

天敵育種の展望と課題

独立行政法人農業生物資源研究所 **野 だ たか し**

はじめに

天敵資材による害虫の生物的防除は、施設園芸を中心に年々実施面積が拡大してきている。生物農薬として登録された天敵生物（微生物天敵を除く）は、1994（平成6）年に市販が開始されたスタイナーネマ・カーボカプサエ剤に始まり、1995（平成7）年のオンシツツヤコバチとチリカブリダニ、1998（平成10）年のイサエヒメコバチ・ハモグリコマユバチ、コレマンアブラバチ、ショクガタマバエとしいに利用できる種数が増加してきている。現在では、殺虫剤として農業登録されている昆虫、ダニ、線虫の種類は15種類に達している。しかし、BT剤とスタイナーネマ剤を除く天敵資材（殺虫剤）の年間生産額ははまだ1億円に達しない程度で、化学合成農薬に比べればけた違いに少ない。この理由は、利用場面が施設園芸に限られていることが一番大きい。化学殺虫剤との併用が難しいことや、低温、高温などの不適条件下での活動、増殖がうまくいかないといった、生物であるがゆえの制約も無視できない。またこれはよくいわれることであるが、天敵はその寄主や餌昆虫を絶滅させたのでは自らも滅ぶことになるので、自然界での個体数の増減にはバランスが存在する。多くの天敵種はその寄主や餌昆虫の密度上昇からやや遅れて密度が上昇し、その後、首尾よく寄主密度を抑制できる場合もあるが、寄主密度の上昇に追いつけずにエスケープしてしまう場合もある。昆虫の種類は未発見のものも含めて数百万種といわれ天敵の種数もまた膨大な数にのぼるが、害虫の密度を作物に被害が出ない程度まで抑えてくれる、人間にとって都合のよい特性を備えた天敵の種類はそれほど多くはない。天敵資材として利用可能で今後の開発が待たれる捕食者や寄生者はまだいるが、大量増殖の難しさまで考慮に入れると、この先新しい天敵資材の種類的大幅な増加は望めないであろう。この状況を打破する方策の一つとして、育種による有用天敵種、系統の育成が考えられる。つまり育種によって、既に天敵資材として開発されている天敵の有用特性を強化したり、

そのままでは有効な天敵資材となり得ない種を利用可能なレベルまで改良しようという試みである。

以下では、天敵昆虫、ダニを中心として、まず過去に人為選抜によって行われた育種の試みを概観し、次に近年技術的発展が著しい遺伝子組換え技術を用いた有用系統育種の可能性と今後の展望と課題を論ずる。

I 人為選抜による天敵の改良

天敵を遺伝的に改良しようという試みは目新しいものではない。20世紀前半から、応用昆虫学者たちは天敵資材の育種に関心を持っていた。DeBACH and HAGEN (1964) や MESSENGER and van den BOSCH (1971) は、それまでに報告された天敵有用系統作出の試みを総括、検討している。しかし1971年以前に行われた人為選抜の研究は、選抜によって天敵がどの程度遺伝的に改良されたのかが明瞭でない例が多く、また実際に野外放飼して効果を確認した例はほとんどなかった (WHITTEN and HOY, 1999)。DeBACH and HAGEN (1964) によれば、WILKES (1942) が行ったマツノキハバチに寄生するコマユバチの1種である *Dahlbominus fuscipennis* の低温に適した系統の研究が、おそらく寄生蜂の人為選抜を試みた最初の例である。また WILKES (1947) はこの蜂を同系交配した場合に雄の不妊率が高くなることを発見し、雌比が高くなるような異系交配を続けて不妊雄率を劇的に下げることに成功した。この人為選抜により、1雌当たりの産卵数が34個から68個に増加し、寿命の延長ももたらした。その結果、大量増殖が可能となり、生産された蜂は実際に野外に放飼されている。表-1に WHITTEN and HOY (1999) がまとめた1971年までに報告された天敵の人為選抜の例を示した。このリストには7種の寄生蜂と1種のクサカゲロウについて試みられた、寄主発見効率の改善や寄主選好性の変更、温度耐性の改善、産卵数の増加、殺虫剤抵抗性に関する人為選抜の報告が含まれている。このうち、前述した *D. fuscipennis* のみが実際に野外に放飼されたが、その効果や野外でのパフォーマンスについては明確ではない。その後も主に寄生蜂と捕食性ダニ類について、人為選抜による各種の形質の改良研究が行われている。表-2には1971年以降に発表された天敵の遺伝的改良に関する報告を示した (WHITTEN and HOY, 1999 に文献を追加した

