

アブラムシ類の捕食性天敵シヨクガタマバエの生態と利用

矢野 栄二・西川 翔子・山根 雅史

(近畿大学農学部農業生産科学科昆虫生態制御学研究室)

Biology of the aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza*, and its use for biological control

Eizi YANO, Shoko NISHIKAWA, Masafumi YAMANE

Entomological Laboratory, Department of Agricultural Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kinki University

Synopsis

Aphidoletes aphidimyza (Rondani), an aphidophagous species of Cecidomyiidae, is widely distributed in the world. Larvae of this species feed on a wide variety of aphids, at least 80 species having been known as hosts. In many countries, *A. aphidimyza* has been used extensively as a biological control agent against aphids, particularly in greenhouses, and has been proved effective. An exotic strain of this species has been commercialized to control aphids in protected culture since 1998 in Japan. Use of this strain has not been very successful, possibly because of maladaptation to environmental conditions in Japan or improper use of the strain. Study of the natural distribution of *A. aphidimyza* in Japan, prior to commercialization of its exotic strain, revealed that this species is distributed commonly in Japan. Use of domestic strains, which are well adapted to both the physical and biological environments in Japan, is recommended to avoid environmental risk by use of the exotic strain. The biology and use for biological control of European strains of *A. aphidimyza* have been studied and published by many authors. It is worthy to review these studies for the development of biological control using domestic strains of *A. aphidimyza* in Japan. In this review, the biology of *A. aphidimyza*, i.e., the taxonomy, morphology, development, oviposition, predation, mating and interspecific interactions with other natural enemies, will be described. Then, mass production and storage of this species, its use for biological control in greenhouses and its role in the regulation of aphids in orchards will be discussed as practical information.

Key words: *Aphidoletes aphidimyza*, aphid, biological control, biology

1. 緒 言

現在、世界各国で施設栽培の野菜・花きの害虫防除に多くの天敵昆虫類が利用されている²⁴⁾。シヨクガタマバエ *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) も、施設栽培のアブラムシ類に対する有望な生物的防除資材として世界各地で利用されており、その効果が認められている⁴⁰⁾。わが国においても1995年以降、外来系統のシヨクガタマバエを含む16種の天敵昆虫が農薬登録され、害虫防除資材として実用化している³⁹⁾。アブラムシ類の防除資材としてはコレマンアブラバチ

Aphidius colemani Viereck など外来天敵昆虫の利用が先行していたが、近年、わが国においても国内系統のシヨクガタマバエを利用したアブラムシ類防除の機運が高まっている。国内系統は外来系統に比べ、より環境リスクが少なくわが国の気候に適応していると考えられる。

ヨーロッパ系統のシヨクガタマバエの生態特性については、発育、増殖能力、捕食能力、休眠、餌探索行動、配偶行動など多岐にわたる研究が行われている。また大量増殖方法、貯蔵法、温室内の放飼による効果判定試験など害虫防除への利用についても多くの報告がある。わが国の系統につ

いて、まだほとんど生態的特性は解明されていないが、本種が北半球に広く分布する種である事を考慮すれば、ヨーロッパの系統とは同種ではあるがかなり異なる特性を保持していると予想される。それにともない利用技術も異なるものになる可能性がある。そこで本種国内系統の実用化に向けて、その基礎となる知見として、ヨーロッパ系統に関する生態特性と利用技術に関する研究成果を中心に、これまでの知見をとりまとめて総説として報告したい。

2. 分類・分布・形態

1) 分類・分布

双翅目タマバエ科 Cecidomyiidae には、植物の葉や茎に虫えいを形成する植食性の種が多く含まれ、害虫として知られる種も存在するが、アブラムシ、カイガラムシ、コナジラミ、ハダニなどを捕食する種も含まれている¹⁷⁾。アブラムシを捕食する種としては、*Aphidoletes* 属に4種、*Monobremia* 属に1種が知られている¹⁸⁾。そのうちショクガタマバエは最も普通に見られる種であり、北米、ヨーロッパ、日本などを含む世界各国に広く分布する。本種はアブラムシ類以外は捕食しないが、モモアカアブラムシ *Myzus persicae* (Sulzer)、ワタアブラムシ *Aphis gossypii* Glover など重要害虫を含む80種ものアブラムシ類が寄主として記録されている^{18, 55)}。わが国在来のショクガタマバエは沖縄を除く全国から確認されており、19種のアブラムシが寄主として記録されている⁵⁵⁾。わが国の国内11系統とオランダから輸入されている系統について、ミトコンドリア COI 領域の塩基配列を比較して分子系統解析を行った結果、オランダ系統は国内系統とは異なるクレイドに属していた。また、日本国内でも北海道や鹿児島県の系統は他地域の系統に比べ、塩基配列がわずかに異なっていた⁴⁶⁾。

2) 形態

成虫の体長は2.5mm程度で体型は細長く脚が長い。雄の触角は雌に比べて長く、後方に湾曲しており、各節には長い感覚毛が存在する^{33, 40)}。卵は長径0.3mm、短径0.1mmの楕円体で輝くようなオレンジ色である。1齢幼虫は体長0.3mm程度の楕円体で透き通ったオレンジ色をしてい

