

Development of a Practical Banker Plant System for Aphid Control in Commercial Greenhouse Crops in Japan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): banker plant system, aphid control, <i>Aphidius colemani</i>, commercial greenhouse crops 作成者: 長坂, 幸吉, 高橋, 尚之, 岡林, 俊宏, 安部, 順一郎, 大矢, 慎吾 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001550

中央農業総合研究センター研究報告 第15号（平成22年11月）別刷

Reprinted from BULLETIN OF THE NATIONAL AGRICULTURAL
RESEARCH CENTER No.15 (November,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

Development of a Practical Banker Plant System for Aphid Control in Commercial Greenhouse Crops in Japan

長坂幸吉・高橋尚之・岡林俊宏・安部順一郎・大矢慎吾

Koukichi NAGASAKA, Naoyuki TAKAHASHI, Toshihiro OKABAYASHI ,
Junichiro ABE and Singo OHYA

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
茨城県つくば市

NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
NATIONAL AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH ORGANIZATION
Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan

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

長坂幸吉*・高橋尚之*²・岡林俊宏*³・安部順一郎*⁴・大矢慎吾*⁵

目 次

I. 緒言	1	1. 材料と方法	12
1. はじめに	1	2. 結果および考察	14
2. バンカー法の研究史概略とバンカー法の 定義	2	IV. 促成栽培産地におけるバンカー法現地実証 試験	21
3. 果菜類促成栽培施設でのアブラムシ対策 としてのバンカー法	4	1. 材料と方法	21
4. 普及技術とするための検討方向	5	2. 結果および考察	23
II. 室内実験等によるバンカー法の実行可能性 の検討	6	V. 総合考察	32
1. 材料と方法	6	謝辞	33
2. 結果および考察	8	摘要	33
III. 実験圃場におけるバンカー法の実行可能性 の検討	12	引用文献	34
		Summary	39
		参考資料	47

I. 緒 言

1. はじめに

総合的害虫管理 (IPM) は、「あらゆる適切な技術を相互に矛盾しない形で使用し、経済的被害を生じるレベル以下に害虫個体群を減少させ、かつ低いレベルに維持するための害虫個体群管理システム」として定義されている (FAO⁽⁵⁾, 中筋⁽²⁴⁾). そして、各作物上には害虫が複数種存在するため、それら全てを含む害虫管理システムが必要と認識されている (深谷・桐谷⁽⁶⁾, 宮井⁽¹⁵⁾). 日本の施設園芸においては、重要害虫における薬剤抵抗性発達等の問題を経験し、化学的防除手段を基幹とした IPM では限界のあることがわかってきた。こうしたことから、1995年に最初天敵製剤が農薬登録されて以来、施設園芸での天敵利用は増加し、近年では天敵利用が IPM の基幹技術として重要な位置にある (矢野⁽⁵⁴⁾).

施設栽培において天敵を活用する場合、通常は接

種的放飼 (inoculative release) が行われる。これは害虫の発生を確認した後に天敵を放飼する方法である。しかし、天敵の接種的放飼による害虫防除では、天敵を放飼するタイミングが難しい。タイミングが早いと餌となる害虫が不足して天敵の定着が悪い結果となる。逆に、タイミングが遅いと害虫が増えてから天敵が導入されることとなり、天敵が害虫密度の増加を抑制できず、被害がでてしまう。適切な放飼タイミングを知るためには、害虫密度のモニタリングが必要であるが、これも大変労力のかかることである。そして、実際に生産者が天敵利用に成功するまでには、このタイミングを体得するための数年間の試行錯誤が必要となってしまう。十分な観察力をつけ、害虫と天敵の数のバランスがわかるようになるまで、ある程度の被害を「我慢する」ことが大切だとさえ言われている。

平成 22 年 1 月 27 日受付 平成 22 年 5 月 11 日受理

* 中央農業総合研究センター, *2 高知県農業技術センター, *3 高知県農業振興部環境農業推進課, *4 近畿中国四国農業研究センター,

*5 四国農業試験場^{注1}

注1 現在、新潟県上越市

接種的放飼法における困難さの一因には、施設内での天敵の餌が害虫に限られていることがあげられる。自然生態系のように害にはならない別の昆虫がいて、それを餌にすることができれば、多少のタイミングの不適切さを補うことができるのかもしれない。さらに進んで、害虫以外の代わりの餌を用いて天敵を長期継続的に供給するシステム（open rearing system）を施設内に導入することができれば、この問題が解決できるだろう。これがバンカー法（banker plant system）の基本原理である。

バンカー法の代表的なものは、アブラムシ類対策としてムギ類にムギクビレアブラムシ *Rhopalosiphum padi* (L.) を着生させ、コレマンアブラバチ *Aphidius colemani* Viereck あるいはショクガタマバエ *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) を維持する方法で、ヨーロッパで研究され、普及している（Walters and Hardwick⁽⁵¹⁾）。日本においては、矢野⁽⁵³⁾あるいは村井⁽¹⁶⁾、根本⁽²⁶⁾によってこの方法が紹介された。

1999年度から研究プロジェクト「環境負荷低減のための病虫害群高度管理技術の開発」（IPM プロジェクト、1999～2003年度）が開始され、この中で筆者らはバンカー法技術を検討してきた。目的は、日本の栽培環境においてヨーロッパと同様の防除手段を活用できるようにすることであった。四国農業試験場（現在、近畿中国四国農業研究センター・四国研究センター）での基礎試験を経て、2002年園芸年度^{注2}（2001年9月からの作で、2002年に収穫盛期をむかえるもの）から高知県安芸市の促成栽培野菜産地においてこの技術の現地実証試験を実施した。当時この地域のナス、ピーマンなどの施設においては、最重要害虫アザミウマ類への対策として天敵タイリクヒメハナカメムシ *Orius strigicollis* (Poppius) の利用を進めていた。しかし、この天敵の定着にアブラムシ防除薬剤が悪影響を及ぼすため、アブラムシ類についても天敵を用いて安定的に防除する必要に迫られていた。そこで、産地ぐるみでこのバンカー法に取り組むことにより、実際上の問題点の特定と解決を迅速に進め、現地試験が即、普及につながったという点で、害虫防除の研究としては

特異的な事例である。この過程で明らかにしてきたことを記録することが本稿の目的である。

なお、一連の研究においては技術普及を優先し、その時々で主要な成果を技術普及向け商業雑誌等で紹介してきた。これらに未発表のデータを付け加え、学術的な解析・考察を行った上で、まとめ直したのが本稿である。この研究は、中央農業総合研究センターが主査となったIPMプロジェクトの予算で四国農業試験場および近畿中国四国農業研究センター総合研究第4チーム（当時、野菜部（現在、綾部研究拠点）駐在）にて実施した。また、IPMプロジェクト終了後2年間にわたり、近畿中国四国農業研究センターから調査と技術普及のための財政的支援を受けた。

2. バンカー法の研究史概略とバンカー法の定義

本稿でバンカー法と呼んでいるのは、矢野⁽⁵⁴⁾において施設栽培における天敵の放飼増強法の一つとして「バンカー植物法」としているものである。以下、用語の問題も含めて、バンカー法の研究史を概観する。なお、本項の内容は長坂・大矢⁽¹⁸⁾を改変したものである。

バンカー植物法は、害虫の発生前から天敵を継続的に供給するために、害虫に天敵が十分寄生した状態の植物を施設に導入する方法として開発された（van Lenteren and Woets⁽⁴⁸⁾）。たとえば、施設トマトでのオンシツコナジラミ（*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)）対策として、あらかじめ別の温室でトマトにオンシツコナジラミを発生させ、そこにオンシツツヤコバチ（*Encarsia formosa* Gahan）を十分寄生（寄生率80%以上）させて、本圃場に持ち込むものである（Stacey⁽³⁸⁾）。ここでは、天敵を十分寄生させた害虫が定着している植物（天敵＋害虫＋作物）を、バンカー植物（banker plants）と呼んだ。十分な防除効果が認められたものの、圃場に害虫を持ち込むことが生産者に敬遠されるので、天敵だけが通過できるメッシュで被覆する方法も検討されたという（Hoddle et al.⁽¹⁰⁾）。

害虫を圃場に持ち込むことなく、害虫発生前から

注2 高知県園芸農業協同組合連合会が用いている9月1日から始まる年度

十分量の天敵を継続的に放飼するために、Hansen⁽⁹⁾はピーマン生育初期から、ピーマンを加害しないソラマメヒゲナガアブラムシ (*Megoura viciae* (Buckton) (原著のまま)) を着生させたソラマメとともにショクガタマバエを放飼する方法を用いて、1000 m²の施設で長期間にわたりモモアカアブラムシ (*Myzus persicae* (Sulzer)) の密度を抑制した。次年度作においては、ソラマメヒゲナガアブラムシ付きのソラマメを用意すれば、休眠あけのショクガタマバエが定着し、モモアカアブラムシの防除に役立つことを示した。そして、代替寄主のソラマメヒゲナガアブラムシがソラマメ上で適度な密度で継続的に存在するように管理することが大切だと指摘している。ここでは、害虫とはならない餌アブラムシで天敵を養い、継続的に天敵を放飼するためのセット (天敵 + 害虫ではない代替餌 + 植物) を開放型飼育ユニット (open rearing units) と呼んだ。Bennison⁽²⁾は、キュウリのワタアブラムシ (*Aphis gossypii* Glover) 対策として、6通りの方法を温室試験 (135m²) で比較し、ムギクビレアブラムシを定着させたコムギとともにアブラバチ *Aphidius matricariae* Haliday とショクガタマバエを放飼した実験区で良い成績を得た。ここで Bennison はバンカー植物 (= 開放型飼育ユニット) を害虫の発生以前に確立しておくことが要点であると指摘している。また、Bennison and Corless⁽³⁾では、キュウリのワタアブラムシ対策として、ムギクビレアブラムシを定着させたコムギあるいはオオムギを、コレマンアブラバチおよびショクガタマバエの放飼とともに、害虫侵入前から導入する方法を、実際の生産施設 (2500 ~ 4000 m²) において検討した。ここではバンカー植物の設置数 (育苗箱単位) を変えつつ (キュウリ 100, 200, 1000 株あたり 1 カ所)、その効果を通常の接種的放飼および農薬による防除と比較し、このバンカー植物法 (banker plant technique) の実用性を検討した。この方法が現在ヨーロッパをはじめとする世界各国で利用されているバンカー植物法の原型である。

一方、アブラムシ以外でも、施設内のレタスに発生するアシグロハモグリバエ (*Liriomyza huidobrensis* (Blanchard)) 対策として、ハモグリバエの 1 種 *Phytomyza caulinaris* Hering に寄生させたラナンキュラスを用いて天敵ハモグリコマユバチ (*Dacnusa sibirica* Telenga) あるいはイサエアヒメコ

バチ (*Diglyphus isaea* (Walker)) を維持する方法が有効だとし、IPM 技術に組み込む検討がなされた (van der Linden⁽⁴⁵⁾)。ここでは、天敵の代替寄主 (alternative host) とその寄主植物 (alternative host plants) のセットにより天敵を維持・増殖するシステムを開放型飼育システム (open rearing system) と呼んだ。

これら十分な防除効果が期待できるとする方法は、以下の条件を満たしている。第一に、栽培施設において、バンカー植物と代替寄主 (餌)、天敵放飼をセットで利用することである (図 1)。そして、害虫の発生前、あるいは作物の生育初期から 3 者の関係を維持することにより、施設内に十分量の天敵を継続的に供給する役割を待つものである。また、バンカー植物には保護対象とする作物とは共通の病害虫を極力持たない種類を選び、代替餌には保護対象とする作物の害虫とはならないものが利用されている (矢野⁽⁵⁴⁾のバンカー植物法 2)。なお、上記の例を含め、ヨーロッパでは施設内の地植えで植物を利用するのではなく、ポットやプランターで栽培して利用するのが共通認識とのことである (矢野、私信)。

代替寄主を用いず、植物の花粉や蜜などを餌として天敵を維持増殖し、連続的に放飼する場合にもバンカー植物法とされる。例えば、Ramakers and Voet⁽³³⁾は、デジェネランスカブリダニ (*Amblyseius degenerans* Berlese) をトウゴマ (*Ricinus communis* L.) の花粉で大量増殖できることから、ピーマンのアザミウマ対策として、このトウゴマをバンカー植物としてカブリダニの開放型飼育システムを維持する方法を試み、このバンカー植物からカブリダニが作物

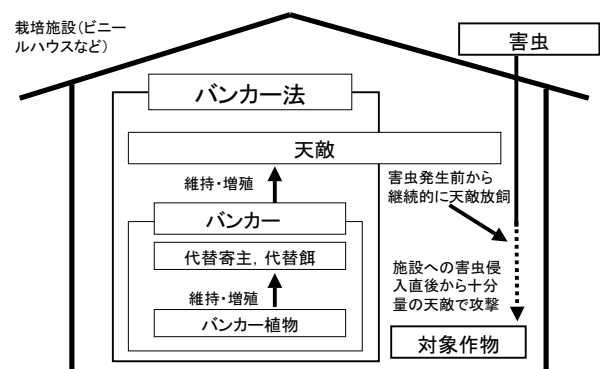


図 1 施設への天敵放飼法としてのバンカー法
(長坂・大矢⁽¹⁸⁾ 改変)

に分散していくことを確認した。

以上見てきたように、植物+代替餌（寄主）+天敵のセットを用いて害虫発生前から継続的に天敵を放飼するためのシステムはバンカーシステム（banker plant system=open rearing system）と呼ばれる（van Lenteren⁽⁴⁷⁾, Hoddle et al.⁽¹⁰⁾, Yano⁽⁵⁵⁾）。また、こうしたバンカーシステムの中で用いられる植物は、代替寄主や天敵が定着している状態の植物においても、その植物自体を指す場合にもバンカー植物（banker plant）と呼ばれている。

日本語でバンカー植物、あるいはバンカープランツと聞いた場合には「植物」のことだと思ひ浮かべがちである。そして、植物さえ植えておけばそこに天敵が住み着いてくれるというイメージが先行する。露地での障壁+天敵涵養植物として、ソルゴーをナスの畑の周りに栽培して害虫防除に役立てる方法「ソルゴー巻き」が京都府（小宅⁽³²⁾）などで普及し、一般向け技術普及雑誌でバンカープランツとしてとりあげられている現状ではなおさらである。しかし、前述のように、バンカー植物法は施設での利用を前提としているので、露地で植物を植えるだけの場合にバンカー植物、あるいはバンカープランツと呼ぶのは誤りである。

施設内での天敵放飼法としてのバンカーシステムを、バンカー植物法とかバンカープラント法と言って生産者に説明すると、植物を使って天敵を管理することは理解しても、「代替寄主」を管理するということまでは理解されにくかった。「植物」や「プラント」のイメージが強く働いたためと思われる。しかし、バンカー植物法においては代替寄主の管理こそが重要なのである（Hansen⁽⁹⁾）。

この「植物」の語感からくる誤解をなくすために、単純に「バンカー法」と呼ぶことにした。バンカー法は、天敵のバンカー（banker=銀行家）を利用する防除法であり、その天敵銀行には餌となる昆虫とその昆虫を養う植物が必要であると説明するほうが生産者に理解されやすかった。そして、現在では、高知県でアブラムシ対策としてこの方法に取り組んだ経験を持つ生産者は200戸を超えており、「バンカー法」という言葉も定着している。農研機構のNAROPEDIAでも「バンカー法」として扱われている。以上から、本報告においては、これ以降も、施設栽培におけるバンカーシステムによる天敵放飼法

あるいは害虫防除法を、「バンカー法」と呼ぶことにする（図1）。これは矢野⁽⁵⁴⁾の天敵放飼法の分類の中では、「バンカー植物法2」にあたる。そして、天敵を維持増殖するための「代替餌を定着させた植物」については「バンカー」（banker）と呼ぶことで、その植物自身（代替餌のついていない状態のバンカー植物）との区別を明確にしておく。

一方、露地条件で植物を活用する害虫防除法として、コンパニオンプラント、グランドカバープラント、リフュージなどが研究されている（大野⁽²⁸⁾）。これらでは、それぞれの目的に応じた植物を植栽したのち、自然に天敵が定着してくれることを期待する。しかし、施設の場合には、代替寄主も天敵も自然には侵入しにくい。多くの場合、害虫が侵入し増加した後に、天敵が侵入してくるので、被害が生じてしまう結果となる。従って、被害を許容範囲内に収めるためには、天敵を人為的に導入する必要がある。バンカー法では天敵および代替寄主を人為的に導入するところが、植生管理による天敵強化法と大きく異なる点である（大野⁽²⁸⁾）。そして、バンカー法（バンカー植物法）はもともと天敵を継続的に放飼するために開発された方法なのである（矢野⁽⁵⁴⁾）。

3. 果菜類促成栽培施設でのアブラムシ対策としてのバンカー法

施設栽培の中でもナス、ピーマンなどの促成栽培は作期が長く、アブラムシ類が大きな問題となる。ナスやピーマンに発生する4種のアブラムシ、ワタアブラムシ（*Aphis gossypii* Glover）、モモアカアブラムシ（*Myzus persicae* (Sulzer)）、ジャガイモヒゲナガアブラムシ（*Aulacorthum solani* (Kaltenbach)）、チューリップヒゲナガアブラムシ（*Macrosiphum euphorbiae* (Thomas)）の中で、特にワタアブラムシとモモアカアブラムシは増殖力が高いため重要である。これら2種を防除対象とする場合には、先にバンカー法の研究史であげた Bennison and Corless⁽³⁾の方法が有効である。天敵としてコレマンアブラバチを用い、その代替寄主（alternative host）としてムギクビレアブラムシ、その寄主植物（=バンカー植物）としてコムギあるいはオオムギを用いる方法である（図2）。

本研究を始めた1999年当時、日本ではワタアブラムシ、モモアカアブラムシに対する天敵製剤とし

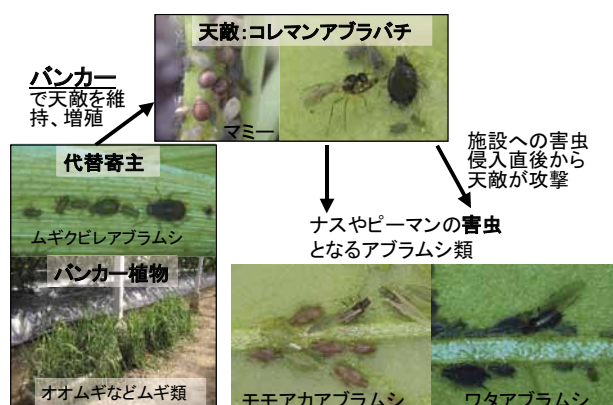


図2 ナス・ピーマンなどのアブラムシ対策としてのバンカー法（長坂⁽²²⁾ 改変）

ナス・ピーマンなどの施設野菜で問題となるモモアカアブラムシ、ワタアブラムシ対策として、天敵コレマンアブラバチを用いたバンカー法の仕組み。

て、捕食寄生者ではコレマンアブラバチ (*Aphidius colemani* (Viereck), 1998 年登録), 捕食者ではシヨクガタマバエ (*Aphidoletes aphidimyza* (Rondani), 1998 年) が市販されており, その後, ヤマトクサカゲロウ (*Chrysoperla carnea* (Stephens), 2001 年) やナミテントウ (*Harmonia axyridis* (Pallas), 2002 年) も加わった。バンカー法では害虫侵入初期の低密度期から天敵が効率的に働くことを期待する。また, 促成栽培を考えた場合, 晩秋から早春にかけての低温期にも活動できることが必要である。こうした点では, コレマンアブラバチは低密度の害虫に対しても探索効率が良いとされ, 活動適温は 15 ~ 30℃ (根本⁽²⁶⁾), 発育零点も 5℃ (大矢・長坂⁽³¹⁾) と低く, 休眠性はない (高田⁽⁴²⁾, 大矢・長坂⁽³¹⁾) ので, バンカー法で利用する天敵として適していると考えられる。一方, 他の捕食者には休眠性があり, 低温期には不活発とされる。例えば低密度のアブラムシへはシヨクガタマバエにもある程度期待できる。しかし, この種には休眠性があり, 冬期には利用できないと考えられている (根本⁽²⁵⁾)。また, 生産者にとって, 大きな生産施設内でシヨクガタマバエが捕食する現場を認知するのは難しいが, コレマンアブラバチが寄生して形成されたマミーを確認するのは容易である。以上から, バンカー法の第一歩としてコレマンアブラバチを用いた方法を試みることにした。

コレマンアブラバチの代替寄主としては、イネ科植物に寄生するムギクビレアブラムシ (*Rhopalosiphum padi* (L.)) やトウモロコシアブラムシ

シ (*R. maidis* (Fitch)) があげられる (Elliott et al.⁽⁴⁾, Takada⁽⁴¹⁾). 1999 年 3 月に四国農業試験場 (当時) のハダカムギにてムギクビレアブラムシを採集した。このムギクビレアブラムシは冬期に増殖していたものであり、寄主転換なしにムギ類で継代飼育が可能であった。また、実際にコレマンアブラバチも寄生可能であったので、代替寄主として利用することにした。このムギクビレアブラムシの寄主植物としては、オオムギ、コムギなどムギ類が利用可能である。

4. 普及技術とするための検討方向

先に述べたように、バンカー法はイギリス、オランダなどヨーロッパを中心にして開発が進められ、普及技術として生産現場で利用されている (Walters and Hardwick⁽⁵¹⁾). 本研究の目的は、それを日本の栽培環境で利用できるようにすることである。しかし、施設でのワタアブラムシ防除の必要性から開発されたこの技術に関しては、現場での利用が先行し、学術的な報告は僅かであった (Frank⁽⁷⁾; 例えば, van Steenis⁽⁵⁰⁾). コレマンアブラバチの特性の報告自体も 2000 年以前は僅かしかなかった (例えば, van Steenis⁽⁴⁹⁾). 日本の生産現場への導入にあたっては、ヨーロッパとは異なる状況を勘案し、日本の栽培環境に対応した基本情報を収集することとした。そして、生産者にバンカー法の効果を理解できる証拠を提示できるようにした上で、現地実証試験を実施した。

この研究を開始した四国地域では、高知県（IPMプロジェクトでの共同研究機関）がナス、ピーマンの促成栽培の代表的生産地である。ここで実施されている IPM 技術にバンカー法を組み込むことができるように、室内実験から実験圃場レベルでの検討を行った（後述のⅡ章、Ⅲ章）。

また、バンカー法技術について実験圃場で研究者が実施する場合と、実際の野菜生産施設で生産者が実施する場合では、状況が異なる。研究者は研究対象としたアブラムシ防除に主眼を置くが、生産者は圃場全体で経営的に成り立つように総合的な判断の下で防除を実施する。また、生産者は様々な作業をこなしており、その合間にどれだけ防除に労力を割くことができるかを考慮して、現実的に即した方法を検討していく必要がある。その際、極力大勢の人に

参加してもらうことで、実際上の問題点を迅速に把握することができ、また、その解決法も成功事例の中から得られると考えられる。そこで、現地実証試

験では、十分な事例を集められるよう、多くの生産者の皆さんにご協力いただいた（後述のIV章）。

II. 室内実験等によるバンカー法の実行可能性の検討

コレマンアブラバチについては、室内条件における増殖、寄主適合性、および分類（例えば、それぞれ van Steenis⁽⁴⁹⁾, Elliott et al.⁽⁴⁾, Takada⁽⁴¹⁾）についての知見が報告されている。しかし、日本の秋期～春期の加温施設で利用することを念頭においた場合には、実験室～実験温室レベルで確認すべきことが残されている。ヨーロッパでは春期から夏期の利用であり、温度管理のされた大規模ガラス温室では20℃前後で安定しているという（矢野⁽⁵⁴⁾）。そして、日本でのコレマンアブラバチの技術資料（根本⁽²⁶⁾）にも春から秋の作型での利用が勧められていた。そこで、一つには、比較的低温の条件でのコレマンアブラバチの活動性を確認しておく必要がある。また、バンカー法では天敵の代替寄主が常に存在するよう管理するので、もしも代替寄主が非常に好適な場合には、もっぱら代替寄主に寄生して、害虫には寄生しないという不都合が生じる可能性がある。この疑念を払拭するため、害虫であるワタアブラムシと代替寄主であるムギクビレアブラムシへの選好性を調べておく必要がある。さらに、害虫の増殖を抑えるための放飼数の目安を得るためには、放飼比率を変えて、アブラムシの増殖、アブラバチの次世代数を調査しておくことも必要である。そして、実際の圃場でのバンカー設置数は、コレマンアブラバチの分散範囲と関わってくる。これらについて調査した結果について以下に述べる。

1. 材料と方法

1) コレマンアブラバチとムギクビレアブラムシ、ワタアブラムシ

コレマンアブラバチはアブラムシに寄生する体長1.5mm程度の単寄生蜂で、インド、中央アジア、アフリカ、南アメリカ、オーストラリアに分布する（Starý⁽³⁹⁾）。寄主範囲にはワタアブラムシ、モモアカアブラムシ、マメアブラムシをはじめとする65種が記録されている（Takada⁽⁴¹⁾）。一方、ジャガイモヒゲナガアブラムシとチューリップヒゲナガアブ

