.1 $\pm$ 0.05	1.9 $\pm$ 0.09	2.6 $\pm$ 0.08	3.4 $\pm$ 0.10	12.3 $\pm$ 0.17 (35)

^a The number of samples are shown in parentheses. Nymphal developmental times of males and females were pooled because they were not significantly affected by sex (See Table 3-1).

^b Nymphs were obtained from eggs kept at 26°C.

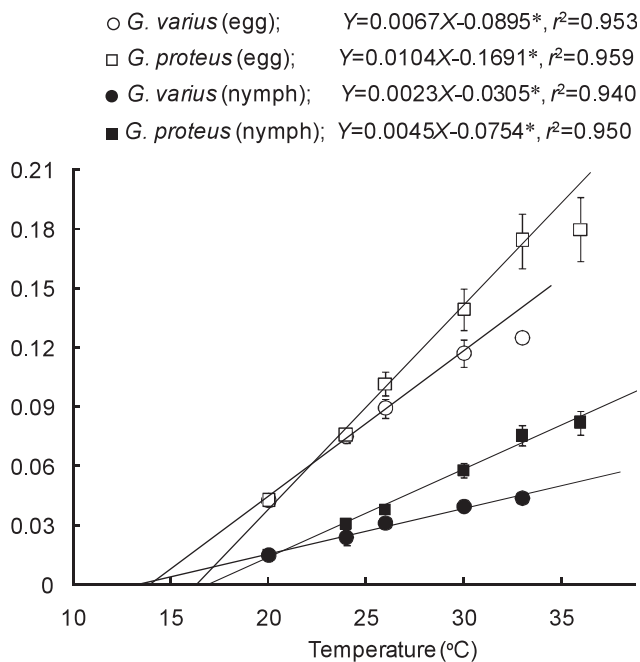


Fig. 3-1. Relationship between temperature and developmental rate of immature stages of *G. varius* and *G. proteus* reared on *E. kuehniella* eggs. Dots and bars indicate means and standard deviations. X and Y indicate temperature (°C) and developmental rate (day^{-1}). Egg data of *G. varius* at 33°C and *G. proteus* at 36°C were excluded from regression calculation because egg developmental times of two species were apparently prolonged at these temperatures. Asterisks(*) mean significant at 0.1% level.

Table 3-3. Egg hatch rate of *G. varius* and *G. proteus* reared on *E. kuehniella* eggs at six constant temperatures with a 15L9D photoperiod

Species	Temp (°C)	Egg hatch rate ^{a,b} (%)	
<i>G. varius</i>	20	85.4	(89) a
	24	98.5	(67) b
	26	93.1	(58) ab
	30	75.9	(54) a
	33	10.0	(50) c
	36	0.0	(49) c
<i>G. proteus</i>	20	35.0	(120) a
	24	73.1	(108) b
	26	75.0	(108) b
	30	68.7	(83) b
	33	78.2	(110) b
	36	71.0	(93) b

^a The number of samples tested at each temperature is shown in parentheses.

^b Values followed by different letters within a species in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Fisher's exact test with Bonferroni-Holm adjustment).

Table 3-4. Nymphal survival rates at each stadium of *G. varius* and *G. proteus* reared on *E. kuehniella* eggs at six constant temperatures with a 15L9D photoperiod

Species	Temp (°C)	Stadium ^a					1st instar to adult ^b	
		1st	2nd	3rd	4th	5th		
<i>G. varius</i>	20	86.7 (30)	96.2 (26)	100 (25)	100 (25)	80.0 (25)	66.7 (30)a	
	24	86.7 (30)	100 (26)	100 (26)	100 (26)	88.5 (26)	76.7 (30)ab	
	26	93.3 (30)	96.4 (28)	100 (27)	96.3 (27)	100 (26)	86.7 (30)ac	
	30	100 (30)	100 (30)	100 (30)	100 (30)	100 (30)	100 (30)bcd	
	33 ^c	96.7 (30)	100 (29)	100 (29)	100 (29)	96.6 (29)	93.3 (30)ad	
	36 ^c	20.0 (30)	0.0 (6)	-	-	-	0.0 (30)e	
<i>G. proteus</i>	20	86.7 (30)	100 (26)	80.8 (26)	85.7 (21)	66.7 (18)	40.0 (30)a	
	24	81.3 (32)	100 (26)	96.2 (26)	100 (25)	92.0 (25)	71.9 (32)ac	
	26	96.7 (30)	100 (29)	100 (29)	100 (29)	100 (29)	96.7 (30)bc	
	30	96.6 (29)	92.9 (28)	100 (26)	100 (26)	96.2 (26)	86.2 (29)bc	
	33	100 (52)	100 (52)	100 (52)	98.1 (52)	96.1 (51)	94.2 (52)bc	
	36	100 (39)	100 (39)	97.4 (39)	97.4 (38)	94.6 (37)	89.7 (39)bc	

^a The percentages of nymphs that survived to the next stadium are shown. Numbers in parentheses are the number of nymphs at the beginning of each stadium.

^b Values followed by different letters within a species in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Fisher's exact test with Bonferroni-Holm adjustment).

^c Nymphs were obtained from eggs kept at 26°C.

その差は温度の上昇とともに拡大したためである (Fig. 3-1). 以上の結果から、両種の温度適性の違いが示唆され、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの発育に最適な温度帯はそれぞれ、24~30°C 及び26~33°C と推察された。両種を効率的に大量増殖するためには、飼育温度条件をそれぞれ上記の範囲内に設定すべきであると考えられる。

さらに、20°C 及び24°C におけるオオメカメムシの1齢及び5齢幼虫の生存率は、他の齢期よりも低かった (Table 3-4). 生物的防除資材としての両種の大規模大量増殖においては、出荷量を毎日細かく調整する必要がある。両種の飼育にあたっては、前述の最適温度範囲内で飼育温度を細かく調整することにより両種の発育を制御することが可能であるが、オオメカメムシにおける生存率を高め、本種の大量増殖を効率化するためには、1齢及び5齢幼虫期には26°C 以下の低温条件での飼育を避けることが推奨される。

26°C, 15L:9D条件下で水場を設けずにオオタバコガ卵のみを与えてオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシを飼育したところ、両種幼虫の発育日数及び生存率はそれぞれ、約34日及び約28%, 約27.5日及び約71%であることが明らかとなっている (第2章). 本章において、飼育容器内に水場を設けてスジコナマダラメイガ卵を与え、前述の実験と同じ温度及び日長条件下で両種を飼育したところ、発育

日数は同程度であったが、両種とも生存率は前述の実験よりも高く、特にオオメカメムシでは大幅に高かった (Table 3-4). カメムシ目に属する捕食者は口外消化 (extraoral digestion) を行い、餌の体内にある固体を slurry と呼ばれる懸濁液に変えることが知られており (Cohen, 2004), ヒメハナカメムシ類の増殖にはスジコナマダラメイガ卵等の餌の供給とともに適度の給水が必要である (矢野, 2003a) 両研究では用いた餌の種類は異なったが、幼虫の生存率の違いには、給水場所の存在の有無が影響したと考えられる。

以上の結果から、給水場所を設け、餌としてスジコナマダラメイガ卵を与える方法はオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの大量増殖に適していると考えられる。しかし、第2章においてこれらの技術を用いて26°C, 15L:9D条件下で両種の集団飼育を行ったところ、オオメカメムシの羽化率は33%と低かった。生存率を高めて集団飼育を効率化するための改善策の一つとして、第2章でも述べたように共食いの回避が挙げられる。特にオオメカメムシにおいては、北米に生息する *G. bullatus* でも観察されている (Readio and Sweet, 1982) ような、体サイズの大きな個体による小さな個体の捕食や脱皮直後の個体に対する捕食がしばしば認められる。このような共食いの防止策として

は、飼育容器内の構造の改良による飼育個体同士の不必要な接触の回避が挙げられるが、飼育条件の管理の観点からは、同一飼育容器内の幼虫の発育ステージを可能な限り揃えることも重要と考えられる。そのためには、ほぼ同時に孵化した幼虫を同一容器に入れて飼育を開始する方法を確立することが推奨される。また、本節における調査の結果、高温条件下では低温条件下と比較して各齢期の発育日数のばらつきが小さい傾向が明らかになったことから (Table 3-2)、可能な限り飼育温度を高く設定して管理することも、飼育個体の発育ステージを斉一化するうえで重要と考えられる。

第2節 26℃ 条件下における増殖能力

1. 緒言

前節においては、第2章で開発したオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの室内飼育法を大幅に効率化した大量増殖法の開発に必要となる情報として、両種の発育特性を明らかにし、生存率の向上や出荷時期の調節を可能とするための飼育管理技術について考察した。卵及び幼虫期の飼育管理技術に関してはこれらの知見をもとにした確立が可能と考えられるが、両種の増殖能力等、羽化後の管理の効率化に必要な成虫の生態特性については未解明である。そこで本節では、両種の大量増殖において標準的な飼育管理条件の範囲にあると考えられる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、大量増殖技術の確立に資する。

2. 材料及び方法

(1) 供試虫

オオメカメムシ、ヒメオオメカメムシともに、第1節の実験と同一の個体群を用いた。いずれも、第2章で開発した飼育法により、スジコナマダラメイガの卵を餌に、脱脂綿片を産卵基質に用いて26 ± 1℃, 15L: 9Dの条件下で累代飼育した。

(2) 産卵前期間

26 ± 1℃, 15L: 9Dの条件下において、発育日数の調査と同様の容器及び方法を用い、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの幼虫を個体飼育した。5 齢幼虫を対象として24時間毎に羽化の有無を確認し、羽化後24時間以内の雌雄成虫各1頭を同一容器内に入れて調査に用いた。但し両種とも個体飼育では雌雄同数を確保できなかったため、個体飼育で得られた雌成虫 (両種ともn = 16) に対して不足した雄は、個体飼育と同一の条件下で集団飼育した個体群の中から、24時間以内に羽化したものを選んで供試した。

雌雄成虫の飼育容器には給水場所及びスジコナマダラメイガ卵 (餌) に加え、産卵基質の脱脂綿片を入れて26 ± 1

℃, 15L: 9Dの条件下で管理し、産卵の有無を24時間毎に確認した。雌雄成虫一組当たりのスジコナマダラメイガ卵給餌量は400~450個/日とし、餌及び吸水用の脱脂綿については幼虫の発育日数調査と同様に交換した。調査は供試した雌成虫の羽化40日後までとし、40日以上経過しても産卵しなかった両種各1頭については、産卵前期間の算出対象から除外した。

(3) 成虫の生存期間及び産卵数

前述の産卵前期間の調査と同様の要領で羽化後24時間以内の雌雄成虫各1頭を一組にして飼育し、成虫の生死及び産卵数を毎日調査した。産卵数の確認は実体顕微鏡下で行った。産卵基質の脱脂綿または逃亡防止用にガラスシャーレの本体と蓋の間に挟んだキッチンペーパーへの産卵が認められた場合には、新しいものと交換した。また、スジコナマダラメイガ卵を載せたキッチンペーパーに産卵された場合には、その部位を切り出した。

(4) データの解析

産卵前期間、総産卵数、及び日当たり産卵数についてはt検定により種間の比較を行った。生存期間については、同様に種内雌雄間及び種間の比較を行った。産卵雌率については、有意水準をBonferroni-Holmの方法 (Sokal and Rohlf, 1995; 永田・吉田, 1997) により調整したFisherの正確確率検定を用いて比較した。