Perspectives and Issues on the Breeding of Natural Enemies.
By Takashi NODA

(キーワード：天敵，有用形質，育種，人為選抜，遺伝子組換え)

表-1 1971年以前に報告された天敵の人為選抜の研究 (WHITTEN and HOY, 1999 に文献追加)

選抜した特性	天敵の種類	文 献
寄主発見効率	<i>Tichogramma minutum</i> (タマゴコバチの1種)	URQUIJO, 1956; LANDALUZ, 1950
寄主嗜好性	<i>Horogenes molestae</i> (ヒメコバチの1種)	ALLEN, 1954
	<i>Paratheresia claripalpis</i> (ヤドリバエの1種)	BOX, 1956
	<i>Chrysoperla carnea</i> (ヤマトクサカゲロウ)	MEYER and MEYER, 1946
温度耐性	<i>Dahlbominus fuscipennis</i> (ヒメコバチの1種)	WILKES, 1942
	<i>Aphytis lingnanensis</i> (ツヤコバチの1種)	WHITE et al., 1970
性比	<i>D. fuscipennis</i> (ヒメコバチの1種)	WILKES, 1947
殺虫剤抵抗性	<i>Macrocentrus ancyliovor</i> (コマユバチの1種)	PIELOU and GLASSER, 1952; ROBERTSON, 1957
	<i>Bracon mellitor</i> (コマユバチの1種)	ADAMS and CROSS, 1967

注) 文献詳細は筆者に問い合わせたい。

表-2 1972年以降に報告された天敵の人為選抜の研究 (WHITTEN and HOY, 1999 に文献追加)

選抜した特性	天敵の種類	文 献
産卵数	<i>Dahlbominus fuliginosus</i> (ヒメコバチの1種)	SZMIDT, 1972
	<i>Phytoseiulus persimilis</i> (チリカブリダニ)	VOROSHILOV and KOLMAKOVA, 1977
	<i>Trichogramma fasciatum</i> (タマゴコバチの1種)	RAM and SHARMA, 1977
	<i>T. brassicae</i> (タマゴコバチの1種)	PINTUREAU, 1991
非休眠	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (ショクガタマバエ)	GILKESON and HILL, 1986
	<i>Metaseiulus occidentalis</i> (捕食性ダニの1種)	HOY, 1984
殺虫剤抵抗性	<i>Amblyseius cucumeris</i> (ククメリスカブリダニ)	van HOUTEN et al., 1995
	<i>A. barkeri</i> (捕食性ダニの1種)	van HOUTEN et al., 1995
	<i>Amblyseius fallacis</i> (ファラシスカブリダニ)	STRICKLER and CROFT, 1982
	<i>A. finlandicus</i> (イチレツカブリダニ)	KOSTIAINEN and HOY, 1994; 1995
	<i>A. nicholsi</i> (捕食性ダニの1種)	HUANG et al., 1987
	<i>Aphytis holoxanthus</i> (ツヤコバチの1種)	HAVRON et al., 1991 a
	<i>A. lingnanensis</i> (ツヤコバチの1種)	HAVRON et al., 1991 b
	<i>A. melinus</i> (ツヤコバチの1種)	ROSENHEIM and HOY, 1988; SPOLLEN and HOY, 1992; 1993
	<i>Chrysoperla carnea</i> (ヤマトクサカゲロウ)	GRAFTON-CARDWELL and HOY, 1986
	<i>M. occidentalis</i> (捕食性ダニの1種)	HOY and KNOP, 1981; ROUSH and HOY, 1981 a; 1981 b; HOY, 1984; HOY and OUYANG, 1989
	<i>P. persimilis</i> (チリカブリダニ)	SCHULTEN and van de KLASHORST, 1974; AVELLA et al., 1985; FOURNIER et al., 1987
	<i>T. japonicum</i> (ズイムシアカタマゴバチ)	XU et al., 1986
	<i>Trioxys pallidus</i> (アブラバチの1種)	HOY and CAVE, 1988; 1989; HOY et al., 1989; 1990; EDWARDS and HOY, 1993; 1995
	<i>Typhlodromus pyri</i> (捕食性ダニの1種)	MARKWICK, 1986; SUCKLING et al., 1988
寄主との同調性	<i>Cotesia melanoscela</i> (コマユバチの1種)	HOY, 1975 a; 1975 b; WESELOH, 1986
温度耐性	<i>P. persimilis</i> (チリカブリダニ)	VOROSHILOV, 1979
産雌性単為生殖	<i>Muscidifurax raptor</i> (コガネコバチの1種)	LEGNER, 1987
食性	<i>Lepthyphantes tenuis</i> (サラグモの1種)	BECK and TOFT, 2000
飛翔能力	<i>Harmonia axyridis</i> (ナミテントウ)	TOURNAIRE et al., 2000

