

持続型害虫管理の現実的課題

元農研機構中央農業総合研究センター
鈴木芳人

<はじめに>

作物保護分野の組織の縮小傾向が長期化する一方で、現場の用務量は増加の一途をたどっている。求められる行政対応も多岐にわたるばかりでなく相互の脈絡や首尾一貫性を欠くために、場当たりの対応にならざるを得ないように感じられる。現場で求められる技術開発に取り組める時間は細る一方である。

経済のグローバル化が不可避な潮流となって以来、農政に登場するキーワードには農業現場から生まれたものではない、なじみのうすい用語が増えた。低投入持続型農業、有機 JAS 認証、残留農薬のポジティブリスト、遺伝子組み換え作物の安全性評価、循環型農業、地球温暖化対策、生物多様性保全などなど、いずれも国際的経済摩擦をめぐる国際取決めを背景とした国内対応に関連している。その具体的施策もトップダウンで、かつ短期間で「成果」を出すよう厳しい制約が課せられるようになった。技術者は一方的に行政に仕える立場に追い込まれ、技術開発の立場からの情報発信や提言の道が次第にとざされつつあると思う。政策への現実的対応は不可避であるけれども、年々変化していく建前に振り回されることがないように、害虫防除の現実的課題について私なりの整理を試みたいと思う。適正技術は一朝一夕にはできない。持続的害虫管理のために最も求められているのは、既往の研究成果知識を踏まえた持続的な取り組みではないだろうか。ここでは抵抗性品種を中心に、おもな3つの防除手段の利用をとりあげる。

<耐虫性品種の利用>

害虫防除の省力性と環境負荷の軽減を両立できる防除手段としてかねてから期待を集めてきたのが耐虫性品種である。遺伝子工学の進歩によって無尽蔵ともいえる遺伝資源の利用が可能となり、交配育種や放射線育種に比べて育種の効率と精度が飛躍的に高められた。遺伝子組換え (GM) 作物に対して EU の一部や日本では今も根強い拒絶反応がある。また、従来の育種では不要であった安全性評価のためのコストが GM 作物には必要であるが、その潜在的な可能性と市場の大きさははかりしれない。しかし、栽培が普及した耐虫性品種が、それを加害できる抵抗性バイオタイプ (R タイプ) の発達によって感受性化した事例は極めて多く、育成した耐虫性品種の持続的利用を可能にする害虫の抵抗性管理が不可欠となっている。というよりも、育種と登録にかかるコストが大きいことを考慮すれば、育成が本格化する前に抵抗性バイオタイプの発達制御が可能か否かを検討しておくことが肝要ではないだろうか。

抵抗性管理に関するシミュレーションモデルなどを用いた実用的研究は、Bt 毒素を発現するトウモロコシなどの GM 作物の登場とともに本格化した。その成果を踏まえて今日まで採用されている抵抗性管理の基幹戦略は、作物内毒素の高発現と一定割合の非 Bt 作物栽培を組み合わせた **high dose/refuge strategy** である。しかし、ひとたび育成された耐虫性品種の栽培に制限を課すことは一般的なケースでは困難が予想されるので、**refuge strategy** に拠らない抵抗性管理が望ましいであろう。また、Bt 作物を対象に構築されたモデルは現実性を高めた代償として汎用性が乏しくなっている。そこで、抵抗性の発達速

度に關与する要因の効果を包括的に理解し、抵抗性管理の可否を事前に検討できるよう、抵抗性が1遺伝子座の一对の遺伝子に支配される単純なケースを想定してシミュレーションモデルを構築した。モデル構築にあたり、害虫の生活史を4タイプに類型化した。まず、幼虫と成虫の食性と生息場所が共通するウンカ型と、幼虫と成虫が異なる食性をもつチョウ型に分類した。前者は不完全変態昆虫に、後者は完全変態昆虫に多くみられる生活史である。つぎに、羽化後交尾する時期に応じて、それぞれに移動前交尾と移動後交尾の2型を設けた。

