

露地用天敵に利用できる飛翔能力の低い ナミテントウ系統の作出

近畿中国四国農業研究センター ^せ世 ^こ古 ^{とも}智 ^{かず}一

はじめに

我が国において、登録されている天敵製剤はいずれも施設栽培用のものであり、露地栽培用の天敵製剤は実用化されていない。ビニールハウスなどの施設は、壁や天井に覆われた閉鎖的な空間であるのに対して、露地は開放系である。そのため、放飼した天敵が飛翔分散するとすぐに圃場の外へ逃げてしまい、期待される防除効果が得られないことが原因として挙げられる。世界的には、天敵の放飼増強法は多くの露地作物を対象に行われているものの、放飼天敵の圃場外への逃避を問題とする事例が散見される（例えば CORBETT and ROSENHEIM, 1996 ; BELLAMY et al., 2004 ; HOGARDY and MILLS, 2006）。このような放飼天敵における定着率低下の問題は、栽培面積が狭い我が国ではより顕著に生じやすいと考えられ、露地での天敵製剤の実用化における大きな制約となっている。

本稿では、作物上への定着性を向上させることを目的として開発された遺伝的に飛翔能力の低いナミテントウの作出法について解説し、露地ナス栽培条件下での放飼試験の事例をもとにアブラムシ類防除の有効性について紹介する。さらに、この遺伝的に「飛ばない」ナミテントウを露地で実用化するための課題と今後の展望について述べてい。

I 研究の背景・経緯

1 難防除害虫アブラムシ類とその生物防除法の現状

我が国では約 200 種類に及ぶアブラムシ類が各種作物や花木に寄生し、吸汁害や甘露によるすす病の発生によって農作物の収量と品質を低下させている。また、低い温度条件でも増殖すること、各種の植物病原ウイルスを媒介伝搬すること、有機リン剤やカーバメート剤などの化学農薬に対して抵抗性を発達させやすいことから、施設・露地ともに重要害虫として認識されている。近年我

が国では、消費者の食品の安全・安心に対する関心が高まっていることを背景に、生物的防除法の研究開発が進められてきた。これまでにアブラムシ類防除を目的に実用化されている生物農薬は、天敵製剤が 4 種類、微生物製剤が 2 種類あるが（田口，2006）、いずれも施設での使用に限られている。

2 飛翔能力の低いテントウムシ類：生物防除への応用

アブラムシ類の捕食性天敵であるテントウムシ類は、生物的防除に有力であると古くから考えられてきた。しかし、一般的にテントウムシの成虫は飛翔能力が高く、施設内での放飼でもすぐに飛翔して作物上に留まらないケースが多発していたため（DIXON, 2000）、利用が進まなかった経緯がある。我が国においては、翅を物理的に折ることで飛翔能力の低いナミテントウが天敵製剤として施設用に販売されている（手塚，2003）。しかしテントウムシは大量増殖における生産コストが高く（DIXON, 2000 ; 矢野，2003）、成虫まで育てるのに必要な餌代や人件費などの高コストが、低価格での供給を困難にしている。

近年ヨーロッパでは、遺伝的に飛翔能力の低いテントウムシ系統を作出してアブラムシ類防除に応用するための研究が進められている（MARPLES et al., 1993 ; TOURNIAIRE et al., 2000 ; LOMMEN et al., 2008）。テントウムシの飛翔不能化が遺伝的要因によるものであれば成虫段階での翅を折る作業が不要であり、卵や幼虫の発育段階での放飼に切り替えることができる。そうすることによって、飼育に必要な人件費や餌代を成虫放飼よりも削減できる可能性が高い。例えばナミテントウの場合、終齢幼虫 1 頭当たりの生産コストは、成虫に比べて飼育にかかる作業日数は 1/2 以下、餌量は 1/3 以下になるという大量増殖上のメリットが見込まれる。定着性と生産コストの両者が改善されることで、ナミテントウを施設に限らず露地でも利用することが可能になると考えられる。そこで筆者らのグループでは、2003 年度から「飛ばない」ナミテントウ系統を作出し、それをアブラムシ類の生物防除に利用するための研究開発に取り組んできた。

A Flightless Strain of the Ladybird Beetle *Harmonia axyridis* Pallas as a Biological Control Agent for Aphids in Open Fields.
By Tomokazu SEKO