注) 文献詳細は筆者に問い合わせたい。

もの)。表-2を見ると、近年行われた天敵の人為選抜に関しては殺虫剤・殺ダニ剤抵抗性系統の選抜に関するものが多いことがわかる。以下では、まず人為選抜に必要な遺伝学的背景を概説し、次に抵抗性系統育種とそれ以外の形質に関する育種について研究例を紹介する。

1 人為選抜の対象にする形質の選定と必要条件

ある形質について天敵を人為選抜で改良しようとする

ときは、まず人為選抜が可能かどうかを知らなければならない。予備知識として、目的とする形質の遺伝性に関する情報(単純なメンデル式優性遺伝をするのか、ポリジーン支配なのか、多面発現か否か)や、その遺伝形質の集団における変異の幅についての情報が重要である。また、行動特性などの天敵の有用形質は量的形質であることが多く、これは遺伝的要因と環境要因によって支配

されている。量的形質の遺伝学についてはここでは詳しく触れないが (FALCONER and MACKAY (1996) や根井 (1990) 等の成書を参照されたい)、人為選抜には表現型分散内の遺伝分散の割合を示す遺伝率が重要なパラメータになる。選択によって次世代に生じる量的形質の変化量は遺伝率に比例するので、遺伝率が高ければ、少ない世代数で速やかに形質を選抜することが可能になる。実際の遺伝率はキイロショウジョウバエの腹部剛毛数で 50%、産卵能力で 20% という報告がある。

以上のような遺伝学的背景を考慮に入れて人為選抜する形質を決めることになるが、天敵の種類によって選抜対象となる形質は異なる。天敵の選抜形質として考えられるのは、寄主発見効率、寄主選好性、発育速度、産卵数、性比、温度耐性、移動性 (定着性)、飛翔能力、殺虫剤抵抗性、休眠性などであるが、寄生性天敵の場合には寄生が成功するまでの行動段階、すなわち、寄生生息場所への定位、寄主への定位、寄主の認容、寄主適合性、寄主調節 (VINSON, 1976) に関わる形質も遺伝率が高ければ選抜の対象になる。以下では、研究例が多い殺虫剤・殺ダニ剤抵抗性系統とそれ以外の形質とに分けて選抜の事例を紹介する。

2 殺虫剤・殺ダニ剤抵抗性系統の人為選抜

ある作物を加害する重要害虫の種類は複数であることが多く、一方天敵資材は種特異的なものが多いため、生物的防除を積極的に取り入れようとした場合に天敵と化学農薬の併用は避けて通れない問題である。特定の害虫にのみ効果を発揮し天敵に影響の少ない選択的殺虫剤が利用できればよいが、それができない場合は天敵の側に殺虫剤・殺ダニ剤抵抗性を導入することで天敵と化学農薬との併用が可能になる。ROSENHEIM and HOY (1988) は、カイガラムシの寄生蜂である *Aphytis melinus* (ツヤコバチの 1 種) をカンキツ類の IPM でよく用いられる 5 種類の殺虫剤、すなわち NAC (カルバリル)、クロルピリホス、ジメトエート、マラソン (マラチオン)、DMTP (メチダチオン) に対する抵抗性を獲得するように人為選抜した。最初は低濃度、そして徐々に濃度を上げて選抜を行った結果、NAC に対する LC_{50} 値は選抜開始前の室内系統の 5 倍以上に達し、感受性の野外系統の約 20 倍に達した。野外で NAC を散布した葉を用いてバイオアッセイを行ったところ、抵抗性選抜系統が散布 18 日後の葉で 50% 以上の生存率を示したのに対して、選抜していない感受性系統は散布 75 日後の葉でもなお 86% 以上の死亡率を示した。HAVRON et al. (1991 a; 1991 b) は、同じツヤコバチ科の *Aphytis holoxanthus* と *A. lingnanensis* を用いて、マラソン、アジンホスメ