ラムシには寄生しないことがわかっている。生活史概略は以下の通りである。アブラバチ雌成虫は産卵管でアブラムシ体内に卵を産み込む。卵から孵化した幼虫は、アブラムシの体を内側から摂食し、成長する。アブラムシの体内を全て食い尽くし、蛹となる。この時点でアブラムシは殺されており、表皮のみを残して膨張した形になっている。これがマミー（mummy）と呼ばれる状態である。このマミーから成虫が羽化する。なお、1頭のアブラムシからは1頭のアブラバチしか羽化しない。

実験に用いたアブラバチは、必要分を逐次購入した（おもに商品名「トモノアブラバチAC」）。この系統について、予備的にムギクビレアブラムシを用いて飼育温度と発育速度の関係を調査したところ、15℃から25℃の間では温度に対して直線的に発育速度が増加し（ $y=0.00455x-0.213$, $r^2=0.994$ ）、卵から成虫羽化までの発育零点は4.7℃、有効積算温度は220日度と推定された（大矢・長坂⁽³¹⁾、長坂⁽¹⁷⁾）。また、短日条件（8L:16D）と長日条件（16L:8D）の発育日数を20℃で比較したところ、違いは見られなかった。したがって、この系統には休眠性は無いと判断できる（大矢・長坂⁽³¹⁾、長坂⁽¹⁷⁾）。

コレマンアブラバチの発育については、発育零点5.9℃、有効積算温度200日度という報告もあり（Sampaio et al.⁽³⁵⁾）、他のアブラバチ類では発育零点は1.1～7.9℃であるとのこと（高田⁽⁴²⁾）からも、予備実験で得た数値は妥当と言える。コレマンアブラバチに休眠性が認められないことは、高田⁽⁴²⁾でも指摘されている。また、ギフアブラバチ（Ohta and Ohtaishi⁽³⁰⁾）など他のアブラバチ類でも明確な休眠性を持たないことが知られている。

コレマンアブラバチの生涯産卵数および内的自然増加率については、van Steenis⁽⁵⁰⁾が報告している。ワタアブラムシを寄主とした場合には20℃で302卵、25℃で388卵を産卵するとし、発育期間は20℃で12.7日、25℃で10日であり、内的自然増加率は20℃で0.352、25℃で0.438と算出され、キュ

ウリ上のワタアブラムシにおける内的自然増加率に匹敵するほどの高さとの見解が示された。

ムギクビレアブラムシ (*Rhopalosiphum padi* (L.)) の無翅胎生雌虫は体長約 2mm で、胸腹部は暗緑色、腹部後方は赤色を帯びている (宗林⁽³⁷⁾)。一次寄主はバラ科サクラ属で、特にウワミズザクラ類がよく知られている。二次寄主はイネ科植物であり、特にムギ類で大発生する。暖地では、ムギ類上で胎生雌虫または幼虫で越冬する。日本全国に普通に分布する種である。

実験に用いたムギクビレアブラムシの系統は、1999 年 3 月に無加温ハウス内でハダカムギに自然発生していたコロニーを採集し、25℃ 16L:8D で累代飼育したものである。この系統について、予備的に短日条件での世代交代を調査したところ、15℃ 8L:16D の条件でも、寄主転換することなく、そのまま増殖した。

また、予備調査でムギクビレアブラムシの増殖に用いる代替寄主植物として、4つのムギ類でムギクビレアブラムシの増殖を比較したところ、コムギ、オオムギ、エンバク、ライムギの順でよく増殖した (長坂⁽¹⁷⁾)。そこで、実験にはコムギを用いることとした。

実験に用いたワタアブラムシは 1999 年に四国農業試験場の実験圃場に栽培したナス上で採集し、25℃ 16L:8D で継代飼育したものである。

2) 低温条件でのコレマンアブラバチの増殖

比較的低温の条件でのアブラバチの増殖能力を明らかにするために、育苗ポット植えのナスに定着させた十分量のワタアブラムシとコムギに定着させた十分量のムギクビレアブラムシに対し 15、20℃ の温度条件でアブラバチ成虫を放飼し、その後形成されたマミーを全て計数した。ワタアブラムシを寄主とした場合にはウンカ飼育ケージ (30 × 25 × 28cm) を用い、交尾済みのアブラバチ 3 雌を放飼した。データは 1 雌あたりのマミー数を用いて集計した。ムギクビレアブラムシを寄主とした場合には縦 23cm、直径 8cm の透明塩ビ製円筒を用い、交尾済みのアブラバチ 1 雌を放飼した。

広い空間における秋期のアブラバチの増殖を確認するため、作物を栽培しない 0.5 a ハウスでコムギに定着させたムギクビレアブラムシ (約 2000 頭 ×

2 ポット) にアブラバチ 40 頭 (うち雌成虫は 25 あるいは 30) を放飼した。1 週間後に網掛け (約 0.15mm 目合い) をして、そのままハウス内に置いて、新たに羽化してきた成虫数を調査した。性比を知るために 600 頭以上について雌雄を判別した。なお、この調査を行った 11 月の無加温ハウス内における平均気温は 16.5℃ であった (図 6)。

3) ワタアブラムシとムギクビレアブラムシに対するコレマンアブラバチの選好性

ワタアブラムシとムギクビレアブラムシに対するアブラバチの選好性を調べるために、ワタアブラムシを定着させたナスとムギクビレアブラムシを定着させたコムギを並べてケージ (30 × 25 × 28cm) に入れ、コレマンアブラバチ 1 対を放した。初期アブラムシ個体数は 100 : 20 (ワタアブラムシ : ムギクビレアブラムシ)、80 : 40、60 : 60、40 : 80、20 : 100 の 5 種類を設けた。25℃ 16L:8D の条件で飼育し、11 日後にアブラムシ数とマミー数を調査した。なお、アブラムシは増殖中のコロニーから無作為に葉の一部あるいは茎の一部を切り取り、数を調節して苗上に定着させた。これは実際の利用場面と同様に様々な齢期のアブラムシが存在する状況で比較するためである。

また、少し広い空間でのコレマンアブラバチの選好性を知るために、1.2 × 1.6 × 0.7m の網ケージの中で同数のワタアブラムシとムギクビレアブラムシに対してコレマンアブラバチ 6 対を放飼し、その後でできたマミーの数を比較した。育苗ポット植えのナス苗とムギ各 6 ポットを交互に並べ (2 列 × 6 ポット、列幅 60cm、ポット間 22cm)、中央部にアブラバチを放し、13 日後にマミー数を調査した。各アブラムシの総数は 120 (20 頭 / ポット) あるいは 600 (100 頭 / ポット) とした。なお、ガラス室は最低気温が 20℃ となるよう加温した。

4) コレマンアブラバチの放飼数とアブラムシの増殖の関係

アブラムシの増殖を抑えるためのアブラバチの放飼比率を知るために、25℃ 16L:8D の恒温室内にいたケージ (30 × 25 × 28cm) の中でアブラバチの放飼数を変えて、アブラムシの増殖およびマミーの数を調査した。ワタアブラムシ 50 頭に対してア

ブラバチ 0, 1, 3, 9, 27 対の放飼を 6 反復, ムギクビレアブラムシ 50 頭に対してアブラバチ 0, 1, 3, 6, 12 対の放飼を 5 反復行った。ワタアブラムシ 50 頭は増殖中のコロニーから無作為に葉の一部を切り取って, 数を調節し, ナス苗上に定着させた。ムギクビレアブラムシ 50 頭は増殖中のコロニーから中・老齢若虫のみをムギ上にて定着させた。11 日後にアブラムシ数とマミー数を調査した。

5) コレマンアブラバチの移動可能範囲

コレマンアブラバチの分散能力の目安を得るために, ガラス室 (7 × 8m, 開口部は 1mm ネット網戸) 内にムギクビレアブラムシ (平均 160 頭) を定着させたコムギ苗を, 床面と高さ 1.5 m の 2 段で, 縦 6 列横 6 列に 1 m 間隔で計 72 ポット設置した。床面の中心部に羽化直前のマミーが入った製剤ボトルを置き, コレマンアブラバチを放飼した。3 日後にコムギ苗を塩ビ製円筒で覆って回収し, 25℃の恒温室内に置いて, その後形成されたマミーを数えた。

同様の方法でピーマン栽培中のビニールハウス (6 × 17m, 1a) 内に 1.3 m 間隔の畦 5 列に 0.9m 間隔で 15 ポット, 計 75 ポットを地面に置いて, ハウス中央部でコレマンアブラバチを放飼した。3 日後にコムギ苗を回収し, 25℃の恒温室内に置き, その後, 形成されたマミー数を調査した。なお, これらの調査の実施時期は 6 月で, 平均気温は約 26℃であった。

2. 結果および考察

1) 低温条件でのコレマンアブラバチの増殖

秋冬期のハウス内の温度を想定して 15℃でのコレマンアブラバチの寄生成功数 (マミー数) を調査したところ, 十分量のワタアブラムシを与えた場合には 1 雌あたり 287 個, 十分量のムギクビレアブラムシでは 191 個のマミーが形成された (表 1)。20℃でのマミー数よりは有意に少ない (二元配置分散分析, $p=0.0034$) もの, 15℃でも成虫が活動し,

表 1 恒温室ケージ内でのコレマンアブラバチ 1 雌あたりの次世代数

寄主アブラムシ	1 雌あたりマミー数, 平均 ± S.E. (N)	
	15℃	20℃
ワタアブラムシ	286.8 ± 42.8(3)	467.0 ± 58.0(3)
ムギクビレアブラムシ	191.2 ± 17.4(5)	263.0 ± 21.7(5)

アブラムシの種類間, 飼育温度間で有意差が認められる (二元配置分散分析, 種間: $MS=1.768$, $F_{1,12}=199.7$, $p<0.0001$; 温度間: $MS=0.117$, $F_{1,12}=13.2$, $p=0.0034$; 交互作用: $MS=0.005$, $F_{1,12}=0.6$, $p=0.4553$)。

十分多くの次世代を残すことがわかった。

秋期の無加温のハウス (0.5a, 平均気温 16.5℃) 内で十分量のムギクビレアブラムシに産卵させた場合, コレマンアブラバチ 1 雌あたりの次世代羽化数は 47 あるいは 68 であった (表 2)。実験室のケージ内の次世代数よりは減少するものの, 相当数の次世代成虫が羽化した。

以上から, 最低気温が 15℃以上に保たれるピーマンの促成栽培ハウスでもコレマンアブラバチは問題なく活動できると考えられる。また, ナスの促成栽培ハウスでは冬期の夜間はボイラーで 12℃に加温されており, 平均気温は 15℃程度と想定できるので, ここでも利用可能と考えられる。なお, コレマンアブラバチの増殖については, 20℃および 25℃で綿密に調査した報告がある (van Steenis(49)) が, 日本での利用の際に想定される 15℃での増殖の報告はこれまでなかった。

2) ワタアブラムシとムギクビレアブラムシに対するコレマンアブラバチの選好性

ナス苗上のワタアブラムシとコムギ苗上のムギクビレアブラムシが狭い空間内 (床面積 0.075 m²) で同時に存在する場合には, 各アブラムシに形成されたマミー数の比は, 1 つの組み合わせを除き, 初期アブラムシ個体数の比に近い数値を示した (表 3, ワタアブラムシの比率の逆正弦変換値について, 対応のある t - 検定, $p>0.05$)。生き残ったアブラム

表 2 無加温ハウス (0.5a) 内のバンカー上でのコレマンアブラバチの増殖

放飼日	放飼成虫数 (うち雌成虫数)	羽化成虫数	雌 比	1 雌あたり次世代数
10 月 28 日	40 (30)	1404	60.3%	46.8
11 月 10 日	40 (25)	1696	61.6%	67.8

平均気温は 16.5℃。

表3 ワタアブラムシとムギクビレアブラムシの5種類の個体数比における各アブラムシへのコレマンアブラバチの寄生成功率、ならびにアブラムシ生存数

初期アブラムシ数 ワタ：ムギクビレ	アブラバチ 放飼数	11日後のマミー形成数, 平均±S.E. (N)		11日後のアブラムシ生存数, 平均±S.E. (N)	
		ワタアブラムシ上	ムギクビレアブラムシ上	ワタアブラムシ	ムギクビレアブラムシ
20:100	1対	25.0 ± 1.98 (6) *	80.0 ± 6.16 (6)	82.2 ± 25.4 (6)	462.0 ± 78.1 (6)
40:80	1対	32.0 ± 4.80 (6)	100.0 ± 18.49 (6)	66.5 ± 10.7 (6) *	524.5 ± 91.9 (6)
60:60	1対	72.6 ± 14.39 (5)	64.2 ± 4.60 (5)	153.6 ± 59.2 (5)	304.0 ± 119.1 (5)
80:40	1対	70.0 ± 9.44 (5)	31.8 ± 4.08 (5)	110.4 ± 43.7 (6)	236.6 ± 163.4 (5)
100:20	1対	112.5 ± 10.82 (6)	24.7 ± 5.63 (6)	272.7 ± 67.1 (6)	286.7 ± 111.2 (6)

25℃の恒温条件。

* 初期アブラムシ数の比率と有意に異なる（初期全アブラムシ数に対するワタアブラムシ数の比率および全マミー形成数に対するワタアブラムシでのマミー形成数の比率を逆正弦変換後、対応のあるt-検定、 $p<0.05$ ）。

シも、一つの組み合わせを除き、初期の比率と同様であった。つまり、狭い空間内においては、コレマンアブラバチはおおむね個体数の比に応じて各アブラムシに寄生しており、両アブラムシ間で選好性が極端に異なるわけではなかった。

少し広い空間内（床面積約2m²）で同数の両アブラムシが存在する場合には、ワタアブラムシで有意に多くのマミーが形成された（図3、 χ^2 検定、 $p<0.05$ ）。従って、生産施設でバンカー法を実施した場合には、ムギ上のムギクビレアブラムシよりもナス上のワタアブラムシの方が選好されると想定される。

なお、寄主数に制限のない場合にはワタアブラムシの方がムギクビレアブラムシより有意に多くの次世代が生じている（表1、二元配置分散分析、

$p<0.0001$ ）ことから、寄主適合性については、ムギクビレアブラムシよりもワタアブラムシの方が高いことが推察される。実際に、生育期間の生存率についてワタアブラムシやモモアカアブラムシなどを寄主とした場合と比較した研究から、ムギクビレアブラムシの寄主適合性はやや劣ることが報告されている（Ode et al.⁽²⁷⁾）。

しかし、ムギクビレアブラムシが全く不適な寄主というわけではないので、ムギ上でもアブラバチ個体群が維持されることになる。このように見ると、ムギ上のムギクビレアブラムシを代替寄主としたバンカー法は合理的であるといえる。

3) コレマンアブラバチの放飼数とアブラムシの増殖の関係

狭い空間の中で一定の初期個体数（50頭）のアブラムシに対して、アブラバチの放飼数を変えて、11日後の生存アブラムシおよびマミーの数を調査した。ナス上のワタアブラムシ50頭のコロニーに対しては、アブラバチ放飼数の増加に応じて、生き残るアブラムシが減少した（表4、log変換値を用いた一元配置分散分析、 $p<0.0001$ ）。アブラバチ雌成虫3頭でアブラムシ50頭の増加をほぼ阻止し（生存アブラムシ数が初期数の50と同じになる放飼数）、アブラバチ数がさらに増加すれば、アブラムシ数を減少させるという結果であった。

しかし、アブラバチ放飼数の増加に伴って、次世代成虫が羽化してくるマミーの形成数は減少した（表4、log変換値を用いた一元配置分散分析、 $p<0.0001$ ）。例えば、アブラバチ1頭ならば75個の

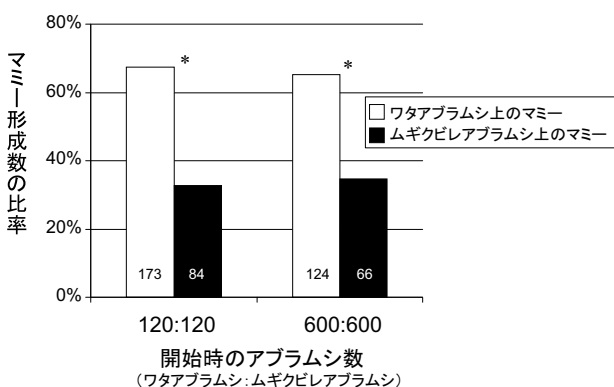


図3 網掛けケージ内での同数の2種アブラムシに対するコレマンアブラバチの選好性

網掛けケージ(1.2×1.6×0.7m)内でナス苗およびムギ苗各6ポットに各アブラムシを定着させ、コレマンアブラバチ6対を放飼。図中の数字はマミー形成数。*1:1と有意に異なる（ χ^2 検定、初期数各120：df=1、 $\chi^2=30.8$ 、 $p<0.0001$ ；初期数各600：df=1、 $\chi^2=17.7$ 、 $p<0.0001$ ）。

表4 一定数のアブラムシに対してコレマンアブラバチ放飼数を変化させたときのアブラムシ生存数とマミー形成数

寄主	実験開始時		11日後の数, 平均 ± S.E.			
	アブラムシ数	アブラバチ雌数	アブラムシ生存数		マミー形成数	
ワタアブラムシ	50	0	1157.4 ± 105.8	a	-	
ワタアブラムシ	50	1	80.2 ± 31.9	b	74.7 ± 31.9	a
ワタアブラムシ	50	3	49.4 ± 12.3	b	42.6 ± 6.6	ab
ワタアブラムシ	50	9	29.2 ± 8.1	bc	24.7 ± 5.5	b
ワタアブラムシ	50	27	12.5 ± 5.3	c	1.7 ± 1.1	c
ムギクビレアブラムシ	50	0	867.2 ± 26.1	A	-	
ムギクビレアブラムシ	50	1	437.0 ± 44.0	A	100.2 ± 7.2	A
ムギクビレアブラムシ	50	3	78.4 ± 12.5	B	40.6 ± 12.5	B
ムギクビレアブラムシ	50	6	67.2 ± 13.3	B	16.2 ± 4.0	B
ムギクビレアブラムシ	50	12	52.0 ± 16.5	B	18.4 ± 4.8	B

25℃の恒温条件。実験反復は、ワタアブラムシを寄主とした場合には6、ムギクビレアブラムシを寄主とした場合には5。

ワタアブラムシ、ムギクビレアブラムシともにアブラバチ雌数が増加するに従って、アブラムシ生存数、マミー形成数ともに有意に減少する (log 変換値を用いた一元配置分散分析、ワタアブラムシ：それぞれ $MS=4.925, F_{4,29}=37.2, p<0.0001$ ； $MS=5.014, F_{4,29}=106.3, p<0.0001$ 、ムギクビレアブラムシ：それぞれ $MS=1.669, F_{4,20}=37.9, p<0.0001$ ； $MS=2.738, F_{4,20}=53.6, p<0.0001$)。

同じアルファベットを付した平均値間に有意差は認められない (log 変換値を用いた一元配置分散分析後、Tukey の HSD 検定、 $p<0.05$)。

マミーが形成されたが、アブラバチ 27 頭ではマミーはわずか 2 個であった。これは、狭い空間内に閉じ込めているためにアブラムシへの攻撃が頻繁になりすぎ、寄主アブラムシが死亡したり、アブラバチ幼虫が育ちきれなかったりと、過密の悪影響が現れたものと考えられる。

同様にムギクビレアブラムシの中・老齢若虫コロニーに対しても、アブラバチの放飼数が増加するに従って、生き残るアブラムシ数は減少し (表 4, log 変換値を用いた一元配置分散分析、 $p<0.0001$)、同時にマミー形成数も減少した (表 4, $p<0.0001$)。

以上のように、アブラバチの分散が抑えられた状況では、アブラバチの密度が十分高い場合に、アブラムシ個体数を短期間に減少させることが可能と考えられる。その一方で、アブラバチ自身の次世代個体数が減少するという、過密の悪影響が出る恐れがある。

この実験と実際の栽培施設とでは空間スケールや温度の違いがあるため、単純な比較は難しいが、あえてバンカー上へのコレマンアブラバチの放飼密度を検討してみたい。仮に、ワタアブラムシが侵入した直後に株あたり 5 頭 (1 株 / 1m^2 、ただしアブラムシは狭い範囲の葉上に定着) の密度で定着したとすると、これが増加しないためのアブラバチ密度は 4.3 雌 / m^2 (表 4 より、50 頭のアブラムシに対して

3 雌のアブラバチ / 0.07m^2 床面積) である。このアブラバチを供給するためには、0.14 頭の雌成虫 (表 2 より、バンカーで世代間 50 倍に増殖、雌比 0.6) が必要であり、雌雄混合の放飼の場合であれば 0.23 頭 / m^2 の放飼が必要となる。平面ではなく空間であることや、バンカー法がアブラムシの安定的な防除を優先する技術であることを考慮すると、使用基準 (製剤ボトルに表示の使用方法) 程度の天敵放飼 (1 頭 / m^2 、雌雄混合) が適当であろう。

では、使用基準程度の天敵を放飼した場合に最大どの程度のアブラムシ初期侵入に対応できるか考えてみたい。アブラバチ 1 頭 / m^2 (雌雄混合) で放飼した場合には、バンカー上で次世代 (おおむね 2 週間後) は 30 雌 / m^2 となる (表 2 より、バンカー上で世代間約 50 倍 × 雌比 0.6)。これはアブラムシの生息する葉上の狭い空間 (あえて平面と仮定し、実験と同じ 0.07m^2) で換算すると 2.1 雌となる。この数は 35 頭のアブラムシの増加を抑える天敵数と推定される (表 4 より、50 頭のアブラムシに対して 3 雌のアブラバチ)。より厳しい場合で、仮にアブラムシの初期定着数が 50 頭 / 株のときには、アブラムシ 50 : アブラバチ 2.1 ということになるので、次世代でのアブラムシ数は増加すると想定される。こうした高密度の侵入条件でも安定した防除を考える場合には、使用基準のように 1 週間おきの天敵放

飼が無難である。

一方、バンカー上のムギクビレアブラムシの初期数は、上記の数の天敵を増殖でき、かつバンカー植物が枯死しない程度の数が適当である。例えば、0.5aの面積においては、30頭の雌成虫(1m²あたり1頭で、50頭×性比0.6)から生じる次世代、すなわち1500マミー(表2より、バンカーで50倍×30雌)が形成できる十分な数として、2000頭以上の初期数が必要と考えられる。これを十分維持するためのムギは100株程度(20頭/株)と考えられる。

なお、上記予想の一部は、Ⅲ章において実験ハウスでの放飼試験で検証した。

4) コレマンアブラバチの移動可能範囲

寄主アブラムシを床面と高さ1.5mの2段に均一に配置したガラス室内(7×8m)で、床面中心からコレマンアブラバチ成虫を放したところ、マミーの形成が床面と高さ1.5mのポットに広く見られた(図4)。マミー数を比較すると、床面では高さ1.5mよりも有意に多くのマミーが見られ、東西方向でもマミー数にばらつきが見られた(log変換値について三元配置分散分析、上下: $p<0.0001$, 東西方向: $p=0.0138$)。一方、南北方向ではマミー数に有意な偏りは認められなかった(南北方向: $p=0.6678$)。

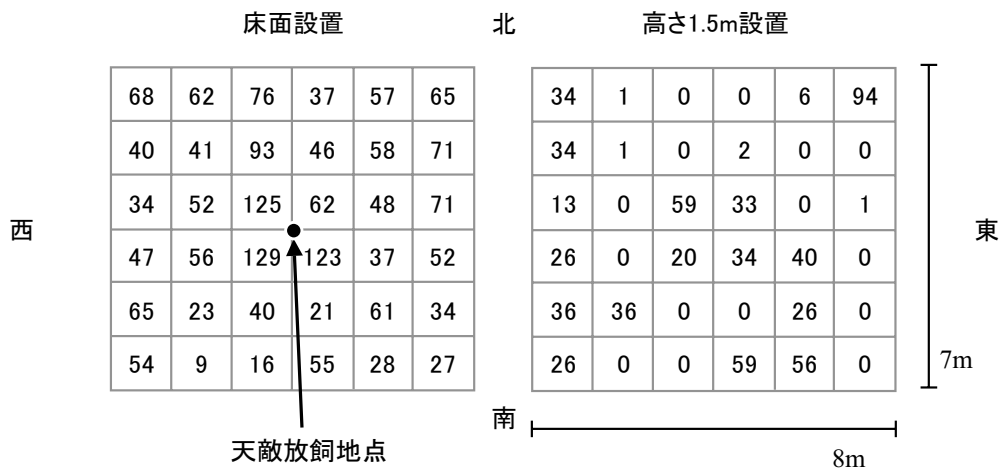


図4 ガラス温室内でのコレマンアブラバチの分散

ガラス温室(7×8m)内に、床面と高さ1.5mにムギクビレアブラムシを均等に配置し、床面中央からコレマンアブラバチを放飼し、3日後に回収して、マミー形成数(図中の数値)を調査。マミー数について南北方向では有意差が認められない(log変換値について三元配置分散分析、南北:MS=0.180, $F_{5,60}=0.643$, $p=0.6678$)が、東西方向および上下方向では有意差が認められた(東西:MS=0.881, $F_{5,60}=3.143$, $p=0.0138$; 上下:MS=19.388, $F_{1,60}=69.185$, $p<0.0001$)。