る。終齢の3齢幼虫になると体長が2.0～3.0mm程度になる¹⁹⁾。やや細長い、両端が細くなった体型である。十分に成熟した幼虫は地面に落下し、地中でまゆを作って蛹化する。まゆは楕円形で長径が約2.0mm、蛹の体長は1.4mm、体幅は0.5mmである³³⁾。

3. ショクガタマバエの生態

1) 発育・生存・産卵・増殖

ショクガタマバエの発育に対する温度や湿度の影響は、本種の室内飼育や本種による温室内でのアブラムシの防除のために必要な知見である。ショクガタマバエが成虫になるまでに要する時間は、主に温度によって決定づけられている²⁰⁾。

Havelka²⁰⁾の研究では、卵期、幼虫期、蛹期、卵から成虫になるまでの発育限界温度は、それぞれ10.1、4.3、5.7、6.2℃で、有効積算温度はそれぞれ、25.0、110.9、154.1、280.2日度であった。しかし、本種の発育については、ヨーロッパの地域個体群間に差があることがわかっている^{22, 23)}。たとえば、Havelka と Zemek²²⁾によると、17、20、25℃の各温度での成虫までの平均発育期間は、チェスケーブディヨヴィッツ（チェコ）の個体群で、それぞれ42.2、21.0、17.0日、チェルチツェ（チェコ）の個体群で、45.0、21.0、16.5日、ブラハ（チェコ）の個体群で、34.3、19.5、14.0日、レニングラード（現在はロシアのサンクトペテルブルグ）の個体群で、26.0、20.4、15.0日であった。各温度での、成虫までの発育期間での死亡率はチェスケーブディヨヴィッツの個体群で、それぞれ62.3、29.9、61.2%、チェルチツェの個体群で、67.1、14.1、41.0%、ブラハの個体群で、35.7、19.5、41.7%、レニングラードの個体群で、47.1、40.1、27.9%であった。生涯産卵数の100%の卵を産むのに、チェスケーブディヨヴィッツの個体群は12.4日、チェルチツェの個体群は11.8日、ブラハの個体群は9.9日、レニングラードの個体群は11.0日を要した。100%の卵を産むのに要する日数はほぼ雌成虫の寿命に相当すると考えられる。総産卵数は110～146個であり、地域間差はなかった。雌成虫の寿命は約1週間、総産卵数は約70個との報告もある⁴⁸⁾。

飲み水の供給源を置いておくと、卵生産が多くなる。Gilkeson¹³⁾の研究では、1雌当たり平均

154.5 個の卵を産む個体群に飲み水を供給すると、平均 248.6 個の卵を産んだ。なお、卵のふ化率と成虫の寿命は飲み水を与えない場合と差はなかった。

Havelka と Zemek²³⁾ の研究では、個体数増加率の指標である内的自然増加率の値は個体群の地理的系統に左右された。バイオベスト社から製品として販売されている個体群、チェルチツェ、サンクトペテルブルグ、ズノイモ（チェコ）、ブラチスラバ（スロバキア）他 4 地域系統の個体群の内的自然増加率を比較すると、緯度との間に相関はないものの、個体群間の相違は統計的に有意であった。

発育・生存・産卵・増殖の知見はシヨクガタマバエの飼育スケジュールや温室内での発生予測に役立つ知見であり、本種の飼育法や本種を利用したアブラムシ類の防除技術の確立の基礎となる。

2) 産卵行動

シヨクガタマバエの雌成虫は、夜間にアブラムシの存在する植物の葉裏に産卵する。特にアブラムシのコロニー内に好んで産卵する^{8, 29, 33)}。

シヨクガタマバエは夜間に 95% の卵を産むが、完全に暗いところでは活動せず、植物の葉を見つけられないのでほとんど産卵しない。大多数のシヨクガタマバエは薄暗い場所に産卵することを好む³⁵⁾。また、芽キャベツを使った実験では、大部分の卵が地面から近い葉裏に産みつけられた。照度と重力に対する反応の組み合わせで、シヨクガタマバエは葉裏に産卵するのを好む。アブラムシは多くの場合、葉裏にコロニーを形成するので、これはアブラムシの特性にうまく適応していると考えられる³⁵⁾。

雌成虫には、植物種、植物の品種、植物上のアブラムシの存在の有無、人工物と植物の違いを識別する能力がある³⁵⁾。シヨクガタマバエの卵とふ化したばかりの幼虫は、ギルド内捕食と飢餓に弱いので、このような非常に発達した識別能力は卵および幼虫の生存と発育にとって重要である。産卵場所の選択にも、ギルド内捕食（IGP、6）他の天敵種との関係参照）の程度と、ふ化幼虫の飢餓の可能性が影響している²⁹⁾。また、雌成虫はアブラムシが排泄する甘露を手がかりにアブラムシの存在を認識しており、甘露の匂いで誘引される⁸⁾。産卵行動はアブラムシおよび甘露の存在に

より刺激されるが³⁵⁾、寄主植物にも影響される。いくつかの植物種が存在する場合、幼虫期を過ごした植物種を選好して産卵する³⁴⁾。Mansour³⁵⁾によると、産卵場所選択は、嗅覚刺激と視覚刺激に影響される。また、シヨクガタマバエの幼虫は産卵抑制フェロモンを出しており、3 齢幼虫がすでに存在しているコロニーでは、そうでないコロニーに比べ産卵数が少なくなる⁴⁵⁾。