純増殖率 (R_0)、平均世代時間 (T)、及び内的自然増加率 (r_m) の各増殖パラメータについては、以下の式 (Birch, 1948) により算出した。

$$T = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x$$

$$R_0 = \sum l_x m_x$$

$$\sum e^{-r_m x} l_x m_x = 1,$$

式中の l_x は x 日目 (卵の孵化からの日数) の生存率、 m_x は x 日目の産卵数を示す。本研究では、成虫の生存期間及び産卵数の調査で得た生存率の推移に第1節で得られた卵及び幼虫の生存率をそれぞれ乗じたものを l_x 、同じく産卵数の推移に第1節における26℃ 条件下の幼虫発育調査で得た成虫の雌率 (オオメカメムシ: 0.615 (n = 26), ヒメオオメカメムシ: 0.552 (n = 29), 両種の性比には有意差なし ($p > 0.05$, Bonferroni-Holmの方法によるFisherの正確確率検定)) を乗じたものを m_x として各増殖パラメータの算出に用いた。

3. 結果

(1) 産卵前期間

オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの産卵前期間 (平均 ± 標準誤差) はそれぞれ、18.7 ± 1.9日 (n = 16) 及び5.3 ± 0.5日 (n = 16) であり、種間に有意な差が認めら

Table 3-5. Adult longevity and fecundity of *G. varius* and *G. proteus* reared on *E. kuehniella* eggs at 26°C and a 15L9D photoperiod

Species	Longevity (Mean $\pm$ SE; days) ^a		Ovipositing Females (%)	Total no of eggs laid (Mean $\pm$ SE) ^{a,b,c}	No. of eggs laid per day (Mean $\pm$ SE) ^{a,b}
	Female ^{b,c}	Male ^b			
<i>G. varius</i>	173.1 $\pm$ 19.5 (8)a	261.7 $\pm$ 49.5 (7)a	100 (8)	235.4 $\pm$ 53.2 (8)a	1.4 $\pm$ 0.34a
<i>G. proteus</i>	109.4 $\pm$ 17.4 (7)b	102.0 $\pm$ 28.7 (6)b	87.5 (8)	234.7 $\pm$ 48.5 (7)a	1.9 $\pm$ 0.37a
<i>t</i>	2.40	2.67		0.01	0.84
df	13	11		13	13
<i>p</i>	0.03	0.02		0.99	0.42

^a The number of samples tested is shown in parentheses.^b Means followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$ (Student's *t*-test).^c One *G. proteus* female escaped in the experiment.れた (df = 16.7, $t = 6.93$, $p < 0.0001$, Welchの*t*検定)。

(2) 成虫の生存期間及び産卵数

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 (Table 3-5), その差は雌雄それぞれ64日及び160日と大きかった。一方, 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 (オオメカメムシ: df =

13, $t = 2.16$, $p > 0.05$; ヒメオオメカメムシ: df = 11, $t = 2.20$, $p > 0.05$, Studentの*t*検定)。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 (Fig. 3-2), 産卵曲線 ($l_x m_x$) には明確なピークはなかった。

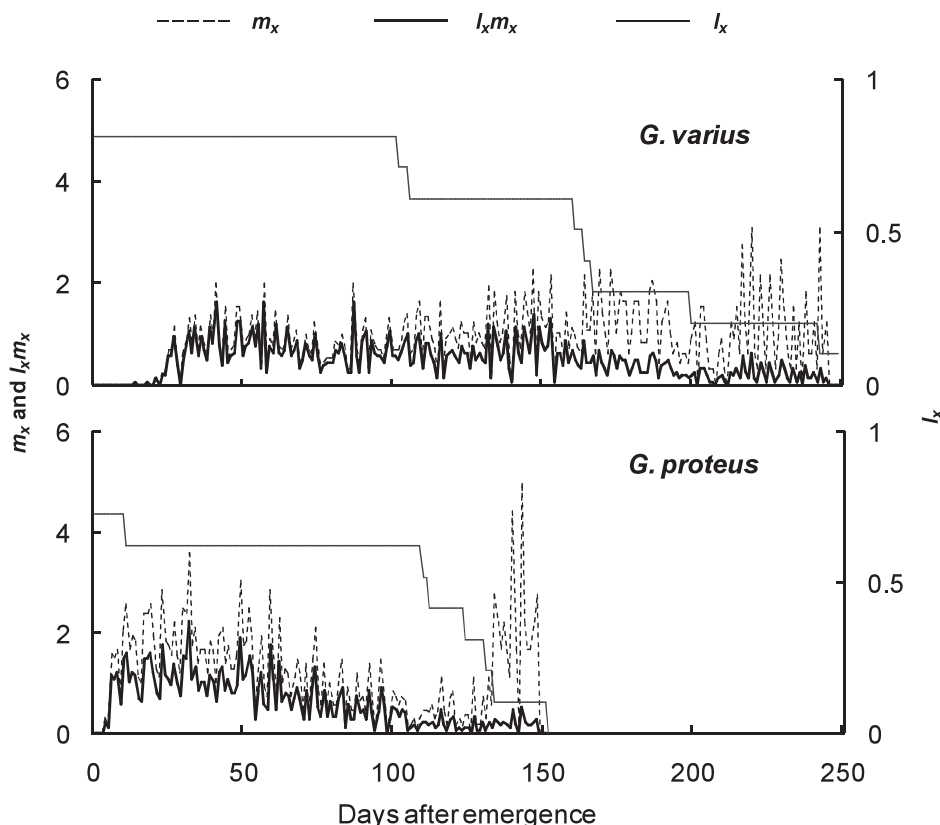


Fig. 3-2. Survival rate (l_x), fecundity per surviving female (m_x), and $l_x m_x$ curves of *G. varius* and *G. proteus* reared on *E. kuehniella* eggs at 26°C and a 15L9D photoperiod. l_x is corrected with survival rates of egg and nymphal period (See Tables 3-3 and 3-4).

(3) 増殖パラメータ

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 (rm) はそれぞれ0.031及び0.051と算出された。

4. 考察

オオメカメムシはヒメオオメカメムシと比較して産卵前期間が約3倍と大幅に長く, 成虫の生存期間も雌雄ともに有意に長かったが (Table 3-5), 1頭当たりの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。また, 両種とも明確な産卵ピークはなく (Fig. 3-2), 特にオオメカメムシでは産卵開始から死亡直前までほぼ同数の卵を少量ずつ産み続ける傾向がみられた。 lx 及び mx に基づいて算出された内的自然増加率は両種とも低く留まり, 種間ではオオメカメムシがヒメオオメカメムシよりも低か

った。平均世代時間はほぼ全生殖年齢群の中心齢で表される期間に相当するため, 内的自然増加率の増大にはその減少 (生殖開始の早期化) が影響する (伊藤ら, 1980)。また, 内的自然増加率に対する $lxmx$ の貢献度は, 産卵開始齢に近い若い生殖年齢群によって大部分が達成される (Birch, 1948)。すなわち, オオメカメムシは産卵前期間が長く, その長い生存期間中に明確な産卵ピークもなかったため, 内的自然増加率が特に低くなったと考えられる。

以上の結果から, 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。しかし, 増殖能力は飼育環境や餌の種類等の影響を受けて変化するため, 両種の増殖能力を最大化し効率的な大量増殖を行うためには, 他の温度条件下における増殖パラメータ等を明らかにし, 最適な飼育温度管理方法等を確立する必要がある。

第4章 オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの捕食能力

1. 緒言

前述のように、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシについては、農業害虫を含む多様な小昆虫等に対する捕食が観察されており、施設野菜類で問題となる様々な害虫に対する生物的防除資材としての利用が期待されている。しかし、利用の適否や方法を検討するうえで不可欠な、各害虫種に対する捕食量等、両種の具体的な捕食能力は未解明である。そこで本章では、捕食性天敵の利用が見込まれる施設野菜類で問題となるナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch (ダニ目：ハダニ科)、ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (アザミウマ目：アザミウマ科)、ワタアブラムシ *Aphis gossypii* Glover (カメムシ目：アブラムシ科) 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。

2. 材料及び方法

(1) 供試虫

用いたオオメカメムシは、2000年5月に千葉県東金市のヨモギから採集した成虫由来の個体群、ヒメオオメカメムシは、1999年9月に同市内のキクから採集した成虫由来の個体群である。いずれも、第2章で開発した飼育法により、スジコナマダラメイガの卵を餌に、脱脂綿片を産卵基質に用いて $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、15L: 9Dの条件下で累代飼育した3齢幼虫（2または3日齢）及び5齢幼虫（3または4日齢）を供試した。すべての供試個体は、試験開始前の24時間には水のみを与えて絶食させた。

餌には、ナミハダニの雌成虫、ミカンキイロアザミウマの2齢幼虫（供試中に蛹化脱皮しないと考えられる大きさの個体）、ワタアブラムシの無翅成虫及びオオタバコガの卵、孵化直後の1齢幼虫を用いた。ナミハダニはインゲンマメ *Phaseolus vulgaris* L. (品種：「長鶏菜豆」) を餌として室温条件下で、ミカンキイロアザミウマは村井（1988）の方法に準じ、ヒマラヤスギ *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don. の花粉を餌として $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、16L: 8Dの条件下で、オオタバコガは人工飼料（インセクタLFS、日本農産工業（株）製）を餌として与え $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、16L: 8Dの条件下で、それぞれ飼育した。ワタアブラムシは千葉県農林総合研究センター内の加温ハウス内で栽培中のイチゴ（品種：「とちおとめ」）を寄主として維持した。

(2) 実験方法

各餌種におけるオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの最大捕食量を明らかにするため、 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、15L: 9D条件下で、両種の3齢及び5齢幼虫に各餌種をそれぞれ単独かつ Table 4-1 に示した給餌密度で与え、24時間当たりの捕食数を調査した。調査は Fig. 4-1 に示した実験容器を作成して実施した。Fig. 4-1 に示したようにキッチンペーパーを敷いた直径9 cm、高さ2 cmのプラスチックシャーレに水を張り、キッチンペーパーを重ねて作った台座を中央部に置き、その上にパラフィルムM (Pechiney Plastic Packaging Inc. 製) またはイチゴ葉片を5 cm × 5 cmに切って載せアリーナとした。ミカンキイロアザミウマは花粉を発育及び増殖の重要な栄養源とし、花粉を好むため（片山、1997）、本種を供試する際には、パラフィルムMのアリー

Table 4-1. Numbers of prey supplied to *G. varius* and *G. proteus* nymphs at 26°C under a 15L9D photoperiod

Predator instar	Prey	Numbers of prey supplied for 24 h	
		<i>G. varius</i>	<i>G. proteus</i>
3rd instar	<i>T. urticae</i> adult females	5; 10; 20; 30; 40	5; 10; 20; 30; 40
	<i>F. occidentalis</i> 2nd instar	3; 10; 20; 30; 40; 50	3; 10; 20; 30; 40; 50
	<i>A. gossypii</i> apterous adults	5; 10; 20; 30; 40	5; 10; 20; 30; 40
	<i>H. armigera</i> eggs	5; 10; 15; 20; 30; 40	5; 10; 15; 20; 30; 40
	<i>H. armigera</i> 1st instar	5; 10; 20; 40	5; 10; 20; 40
5th instar	<i>T. urticae</i> adult females	10; 20; 30; 50; 70; 120	10; 20; 30; 50; 70
	<i>F. occidentalis</i> 2nd instar	10; 30; 50; 90; 120	10; 30; 50; 90; 120
	<i>A. gossypii</i> apterous adults	10; 20; 30; 50; 70	5; 10; 20; 30; 50
	<i>H. armigera</i> eggs	10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80	10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80
	<i>H. armigera</i> 1st instar	10; 20; 30; 50; 70	5; 10; 20; 30