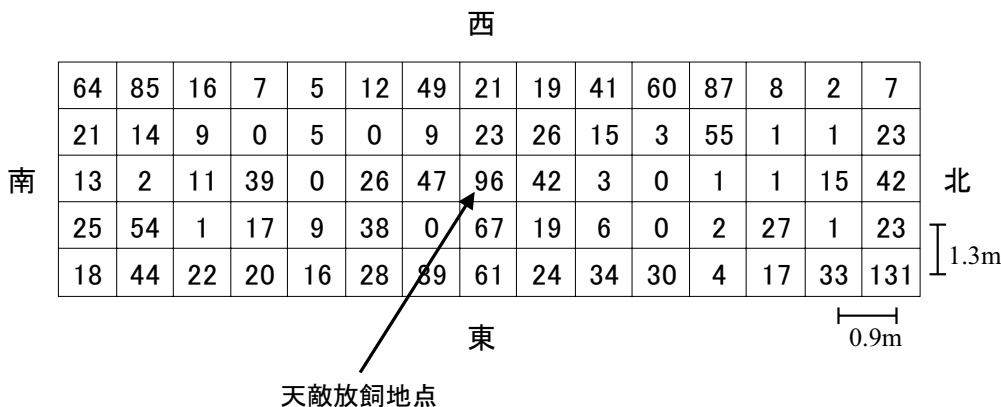


図5 1aハウスでのコレマンアブラバチの分散

ビニールハウス内(6×17m)にムギクビレアブラムシを定着させたコムギのポットを東西1.3m、南北0.9mの間隔で、15×5ポット配置し、中央からアブラバチ成虫422頭を放飼。3日後に回収し、25℃の恒温室で個別に飼育し、マミー形成数を調査(図中の数値)。マミー数について南北方向では有意差は認められなかったが、東西方向では有意差が認められた(log変換値について二元配置分散分析、南北:MS=0.419, $F_{4,56}=1.583$, $p=0.1131$; 東西:MS=0.886, $F_{14,56}=3.352$, $p=0.0157$)。

不均一ではあるものの、アブラバチ成虫が3日間にガラス室内の全域に分散し産卵を行ったことがわかる。

より広い実験空間（6 × 17 mのビニールハウス）でも、中央部から放飼したコレマンアブラバチにより、ハウス全域のポットでマミーが形成され（図5）、成虫は3日間で少なくとも6.3 m（放飼地点から最も遠いポットまでの距離）は動いていたことがわかる。このとき、南北方向でマミー数に有意な違いは認められなかったが、東西方向ではばらつきが認められた（log 変換値を用いた二元配置分散分析、南北方向： $p=0.1131$ ，東西方向： $p=0.0157$ ）。以上のように、不均一ではあるが、コレマンアブラバチ成虫は1 a程度の空間ならば3日程度で十分分散する

と考えられる。

なお、ガラス室では782頭のアブラバチ成虫が羽化し、その後、合計2640頭の寄生が確認された。雌比を0.6（表2）とすると、1雌あたり5.6頭の次世代が確認されたことになる。また、1 aハウス内では422頭のアブラバチ成虫が羽化し、合計1886頭の寄生が確認された。雌比を0.6とすると、1雌あたり7.4頭の次世代が確認されたことになる。

これらの結果から、コレマンアブラバチは1カ所の天敵供給源があれば、1 aの空間を十分カバーできることがわかる。実際に、1日のうちに少なくとも16mの分散を記録した報告もある（Langhof et al.⁽⁴⁹⁾）。これ以上の広い空間については、実際の生産現場で試みる中で検討していく必要がある。

Ⅲ. 実験圃場におけるバンカー法の実行可能性の検討

実験圃場レベルの空間でバンカー法の効果を検証した試験としては、冒頭にあげたように Bennison⁽²⁾ がアブラバチ *A. matricariae* とシヨクガタマバエを用いて実施しているほか、コレマンアブラバチを単独で用いたバンカー法では van Steenis⁽⁵⁰⁾、Jacobson and Croft⁽¹¹⁾ の事例がある。いずれもヨーロッパにおける春期から夏期における試験である。日本の促成栽培での活用を念頭に置いた場合、秋冬期から春期に向けての作でバンカー法の効果を確認する必要がある。そこで、促成栽培ナス（10月定植）において、秋冬期（11月）と春期（3月）でのワタアブラムシ防除効果を、バンカー法を用いた場合と通常天敵接種的放飼の場合とで比較した。

また、野外にはアブラムシ類の一次寄生蜂に対して、さらに寄生をする二次寄生蜂が存在する（高田・巽⁽⁴³⁾）。二次寄生蜂は一次寄生蜂を殺すので、害虫防除には有害であると考えられている（Sullivan⁽⁴⁰⁾）。コレマンアブラバチは導入天敵ではあるが、土着の二次寄生蜂による寄生が確認されている（例えば、佐藤ら⁽³⁴⁾）。二次寄生蜂がハウス内に侵入した場合には、コレマンアブラバチの個体数が維持できず、バンカー法が失敗する可能性が考えられる。このことについても、実験圃場で調査した。

1. 材料と方法

1) 秋冬期のバンカー法効果試験

約1 a（6 × 17 m）のビニールハウスを中央部で半分に区切り、各区画にナス20株を2000年10月16日に定植した（10株 × 2列，畦幅1.5m，株間0.6m）。2000年11月2日にワタアブラムシを接種し、2日後にワタアブラムシの数を株あたり50頭あるいは5頭にそろえた（Ⅱ章参照）。ワタアブラムシは、実験室内でナス苗を用いて維持してきたコロニーから、無作為にナス葉の一部を切り取って、個体数を調節した後、試験ハウスのナスの葉の上にピンで止めることにより、ナス株上に定着させた。ナス1株あたりワタアブラムシ50頭を定着させたアブラムシ高密度ハウスは4区画、ワタアブラムシ5頭を定着させたアブラムシ低密度ハウスは3区画設けた。アブラムシ高密度ハウスでは、11月21日より最低気温が12℃となるよう加温した（図6）。アブラムシ低密度ハウスは無加温とした。

天敵の放飼は、無放飼、接種的放飼（通常の放飼法）、バンカー法（アブラムシ高密度ハウスは2区画）の3種類設けた。接種的放飼では、ワタアブラムシ定着時がアブラムシ発見時と想定して、その1週間後（天敵を注文して手に入るまでの日数）から毎週アブラバチ40頭（♀26頭，♂14頭）を3回放飼した。この放飼数は、使用基準である1頭/m²という放飼密度に相当する。バンカー法ではアブラム

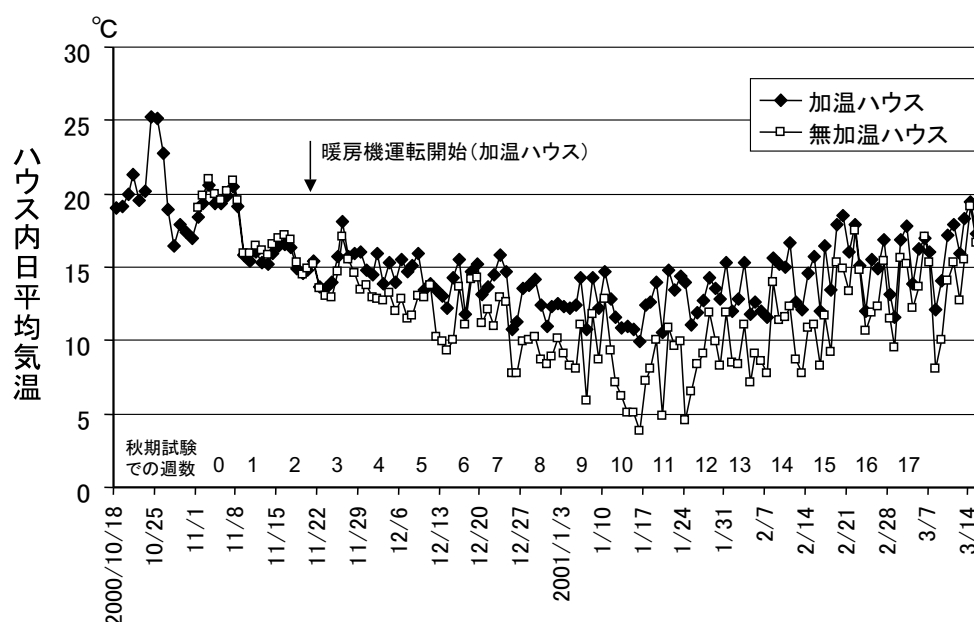


図6 秋冬期試験ハウス内での日平均気温の推移

アブラムシ低密度（5頭／株）での試験は無加温ハウスにおいて実施し、アブラムシ高密度（50頭／株）での試験は加温ハウスで実施した。

シの発生前から天敵を定着させるので、ワタアブラムシ接種2週間前から、1/5000 a ポット植のコムギ（約100株）に定着させたムギクビレアブラムシ（約2000頭）（＝以後バンカーと呼ぶ）2組とともに、アブラバチ成虫40頭を1週間毎に3回放飼した。ワタアブラムシ定着後からナス上のアブラムシ数とマミー数を毎週調査した。11月は全株について、12月は各区10株について調べた。

また、試験中、加温ハウスにおけるワタアブラムシとムギクビレアブラムシの増殖を確認するために、ナス苗に定着させたワタアブラムシ、あるいはコムギ苗に定着させたムギクビレアブラムシを、天敵の攻撃を避けるためにウンカ飼育ケージ内に入れて、1週間ハウス内に置き、増加率を調査した。

2) 春期のバンカー法効果試験

春期の試験は、秋冬期の試験ハウスのうち加温ハウス4区画（アブラムシ高密度ハウス）を引き続き利用した。秋冬期試験での結果を3月はじめまで確認した後、ハウス内の害虫および天敵を皆無にするため、2001年3月9日にクロルフェナピル剤および酸化フェンブタスズ剤を散布した。3月21日に全株にワタアブラムシ50頭を接種し、秋冬期と同様に天敵無放飼、接種的放飼、バンカー法（2区画）の区画を設け、アブラムシ数およびマミー数の推移

を比較した。接種的放飼の1区画とバンカー法の1区画ではアブラバチ40頭（♀24頭、♂16頭）を3回放飼した。そのほかに、アブラバチの放飼数を半分（約0.5頭／ m^2 ）にしてバンカー法を実施する区画（天敵1/2区）も設定した。ナス20株のうち10株についてすべての葉でアブラムシ数とマミー数を調べた。

3) バンカー上でのマミー数の減少と対策

上記1)においては、バンカー上のムギクビレアブラムシとマミー数について、11月下旬から12月にかけて3回調査した。各バンカーからムギの茎6本を抽出して、その上のムギクビレアブラムシとマミーの数を調べた。同時に、各バンカーでのムギ茎数を調べ、各区画のバンカー上の全アブラムシ数と全マミー数を推定した。

上記の調査の結果として、バンカー上でマミー数が減少することがわかったので、この対策として防虫ネットを用いた寄生の制限による次世代の確保について、春期の試験中に検討した。4月中旬にはバンカー法の区画において、アブラバチが過密となり、バンカー上のムギクビレアブラムシが減少していた。ここにムギクビレアブラムシ約4000頭を定着させたコムギポットを3つ設置した。このコムギポットを防虫ネット（約0.15mm、および1mm目

合い)で被覆した場合と被覆しない場合とでその後形成されたマミー数を比較した。0.15mm 目合いの場合には、コレマンアブラバチは通過できないので、1日曝露した後、これを被覆することで、その後のアブラバチの寄生を制限した。一方、1mm 目合いの場合には、コレマンアブラバチの通過が幾分制限されるが、通過は可能なので、設置時から継続して被覆した。11日後に回収し、マミー数を調査した。

4) 二次寄生蜂の影響

ハウス内のバンカー上での二次寄生蜂の発生について、2シーズンにわたり調査した。近畿中国四国農業研究センター野菜部(京都府綾部市)のナス栽培ハウス(最低気温12℃に加温)1棟(1.7 a)において2002年8月～翌4月までの期間、バンカー法を継続した。ナスは120株定植し、うち24株についてアブラムシの発生の有無を調査した。また、バンカー上の寄生蜂の調査として、1～2週間毎に6～10茎のオオムギを切り取り、細網の袋に入れて25℃の恒温室に保管した。全ての寄生蜂が羽化した後、寄生蜂を同定した。また、2003年9月～翌5月の期間、イチゴ栽培ハウス(最低気温8℃に加温)3棟(各1a)でバンカー法を継続し、同様に

調査した。なお、ナスではワタアブラムシが発生したが、イチゴではワタアブラムシは問題とはならなかった。

2. 結果および考察

1) 秋冬期のバンカー法効果試験

秋冬期におけるバンカー法によるワタアブラムシの防除効果を、通常天敵放飼法である接種的放飼、ならびに天敵無放飼の場合と比較した(図7)。天敵を放飼しなかった2つのハウスでは、ワタアブラムシ数は4～6週間後には株あたり300頭を越え、400頭近くにまで増加した。この間(1～4週間後)における平均増加率は週あたり2～3倍程度であった(図9)。その後、マミーが現れ始めるとともに、ワタアブラムシは減少した(図7)。これは隣接したハウスからコレマンアブラバチが側窓を通して侵入したためであった。天敵の攻撃を防ぐためにケージに入れたワタアブラムシ付きナス苗を加温ハウス内に持ち込んで、その後の増加率を調べたところ、12月中旬(6週間後)では週あたり平均2.9倍、1月(10週間後)では約1.8倍、2月(14週間後)では1.2倍程度であった(図9)。秋冬期とはいえ、天敵を排除した条件ではワタアブラムシは増加してい

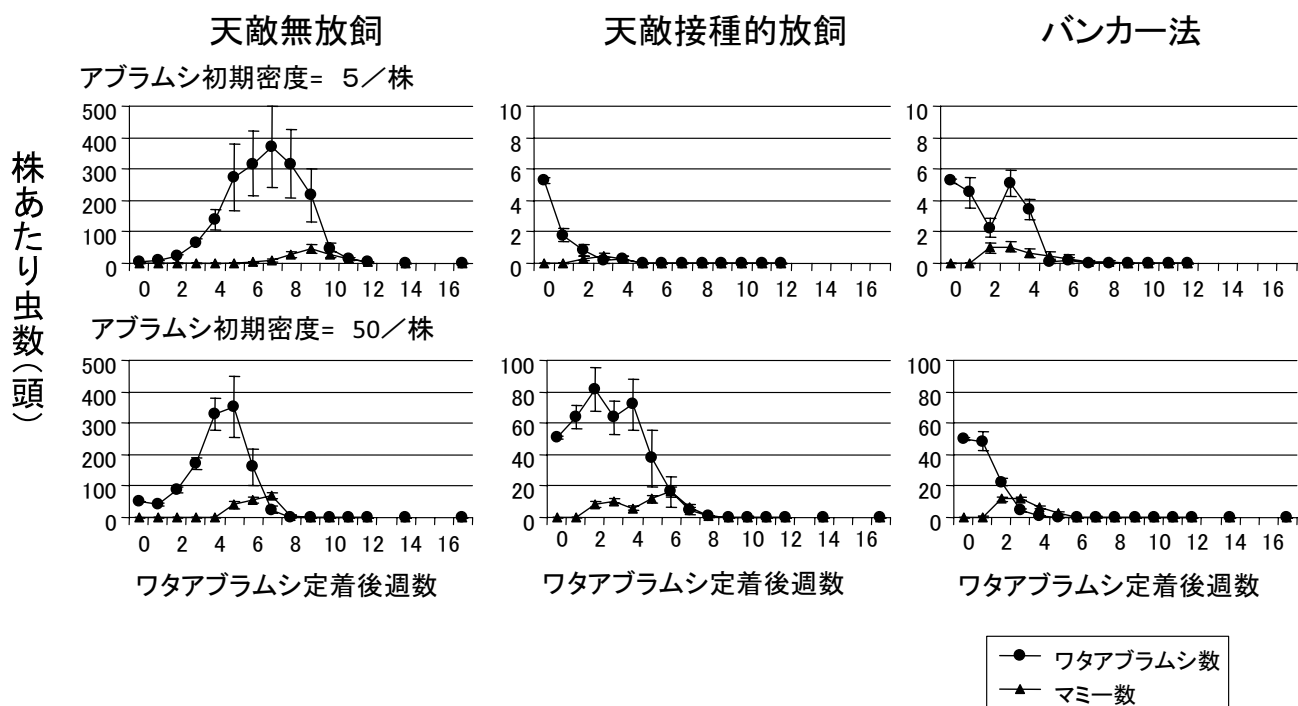


図7 秋冬期バンカー法試験ハウスにおけるアブラムシ数とマミー数の推移(平均±S.E.)

くことがわかる。

一方、ワタアブラムシ定着後に天敵を放飼した接種的放飼区をみると、アブラムシを株あたり5頭定着させた低密度ハウスではワタアブラムシの増殖が抑えられ、初期数よりも増えることなく、1ヶ月以内に株あたり密度が1頭以下の低密度となった（図7）。しかし、株あたり50頭を定着させた高密度ハウスでは、初期には株あたり80頭まで密度が増加し、アブラバチの寄生により株あたり密度が1頭以下に減少するまでに2ヶ月を要した。接種的放飼では天敵放飼時のアブラムシ密度によっては、アブラムシの増加を抑えられない期間が生じることがわかる。

アブラムシ定着2週間前よりアブラバチを導入したバンカー法区では、アブラムシ低密度・高密度両ハウスともにワタアブラムシ密度は速やかに減少し、4週間後には株あたり平均密度が1頭以下となった（図7）。なお、どの処理区においてもワタアブラムシは3月の試験終了時まで再度発生することはなかった。

上記の試験の結果を反復測定分散分析で解析（10週後までの調査株上の個体数のlog変換値を用いた）したところ、ハウス内のアブラムシ密度は、ワタアブラムシ初期定着密度ならびに天敵の放飼方法により有意に異なった（表5）。そして、バンカー法、接

種の放飼、天敵無放飼（結果的には天敵が自然侵入）の順でアブラムシ密度は抑制され、各々の間に有意差が認められた（TukeyのHSD検定、 $p<0.05$ ）。このように比較的低温の条件（図6）においてもバンカー法は有効に機能した。

2) 春期のバンカー法効果試験

アブラムシ類の増殖好適期にあたる春期に、ワタアブラムシ初期密度を株あたり50頭として同様に防除試験を実施した。天敵無放飼区ではワタアブラムシ定着後、密度が急激に増加し、3週間後には株あたり5600頭となり、薬剤散布による防除を余儀なくされた（図8）。この時のワタアブラムシは週あたり4倍以上の増加率で増殖していた（図9）。

天敵の接種的放飼区では、ワタアブラムシの密度は3～4週間後に株あたり600～900頭と、初期密度の10倍以上に増加した（図8）。その後はアブラバチの寄生によって減少し、6週間後にはワタアブラムシの生息が認められなくなった。しかし、秋冬期よりもワタアブラムシの増加が激しく、アブラムシが排泄する甘露がナスの葉やマルチを汚すほどの密度に達した。

一方、バンカー法区ではワタアブラムシ接種後、株あたり100頭とわずかに密度の増加が見られた

表5 秋冬期における3つの天敵放飼法（無放飼、接種的放飼、バンカー法）比較試験の反復測定分散分析の結果

アブラムシ個体数

要因	df	MS	F値	p値
アブラムシ初期密度	1	62.71	122.31	<0.0001
天敵の放飼方法	2	114.37	200.20	<0.0001
調査週（変量効果）	10	10.38	27.68	<0.0001
調査株位置（ネスト）	57	0.51	1.37	0.0396
誤差	118	0.38		

log変換値について0～10週までのデータを用いて解析。3つの天敵放飼方法の各々の間には有意差が（TukeyのHSD検定、 $p<0.05$ ）が認められる（天敵無放飼>接種的放飼>バンカー法）。

マミー数

要因	df	MS	F値	p値
アブラムシ初期密度	1	21.90	134.54	<0.0001
天敵の放飼方法	2	1.15	7.09	0.0018
調査週（変量効果）	10	4.77	26.79	<0.0001
調査株位置（ネスト）	57	0.16	0.91	0.6552
誤差	118	0.18		

log変換値について0～10週までのデータを用いて解析。3つの天敵放飼方法の間には有意差が（TukeyのHSD検定、 $p<0.05$ ）が認められる（天敵無放飼≧接種的放飼≧バンカー法）。

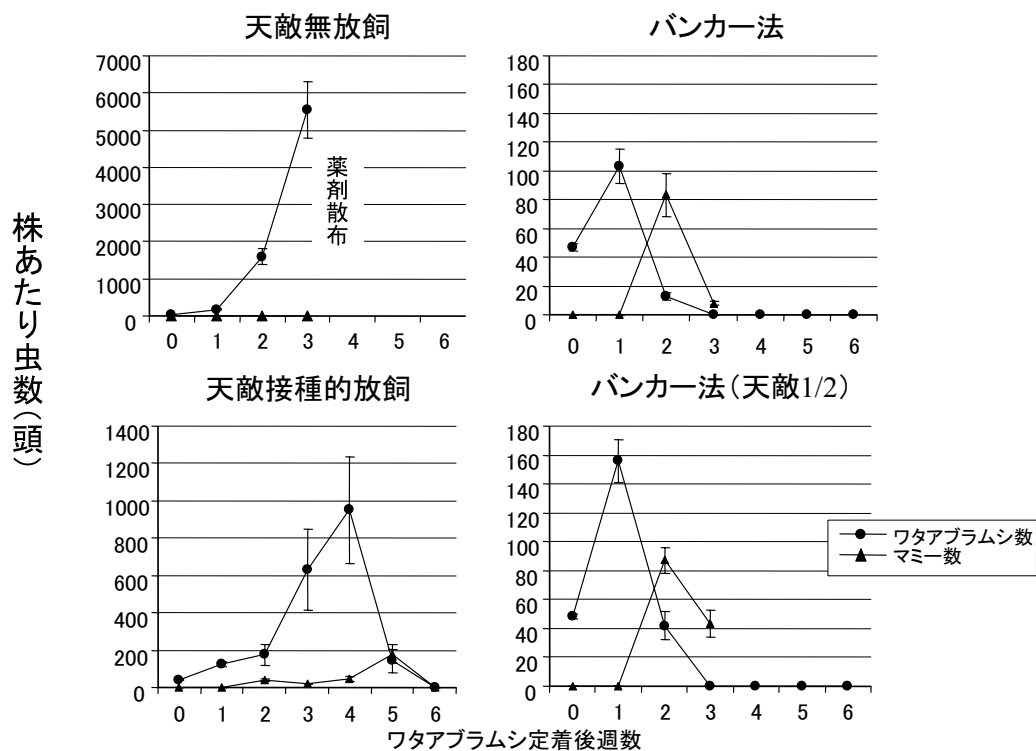


図8 春期バンカー法試験ハウスにおけるアブラムシ数とマミー数の推移(平均±S.E.)