シヨクガタマバエの産卵にはアブラムシそのものやアブラムシの甘露由来の種々の嗅覚刺激と視覚刺激、光の強さが関係しており、本種の産卵にはこれらの条件を整える必要があると考えられる。

3) 餌探索・捕食行動

シヨクガタマバエが捕食者として働く発育ステージは幼虫であり、どの齢の幼虫も捕食能力がある。

シヨクガタマバエの幼虫 1 頭が蛹まで発育するためには、モモアカアブラムシの小型若虫 7 頭が必要であるという報告がある⁴⁸⁾。過剰のモモアカアブラムシを与えると、多数の個体をただ殺すだけで捕食しない。より大きなアブラムシが多いほど、より多くのアブラムシが殺されるだけで捕食されない⁴⁸⁾。

幼虫はふ化後すぐにアブラムシの探索を開始し、生存のため 2、3 時間以内にアブラムシを発見する必要があるとされる。ふ化幼虫は餌なしで平均 63mm 移動でき、2.7mm² の範囲のアブラムシを認識できると推定された⁵³⁾。ふ化幼虫がアブラムシを発見できる確率はアブラムシの密度と分布に依存している⁵²⁾。またふ化幼虫は 3mm の距離からアブラムシを認識できる。幼虫は主として嗅覚刺激により餌を発見しているが、アブラムシと同じ大きさの砂粒に反応することから、視覚刺激も関与していると考えられている⁵⁴⁾。

シヨクガタマバエの幼虫は、口器でアブラムシ類の脚の節間部を刺し、唾液腺から毒液を注入して麻痺させた後、胸部を刺す。アブラムシは毒液が注入された後、2 分以内に麻痺し、10 分以内に体組織が溶解する。シヨクガタマバエの幼虫はその体液を摂取する³⁶⁾。フィンランドでの研究では、シヨクガタマバエの幼虫の唾液はヒアルロン酸分解酵素とグルタミン酸を含んでいることがわかった。前者は多くの動物で発見されている毒素

であり、後者は麻痺効果に関与している可能性がある³³⁾。

シヨクガタマバエによるダイコンアブラムシ *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) に対する捕食の研究では、シヨクガタマバエはアブラムシの齢に対する選好性はなく、捕食率はアブラムシ密度に比例していた⁴³⁾。

シヨクガタマバエの幼虫は捕食量そのものは少ないが、アブラムシを捕食せずに殺すだけの行動を示し、移動能力が低いので、生物農薬として使用するには適した捕食者である。また安いコストでの大量生産が可能と考えられる。

4) 繁殖・配偶行動

性比は雄1に対し雌1.7³³⁾、または雌比が69%⁵⁰⁾と報告されており雌がやや多い。

成虫は夜間に交尾する。深夜から午前2時まで羽化し、その後雌雄ともクモの巣に飛来してクモの糸に前脚でぶら下がる。処女雌は腹部末端を突き出して性フェロモンを発散する。それに誘引された雄は翅をはばたかせながら雌に接近し、体が正面から向き合った体勢で腹部末端を接近させ雌の生殖器を把握する。交尾時間は2、3分である。交尾はクモの巣以外では植物の葉の縁やワタの繊維上でも観察されている。雌は1回交尾すると性フェロモンの発散を停止し、二度と交尾しないが、雄は複数回交尾できる。雌は交尾しない場合、数日にわたってフェロモンを発散し続ける^{49, 50)}。雌の腹部末端の性フェロモン分泌腺の構造も記載されている⁵⁰⁾。雌の性フェロモンの構造はGC-EAD分析によって(2R,7S)-diacetoxytridecaneと同定され、この構造を持つ合成化合物が、Y字管を用いた選択試験や温室内でのトラップ試験で、雄に対して誘引効果をもつことが示された⁷⁾。

シヨクガタマバエの交尾率を高くすることは、効率的な生産には必須であり、クモの糸のような交尾場所の確保は必要であると考えられる。また性比の偏りをどのように調整するかについては今後の研究課題である。

5) 休 眠

シヨクガタマバエはまゆの中で幼虫の状態のまま休眠する。フィンランドではシヨクガタマバエは9月に休眠に入り、そして春に蛹化して5月の

中ごろに羽化する³³⁾。休眠誘起条件は低温短日条件であり、休眠するか否かを決定する感受期は、終齢幼虫時とまゆの中での幼虫時である²¹⁾。シヨクガタマバエのヨーロッパ産のレニングラード(北緯60度)系統、ゴーリキー(北緯56度、現在はロシアのニジニノヴゴロド)系統、キシネブ(北緯47度、現在はモルドバのキシニョフ)系統は20℃短日条件において休眠が誘起され、臨界日長はそれぞれ17時間、16.2時間、15.5時間日長であった^{21, 22)}。休眠した個体を完全暗期状態の4℃で一定期間保存し、24℃、18時間日長にすると休眠覚醒が起こる。最も休眠覚醒に適した4℃の保存期間は40日であった。また休眠の深さは休眠誘起時の日長と温度に依存していた²¹⁾。