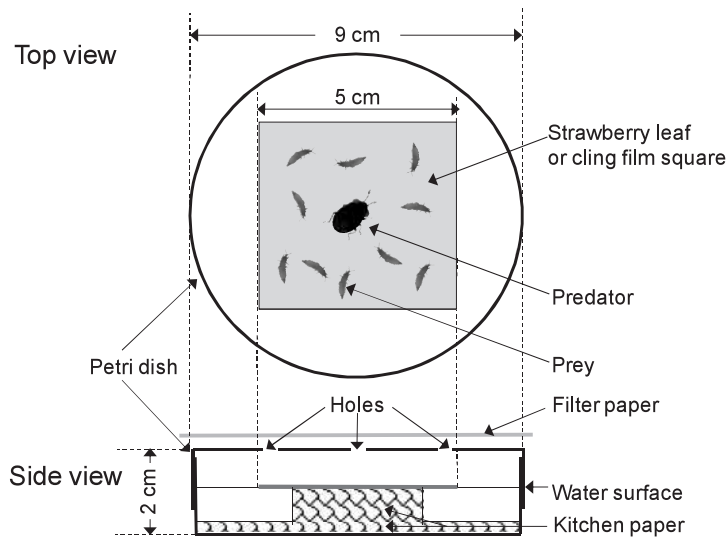


Fig. 4-1. Top view and side view of the experimental arena. A strawberry leaf square was used for the experiments with *T. urticae* adult females, *A. gossypii* apterous adults, and *H. armigera* 1st instar. A cling film square was used for experiments with *F. occidentalis* 2nd instar and *H. armigera* eggs (the former supplied with a small amount of *C. deodara* pollen).

ナ上に少量のヒマヤスギ花粉を置いた。また、オオタバコガ卵はキッチンペーパー片に産みつけられた状態でパラフィルムMのアリーナ上に配置した。一方、イチゴ葉を餌とするナミハダニ雌成虫、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齢幼虫はイチゴ葉片の裏面を上にして台座に置いた。各餌密度区ともに10反復とした。24時間経過後、生存数を実体顕微鏡下で計数し、餌密度からこれらを差し引いて捕食数を算出した。なお、オオメカメムシ類が餌を捕食する際には完全に吸汁する場合が多いことが、観察から明らかになっている（大井田、未発表）。そこで、捕食能力の過大評価を防ぐため、体液が残った状態で死亡している被食者はすべて生存数に含めた。

なお、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの幼虫においては、ヒマヤスギの花粉を与えることによる延命効果はなく（下田ら、未発表；大井田、未発表）両種はこれを餌として利用しないと推察されている。そこで、ミカンキイロアザミウマ2齢幼虫給餌区におけるアリーナ上へのヒマヤスギ花粉の配置は、両種によるミカンキイロアザミウマの捕食量に影響しないものとみなして本研究を実施した。

また、オオタバコガ卵以外の餌種では、捕食以外の原因による死亡率を調べるため、被食者のみを各密度に調整してアリーナ上で飼育した区を設け、24時間経過後に生存個体数及び死亡個体数を調査したが、死亡個体は認められなかったため、本実験系においては捕食以外による死亡がないと判断した。

(3) 最大捕食量の推定及び解析

オオメカメムシとヒメオオメカメムシの種類別に、餌種ごとに捕食数を比較した。捕食者の種と各餌種とを組合

わせた各試験区の捕食数について、餌密度を要因として一元配置分散分析を行い、有意であった場合には捕食数の各水準間でTukey-Kramer法により多重比較した。一般に捕食者の機能の反応として最も頻繁にみられるのは、Holling (1959) が分類した3つのタイプのうち、餌密度が高まると採餌効率が上昇するが、その上昇の度合いが次第に低下し、ある餌密度を超えると捕食数が一定となる「タイプ2」である (Begon et al., 1996)。そこで、本実験でも飽和捕食数の存在を仮定し、餌密度が最も高い側から連続して複数の区の捕食数間に有意な差が認められなかった場合、これらの区で最大捕食量に達しているとみなし、プールした値を捕食者の種間及び発育ステージ間で比較した。但し、各餌密度区間の一元配置分散分析が有意ではなかった場合には、すべての餌密度区のデータをプールした。また、最高餌密度区でそれ以下の餌密度区よりも有意に多く捕食した場合には、最高餌密度区の捕食数を便宜的に最大捕食量として扱った。

以上により推定した最大捕食量について、捕食者の種及び発育ステージを要因として二元配置分散分析を行った。分散分析で2要因間に交互作用が検出された場合には、3齢幼虫及び5齢幼虫における単純主効果の検定を行った。

3. 結果

オオメカメムシとヒメオオメカメムシの種類別に、餌種ごとに餌密度を要因とした分散分析の結果をTable 4-2に示した。オオメカメムシ3齢幼虫にナミハダニ雌成虫またはワタアブラムシ無翅成虫を与えた場合を除き、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの捕食数は餌密度により有意に異なった（一元配置分散分析, $p < 0.05$ ）。各餌密度に対して、Fig. 4-2に示した多重比較の結果から、最大の捕

Table 4-2. Levels of significance by ANOVA of effects of prey density on number of prey consumed by 3rd and 5th instar of *G. varius* and *G. proteus*

Factors	<i>G. varius</i>				<i>G. proteus</i>			
	df	SS	<i>F</i> -value	<i>P</i> -value	df	SS	<i>F</i> -value	<i>P</i> -value
3rd instar								
<i>T. urticae</i> adult females								
Density	4	402.68	2.26	0.0780	4	119.72	3.25	0.0201
Error	45	2008.60			45	415.00		
<i>F. occidentalis</i> 2nd instar								
Density	5	5830.13	29.48	<0.0001	5	241.08	5.79	0.0002
Error	54	2135.60			54	449.50		
<i>A. gossypii</i> apterous adults								
Density	4	163.32	2.31	0.0728	4	285.08	6.96	0.0002
Error	45	797.10			45	460.60		
<i>H. armigera</i> eggs								
Density	5	2332.48	62.28	<0.0001	5	103.68	6.06	0.0002
Error	54	404.50			54	184.90		
<i>H. armigera</i> 1st instar								
Density	3	631.48	15.42	<0.0001	3	181.70	11.46	<0.0001
Error	36	491.30			36	190.20		
5th instar								
<i>T. urticae</i> adult females								
Density	5	14550.80	19.80	<0.0001	4	826.52	17.25	<0.0001
Error	54	7937.80			45	539.00		
<i>F. occidentalis</i> 2nd instar								
Density	4	22567.52	18.47	<0.0001	4	5308.48	12.06	<0.0001
Error	45	13742.90			45	4950.90		
<i>A. gossypii</i> apterous adults								
Density	4	3523.40	12.51	<0.0001	4	260.92	4.74	0.0028
Error	45	3169.10			45	619.80		
<i>H. armigera</i> eggs								
Density	7	26231.60	100.50	<0.0001	7	720.00	4.59	0.0003
Error	72	2684.60			72	1614.20		
<i>H. armigera</i> 1st instar								
Density	4	2401.80	5.82	0.0007	3	275.48	12.64	<0.0001
Error	45	4642.70			36	261.50		

食数となった区と有意差がない餌密度の区は最大捕食量に達していると判断された。Fig. 4-3に示したように、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。

捕食者の種及び発育ステージを要因とした二元配置分散分析の結果をTable 4-3に示した。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。オオタバコガ卵を与えた場合には2要因間で交互作用も検出され、単純主効果検定では3齢幼

虫及び5齢幼虫のいずれにおいても両種間に有意な差が認められた。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。また、これら3種類の餌では、いずれも捕食者の種と発育ステージとの間に交互作用が検出され、単純主効果検定では5齢幼虫のみで種間に有意差が認められた。なお、ナミハダニ雌成虫及びワタアブラムシ無翅成虫については、実験終了時までには卵及び仔虫をそれぞれ産下した区がみられたが、予備調査により、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシは、ナミハダニ卵やワタアブラムシの仔虫を捕食しないことを

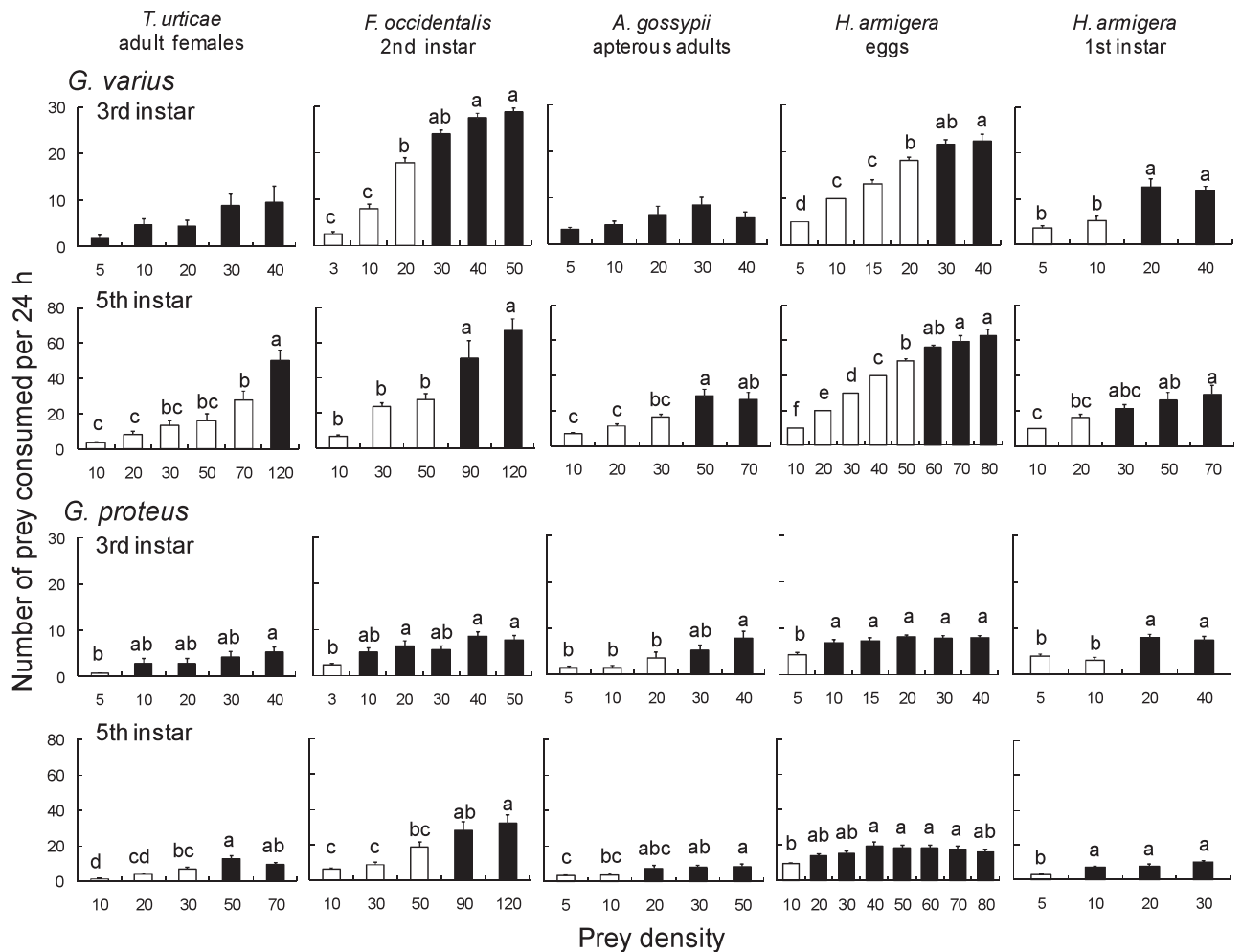


Fig. 4-2. Mean $\pm$ SE ($n = 10$) of the number of prey consumed in 24 h by 3rd and 5th instar of *G. varius* and *G. proteus* at different prey densities. Different letters in a graph indicate significant differences among prey densities by Tukey – Kramer test ($p < 0.05$). See also Table 4-2. Data shown with a black bar were pooled for calculation of the maximum number of prey consumed (Fig. 4-3).