（キーワード：人為選抜，ナミテントウ，生物的防除，飛翔能力，露地栽培）

II 「飛ばない」ナミテントウの作出

1 飛翔能力に対する人為選抜

遺伝的に飛翔能力の低いナミテントウ系統は、野外から採集したナミテントウ集団の中から、一定時間当たりの飛翔距離の短い個体を選抜し、その個体同士を交配させるという操作を世代ごとに繰り返すことによって作出することができる。ここで紹介する事例では、飛翔距離はフライトミルを用いて1時間測定し、全個体のうち飛翔距離の短い個体を30%選抜した。この飛翔距離の測定およびナミテントウの飼育は全世代を通じて16L8D、25℃条件で行った。またナミテントウの飛翔不能化を促進するため、選抜7世代目の時点で、選抜個体の中から特に飛翔距離が短かった成虫を雌雄4頭ずつ選抜し、雌雄一対をペアにして四つのiso-female系統を作出した。10世代目以降の選抜は、唯一受精卵が得られた一つのiso-female系統を対象に行った。

2 選抜に対する応答

ナミテントウの飛翔能力の選抜に対する応答の推移を図-1に示す。選抜開始1世代目の時点では、雌雄ともに多くの個体が高い飛翔能力を示したが、世代が進行するにつれて系統内の飛翔能力は低下し、20世代目以降はフライトミル上でほぼすべての個体の飛翔距離がゼロになった。これらの成虫を実際に飛翔させてみたところ、選抜開始から20世代目の時点では系統中の約70%の個体が飛翔することができず、30世代目の時点には、系統内のすべての個体が飛翔不能となった(Seiko et al., 2008)。

「飛ばない」ナミテントウは、通常のナミテントウと同様に左右一対の翅鞘と後翅をもち、外見からでは区別が困難である。翅を広げて飛翔を試みた際に、「飛ばない」ナミテントウでは翅をはばたかせることができないことから、翅のはばたき運動に必要な背部縦走筋あるいは背腹筋に異常が生じているものと考えられる。飛翔に失敗したナミテントウ成虫はそのまま地面に落ちてしまうか、あるいは飛翔をあきらめて歩行活動を開始する。

III 露地ナスでの放飼試験

1 「飛ばない」ナミテントウの定着率とアブラムシ類防除効果

この「飛ばない」ナミテントウが露地でアブラムシ類防除に有効であるかどうかを検証した事例を紹介する。ナスの苗を定植した露地で「飛ばない」ナミテントウの成虫と、選抜を行わずに維持している飛翔能力をもつナミテントウ系統を株当たり2頭の密度で放飼し、圃場内

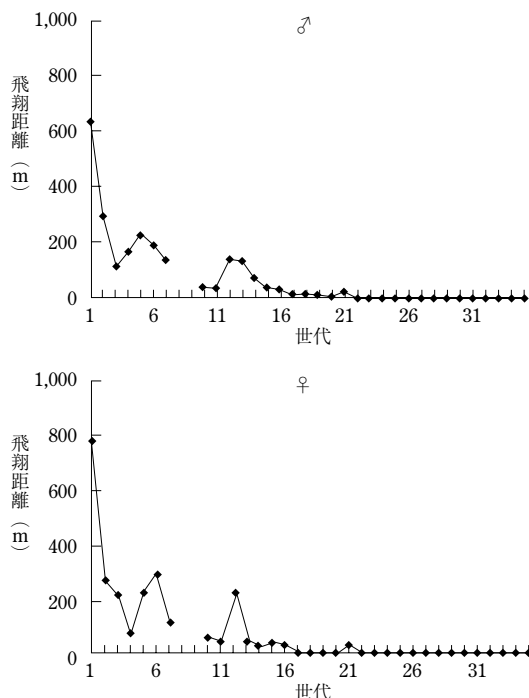


図-1 ナミテントウの1時間当たり飛翔距離の短い個体の人為選抜に対する応答

8～9世代目はサンプル数が10個体以下であったため飛翔測定を行わなかった。4世代目および13世代目の時点では、餌となるアブラムシの不足でナミテントウを大量飼育できなかったため選抜を行わなかった(Seiko et al., 2008)。