休眠個体は長く保存することができ、生存率も高いので本種の長期保存に活用が期待できると考えられる。その場合の休眠覚醒の方法は今後の研究課題である。

6) 他の天敵種との関係

アブラムシ類はシヨクガタマバエ以外の種々の天敵に攻撃されるが、天敵種間にも相互作用が起こる。特に一つの生息場所に存在する1種のアブラムシを攻撃する天敵種間の捕食はギルド内捕食(IGP)と呼ばれ、よく研究されている。

シヨクガタマバエは他種の捕食性天敵とのギルド内捕食において常に劣勢種である。テントウムシの一種 *Coleomegilla maculata lengi* Timberlake およびクサカゲロウの一種 *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) とのギルド内捕食において、シヨクガタマバエ幼虫は他の2種の幼虫や成虫に一方的に捕食されるが、相手の捕食者が若齢幼虫の場合は、餌としてチューリップヒゲナガアブラムシ *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) が存在すると捕食の程度が緩和される²⁸⁾。ヒラタアブの一種 *Episyrphus balteatus* (DeGeer) とのギルド内捕食においても、シヨクガタマバエ幼虫はヒラタアブ幼虫に一方的に捕食されるが、やはりエンドウヒゲナガアブラムシ *Acyrtosiphon pisum* (Harris) が存在するとギルド内捕食は緩和される²⁵⁾。ヒメハナカメムシの一種である *Orius majusculus* (Reuter) は、ギルド内捕食で餌のワタアブラムシが存在しても大量のシヨクガタマバエの卵を捕食する⁹⁾。シヨクガタマバエの卵は、ククメリスカブリダニ *Neoseiulus*

cucumeris (Oudemans) やデジェネランスカブリダニ *Amblyseius degenerans* Berlese を飼育ケージ内に同居させると、3 日以内に 20 ~ 40% 捕食された⁵¹⁾。シヨクガタマバエはアブラムシの寄生蜂に対してはギルド内捕食で優勢種であり、コレマンアブラバチに寄生されているがまだマミー化していない個体を捕食することが報告されている¹¹⁾。

最近北米に侵入して土着の天敵に大きな影響を与えたとされるナミテントウ *Harmonia axyridis* (Pallas) が、土着のシヨクガタマバエに与える影響が研究されている。バージニアのリンゴ園ではナミテントウの侵入後シヨクガタマバエの密度の減少は認められなかった⁴⁾。またナミテントウはともにダイズアブラムシ *Aphis glycines* Matsumura の天敵であるシヨクガタマバエとヒメクサカゲロウ *Chrysoperla carnea* (Stephens) を捕食するが、それによりダイズアブラムシに対する天敵相全体の防除効果が低下することはなかった¹²⁾。シヨクガタマバエの幼虫は、アブラムシのコロニー内に隠れて捕食しているが、この習性にはクサカゲロウの一種 *C. rufilabris* による攻撃から身を守る効果があることが示された³⁰⁾。

ギルド内捕食ではないが、土壤に生息する甲虫類の防除に利用される昆虫寄生性線虫 *Steinernema carpocapsae* (Weiser) および *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar によりシヨクガタマバエの蛹の死亡率の上昇がもたらされたことが報告されている⁴¹⁾。

生物的防除においてシヨクガタマバエを他の天敵種と併用する場合、他の天敵種との関係を考慮しなければならない。併用するとギルド内捕食が起こる可能性は高いが、1 種使用より害虫防除効果が低下するとは限らない。併用による相乗効果の方がギルド内捕食の負の影響より大きいこともあると考えられる。

4. シヨクガタマバエの利用

1) 大量増殖

シヨクガタマバエの室内大量増殖には、寄主植物としてナスやピーマン、寄主のアブラムシはモモアカアブラムシが良いとされる。その理由は、ナスやピーマンはアブラムシによる加害に対して許容度が高く、モモアカアブラムシも増殖率が高

いからである³¹⁾。シヨクガタマバエを放飼する際、蛹の状態ですぐに温室に持ち込む方法が良いとされており、蛹の大量増殖を目標とするのが妥当と考えられる³²⁾。大量増殖法としては温室内で飼育する方法と室内で飼育する方法がある。

温室内で飼育する方法では、1 番目の温室では最適な条件下で *Capsicum* 属のピーマンやトウガラシを約 30cm の高さになるまで育てる。2 番目の温室で、これらの植物を利用してモモアカアブラムシを育てる。3 番目の温室でシヨクガタマバエを育てる。モモアカアブラムシのついた苗を 1 m² 当たり 6 苗の密度で植えて、適量のシヨクガタマバエの蛹を均一に放飼する。シヨクガタマバエの 1 世代は 20℃ で約 3 週間であり、3 週間後に最も幼虫密度が高くなる。3、4 週間後にシヨクガタマバエの幼虫の大半が土に落下するので植物を更新する。その際、他種のアブラムシの天敵や二次寄生者は除去する。温室内での大量飼育のため、遮光し、灌水等により湿度を高く保つ。気温は約 20℃ にし、地中温度は 10℃ 以上に管理するとともに土壤湿度も保つ⁴⁴⁾。