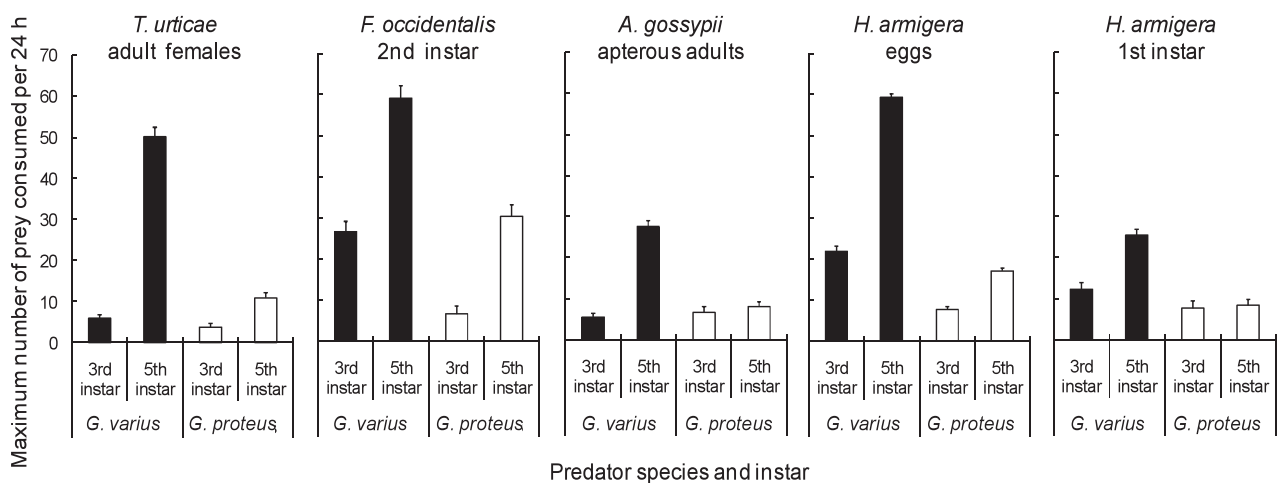


Fig. 4-3. Maximum number of prey consumed in 24 h by *G. varius* and *G. proteus* at 26°C under a 15L9D photoperiod (mean $\pm$ SE). Values were calculated from pooled data shown with black bars in Fig. 4-2.

Table 4-3. Levels of significance by two-factor ANOVA of effects of predator species and instar on maximum number of prey of different species consumed

Prey	Factors	df	SS	F-value	P-value
<i>T. urticae</i> adult females	Species	1	98.47	1.76	0.1870
	Instar	1	13519.53	241.91	< 0.0001
	Species × Instar	1	7056.61	126.26	< 0.0001
	Species at 3rd instar ^a	1	98.47	1.76	0.1870
	Species at 5th instar ^a	1	10244.27	183.30	< 0.0001
	Error	116	6482.96		
<i>F. occidentalis</i> 2nd instar	Species	1	7570.16	43.76	< 0.0001
	Instar	1	20581.42	118.96	< 0.0001
	Species × Instar	1	511.57	2.96	0.0882
	Error	116	20069.34		
<i>A. gossypii</i> apterous adults	Species	1	13.17	0.32	0.5700
	Instar	1	3574.10	88.09	< 0.0001
	Species × Instar	1	2716.75	66.96	< 0.0001
	Species at 3rd instar ^a	1	13.17	0.32	0.5700
	Species at 5th instar ^a	1	4539.63	111.89	< 0.0001
	Error	116	4706.37		
<i>H. armigera</i> eggs	Species	1	2904.97	93.99	< 0.0001
	Instar	1	18631.33	602.81	< 0.0001
	Species × Instar	1	6628.01	214.45	< 0.0001
	Species at 3rd instar ^a	1	2904.97	93.99	< 0.0001
	Species at 5th instar ^a	1	37363.89	1208.89	< 0.0001
	Error	166	5130.67		
<i>H. armigera</i> 1st instar	Species	1	211.60	3.68	0.0580
	Instar	1	1159.26	20.16	< 0.0001
	Species × Instar	1	942.51	16.39	< 0.0001
	Species at 3rd instar ^a	1	211.60	3.68	0.0580
	Species at 5th instar ^a	1	4403.27	76.57	< 0.0001
	Error	96	5520.43		

^a Simple main effects by each predator instar were tested when the interaction between species and instar was detected.

確認していたため、実験中に産まれた卵及び仔虫は計数しなかった。

4. 考察

捕食者の捕食能力の評価には、餌密度に応じた餌探索効率を考慮した機能の反応が用いられることが多い。本研究に用いたアリーナは小面積であり、探索が容易な理想的な採餌環境であると考えられ、餌探索能力を含めた捕食能力の評価法としては問題が残る。しかしこのような実験条件下であっても、餌探索能力に劣らず捕食能力の重要な要素である最大捕食量の違いをオオメカメムシとヒメオオメカメムシの間で比較することは可能である。

オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの3齢幼虫及び5齢幼虫に異なる密度で各被食者を与えたところ、オオメ

カメムシの3齢幼虫にワタアブラムシ無翅成虫またはナミハダニ雌成虫を与えた場合を除いて捕食数は餌密度に応じて変化し、最大捕食量に達するまでの範囲において、捕食数は餌密度の増加とともに多くなった (Fig. 4-2)。また、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの同一発育ステージの幼虫について捕食能力を比較すると、Fig. 4-2に示したように、3 齢幼虫ではミカンキイロアザミウマ2齢幼虫またはオオタバコガ卵を与えた場合、5 齢幼虫ではミカンキイロアザミウマ2齢幼虫以外の被食者を与えた場合に、オオメカメムシではヒメオオメカメムシよりもそれぞれ高い餌密度で最大捕食量に達した。餌となる害虫の種類及び捕食者の発育ステージの組み合わせにより傾向が異なることも予想されるが、圃場で害虫防除資材として利用する場

合にも、オオメカメムシはヒメオオメカメムシと比較してより高い害虫密度に対応できる可能性がある。加えて、捕食者の種及び発育ステージを要因とした二元配置分散分析の結果、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、両捕食者ともに5齢幼虫が3齢幼虫よりも多く、また同一発育ステージで比較するとオオメカメムシがヒメオオメカメムシより多かった。被食者がオオタバコガ卵の場合、捕食者の種及び発育ステージに交互作用が検出され、3 齢幼虫及び5齢幼虫における単純主効果がともに有意であった。これは、いずれの発育ステージでもオオメカメムシがヒメオオメカメムシよりもオオタバコガ卵を多く捕食し、かつ3齢幼虫から5齢幼虫に捕食者の発育ステージが進むと、オオメカメムシでは最大捕食量が顕著に増加したのに対し、ヒメオオメカメムシでの増加は少なかったことによる (Fig. 4-3)。さらに、オオタバコガの孵化直後の1齢幼虫、ワタアブラムシ無翅成虫またはナミハダニ雌成虫を餌とした場合には、最大捕食量に対して捕食者間の主効果は検出されず交互作用が認められ、5 齢幼虫でのみ単純主効果が有意であった。これは、オオメカメムシでは発育に伴う捕食量の増加がヒメオオメカメムシよりも顕著となり、5 齢幼虫においてオオメカメムシの方がヒメオオメカメムシより多く捕食したためである。脱皮直後 (脱皮後表皮が硬化し再び捕食を開始する前) の3 齢幼虫及び5齢幼虫の平均生体重は、オオメカメムシではそれぞれ、0.8 mg及び3.7 mg、ヒメオオメカメムシではそれぞれ、0.4 mg及び1.4 mgであり (大井田、未発表)、オオメカメムシはヒメオオメカメムシよりも発育に伴う生体重の増加が大きいことから、これが両種の捕食量増加率の差の一因になったと考えられる。両種については3齢幼虫を害虫発生圃場へ放飼することによる生物的防除資材としての利用が検討されており、発育に伴う捕食量の増加が大

きいオオメカメムシは、ヒメオオメカメムシと比較して放飼世代による害虫防除効果の発揮の観点からも有望視される。

*Geocoris*属を含む捕食性カメムシ類は口外消化 (extra-oral digestion) を行うために水分摂取が必要であり (Cohen, 1993; Cohen, 1995; Cohen, 2004)、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシも植物の汁液も吸うことが知られている (安永ら, 1993)。本研究で用いたアリーナの素材は、ミカンキイロアザミウマ2齢幼虫及びオオタバコガ卵ではパラフィルムMを、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齢幼虫ではイチゴ葉片であった。アリーナにイチゴ葉片を用いた区では、葉片から吸汁する行動がしばしば観察されたことから、被食者に対する採餌時間の減少や空腹度の低下が生じた結果、最大捕食量が減少した可能性が考えられる。但し、捕食者の捕食量には餌の体サイズや活動性、体表構造の違いに伴うハンドリングタイムの差等も影響する。したがって、餌種間で最大捕食量が異なった原因についてはこれらの要因の影響も含めて今後解析する必要がある。

以上より、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。しかし、害虫防除資材としての両種の利用が見込まれる施設栽培の果菜類には、複数種の害虫が同時に発生することが多い。今後は、害虫が複数種併存する条件下での両種の利用を検討するために、複数の餌種を同時に与えた場合の餌種ごとの捕食量や餌選好性を調査しなければならない。また、より長期間作物上に両種を安定して定着させる方法や生産コストの一層の低減化についても、今後さらに検討を要する。

第5章 施設栽培の果菜類における害虫防除効果

第1節 イチゴにおける害虫防除効果

1. 緒言

本研究では、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの室内増殖法を確立し（第2章）、発育特性及び増殖特性（第3章）、並びに捕食能力（第4章）を明らかにした。また、オオメカメムシはバラ科、ナス科及びウリ科を含む多種の植物での生息が報告されており（務川ら、2006）、ヒメオオメカメムシもカボチャ、サツマイモ、スイカ、ナス、ネギ等の栽培圃場における自然発生が確認されている（井村、未発表；増井ら、未発表；務川、未発表；大井田ら、未発表）。さらに、害虫に被害された植物由来の匂い物質に対する両種の反応性（下田ら、2003）や植物種の違いが両種の採餌活動に及ぼす影響（斉藤ら、2005）、オオメカメムシ幼虫の生存と発育に及ぼす花粉や花蜜の影響（下田ら、2008）等、植物との関係についての報告もある。以上の知見から、両種は複数種の作物上で生息でき、それらの作物を被害する害虫の天敵として機能する可能性があると考えられる。