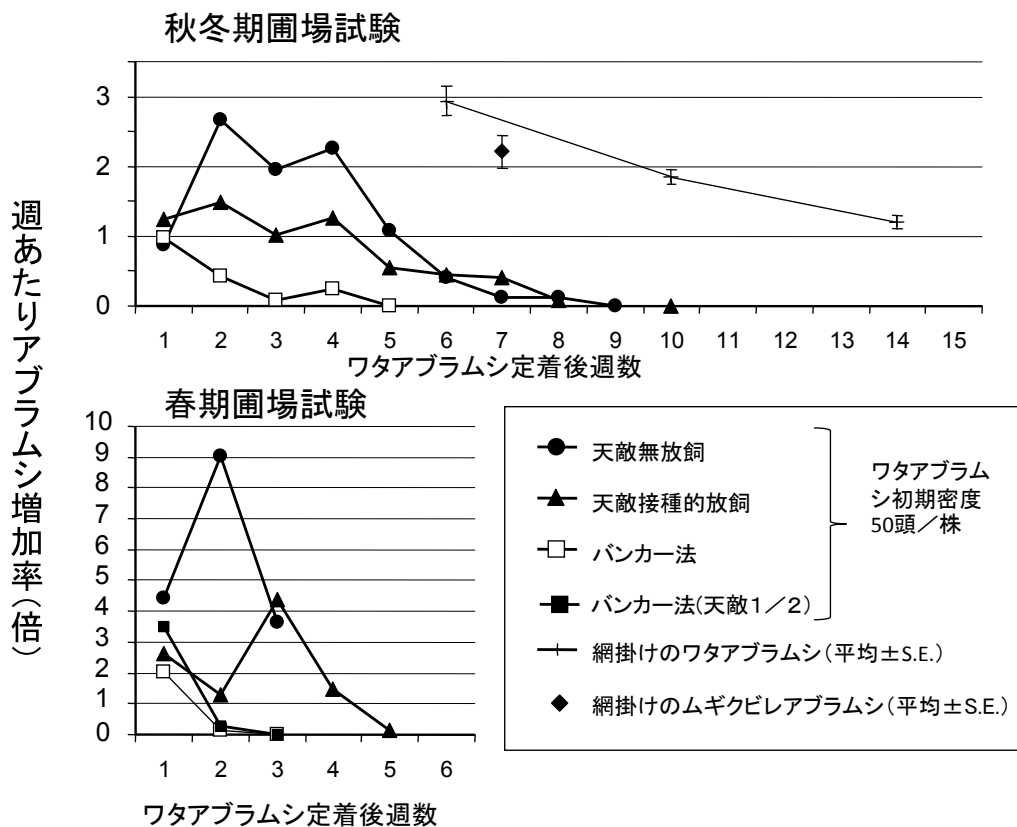


図9 バンカー法圃場試験でのワタアブラムシ, ムギクビレアブラムシの週あたり増加率(平均値)の推移

が、その後減少し、3週間後にはその生息が認められなくなった（図8）。アブラバチの放飼数を半分に減らしたバンカー法（天敵 1/2）区でも、一旦は株あたり 160 頭程度まで増加したものの、通常の放飼数のバンカー法区とほぼ同様の経過で、3週間後にはワタアブラムシが見られなくなった。

上記の試験結果を反復測定分散分析で解析したところ、ハウス内のアブラムシ密度は天敵の放飼方法により有意に異なった（表6）。そして、バンカー法（通常の天敵密度≒天敵 1/2）、接種的放飼、天敵無放飼の順でアブラムシ密度は抑制された（Tukey の HSD 検定, $p<0.05$ ）。

以上のように、秋冬期と春期いずれの試験においても、バンカー法は接種的放飼よりもワタアブラムシ密度を抑制した。バンカー法の場合には、接種的放飼と同じ天敵放飼量であっても、あらかじめバンカー上に放飼した天敵は増殖していた。秋期のハウス内でもバンカー上でコレマンアブラバチは1世代あたり約 30 倍（アブラムシを攻撃する雌換算、表2より、50 倍×雌比 0.6）となるので、ハウス内での総数の比は、アブラムシ低密度ハウスではワタアブラムシ 100：アブラバチ 780、アブラムシ高密度ハウスではワタアブラムシ 1000：アブラバチ 780 となる。実験室の放飼比率と比べられるように変換すると、ワタアブラムシ 50：アブラバチ 390、あるいはワタアブラムシ 50：アブラバチ 39 となる。

25℃の恒温室内の狭いケージ内ではワタアブラムシ 50：アブラバチ 3 の放飼比率でワタアブラムシの増殖を抑えたことを考え合わせると、空間スケールが違うとはいえ、ワタアブラムシを速やかに抑えるのは予想された通りである（Ⅱ章参照）。春期において、天敵放飼量を半分にしても、同等の効果を得られたのも、こうしたバンカー上での天敵増殖の効果と考えられる。

また、バンカー法では害虫侵入以前に1世代以上経過しているため、活発に産卵する雌成虫がより連続的に供給されることにもなる。つまり、バンカー法の利点は常時十分量の天敵でアブラムシの侵入に対処できることである。

実験ハウスにおけるバンカー法の試験は、van Steenis⁽⁵⁰⁾ がキュウリのワタアブラムシ対策として行っている。7～11月の実験で、期間中の平均気温は 22.5℃（夜温 20℃を維持）の環境であった。実験ハウスの大きさは 17m²で、接種的放飼との比較を3反復（ハウス）とったものである。バンカー法区では2週間前からムギクビレアブラムシにアブラバチ 5 対を週 2 回、2週間にわたって放飼した。接種的放飼区ではアブラバチ 13 対を週 2 回 2週間にわたって放飼した。実験面積は本試験（50m²）よりも小さいものの、バンカー法区での面積あたりの放飼数は本試験とほぼ同じで、アブラバチ放飼週数は1週分少ない。ワタアブラムシの接種数はハウスあたり 5

表 6 春期における 4 つの天敵放飼法（無放飼、接種的放飼、バンカー法、バンカー法（天敵 1/2））比較試験の反復測定分散分析の結果

アブラムシ個体数				
要因	df	MS	F 値	p 値
天敵の放飼方法	3	3.19	8.52	<0.0001
調査週（変量効果）	6	7.70	12.78	<0.0001
調査株位置（ネスト）	76	0.37	0.62	0.9889
誤差	144	0.60		

log 変換値を用いて解析。4 つの天敵放飼方法の間には有意差が^a（Tukey の HSD 検定, $p<0.05$ ）が認められる（天敵無放飼≒接種的放飼≒バンカー法（天敵 1/2）=バンカー法）。

マミー数				
要因	df	MS	F 値	p 値
天敵の放飼方法	3	1.09	13.81	<0.0001
調査週（変量効果）	6	13.65	75.19	<0.0001
調査株位置（ネスト）	76	0.08	0.44	1.0000
誤差	144	0.18		

log 変換値を用いて解析。4 つの天敵放飼方法の間には有意差が^a（Tukey の HSD 検定, $p<0.05$ ）が認められる（バンカー法（天敵 1/2）=バンカー法=接種的放飼>天敵無放飼）。

葉に各5雌で合計25頭(成虫)であった。結果は、初期においてはバンカー法区の方がアブラムシ密度を抑制したものの、後半においては、バンカー上での二次寄生蜂の発生により、通常放飼法よりもアブラムシ密度が高くなったというものであった。

Jacobson and Croft⁽¹¹⁾は150m²の実験ハウスにおいて、キュウリのワタアブラムシに対して、コレマンアブラバチを用いたバンカー法、およびワタアブラムシ接種2週間前から実験終了まで毎週アブラバチを放飼する周期的放飼法、そして天敵無放飼との間で晩春と夏期にそれぞれ2シーズンにわたり防除効果を比較した。バンカー法と周期的放飼の防除効果は同等であり、ともに夏期において晩春期より効果が高かったことを示している。ただし、平均気温は夏期においても24℃程度以下という条件であった。また、バンカー法ではトウモロコシを用いると、コムギなどを用いる場合よりも長期間利用できることも報告している。

この他にも、韓国での5～8月にかけてのキュウリのワタアブラムシ防除において、作期前半はうまく防除できたが、後半は高温のため失敗したとの報告がある(Kim and Kim⁽¹²⁾)。アメリカでもバンカー法によりパンジーとデージーでのワタアブラムシ、モモアカアブラムシの防除の試み(3～5月と6～7月)がなされ、バンカー法による効果を認めた試験結果が報告されている(van Drieshe et al.⁽⁴⁶⁾)。同時に、高温期のバンカー法の失敗にも触れている。このように、バンカー法の失敗事例の報告は高温期においてみられており、コレマンアブラバチ自体が高温に不適であると考えられている(van Steenis⁽⁵⁰⁾)。

本試験においては、これまで試みられていない秋から冬、春にかけての時期において、明確な防除効果を示した。同様のアブラバチ放飼数であっても、バンカー法においてアブラムシ個体群を早期に減少させる結果を得た。そして、日本の促成栽培環境で想定される条件でバンカー法の有効性を示した点でも意義がある。

3) バンカー上でのマミー数の減少と対策

バンカー上のコレマンアブラバチ供給数をみると、秋冬期試験ハウスでは、天敵の放飼後2世代目以降にあたる11月下旬から12月初めには、マミー

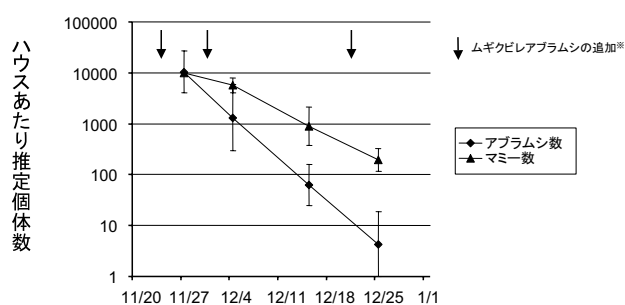


図10 秋冬期バンカー法試験ハウスにおけるバンカー上のムギクビレアブラムシとマミー数の推移

バンカー法3ハウスの平均±S.E. アブラムシ数、マミー数ともに有意に減少(それぞれlog変換値について回帰分析、 $y = -0.120x + 4.823$, $r^2 = 0.73$, $p = 0.0008$; $y = -0.064x + 4.549$, $r^2 = 0.78$, $p = 0.0003$)。 ※ 矢印はバンカー(1/5000 aポットの約100株のコムギに定着させた約2000頭のアブラムシ)の追加を示す。

総数が10000個にまで増加していた(図10)。しかし、その後、ムギクビレアブラムシもマミーも急激に減少した。特に、11月24日と12月1日に追加したバンカーではマミーができないどころか、ムギクビレアブラムシまでがいなくなってしまう。一方、12月であってもケージで天敵から保護したムギクビレアブラムシは週あたり2倍の割合で増えていた(図9)ので、このムギクビレアブラムシの急激な減少は、コレマンアブラバチによるムギクビレアブラムシへの過度の攻撃が原因と推察される。同様の現象は春期圃場実験でも観察された。II章の室内実験で確認されているように、コレマンアブラバチが高密度になると、アブラムシは過剰な寄生行動を受けて殺されてしまい、マミーが形成されなくなる(表4)。

このようにアブラバチ密度が高まった場合には、コレマンアブラバチによる代替寄主への寄生行動を制限する手段が必要である。そこで、1日だけアブラバチに自由に産卵させた後、ネット被覆(0.15mm目合い)によりコレマンアブラバチを排除したとこ

表7 コレマンアブラバチ高密度時における次世代密度維持方法

処理法	アブラバチ羽化数
1日間暴露、その後細網(0.15mm目合い)被覆	2912
1mm目合いの防虫ネットで被覆	724
10日間自由産卵	327

ろ、マミー形成数を増やすことができた（表7）。

バンカー法でアブラバチを増殖した結果、ワタアブラムシを速やかに抑制できるわけだが、その一方で、バンカー上のムギクビレアブラムシも減少させてしまった。コレマンアブラバチは1aの空間ならば3日程度で十分カバーできた（図5）ことから、ここで起きた現象は、バンカーの規模に対して試験空間が狭いために起こったことと考えられる。実際の生産施設はこの10倍以上の面積があり、コレマンアブラバチの過密状態はまれにしか見られなかった（IV章参照）。

4) 二次寄生蜂の影響

バンカー法をハウス内で長期間継続して実施した場合に懸念されるのが、二次寄生蜂の発生である。

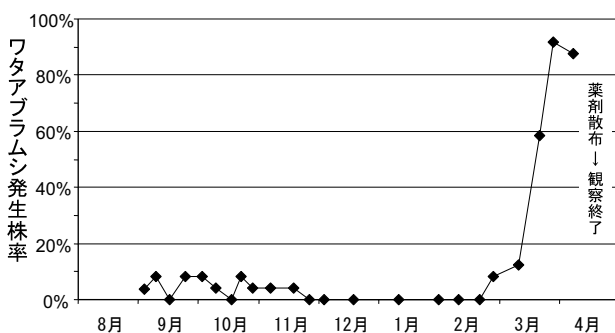


図11 二次寄生蜂調査ハウスのナス上でのワタアブラムシの発生株率の推移
京都府綾部市，1.7 aのナス栽培ハウス（開口部0.6mm ネット被覆），120株中24株調査。ワタアブラムシは自然発生。

その様子をナス栽培施設（1.7 a）で調査した。この施設ではワタアブラムシが秋に少し見られたが、バンカー法で増加を抑えることができた（図11）。しかし、3月からワタアブラムシの発生が急激に拡大しはじめ、バンカー法ではその増殖を抑えられなかった。この事例におけるバンカー上での二次寄生蜂の様子を見ると、8月に設置したバンカーでは、9月になると羽化してくる寄生蜂はコレマンアブラバチよりも二次寄生蜂のほうが多く、その割合が全寄生蜂の90%以上（図12）にも達した。このためコレマンアブラバチの定着に失敗したので、10月に新しいバンカーを作り直し、コレマンアブラバチを定着させた。その直後には二次寄生蜂の割合は20%程度に減少した。しかし、冬期間に二次寄生蜂は増加し、1月には90%を越えた。この時、バンカーから羽化してくるコレマンアブラバチの数は激減していた（図13）。2月までのコレマンアブラバチの減少により、二次寄生蜂も減少したため、コレマンアブラバチの個体数は3月には少し回復した。しかし、このときには、すでに手遅れの状態であり、ワタアブラムシはほぼ全ての株に蔓延し、薬剤散布を余儀なくされた。

一方、翌年のイチゴハウス3棟の事例では、バンカー上の寄生蜂に占める二次寄生蜂の割合は9月～翌3月までの間、30～40%を占めていた（図14）。そして、4月に入ると二次寄生蜂の割合が増加し、5月に100%近くとなった。しかし、例年問題とな

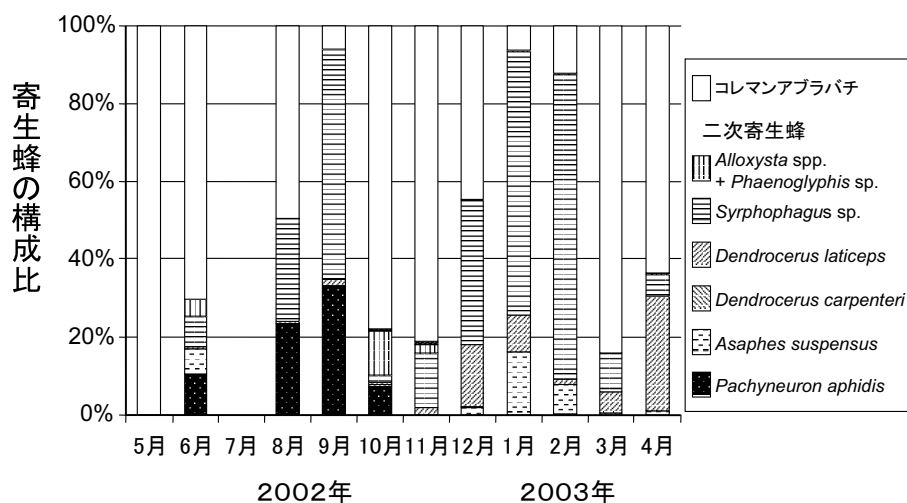


図12 二次寄生蜂調査ハウス（ナス）でのバンカー上の寄生蜂種構成の推移

京都府綾部市のナス栽培ハウス（2 a）に設置したバンカーからサンプリング（標本数>100）。バンカーを設置し直した10月以降、二次寄生蜂の割合は有意に増加（ロジスティック回帰分析，df=1， $G=12.745$ ， $p=0.0004$ ）。

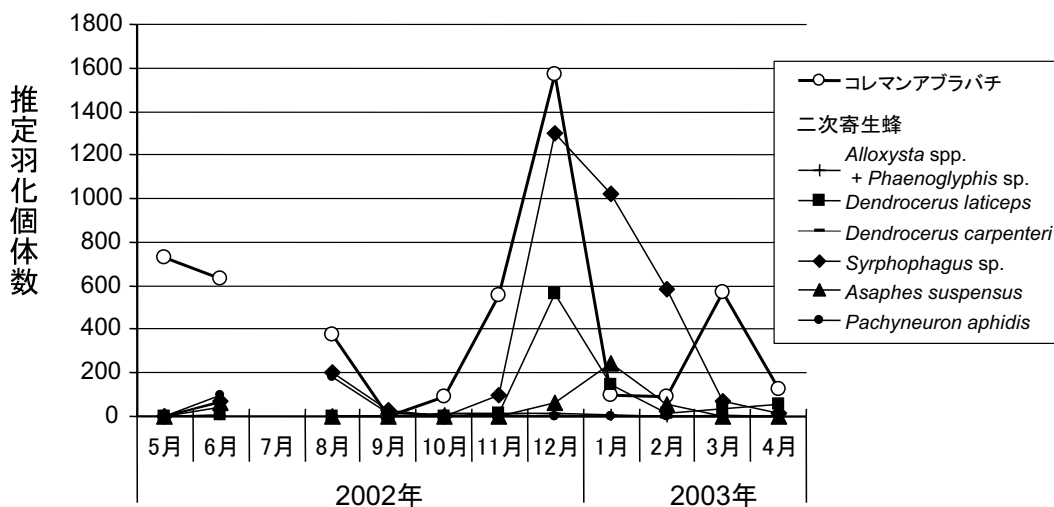


図13 二次寄生蜂調査ハウス（ナス）のバンカー上でのコレマンアブラバチと二次寄生蜂の発生消長

綾部市，1.7 aのナス栽培ハウスに設置したバンカー（オオムギ約100株）上での週あたり羽化成虫数の推定値の月ごとの平均値。ナス定植は2002年8月27日。事前にバンカー設置，天敵放飼。しかし，9月中は天敵が増えず，10月に撤去。10月15日バンカー再設置，天敵放飼。

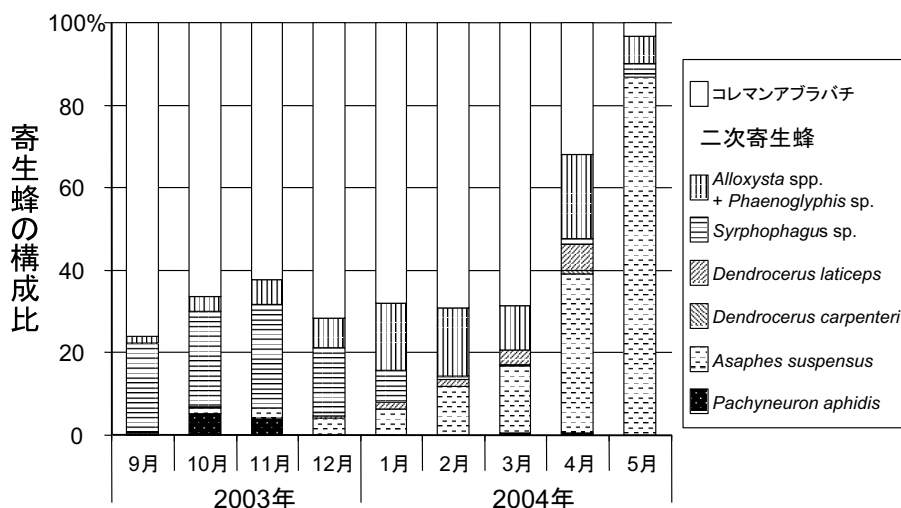


図14 二次寄生蜂調査ハウス（イチゴ）でのバンカー上の寄生蜂種構成の推移

京都府綾部市のイチゴハウス3棟（1a×3棟）に設置したバンカーからサンプリング（標本数>100）。二次寄生蜂の割合は有意に増加（ロジスティック回帰分析， $df=1$ ， $G=116.180$ ， $p<0.0001$ ）。

るワタアブラムシの発生は，これら3棟のハウスでは確認されなかった。これはワタアブラムシの侵入時期にはバンカーから十分量のアブラバチが供給された結果と推察される。

いずれにしても，長期間維持するバンカーにおいては，二次寄生蜂の比率は時間とともに有意に増加する（ロジスティック回帰分析，ナスハウス： $p=0.0004$ ，イチゴハウス： $p<0.0001$ ）ため，コレマンアブラバチの効果が損なわれる恐れがある。ナスでの失敗事例とイチゴでの成功事例を比較すると，作の終了2ヶ月前までは，二次寄生蜂が50%程度以下の低いレベルに保たれることが必要と考えられる。

野外での二次寄生蜂の多さから，ハウス内にこれらが侵入した場合には，悪影響が及ぼされることは容易に予想される。van Steenis⁽⁵⁰⁾は，バンカー法の実験ハウスで二次寄生蜂 *Dendrocerus aphidum* (Rondani) が発生したことから，生産ハウスにおいても二次寄生蜂がバンカー法の効果を減じる可能性を指摘していた。実際，イギリス南東部のピーマン生産ハウスでコレマンアブラバチを用いた場合（接種的放飼法）に二次寄生蜂の一種 *Alloxysta victrix* の発生が観察されたという (Grasswitz and Reese⁽⁸⁾)。そして，後述（IV章）の現地実証試験での失敗原因として二次寄生蜂の可能性を筆者らも指摘してはいた

(長坂・大矢⁽¹⁸⁾)。しかし、バンカー上での定量的なデータは今回の調査で初めて示された。

IV. 促成栽培産地におけるバンカー法現地実証試験

前述のように実験圃場の試験ではバンカー法の防除効果が明確に示された。しかし、試験場での圃場試験と実際の生産現場では多くの違いがある。①バンカー法の効果が認められた圃場試験は0.5aという狭い面積であったが、実際の生産現場は10a規模となる。空間スケールが大きくなった場合にも、アブラムシ類を安定して防除できるかどうかが最大の問題である。これと関連して、広い空間内でのバンカーの配置も検討しておく必要がある。②圃場試験ではアブラムシ類の侵入が秋冬期、春期ともに1回という暗黙の仮定をおいていたが、実際にはアブラムシ類の侵入は何度も起こるはずである。これに対してバンカーを長期間維持することが必要となる。③長期間バンカーを維持した場合、二次寄生蜂がコレマンアブラバチに寄生し、その働きを阻害する可能性がある(van Steenis⁽⁵⁰⁾、佐藤ら⁽³⁴⁾、本稿Ⅲ章)。日本においては、バンカー法自体、実際の生産現場での本格的な研究の試みは初めてなので、そこでの二次寄生蜂の発生についての報告はもちろんない。④アザミウマ類など他に重要な害虫が存在しており、その防除対策との兼ね合いがある。⑤ワタアブラムシとモモアカアブラムシの防除に成功したとしても、農薬散布回数が減少することによって、今まで問題とならなかった害虫が顕在化する可能性がある。⑦生産者がバンカーの管理に割ける労力を見極める必要がある。つまり、コスト・労力と防除効果が見合っている必要がある。これら防除効果ならびに実際上の問題点について、生産現場にバンカー法技術を導入して検討した。

1. 材料と方法

1) バンカー法技術の現地実証試験地

高知県安芸市内のナス、米ナス、パプリカ、ピーマン、シシトウなどの促成栽培施設において、収穫盛期となる春期のアブラムシ対策としてバンカー法現地試験を実施した。高知県の促成栽培ナスは生産高全国1位、ピーマンは全国3位(平成20年度農林水産統計)を誇る主要農産物であり、安芸地域は高知県内でも主要な生産地の一つである。この地域

では、マルハナバチなどの受粉昆虫を用い、アザミウマ対策としてタイリクヒメハナカメムシ利用を基幹とするIPM技術を模索していた。アザミウマ類は果皮に傷をつけ、商品価値を著しく減じるので、最も問題となる害虫である。一方、アブラムシ類はコロニーが大きくなると、樹勢が衰えること、大量に排出される甘露ですす病がでたり、果実が汚れたりすることが問題となる。しかし、アブラムシ類に対して薬剤散布をすると、タイリクヒメハナカメムシに悪影響を及ぼすので、2001年当時、天敵を用いたアブラムシ類の防除技術を求めている。

この地域において、1年目は76カ所、2年目以降は技術普及を兼ねて150カ所以上で現地実証試験をおこなった。施設の大きさは5a～38aで、多くは10a以上であった。収穫盛期となる2～5月に安定的にアブラムシ類を防除することが目的である。

なお、3年目(2004園芸年度)以降には、安芸市の他にも、南国市、高知市、土佐市などでも現地試験を実施した。

2) バンカー法の成否の判定

バンカー法では、施設内であらかじめ十分量の天敵を放飼し、あとから侵入してくる害虫を待ち伏せるような状態を目指す。従って、侵入直後の低密度状態で害虫が攻撃されるので、理想的には、目立ったアブラムシ類コロニーは認められず、マミーが散見される程度となるはずである。ここまで上手いかない場合でも、アブラムシ類の増殖が抑えられ、部分的(100株/10a程度)に農薬を散布する程度で防除ができれば、タイリクヒメハナカメムシ等天敵への影響も軽減できる。従って、収穫盛期にアブラムシ防除薬剤が無散布、あるいは1/10以下の面積での部分散布(スポット散布含む)でアブラムシ類を抑えられれば、バンカー法での防除は成功とみなせる。

一方、バンカー法を用いてもアブラムシ類の増殖を抑えることができない場合、すなわち、被害を許容レベル以下にするためには農薬の全面散布が必要と生産者が判断する場合には、失敗である。

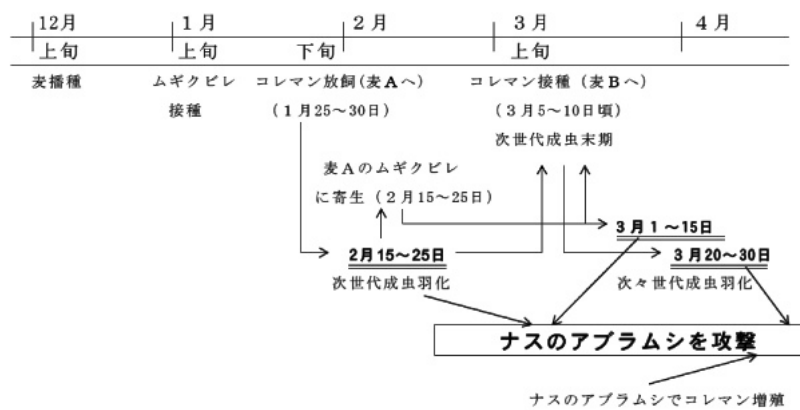


図15 春のアブラムシ対策としてのバンカー法導入スケジュール (2002 園芸年度生産者配付資料の一部)