室内で飼育する方法では、寄主植物のピーマンとナスは 2 週間間隔で播種して、いつでもモモアカアブラムシの飼育に適した大きさの苗が得られるようにする。20cm ~ 30cm の高さに植物が育った時、3 苗を 32 × 32 × 60cm の大きさのケージに収納する。それぞれの苗にはモモアカアブラムシを 50 頭ずつ接種する。1 苗当たりのモモアカアブラムシが 2000 頭に増えたら、ケージ当たり 70 頭の雌と 30 頭の雄のシヨクガタマバエの成虫を放飼する。2 日間成虫に産卵させその後除去すると、約 3000 個の卵が得られる。幼虫が終齢になったら、葉を切り離し蛹化のための容器に入れる。容器は高さ 9cm、直径 16cm のプラスチック容器である。容器の底には湿らせた細かい砂を 4cm の深さに敷き詰める。砂はナイロンガーゼで上から覆い、その上に別の砂の層を蛹化のため敷く。蛹の放飼には蛹を含む上部の砂の層を利用する。容器はナイロンガーゼで覆いプラスチックシートで固定する。通常一つの容器に 200 頭の蛹を収納する。この方法はシヨクガタマバエの工業的な生産に利用できる簡単な方法である³¹⁾。

これら二つの飼育法の主要な相違点はシヨクガタマバエの飼育規模である。飼育するための環境条件を保つのは、前者の方法だとやや困難である

う。

シヨクガタマバエの蛹化および保存に使用するための資材として砂、パーライト、バーミキュライト、ピートモスが比較され、羽化率はピートモスが最も高かった⁴⁴⁾。ピートモスは軽くて湿度も保てる。また、シヨクガタマバエは十分な湿度条件（ほぼ100%の湿度）でないと無事に羽化することが出来ないで、ピートモスを湿らせるなどして、多湿条件にする事が望ましい。この方法を使うと非休眠個体でも自由に持ち運ぶことができる⁴⁴⁾。

寄主植物としてピーマンやナス、寄主としてモモアカアブラムシを利用したシヨクガタマバエの飼育法はほぼ確立されているが、ナス科の植物は成長が遅い欠点があり、モモアカアブラムシより飼育の簡便な寄主が利用できる可能性もある。これに関連してバンカー植物を利用する場合は、シヨクガタマバエがよく増殖できるが害虫にはならない代替寄主の利用が必要となる。

2) 保 存

シヨクガタマバエの保存にはまゆの中の幼虫のステージが適している。その場合、非休眠個体を保存する方法と休眠個体を保存する方法がある。短期間の保存には非休眠個体の保存が可能で4℃で2ヶ月保存すれば死亡率は約50%にとどまる²¹⁾。非休眠個体は3℃で0～60日間とくと、生存率が98%から31%へと下がっていく²⁷⁾。非休眠個体の保存は、高温に戻すと比較的すみやかにまた齊一に羽化するという利点がある。

一方、チェコにおける試験では、休眠個体を4℃暗黒条件下で4ヶ月保存すると生存率は74%であり、20℃、12時間日長条件下では6ヶ月保存すると生存率は72%であった²¹⁾。チェコにおける最近の試験では、3℃暗黒条件で7ヶ月保存しても50%以上の生存率であった²⁷⁾。休眠は低温保存開始後120日で覚醒したが、成虫羽化にはさらに22℃、12時間日長で31日を要した。また大多数の成虫の羽化期間が21日にまたがった²⁷⁾。カナダでの試験では5℃で8ヶ月間保存して90%以上の生存率であった¹⁵⁾。大量飼育の場合と同様に、休眠個体でも非休眠個体でも湿度100%で保存すると成虫の羽化率が最も高くなる²¹⁾。また一定期間休眠状態で保存中の幼虫を湿度10%以下の乾燥状態においた試験では、3日以上乾

燥状態で生存率が大きく低下した²⁷⁾。

保存には長期保存しても生存率が高く、羽化が齊一になるのが理想であるが、休眠を利用して保存した後、羽化を齊一化する技術開発がこれからの課題であろう。

3) 施設栽培におけるアブラムシ類防除のための利用法

シヨクガタマバエは、施設栽培のアブラムシ類に対する生物的防除資材として世界各地で利用されている⁴⁰⁾。シヨクガタマバエは寄主範囲が広いため、モモアカアブラムシ、ワタアブラムシ、チューリップヒゲナガアブラムシなど多くの重要種の防除に利用できる^{6, 10, 32, 37)}。

ナス科作物の害虫とならないマメのヒゲナガアブラムシの一種をソラマメに着生させたものをバンカー植物として利用する試みも成功している¹⁶⁾。シヨクガタマバエはアブラバチ類と併用されることが多く、カナダにおける試験では、アブラバチ *Aphidius matricariae* Haliday との同時放飼により、ピーマンのモモアカアブラムシの防除に成功した¹⁴⁾。イギリスではムギをバンカー植物、ムギクビレアブラムシをアブラバチ類 (*A. matricariae* およびコレマンアブラバチ) とシヨクガタマバエ双方の代替寄主として利用する技術が開発された^{2, 3)}。本種の放飼は、温室栽培のレタスのヒゲナガアブラムシ類の防除にはあまり有効ではなかった⁴²⁾。

