

新しい病害虫管理の概念：EBC (Evidence-based Control) による防除体系の構築

佐賀県果樹試験場 田代暢哉

はじめに

一般に病害虫の防除に当たっては各生産地で推奨すべき防除体系が組み立てられ、防除暦という形で提示されている場合が多い。この防除体系は薬剤防除、耕種の防除、物理的防除、生物的防除、散布技術、要防除水準、防除要否等に関する最も効果的な手法や情報が取り入れられた最先端の科学技術の集大成でなければならないはずであるが、現実の防除体系には一体どれだけの科学的な根拠 (Evidence) に基づいた防除の考え方や技術が反映されているのであろうか。以前に比べて現在では臨機防除や要防除水準並びに防除要否、生物的防除や物理的防除、生理活性物質を利用した発生予察や防除などが取り入れられて進歩してきているのは間違いない。しかし、その反面、我が国の病害虫防除がその置かれている自然条件からみて、どう考えても薬剤に頼らざるを得ないという現状にあるにもかかわらず、防除体系に記載されている個々の薬剤は誰もが納得できる明確な科学的な根拠に基づいて選ばれ、それらの体系化が図られてきたといえるのだろうか。また一方で、それらの薬剤をより効率的に利用できるような工夫が講じられ、どのような気象条件下や病害虫の多発生条件下においても的確に防除が行われ、安全・安心な農産物をつくるための周辺技術の開発がどれだけ進められてきたのだろうか。未だ不十分といわざるを得ず、その結果、防除暦を作成するに当たっても、実際の防除に当たっても、勘と経験に頼らざるを得ない部分があり、そのために適切な対応が取られていない場面が多々あるように思われる。そして、このことが時として防除の失敗を招き、その一方では過剰な防除が実施されることにもなっている大きな原因の一つであると考えられる。

また最近では省力で低コスト、さらには環境負荷低減につながる病害虫管理が求められており、そのための明確な根拠に基づいた防除体系の提示が生産現場から求められている状況にある。

EBC (Evidence-based Control) : The New Concept of Pest Management. By Nobuya TASHIRO

(キーワード：EBC, 防除体系, 科学的根拠, メタ・アナリシス)

そこで筆者は、病害虫防除も応用科学の一分野として展開されるべきであるという観点から、EBC (Evidence-based Control) という病害虫管理の新しい概念を提唱し、科学的な根拠の集積に基づいた病害虫管理の重要性を指摘しているところである。ここではEBCの概念およびEBCを取り入れた効率的な防除体系の構築について紹介する。

I EBC (Evidence-based Control) の概念

EBCとは根拠 (Evidence) に基づいた (based) 病害虫管理 (Control) のことである。すなわち、最新で最善の根拠を、的確に、かつ、思慮深く利用することによって、病害虫防除についての問題解決策を判断したり、効率的な防除体系を構築することであり、その手順を五つのステップによる方法論として提示した (表-1)。問題解決のための一般的なステップではあるが、より合理的、系統的なステップとして認識していただければと思う。

それでは一体なぜ、今、EBCなのだろうか。もちろん、現在行われている病害虫管理は、当然何らかの根拠に基づいて実施されているはずである。しかし、この「根拠」に問題があるために、つまり、根拠となるべき科学的なデータがなかったり、不十分であったりすることが多く、これらのことが結果として生産現場では薬剤散布回数をさらに減らし、楽に、経済的に、一方では、消費者のニーズに合致し、ひいては環境負荷を低減できるような病害虫管理が可能であるにもかかわらず、そうはなっていない大きな原因であると考えられる。現在の病害虫防除を取り巻く厳しい状況を打破していくために

表-1 EBCの方法論

ステップ1：現場の訴えをよく聞いて、問題点を整理し、明確にする。
ステップ2：問題点を解決するために必要な論文やデータなどの情報を集める。ない場合は自分でデータを得る。
ステップ3：集めた情報を批判的に評価して、重要な点と誤っている点を見分ける。
ステップ4：評価した情報を現場へ適用する。
ステップ5：その効果を判定し、さらなる改善を図るためにフィードバックを行う。

は、まず、質の高い根拠の集積こそが望まれるのである。また、EBCでは、集積された科学的な根拠に基づいて防除対応が行われたり、防除体系の組み立てがなされるため、経験の少ない技術者であっても、また、専門的な機関が近辺になくても的確な現場対応が可能になることもメリットの一つである。

