

Session Lecture 12

Resistance Management and IPM

総合的病害虫管理 (Integrated Pest Management, IPM) は、生物的、化学的、耕種の防除からなる、生物と相性の良い有害生物の制御戦略であり、天然資源の保護と環境への影響の最小化に向けて、すべてのインプットを低減させるために採用されてきた。IPM の目的は、対象生物の広い農薬の使用を避け、最適な選択性農薬の使用を推進することであり、環境への副次的な影響を最小にするためには、化学農薬の使用量を削減すべきである。一方、化学合成農薬抵抗性は深刻な問題であり、露地栽培作物における薬剤抵抗性害虫の増加により、殺虫剤抵抗性管理 (Insecticide Resistance Management, IRM) の重要性がより一層高まっている。その結果として、殺虫剤の更なる使用制限へと向かうことになる。IPM および IRM は、病害虫問題の生物学的基盤に対する十分な理解に基づいて進めなければならない。

本セッションでは、6人の講演者が、殺虫剤抵抗性管理および IPM の現状と将来展望について概説した。

1. Understanding and managing pesticide-natural enemy interactions as a critical component of IPM (Paul C. Jepson, Integrated Plant Protection Center, IPPC)

天敵への農薬の曝露、取り込み、毒性効果および個体群回復を決定するプロセスは、空間的な規模の上に展開される。農薬の生態影響は、薬剤と生物、個体群集団と生態系規模までの相互作用に支配される。それらは、農生態系の規模に依存している。農薬のリスク軽減のためには、農薬リスクの理解、IPM による問題解決法の開発、農薬インパクトの減少、生物的防除の増強といった過程を通じた「生物学に基づく IPM への移行」が必要である。生物学に基づいた IPM は、戦術としての天敵への農薬インパクトの減少および天敵個体群の保護・増強の二つの戦略を要求している。米国では農薬のリスクを減らす各種の施策が進められている。

散布されドリフトした薬剤は表流水への混入などの環境汚染を引き起こす。米オレゴン州の Clackamas 川での薬剤調査では、atrazine, diazinon, simazine, diuron, metolachlor などの除草剤や殺虫剤が高い頻度で検出された。その結果、カゲロウ、カワゲラ、トビケラ等の薬剤感受性の高い水生生物の減少が認められている。薬剤処理は野生生物の生息地や農生態系の多様性の喪失と関連している。英国での農村地域の野生生物の個体群密度の変化をみると、対象生物の広い薬剤の影響は、下等植物や植物で減少が目

立ち、トンボやバッタなどの減少が報告されている。

農薬の生態影響を削減するためには、薬剤の生態影響のメカニズムの理解が必要で、短期のリスクは毒性や暴露量の測定値から推定し、圃場検定を実施して確認する。薬剤の生態影響は天敵と農業景観構造によっても影響を受ける。室内検定の結果は、局所的な結果を予測するばかりでなく、農薬登録のためのデータや IPM 普及のためのデータベースとして活用できる。長期の生態影響は、個体群の状態およびその傾向を監視し、薬剤暴露後の回復率を測定し、長期結果をモデル化する。毒性の強くない薬剤が広大な地域に暴露されると、長期効果を引起し得る。

米国では、従来の農業を環境に優しい農業へと転換しようとしている。すなわち、流域規模の戦略開発、天敵の多様性の認識、地域の天敵生息地の回復、農家を大きな天敵保護プログラムに引き込むなどにより、農業と天然資源を管理、保全する。その戦略は、農村社会における生物多様性の強化、非耕作地を天敵の生息地としての有機的な配置、耕作地増大よりはむしろ農業生産性の増加の優先、農村地域における薬剤インパクトの最小化、農地の土壌、水および植物資源の管理強化、農生態系を自然生態系にならって修正することである。圃場ごとの管理法としては、圃場境界部への天敵温存植生の設置、薬剤散布の減少、圃場内の天敵増殖植生の設置がある。圃場境界部の天敵温存植生やヘッジロウは、捕食者がそこで越冬したり、境界部から圃場に再定着したりする。天敵の生息地の配置は、高い分散能力を有するサラゲモ類の分散にも影響する。地域規模 (日本の国家規模に相当する) の管理としては、多数の農場または流域規模の農村地域生物多様性計画が実施され、農村地域に天敵増殖圃場が設置されている。

2. Does the change in pest management strategy influence an expansion of resistance gene distribution in spider mites? (Mh. Osakabe and R. Uesugi, Kyoto University)

新規農薬が開発され、使用薬剤が変化するに伴い、作物栽培上問題になる害虫種が変化してきた。近年、落葉果樹では、IPM 促進におけるフェロモンを利用した交信攪乱法が果たした役割は大きい。交信攪乱法 (特に複合交信攪乱法) を中心とした栽培体系では、農薬使用量削減に伴い、それまで主要害虫への農薬散布により副次的に発生が抑制されてきたマイナー害虫の復活や天敵の増加などの例も知られていて、落葉果樹を巡る食物網における直接的あるいは