しかし、作物栽培圃場へ両種を放飼した場合の害虫防除効果については報告がない。両種の捕食対象となることが明らかになっている害虫を防除する場合でも、放飼個体が作物上に十分定着しなければ防除効果が得られない恐れもある。そこで本節では、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシを人為的に作物上へ放飼した場合の定着性と両種による害虫防除効果を評価する目的で、ナミハダニの発生が認められたイチゴをモデルとして室内増殖した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する。

2. 材料及び方法

千葉県東金市（旧 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）の3連棟のガラス温室（各室プラントベッド2つを設置、プラントベッドの面積は合計7.82m²）で試験した。オオメカメムシ放飼区、ヒメオオメカメムシ放飼区及び無処理区の計3区を設定した。

(1) 供試虫

オオメカメムシは、2000年5月に千葉県東金市のヨモギから、ヒメオオメカメムシは、1999年9月に同市内のキクから採集されたものを、第2章で示した方法に準じて、26℃、15L：9D条件下で累代飼育したものである。

(2) 試験方法及び調査方法

2002年11月14日に60株のイチゴ苗（品種「とちおとめ」）を各温室のベッドに定植（株間30 cm, 2 条植え）した。ナ

ミハダニの自然発生を確認した後、天敵を放飼する2区には、2003年1月31日、2 月7日及び25日の3回、パーミキュライトに混ぜてプラスチックボトルに入れたオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの3齢幼虫をパーミキュライトとともに葉上に振りかけて放飼した。放飼密度は、各回2頭／株とした。

試験ハウスの天窓と側窓については21℃ で自動的に開閉するように設定した。栽培管理は慣行によった。

各区より系統抽出した20株を調査株として固定し、その全葉についてナミハダニの雌成虫数を調査するとともに、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの個体数とその生息部位及び発育ステージを記録した。調査は1月30日から4月30日までの期間とし、概ね7～10日間隔で実施した。

3. 結果

各処理区における試験開始時のナミハダニの株当たり平均密度（株当たり個体数）及び試験期間中の月別の平均気温をTable 5-1に、ナミハダニの平均密度及びオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの平均密度の推移をFig. 5-1に示した。無処理区では、試験開始直後からナミハダニが増加し、3 月12日には324頭／株と高密度に達するとともに、葉の表面が白化し、ハダニの吐糸で覆われる等、甚大な被害が観察された。4 月1日の調査では、無処理区において株の状態の悪化によるナミハダニ密度の低下が認められたため、同区でのそれ以降の調査を打ち切った。一方、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシを放飼した区では、3 月下旬までナミハダニの寄生密度が約60頭／株に抑えられ、天敵放飼による防除効果が認められた。4月以降は両区ともナミハダニが増加し、4 月15日時点で、オオメカメムシ放飼区では201頭／株、ヒメオオメカメムシ放飼区では約457頭／株に達した。ヒメオオメカメムシ放飼区では株により被害が生じたが、オオメカメムシ放飼区では試験終了時まで目立った被害は認められなかった（Fig. 5-2）。

オオメカメムシは、放飼開始から約50日後の3月下旬まで、1頭／株以上の密度で推移した。それ以降本種の密度は低下したが、調査期間を通じて常に植物上で認められ、最終回調査時には1頭のみであったが成虫も確認できた。ヒメオオメカメムシも株上で確認され、オオメカメムシと同様に最終回調査時には成虫も認められた。しかし、株上での密度はオオメカメムシと比較して明らかに低く、調査日によっては全く確認できなかった。Fig. 5-3に、すべての調査日において確認できた両種の生息部位別のべ個体数の割合（株元の地表を含む）を示した。オオメカメムシは

Table 5-1. Initial densities of target pest (*T. urticae*) and temperature in strawberry greenhouses ^a

Treatment	Initial density of spider mites (adult females/plant $\pm$ SE)	Mean daily temperature ($\pm$ SD) ($^{\circ}$ C)		
		February	March	April
<i>G. varius</i> ^b	0.75 $\pm$ 0.17	13.0 $\pm$ 6.3	15.4 $\pm$ 6.8	19.3 $\pm$ 6.4
<i>G. proteus</i> ^b	0.30 $\pm$ 0.05	13.2 $\pm$ 6.3	15.7 $\pm$ 6.9	19.7 $\pm$ 6.4
Control	3.80 $\pm$ 0.39	13.1 $\pm$ 6.4	15.4 $\pm$ 7.0	19.2 $\pm$ 6.3

^a Sixty strawberry seedlings were planted in each greenhouse with two beds (total bed area: 7.82 m²) on November 14, 2002. The greenhouse was ventilated through ventilation screens with a mesh size of 2 mm.

^b Third instar nymphs of each predator were released at the rate of 2 per plant on January 31, February 7 and 25, 2003.

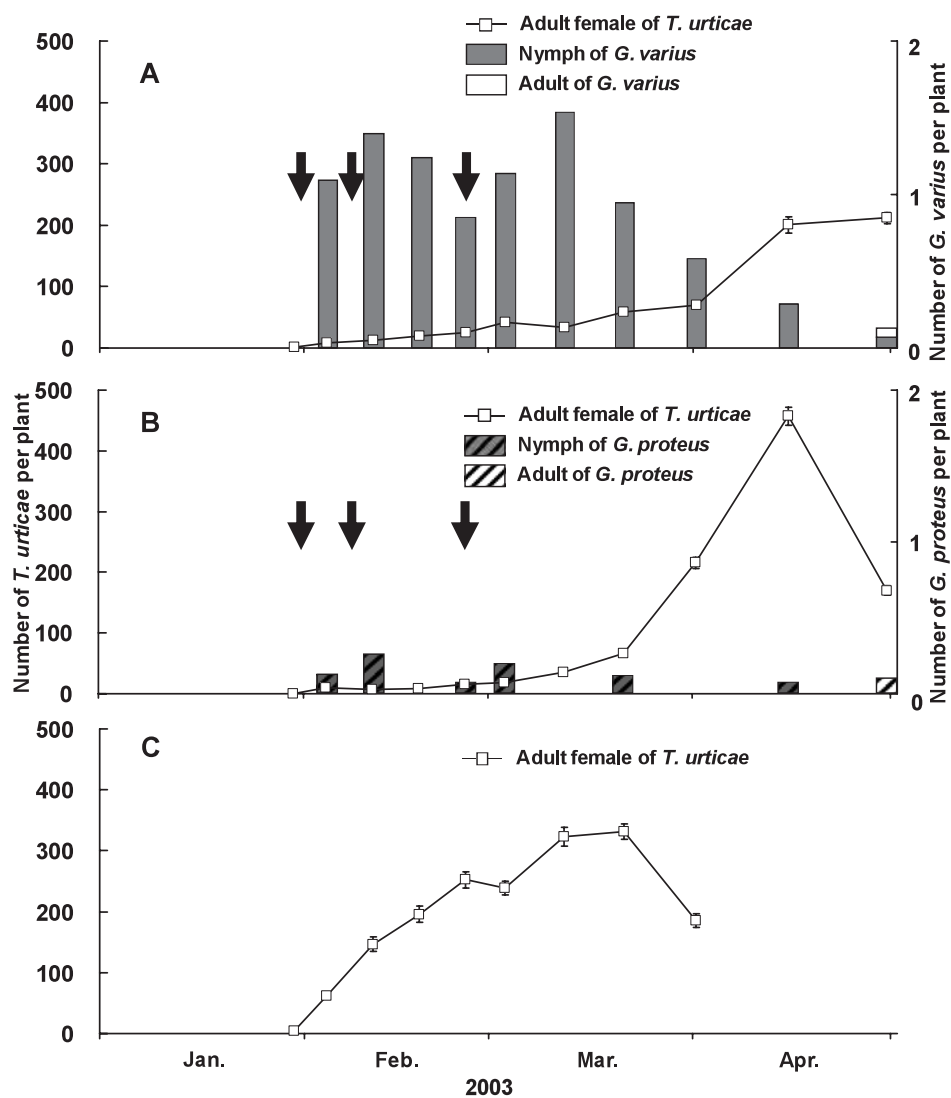


Fig. 5-1. Density fluctuation of *T. urticae* and *G. varius* or *G. proteus* on strawberry plants in the *G. varius* release (A), *G. proteus* release (B) and control (C) greenhouses (see Table 5-1). Arrows show the timing of predators releases. Vertical line indicates SE of mean.



Fig. 5-2. Appearance of strawberry leaves in each experimental compartment at the final stage of the experiment (April 22, 2003).

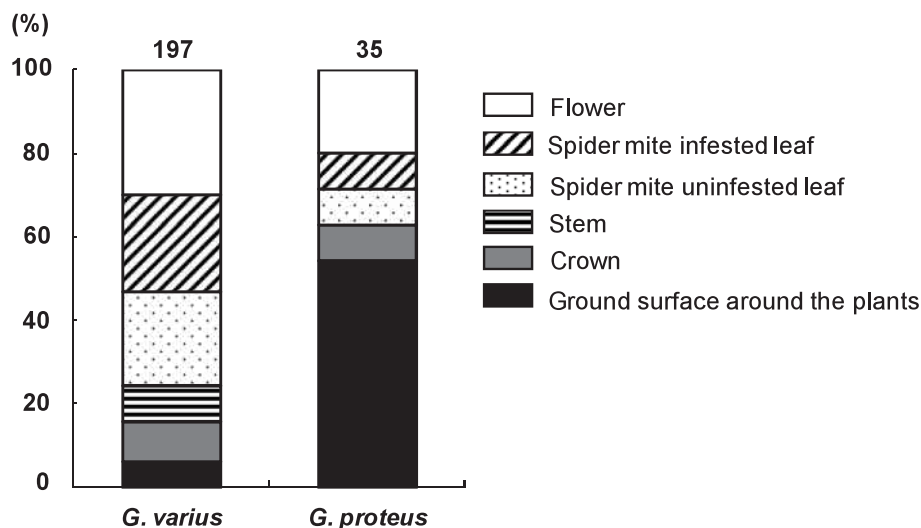


Fig. 5-3. Distribution of *G. varius* and *G. proteus* on and around the strawberry plants in treated greenhouses (see Table 5-1). Numerals above the bar denote the total number of insects observed in all timings.