チル、ペルメトリンに対する抵抗性選抜を行った。その結果、このハチのアジンホスメチルに対する抵抗性は感受性系統の 24~48 倍に達した。また、アジンホスメチルが頻繁に散布されるシトロン園から採集された *A. lingnanensis* 系統は室内飼育の感受性系統に比べ約 10 倍の抵抗性をもっていたが、人為選抜によってさらにこの 4 倍、すなわち感受性系統に比べると約 40 倍に達する抵抗性系統の選抜に成功している。

捕食性ダニに関する人為選抜の研究例も多い。HOY and OUYANG (1989) は捕食性ダニの 1 種 *Metaseiulus occidentalis* のコロニーを、殺虫剤アバメクチンの処理濃度を上げながら 20 回人為選抜した。その結果、 LC_{50} 値は当初の 3.8 倍になり、雌成虫の生存率が上昇しただけでなく 1 雌当たりの産卵数も増加した。捕食性ダニのアバメクチン抵抗性系統は、カリフォルニアでハダニ被害がひどいブドウなどの落葉性果樹で今後役に立つと思われる。

殺虫剤・殺ダニ剤抵抗性系統の育種に関して注意しなくてはならない一番重要な点は、抵抗性付与の対象にした殺虫剤・殺ダニ剤が天敵と併用されなくては意味がない点である。抵抗性発現の機構によっては、選抜に用いた薬剤以外の薬剤にも抵抗性をもつ、いわゆる交差抵抗性が生じることも考えられるが、通常は併用する薬剤の種類が変われば抵抗性は存在しない。したがって人為選抜によって天敵に抵抗性を付与しようとするときには、どの種類の殺虫剤・殺ダニ剤を用いるかを、今後の使用予測を踏まえて慎重に検討しなくてはならない。

なお、ここで紹介したアジンホスメチルとアバメクチンは、日本では農薬登録がないので注意されたい。

3 抵抗性以外の形質に関する人為選抜

薬剤抵抗性以外の形質に関する人為選抜の最近の試みについて、以下にいくつか例を紹介する。van HOUTEN et al. (1995) はクメリスカブリダニと *Amblyseius barkeri* の非休眠系統の選抜に成功している。クメリスカブリダニのニュージーランド系統は 10 世代の選抜で休眠率が 41% から 0% になり、また *A. barkeri* のオランダ系統は 6 世代の選抜で休眠率が 67% から 0% になった。しかも選抜後も捕食率などの捕食能力や産卵数の低下は見られなかった。さらに選抜したクメリスカブリダニ非休眠系統を長日条件下で 18 か月間飼育した後、休眠を誘起する短日条件下で飼育したところ、92% が非休眠であったことから、選抜した非休眠形質は遺伝的に安定であることが示唆された。このクメリスカブリダニ非休眠系統は温室内での放飼が試みられ、短日条件下でも増殖することが確認されている。PARKE and ORZACK

(1985)は、同系交配と人為選択の実験を通じて、キョウソヤドリコバチの性比に遺伝的変異が存在することを発見した。すなわち隔離した五つの同系交配系統間の性比は有意に異なっており、また1雌から出発して13~15世代の間、雌比を下げるように人為選抜することで、最初80~90%あった雌比が50~55%に下がることを示した。これはどの同系交配系統よりも低い雌比である。この実験結果からキョウソヤドリコバチの性比は、遺伝的要因と雌蜂の行動に関する要因の両方によって決まることが明らかになり、人為選択で寄生蜂の性比を変えられる可能性が示された。TOURNIAIRE et al. (2000)は、中国で採集後、室内累代飼育していたナミテントウの集団中に飛べない個体が混じっているのを発見し、選抜してホモ接合のフライトレス系統を作り出した。この系統は成虫で放しても放飼場所から移出しないので、生物的防除に有用であると考えられる。

4 人為選抜の結果が他の形質に影響する場合

人為選抜を行う場合、目的とする形質以外の形質はなるべく変化しないことが望ましい。もちろん選抜対象以外の形質についても、天敵として望ましい改良が図られるならば好ましいことではあるが、これを予測しコントロールすることは難しい。RODRIGUEZ-SAONA and MILLER (1995)は、テントウムシの1種を用いて発育が早い系統の人為選抜を行い、それが他の形質にどのような影響を及ぼすかを調べている。5世代にわたって発育が早い個体のみを選抜した結果、18, 22, 26°Cにおける1齢から羽化までの生存率は、コントロールと比べてそれぞれ9.4, 8.5, 22.2ポイント改善した。この選抜は、成虫体重、産卵数、寿命には影響しなかった。この結果、内的自然増加率と年間世代数はいずれも野外集団に比べて増加した。量的形質が発現する際の生理学的メカニズムや、それを支配する遺伝的背景については未知の部分が多いので、人為選抜が予期せぬ副次的効果をもたらす可能性については留意しておく必要があるだろう。