12月から作業開始。3月上旬のコレマンアブラバチ接種は、麦Bへのムギクビレアブラムシ移動に伴ってアブラバチがこちらへ移ってくる予定という意味。コムギの播種は、1月下旬放飼用と3月放飼用の2か所分を同時に12月に播種したが、実際には2月頃もう一度播種する必要がある。また、ムギクビレアブラムシが減少することがわかったので、3月から一部のハウスでは適宜追加するようにした。

3) 初年度 (2002 園芸年度) のバンカー法実施方法

2002 園芸年度での収穫盛期のアブラムシ対策として、2001 年 12 月から準備を開始した。その手順は以下の通りである (図 15)。

- ①コムギの播種：12 月上旬に 10a あたり 2 カ所に 1 m × 15cm の場所を設け、各 15g のコムギ種子を播種する (コムギ A、B とする)。これはプランター植えでも良い。
- ②ムギクビレアブラムシの接種 1 回目：1 月 11 日にコムギ A にムギクビレアブラムシ約 4000 頭を接種する。
- ③ムギクビレアブラムシの接種 2 回目：1 月下旬のコレマンアブラバチ放飼前にコムギ A から茎 10 本程度を切り取り、ムギクビレアブラムシをつけたままコムギ B にのせる。ムギクビレアブラムシに対するコレマンアブラバチの攻撃を避けるために防虫ネットで覆う。
- ④天敵の放飼：1 月下旬にコレマンアブラバチをハウスあたり 1 ボトル (250 ～ 500 頭) 放飼する。
- ⑤バンカーの増設：3 月上旬にコムギ B を覆っている網を除去する。

ただし、実際の手順としては、現場の様子を見ながら、ムギ類のまき直しによるバンカーの更新や代替寄主の追加など、変更を加えていった。例えば、①の 2 カ所のムギは隣接している場合が多く、②の

ムギクビレアブラムシは 2 つのバンカーで同時に増殖するケースが多々見られたので、③の 2 段目のバンカーにすべきムギは再度播種し直す必要があった。また、ムギクビレアブラムシは寄生により減少したので、適宜追加した。追加用のムギクビレアブラムシは近中四農研で用意した。

4) 2 年目 (2003 園芸年度) 以降のバンカー法実施方法

2 年目以降は、150 カ所以上のナス・ピーマン等の促成栽培施設 (アザミウマ対策としてタイリクヒメハナカメムシ導入) に春期のアブラムシ対策としてバンカー法を試みた。

バンカー法による天敵導入スケジュールは以下の通りである (図 16)。

- ① 11 月に第 1 回目ムギ類播種 (10a あたり 4 ～ 6 カ所、1 カ所あたり 5g 程度)。
- ② 11 月中にムギクビレアブラムシ接種 (約 2000 頭)。
- ③ 12 月末までにはコレマンアブラバチを放飼。
- ④ その後、1 ～ 2 ヶ月に 1 回ムギクビレアブラムシを追加する。
- ⑤ 2 ～ 3 ヶ月ごとにバンカー植物の更新をおこなう。

初年度からの変更点は、1 ヶ月早めのスケジュール、バンカー設置箇所数 (ムギ類播種箇所数) の増

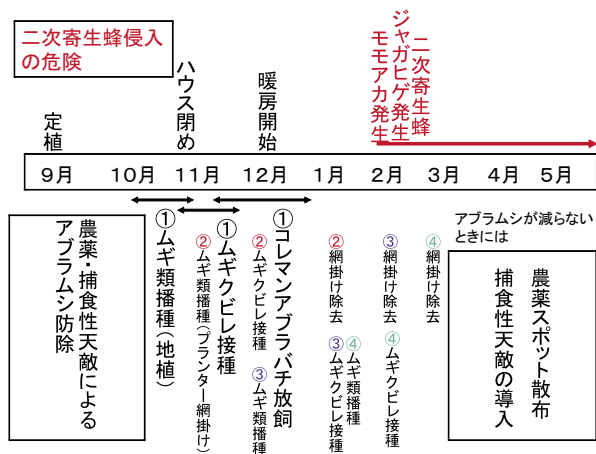


図 16 春のアブラムシ対策としてのバンカー法導入スケジュール (2003 園芸年度生産者配付資料の一部)

バンカーを 1～2 ヶ月ごとに更新する予定を丸囲みの数字で表している。実際には、これだけ細かく更新した生産者はいなかった。また、ムギクビレアブラムシを個々のハウスで維持していくための網掛け作業を実施した人もわずかであった。

設、ムギクビレアブラムシの追加、バンカー植物の更新等である。

また、高知県安芸市での天敵利用技術の最新情報交換会等（例えば、2002 年 7 月、安芸農業改良普及センター・J A 安芸共催）において、2002 園芸年度での導入結果を説明するとともに、注意事項を説明した。年度はじめに写真入りの説明資料（末尾の参考資料）を配付し、導入手順、アブラムシ類の見分け方、天敵と二次寄生蜂の見分け方等の注意事項を周知するよう努めた。

なお、1 年目で用いたコムギにはうどんこ病が頻繁に観察されたので、2 年目以降のバンカー植物はこれに強いとされるオオムギに変更した。ヨーロッパでも温室環境ではうどんこ病が発生しやすく、これに強いコムギやオオムギの品種が用いられている (Bennison and Corless⁽³⁾, van Steenis⁽⁵⁰⁾)。

5) 調査内容

月に 1 回の割合で、9～25 カ所の施設をまわって、生産者にバンカー法の手順を確認するとともに、施設内での害虫の発生、アブラムシ類への農薬散布、バンカー植物、代替寄主、天敵類の状況を調査した。調査対象施設は固定せず、極力多くの問題点を集約できるようにした。また、アブラムシ類やそのマミーを採集し、天敵の定着状態と二次寄生蜂のサンプル調査を行った。作の終わりに、これらについてのア

ンケート調査を実施し、巡回できなかった施設での状況も把握するよう努めた。

2. 結果および考察

1) 初年度 (2002 園芸年度) の現地試験結果

初年度に巡回した施設のうち、調査や生産者からの聞き取りから、経過を把握できた施設について、バンカーの状態、アブラムシ類の発生、二次寄生蜂の発生、農薬散布の状況の概略を表 8 にまとめた。

バンカー法の基本的な考えは、施設内での害虫の発生よりも前から天敵を放飼し、害虫侵入直後の低密度時に害虫の増殖を抑え、被害を防ぐことである。高知県の促成栽培施設でのアブラムシ類の発生は例年 2 月から始まるので、それまでにバンカーからアブラバチが羽化できる状態にしておく必要がある。従って、① 12 月中にムギ類を用意し、② 1 月中にムギクビレアブラムシを定着させ（平均株あたり 1 頭以上）、③ 2 月中旬にはコレマンアブラバチを定着（平均株あたり 1 マミー以上）させるのが目標である。しかし、連続したデータのある 18 の施設でみると、それぞれの達成率は、②で 89%、③で 44%と、低かった (図 17)。②で不成功に終わった原因は、バンカー植物を乾燥させてしまい、ムギクビレアブラムシが逃げてしまったことや、逆に、バンカー植物の上から灌水してムギクビレアブラムシを流してしまったこと、あるいは秋に放飼したコレマンアブラバチが害虫に寄生してさらに増え、高密度になっていたことなどだった。③では、ムギクビレアブラムシの定着の遅れ、コレマンアブラバチの手配の遅れ等が原因だった。

一方、施設内でのアブラムシ類の発生を見ると、モモアカアブラムシあるいはワタアブラムシの発生は 80%の施設で、ジャガイモモヒゲナガアブラムシあるいはチューリップヒゲナガアブラムシの発生は 30%の施設でみられた (図 18)。二次寄生蜂は調査した施設のうち 78%で見られた。主要種はヒメタマバチ亜科 (Charipinae) の *Alloxysta* sp. とオオモンクロバチ科 (Megaspilidae) の *Dendrocerus laticeps* であった。このように、アブラムシ類と二次寄生蜂はともに当然侵入するものとして対処する必要があることがわかる。

農薬散布については、29 カ所中 13 カ所で全面散布、14 カ所で部分散布がなされた (表 9)。全面散

表8 現地実証試験初年度(2002 園芸年度)における施設毎のバンカーの状態とアブラムシ類・二次寄生蜂の発生、農薬散布状況

施設 番号	ムギクビレアブラムシ 定着	コレマンアブラバチ 定着	モモアカアブラムシ ・ワタアブラムシ 発生	ジャガイモヒゲナガ アブラムシ等の発生	二次寄生蜂発生 (3・4月→5月)	農薬散布 (5月まで)
1	(3月 ○)	(3月 ○)	△ 90	○	△	△
2	○	×	(△)	○		×
3	○	○	×	全面	×	×
4	(2月 ○)		(△)	○		×
5	○	×	×	△		×
6	○	○	×	×	×	○
7	○	△	×	○	△→×	○
8	○	○	△	△ 30	△→×	△
9	○	○	×	○	×	×
10	○	△	△ 20	○	○	△
11	○	△	○	○		×
12	○	×	○	○		×
13	×	×	(○)	○		×
14	○	△	×	△ 3	△	×
15			△ 30	△ 20	○	△
16	(4月 ○)	(4月 ○)	×	○	○	△
17	○		(△)	○		△
18	(2月 ○)	○	△ 6	△ 1		△
19	○	○	△ 30	チューリップヒゲナガ	○→×	△
20			×	○	△→×	△
21	○	○	△	○	×	△
22	○	○	○	△ 20		×
23	○	(3月 ○)	△ 60	○		△
24		(3月 ○)	○	○		×
25	(3月 ○)	(3月 ○)	△ 1	(△)	○→?	△
26	(3月 ○)	(3月 ○)	○	○	?→×	×
27	×	×	△ 30	○	?→×	△
28			△ 20	○	?→×	△
29	(○)	(○)	△ 80	○	?→×	×

○、△、×の基準

○	1月 1頭/ 茎以上	2月 1マミー/ 茎以上	2月以降 なし	2月以降 なし	10%以下	2月以降 なし
△	2月 1頭/ 茎以上	3月 1マミー/ 茎以上	2月以降 100株以下	2月以降 100株以下	50%以下	2月以降 部分散布
×	なし	なし	2月以降 100株以上	2月以降 100株以上	50%以上	2月以降 全面散布

※ 空欄は未調査、括弧付きの記載は聞き取りでの確認、記号右の数字はアブラムシ発生株数。

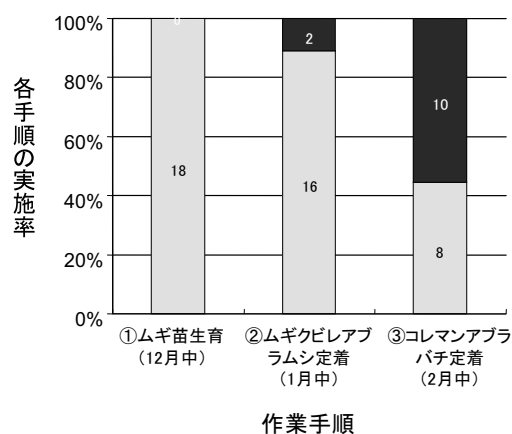


図17 初年度の試行におけるバンカー法各手順の実施率

バー内の数字は連続したデータのある施設数。各手順の失敗・遅延の原因：② 暖房機横にバンカーを設置したためムギが萎れた、ムギの上から灌水したためアブラムシが流されてしまった、アブラバチ密度が高すぎた。③ ムギクビレアブラムシの定着失敗、コレマンアブラバチが羽化しなかった、コレマンアブラバチ導入の遅れ。

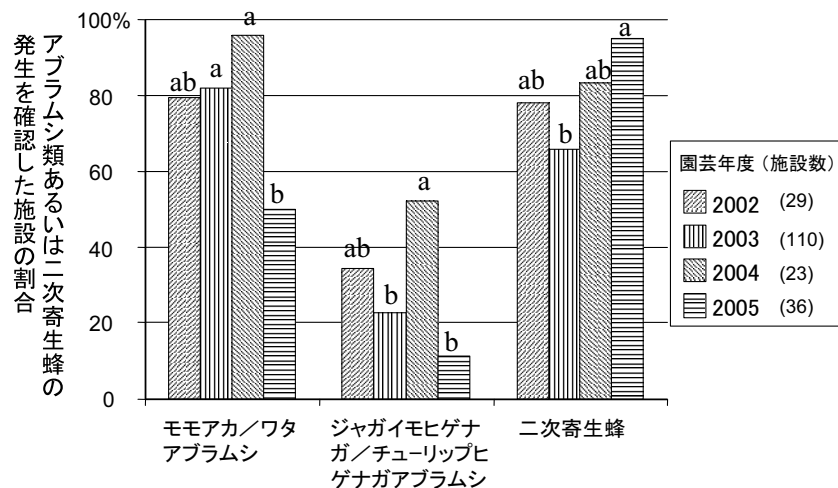


図 18 アブラムシ類あるいは二次寄生蜂が確認された施設の割合

2002 園芸年度のみは巡回調査データ，2003 年度以降は生産者へのアンケートに基づく。どの項目にも年次間で有意差が認められる（ロジスティック回帰分析，ワタ・モモアカの発生：df=3, $G=20.22$, $p=0.0002$ ；ヒゲナガアブラムシ類の発生：df=3, $G=13.689$, $p=0.0034$ ；二次寄生蜂の発生：df=3, $G=9.161$, $p=0.0272$ ）。同じアルファベットのついた割合の間には有意差は認められない（G 検定, $p<0.05/6$ (Bonferroni 補正)）。

表 9 2002 園芸年度の春期に農薬散布を行った施設での問題点（長坂・大矢⁽¹⁸⁾ 改変）

	全面散布をした施設	部分散布をした施設
天敵定着の遅れまたは失敗	7 カ所	2 カ所
二次寄生蜂の発生	5 カ所	6 カ所
ヒゲナガアブラムシ類の発生	2 カ所	4 カ所
上記以外の原因		5 カ所
調査施設数	29 カ所	29 カ所
農薬散布実施施設数	13 カ所	14 カ所

聞き取りを含めて，経過の把握ができた施設は 29 カ所（表 8）。問題点の重複する施設がある。また，農薬を散布しなかった施設が 2 カ所ある。その他の原因として，バンカー設置数の不足や，バンカー管理が早く終了したことも考えられる。

布が実施された施設での問題点として，天敵定着の遅れあるいは失敗（7 カ所），二次寄生蜂の発生（5 カ所），ヒゲナガアブラムシ類の発生（2 カ所）があげられた（重複有り）。部分散布がなされた施設では，二次寄生蜂発生（6 カ所），天敵定着の遅れ（2 カ所），ヒゲナガアブラムシ類の発生（4 カ所）がみられた（重複有り）。これらの原因ではないと考えられる施設 5 カ所では，バンカーから離れたところでアブラムシ類の発生があったことから，10a あたり実質 1 カ所のバンカー設置数では不足していることが考えられた。また，バンカーの管理を 3～4 月にやめてしまう施設が多かった。これはバンカー法が成功しているから圃場でアブラムシ類を見かけないのに，もともとアブラムシの侵入が少ない年で

あると錯覚してのことだった。こうしたハウスではその後に侵入したアブラムシ類には対応できず，5～6 月に農薬散布をせざるを得ない場合があった。

同地域で減農薬栽培に取り組む生産者のうち農薬散布歴の得られた施設について 2～6 月のアブラムシ防除薬剤の全面散布回数を集計した（図 19）。天敵を利用していない施設では平均 1.85 回，アブラバチの接種的放飼をした施設では 1.2 回だったのに対し，バンカー法導入施設では 0.7 回と最も少なくなった（Kruskal-Wallis 検定, $p=0.0181$ ）。

バンカー法を実施した初年度の農薬散布状況別施設割合をみると，農薬無散布あるいは部分散布でどまった事例，すなわち成功事例は，76 カ所中 27 カ所と，36%に過ぎず，成功よりも失敗の方が多い

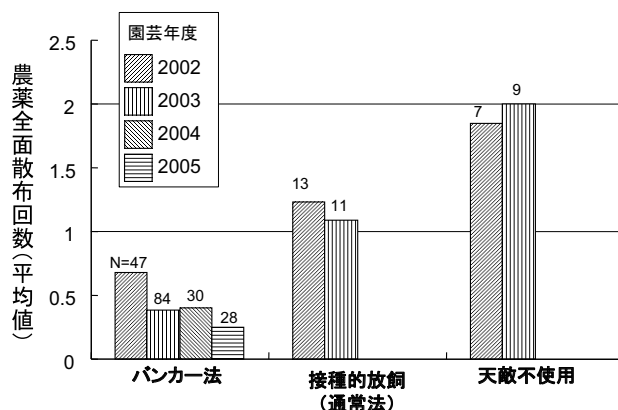


図19 収穫盛期(2～5月)におけるアブラムシ類防除のための農薬全面散布回数 (長坂ら⁽²⁰⁾ 改変)

アブラムシ類防除にできるだけ農薬を使用しないように取り組んだ高知県安芸市のナス・ピーマン等の生産者に対するアンケート調査。2002および2003園芸年度それぞれについて3つの防除法の間で散布回数に有意差が認められる(Kruskal-Wallis検定, $df=2$, $\chi^2=8.027$, $p=0.0181$, および $df=2$, $\chi^2=31.571$, $p=0.0001$)。

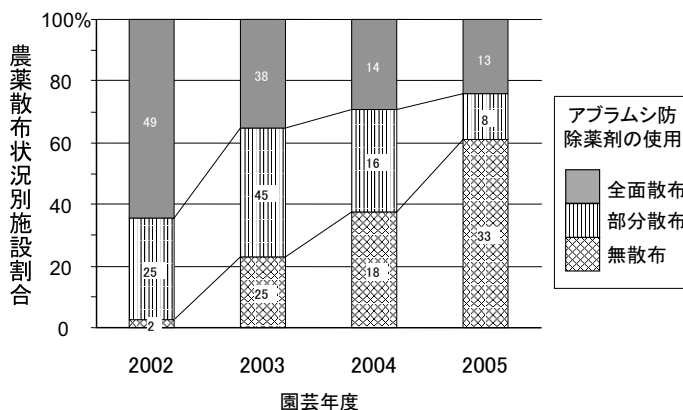


図20 収穫盛期におけるアブラムシ類防除のための農薬散布状況別施設割合の年次変化

収穫盛期(2～5月)でのアブラムシ類防除のための農薬散布状況を巡回での聞き取り,あるいは作期終了後のアンケートにより調査。無散布,部分散布(栽培面積の1/10以下),それ以上の全面散布に分けて,それぞれのカテゴリーの施設の割合を示した。グラフ中の数字は該当施設数。部分散布と無散布が成功と見なせる。年次を追うごとに成功率は上昇している(順序ロジスティック回帰分析, $df=1$, $G=52.076$, $p<0.0001$)。

状況だった(図20)。しかし,バンカー法で農薬散布回数が減少したこと,そして,失敗の原因も特定できたことから,次年度にバンカー法現地試験への協力を得られる施設は増加した。

2) 2年目(2003園芸年度)以降の現地試験結果

2002園芸年度でのバンカー法導入結果を踏まえ,2003園芸年度では以下の改善を試みた。①バンカー設置時期を早めてスケジュールに余裕を持たせる(図16)。すなわち,失敗や多少の遅れが許容されるようにしておく。しかし,設置時期が早すぎて

も,二次寄生蜂により定着できない場合(例えば,図12)があるので,少なくとも天敵の放飼は11月以降(側窓を閉める時期)とする。②バンカー設置箇所数を10aあたり4～6カ所に増やし,配置場所も分散させる。特に,天窓下など冬期のアブラムシ類の侵入口と考えられる場所にバンカーを構える。③バンカーは2～3ヶ月を目途に更新し,ムギクビレアブラムシを適宜追加する。このようにして④バンカーを作る最後まで維持する。⑤農薬散布回数が減少するために,ジャガイモヒゲナガアブラムシやチューリップヒゲナガアブラムシの発生が問題となってくる。これら2種にはコレマンアブラバチ

が寄生しないので、種類を見分けて、農薬の部分散布や捕食性天敵（ショクバタマバエなど）の放飼をおこなう。

以上のことを生産者との勉強会において説明するとともに、写真入りの説明資料を配付し、ハウス内に掲示してもらうことで、導入手順、アブラムシ類の見分け方、天敵と二次寄生蜂の見分け方等の注意事項を周知するよう努めた。また、追加用のムギクビレアブラムシを手軽に入手できるよう、農協の育苗施設に簡単なムギクビレアブラムシ増殖用ケージ（末尾の参考資料参照）を設置し、そこから生産者が適宜ムギクビレアブラムシ付きのムギ苗を持っていけるようにした。こうして、約 150 カ所の施設が春期アブラムシ対策としてバンカー法を試みた。

その結果、2003 園芸年度では、農薬使用が部分散布まででとどまった施設の割合は 2002 園芸年度のおよそ 2 倍の 67% に上昇し、成功事例数も増加した（図 20）。2～5 月のアブラムシ防除薬剤の全面散布回数については、天敵コレマンアブラバチを利用していない施設では 2 回近くだったが、コレマンアブラバチの接種的放飼をした施設では約 1.1 回、そして、バンカー法を導入した施設では 0.4 回と最も少なくなる傾向にあった（図 19）。バンカー法では一部、ショクガタマバエやナミテントウムシが導入されており、単純な比較はできないものの、コレ

マンアブラバチを中心としたバンカー法により、農薬の散布回数が減少したといえる（Kruskal-Wallis 検定、 $p=0.001$ ）。

生産者へのアンケートから、2003 園芸年度のアブラムシ類の発生状況を見ると、ワタアブラムシまたはモモアカアブラムシが見られた施設の割合は約 80% で、前年の巡回調査での結果と同様だった（図 18）。ジャガイモヒゲナガアブラムシあるいはチューリップヒゲナガアブラムシの発生状況も前年同様であった。コレマンアブラバチに寄生する二次寄生蜂を生産者が確認した割合も約 70% で、前年度とほぼ同じであった。従って、2003 園芸年度でバンカー法の成功率が増加したのは、技術上の改善の効果と考えられる。

2003 園芸年度以降のアブラムシ類および二次寄生蜂の発生状況を巡回調査の結果で見ると、ワタアブラムシの季節消長は、秋に多く、徐々に減少していくパターンであるが（図 21）、2004 年園芸年度のみは、春までワタアブラムシの発生が続き、全体としても発生が多かった。モモアカアブラムシも 2004 年度には多かった。アンケート調査で生産者による観察結果を見ても、2004 年度はアブラムシ類の発生の多い年といえる（図 18）。ワタアブラムシとモモアカアブラムシの他にも、ジャガイモヒゲナガアブラムシの発生が目立っていた（図 18, 図 21）。ジャ

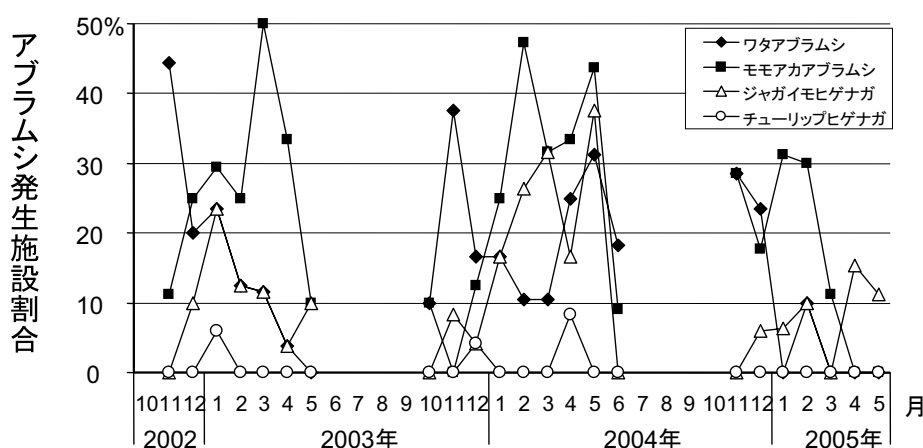


図 21 巡回調査でアブラムシ類を確認した施設の割合の推移

高知県安芸市、南国市などでバンカー法を実施しているナス科果菜類栽培施設。調査施設数は 1 ヶ月あたり 9～27 箇所。ワタアブラムシの発生施設割合は園芸年度、月およびその交互作用で有意差が認められる（ロジスティック回帰分析、園芸年度： $df=2$, $G=12.194$, $p=0.0022$, 月： $df=1$, $G=19.342$, $p<0.0001$, 交互作用： $df=2$, $G=14.580$, $p=0.0007$ ）。モモアカアブラムシの発生施設割合には園芸年度と月との交互作用に有意差が認められる（園芸年度： $df=2$, $G=5.519$, $p=0.0633$, 月： $df=1$, $G=0.399$, $p=0.5274$, 交互作用： $df=2$, $G=11.576$, $p=0.0031$ ）。ジャガイモヒゲナガアブラムシとチューリップヒゲナガアブラムシの発生施設割合には園芸年度間および月間で有意差は認められない（交互作用を除外したロジスティック回帰分析、ジャガイモヒゲナガアブラムシ： $df=2$, $G=5.039$, $p=0.0805$, および $df=1$, $G=3.712$, $p=0.0540$; チューリップヒゲナガアブラムシ： $df=2$, $G=1.753$, $p=0.4161$, および $df=1$, $G=0.056$, $p=0.8134$ ）。