での定着率やアブラムシ類に対する防除効果を比較した。この調査は2007年に、広島県福山市にある近畿中国四国農業研究センター内圃場で5～6月上旬および10～11月に、また兵庫県加西市にある兵庫県立農林水産技術総合センター内圃場で9～10月上旬に実施された。表-1に、各調査地点における圃場条件をまとめた。

図-2は、各調査区に放飼したナミテントウの定着率の変化を示す。飛翔能力をもつナミテントウ系統を放飼した対照区では、放飼直後に数頭の個体がすぐに飛翔して圃場から出ていく様子が観察され、翌日までにはほとんどの個体が区画内からいなくなった。一方、「飛ばない」ナミテントウの放飼区では、対照区に比べて長期間区画内に留まる傾向が見られた。日数の経過に伴い定着率が減少しているが、これは歩行分散によって圃場の外に出ていったためと思われる。近畿中国四国農業研究センター内圃場で行った調査では、ワタアブラムシ密度は「飛ばない」ナミテントウを放飼した区のほうが対照区よりも低く推移した(図-3)。兵庫県立農林水産技術総

表-1 「飛ばない」ナミテントウの放飼試験を行った露地ナス圃場の諸条件 (2007 年)

場所	期間	品種	定植日	ナミテントウ 放飼日	区画サイズ		温度 (℃)		
					面積 (畦数)	n ^{a)}	平均	最高	最低
近畿中国四国農業研究 センター内圃場	5/14 ~ 6/10	筑陽	5/9	5/15	4.5 × 13.0 m (2)	30	19.7	29.7	11.8
同上	10/12 ~ 11/15	筑陽	10/10	10/12	4.5 × 13.0 m (2)	30	15.8	26.5	5.1
兵庫県立農林水産技術 総合センター内圃場	9/20 ~ 10/10	千両	9/14	9/25	2.0 × 13.0 m (1)	15	23.0	31.7	14.2

^{a)} 定植したナスの苗数 (SEKO et al., 2008 を一部改変)。

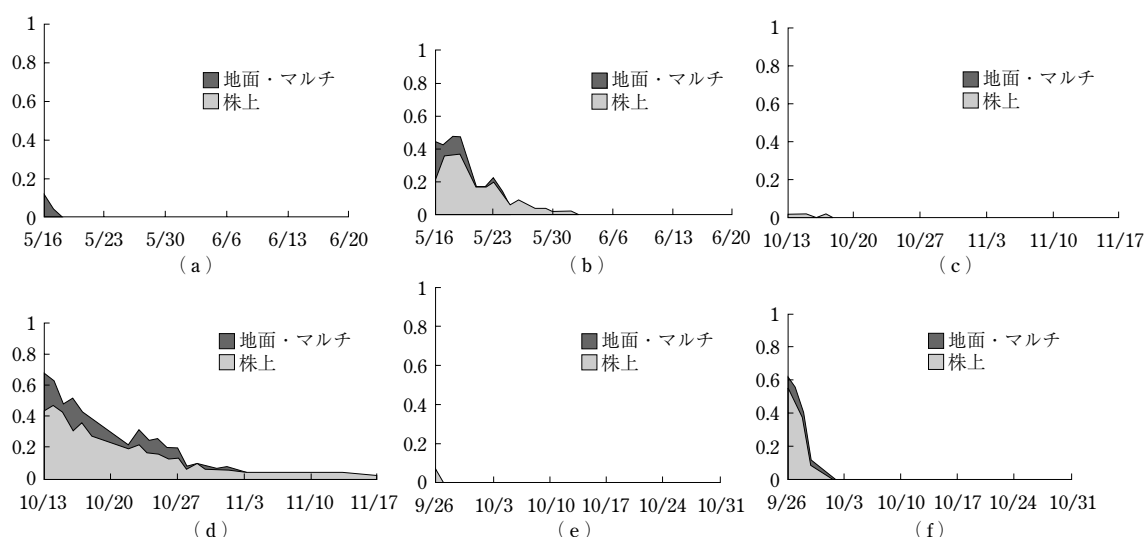


図-2 露地ナスで放飼したナミテントウ成虫の定着率の推移

(a)と(b)は、近畿中国四国農業研究センター内圃場で5～6月上旬に行った調査の対照区と放飼区、(c)と(d)は同センターで10～11月に行った調査の対照区と放飼区、(e)と(f)は兵庫県立農林水産技術総合センター内圃場で行った調査の対照区と放飼区を示す。図の縦軸はナミテントウ成虫の日当たり定着率、すなわち放飼したナミテントウ成虫数を1としたときの確認された数の割合を示す (SEKO et al., 2008)。