わが国では外来系統のシヨクガタマバエのボトル製剤が、施設栽培野菜類のアブラムシ類に対し利用できる。ボトル中の蛹を1m²当たり2頭の密度で、株元やマルチ上に緩衝材のバーミキュライトとともに、発生初期から1、2週間間隔で連続して放飼する³⁹⁾。キュウリのワタアブラムシに対する放飼試験では、効果の発現にはやや時間がかかるが、ある程度の効果は示した²⁶⁾。

シヨクガタマバエを利用する際の留意点は、乾燥に弱いことと、蛹で放飼するため、捕食能力を発揮する幼虫に発育するまでに、成虫の羽化、交尾、産卵、次世代幼虫のふ化・発育という段階を踏まなければならないことである。そのため効果の発現に日数を要する上に、これらの段階のどれかで死亡したり交尾や産卵をしないと定着に失敗する。コレマンアブラバチと同様にアブラムシ類が初期発生の段階から放飼しなければならない³³⁾。

短日で休眠に入ると増殖しないが、人工照明で休眠を打破することができる^{6, 21)}。高温の方がより効果が高い。長所としては、発育を完了するのにそれほど多数のアブラムシ個体を必要としないので、捕食者としては生産コストが比較的安いことと、定着性が高いため次世代以後の効果も利用できることである³²⁾。

シヨクガタマバエの幼虫はある程度の個体数が発生すれば、かなり高密度のアブラムシを抑制する能力がある。しかし難点は、蛹で放飼してから防除効果を発揮する幼虫に発育するまである程度の日数を要するため、効果の発現が遅れ、効果そのものも不安定になることである。この欠点を克服するため、バンカー植物を利用した本種の放飼技術の開発が期待される。

4) 野外におけるシヨクガタマバエの役割

カナダ東部やアメリカ合衆国の北東部のリンゴ園では、*Aphis pomi* DeGeer やユキヤナギアブラムシ *Aphis spiraeicola* Patch がアブラムシ類の主要害虫であるが、シヨクガタマバエは最も普通に見られるそれらの捕食性天敵である^{1, 47)}。マサチューセッツ州では、シヨクガタマバエはリンゴ園で越冬するが、6月ころから発生し真夏に発生のピークとなる¹⁾。西バージニア州のリンゴ園では、ユキヤナギアブラムシの密度の高い果樹園ほどシヨクガタマバエの発生密度は高くなった⁵⁾。野外ケージを利用して、種々の比率で *A. pomi* とシヨクガタマバエを放飼した試験結果に基き、土着のシヨクガタマバエによりリンゴ園の *A. pomi* の被害を抑制するためには、15頭のアブラムシに対し、1頭以上のシヨクガタマバエ幼虫が必要であると推定されている¹⁾。この放飼比率はシミュレーションモデルを用いて再評価され、シヨクガタマバエの能力が過小評価されていることがわかった³⁸⁾。

5. 結 論

シヨクガタマバエはアブラムシを餌とする他の捕食性天敵と比べ、産卵、捕食行動に特徴がある。成虫はアブラムシのコロニーに産卵し、ふ化した幼虫はアブラムシのコロニーを消滅させるほどの防除効果を示す。これには捕食だけでなく、殺すだけで捕食しない行動も関連しているものと

思われる。また幼虫は移動能力が低く、ふ化したコロニーからほとんど移動せずに摂食を継続することも関連している。これらの習性からシヨクガタマバエは高密度のアブラムシの防除にも利用できる捕食性天敵であると考えられる。一方、シヨクガタマバエの発育を完了するために必要なアブラムシ数はそれほど多くないため、生産コストは安くなる。また蛹を生産する飼育方法も比較的簡単に室内飼育技術も確立されており、幼虫休眠を利用した貯蔵技術の開発も期待できる。

以上から、移動分散し易く生産コストの高い他種のアブラムシの天敵と比べ、シヨクガタマバエは生物農薬として多くの利点をもつ。しかし難点は、蛹で放飼してから効果を発揮する幼虫に発育するまである程度の日数を要するため、効果の発現が遅れ効果そのものも不安定になることである。本種の実用化を目指す上での重要な研究課題は、大量増殖や利用技術開発の基礎となる発育、産卵、捕食などに関する基礎研究に加えて、本種の温室内での定着を容易にさせるためのバンカー植物法の開発であると結論できる。

6. 謝 辞

本稿を作成するに当たり、貴重なご意見をいただいた独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センター綾部研究拠点環境保全型野菜研究チーム安部順一朗博士に深謝する。

引用文献

- 1) Adams RG, Prokopy RJ (1980) *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) : an effective predator of the apple aphid (Homoptera: Aphididae) in Massachusetts. *Protection Ecology*, 2: 27-39.
- 2) Bennison JA (1992) Biological control of aphids on cucumbers: use of open rearing systems or “banker plants” to aid establishment of *Aphidius matricariae* and *Aphidoletes aphidimyza*. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent, 57/2b: 457-466.
- 3) Bennison JA, Corless SP (1993) Biological