ガイモヒゲナガアブラムシにはコレマンアブラバチが寄生しないため、薬剤散布をするか、あらかじめショクガタマバエなど捕食性天敵を放飼しておく必要があった。一方、チューリップヒゲナガアブラムシが発生した施設割合には年次間でも季節間でも大きな違いは認められなかった(図21)。

二次寄生蜂の発生は、作の後半に増加していく傾向であった(図22)。特に、バンカーから羽化する

二次寄生蜂が一次寄生蜂よりも多くなった施設(二次寄生蜂が50%以上)の割合は、2004園芸年度で高い傾向にあった。二次寄生蜂が多くなった場合にも、バンカー法の効果が低下すると考えられる(第三章参照)。

実際に巡回調査の結果から、バンカー法ではアブラムシ類の増殖を抑えきれず、薬剤の全面散布を実施した施設の割合を見ると、作の後半になるに従っ

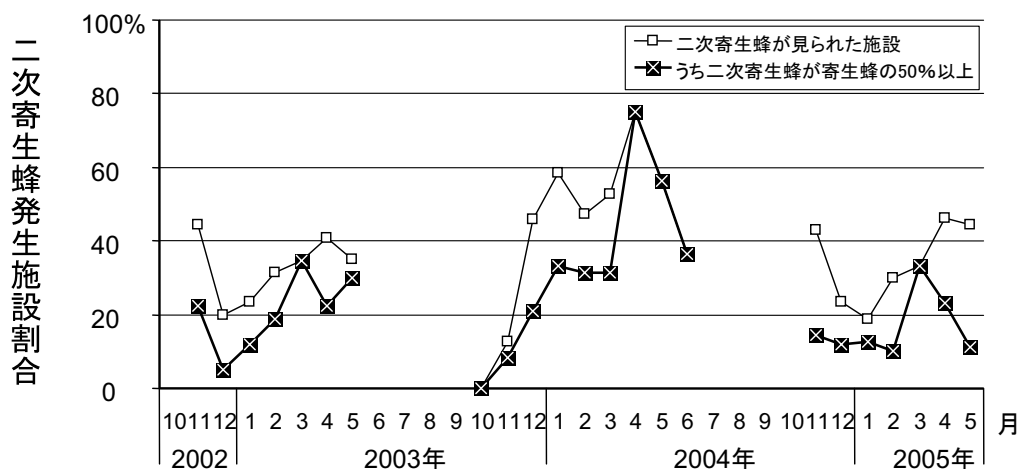


図22 巡回時のサンプリング調査による二次寄生蜂発生施設割合の推移

高知県安芸市、南国市などでバンカー法を実施しているナス科果菜類栽培施設を月あたり9～27箇所調査。二次寄生蜂の確認された施設の割合は、園芸年度間で有意差は認められない(ロジスティック回帰分析, $df=2$, $G=5.716$, $p=0.0752$)が、月により有意に変動している($df=1$, $G=12.532$, $p=0.0004$)。50%以上が二次寄生蜂であった施設の割合は園芸年度間でも、月間でも有意な違いが認められた(それぞれ, $df=2$, $G=8.505$, $p=0.0142$; $df=1$, $G=21.617$, $p<0.0001$)。

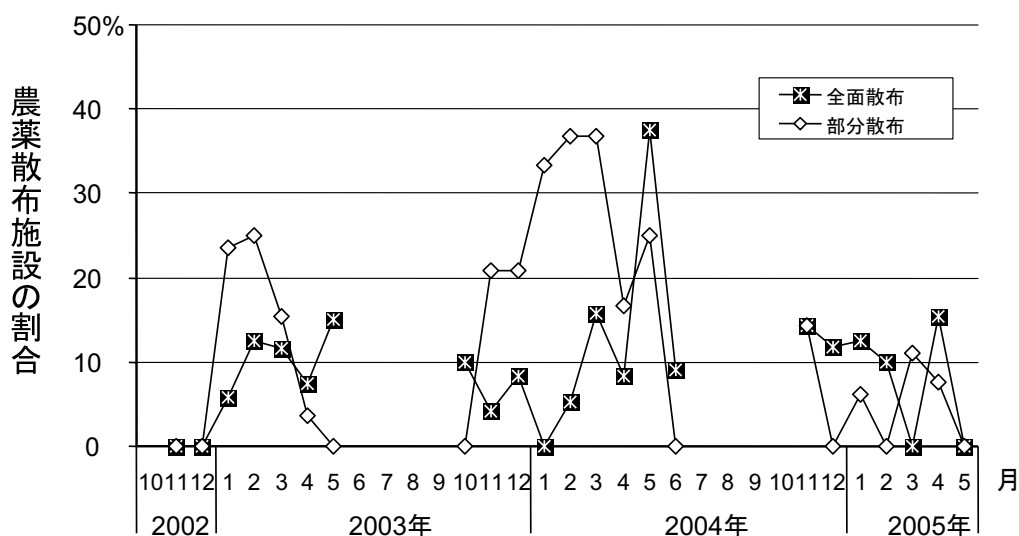


図23 巡回調査でアブラムシ類への農業散布を確認した施設の割合の推移

高知県安芸市、南国市などでバンカー法を実施しているナス科果菜類栽培施設を月あたり9～27箇所調査。全面散布を実施した施設の割合は園芸年度間では有意差が認められないが、月間では有意に変動している(ロジスティック回帰分析, それぞれ, $df=2$, $G=1.301$, $p=0.5218$; $df=1$, $G=5.538$, $p=0.0186$)。部分散布を実施した施設の割合は園芸年度間で有意に異なり、月による変動は認められない(それぞれ, $df=2$, $G=15.965$, $p=0.0003$; $df=1$, $G=0.008$, $p=0.9298$)。

て増加する傾向であった（図 23）。ただし、年次間での違いは認められなかった。薬剤の部分散布を実施した施設の割合は 2004 園芸年度で高かった（図 23）。この年には、先に述べたようにワタアブラムシ、モモアカアブラムシ、ジャガイモヒゲナガアブラムシ、二次寄生蜂の発生が多かった。バンカー法に取り組んで 3 年目にあたるこの年には、生産者の観察力は十分鍛えられており、アブラムシの種類や増殖の様子を見るだけでなく、寄生蜂も一次と二次の区別ができるようになっていた。全面散布が必要なほどアブラムシ類が蔓延する前に、部分散布で処理していた様子がわかる。

こうした状況の中で、2004 および 2005 園芸年度においても、バンカー法に成功する施設（農薬無散布と部分散布）の割合は 70% 程度に保たれていた（図 20）。このことから、バンカー法技術が一定レベルに達したと見ることができる。

3) 二次寄生蜂の発生状況

バンカー法では長期間天敵を維持し、施設内に放飼することを目的とするため、二次寄生蜂が侵入するとその比率が時間とともに増加し（図 12, 図 14, 図 22）、結局害虫防除に必要な天敵量を維持できない場合がある（図 13）。そして、実際の生産現場においても、バンカー法失敗の原因となっている可能性があった（表 9）。そこで、生産者がバンカー法を続けていって、そのまま収穫盛期での農薬全面散布（＝バンカー法失敗）を避けられるかどうかについて 40 事例をもとに検討した。これらの事例では、二次寄生蜂の比率を推定するためのサンプルが部分的に欠損していたり、あるいはハウスあたりの標本数が 10 以下であったりと、やや厳密さに欠ける面はあるものの、ある程度の連続した履歴が得られていた。

これらの事例を解釈するにあたって、実験圃場での事例（図 12, 図 14）を参考にすると、バンカー法による防除に成功したハウスと、失敗したハウスでは 3 月以前の二次寄生蜂の割合に違いがあった。また、巡回調査で見ると、二次寄生蜂が 50% を越える施設の割合が作の終わりに向かって増加していく（図 22）のと同様に、全面散布を実施した施設の割合も増加する傾向にあった（図 23）。そこで、わかりやすい基準として、3 月まで二次寄生蜂が 50% 未満かどうかで、防除の成否が分かれたと仮定

した。

二次寄生蜂の発生推移が把握できた現地実証試験の 40 事例では、バンカーから羽化する寄生蜂のうち二次寄生蜂の比率が 3 月時点までで 50% 未満か、それ以上かで、後の農薬散布状況が有意に異なった（順序ロジスティック回帰分析、 $p=0.0013$ ）。3 月まで二次寄生蜂が 50% 未満の施設 22 事例では、54% の施設が農薬無散布、23% が部分散布、残りの 23% が全面散布だった（図 24）。ここで全面散布 5 例のうち 1 例はコレマンアブラバチが寄生できないジャガイモヒゲナガアブラムシの発生による農薬全面散布だった。3 例は 5 月、6 月に入ってから農薬散布であった。こうした遅い時期では、バンカー法の役割はすでに終わっている。つまり、アザミウマ防除のための天敵タイリクヒメハナカメムシの温存はすでに必要ではなく、果実への外観上の被害で採算がとれなくなった時点で作を終える。

一方、3 月までに二次寄生蜂が 50% 以上の比率となっていた 18 事例では、66% の割合で農薬全面散布に至った。こうした施設では二次寄生蜂の比率が 50% を越えて 2 ヶ月程度以内に農薬の全面散布が実施されていた。一方、部分散布あるいは無散布で対応できた施設では、ショクガタマバエを併用した場合（無散布）や、アブラムシ類を注意深く観察して対応した場合（部分散布）だった。

このように、バンカー上で二次寄生蜂の比率が 50% を超えたら、要注意といえる。生産施設内での二次寄生蜂の発生の確認は、バンカー上で寄生蜂

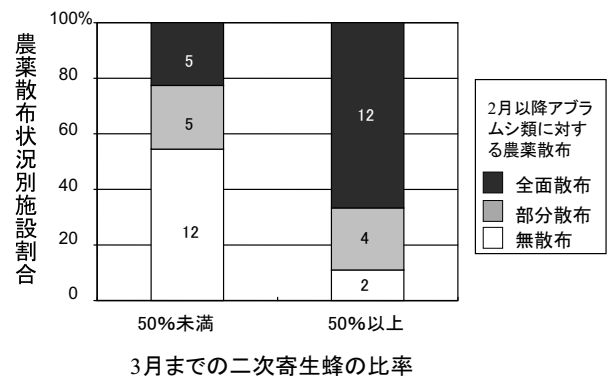


図 24 3 月までのバンカー上で二次寄生蜂の発生状況による 2 月以降のアブラムシ類に対する農薬散布

防除成功（無散布および部分散布）と失敗（全面散布）の比率は、二次寄生蜂 50% 「以上」と「未満」の間で有意に異なる（順序ロジスティック回帰分析、 $df=1$ 、 $G=10.402$ 、 $p=0.0013$ ）。グラフ中の数字は該当施設数。

成虫を見分けるか、あるいはマミーから蜂が羽化した後の穴の形状を観察することにより可能である(末尾の参考資料参照)。そして、生産者が実際に二次寄生蜂の比率を大雑把に認識できることも巡回調査の中で確認できた。

4) バンカー法の普及状況

技術の普及にあたっては必要経費と労力が問題となることがある。バンカー法技術の場合は、後述のように、これらに特別な配慮なしに普及していった。バンカー法実施にあたっての資材費(2004年1月現在の価格)は表10にあげたとおり、ほとんどは天敵および代替寄主の費用である。實際上、プランターや土、肥料などはいり合わせのものでかまわない。また、生産部会などで一斉に実施する場合には、代替寄主の費用は共同で負担することにより軽減できる。一方、バンカー管理にかかる労働時間としては、ムギの播種や天敵放飼に数十分を要することがあるかもしれないが、そのほかの通常の管理は収穫作業や圃場管理のついでに見て回ればすむ程度である。灌水も作物と同時に済ませられるよう、場所や灌水装置を工夫すれば良い。

こうした経費と労力に対して、収穫盛期(2～5

月)の農薬散布回数は、平均的には、天敵不使用にくらべて1.5回減少、通常为天敵放飼法(接種的放飼)に比べて0.8回程度減少する(図19、いずれも減農薬の努力をしている施設)。これらバンカー法現地試験に協力してもらった生産者へのアンケートでは、防除効果についても、労力軽減効果についても、良い、または大変良いとの回答が80%以上にのぼった(図25)。そして、農薬無散布で防除できた施設の割合と呼応するように、労力軽減効果について大変良いという評価も有意に増加した。なお、2004～2005園芸年度については、安芸市だけでなく、後述のように南国市、高知市、土佐市などの生産者も含まれている。

高知県内でのバンカー法の普及は、筆者らの巡回調査の中で、地区担当普及員および基幹的生産者に経験を伝える形で実施していった。方法で述べたように、2002園芸年度では76カ所、2003園芸年度では約150カ所であったが、その後、2005園芸年度では高知県内4つの地区で226戸、推計59.6haとなった(表11)。この間、2004園芸年度には、JA土佐あきの「ハウス野菜栽培管理ごよみ」にバンカー法によるアブラムシ防除スケジュールを紹介した。また、安芸農業改良普及センターの「天敵利用虎の巻」

表10 バンカー法実施に必要な資材費(10aあたり)

資材名	1単位あたりの価格 (円)	10aあたり 必要数	必要回数	経費 (円)	備考
圃場に設置するバンカーの資材					
ムギ類種子	4.75	4	3	57	1カ所あたり5g、3回分
プランター	200	4	1	800	土は畑の土を利用
天敵(コレマニアブラバチ)	6720	1	1	6720	メーカー、地域によって異なる
代替寄主(ムギクビレアブラムシ)	5825	1	1	5825	同上、代替寄主を共同管理する場合は経費を軽減できる
接種・追加用ムギクビレアブラムシ生産資材*					
土	12.6	1	36	452	育苗用培土250ml
ビニールポット				0	購入苗の育苗ポット再利用
液肥	0.085	7	36	21	毎日灌水
ムギ類種子	0.95	1	36	34	1g/1ポット
合計				13909	円

※ 2004年1月現在、京都府綾部市での価格をもとに計算

* 追加用ムギクビレアブラムシは、維持も兼ねて毎週1ポット分生産。10aあたり4カ所のバンカーに順に月1回補給する。36週分。

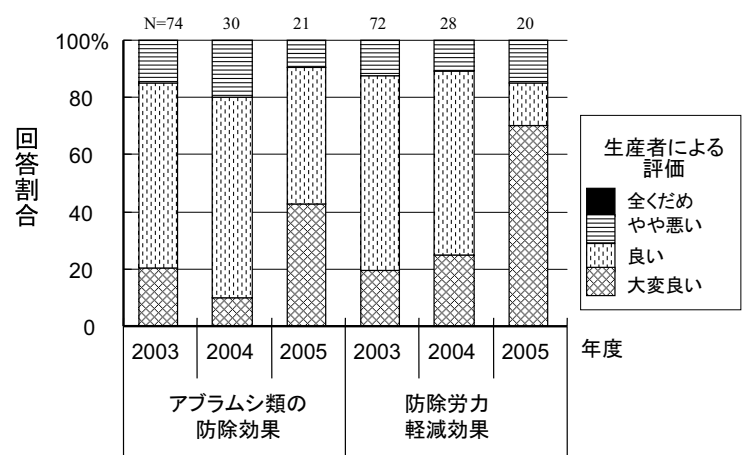


図 25 バンカー法によるアブラムシ防除効果と防除労力軽減効果についての生産者による評価 (長坂ら (21) 改変)
バンカー法を実施した生産者へのアンケート調査の結果。年次は園芸年度。防除効果の評価については園芸年度間で有意差は認められない (順序ロジスティック回帰分析, $df=1$, $G=1.675$, $p=0.1956$)。労力軽減効果には園芸年度間で有意差が認められる ($df=1$, $G=10.339$, $p=0.0013$)。

表 11 高知県下におけるバンカー法の普及状況

園芸年度	地区	戸数	推定面積 (a)	作目例
2002	安芸	76	1247	ナス、ピーマン、シシトウ、米ナス、パプリカ
2003	安芸	150	-	同上
2005	安芸	190	5320	同上
	中央	2	30	シシトウ
	高知	26	520	ピーマン、シシトウ
	土佐西	8	90	ピーマン、シシトウ
	計	226	5960	
2007	安芸	20	600	2002 に同じ
	中央	2	30	シシトウ
	高知	20	420	ピーマン、シシトウ
	土佐西	13	262	ピーマン、シシトウ
	計	55	1312	

にも手順を掲載した。近畿中国四国研究センターにおいては、2005 年に「バンカー法技術マニュアル (技術者用)」の冊子を作成し、高知県を中心に配布するとともに、web 上に公開し、普及を図ってきた。

しかし、高知県内において 2005 園芸年度に 200 戸を超えていた普及範囲が 2007 園芸年度では 55 戸、13.1ha へと減少した。この原因はタバココナジラミバイオタイプ Q の発生である。すなわち、この新たな害虫に対して農薬散布が必要となったため、タイリクヒメハナカメムシなどの天敵を維持することが困難となり、農薬中心の防除に戻ってしまったためである。主要害虫をセットにして総合的に防除技

術を組み立てる必要があるという、天敵利用を基幹技術とした IPM の難しさがここに現れている。

一方、高知県以外では、福岡県においては同時期から筆者らの研究とは独立してナス栽培施設でのバンカー法の検討がなされてきた。鹿児島県ではピーマンの IPM に組み込むため、工夫を加えたバンカー法を試みている (柿元, 私信)。ナス科野菜以外では、イチゴ施設での活用の取り組み (例えば、岐阜県 (松尾⁽¹⁴⁾)、福岡県・宮城県 (柳田ら⁽⁵²⁾)、三重県 (西野・川端, 私信)、栃木県 (西村, 私信)) や、夏季のトマト施設での試み (青森県 (伊藤, 私信)) など、活用範囲が拡大されているところである。

V. 総合考察

バンカー法はヨーロッパで実用化されてきた方法であるが、栽培環境の大きく異なる日本においても有効な方法であることが、一連の室内実験、圃場試験、現地実証試験から明らかとなった。バンカー法は比較的低温の環境でも機能し、日本の促成栽培における IPM 技術にも矛盾無く組み込むことができた。

一方、コレマンアブラバチを用いたバンカー法の問題点も明らかとなった。ジャガイモヒゲナガアブラムシとチューリップヒゲナガアブラムシ、そして二次寄生蜂の存在である。ジャガイモヒゲナガアブラムシとチューリップヒゲナガアブラムシは、ワタアブラムシやモモアカアブラムシに対して定期的に薬剤を散布していたときには問題とはならなかった。しかし、バンカー法により薬剤散布回数が減少すると、両種が顕在化した。一方、バンカー法では長期間天敵を維持しているため、天敵の天敵にあたる二次寄生蜂が侵入した場合には、それを温存し、時間とともに増加させることとなり、結局、十分量の天敵を継続的に放飼するというバンカー法の機能を損なう結果となることがあった。

これらへの対策としては、van Steenis⁽⁵⁰⁾ が指摘し、ヨーロッパで実施されているように、ショクガタマバエなどの捕食者をバンカーで併用する方法 (Bennison⁽²⁾, Bennison and Corless⁽³⁾) が有効であろう。実際に、2004 園芸年度以降はショクガタマバエの利用を現地において検討していった (図 26)。そして、二次寄生蜂が高率になったにもかかわらず、バンカー法でアブラムシ類の防除に成功した施設 (図 24) では、ショクガタマバエを併用し、真冬 (12～2月) 以外はその存在が確認されていた。ただし、ショクガタマバエの管理はコレマンアブラバチよりも難しく、休眠性もあるため、現在、近畿中国四国農業研究センターで利用法の詳細を検討しているところである。

以上本研究で明らかにしてきたことは、「アブラムシ対策としてのバンカー法技術マニュアル (技術者用)」 (http://wenarc.naro.affrc.go.jp/tech-i/banker_tech.pdf (2009 年 11 月現在)) で公開・解説している。また、この内容の簡略版を一般技術普及雑誌等でも紹介している (例えば、長坂^(22,23))。今後、各

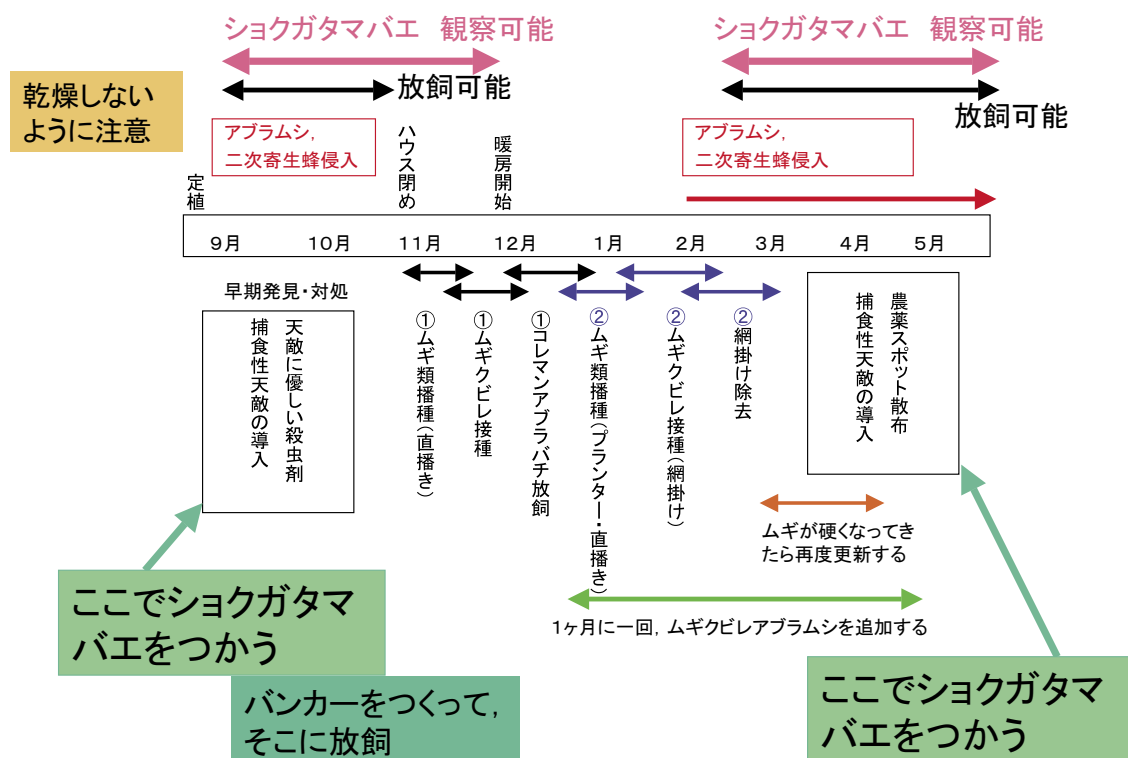


図 26 ショクガタマバエを加えたバンカー法導入スケジュール (2004 園芸年度生産者配付資料の一部)

地の施設栽培において、各種害虫に総合的に対処する IPM 技術の組み立ての中で、アブラムシ対策技術として有効に利用されていくと期待できる。しかし、マニュアルで示したことは基本的なことであり、作目や作型、生産者の状況に適合した技術に改変していく必要がある。そのとき、大切なのは、技術を使う人と、広める人、そして研究する人の協力である。生産者の参加の下で地域に適合した形へとバンカー法が発展していくことを願うものである。

一方、ここで用いたコレマンアブラバチは導入天敵であり、日本への導入の初期には在来種への影響が懸念されていた (Takada⁽⁴¹⁾)。ショクガタマバエに関しても、製剤化されているものは海外系統であると考えられる (Shirota et al.⁽³⁶⁾)。この研究を始めた当時は、化学合成農薬に代わる防除技術として天敵を使いやすくすることが重要という認識で、技術

の実用化研究を進めてきた。10 年経過した現在では、天敵利用はある程度普及し、また導入生物の環境への影響についての認識も浸透した。そして、日本在来の天敵の製剤化もなされるようになった。アブラバチ類に関しては、日本在来のギフアブラバチ (太田⁽²⁹⁾) やダイコンアブラバチ (長坂ら⁽⁴⁹⁾) でバンカー法が検討されている。アブラコバチ類についても在来系統の製剤化とバンカー法が検討されている (巽ら⁽⁴⁴⁾)。また、ショクガタマバエについても国内系統の育成が始まっている (安部ら⁽⁴¹⁾)。

こうした日本在来の天敵を用いたアブラムシ対策としてのバンカー法だけでなく、別の害虫に対する別の在来天敵を使ったバンカー法の開発も必要とされている。そのときに、本稿に記したコレマンアブラバチを用いたバンカー法の検討過程が、効率的な研究開発に資することを期待する次第である。