しかし、効率的な防除を行うために必要な薬剤の特性解明や実用的な病害虫モニタリングシステムなどについてこれまでにどれだけの情報が蓄積され、技術開発がなされてきたのだろうか。現在、我が国の病害虫防除に携わっている研究者や技術者の中で一体どのくらいの人々がこれらの問題に積極的に、真剣に取り組んでいるのだろうか。また、農業メーカーは一部の剤を除いて薬剤の特性解明（この場合の特性とは作用機作ではなく、生産現場で真に役に立つ特性）、すなわち、薬剤の残効や耐雨性などにどの程度取り組んできたのであろうか。例えば、「今日、薬剤を散布したが、次回はいつ散布したら最も効果的で、かつ、低コストの防除ができるのだろうか？」といった素朴な疑問があるが、それさえも確かな、すなわち、科学的な根拠に基づいた答えが準備されていない場合が多いのではないと思われる。また、薬剤抵抗性の発達を回避するためには薬剤のローテーション散布を行えばよいとされているが、それならばどのような薬剤をどのような組み合わせで、そして、どの程度の間隔で使用すればよいのかについても、根拠に基づいた明確な答えのない場合が大部分であろう。さらに、発生予測や防除要否についてみると、生産者が直接目で見ることのできない病原菌の感染の有無や感染の程度をリアルタイムで情報提供するシステムの構築も一部では行われているが、実際に稼働して十分な成果をあげているとはまだいえない段階である。また、要防除水準の設定についても大部分の病害虫で明らかにされていないのが現状である。

このように我が国の病害虫防除はまだまだ解明しなければならぬことが多く、技術開発も急を要する多くの問題があるというのが現状であるが、この場合、特に現場の防除に直結した根拠の集積が少ないように感じられる。そこで筆者はEBCを提唱しており、この考えに共鳴される方々と一緒に個々の生産現場で真に役立つ防除技術・体系の構築を進展させたいと願っている。

II EBCによる病害虫防除体系の構築

1 根拠の集積

現場で役に立つ病害虫防除体系を構築するためには、まず、現場における問題点を明確にし、それを解決する

ための明確で質の高い根拠、すなわち、生産者、現場指導者、流通関係者そして消費者の誰もが納得できる根拠の集積が必要である。この根拠を積み上げることによって科学的データに裏付けられた効果的、かつ、効率的で、消費者ニーズが満たされ環境負荷の少ない防除体系の構築が図られていくものと期待される。それでは一体どのような根拠の集積を図っていけばよいのであろうか。とりあえずは以下のような項目が考えられる。

(1) 薬剤の特性

効果的な防除を行う一方で薬剤数や散布回数を低減するためには、まずは薬剤の特性を解明する必要がある。現行の防除体系に記載されている薬剤およびそれらに代わり得ると期待される薬剤の一つ一つについて、残効性、耐雨性、同時防除効果、感染成立後の発病抑制効果等を基礎試験並びに圃場試験を通して明らかにしなければならない。ここで得られた根拠によって効率的な防除体系を組み立てるための薬剤の絞り込みを行うことができる。ただし、この根拠を得るためには、いわゆる、これまでの「ぶっかけ試験」のみでは不十分であり、接種試験や付着薬量の分析などの積み上げが必要になる。極論すれば、ある作物の、あるステージにおける、ある種の病害虫に対する最も有効な薬剤は一つのはずであり、そのことを明らかにしていくことによって防除体系のスリム化が図られることになる。

(2) 混用散布による防除効果の変動

薬剤の混用散布は、有効な混合剤が少ない現状では病害虫防除の省力化を図るうえでやむを得ない手段である。しかし、各薬剤の単独散布に比べて混用した場合に防除効果がどのように変動するのかについては、ほとんど明らかになっていない。例えば、カンキツ褐色腐敗病を対象にしてジマンダイセン水和剤400倍を散布する場合、殺虫剤や殺ダニ剤を混用すると薬液付着量が大幅に減少し、その結果、耐雨性が低下することが明らかになっている。このことは混用によってジマンダイセン水和剤400倍の残効が短くなることを示しており、混用が思わぬ防除の失敗を招くことも懸念される。一方で、殺菌剤と混用することで殺虫剤や殺ダニ剤の効果も変動することが考えられるが、この点に関するデータは全くない。今後、防除を実施するうえで考えられる代表的な薬剤の組み合わせについて、実際の防除場面に反映できるようなデータの蓄積を図っていくことが必要である。