- control of aphids on cucumbers: further development of open rearing units or "banker plants" to aid establishment of aphid natural enemies. IOBC/WPRS Bulletin, 16 (2): 5-8.
- 4) Brown MW (2003) Intraguild responses of aphid predators on apple to the invasion of an exotic species, *Harmonia axyridis*. Biocontrol, 48: 141-153.
 - 5) Brown MW (2004) Role of aphid predator guild in controlling spirea aphid populations on apple in West Virginia, USA. Biological Control, 29: 189-198.
 - 6) Chambers RJ (1990) The use of *Aphidoletes aphidimyza* for aphid control under glass. IOBC/WPRS Bulletin, 13 (5): 51-54.
 - 7) Choi MY, Khaskin GK, Gries R, Gries G, Roitberg BD, Raworth DA, Kim DH, Benett RG (2004) (2R,7S) -diacetoxydecane: sex pheromone of the aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza*. Journal of Chemical Ecology, 30: 659-670.
 - 8) Choi MY, Roitberg BD, Shani A, Raworth DA, Lee GH (2004) Olfactory response by the aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* to honeydew from green peach aphid, *Myzus persicae*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 111: 37-45.
 - 9) Christensen RK, Enkegaard A, Brødsgaard HF (2002) Intraspecific interactions among the predators *Orius majusculus* and *Aphidoletes aphidimyza*. IOBC/WPRS Bulletin, 25 (1): 57-60
 - 10) El-Titi A (1974) Auswirkung von der raeuberrischen Gallmuke *Aphidoletes*. Zeitschrift für angewandte Entomologie, 76: 406-417.
 - 11) Enkegaard A, Christensen RK, Brødsgaard HF (2005) Interspecific interactions among the aphid parasitoid *Aphidius colemani* and the aphidophagous gallmidge *Aphidoletes aphidimyza*. IOBC/WPRS Bulletin, 28 (1): 83-86
 - 12) Gardiner MM, Landis DA (2007) Impact of intraguild predation by adult *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) on *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) biological control in cage studies. Biological Control, 40: 386-395.
 - 13) Gilkeson LA (1987) A note on fecundity of the aphid predator *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae). Canadian Entomologist, 119: 1145.
 - 14) Gilkeson LA (1990) Biological control of aphids in greenhouse sweet peppers and tomatoes. IOBC/WPRS Bulletin, 13 (5): 64-70.
 - 15) Gilkeson LA (1990) Low-temperature storage of the predatory midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). Journal of Economic Entomology, 83: 965-970.
 - 16) Hansen LS (1983) Introduction of *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) (Diptera: Cecidomyiidae) from an open rearing unit for the control of aphids in glasshouses. IOBC/WPRS Bulletin, 6 (3): 146-150.
 - 17) Harris KM (1968) A systematic revision and biological review of the cecidomyiid predators (Diptera: Cecidomyiidae) on world Coccoidea (Hemiptera: Homoptera). Transactions of the Royal Entomological Society of London, 119: 401-494.
 - 18) Harris KM (1973) Aphidophagous Cecidomyiidae (Diptera) : taxonomy, biology and assessments of field populations. Bulletin of Entomological Research, 63: 305-325.
 - 19) Harris KM (2004) Specialist and generalist cecidomyiid predators on aphids, mites, scale insects and other invertebrates. Entomologica, Bari, 38: 29-40.
 - 20) Havelka J (1980) Effect of temperature on the developmental rate of preimaginal stages of *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera, Cecidomyiidae). Entomologia Experimentalis et Applicata, 27: 83-90.
 - 21) Havelka J (1980) Some aspects of photoperiodism of the aphidophagous gallmidge *Aphidoletes aphidimyza* Rond.