謝 辞

この研究を開始するにあたり、中央農業総合研究センターの矢野栄二博士 (現在、近畿大学) から、当時では稀少な関連文献をご紹介いただくとともに、有益なご助言をいただいた。そして、本稿に対してもご指導をいただいた。また、アブラバチ類ならびにそれに寄生する二次寄生蜂については、当時、京都府立大学の高田肇教授から懇切なご指導をいただいた。本課題遂行中には、長坂がアメリカへの留学や綾部への転勤を経験したにもかかわらず、IPM プロジェクト、ナスサブチームの皆様 (九州大学：高木正見教授、(当時) 高知県農業技術センター：高井幹夫氏、(当時) 野菜茶業研究所：浜村徹三博士) には暖かく支えていただいた。近畿中国四国農業研究センター総合研究第 4 チーム在籍時には、本務の

地域総合研究と両立できるよう野菜部四方平和部長 (現在、生物系特定産業技術研究支援センター)、ならびに故田中和夫博士、尾島一史氏、および、桑田将能氏はじめとする業務科の皆様に多大なご協力をいただいた。また、本稿とりまとめに際しては、中央農業総合研究センター、総合的害虫管理研究チームの守屋成一チーム長をはじめとする諸氏から貴重なご意見をいただいた。特に光永貴之博士にはデータの統計処理についての相談に多くの時間を割いていただいた。最後に、多くの生産者の皆様、ならびに塹江まほ氏をはじめとする普及センターの皆様から多大なるご協力をいただいたおかげで、この仕事を成し得ることができた。これらの皆様に心より感謝申し上げたい。

摘 要

日本の促成栽培施設において試みられている天敵利用を基幹技術とした IPM 構築に資することのできる個別技術として、アブラムシ対策としてのバンカー法の実用化研究を実施した。バンカー法では、害虫とはならない天敵の代替餌 (代替寄主) をその寄主植物とともに導入し、そこで天敵を維持・増殖しておく開放型飼育システムを用いて、施設内での

害虫の発生前から天敵を長期継続的に放飼する。害虫侵入直後の低密度の状態で天敵を働かせることができるため、安定した防除効果が期待できる。アブラムシ対策としてのバンカー法には、ヨーロッパですでに実用化されている方法がある。ムギ類で維持する代替寄主ムギクビレアブラムシを用いて、天敵コレマンアブラバチを維持しつつ、ハウス内に継続

的に放飼する方法である。この方法を、日本の栽培環境や作業者の状況に適合した形に改変し、普及技術とすることが、本研究の目的である。

日本の促成栽培では冬期を経るところがヨーロッパでの栽培と大きく異なっているため、天敵を利用する場合には低温と休眠性が問題となる場合がある。この点について、室内実験および圃場試験で確認したところ、コレマンアブラバチは15℃の条件でも十分増殖し、実際に秋期の無加温ハウス内でも世代間増殖率は約50倍であった。また、害虫であるワタアブラムシと代替寄主であるムギクビレアブラムシへのコレマンアブラバチによる選好性を比較したところ、小さな空間ではほぼ同等であるが、広い空間では害虫の方を好むことがわかり、この系は天敵維持と害虫防除に都合の良いことが支持された。そして、50m²の実験ハウスにおいて、ナス上のワタアブラムシに対する防除効果を、バンカー法での天敵放飼、接種的天敵放飼(通常的天敵放飼法)、天敵無放飼で比較したところ、促成栽培でアブラムシ類が問題となる秋期、春期ともにバンカー法で最も害虫密度を抑えることができた。また、秋期から春期まで作を通してバンカー法を継続した場合には、天敵コレマンアブラバチに寄生する二次寄生蜂が春に向かって増加し、アブラムシ防除に失敗する場合があることも、実験圃場で確認した。

高知県のナス・ピーマン産地では天敵利用を基幹技術としたIPMを模索していたので、ここにアブラムシ対策としてのバンカー法を組み込むための現地実証試験を、10a規模の生産施設70カ所以上の協

力を得て実施した。収穫盛期にあたる2月から5月において、アブラムシ防除薬剤散布を部分散布(施設面積の1/10以下の散布)に抑えることができれば、バンカー法による防除が成功したと見なした。1年目の試行では、成功は1/3の施設でしか得られなかった。失敗の主な原因は①バンカー法の実施スケジュールがタイトであったこと、②二次寄生蜂の発生、③コレマンアブラバチが寄生できないジャガイモヒゲナガアブラムシ等の発生、④バンカーの設置箇所数の不足であった。特に、二次寄生蜂については、3月よりも前にバンカー上での全寄生蜂の50%以上を占める状況となった場合には、バンカー法に失敗する確率が高まることもわかった。こうした問題点に対して、①導入に1ヶ月余裕を持ったスケジュールとし、②アブラムシの種類を見分け、そのコロニーの拡大の様子を観察して、必要に応じて部分散布等を行うこと、③バンカーを10aあたり4カ所以上設置するといった対応策を採った。その結果、2年目以降の試行では、成功する施設が2/3以上となった。

こうした取り組みの結果、バンカー法によるアブラムシ類防除の効果、ならびに労力軽減効果について、生産者の8割以上が満足する技術となった。この技術によりアブラムシ類への農薬の散布量を減少させることが可能となった。バンカー法は、天敵を安定して利用できる環境づくりに寄与することから、ナス・ピーマンにとどまらず、他の施設野菜においても天敵利用を基幹技術としたIPM構築に活用され始めている。

引用文献

1. 安部順一郎, 菖蒲めぐみ, 熊倉裕史 (2008) ワタアブラムシを使ったシヨクガタマバエ(双翅目:タマバエ科)の簡易飼育法. 近中四農研報 7:109-118
2. Bennison, J.A. (1992) Biological control of aphids on cucumbers: use of open rearing systems or "Banker plants" to aid establishment of *Aphidius matricariae* and *Aphidoletes aphidimyza*. *Med. Gac. Landbouww. Univ. Gent.* 57/2B: 457-466
3. Bennison, J. A. and S. P. Corless (1993) Biological control of aphids on cucumbers: Further development of open rearing units or "banker plants" to aid establishment of aphid natural enemies. *Bull. IOBC/WPRS* 16: 5-8
4. Elliott, N.C., B.W. French, J.D. Burd, S. D. Kindler, and K. Reed (1994) Parasitism, adult emergence, sex ratio, and size of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) on several aphid species. *Great Lakes Entomol.* 27: 137-142
5. FAO (1966) Report of the FAO/UNEP panel of

- experts on integrated pest control 1965, Rome. Part1 ; 91pp; Part 2, 186pp ; Part 3, 129p.
6. 深谷昌次・桐谷圭二編 (1973) 総合防除 講談社 415p.
 7. Frank, S.D. (2010) Biological control of arthropod pests using banker plant systems: Past progress and future directions. *Biol. Control* 52:8-16.
 8. Grasswitz, T. R. and B. D. Reese (1998) Biology and host selection behaviour of the aphid hyperparasitoid *Alloxysta victrix* in association with the primary parasitoid *Aphidius colemani* and the host aphid *Myzus persicae*. *BioControl* 43:26-271.
 9. Hansen, L.S. (1983) Introduction of *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) (Diptera: Cecidomyiidae) from an open rearing unit for the control of aphids in glasshouses. *Bull. IOBC/WPRS* 6:146-150
 10. Hoddle, M.S., R.G. van Drieshe, and J.P. Sanderson (1998) Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 645-669
 11. Jacobson, B.J. and P. Croft (1998) Strategies for the control of *Aphis gossypii* Glover (Hom.: Aphididae) with *Aphidius colemani* Viereck (Hym.: Braconidae) in protected cucumbers. *Biocontrol Sci. Techn.* 8:377-387
 12. Kim, Y.H. and J.H. Kim (2003) Biological control of aphids on cucumber in plastic greenhouses using banker plants. *Korean J. Appl. Entomol.* 42:81-84
 13. Langhof, M., R. Meyhoefer, H-M. Poehling and A. Gathmann (2005) Measuring the field dispersal of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae). *Agr. Ecosyst. Environ.* 107:137-143
 14. 松尾尚典 (2003) バンカープラントによるイチゴのワタアブラムシ防除. 植物防疫 57:369-372
 15. 宮井俊一 (2008) IPM の取り組みの現状と今後の展望. 今月の農業特別増大号 : 18-22.
 16. 村井保 (1998) 天敵利用としてのバンカープラント法. 天敵利用通信 3:10-14
 17. 長坂幸吉 (2004) “天敵バンカー法を核としたアブラムシ・アザミウマ類等害虫群の総合防除技術の確立”, “天敵, バンカー植物による害虫防除技術の実証”. プロジェクト研究成果「環境負荷低減のための病害虫群高度管理技術の開発」, 中央農研, 101-104, 117-119
 18. 長坂幸吉・大矢慎吾 (2003) バンカー植物の活用 - アブラバチ類 -. 植物防疫 57:505-509
 19. 長坂幸吉, 安部順一朗, 萩森学, 尾島一史, 田中和夫, 巽えり子, 高田肇 (2004) 無農薬栽培コマツナの害虫に対する防草用シートと天敵バンカー法の効果. http://www.affrc.go.jp/ja/agropedia/seika/data_common/h16/kinki/ki04021
 20. 長坂幸吉・岡林俊宏・高橋尚之・安部順一朗・大矢慎吾 (2006) コレマンアブラバチを用いたバンカー法によるナス科施設野菜のアブラムシ防除. 農業技術 61 : 196-200
 21. 長坂幸吉・高橋尚之・岡林俊宏 (2007) バンカー法によるアブラムシ対策. 技術と普及 44:32-37
 22. 長坂幸吉 (2007) 施設野菜のモモアカアブラムシ・ワタアブラムシ防除のためのバンカー法マニュアル. 農薬ガイド 113 : 5-8.
 23. 長坂幸吉 (2009) 施設ナス・ピーマンでのバンカー法の実践. 農業総覧 病害虫防除・資材編 (農文協) 追録 14 号 第 10 巻 982 の 6-13
 24. 中筋房夫 (1997) 総合的害虫管理学 養賢堂 273p.
 25. 根本久 (1998a) ショクガタマバエ. 農業総覧病害虫防除資材編 11:93-99
 26. 根本久 (1998b) コレマンアブラバチ. 農業総覧病害虫防除資材編 11:111-116
 27. Ode P.J., K.R. Hopper and M. Coll (2005) Oviposition vs. offspring fitness in *Aphidius colemani* parasitizing different aphid species. *Entomol. Exp. Appl.* 115:303-310
 28. 大野和朗 (2009) “土着天敵保護による生物的防除.” バイオロジカル・コントローラー害虫管理と天敵の生物学 - (仲井まどか・大野和朗・田中利治編) 朝倉書店 51-65
 29. 太田泉 (2009) “将来技術 土着天敵寄生蜂ギフアブラバチとバンカー法を活用した施設ナス等のジャガイモヒゲナガアブラムシの防除.” 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, 中央農研, 104-107
 30. Ohta, I. and M. Ohtaishi (2006) Effect of low temperature and short day length exposure on the development of *Aphidius gifuensis* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae). *Appl. Entomol. Zool.*

- 41:555-559
31. 大矢慎吾・長坂幸吉 (2002) 天敵・バンカー植物法による施設ナスのアブラムシ防除. http://www.affrc.go.jp/ja/agropedia/seika/data_kinki/h13/kinki01018
 32. 小宅要 (2006) ソルゴー障壁栽培でアザミウマ, アブラムシ防除が三分の一. 現代農業 2006.6: 106-111
 33. Ramakers, P.M.J. and S.J.P. Voet (1996) Introduction of *Amblyseius degenerans* for thrips control in sweet peppers with potted castor beans as banker plants. *Bull. IOBC/WPRS* 19:127-130
 34. 佐藤佳郎・高田肇・片山順 (1998) コレマンアブラバチとショクガタマバエ放飼によるハウスキュウリのワタアブラムシ防除試験. 京都府立大学学術報告 人間環境学・農学 50:75-86
 35. Sampaio, M.V., V.H.P. Bueno, S. M.M. Rodrigues, M.C.M. Soglia and B. De Conti (2007) Development of *Aphidius colemani* Viereck (Hym.: Braconidae, Aphidiinae) and alterations caused by the parasitism in the host *Aphis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae) in different temperatures. *Neotrop. Entomol.* 36:436-444 (in Portuguese with English summary)
 36. Shirota, Y., K. Iituka, J. Asano, J. Abe and J. Yukawa (1999) Intraspecific variations of mitochondrial cytochrome oxidase I sequence in an aphidophagous species, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Entomol. Sci.* 2:209-215.
 37. 宗林正人 (2003) “ムギクビレアブラムシ” 日本農業害虫大事典 (梅谷献二・岡田利承編) 全国農村教育協会 p.65
 38. Stacey, D.L. (1977) ‘Banker’ plant production of *Encarsia formosa* Gahan and its use in the control of glass house whitefly on tomatoes. *Pl. Path.* 26: 63-66.
 39. Stráý, P. (1975) *Aphidius colemani* Viereck: its taxonomy, distribution and host range (Hymenoptera, Aphidiidae). *Acta Entomol. Bohemos.* 72: 156-163
 40. Sullivan, D.J. (1987) Insect Hyperparasitism. *Annu. Rev. Entomol.* 32:49-70
 41. Takada H. (1998) A review of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae; Aphidiinae) and closely related species indigenous to Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 33: 59-66
 42. 高田肇 (2001) アブラムシとその寄生蜂 (3) コレマンアブラバチとエルビアブラバチ. トーメン農業ガイド 98b (http://www.agrofrontier.com/guide/t_98b.htm)
 43. 高田肇・巽えり子 (2002) アブラムシの一次および二次捕食寄生バチ. 植物防疫 56:415-420
 44. 巽えり子・新井絵美・長坂幸吉・高田肇 (2003) ハウス栽培コマツナにおけるアブラムシの生物的防除の可能性 I. アブラムシとその天敵昆虫の発消長ならびに天敵昆虫放飼による防除効果. 京都府立大学学術報告 人間環境学・農 55: 87-100
 45. van der Linden, A. (1993) Development of an IPM program in leafy and tuberous crops with *Liriomyza huidobrensis* as a key pest. *Bull. IOBC/WPRS* 16: 93-95
 46. van Drieshe, R.G., S. Lyon, J.P. Sanderson, K.C. Bennet, E.J. III Tanek, R. Zhang (2008) Greenhouse trials of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae) banker plants for control of aphids (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse spring floral crops. *FLA Entomol.* 91:583-591
 47. van Lenteren, J.C. (1995) “Integrated pest management in protected crops.” Integrated Pest Management. D. Dent ed. Chapman & Hall, London, 311-343.
 48. van Lenteren, J.C. and J. Woes (1988) Biological and integrated pest control in greenhouses. *Ann. Rev. Entomol.* 33:239-269
 49. van Steenis, M.J. (1993) Intrinsic rate of increase of *Aphidius colemani* Vier. (Hym., Braconidae), a parasitoid of *Aphis gossypii* Glov. (Hom., Aphididae), at different temperatures. *J. Appl. Entomol.* 116:192-198
 50. van Steenis, M.J. (1995) Evaluation and application of parasitoids of biological control of *Aphis gossypii* in glasshouse cucumber crops. PhD thesis, Wageningen Agricultural Univ. 215p.
 51. Walters, K.F.A. and N.V. Hardwick (2000) “Principles of Pest and Disease Management in Crop Protection.” Pest and Disease Management

Handbook Alford, D. V. ed. Blackwell Science, London, 1-18.

52. 柳田裕紹・嶽本弘之・浦広幸・森田茂樹・宮田將秀・増田俊雄・柏尾具俊（2009）“施設イチゴの IPM 最新技術コレマンアブラバチを利用したアブラムシ類の IPM 体系.” 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, 中央農研, 74-76
53. 矢野栄二 (1998) ヨーロッパにおけるバンカープラントの利用の歴史と現状. 天敵利用通信 3:14.
54. 矢野栄二 (2003) 天敵, 生態と利用技術. 養賢堂 296p.
55. Yano, E. (2006) Ecological considerations for biological control of aphids in protected culture. *Popul. Ecol.* 48:333-339.

Development of a Practical Banker Plant System for Aphid Control in Commercial Greenhouse Crops in Japan

Koukichi NAGASAKA*, Naoyuki TAKAHASHI*², Toshihiro OKABAYASHI*³,
Junichiro ABE*⁴ and Singo OHYA*⁵

Abstract

A banker plant system can provide a continuous reservoir of natural enemies in advance of an outbreak of the target pest. In Europe, wheat or barley seedlings (the banker plants) are used to rear aphids that do not target the crop plant. These aphids are in turn used as hosts of the aphid parasitoid *Aphidius colemani*, which parasitizes the pest aphid well. During 2002 through 2005, we have been developing a similar banker plant system for controlling aphids in greenhouse crops in cooperation with growers in Kochi Prefecture, where is one of the largest regions for the production of greenhouse vegetables (e.g., eggplant and sweet pepper) in Japan. The cotton aphid *Aphis gossypii*, green peach aphid *Myzus persicae*, and thrip *Thrips palmi* are major pest insects of these crops. The minute pirate bug *Orius strigicollis* has been used in integrated pest management programs to control the thrip. However, insecticides sprayed against the aphids are detrimental to *O. strigicollis*.

In order to protect *O. strigicollis*, a banker plant system has been developed to reduce the use of insecticides to less than 1/10 of the area of each greenhouse throughout the main harvesting season (February to May). In the initial field trial year, wheat was planted at one location (ca. 0.2 m²) per 1000 m² in December. A month later, ca. 2000 bird cherry-oat aphids, *Rhopalosiphum padi*, were placed on the wheat, and a few week later ca. 500 adult parasitoids, *A. colemani*, were introduced. Approximately two months later, the banker plants were replanted and bird cherry-oat aphids were reintroduced. Successful pest aphid control was obtained in about one-third (27 of 76) of the greenhouses. Full chemical insecticide use was required in the remaining greenhouses. We assumed that the banker plant system was unsuccessful in these cases because of (1) the failure or delay of the bird cherry-oat aphids and parasitoids to settle, (2) the occurrence of secondary parasitoids that parasitized the introduced parasitoids, (3) the occurrence of pest aphids (*Macrosiphum euphorbiae* and *Aulacorthum solani*) that were not hosts of the introduced parasitoid, and/or (4) an insufficient number of banker plant plantings. During the subsequent growing seasons, the banker plants were introduced one month earlier in at least four locations per 1000 m². These trials resulted in successful aphid control in two-thirds of the greenhouses. In 2005, this banker plant system was in use in 226 commercial greenhouses in Kochi Prefecture.

Key words: banker plant system, aphid control, *Aphidius colemani*, commercial greenhouse crops

*National Agricultural Research Center, Japan

*²Kochi Prefecture Agricultural Research Center

*³Kochi Prefectural government

*⁴National Agricultural Research Center for Western Region, Japan

*⁵Shikoku National Agricultural Experiment Station (Present address: Jouetsu-city, Niigata Japan)

Introduction

In the production of greenhouse vegetables in Japan, aphids are one of the most serious pest insects. Aphids are difficult to control during the long growing periods in the commercial greenhouses of eggplants and sweet peppers, because they are too small for growers to quickly identify during the early stages of colonization, and they multiply very rapidly. When natural enemies are utilized to control aphids, determining the appropriate timing, dosage, distribution and frequency of release is difficult.

A banker plant system can provide a continuous reservoir of natural enemies in advance of an outbreak of the target pest, or even in advance of the invasion of target pests into the greenhouse. According to van Lenteren (1995), the idea behind the banker plant system is that non-crop plants are placed in the greenhouse with a host insect (that is not a pest of the target crop) that serves as food source and reproduction host of parasites or predators. In Europe, wheat or barley seedlings (the banker plants) are used to rear the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (Linne), an aphid that does not damage the crop plant. This aphid is a host of the aphid parasitoid *Aphidius colemani* Viereck, a parasitoid with a host range of 65 species including the cotton aphid *Aphis gossypii* Glover and green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Takada, 1998). This system was developed for the protection of cucumber plants grown in greenhouses against the cotton aphid (Bennison and Corless, 1993). In Japan, however, there have been little attempts to develop a practical banker plant technique.

Kochi prefecture is one of the largest regions in Japan for the production of greenhouse vegetables such as eggplant and sweet pepper. The thrips *Thrips palmi* Karny, cotton aphid, and green peach aphid are major pest insects of these crops. The minute pirate bug *Orius strigicollis* (Poppius) has been used in integrated pest management (IPM) programs to control the thrips. However, insecticides sprayed against the aphids are detrimental to *O. strigicollis*. In order to protect *O. strigicollis* populations, the use of natural enemies of the aphids is necessary.

We have been developing a practical banker plant technique for controlling aphids on commercial greenhouse crops. The effectiveness of the banker plant system like that used in Europe was evaluated on eggplant in experimental greenhouses. We have also attempted to expand this banker plant technique on a larger scale in cooperation with growers in Aki City, Kochi Prefecture. Our goal was to reduce the use of chemical insecticides against aphids to less than 1/10 of the area of each greenhouse throughout the main harvesting season (February to May).

Materials and Methods

1. Control of cotton aphid *Aphis gossypii* on eggplants in experimental greenhouses using the aphid parasitoid *Aphidius colemani* in a banker plant system

Effectiveness of a banker plant system for the protection of eggplants against cotton aphids was evaluated at experimental greenhouses in Shikoku National Agricultural Experiment Station (Zentsuji, Kagawa Prefecture). In four greenhouses, which had areas of 50 m² each, twenty eggplants were planted on October 16, 2000. On March 27, 2001, 50 cotton aphids were placed on each of the eggplants. We designated this condition as an early stage of pest aphid colonization. Changes in the number of pest aphids were examined in following four different treatments: 1) no release of the parasitoid *A. colemani* (No aphid parasitoid release), 2) weekly release of 40 adults of the parasitoid (26 females and 14 males) for 3 weeks immediately after the settlement of cotton aphid (Inoculative release), 3) weekly release of 40 parasitoid adults for 3 weeks together with wheat seedlings which were infested with ca. 2000 bird cherry-oat aphids (Banker plant system), 4) the same as treatment 3 except 20 parasitoids were released on

a weekly basis. At weekly intervals, the number of cotton aphids and mummified aphids on 10 eggplants at each greenhouse was examined. The mummified aphids were marked in order to prevent multiple scoring.

The cotton and bird cherry-oat aphids were obtained from colonies maintained in our laboratory. These aphids originated from insects that were field-collected from an experimental field of the Shikoku National Agricultural Experiment Station in 1999. The cotton and bird cherry-oat aphids were reared on eggplant and wheat seedlings, respectively, at 25°C under a photoperiod of 16L:8D. The bird cherry-oat aphid could continue to reproduce parthenogenetically on wheat plants even at 15°C under a photoperiod of 8L:16D.

The aphid parasitoid *A. colemani* was purchased from a commercial supplier (Tomono-aburabachi AC). When allowed to live in a relatively large space (at least 1.9 m²), this parasitoid prefers cotton aphids on eggplants as a host rather than the bird cherry-oat aphids on wheat plants. However, when confined to a smaller space (0.07 m²), this species parasitizes these aphids without preference. In 50 m² greenhouses, *A. colemani* populations increased ca. 50-fold on banker plants within one generation.

2. Controlling aphids in commercial greenhouses using a banker plant system

The trials to develop a practical banker plant technique were performed in commercial greenhouses in Aki City, Kochi Prefecture. Seedlings of greenhouse crops such as eggplant and green pepper were planted in early September. The main harvesting seasons of these crops extended from February to May of the following year. The reduction of insecticide use during the main harvesting seasons is the primary goal of the growers. In order to do this, the growers involved in these trials released the minute pirate bug *O. strigicollis* against pest thrips such as *T. palmi*. Outbreaks of aphids begin to occur from mid-February in normal years.

In the initial field trial year (2001-2002), the banker plant system was applied in 76 commercial greenhouses. The areas of these greenhouses were mostly more than 1000 m². The use of the banker plant systems was scheduled such that the control agent *A. colemani*, could be settled by mid-February. Wheat was planted at one location (ca. 0.2 m²) per 1000 m² by mid-December, 2001. A month later (mid-January, 2002), ca. 2000 bird cherry-oat aphids *R. padi*, were placed on the wheat. About 500 parasitoid adults per a greenhouse were released by the beginning of February. The growers were advised to replant the wheat and reintroduce bird cherry-oat aphids approximately two months later (around March or April). Bird cherry-oat aphids were reared at the National Agricultural Research Center for Western Region (Ayabe, Kyoto Prefecture), and were provided to the growers. The growers purchased the aphid parasitoids from commercial suppliers.

The growers used chemical insecticides against pests such as thrips and aphids according to the grower's own empirical thresholds. The main insecticides that were sprayed during the trials were pyriproxyfen and spinosad against thrips, and pymetrozine against aphids. The applications of insecticides were carefully recorded. The use of insecticides against the aphids was categorized as follows: full use, partial use (i.e., less than 1/10 of the area of each greenhouse), and no use throughout the main harvesting season (February to May). Most growers applied chemical pesticides at full or partial use. Cases where the insecticides were sprayed between 10% and 90% of the greenhouse were categorized as full use because it was assumed that these levels would have a detrimental effect on the *O. strigicollis* populations. Partial and no insecticide use were recognized to be successful control of pest aphids.