抵抗性遺伝子が劣性でその初期頻度を **0.001** としてモデルを解析した結果、耐虫性の発達速度は耐虫性品種の作付率、害虫の潜在的増殖力、増殖の密度依存性の強度、害虫の移動能力、抵抗性に伴う適応度コストなど様々な要因の影響を受けるが、生活史そのものにとりわけ大きな影響を受けることが明らかになった。シミュレーション実験に基づく主な予測結果は次の通りである。チョウ型移動後交尾では幅広いパラメータ領域にわたって耐虫性の崩壊が **100** 世代以上にわたり妨げられるが、その他の生活史型では短期間で抵抗性遺伝子の頻度が **50%** を超えてしまい、とりわけウンカ型移動後交尾では抵抗性の発達が速い。温帯の一年生作物害虫では作物栽培期以外は野草などで世代を経過し越冬前に移動分散する種が多い。このように、生活環の中に耐虫性品種の影響を受けず、かつ個体群内のランダム交配が実現する世代が含まれる場合には、チョウ型ばかりでなくウンカ型でも **100** 世代以上にわたり抵抗性発達が抑制される。抵抗性獲得に伴う適応度コストは、その度合いに応じて平衡状態における抵抗性遺伝子頻度の低下をもたらす点でユニークであり、適応度コストが低くても害虫の生活史によっては抵抗性発達を著しく遅らす効果を示す。耐虫性品種の作付率は低いほど抵抗性発達が遅くなるが、要防除水準に基づく薬剤防除が行われる場合にはその効果が弱められる。なお、**high dose/refuge strategy** は必ずしも最適な戦略ではなく、害虫の生活史によっては抵抗性発達を阻止できないケースもある。

以上の結果からも明らかのように、稲だけを寄主植物とするトビイロウンカのような害虫では抵抗性発達が起こりやすいと予測される。実際にも、かつて東南アジアでは次々に導入された耐虫性品種に抵抗性のトビイロウンカが相次いで速やかに発達し、緑の革命がおびやかされた。耐虫性が崩壊した水稻は、**Bph1**、**bph2** など主働遺伝子を組み込んだ **IR** 系統の品種である。これに対して、**IR36** など微働遺伝子由来の、よりマイルドな圃場抵抗性を示す品種では、高い作付率が長期間持続してもトビイロウンカに抵抗性が発達しなかった。その他の事例をみても、主働遺伝子支配の質的耐虫性は崩壊しやすいのに対して、微働遺伝子支配の量的耐虫性は長持ちする傾向があり、その理由のひとつとして量的耐虫性の打破には少なからぬ適応度コストがかかるためと考えられる。抵抗性が発達しやすい生活史や生態特性をもつ害虫については、持続的な耐虫性が期待できる遺伝子資源の活用あるいは栽培管理の工夫が望まれる。

<殺虫剤の利用>

有機合成殺虫剤が登場して以来、殺虫剤の持続的利用における最大の課題は抵抗性対策であった。今日もなお、新剤開発に続く抵抗性バイオタイプ出現のイタチごっこが続いている。殺虫剤抵抗性と耐虫性品種抵抗性の発達メカニズムは基本的に共通しているので、前節で紹介したモデルの枠組みは殺虫剤抵抗性の発達予測にも活用できる。具体的な抵抗性発達予測にあたっては、殺虫剤施用時の害虫の年齢構成や殺虫剤の残効期間などに応じたパラメータ値の選択などが必要となるが、耐虫性品種を加害できるバイオタイプ発達の予測結果の多くは定性的には殺虫剤抵抗性の発達予測にもあてはまり、抵抗性が発達しやすい害虫が存在する。

殺虫剤の使用では抵抗性管理が困難となりやすい事情が存在する。抵抗性管理の基本に据えられているのは Bt 作物の利用に限らず抗生物質の服用においても **high dose strategy** である。すなわち、薬を使う限りは高い効果が期待される薬量の使用を徹底することである。これは使用後に抵抗性系統が生き残る確率を極力ゼロに近づけることを目的とする。しかし、殺虫剤の使用ではその徹底が困難なケースが多い。十分な防除効果が期待できれば、あるいは天敵保護のために、施用量を削減する場合がある。しかも、収穫期をすぎた作物上で害虫密度が増加しても、農家にとってコストだけがかかるその防除はまず実施されない。殺虫剤使用後に生き残った害虫は抵抗性系統の比率が高まっているのに、その増殖を抑えることが困難なのである。