は間接的な種間相互作用にも変化が生じていると考えられる。ここでは、落葉果樹におけるダニ集団を例として、種構成の変化に関する要因を、種間相互作用の観点から検討する。

リンゴに発生するハダニ類は、主にオウトウハダニ *Amphitetranychus viennensis* (Zacher), リンゴハダニ *Panonychus ulmi* (Koch), ナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch の3種である。落葉果樹における優占種は、防除法の変化に伴いこれらの種間で経時的に変化してきたと考えられている。この変化の要因は、ハダニ種間の薬剤感受性の差異により説明できる。ここ数年間のハダニ類種構成の変化を、種間競争とカブリダニの嗜好性の差異に基づく間接効果という観点で検討を行う。

先ず IPM による農薬使用量の減少と関連づける。ハダニ類は茶のカンザワハダニや柑橘類のミカンハダニで、古くから薬剤抵抗性発達が問題になってきた。また、落葉果樹のナミハダニでは比較的近年になってから著しい薬剤抵抗性の発達が認められ、最近ではリンゴハダニにおいても一部の地域で抵抗性発達が確認されている。IPM の進展によりダニ集団が変化するのであれば、ハダニ類の薬剤抵抗性対策にはどのような影響が表れるか？ 薬剤抵抗性の発達を、個体群内における抵抗性遺伝子頻度の上昇として捉えた場合、地域的な薬剤抵抗性の拡大は、薬剤抵抗性遺伝子を持った個体の移動分散とその後の淘汰の結果と考えることができる。

ハダニ類は、歩行による分散に加え、風や上昇気流を利用した空中分散も行う。*Tetranychus* 属と *Panonychus* 属では、空中分散の方法も異なるとされている。空中分散による移動距離とその頻度は、それぞれの個体群の遺伝的構造に影響し、地域における薬剤抵抗性遺伝子の分布拡大と密接な関係を持つと思われる。演者はリンゴハダニと同属のカンキツ害虫であるミカンハダニ *Panonychus citri* (McGregor) について、遺伝子マーカーを用いて個体群構造を調査した。その結果示唆された構造は、欧州で調査されたナミハダニの個体群構造とは若干異なるものであった。ナミハダニとミカンハダニ間のローカル分岐の違いは *Tetranychus* と *Panonychus* の種間で殺ダニ剤抵抗遺伝子の分散の違いを暗示する。

3. IPM in Asian small scale farming (Y. Suzuki, National Agricultural Research Center)

アジア・モンスーン地域では、何十年間にもわたって、国家規模の病害虫予察システムが、政府の植物保護政策の基本となっている。病害虫の発生は定期的に予察員により調査され、適切な防除法が様々なチャンネルを通して農家に助言される。最近、農家自らが予察情報に基づいて判断できるようにするための農家教育が重要だとされているが、

戦略的な IPM の遂行には、発生予察事業が必要不可欠であると考えられている。この事業は、社会的な安定性と国家経済の成長を促すため、主食の米の自給を達成するために始められた。主な目標のうちの1つは、稲の重要害虫トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* であった。その個体群変動のメカニズムは、トビイロウンカと天敵の圃場個体群ダイナミクス、長距離移動、翅型決定要因と薬剤抵抗性、並びに、イネ、トビイロウンカ、天敵の直接および間接的な相互作用の集中的な研究を通して解明されてきた。その結果は、トビイロウンカの個体群ダイナミクスおよび要防除水準のシステム・モデルに組み込まれた。一方、トビイロウンカの化学的防除も、安全性、効果および安定性といった面でかなり進歩した。1970年に禁止され選択的殺虫剤に置き換えられた有機塩素剤の後、昆虫成長制御剤やネオニコチノイド剤が続いた。剤型および処理技術は、農家の要求に合わせ、環境影響を減らす方向へと進んだ。

害虫発生予察技術や防除法の発展にもかかわらず、イネ栽培における IPM は、モンスーン・アジア域の発展途上国および先進国の両方で危機に面している。稲作農家と都市労働者の大きな賃金格差は、国家の経済成長に伴って慢性的なものになってしまった。地球上の全人口の半数以上が、地表面積のわずか10%を占めるに過ぎないアジア・モンスーン地帯に集中している。過度の人口密度と歴史的な障害によって、農家の経済状態の改善に不可欠な規模の拡大が困難になってしまった。日本では農家の高齢化が極限まで進行しており、水田や地域社会までもが後継者不在によって失われつつある。IPM の推進には専門家による助言が必須であるが、政府機関による植物保護政策は年々縮小されている。このようなアジア・モンスーン地帯におけるイネ栽培の IPM および地域社会の危機をいかにして回避するのかについて議論した。

4. The agrochemical industry's approach to ensuring the sustained efficacy of insecticides (A. McCaffery, Syngenta, UK and R. Nauen, Bayer CropScience, Germany)