More than 20 greenhouses were surveyed every month in order to record the presence of banker plants, bird cherry-oat aphids and mummified aphids on the wheat plants as well as the occurrence of pest aphids on crop plants, and secondary parasitoids. Because the number of greenhouses was too large for us to examine directly, observations made by the growers were incorporated into our findings. In total, data collected from 19, 29, and 18 greenhouses was used for the evaluation of the application regimes, occurrence of pest aphids, and occurrence of secondary parasitoids, respectively.

During the subsequent trial years, the banker plants were introduced one month earlier (in November) in at least four locations (ca. 0.2 m² for each) per 1000 m². In this case, the establishment of the banker plant system, including settlement of the parasitoids, was scheduled to complete by the end of January. In addition, the banker plants were changed to barley instead of wheat to avoid mildew disease. Before the beginning of the growing seasons, examples of the successful and unsuccessful control of aphids were explained to the growers. In addition, we distributed informational pamphlets, which carried photographs of a good banker plant example, pest aphids, primary parasitoid, and secondary parasitoids, as well as revised schedule of the banker plant technique.

During the second trial year (2002-2003), the banker plant system was applied in ca. 150 commercial greenhouses. At the end of the growing season, representatives of 84 of these greenhouses answered a questionnaire that we provided. During the third and fourth years (2003-2004 and 2004-2005), the banker plant technique was applied in ca. 200 greenhouses. At the end of the trial years, representatives of only 21 of these greenhouses answered our questionnaire. A survey of the presence of banker plants, bird cherry-oat aphids and mummified aphids on the wheat plants, occurrence of pest aphids on the crop plants, and secondary parasitoids were made on a monthly basis of 9-25 greenhouses during each trial year.

Results

1. Control of cotton aphid *Aphis gossypii* on eggplants in experimental greenhouses using the aphid parasitoid *Aphidius colemani* in a banker plant system

In the greenhouse in which parasitoids were not released, a 3- to 9-fold weekly increase in the mean number of cotton aphids was found (Fig. 1, A). Under this condition, the mean number of aphids per plant was over 5000 at the third week post aphid settlement. At the fourth week post settlement a chemical insecticide was sprayed on the plants, resulting in no detectable cotton aphids.

In the greenhouse that underwent inoculative releases of parasitoids, the mean density of cotton aphids reached a maximal level of 954 aphids per plant at four weeks post aphid settlement (Fig. 1, B). Subsequently, at five weeks post aphid settlement, the mean number of mummified aphids increased to 134 per plant, and the number of cotton aphids decreased. At the sixth week post aphid settlement, cotton aphids were not detected.

In greenhouses where the banker plant system was applied, the mean number of cotton aphids per plant increased 2- and 3-fold following the aphid settlement (Fig. 1, C, D). However, by the second week post settlement there was a dramatic decline in the cotton aphid populations under both treatments, and no cotton aphids were detected by the third week post settlement. These results demonstrated that the banker plant system was more effective than inoculative release of the aphid parasitoids.

2. Controlling aphids in commercial greenhouses using a banker plant system

First trial year

During the first year of field trials of the banker plant technique, 49, 25, and 2 greenhouses underwent full, partial, and no chemical insecticide treatment, respectively, throughout the main harvesting season (February to May). As a result, successful pest aphid control was obtained in about one-third (27 of 76) of the greenhouses (Fig. 2).

The occurrence of green peach aphid *M. persicae* or cotton aphid *A. gossypii* was observed in 79% of the greenhouses (23 of 29) during the main harvesting season. Glasshouse-potato aphids *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) or potato aphids *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), which cannot be parasitized by *A. colemani*, were found in 34% of the greenhouses (10 of 29). In addition, secondary parasitoids, which parasitize the control agent *A. colemani*,

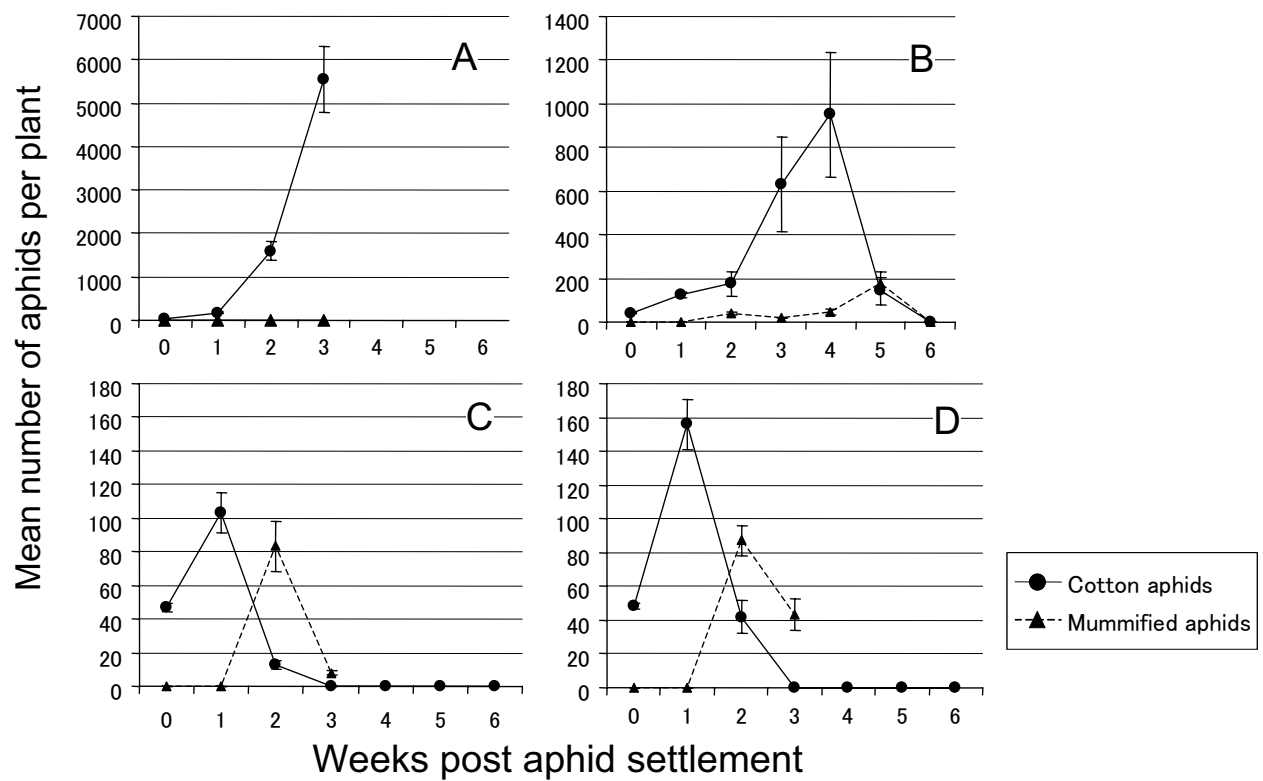


Fig. 1 The weekly changes in aphid density at the four experimental greenhouses.

A: No aphid parasitoid release, B: Inoculative release of aphid parasitoids, 40 parasitoids released per week, C: Banker plant system, 40 parasitoids released per week, D: Banker plant system, 20 parasitoids released per week. Bars indicate the standard error of mean.

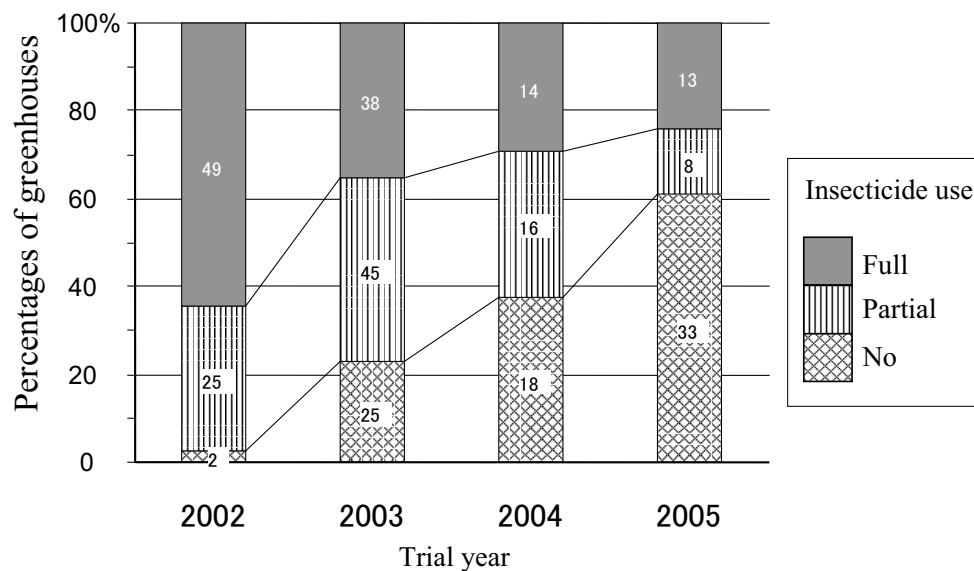


Fig. 2 Insecticide use against aphids through the main harvesting season during each of the four trial years.

The greenhouses were categorized by the type of chemical insecticide treatment they received: full insecticide use against aphids (Full), partial insecticide use, i.e., less than 1/10 of the area of each greenhouse (Partial), and no insecticide use (No) throughout the main harvesting season (February to May). Partial and no insecticide use still resulted in successful control of all four species of pest aphids.

were observed in 78% of the greenhouses (14 of 18). The main species of secondary parasitoids were *Alloxysta* sp. (Charipinae (Figitidae)) and *Dendrocerus laticeps* (Megaspilidae).

In 18 greenhouses where continuous records were kept, the aphids failed to settle on schedule in 11% of greenhouses, and the parasitoids failed to settle on schedule in 56% of the greenhouses. This suggested that a longer period for the settlement of aphids and parasitoids was necessary.

Three problems were recognized in the 13 greenhouses which received full insecticide treatment: 1) failure or delay of the settlement of bird cherry-oat aphids and/or *A. colemani*, 2) the occurrence of secondary parasitoids, and 3) the occurrence of non-host aphids for *A. colemani* (Table 1). Similar problems were recognized in the 9 greenhouses that received partial insecticide treatment. In addition, in 5 of the greenhouses that received partial insecticide treatment, the pest aphids were found at the farthest distances from banker plants and/or the growers neglected to renew the banker plants in April, at which time the banker plants should have been renewed. Although the successful establishment of the banker plant system might induce the absence of pest aphids in February or March, it led growers to the misunderstanding that no invasion of aphids into greenhouses occurred during that season.

Table 1 Problems observed in greenhouses that required insecticide use against aphids.

	Full insecticide use	Partial insecticide use
1) Delay or failure of establishment of banker plant system	7	2
2) Occurrences of secondary parasitoids, which parasitize on <i>A. colemani</i>	5	6
3) Occurrences of glasshouse-potato aphids or potato aphids, which cannot be parasitized by <i>A. colemani</i>	2	4
4) Others <number of bankers, discontinuance of banker system>		5
No. of greenhouses observed	13	14

* In some greenhouses plural problems were observed.

Second and subsequent trial years

During the second trial year, target pest aphids *M. persicae* and *A. gossypii* were observed in 14% and 77% of the 84 greenhouses, respectively, during the main harvesting season (February to May). In addition, glasshouse-potato aphids *A. solani* and potato aphids *M. euphorbiae* were found in 3% and 21% of the greenhouses, respectively. Thus, the occurrence of aphids during the second trial year was similar to that of the first trial year.

During the subsequent trial years, successful aphid control was obtained in two-thirds of the greenhouses (Fig. 2). In addition, more than 80% of the growers were satisfied by this banker plant technique (Fig. 3). In 2005, this banker plant system was in use in 226 commercial greenhouses in Kochi Prefecture.

Discussion

We evaluated a banker plant system using the aphid parasitoid *A. colemani* and bird cherry-oat aphid *R. padi* on wheat plants for the control of the cotton aphid *A. gossypii* on eggplants in the experimental greenhouses. This banker plant system was more effective than inoculative release of the aphid parasitoids. The effectiveness of such banker plant system has been previously shown in cucumber greenhouses (e.g., Bennison and Corless, 1993; van

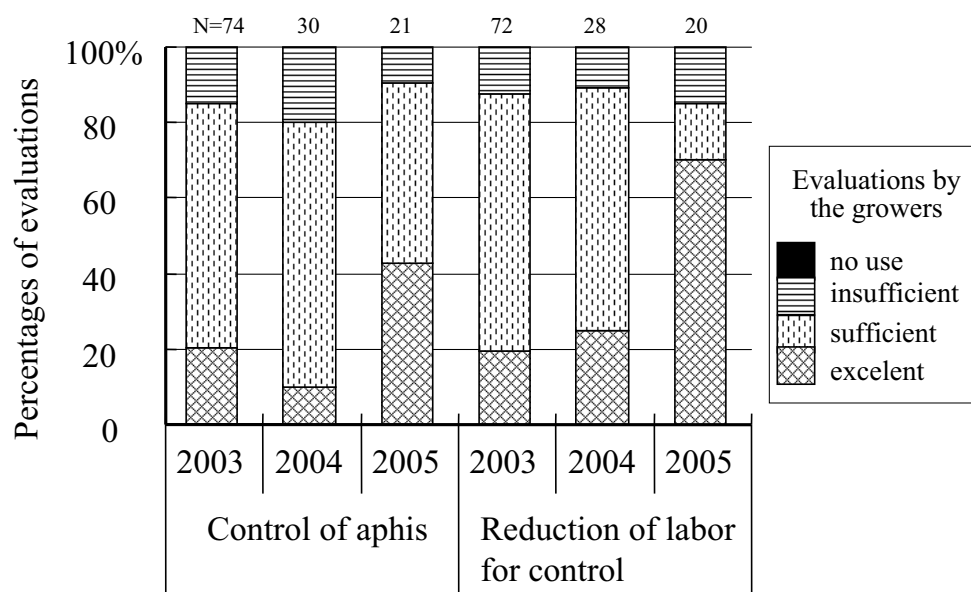


Fig.3 Evaluations of the banker plant technique by the growers.

Steenis, 1995). In addition, banker plant systems have been in use in commercial greenhouses in Europe. However, basic data under the Japanese cultivation system was necessary in order to develop and spread a banker plant system for the protection of greenhouse vegetables in Japan.

After the initial year of field trials at the greenhouses producing eggplant and sweet pepper in Kochi, Japan, problems with the initial banker plant regime were identified. Following the identification of these problems, the number of greenhouses in which successful pest aphid control was achieved, increased two-fold during the second and subsequent trial years. We advised the growers on mainly three points: 1) the banker plant system should be established by January, prior to outbreaks of aphids in normal years, 2) the banker plants should be distributed at more than 4 locations per 1000 m², and 3) careful observation of pest insects, natural enemies and secondary parasitoids is necessary. The first point is the basic tactic that has been emphasized in previous studies (e.g., Stacey, 1977; Hansen, 1983; Bennison, 1992). The combination of the first and second points suggests that the control agents should lie in wait for the pest aphids' invasion both in time and space.

Some problems that remain with our current banker plant regime include the occurrence of secondary parasitoids such as *Alloxysta* sp. and *D. laticeps* that parasitize on the control agent *A. colemani*, and the occurrences of glasshouse-potato aphids *A. solani* and/or potato aphids *M. euphorbiae* that were not the hosts of *A. colemani*. During the first trial year, the crops in a few greenhouses were seriously damaged by the occurrence of secondary parasitoids or glasshouse-potato aphids. Van Steenis (1995) also reported the problem of secondary parasitoids. Glasshouse-potato aphids were not a serious problem in these greenhouses until this trial. Without employment of the banker plant system, glasshouse-potato aphid populations seemed to be suppressed simultaneously by the chemical insecticide sprayed against cotton aphid and green peach aphid. Most of the growers in our trials were able to discriminate between the beneficial and secondary parasitoids, and pest and non-pest aphids. In the cases where secondary parasitoids or glasshouse-potato/potato aphids occurred, the growers determined the timing and area of insecticide use after they carefully observed the populations of pest aphids in addition to beneficial insects.

As the banker plant system is more commonly accepted by the growers of greenhouse vegetables in Japan, the reduction of chemical insecticide use against pest aphids should result in the protection of introduced populations of the minute pirate bug *O. strigicollis*. This will lead to the better control of thrips. At present, this banker plant

technique as well as minute pirate bug introductions plays important roles in IPM programs in Kochi Prefecture. Through this study, we realized that practical techniques to use natural enemies should be developed in the corporation of growers, advisers and researchers.

Acknowledgments

We are very grateful to the many growers in Aki City and their agricultural advisors for their cooperation.

バンカー法によるアブラムシ対策

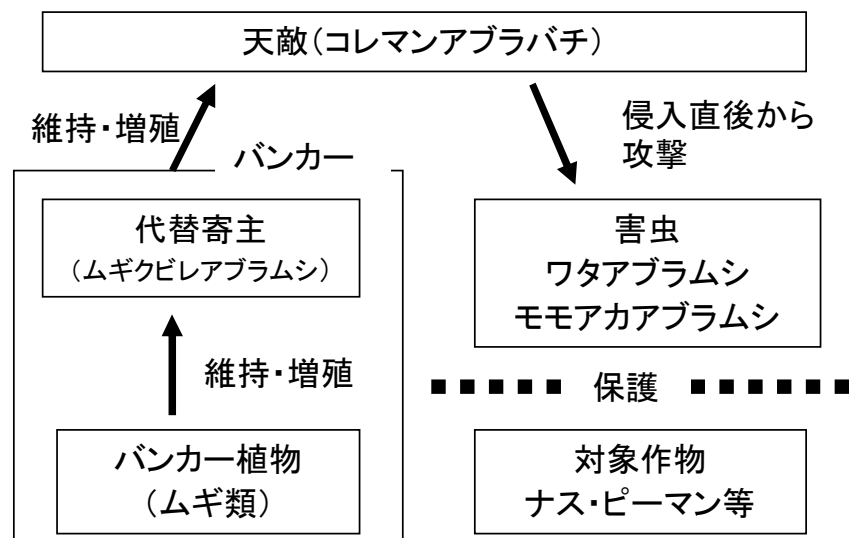
(H15年版)

近畿中国四国農業研究センター 総合研究第4チーム
高知県農業技術センター 環境システム開発室
高知県安芸農業改良普及センター
JA土佐あき営農

バンカー法の基本

1. 早期にバンカー(代替寄主+バンカー植物)を導入して、天敵を定着させ、施設外部から侵入してくる害虫を待ち伏せする。
2. 害虫の増殖を抑えられるような天敵密度を維持する。

バンカー法の模式図



ムギ類
(バンカー植物)



ムギクビレアブラムシ
(代替寄主)

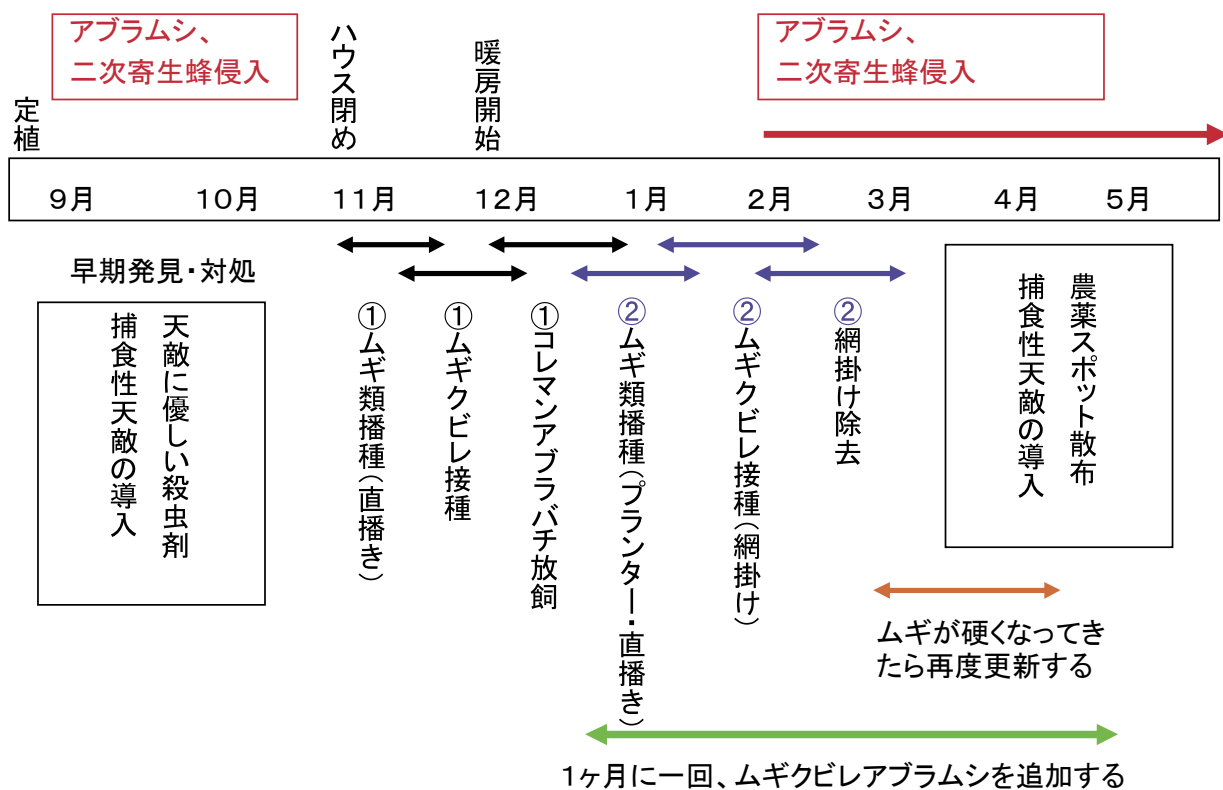


コレマンアブラバチ
(捕食寄生性天敵)



ショクガタマバエ
(捕食性天敵)

バンカー法導入スケジュール



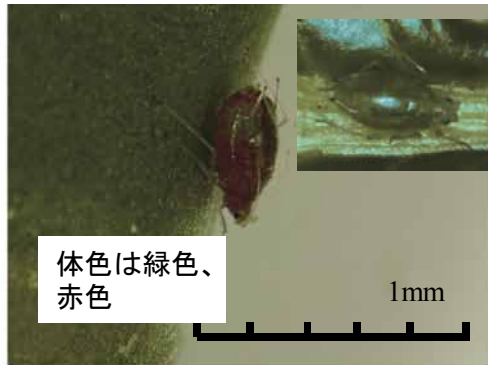


コレマンアブラバチ用バンカーの作り方

- 10aあたり4～6カ所にムギ類の種を蒔く。
(直播き1mあたり種子約5g)
- 2週間後、ムギクビレアブラムシを接種する。
(「アフィバンク」・近中四農研・県農技センター、普及センター)
- 約2週間後、ムギクビレアブラムシが十分増殖したら、コレマンアブラバチを放飼する。
(「アフィパール」、「アブラバチAC」、「コレトップ」)
- コレマンアブラバチが増殖し、マミーが増えてくるとムギクビレアブラムシが減るので、1ヶ月に1回ムギクビレを追加する。(部会などで増殖しておく)
- (バンカー植物の更新)
- ムギ類の種を蒔く(プランター・直播き)
(1カ所あたり種子約5g)
- 2週間後、網掛けをしてムギクビレアブラムシを接種する
(再度、ムギクビレアブラムシを入手する)
- 約2週間後、ムギクビレアブラムシが十分増殖したら、網をはずす。
- ムギが硬くなってきたら、再度更新する。
- 3月以降二次寄生蜂を見かけたら、捕食性天敵をバンカーに放飼する。バンカーはそのまま維持する。
(「アフィデント」など)

しっかり観察して、種類を見分けることが大切。

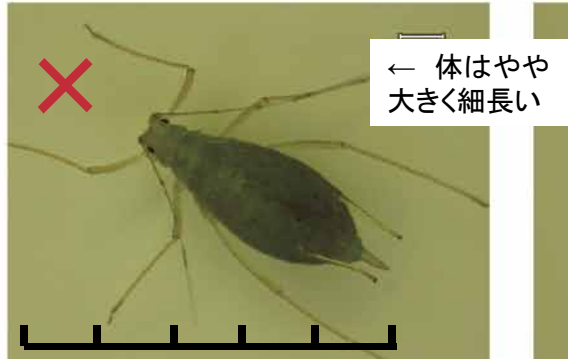
モモアカアブラムシ



ワタアブラムシ



チューリップヒゲナガアブラムシ



ジャガイモヒゲナガアブラムシ



下の大型2種にはコレマンアブラバチが寄生しないので、捕食性天敵や薬剤散布が必要

オオモンクロバチ



二次寄生蜂



コレマンアブラバチ(天敵)に寄生する二次寄生蜂が発生すると、天敵の働きが悪くなる。マミイがたくさんあってもアブラムシの発生が止まらない。こうなる前に捕食性天敵(シヨクガタマバエなど)を導入する。捕食性天敵にもバンカーは使える。

コレマンアブラバチ

