天敵の特性と利用技術

農林水産省農業環境技術研究所 矢野栄二

はじめに

現在，農薬に替わる新しい防除技術として，施設園芸害虫に対する利用を中心とした天敵昆虫の生物農薬的な利用が注目されている。従来の果樹害虫に対する天敵の永続的利用と異なり，一年生作物に適用される手法であるが，天敵の大量増殖が必要で商品化されることが多いのが特徴である。天敵昆虫の生物農薬的利用は，畑作物や露地野菜の鱗翅目害虫に対する卵寄生蜂の利用に代表される大量放飼と，施設園芸害虫に対する天敵利用で行われている接種的放飼とに分けられる。前者では放飼世代の天敵の効果のみを利用するのに対し，後者では放飼後の数世代にわたる天敵の効果を利用する点が異なっている。ここでは，すでに商品化されたオンシツツヤコバチとチリカブリダニの2種と，より実用化に近いと思われる天敵について，施設園芸害虫の防除における特性と利用技術，および問題点について概略を述べる。

I オンシツツヤコバチ（*Encarsia formosa*）

1 生物的特性

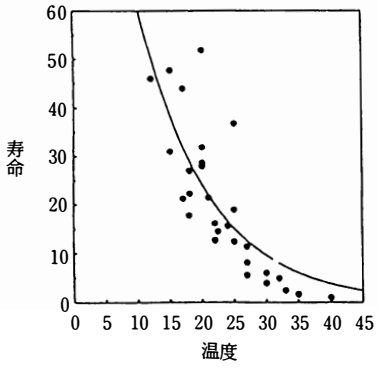
オンシツツヤコバチ（口絵写真①）はツヤコバチ科の単寄生性の内部寄生蜂である。寄主範囲は狭く，これまで確認されている寄主は，オンシツコナジラミ，タバココナジラミ，シルバーリーフコナジラミおよびミカンコナジラミの4種である（Mound and Halsey, 1978）。雌成虫は体長が約0.6 mmで雄は雌よりやや大きい。処女生殖でのみ繁殖し，雄は繁殖に関与しない。本種の産雌処女生殖（Thelytoky）は，雌の体内に共生している*Wolbachia*属のリケッチアによって引き起こされていることが最近示された（Zchori-Fein et al., 1992）。雌成虫は最も好適な寄主であるオンシツコナジラミのすべての齢期に寄生が可能であるが，特に3齢および4齢初期幼虫に好んで寄生する（Nell et al., 1976）。また，すでに寄生された幼虫への寄生を回避する傾向がある（Lenteren et al., 1976）。成虫はコナジラミ幼虫が排せつする甘露を摂食するが，産卵管でコナジラミ幼虫を殺してから体液を摂食する，いわゆる寄主体液摂取行動（host feeding）によっても栄養を獲得する。成虫の寿命や産卵数は温度（図-1，2）や湿度などの環境条件に強く影響される。総産卵数は25°Cでは約400個にも達する（van Roermund, 1995）。寄生者の卵は寄主の体内でふ化後，3齢を経過して蛹となるが，その際寄生された寄主の外観が黒変する（寄生により黒変した寄主幼虫はマミーと呼ばれる）。23°Cでは産卵されてから黒変するまでが約10日，その後新成虫が羽化するまでさらに10日を要する。温度と卵・幼虫期の発育速度（発育日数の逆数）の関係を図-3に示した。