合センター内圃場で行った調査においても、「飛ばない」ナミテントウの放飼区ではワタアブラムシ密度が抑制されたが、対照区においては調査開始時点からワタアブラムシがほとんど観察されなかった (図-3)。本調査では、ハネカクシ、クモ類、カエル等が放飼区よりも対照区で多く確認されており、これら土着天敵の働きによってワタアブラムシの増殖が抑制された可能性がある。

2 「飛ばない」ナミテントウの露地での利用価値

我が国において、露地ナスの栽培面積が1 ha以下の生産者は全体の95%を占めている (農林水産省, 2005)。筆者らのグループが作出した「飛ばない」ナミテントウは0.5 a程度の狭い露地においても高い定着性を示し、ワタアブラムシ密度を低く抑えたことから、露地でのアブラムシ類防除に有効であると考えられる。1998年の

時点において、野菜類の栽培面積は全国で約56万 haであるが、そのうち天敵製剤が利用できる施設栽培面積は約3万7千 haであり、全体の6.7%にすぎない。施設の多い花き類においても、全栽培面積に対するその割合は20%程度である。現在登録されている天敵製剤は施設を対象としているため、天敵放飼による生物的防除が可能な栽培環境はかなり限られていると言える。「飛ばない」ナミテントウを露地で実用化することによって、これまで化学農業に頼らざるを得なかった多くの露地作物において大幅な環境負荷低減が期待される。

野菜類において、露地では施設よりも単位面積当たりの収益が低いことから、防除費用がかかる天敵放飼よりも圃場およびその周辺の土着天敵を保護利用するほうが現実的であると考えられている (大野, 2003)。一方で

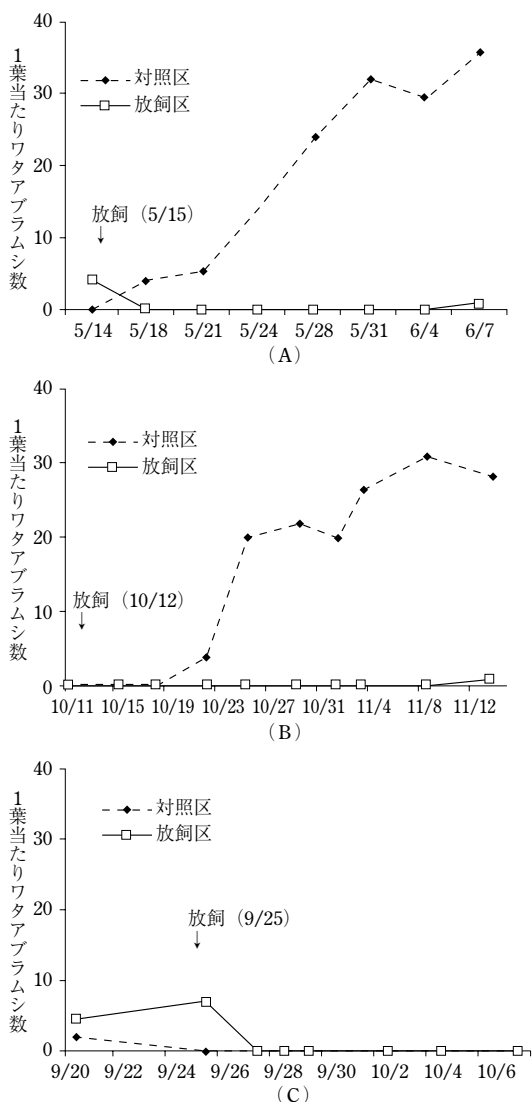


図-3 各調査区における露地ナスでのワタアブラムシ数の変化

(A)は近畿中国四国農業研究センター内圃場で5～6月上旬に行った調査、(B)は同センターで10～11月に行った調査、(C)は兵庫県立農林水産技術総合センター内圃場で行った調査での結果を示す (SEKO et al., 2008)。