(3) 病原菌の感染および感染量と防除要否

病原菌の感染の有無やその程度について生産者が判断することは現状では困難である。保護殺菌剤の効果が消失する前に、残効データに基づいて次の保護殺菌剤の

散布が行われるとすれば問題はないが、この適期散布が何らかの都合で省かれたり、降雨によって保護殺菌剤の残効が消失した場合には、その後の感染によって甚大な被害を生じることが心配される。このため、感染の有無およびその量を科学的な根拠に基づいてリアルタイムで把握できるようなシステムが必要である。さらに、このシステムの活用を図るためには感染が成立しても数日のうちであれば発病を抑制できる薬剤を見いだす必要がある。

(4) 微小害虫の発生時期および発生量と防除要否

微小害虫についても生産者の目で確認しづらいという点では上述の病原菌の場合と同様である。発生時期およびその量を的確に把握できるモニタリング手法の確立が必要である。また、量が把握できても要防除水準が不明のままでは何の役にも立たない。生産現場で防除要否の判断を的確に行うための根拠の集積並びにシステムの開発が必要である。

(5) 薬剤散布法と薬液付着および防除効果

いかにすぐれた効果を示す薬剤を選抜しても、そのすぐれた効果を発現させる条件としては薬液の付着が十分であるということが前提になる。薬液の付着が悪ければ十分な効果があがらないのは当然であろう。この場合、どの程度の付着状況であれば満足すべき防除効果が得られるのか、散布量はどの程度必要なのか、どのような防除機を使えばよいのか、ノズルは何を用いればよいのか、一方で散布者の薬液被爆を最小限に抑えるための散布法はどうすればよいのか、できるだけ短時間で散布を終えるためにはどのような散布を行えばよいのか等々、解決しなければならぬ問題が山積しているのが現状である。

(6) 薬剤感受性低下対策

薬剤耐性菌、薬剤抵抗性害虫の効率的な制御を可能にする防除プログラムが必要である。しかし、この課題に対する取り組みは極めて少ないと言わざるを得ない。根拠の集積が早急に必要である。

(7) 耕種的防除手法とその有効性

耕種的な防除対策として多くの手法が示されているが、実証的な根拠に乏しいものが多く、生産者が納得して取り組める状況にはない。例えば、伝染源の除去がどの程度被害を抑制しているのか、また、それによって薬剤散布回数の低減にどれだけ寄与しているのか、労力に見合うだけの効果が得られるのか、などについての具体的な根拠の集積を図っていく必要がある。

(8) 栽培管理手法の改善による病害虫被害の回避

栽培品種の耐病性、耐虫性、栽培環境と管理手法、施肥法と施肥量およびそれに伴う植物体の栄養条件 (N,

P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn, Zn 等のレベル) などの違いは病害虫の発生に大きな影響を及ぼしている。このため、今後はこれらの制御による病害虫被害の回避を図るための根拠を栽培、育種、土壌肥料の各分野と連携しながら集積していくことが望まれる。

2 根拠の評価

(1) 研究デザインと根拠のレベル

研究デザインは研究の質を決定する最も重要な要因であり、記述的研究、観察的研究、実験的研究、データ統合研究の四つに分類される。さらに、それらは表-2に示すように各々、細分化されている。

これらの研究デザインの違いによって得られる根拠の妥当性には差がある。すなわち、根拠のレベルには強弱があり、そのレベルは研究によって得られた結果を農業現場で適用した場合にどの程度再現されるのか (真実に近いのか) の度合いで決定され、I が最も高く、VI が最

表-2 研究デザインの分類

1. 記述的研究	1) 事例報告 2) 実態調査報告 3) アンケート調査 4) 面接調査
2. 観察的研究	1) ケース・コントロール研究 (後ろ向き) 2) コホート研究 (前向き) 3) 歴史的コホート研究 (非同時性, 後ろ向き) 4) 横断研究
3. 実験的研究	
4. データ統合型研究	1) メタ・アナリシス

表-3 根拠の質の分類

根拠のレベル	根拠の種類
I	3 反復以上で実施された複数の試験のメタ・アナリシスから得られた根拠
II	1 ~ 2 反復で実施された複数の試験のメタ・アナリシスから得られた根拠
III	3 反復以上で実施された単一の試験から得られた根拠
VI	コホート研究, ケース・コントロール研究などの分析的観察研究から得られた根拠
V	事例報告などの記述的研究に基づく根拠
IV	権威者, 先輩や上司の経験に基づく根拠