2 利用技術

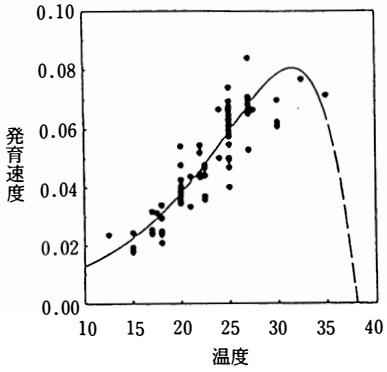
現在登録のあるトマトのオンシツコナジラミの防除にオンシツツヤコバチを利用する場合，厚紙の上に前述のマミーを張り付けた製剤を，カード状に切り分けてトマトの株上に設置する（口絵写真②）。放飼密度は，1 m²当たり2頭で，1週間間隔で4，5回程度寄生率が80%以上になるまで繰り返して放飼する。放飼は，コナジラミの発生が確認されたらできるだけ速やかに行うことが，確実な防除には重要である。そのため黄色粘着トラップによる発生調査がよく行われる。

オンシツツヤコバチの効果には種々の要因が関係している。最も重要と思われるのが，温度の影響である。オンシツツヤコバチとオンシツコナジラミのトマトにおける内的自然増加率（r_m）を図-4に示した（van Roermund, 1995）。本種が単寄生性であることを考慮すれば，オンシツツヤコバチのr_mがオンシツコナジラミより低い13°C以下ではかなり効果が低下することが推測できる。また，オンシツツヤコバチの雌成虫は18°C以下では生存していても，寄主探索は全く行わないことが最近明らかにされた（van Roermund, 1995）。一方，体内における卵成熟は5°C以上であれば進行する（Kajita and van Lenteren, 1982）。オンシツツヤコバチは非休眠性で，日長は影響しない。極端な高湿度や低湿度は成虫の産卵や寿命に悪影響を与える（梶田，1979）。しかし，温度や湿度の影響についての研究はすべて定温または定湿度条件で行われており，現実の温室内では温湿度が昼と夜でかなり変動していることを考慮すれば，これらの結果をそのまま当てはめることはできない。ハウスの場合は近紫外線除去フィルムがよく利用される。紫外線は昆虫の移動分散行動には重要な役割を果たしていると考えられ

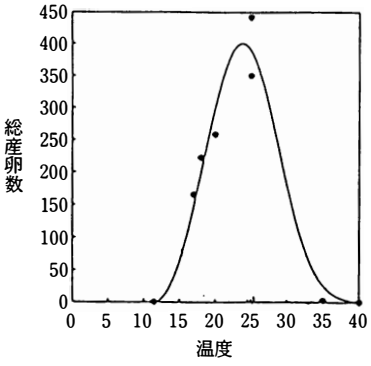
Characteristics and Methods of Use of Natural Enemies. By Eizi Yano



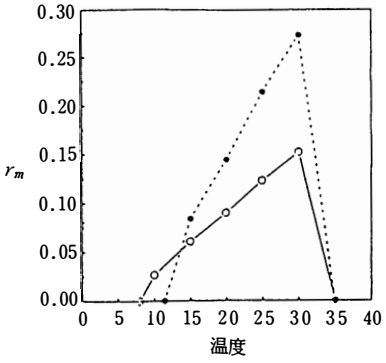
図－1　オンシツツヤコバチの雌成虫寿命と温度の関係 (VAN ROERMUND, 1995)



図－3　オンシツツヤコバチの卵・幼虫期の発育速度と温度の関係 (VAN ROERMUND, 1995)



図－2　オンシツツヤコバチ雌成虫の総産卵数と温度の関係 (VAN ROERMUND, 1995)



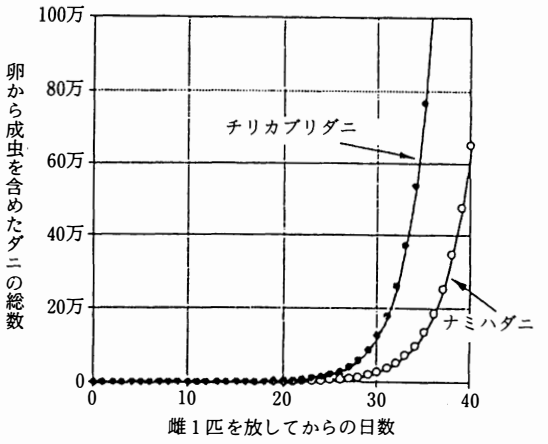
図－4　トマト上におけるオンシツコナジラミ (白色) とオンシツツヤコバチ (黒丸) の内的自然増加率 (r_m) に及ぼす温度の影響