II 遺伝子操作による天敵の改良

近年の分子生物学的手法の急速な発展により、人為選抜では困難な遺伝的特性改変が天敵でも可能になりつつある。すなわち、その種が本来持っていない外来遺伝子を遺伝子組換え技術を用いて導入し、発現させる育種法である。遺伝子組換え技術は作物育種の分野では研究が進んでいるが、昆虫などの節足動物でも主にショウジョウバエを用いた研究の成果により、利用可能なベクター(トランスポゾン=遺伝子を運ぶ可動因子など)がいくつか見つかっている。現在ショウジョウバエ以外の昆虫

の遺伝子組換えに用いることができるトランスポゾンには、*Hermes* (イエバエ由来)、*mariner* (ショウジョウバエの1種由来)、*Minos* (カスリショウジョウバエ由来)、*piggyBac* (ウワバの1種の培養細胞由来)などがあり、ネツタイシマカ、チチュウカイミバエ、サシバエ、コクヌストモドキ、ワタアカミムシ、カイコなどの遺伝子組換えに用いられている (ATKINSON et al., 2001)。トランスポゾン以外にもウイルスや共生微生物(ボルバキアなど)もベクターとしての利用が研究されている。昆虫の遺伝子組換え体を実際に利用しようという試みは、デング熱や黄熱病を媒介する蚊を遺伝子操作して媒介能を持たない系統を育成する研究や、チチュウカイミバエの不妊虫をガンマ線照射ではなく遺伝子組換え技術で生産しようという研究、さらにはカイコを用いて有用物質を生産させる「昆虫工場」の研究などで展開されている。以下では、捕食性ダニの研究を中心に天敵の遺伝子組換えの現状と問題点を解説する。

1 捕食性ダニ *Metaseiulus occidentalis* の研究例

フロリダ大学のHoy博士とその共同研究者たちは、カブリダニの遺伝的改良の研究と作出した有用系統の放飼が環境に与える影響についての提言を精力的に行っている。Hoyらは、マーカーとして大腸菌*lacZ*遺伝子を組み込んだプラスミドDNAとヘルパー(ショウジョウバエのヒートショックプロテインhsp70のプロモーター)を*M. occidentalis*雌成虫の卵巣内に注射した(maternal microinjection, 母体内微量注射)。この方法だと卵への直接注射に比べて死亡率が低い。トランスポゾンを用いなかったのは、環境中へ放出した後で導入した遺伝子が他の種の生物に転移すること(水平転移)をおそれたからである。その結果、注射したプラスミドDNAが核DNAに組み込まれて、その後も安定して継代的に受け継がれる組換え系統の作出に成功した。この遺伝子組換えカブリダニは、組み込んだ遺伝子マーカーの安定性を調べるために1996年に初めて野外に放飼された。この間の経緯については、WHITTEN and Hoy (1999)に詳しく述べられているが、実験を遂行するに当たり、フロリダ大学、フロリダ州、アメリカ農務省のいくつもの厳しいチェックを受けている。T18と名付けられた遺伝子組換え系統は、放飼サイト内に置かれた餌のナミハダニが付いたポット植えのマメ上に放飼された。放飼ポットの周りには*M. occidentalis*に有毒な殺ダニ剤が散布されたマメのポットがトラップ植物として置かれ、さらに飛翔分散の有無をモニタリングするために粘着板トラップが実験場所の周囲に設置された。1回目の放飼実験は餌ハダニとカブリダニの両方が急激に減

少したため3週間で打ち切られたが、推定3世代しか経過していないにもかかわらず、組み込んだ遺伝子を持つ個体はほとんど残っていなかった。室内では150世代以上にわたって安定的に受け継がれていたため、この結果は驚くべきものであった。2回目の放飼ではさらに6系統の遺伝子組換え系統が野外放飼され、2か月間続けられた。この実験でも組み込んだ遺伝子は6系統すべてで急速に失われてしまい、野外放飼は失敗に終わっている。可能な原因について Hoy らも言及しているが証明はされていない。コマユバチ科の寄生蜂 *Cardiochiles diaphaniae* についても、プラスミド DNA の母体内微量注射によって外来遺伝子を核ゲノム中に取り込ませ、4世代後まで安定して配列が確認されたという報告がある (PRESNAIL and Hoy, 1996)。