土着天敵が発生していない時期、あるいは土着天敵の移入が制限される栽培環境など、土着天敵の働きが期待できない状況も想定される。例えば露地オクラでは、土着天敵であるテントウムシ類やハナカメムシ類の活動が活発になるのは5月下旬以降で、ワタアブラムシの発生よりも遅れる傾向にある (下八川, 2002)。また、チョウ目害虫の侵入防止を目的に防虫ネットを被覆することで

テントウムシ類やクサカゲロウ類などの大型のアブラムシ類捕食者の移入が抑制されると、ネットの中でアブラムシ類が増殖するおそれがある。このように土着天敵の保護利用に制限がある時期または栽培環境において、「飛ばない」ナミテントウの利用は有効であると考えられる。

IV 今後の課題と展望

1 品質維持管理手法の開発

天敵昆虫を長期間人工飼育条件で維持していると、遺伝的浮動や近親交配などの効果によって系統の遺伝的組成が変化することがある (HOPPER et al., 1993; 矢野, 2003)。ナミテントウの飛翔不能化は、劣性遺伝子のホモ接合によって発現すると考えられており (MARPLES et al., 1993; FERRAN et al., 1998), 人為選抜が進むにつれて系統内でホモ化が進行することになる。すると、これまで隠れていた有害遺伝子が発現しやすくなり、生存率や繁殖能力の低下などの天敵としての品質の低下、および天敵の大量生産における増殖効率の低下が懸念される。本研究での露地ナスでの調査において、放飼したナミテントウ成虫の交尾行動は調査中に観察されたものの、それらが産んだと思われる卵塊や幼虫はほとんど観察されなかった。このことから、有害遺伝子の発現による影響が出ているものと考えられる。「飛ばない」ナミテントウを天敵製剤として実用化するためには、天敵としての高い品質を安定的に長期間維持できる管理手法を取り入れた大量増殖系の開発が求められる。

2 利用方法の開発

「飛ばない」ナミテントウの適切な利用方法、すなわち放飼するタイミング、回数、密度等は、作物の種類やその栽培条件によって大きく異なることが予測される。例えば、花き類のように経済的被害許容水準が低い作物、あるいは植物体が生長してアブラムシ類寄生部位面積 (アブラムシ類にとっての環境収容力) が広がった時期では、放飼数や放飼回数を増やす必要がある。また、ナミテントウの発育や繁殖能力などに大きく影響する温度条件の違いによっても、放飼数や放飼間隔を変更する必要があるだろう。「飛ばない」ナミテントウを多種多様な作物とその栽培環境で応用するには、「飛ばない」ナミテントウの生存、発育、繁殖、および捕食行動に関連する各パラメーターを用いたシミュレーションによる最適放飼法の推定、および圃場での放飼試験による防除効果の判定という、理論と実証の両方の立場から利用方法を確立していくことが重要である。

なお、上記の課題に取り組むため2008～10年度にわ

たり「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託をうけて、岡山大学、アグリ総研(株)、兵庫県立農林水産技術総合センター、大阪府環境農林水産総合研究所、奈良県農業総合センター、和歌山県農林水産総合技術センター、徳島県立農林水産総合技術支援センターとの共同研究を実施している。

3 生態系かく乱の可能性

最後に、遺伝的に改良された「飛ばない」ナミテントウを露地で使用することによる環境リスクについて触れたい。ナミテントウは、以前欧州や米国で導入され各地で放飼が行われた。しかし次第に生息分布を拡大し、現在では侵入外来生物として認識されている (BROWN et al., 2008; KOCH and GALVAN, 2008)。我が国においては、ナミテントウは土着種に当たること、また「飛ばない」ナミテントウは飛翔することができず分散能力が制限されていることから、放飼個体そのものが生態系に影響を及ぼす可能性は低い。もっとも、放飼した「飛ばない」ナミテントウと露地圃場に移入した野生個体が交配することで「飛ばない」遺伝子の頻度が上昇し、野外個体群内における飛翔不能個体の頻度に変化をもたらす可能性がある。本研究の調査で放飼したナミテントウには、野外から圃場内に移入したナミテントウを識別するために、すべての個体にマーキングが施された。調査で観察された個体はすべてマーキングされた個体であったため野外個体の移入は確認されなかったが、今後も詳細に検証していく必要があるだろう。