ヒメオオメカメムシと比較して生息個体数が多く、そのうちの90%以上は植物上で確認され、特に花と葉で見つかった個体の割合が高かった。一方ヒメオオメカメムシは、半数以上が株元の地表で認められた。なお、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシは小昆虫を捕食するほか植物も吸汁することが知られており、オオメカメムシについてはカンキツの害虫としての記述もある（安永ら，1993）。一方、本試験においても両種ともイチゴ植物体への吸汁を確認しているが、被害は生じなかった。

4. 考察

本節において、イチゴのナミハダニを防除する目的でオオメカメムシの幼虫を植物上に放飼したところ、長期間植物上に定着して害虫密度が低く維持された。オオメカメムシは野外や室内実験で観察されているような害虫捕食能力をイチゴ圃場でも発揮できると考えられる。但し、室内実験による調査で、本種は発育に比較的長期間を要することが確認されている（第3章）。また、千葉県においては、野外で6月初旬に発生した第1世代は約2ヶ月後の7月下旬から8月に羽化することが明らかとなっている（務川ら，

2006）。本研究においても、3 齢幼虫を放飼したのち最初に羽化個体を確認できたのは約3ヶ月後であった。また、試験期間の後半に定着数が減少し、確認できた羽化個体はごくわずかであった。本研究の結果から、3 齢幼虫の放飼は本種の利用方法として適切であり、放飼世代による害虫防除効果は高いと考えられるが、より長期間栽培される作目及び作型において次世代による防除効果等を検証する必要がある。

一方、ヒメオオメカメムシを放飼したところ、しばらくの間はナミハダニの密度を抑制したが、試験終了まではその状態を維持できなかった。実験室内でヒメオオメカメムシと害虫を同容器内に置いた場合、捕食量はオオメカメムシと比較して少ないものの、本種は多くの餌種を問題なく捕食することが明らかとなっている（第4章）。本節においてオオメカメムシとヒメオオメカメムシの間で害虫防除効果に差が生じた要因の一つとして、両種の植物上への定着性と生息場所の違いが挙げられる。ヒメオオメカメムシと同属でアメリカに生息する *Geocoris pallens* Stål 及び *G. bullatus* は、草丈の低い雑草地では、地面や腐植層の周囲ま

たは下、植物のクラウン付近に多いことが報告されている (Tamaki and Weeks, 1972)。また、オオメカメムシは越冬時を除き植物上に生息するが、ヒメオオメカメムシは地表面で生息するとみられている (安永ら, 1993)。さらに、斉藤ら (2005) によれば、イチゴ苗を用いた植物上での採餌場所選択実験の終了時調査の際、オオメカメムシは供試した全ての個体が植物上にいたのに対し、ヒメオオメカメムシについては供試した半数以上の個体が培養土の上や実験容器上で発見されている。本研究においても、ヒメオオメカメムシは発見個体の50%以上が株元付近の地表面で確認された。これは短時間の観察の結果であり、より厳密に議論するためには長時間継続した行動観察が必要と考えられるが、ヒメオオメカメムシは本実験においても地表面を主な活動場所としていた可能性が高いとみられ、本習性が原因となり葉裏を主な生息場所とするナミハダニとの遭遇頻度が低下し、結果的に十分な防除効果が得られなかったと推察される。

第2節 スイカにおける害虫防除効果

1. 緒言

前節においては、ナミハダニが発生したイチゴにおけるオオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの定着性とハダニに対する防除効果を検討した。その結果、オオメカメムシについてはイチゴ株上への長期間の定着と高いハダニ防除効果が確認できたが、ヒメオオメカメムシは株上への定着性が低く、ハダニ防除効果もオオメカメムシより劣ることが明らかとなった。この結果から、イチゴにおける害虫管理に関してはオオメカメムシの利用が有望視されるが、斉藤ら (2005) による室内実験でも示されているように、植

物への定着性は植物種間で大きく異なる可能性があり、その傾向は両種間で異なることも考えられる。そこで本節では、ワタアブラムシが発生したスイカ圃場において前節と同様に両種のいずれかを放飼し、スイカへの定着性及び捕食能力を評価した。

2. 材料及び方法

千葉県東金市 (旧 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) の敷地内にある3棟の単棟パイプハウス (各ハウスは50 m²) を用いた。オオメカメムシ放飼区、ヒメオオメカメムシ放飼区及び無処理区の計3区を設定した。

(1) 供試虫

オオメカメムシ、ヒメオオメカメムシともに、前節のイチゴでの試験と同じ個体群を用いた。

2 試験方法及び調査方法

2003年3月24日にスイカ苗 (品種「夏太鼓」) 10株を各温室に定植 (株間160 cm, 1条植え, 地這い3本仕立て) した。ワタアブラムシの自然発生を確認した後、天敵を放飼する2区には、2003年5月8日、16日及び23日の3回、パーミキュライトに混せてプラスチックボトルに入れたオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの3齢幼虫をパーミキュライトとともに葉上に振りかけて放飼した。放飼密度は、各回30頭/株とした。栽培管理は慣行によった。

各区より系統抽出した5株を調査株として固定し、その上中下位各3葉、合計9葉についてワタアブラムシの成虫数を調査するとともに、前述の9葉及び開花中の全花について、オオメカメムシ及びヒメオオメカメムシの個体数とその生息部位及び発育ステージを記録した。調査は5月7日から6月9日までの期間とし、概ね7日間隔で実施した。

Table 5-2. Initial densities of target pest (*A. gossypii*) and temperature in watermelon greenhouses ^a

Treatment	Initial density of aphids	Mean daily temperature (±SD)
	(adults/plant ± SE)	(°C)
<i>G. varius</i> ^b	1.76 ± 0.08	22.8 ± 7.5
<i>G. proteus</i> ^b	0.69 ± 0.05	22.7 ± 7.2
Control	11.9 ± 0.73	22.5 ± 7.1

^aTen watermelon seedling were planted in each greenhouse (50.0 m²) on March 24, 2003. The greenhouse was ventilated through ventilation screens with a mesh size of 2 mm.

^bThird instars of each predator were released at the rate of 30 per plant on May 8, 16, and 23, 2003.

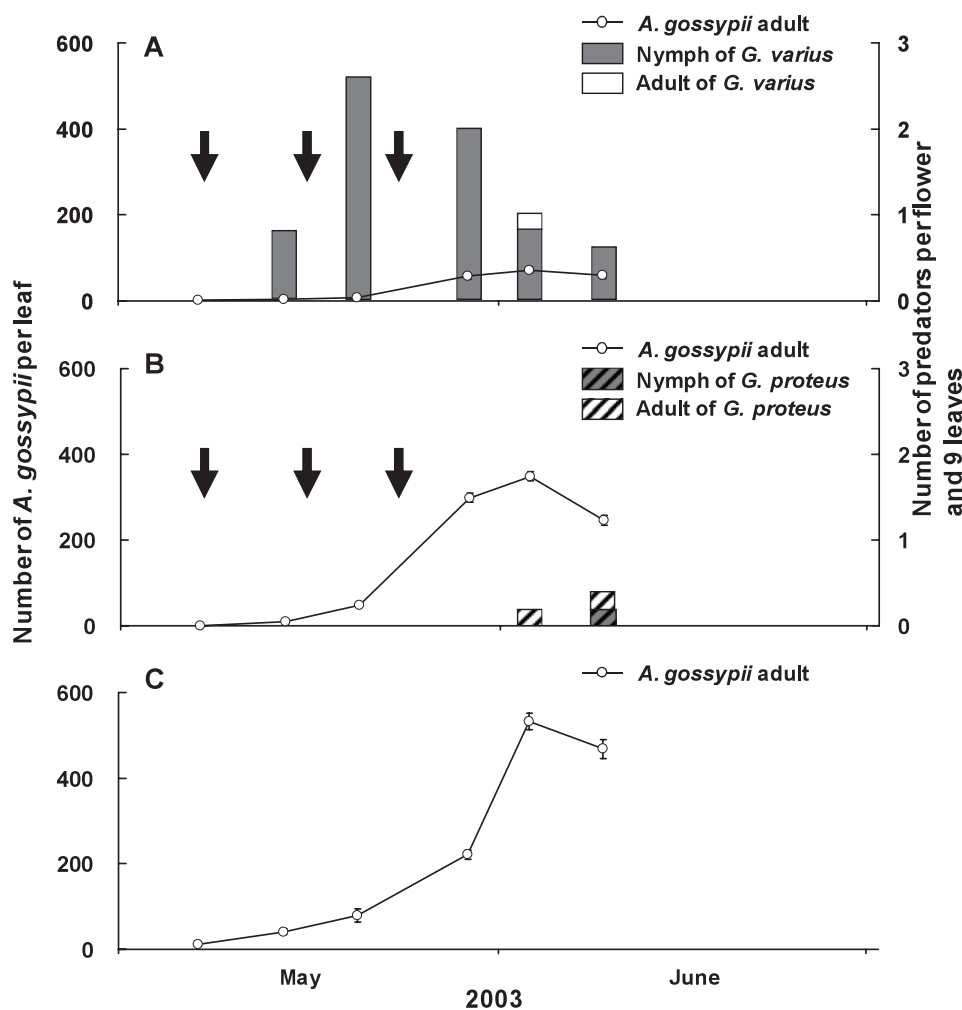


Fig. 5-4. Density fluctuation of *A. gossypii* and *G. varius* or *G. proteus* on watermelon plants in the *G. varius* release (A), *G. proteus* release (B) and control (C) greenhouses (see Table 5-2). Arrows show the timing of predators releases. Vertical line indicates SE of mean.

3. 結果

各処理区における試験開始時のワタアブラムシ平均密度（1葉当たり個体数）及び試験期間中の平均気温をTable 5-2に、ワタアブラムシの平均密度並びに開花中の全花及び9葉の合計におけるオオメカメムシまたはヒメオオメカメムシの平均個体数の推移をFig. 5-4に示した。各区とも、天敵放飼開始約2週間後の5月20日頃からワタアブラムシが増加し始めたが、オオメカメムシ放飼区ではその後も6月3日の72頭／葉をピークとして比較的低い密度で推移し、目立った被害は認められなかった。一方、ワタアブラムシの寄生数は、ヒメオオメカメムシ放飼区では無処理区の532頭／葉と比較してやや低かったものの、6月3日には349頭／葉に達した。この頃、無処理区及びヒメオオメカメムシ放飼区では、アブラムシの多発によるすす病も発生した。なお、6月3日以降、各区ともショクガタマバエ *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (ハエ目：タマバエ科)、ヒラタアブ類の発生が認められ、ヒメオオメカメムシ放飼区及び無処理区で特に目立った。また、6月中旬以降、全

ての区において昆虫寄生菌が原因とみられる症状によりワタアブラムシが多数死亡したため、6月9日の調査を最後に、試験を打ち切った。

オオメカメムシは、放飼開始以降5月20日（2.6頭／開花中の全花及び9葉）をピークとして調査期間を通じて常に植物上で認められ、6月3日には1頭のみであったが成虫も確認できた。一方、ヒメオオメカメムシはほとんど植物上では観察されず、6月以降数頭のみを認めるに留まった。Fig. 5-5に、すべての調査日において確認できた両種の生息部位別の個体数の割合（株元の地表を含む）を示した。オオメカメムシはヒメオオメカメムシと比較して観察個体数は少なかったが、そのうち約80%は植物上で確認され、特にアブラムシが寄生している葉の裏側で多く見つかった。一方、ヒメオオメカメムシは株元の地表を含めたのべ観察個体数がオオメカメムシの3倍以上であったが、このうち植物上で確認されたのは10%に満たなかった。なお、スイカ植物体への吸汁についてはイチゴの場合と同様に両種とも確認されたが、被害は生じなかった。

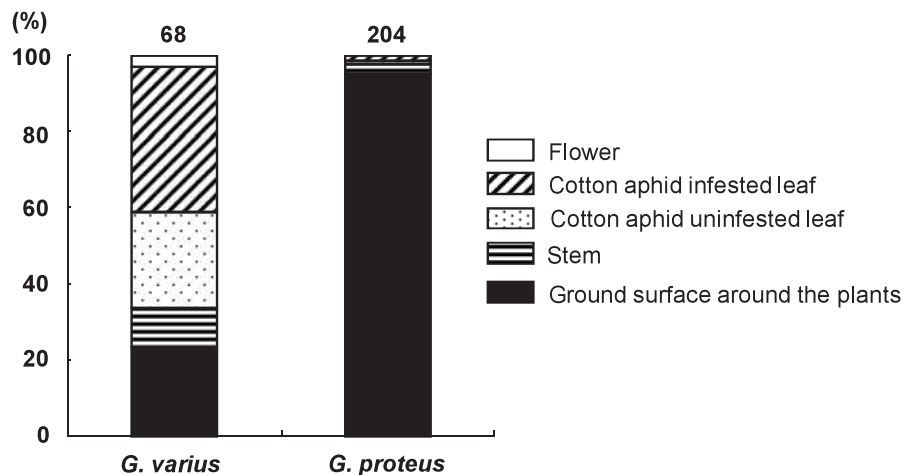


Fig. 5-5. Distribution of *G. varius* and *G. proteus* on and around the watermelon plants in treated greenhouses (see Table 5-2). Numerals above the bar denote the total number of insects observed in all timings.