る。オンシツツヤコバチがあまり影響されないとする報告もあるが (梶田, 1986), フィルムの種類によって除去される波長域が異なるため, フィルムの種類によっては影響されるかもしれない。生物的要因としては, コナジラミおよび作物の種類が重要である。オンシツツヤコバチはオンシツコナジラミが最も好適な寄主であり, 最も寄生率が高くなる。シルバーリーフコナジラミに対しては, 温室内でも寄生率が高くならず, それ以外の要因による死亡率が高い (松井, 1995)。死亡要因としては, 寄主体液摂取のほか, 死ごもりも考えられる。いずれにしろ, シルバーリーフコナジラミに対するオンシツツヤコバチの効果は, オンシツコナジラミに対するよりも劣るとされている。オンシツツヤコバチを放飼する作物の種類も影響する。これにはコナジラミの増殖率が作物の種類によって異なることによる間接的効果と, 植物の葉の表面構造が寄生者の探索行動に影響する直接的効果によるものとがある。前者については, 一般に天敵による害虫防除は害虫の増殖率が低いほうが成功するといわれており, 理論的にも証明されている (HASSELL, 1976)。その意味でオンシツコナジラミの増殖率の低いトマトでは, より高いキュウリやナスよりも効果が高いことが推測できる。放飼方法も本種の効果に影響する。経験的に, 成虫羽化時に寄生に好適な寄主幼虫が存在するように放飼すること, 寄主との相対密度を重視して放飼密度を決定すること, 総放飼数が同じ場合には放飼回数を多くすること, 温室内に均一に放飼するのではなく, コナジラミの密度の高い場所に重点的に放飼することなどがよいとされている。矢野 (1988) は, オンシツツヤコバチの最適な放飼方法をオンシツコナジラミとオンシツツヤコバチの個体群動態モデルにより検討し, 放飼密度, 回数, 時期について, これら経験的にいわれている法則と同じ結果を得た。

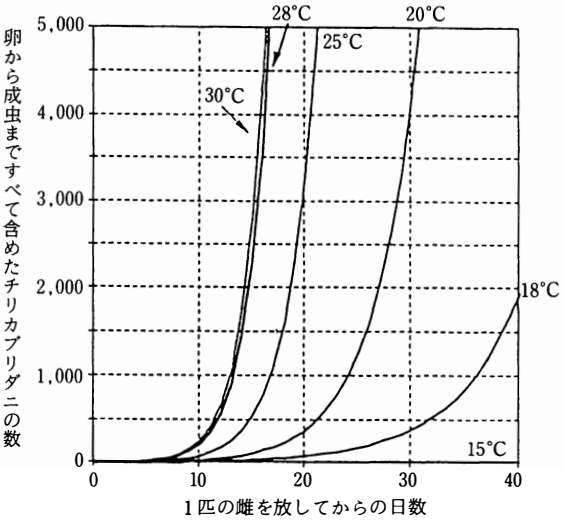
II　チリカブリダニ (*Phytoseiulus persimilis*)

1　生物的特性

チリカブリダニ (口絵写真③) は, ナミハダニ, カン



図－5　25°Cにおけるナミハダニとチリカブリダニの増殖（森，1993）



図－6　異なる温度条件下におけるチリカブリダニの増殖（森，1993）

ザワハダニなどの *Tetranychus* 属のハダニを攻撃する捕食性の天敵で，ハダニの卵を特に好んで捕食する。ハダニと同様に卵，幼虫，第一若虫，第二若虫および成虫の発育ステージに分けられる。成虫は植物の葉上のハダニのいる場所にハダニ卵の約2倍の大きさの卵を産みつける（マライス・ラーフェンスベルグ，1995）。活発な捕食活動を行うのは第一若虫以後のステージである。成虫は1日に20個程度のハダニ卵を捕食し，25°Cでは総産卵数は約60個である。成虫の雄と雌の性比は約1：4である。またハダニより発育速度が速く，25°Cでは7日で発育を完了する。分散能力が高いため，餌のハダニがいないとすぐ分散する反面，ハダニの密度の高いところでは定着する。