おわりに

これまで天敵の定着率低下の問題に関する研究は、バンカー植物やおとり植物の導入など天敵の誘引・定着を誘導するような環境条件を整えることで解決を図る場合が多かった。一方で、「飛ばない」ナミテントウの研究

で行われたのは天敵の遺伝的改良であり、野外集団内の形質変異に着目し人為選抜によって機能強化を図るという点で、前者とは異なるアプローチといえる。天敵の育種とその利用法の開発は発展が見込まれる分野であり、今後はナミテントウ以外の有力天敵に対しても定着性向上を目的とする有用系統の作出が推進されることに期待したい。

引用文献

- 1) BELLAMY, D. E. et al. (2004): Biological Control **29**: 227 ~ 234.
- 2) BROWN, P. M. J. et al. (2008): From Biological Control to Invasion: The Ladybird *Harmonia axyridis* as a Model Species (ROY, H. and E. WAINBERG, eds.), Springer, Netherlands, p. 5 ~ 21.
- 3) CORBETT, A. and J. A. ROSENHEIM (1996): Biological Control **6**: 35 ~ 44.
- 4) DIXON, A. F. G. (2000): Insect Predator-Prey Dynamics Ladybird Beetles and Biological Control, Cambridge University Press, Cambridge, 257 pp.
- 5) FERRAN, A. et al. (1998): BioControl **43**: 53 ~ 64.
- 6) HOPPER, K. R. et al. (1993): Annual Review of Entomology **38**: 27 ~ 51.
- 7) HOUGARDY, E. and N. J. MILLS (2006): Biological Control **37**: 206 ~ 213.
- 8) KOCH, R. L. and T. L. GALVAN (2008): From Biological Control to Invasion: The Ladybird *Harmonia axyridis* as a Model Species (ROY, H. and E. WAINBERG, eds.), Springer, Netherlands, p. 23 ~ 35.
- 9) LOMMEN, S. T. E. et al. (2008): Biological Control **47**: 340 ~ 346.
- 10) MARPLES, N. M. et al. (1993): Entomologia Experimentalis et Applicata **69**: 69 ~ 73.
- 11) 農林水産省 (2005): 2005 年農林業センサス: <http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/index.html>, 2009 年 1 月 19 日閲覧.
- 12) 大野和朗 (2003): 植物防疫 **57**: 510 ~ 514.
- 13) SEKO, T. et al. (2008): Biological Control **47**: 194 ~ 198.
- 14) 下八川裕司 (2002): 高知県農業技術センター研究報告 **11**: 27 ~ 35.
- 15) 田口義広 (2006): 植物防疫 **60**: 532 ~ 538.
- 16) 手塚俊行 (2003): 同上 **57**: 376 ~ 379.
- 17) TOURNIAIRE, R. et al. (2000): Entomologia Experimentalis et Applicata **96**: 33 ~ 38.
- 18) 矢野栄二 (2003): 天敵 生態と利用技術, 養賢堂, 東京, 296 pp.

(新しく登録された農薬 18 ページからの続き)

「殺虫殺菌剤」

●フィプロニル・プロベナゾール粒剤

22359: ファーストオリゼプリンス粒剤 6 (明治製薬) 09/03/18

22360: ホクコーファーストオリゼプリンス粒剤 6 (北興化学工業) 09/03/18

フィプロニル: 0.60%, プロベナゾール: 20.0%

稲 (箱育苗): いもち病, イネミズゾウムシ, ウンカ類, イネドロオイムシ, ニカメイチュウ, イナゴ類: は種時 (覆土前)

「殺菌剤」

●金属銀水和剤

22356: シードラック L 水和剤 (サンケイ化学) 09/03/04
銀: 2.0%

稲: もみ枯細菌病, 苗立枯細菌病, 褐条病: 浸種後催芽前

●ベンチオピラド水和剤

22357: 理研ガイア顆粒水和剤 (クミアイ化学) 09/03/18
ベンチオピラド: 50.0%

西洋芝 (ペントグラス): 葉腐病 (ブラウンパッチ), ダラースポット病, フェアリーリング病: 発病初期

日本芝: フェアリーリング病, 葉腐病 (ラージパッチ): 発病初期

(28 ページに続く)