4. 考察

本節において、スイカのワタアブラムシを防除する目的でオオメカメムシの幼虫を植物上に放飼したところ、イチゴへ放飼した場合と同様に長期間植物上に定着し、その結果、害虫密度は低く維持された。オオメカメムシはスイカにおいても問題なく害虫捕食能力を発揮できると考えられる。放飼世代による害虫防除効果は高く、3 齢幼虫の放飼はスイカで本種を用いる方法としても適切であると思われるが、本研究でもイチゴの場合と同様に試験期間の後半に定着数が減少し、確認できた羽化個体はごくわずかであった。生物的防除資材としての実用化に際しては、バンカー法（長坂ら、2010）等、本種を圃場に長期間安定して定着させ、害虫防除効果を持続させるための定着性向上技術の開発が必要と考えられる。

一方、ヒメオオメカメムシ放飼区では、ワタアブラムシに対する実用的な防除効果は得られなかった。圃場で確認されたヒメオオメカメムシの個体数はオオメカメムシを大きく上回ったが、その90%以上が株元付近の地表面で発見された。イチゴの場合と同様、この習性により葉裏や生長点等に多く生息するワタアブラムシとの遭遇頻度が低かったため、防除効果が得られなかったと推察される。

第1節及び第2節における調査を通じ、室内で大量増殖した個体の害虫発生圃場への放飼を想定した場合には、ヒメオオメカメムシよりもオオメカメムシの利用が適していると考えられた。しかし、ヒメオオメカメムシについては、前述のように減農薬管理を行う圃場において自然発生個体がしばしば観察されており（第1節参照）、害虫に対する捕食能力があることも確認されているため（第4章）、土着個体の保護等を含めた別の活用方法も模索すべきである。

第3節 ピーマンにおける害虫防除効果

1. 緒言

施設栽培のピーマンでは、花に多数寄生し果実に被害を及ぼすミカンキイロアザミウマ等のアザミウマ類の発生がしばしば問題となる。一方、オオメカメムシはミカンキイロアザミウマに対する高い捕食能力を持つことが明らかとなっており（第4章）、アザミウマ類に対する防除効果に優れた生物的防除資材としての活用が期待される。また、スジコナマダラメイガの卵を害虫のモデルとして用いた室内実験により、オオメカメムシはピーマンに定着し活発に採餌活動を行うことが報告されており（斉藤ら、2005）、本種を用いてピーマンのアザミウマを防除できる可能性がある。しかし、圃場においてアザミウマ類が発生した作物上に本種を放飼した場合の防除効果については、他の作物の場合も含めて報告がない。また、第1節及び第2節における研究を通じ、オオメカメムシはヒメオオメカメムシよりも大量増殖個体を放飼することによる生物的防除資材としての利用が有望視されているが、広食性天敵としてのメリットを活かして多くの利用場面を開拓する観点からも、未検討の作物と害虫の組み合わせにおいて、本種を用いた害虫管理の事例を蓄積する必要がある。

そこで本節では、圃場においてアザミウマ類に対する生物的防除資材としてのオオメカメムシの実用性を評価する目的で、ヒラズハナアザミウマ *Frankliniella intonsa* (Trybom)（アザミウマ目：アザミウマ科）及びミカンキイロアザミウマが寄生するピーマンに本種を放飼し、害虫及び本種の密度推移を調査した。

Table 5-3. Record of biological and chemical pesticide applications in greenhouses of the sweet pepper

Active ingredient % (Formulation) ^a	Products	Dilution	Application	
			Date	Frequency
Insecticide				
Imidacloprid 1.0 % (G)	Admire	2g / plant	April 18	1
Chlorphenapyr 10.0 % (F)	Kotetsu	2,000 ×	July 5	(1) ^b
Fungicide				
Triflumizole 30.0 % (WP)	Trifmine	3,000 ×	May 16, June 9, 14	3
Triflumizole 15.0 % (WDG)	Pancho-TF	2,000 ×	June 24, 28	2
<i>Bacillus subtilis</i> 1×10 ¹¹ CFU/g (WP)	Botokiller	1,000 ×	May 25, June 6, 20	3
<i>Bacillus subtilis</i> 5×10 ⁹ CFU/g (WP)	Impression	500 ×	June 26, July 8, 11, 20, 25, 29	6
Cyflufenamid 3.4 % (WDG)	Pancho-TF	2,000 ×	June 24, 28	2
Potassium hydrogen carbonate 80.0 % (WP)	Kaligreen	800 ×	June 30, July 2, 22	3
Sodium hydrogen carbonate 80.0 % (WP)	Harmomate	800 ×	July 5	1
Fenarimol 12.0 % (WP)	Rubigan	10,000 ×	July 15	1

^a G: Granule; F: Flowable; WP: Water dispersible powder; WDG: Water dispersible granule.^b Chlorphenapyr was applied only in the greenhouse under the conventional control.Table 5-4. Initial densities of target pests (*F. intonsa* and *F. occidentalis*) and temperature in sweet pepper greenhouses ^a

Treatment	Initial density of thrips (Mean/plant ± SE)	Mean daily temperature (±SD) (°C)	
		June	July
<i>G. varius</i> ^b	0.42 ± 0.04	24.4 ± 5.0	25.2 ± 5.2
Conventional control	1.00 ± 0.08	23.9 ± 4.6	25.0 ± 5.2

^a Seventy-two sweet pepper seedlings were planted in each greenhouse (108 m²) on April 18, 2005. The greenhouse was ventilated through ventilation screens with mesh size of 1 mm size.^b Second instars of *G. varius* were released at the rate of 5 per plant on June 2, 8 and 15, 2005.

2. 材料及び方法

千葉県農林総合研究センター北総園芸研究所東総野菜研究室砂地試験地（千葉県匝瑳市）の敷地内にある単棟のパイプハウス（各ハウスは約108 m²）を2棟用いた。試験区としてオオメカメムシ放飼区及び慣行防除区の2区を設定した。

(1) 供試虫

供試したオオメカメムシは、2000年5月に千葉県東金市（旧 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）の敷地内に自生していたヨモギから採集された個体

群をもとに、(株)アグリ総研（茨城県取手市）で増殖したものである。このうち、放飼前日にバーミキュライトに混ぜてプラスチックボトルに封入し宅配便で発送され、試験当日に現地に到着した2齢幼虫を用いた。

(2) 試験方法及び調査方法

2005年4月18日にピーマン苗（品種：「京鈴」）72株を各ハウスに定植（株間60cm，1条植え，4本仕立て）した。アザミウマ類の自然発生を確認した後、オオメカメムシ放飼区には、2005年6月2日，8日及び15日の3回，オオメカメムシをバーミキュライトとともに株上に振りかけて放飼し

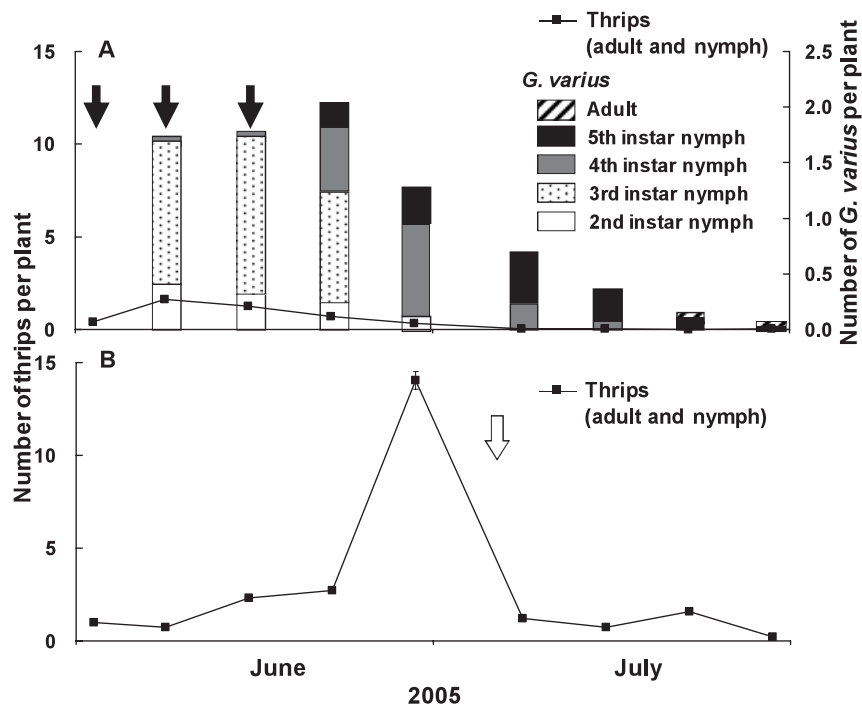


Fig. 5-6. Density fluctuation of *F. intonsa*, *F. occidentalis* and *G. varius* on sweet pepper plants in the *G. varius* release (A) and conventional control (B) greenhouses (see Table 5-4). Solid arrows show the timing of *G. varius* releases. Open arrow shows the timing of Chlorphenapyr application. Vertical line indicates SE of mean.

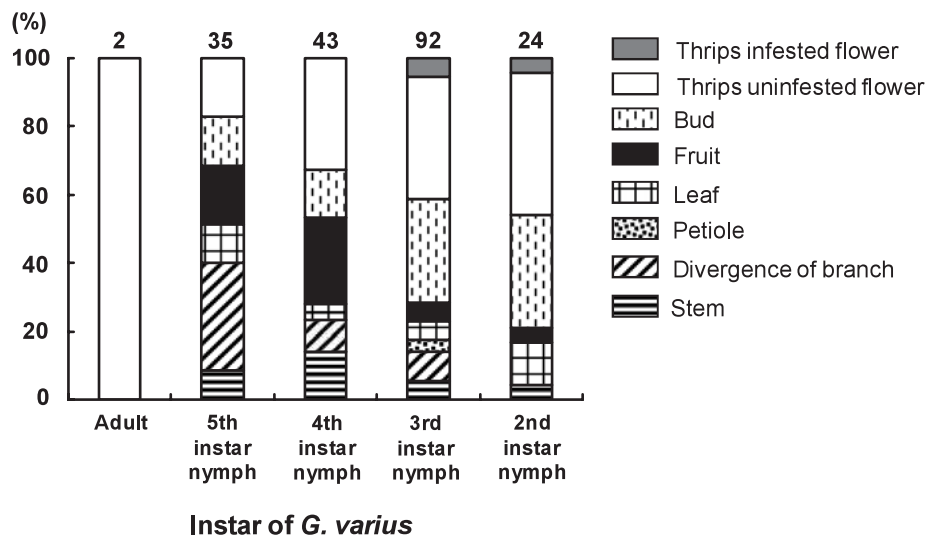


Fig. 5-7. Distribution of *G. varius* on the sweet pepper plants in treated greenhouse (see Table 5-4). Numerals above the bar denote the total number of insects observed in all timings.