2 遺伝子組換え天敵のリスク

Hoy らはトランスポゾンを用いなかったため、トランスポゾンを用いた天敵の遺伝子組換えは公表された報告で見る限りまだ試みられていない。しかし遺伝子組換え技術を用いた昆虫の操作が現実的になるにつれ、組換え系統を環境中に放出した際のリスクについて、盛んに議論が行われるようになった。ATKINSON (2001) は、ベクターを用いた遺伝子組換えについてのリスクを論じている。何らかの原因でベクターが遺伝子組換えの対象とは関係のない生物に転移し、それまで存在しなかった DNA 配列がゲノム中に突然現れる、いわゆる水平転移 (horizontal transfer) の例が知られている。例えばキイロショウジョウバエのトランスポゾンである P 因子の分布を時間的、空間的に詳しく調査した結果から、実はこの因子は過去75年以内に別種のショウジョウバエからキイロショウジョウバエに未知のメカニズムで転移したことがわかった (KIDWELL, 1992)。この比較的最近に起こった種間転移の後、P 因子はほとんどすべてのキイロショウジョウバエ野外集団に広まったと考えられている。同様に、*hobo* や *copia* というトランスポゾンもまた比較的最近に別種からキイロショウジョウバエに転移してきたと考える説が有力である。このような種を超えた遺伝子の転移は、ベクターを介した目的外生物への遺伝子の転移の危険性が存在することを示している。これらの転移が起こるメカニズムはまだよくわかっていないので、水平転移の危険性がどの程度のものなのかを評価することは現時点では難しい。しかしごく最近に、キイロショウジョウバエに繰り返し起こった水平転移は、このような転移が決して稀なことではないことを示している。それでは、水平転移を防ぐ手段はあるのだろうか。水平転移の危険性を評価し最終的に回避する手段と

して、ATKINSON et al. (2001) は二つの方法を提示している。一つは水平転移が起こるメカニズムを調べて、それが起こらないような遺伝子組換えを行うこと、二つ目は本来の寄主以外の生物でベクターの転移活性が機能するかどうかを調べて、あるベクターを用いた場合に水平転移が起こる危険性をあらかじめ評価しておくことである。例えば前述の P 因子については、水平転移が起こるメカニズムについてはよくわかっていないが、キイロショウジョウバエとその近縁種でしか水平転移は起こらないことがわかっている。遺伝子組換えの危険性を論じるに当たっての重要な問題は、「水平転移が起こるかどうか」ではなく、「ベクターや外来遺伝子が目的外生物の核の中に発見されたとき、それが機能し、子孫に伝わるかどうか」である。同様の議論はバキュロウイルスを用いた殺虫剤の開発でも生じており、これらの天敵資材が哺乳動物の細胞に感染し、増殖できるかどうかを直接評価する方向で研究が進められている。いずれにしても、作物の遺伝子組換え体が大きな問題になっているように、天敵の遺伝子組換え体もまた十分なリスク評価と社会的コンセンサスなしには、環境中への放出は難しいだろう。遺伝子組換え天敵の環境に与えるリスクについては、Hoy (2000; 2003), Hoy et al. (1997), TIEDJE et al. (1989) などに詳しく論じられている。

おわりに

以上述べてきたように、天敵の育種は将来有望な技術ではあるが、遺伝子組換え技術に関してはまだ実用化までの道のりは遠い。当面、既に天敵資材 (生物農薬) として登録されている昆虫やダニの人為選抜による有用特性強化が最も現実的な展開方法であると思われる。この場合、新たな天敵の開発では障害となる大量増殖法は既に確立しているし、また遺伝子組換え作物の議論などでよく用いられる「実質的同一性」の概念を適用すれば、登録に必要なデータも少なくすむことが期待できるが、これらの点は今後の検討課題である。