殺虫剤に対する抵抗性管理のために広く推奨されてきた使用方法がある。殺虫作用が共通する同一系統の農薬の連用を避け、異なる系統の農薬を交互に使用するローテーション防除である。ただし、この使用方法の効果はしばしば誤解されている。それだけでは防除に使える殺虫剤の枯渇を遅らすことはできないのである。たとえば系統が異なる 2 種類の有効な殺虫剤があるとしよう。同じ剤を連用すれば 5 年で抵抗性がでてしまうケースでは、ローテーション防除に切り替えることで 2 剤とも 10 年間有効に使用することができる。しかし、どちらの使用方法でも 2 剤がともに使えなくなるのは 10 年後であることには変わりなく、それまでの累積施用量も変わらないのである。ローテーション防除が有効なのは害虫の抵抗性獲得が適応度コストを伴う場合である。コナガの Bt 剤抵抗性など、この適応度コストが大きい例も知られているが、有意な適応度コストが検出された例は多くはない。それでも、ローテーション防除をすることは望ましいと考えられる。適応度コストが室内飼育などで検出されなくても、害虫の生活環のいずれかでかかる可能性があるからである。たとえば抵抗性バイオタイプは野草上あるいは越冬期の生存率が低下するかも知れない。抵抗性の機作が明らかにされればその適応度コストの大きさについてもある程度の推測が可能となろう。使用できる殺虫剤の種類数が減少の一途をたどっていることが今後のローテーション防除にとり制約となる恐れがある。

殺虫剤抵抗性の実効ある管理法開発は今後に残された焦眉の課題である。ここでは有望と思われる可能性について指摘しておきたい。それは、系統が異なる混合剤の使用である。すでに述べたように、抵抗性発達を遅らせる基本は徹底防除である。殺虫剤 A の施用でわずかに生き残る個体を殺虫剤 B が叩く。同様、B の施用で生き残った個体を A で叩く。こうすることで、A 剤に対しても B 剤に対しても抵抗性個体が生き残る確率を顕著に低下させることができる。ただし、この方法が有効たりえるためにはいくつかの条件が必要と考えられ、防除した圃場からの害虫の移出を抑制できること、施用面積率が高すぎないことなどが求められるであろう。

<天敵の利用>

天敵利用の今後の課題に関して 2 点だけをとりあげたい。ひとつは、天敵活用の試行錯誤の結果から、いかにして安定した防除効果を達成できる条件を解明するか、である。天敵生物の潜在的能力を評価する方法として、かつては害虫密度に対する機能の反応のパラメータが盛んに調べられた。生物農薬としての利用が普及しはじめてからは、天敵 1 頭あたりの捕食量は幅広い害虫密度範囲でほぼ一定であるという経験則に基づいて天敵の評価法が開発された。しかし、いずれも害虫密度が著しく低下した条件下での天敵の働きには適用できなかった。気象条件に問題がなければ、天敵の働きが不安定になるのは多くの場合このような条件下である。それゆえに、天敵利用では比較的広い食性をもつ天敵の利用や代替餌を供給するシステム(バンカー

が天敵利用に課されている問題である。すなわち、生物農薬的利用では農薬登録が必要であるためにコ法など)の導入が工夫されてきた。この機会に、改めて天敵の評価法について検討してみたい。

もうひとつは、周知の通り日本では諸外国にはない制度上の大きな制約を高を避けられない。しかも土着天敵などの特定防除資材としての利用においても、他の都道府県で採取された天敵の使用は使用が禁止されており、罰則の対象となる。同一都道府県で採集された天敵でもそれを増殖して防除に利用することは禁じられている。増殖した天敵については生態系への影響が否定できないから、というのがその説明である。他の生物については国内における流通にほとんど制約がない。それどころか、植物検疫においても検疫病害虫をポジティブリストとして明示する傾向が強まっており、非検疫病害虫の種数は次第に増加している。経済のグローバル化を推進するために国際的な生物の移動制限が取り払われていく中で、ごく身近な天敵の利用に限って課されている極端な制約は異常といっても過言ではない。ひとたび成立した法律の改正は容易ではないことを承知の上で、この不合理を除去するための戦略の必要性を提言したい。