た。放飼密度は各回5頭／株とした。栽培管理は慣行によった。

両区より系統抽出した24株を調査株として固定した。本試験において発生が認められたアザミウマ類は花に対する嗜好性が高いヒラズハナアザミウマ（村井・石井, 1985）及びミカンキイロアザミウマ（片山, 1997）の2種であり、両種のピーマンにおける主な活動場所は花であるため、調

査株の開花中の全花について両種の寄生数を調査した。オオメカメムシについては、開花中の全花及び1株につき1分間の株全体の見取り調査を行い、オオメカメムシの個体数とその生息部位及び发育ステージを記録した。調査は、6月2日から7月29日までの期間とし、概ね7日間隔で実施した。

両区には、定植時にイミダクロブリド粒剤を処理すると

ともに、常用濃度に希釈した各種殺菌剤をTable 5-3に示した内容で散布した。また、7月5日のクロルフェナピル水和剤の散布は慣行防除区のみで実施した。

3. 結果

オオメカメムシ放飼区及び慣行防除区における試験開始時のアザミウマ類平均密度（1株当たり個体数）及び試験期間中の月別の平均気温をTable 5-4に、アザミウマ類の平均密度並びにオオメカメムシ放飼区におけるオオメカメムシのステージ別の株当たり平均個体数の推移をFig. 5-6に示した。オオメカメムシ放飼区では、試験開始直後にアザミウマ類密度がわずかに増加したが、6月8日の1.6頭／株をピークとしてその後減少し、試験期間を通じて極めて低い密度で推移した。一方、慣行防除区では、徐々にアザミウマ類密度が増加し、天敵放飼開始27日後の6月29日には14頭／株に達したため、果実への被害を防止する目的で、7月5日にクロルフェナピル水和剤を常用濃度で散布した。その結果、アザミウマ類は減少したが、試験終了までオオメカメムシ放飼区と比較して常に高密度で推移した。7月15日以降、両区とも施設外からの飛び込みと思われるヒメハナカメムシ類が調査ごとに1～数頭確認され、その数は慣行防除区でやや多かった。試験への影響を排除するため、発見した個体についてはすべて除去した。なお両区とも、7月以降は6月中と比較して開花数が減少した。また、試験期間を通じ、両区ともヒラズハナアザミウマ及びミカンキイロアザミウマの2種が混在していたが、主体はヒラズハナアザミウマであった。

各種殺菌剤が高頻度で散布される条件下において試験を実施したが、オオメカメムシは放飼開始以降6月22日（2.0頭／株）をピークとして常に植物上で認められた。放飼開始から約1ヶ月経過後の7月以降は徐々にオオメカメムシの密度が低下したが、放飼からの日数が経過するとともに発育ステージも進み、7月22日及び29日には成虫を確認した。Fig. 5-7に、すべての調査日において確認できたオオメカメムシの生息部位別のべ個体数の割合を発育ステージ別に示した。5齢幼虫では、他のステージと比較して枝分岐部での生息比率がやや高かったが、どのステージにおいても花や蕾、幼果等での生息割合が高く、特に2齢期に

においては、これらの部位で確認された割合の合計が80%以上、3齢期においても70%以上を占めた。成虫は、発見できた2頭がともに花において認められた。なお、ピーマン植物体への吸汁についてはイチゴ及びスイカの場合と同様に確認されたが、被害は生じなかった。

4. 考察

本研究において、ピーマンのアザミウマ類を防除する目的でオオメカメムシの2齢幼虫を植物上に放飼したところ、調査期間を通じて植物上に定着し、アザミウマ類の密度を低く抑制した。特に2～3齢期においてはアザミウマ類の主な生息部位である花や蕾等で多く確認され、旺盛な捕食を観察できた。このことから、作物圃場においても放飼したオオメカメムシは野外や室内実験で観察されている捕食能力を発揮でき、アザミウマ類の生物的防除資材として有効であると考えられた。なお、本試験は室内実験の結果（第3章）からオオメカメムシの活動に好適と考えられる温度条件下で実施され、温度による悪影響はなかったと考えられるが、7月以降オオメカメムシの定着数が減少し、調査終了時に確認できた羽化個体はごくわずかであった。調査期間を通じてアザミウマ類以外に餌となりうる小昆虫が少なく、本種による捕食及び開花数の減少によるアザミウマ類（餌）の不足が定着率低下に影響を及ぼした可能性もあるが、第1節及び第2節に示したイチゴのナミハダニ及びスイカのアブラムシに対する防除効果試験でも同様の傾向が確認されており、原因の究明を要する。

一方、本試験はトリフルミゾール水和剤、*Bacillus subtilis* 水和剤、シフルフェナミド水和剤等の殺菌剤が複数回散布される条件下で実施された。このような環境においてもオオメカメムシは調査期間を通じて植物上に定着しアザミウマ類の密度を抑制したことから、本種を害虫防除に利用する際、病害対策としてこれらの殺菌剤の併用が可能であると考えられた。生産現場でオオメカメムシを用いる際には、多くの場合、殺菌剤だけではなく本種が捕食できない害虫を防除するための殺虫剤の併用が不可欠である。このため、今後オオメカメムシを生物的防除資材として実用化するまでの間に、本種に対する化学合成農薬等の影響について知見を蓄積する必要がある。

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 minutes* (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。

3. 圃場における害虫防除効果

オオメカメムシはヒメオオメカメムシよりも作物への定着性と害虫防除効果が大幅に高く、大量増殖し商品化して利用する場合には、ヒメオオメカメムシよりもオオメカメムシが適していると考えられた。その傾向は低温期のイチゴ、中～高温期のスイカのどちらにおいても同様であり、真夏に行ったピーマンにおける害虫防除効果試験でも、オオメカメムシによる高い害虫防除効果が示された。以上の結果から、本種は防除効果を不安定化させることなく幅広い時期に利用できる生物的防除資材として実用化できることが期待される。既に農薬登録されている天敵には低温短

日条件下で生殖休眠する種が多く、これらは低めの夜温管理が行われる作物では低温期の利用が困難であるため、例えばイチゴでは、春先に増加するアザミウマ類の防除に利用できる有効な天敵の登録が待ち望まれている。オオメカメムシも短日条件下で休眠することが明らかとなっているが（前田ら、未発表；岩井ら、未発表）、本種については3齢幼虫を大量放飼することにより主に放飼世代が発揮する害虫防除効果を狙う方法での実用化が予定されており、想定されている利用方法の範囲では低温期の生殖休眠は考慮する必要がない。また、オオメカメムシはミカンキイロアザミウマに対する捕食能力が高いことも明らかになってい

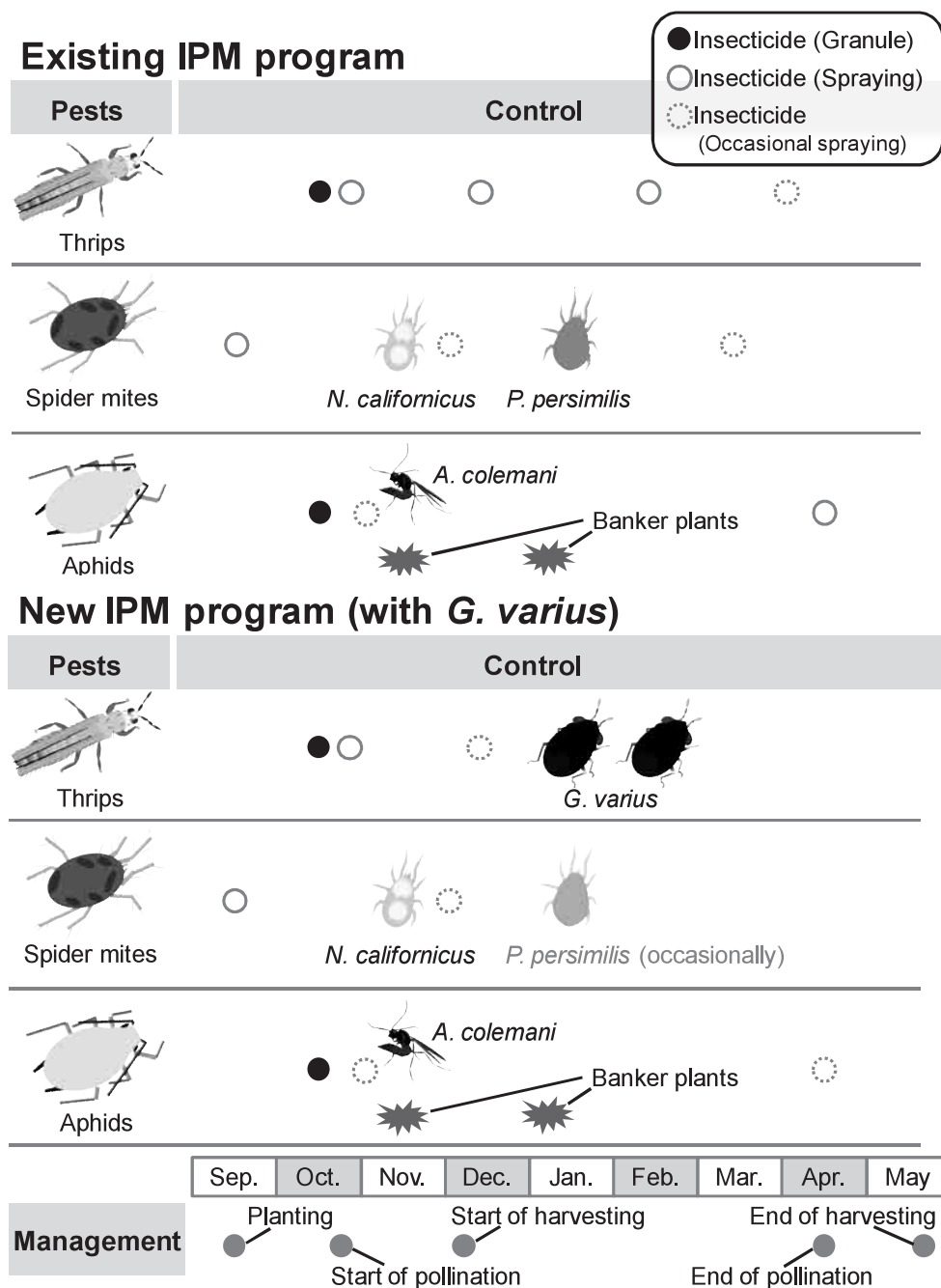


Fig. 6-1. Existing IPM program (upper) and new one with *G. varius* (lower) for the forced culture of strawberry in greenhouses.

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、捕食選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のみ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に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) 天敵農薬利用の現状と問題点. 日本農薬学会誌 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 *Piocris 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. 島根農試研報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. 島根農試研報 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.
- 鷺谷いづみ (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 gallers 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る。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る。

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る。

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る。

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る。

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 $\leq 30^\circ\text{C}$, 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.

編集委員長	伊東靖之
編集委員	三平東作
	日坂弘行
	加藤修
	加藤正弘
	八槿敦
	大井田寛
	深見正信
	鈴木健司
	植松清次
	吉田俊郎
	古川雅文
	岩澤勝巳
編集委員会事務局	小川勝
	砂盛恵理子

千葉県農林総合研究センター特別報告 第4号

平成25年3月31日発行

発行所 千葉県農林総合研究センター

場 所 〒266-0006

千葉県緑区大膳野町808番地

電 話 (043) 291-0151 (代表)

印 刷 三陽メディア株式会社

住 所 〒260-0824

千葉県中央区浜野町1397番地

電 話 (043) 266-8437