2　利用技術

チリカブリダニはヨーロッパでは，施設栽培のキュウリのナミハダニの防除に利用されていたが，最近はイチゴに対しても利用されるようになった。わが国でもイチゴのハダニ類の防除を目的として登録された。製剤としては，500 cc のプラスチックボトルに約2,000頭のカブリダニとキャリアーとしてバーミキュライトを入れたものが一般的である（マライス・ラーフェンスベルグ，1995）。よく混ぜてバーミキュライトを一定量葉上に置けば，一定量のチリカブリダニが放飼される。葉の小さな作物での放飼には，紙袋に入れたタイプの製剤もあり，袋を植物体上に釣り下げることにより放飼する。イチゴのハダニの防除に利用する場合，最初の放飼は，ハダニが株当たり1頭程度の少発生時に，1 m² 当たり2～4頭を放飼する。以後ハダニの発生に応じ2回目以後の放飼を行う。1回の放飼で十分な場合もあるが，通常は2回放飼することが多い。また放飼の初期密度は，チリカブリダニに対するハダニの密度を30倍以下にするのが望ましいとされている。チリカブリダニの最初の放飼時期の決定は，ハダニの発生調査に基づいて行わなければならない。ヨーロッパで本種が利用されているキュウリについては，少数のハダニの食害痕が容易にわかるため，ハダニの被害程度に基づく放飼時期の決定が可能であるが，イチゴは葉がより厚いため同じ方法は取れない。やはり葉のサンプリングによる発生調査が必要となるかもしれない。

チリカブリダニの利用のもう一つの重要な問題点は，本種の活動が温湿度に強く影響されることである。チリカブリダニは25°Cではハダニより速やかに増殖するが（図-5），15°Cではほとんど増殖せず，30°C近くになると温度が高くなっても増殖速度がほとんど速くならない（図-6）。30°C以上では捕食活動が鈍り，33°C以上では繁殖障害が引き起こされることもわかっている（森，1993）。低温も捕食能力に影響し，雌成虫の捕食能力は20°C以下では急速に低下し，10°Cではほとんど捕食しなくなる。相対湿度もかなり強く影響する。卵のふ化率は50%以下では極端に低下するが（森・真梶，1977），成虫の捕食能力は33%程度の低湿度でむしろ高く，100%では著しく低下する。以上からチリカブリダニの活動に好適な温湿度は15～30°C，50～90%RH であると言われている（森，1993）。わが国において本種の利用のための登録がなされたイチゴの管理温度を考えた場合，この温湿度条件はかなり厳しい条件であると言わざるを得

表-1　今後生物農薬として登録が期待される天敵

天　敵	作　物	害　虫
Dacnusa sibirica (コマユバチ)	トマト	マメハモグリバエ
Diglyphus isaea (ヒメコバチ)	トマト	マメハモグリバエ
D. sibirica+*D. isaea*	トマト	マメハモグリバエ
Aphidoletes aphidimyza (ショクガタマバエ)	イチゴ，キュウリ	アブラムシ類
Aphidius colemani (アブラバチ)	イチゴ，キュウリ	アブラムシ類
A. aphidimyza+*A. colemani*	イチゴ，キュウリ	アブラムシ類
Chrysoperla carnea (ヤマトクサカゲロウ)	イチゴ，キュウリ	アブラムシ類
Orius sauteri (ナミヒメハナカメムシ)	ナス，キュウリ ピーマン	ミナミキイロアザミウマ
Amblyseius cucumeris (カブリダニ)	ナス	ミナミキイロアザミウマ