参考文献

- 1) ATKINSON, P. W. et al. (2001): Annu. Rev. Entomol. 46: 317~346.
- 2) DEBACH, P. and K. S. HAGEN (1964): In Biological Control of Insect Pests and Weeds (DEBACH, P. ed.), Chapman and Hall, London, pp. 429~458.
- 3) FALCONER, D. S. and T. F. C. MACKAY (1996): Introduction to Quantitative Genetics, 4th ed. Prentice Hall, Harlow, 464 pp.
- 4) HAVRON, A. et al. (1991 a): Entomol. Exp. Appl. 61: 221~228.
- 5) ——— et al. (1991 b): ibid. 61: 229~235.
- 6) Hoy, M. A. (2000): Exp. Appl. Acarol. 24: 463~495.
- 7) ——— (2003): Insect Molecular Genetics, 2nd ed., Aca-

- demic Press, San Diego, 544 pp.
- 8) ——— et al. (1997) : American Entomol. 43 : 206~209.
- 9) ——— and Y. L. OUYANG (1989) : J. Econ. Entomol. 82 : 35~40.
- 10) KIDWELL, M. G. (1992) : Genetica 86 : 275~286.
- 11) MESSENGER, P. S. and R. van den BOSCH (1971) : In Biological Control (HUFFAKER, C. B. ed.), Plenum Press, New York, pp. 68~92.
- 12) 根井正利 (1990) : 分子進化遺伝学, 倍風館, 433 pp.
- 13) PARKE, E. D., Jr. and S. H. ORZACK (1985) : Genetics 110 : 93~106.
- 14) PRESNAIL, J. K. and M. A. HOY (1996) : Ann. Entomol. Soc. Am. 89 : 576~580.
- 15) RODRIGUEZ-SAONA, C. and J. C. MILLER (1995) : Biological control 5 : 389~396.
- 16) ROSENHEIM, J. A. and M. A. HOY (1988) : J. Econ. Entomol. 81 : 1539~1550.
- 17) TIEDJE, J. M. et al. (1989) : Ecology 70 : 298~315.
- 18) TOURNIAIRE, R. et al. (2000) : Entomol. Exp. Appl. 96 : 33~38.
- 19) van HOUTEN, Y. M. et al. (1995) : ibid. 77 : 289~295.
- 20) VINSON, S. B. (1976) : Annu. Rev. Entomol. 21 : 109~133.
- 21) WHITTEN, M. J. and M. A. HOY (1999) : In Handbook of Biological Control (BELLOWS, T. S. and T. W. FISHER eds.), Academic Press, San Diego, pp. 271~296.
- 22) WILKES, A. (1942) : Proc. R. Soc. London, Ser. B 130 : 400~415.
- 23) WILKES, A. (1947) : ibid. 134 : 227~245.

for Windows (CD-ROM 版) 天敵 Photo and Movie Ver. 1

高木 一夫 編

定価 2,940 円税込み (本体 2,800 円) 送料 200 円

野菜・果樹の害虫とその天敵 (高次寄主を含む) の写真と動画を収録。Internet Explorer 3.0 以上か Netscape 3.01 以上のブラウザと動画再生ソフト (QuickTime などの) により作動可能。

お申し込みは直接当協会へ、前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。
 社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11
 郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03) 3944-1561 (代) FAX (03) 3944-2103 メール: order@jppa.or.jp

発行図書 マルハナバチの世界 — その生物学的基礎と応用 —

小野正人・和田哲夫 著 A5判 本文 132 頁+口絵カラー 4 頁
 定価 2,039 円税込み (本体 1,942 円) 送料 310 円

農業生産現場で送粉昆虫の一端を担うマルハナバチについて、その生物学的な生態と行動について、また、導入利用の立場からの受粉者としての役割をわかりやすく解説した書です。

お申し込みは直接当協会へ、前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。
 社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11
 郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03) 3944-1561 (代) FAX (03) 3944-2103 メール: order@jppa.or.jp

発行図書 野菜作りのエキスパート

— やさしい病害虫の防ぎ方 —

阿部善三郎・小林五郎・伊達 昇 編 B5判 本文 202 頁+口絵 8 頁+付録 55 頁
 定価 3,990 円税込み (本体 3,800 円) 送料 340 円

家庭などで気軽に栽培できる野菜について、上手な栽培方法から病害虫などによるトラブルの防ぎ方のポイントを、野菜作りの技術の指導と研究に従事している全国の技術および研究者がわかりやすく解説した書です。

お申し込みは直接当協会へ、前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。
 社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11
 郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03) 3944-1561 (代) FAX (03) 3944-2103 メール: order@jppa.or.jp