新規殺虫剤の発見、開発、登録は、益々高額で困難になっている。効果的な殺虫剤抵抗性管理 (IRM) が、多様な作用機作を有する多数の殺虫剤が容易に利用可能である点に依存していることから、現存する殺虫剤に対する感受性を維持し、同時に、新規剤を抵抗性の発達から守ることが必須である。

Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) は、CropLife International の下部組織の1つであり、主要な殺虫剤製造企業を代表しており、企業の製品の有効性維持の保証を託されている。IRAC の任務は、殺虫剤抵抗性に関する情報交換と教育の促進と、持続的農業、優れた公衆衛生、専門家による製品の使用を補佐するために、植物保護および農業

以外での殺虫剤の使用場面における抵抗性管理戦略構築の促進である。IRACは、鍵となる重要な研究および公開プロジェクトの立ち上げと、抵抗性発達の測定方法および理解の改善法の探索という役割を持っている。さらに、IRAC Internationalは、各国のIRACグループが、殺虫剤抵抗性問題に対する、その地域における効果的な解決方法の開発と推進を手助けする。以上の戦略についてはIRACのウェブサイト参照されたい (www.irac-online.org)。

5. Broad spectrum neonicotinoid resistance with no fitness cost (R. ffrench-Constans *et al.*, University of Bath, UK)

抵抗性管理は2つの基本的な仮定に依存している。第1は、他の化学物質に替えた場合に、抵抗性個体が完全に制御されうるという仮定である。第2は、殺虫剤の処理を停止した場合、殺虫剤による淘汰圧がない条件下で抵抗性が減少するという仮定である。演者らは、ショウジョウバエのDDT-R遺伝子に由来するネオニコチノイド、DDT、有機リン剤に対する広範な交差抵抗性の例について報告し、このタイプの抵抗性メカニズムに係わる抵抗性管理法への関連性について議論した。

ショウジョウバエの遺伝子座DDT-Rは、シトクロームP450 (CYP6G1) をコードしている。抵抗性は5'末端側へのトランスポゾンエレメントの挿入によって生じ、その結果として過度の転写が誘導される。キイロショウジョウバエ (*D. melanogaster*) では、トランスポゾンは Accord エレメントである。オナジショウジョウバエ (*D. simulans*) では、並列進化の顕著な例であるが、抵抗性は Doc エレメントの挿入の結果である。CYP6G1はimidaclopridおよびその他のネオニコチノイド殺虫剤だけではなく、構造的に全く関連性のない広範な殺虫剤に対する抵抗性を付与する。

キイロショウジョウバエの自然集団におけるDDT-Rの集団遺伝学研究は、Cyp6g1に1度挿入されたAccordエレメントが1つの抵抗性対立遺伝子を形成し、それが地球規模で広がったことを示している。このことは、適応性に優れた対立遺伝子は、定着するほど広がらないという、古典的な集団遺伝学の理論と矛盾している。また、DDT-Rは、殺

虫剤抵抗性に加えて、メスを介して遺伝した場合には、卵と幼虫に環境適応性をも付与する。この発見は、農薬を処理しなければ薬剤抵抗性が減少するであろうと期待することができないことを意味しており、このような抵抗性メカニズムの管理方法の構築が重要である。

6. When IRM and IPM coincide: combating insecticide resistance in the aphid *Myzus persicae* (I. Denholm and S. Foster, Rothamsted Research, UK)

モモアカアブラムシ (*Myzus persicae*) は、多種類の農作物、園芸作物の重要な害虫である。3種類の殺虫剤抵抗性メカニズムが詳細に解明されており、圃場の作物や Rothamsted Insect Survey によって管理されている吸引トラップから集めたサンプルの診断が可能である。長期間に亘る調査の結果、殺虫剤による選抜と抵抗性メカニズムによる適応コストとの複雑な相互作用を反映して、抵抗性の出現頻度に変動することが分かった。モモアカアブラムシが大部分あるいは完全に単為生殖する地域内では、抵抗性種の適応性は、その地域の特有の環境条件下における生存と繁殖に最も適合した抵抗性クローンの選抜へと繋がる遺伝的背景にも依存している。抵抗性に対する第一の防衛策は、多重抵抗性遺伝型を急速に選抜する可能性が最も低い処理体系を明らかにすることであり、この防衛策は、近年の、既存の抵抗性メカニズムには影響されない新しい殺虫剤グループの登場によって援護されてきた。しかし、新規化合物も抵抗性には脆弱であるため、防除戦略は、生物防除など非化学的方法によって補完されるべきである。潜在的に重要であるが無視されがちなIRMとIPMの1つの領域は、天敵による攻撃に対して、殺虫剤感受性個体と抵抗性個体では、感受性が異なっている可能性である。モモアカアブラムシでは、行動に表れる抵抗性の副次的影響が、寄生蜂のパフォーマンスと密接に関連しているという証拠が室内実験で得られており、このことは、IRMとIPMの目標の潜在的に重要な一致を意味している。

根本 久 (埼玉県農林総合研究センター)