ない。冬期の温度は低過ぎ，5月以後の昼間の温度は高過ぎると考えられ，利用できる時期が限定されてしまうことになる。

III　その他の天敵

1　今後登録が期待される天敵

今後わが国で，施設栽培の害虫防除素材として登録される可能性の高い天敵を表-1に示した。アブラムシの防除用のアブラバチ（*Aphidius colemani*）およびショクガタマバエ *Aphidoletes aphidimyza*，マメハモグリバエ防除用の寄生蜂 *Diglyphus isaea* および *Dacnusa sibirica* は，単剤および混合剤の両方で試験されている。アブラムシ用の2種はイチゴ，ハモグリバエ用の2種はトマトの天敵利用に基づく体系防除を完成させるため登録が急がれている。アブラムシに対してはこれ以外にヒメクサカゲロウの試験が行われ，かなり速効性で効果も高いことが確認された。*A. colemani* がワタアブラムシとモモアカアブラムシの2種にしか有効でないことや，ショクガタマバエの効果が不安定であることを考慮すれば，ヤマトクサカゲロウのような広食性の捕食者の登録も望まれる。トマトとイチゴ以外の施設栽培野菜では，ミナミキイロアザミウマが重要害虫となっている。そのための天敵防除素材として，カブリダニ *Amblyseius cucumeris* と土着天敵のナミヒメハナカメムシ *Orius sauteri* の利用技術の開発が進められており，両種とも有望な結果が得られている。*A. cucumeris* やヒメハナカメムシ類は，ヨーロッパではわが国でも問題化しつつあるミカンキイロアザミウマの防除に利用されており，わが国でも今後の利用技術の開発が期待される。これから試験が行われる予定の有望天敵としては，コナジラミに対する寄生蜂 *Eretmocerus californicus* およびアザミウマに対するカブリダニ *Amblyseius degenerans* の利用があげられる。ここではわが国で最も実用化が急がれる，トマトのマメハモグリバエ防除対策としての寄生蜂の利用方法について補足説明する。

2　マメハモグリバエに対する寄生蜂の利用

欧米では1980年以降，トマトやキュウリを加害するナスハモグリバエ，マメハモグリバエおよびわが国で未発見のハモグリバエ *Liriomyza huidobrensis* の防除に2種の寄生蜂 *Diglyphus isaea* および *Dacnusa sibirica* が利用されている（Ravensberg, 1992）。ヒメコバチの *D. isaea* は外部寄生性で寄主体液摂取により産卵寄生と同じぐらいの数のハモグリバエ幼虫を殺すのに対し，コマユバチの *D. sibirica* は，内部寄生性で寄主体液摂取は行わない。増殖能力は15℃以上では前者が，以下では後者が高い（Minkenberg, 1990）。移動分散能力は *D. sibirica* の方が高いと推測されている。寄生に好適な寄主の齢も異なっており，*D. isaea* は3齢に好んで寄生し，*D. sibirica* はより若い寄主に寄生する。製剤は，ボトルに一定数の成虫を入れたもので，一方の種だけを入れた単剤と両種を入れた混合剤とがある。わが国では混合剤の場合，0.5～2頭/m² の密度でハモグリバエの発生確認後1週間間隔で4回放飼されている。1頭の蜂でかなり多数のハモグリバエ幼虫を殺すのと食害の確認が容易なため，放飼の遅れによる防除の失敗の可能性はオンシツツヤコバチに比べれば低い。しかし時期によって

は在来の寄生蜂の寄生率が高くなり，効果の確認ができないのが試験上の問題となっている。両種の利用時期としては，温度に対する増殖能力の違いを反映して，低温時は *D. sibirica*，高温時は *D. isaea* の利用が好ましいとされている。混合剤は時期によらず有効であることをねらいとするものであろう。わが国には，マメハモグリバエの土着天敵の利用に関する研究も行われており，すでに有力寄生蜂の確認と増殖技術の開発はほぼ完了している。わが国土着の有力寄生蜂はすべてヒメコバチであり，その中で西東ら（1996）は，温室および露地における寄生状況調査から *Hemiptarsenus varicornis* が有望種であるとしている。今後の利用技術の開発が期待される。