- IOBC/WPRS Bulletin, 3 (3): 75-81.
- 22) Havelka J, Zemek R (1988) Intraspecific variability of aphidophagous gall midge *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Dipt., Cecidomyiidae) and its importance for biological control of aphids. 1. Ecological and morphological characteristics of populations. Journal of Applied Entomology, 105: 280-288.
 - 23) Havelka J, Zemek R (1999) Life table parameters and oviposition dynamics of various populations of the predacious gall-midge *Aphidoletes aphidimyza*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 91: 481-484.
 - 24) Heinz KM, van Driesche RG, Parrella MP (2004) Biocontrol in Protected Culture. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA, 552pp.
 - 25) Hindayana D, Meyhöfer R, Scholz D, Poehling HM (2001) Intraguild predation among the hoverfly *Episyrphus balteatus* de Geer (Diptera: Syrphidae) and other aphidophagous predators. Biological Control, 20: 236-246.
 - 26) 柏尾具俊 (1996) キュウリのワタアブラムシに対するシヨクガタマバエの制御効果、九州農業研究、58: 98.
 - 27) Kostal V, Havelka J (2001) Low-temperature storage of larvae and synchronization of adult emergence in the predatory midge *Aphidoletes aphidimyza*. Cryobiology, 42: 112-120.
 - 28) Lucas E, Coderre D, Brodeur J (1998) Intraguild predation among aphid predators: characterization and influence of extraguild prey density. Ecology, 79: 1084-1092.
 - 29) Lucas E, Brodeur J (1999) Oviposition site selection by the predatory midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). Environmental Entomology, 28: 622-627.
 - 30) Lucas E, Brodeur J (2001) A fox in sheep's clothing: furtive predators benefit from the communal defense of their prey. Ecology, 82: 3246-3250.
 - 31) Makkula M, Tittanen K (1976) A method for mass rearing of *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.). IOBC/WPRS Bulletin, 4: 183-184.
 - 32) Makkula M, Tittanen K (1977) Use of the predatory midge *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) (Diptera, Cecidomyiidae) against aphids in glasshouse cultures. Proc. Symp. XV Int. Congr. Ent. Wash. D.C. USDA ARS ARS-NE-85: 41-44.
 - 33) Makkula M, Tittanen K (1985) Biology of the midge *Aphidoletes* and its potential for biological control. In Biological Pest Control: The Glasshouse Experience, ed. by Hussey, NW, Scopes N, Blandford Press, Poole, UK, pp.74-81.
 - 34) Mansour MH (1975) The role of plants as a factor affecting oviposition by *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). Entomologia Experimentalis et Applicata, 18: 173-179.
 - 35) Mansour MH (1976) Some factors influencing egg laying and site of oviposition by *Aphidoletes aphidimyza* (Dipt.: Cecidomyiidae). Entomophaga, 21: 281-288.
 - 36) Mayr L (1975) Untersuchungen zur Funktion der Speicheldrüsen räuberischer Gallmückenlarven (*Aphidoletes aphidimyza* Rond.). Zeitschrift für angewandte Entomologie, 77: 270-273.
 - 37) Meadow RH, Kelly WC, Shelton AM (1985) Evaluation of *Aphidoletes aphidimyza* (Dip.: Cecidomyiidae) for control of *Myzus persicae* (Hom.: Aphididae) in greenhouse and field experiments in the United States. Entomophaga, 30: 385-392.
 - 38) Morse JG, Croft BA (1987) Biological control of *Aphis pomi* (Hom.: Aphididae) of *Aphidoletes aphidimyza* (Dip.: Cecidomyiidae) : a predator-prey model. Entomophaga, 32: 339-356.
 - 39) 日本植物防疫協会 (2006) 生物農薬+フェロモンハンドブック、日本植物防疫協会、東京、367pp.
 - 40) Nijveldt W (1988) Cecidomyiidae. In Aphids – their biology, natural enemies and control. Vol.2B ed. by Minks AK, Harrewijn P, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.

- 271-277.
- 41) Powell JR, Webster JM (2004) Interguild antagonism between biological controls: impact of entomopathogenic nematode application on an aphid predator, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Biological Control*, 30: 110-118.
 - 42) Quentin U, Hommes M, Basedow Th (1995) Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von Blättaußen (Hom., Aphididae) an Kopfsalat im Unterglasanbau. *Journal of Applied Entomology*, 119: 227-232.
 - 43) Raworth DA (1984) Population dynamics of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) at Vancouver, British Columbia IV. Predation by *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Canadian Entomologist*, 116: 889-893.
 - 44) Rimpiläinen M (1980) Developing a mass-production method of *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) suitable for commercial production. *IOBC/WPRS Bulletin*, 3 (3): 209-212.
 - 45) Růžicka Z, Havelka J (1998) Effects of oviposition-detering pheromone and allomones on *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *European Journal of Entomology*, 95: 211-216.
 - 46) Shirota Y, Iituka K, Asano J, Abe J, Yukawa J (1999) Intraspecific variations of mitochondrial cytochrome oxidase I sequence in an aphidophagous species, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Entomological Science*, 2: 209-215.
 - 47) Stewart H, Walde SJ (1997) The dynamics of *Aphis pomi* De Geer (Homoptera: Aphididae) and its predator, *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae), on apple in Nova Scotia. *Canadian Entomologist*, 129: 627-636.
 - 48) Uygün N (1971) Der Einfluß der Nahrungsmenge auf Fruchtbarkeit und Lebensdauer von *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) (Diptera: Itonididae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 69: 234-258.
 - 49) Van Lenteren JC, Schettino M (2003) Kinky sex and suicidal mating behaviour in *Aphidoletes aphidimyza*. *Entomologische Berichten*, 63:143-146.
 - 50) Van Lenteren JC, Schettino M, Isidoro N, Romani R, van Schelt J (2002) Morphology of putative female sex pheromone glands and mating behaviour in *Aphidoletes aphidimyza*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102: 199-209.
 - 51) Van Schelt J, Mulder S (2000) Improved methods of testing and release of *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) for aphid control in glasshouses. *European Journal of Entomology*, 97: 511-515.
 - 52) Wilbert VH (1972) Der Einfluß der Beutedichte auf die Sterblichkeit der Larven von *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) (Cecidomyiidae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 70: 347-352.
 - 53) Wilbert VH (1973) Zur Suchfähigkeit der Eilarven von *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) . *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 16: 514-524.
 - 54) Wilbert VH (1974) Die Wahrnehmung von Beute durch die Eilarven von *Aphidoletes aphidimyza* (Cecidomyiidae). *Entomophaga*, 19: 173-181.
 - 55) Yukawa J, Yamaguchi D, Mizota K, Setokuchi O (1998) Distribution and host range of an aphidophagous species of Cecidomyiidae, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera), in Japan. *Applied Entomology and Zoology*, 33: 185-193.