おわりに

天敵の生物農薬的利用のためには，供給体制が整ったとしても，現場における技術的な問題として，農薬との併用など各種作物における防除の体系化，天敵に対する農薬の影響評価，天敵の放飼時期の決定および効果の確認のための発生調査法の確立などが解決されなければならない。天敵を大量生産する立場における問題として品質管理の問題がクローズアップされている。このような問題は国際的にも重要で欧米を中心に活発な研究，情報交換が行われている。これらの動向を踏まえつつわが国における技術開発を進めることが望まれる。

引用文献

1) HASSELL, M. P. (1976) : The Dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems, Princeton University Press, Princeton, 237pp.
2) 梶田泰司 (1979) : 九病虫研会報 25 : 112～113.
3) ――― (1986) : 同上 32 : 155～157.
4) KAJITA, H. and J. C. VAN LENTEREN (1982) : Z. ang. Ent. 93 : 430～439.
5) 松井正春 (1995) : 応動昆 39 : 25～31.
6) マライス，マーレーン・ウィレム ラーフェンスベルグ (1995) : 天敵利用の基礎知識, 農文協, 東京, 116 pp.
7) MINKENBERG, O. P. J. M. (1990) : On seasonal inoculative biological control. Ph. D. thesis, Wageningen Agricultural University, 230pp.
8) MOUND, L. A. and S. H. HALSEY (1978) : Whitefly of the world. John Wiley and Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto, 340pp.
9) 森樊須 (1993) : 天敵農薬―チリカブリダニその生態と応用―, 日本植物防疫協会, 東京, 130pp.
10) ―――・真梶徳純 (1977) : チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除, 日本植物防疫協会, 東京, 89pp.
11) NELL, H. W. et al. (1976) ; Z. ang. Ent. 81 : 372～376.
12) RAVENSBERG, W. J. (1992) : Pflanzenschuz-Nachrichten Bayer 45/1992, 1 : 49～72.
13) 西東 力ら (1996) : 応動昆 40 : 127～133.
14) VAN LENTEREN, J. C. et al. (1976) : Z. ang. Ent. 81 : 377～380.
15) VAN ROERMUND, H. J. W. (1995) : Understanding biological control of greenhouse whitefly with the parasitoid *Encarsia formosa* - From individual behaviour to population dynamics. Ph. D. thesis, Wageningen Agricultural Universtiy, 243 pp.
16) 矢野栄二 (1988) : 野菜茶試研報 A. 2 : 143～200.
17) ZCHORI-FEIN, E. et al. (1992) : Experientia 48 : 102～105.

日本植物防疫協会の生物農薬関連図書

「生物農薬開発の手引き」

B5判 111頁 定価 2,000円 送料 310円

生物農薬の実用化促進に社会的な期待が寄せられており，行政面でも農薬登録のガイドライン（微生物農薬検査基準）の検討が進められている。当協会でも「生物農薬検討委員会」を設置し，適切な試験研究をすすめるための諸問題の検討を始めた。本書はその事業の一環として作成されたもので，これまでの知見や議論を集約し，開発や試験研究の参考とするべく資料を集成し，解説を加えたものである。

雑誌「植物防疫」特別増刊号 No.2

「天敵微生物の研究手法」

B5判 222頁 定価 3,000円 送料 140円

生物農薬の中で一番研究開発の進んだ天敵微生物について，その採集から各種実験法までを詳しく解説。

「天敵農薬」

―チリカブリダニその生態と応用―

森 樊須（北海道大学名誉教授）編

A5判 130頁 定価 2,400円 送料 310円