も低い(表-3)。

(2) 個々の研究成果の評価

EBCでは、集めた情報に対する厳密な評価が必要である。この場合の評価とは、情報に内的妥当性と外的妥当性があるのかどうかを判断することにある。内的妥当性とは得られた研究結果がどれだけ正しいかを示すレベルのことで、きちんとした設計(試験区のランダム配置、反復等を含む)に基づいて、適正に試験が実施され、データの解析が統計学的手法を用いて得られたものであれば当然、信頼性は高くなる。一方、外的妥当性とは得られた結果が農業現場でどれだけ一般化できるのかを示すレベルのことである。このように、研究成果に対しては内的妥当性と外的妥当性の両面からの評価が必要で、両者のレベルが高いものほど信頼性も高いことになる。

(3) 研究成果の統合的評価の必要性

これまで、研究成果についてはその分野の権威者や専門家といわれる方が得たデータ、それもおそらくは一番栄えのするデータ(普通は一例だけのことが多い)を中心に取り上げ、さらに関連成果も加えながら自分の知識や経験を基に解説し、特定の結論を見いだすというのが一般的であった。これは記述レビューと呼ばれるもので、あくまでも筆者の主観が大きく反映しており、客観的な精度が高められているわけではない。このため、他の研究者が同じ文献を参考にしても同様の結論には達しないことも考えられる。一方で、その総説をみた人は当然のことながら、そのデータと説得力ある説明に納得して自分の仕事に反映させ、実際の防除に役立てることになる。しかし、わずか1例だけ、あるいは2,3例のデータだけで結果の是非を判断してよいものだろうか。少ないデータで簡単に判断できるほど、自然界はそんなに

甘くはないはずである。誰もが納得できるデータが必要なことは当然であろう。ここにシステムティックレビュー、すなわち、必要なデータを収集し、その質の評価を行い、統計学的に統合して客観的に事実を記載することを重要視したレビューの必要性がある。システムティックレビューは、別の研究者が同じ文献やデータを用いてまとめても、ほぼ同様の結論に達することが可能な客観性の高いものである。言い換えれば、システムティックレビューをまとめるとは、真に役立つ情報を求めている農業現場の栽培者や指導者に代わって既存の研究自体を対象とした調査研究を行っていることになる。

このため、これまでの研究成果を統合的に評価することができれば、誰もが納得できる根拠が得られることになる。ところが、引用する研究の母集団や試験方法、調査方法等が違うために、単純に集計して比較することは困難である。そこで、データ統合の手法として用いるのがメタ・アナリシス(メタ分析)である。これは過去に行われた複数の同一研究デザインの結果を統合し、分析する統計学的な分析手法で、個々の研究では一定の見解が得られていないテーマに関する研究の結果を統合することで一つの結論を得ることを可能にするものである。さらにメタ・アナリシスには処理間の効果差を推定できるという利点がある。その手順は表-4に示すとおりで、例としてナシの生育初期防除に用いる最適なDMI(ステロール脱メチル化阻害)剤の選択の問題を取り上げた。すなわち、この時期に使用可能なDMI剤は5,6種類あるが、このなかで最も効果が高く、現場に推奨できる剤を見いだそうとするものである。

なお、メタ・アナリシスにおけるデータの統合方法としては母数効果モデルによる統合方法(General variance-based method, Mantel-Haenszel method等)と変量効果モデルによる統合方法(DerSimonian-Laird method, restricted maximum likelihood method等)があり、状況に応じて使い分けることになる。

3 根拠に基づく防除体系の組み立て

科学的な根拠に基づいて選抜された防除薬剤並びに薬剤防除支援システムを組み入れ、現行の防除体系の見直しを行い、最善と考えられる防除体系を組み立てる。この時点で現行の防除体系に無駄な部分や不要な部分があった場合には、それらが整理されてスリムな体系に仕上がるはずである。

ところで、この場合に問題になるのは、前述の防除要否の項でも指摘しているように要防除水準の設定である。多様な生産者、生産者グループ、JA、消費者それぞれが存在する我が国においては、当然病害虫被害に対

表-4 メタ・アナリシスの手順

- | | |
|---|---|
| ① | テーマの決定
ナシ生育初期防除に用いる最適なDMI剤を選択する。 |
| ② | 評価指標の設定
ナシの開花前と落弁期の2回、DMI剤を散布したときの防除効果(発病率)。 |
| ③ | 研究資料の収集
上記の設計に基づいて実施された過去のデータを収集する。 |
| ④ | データ抽出基準
無散布区の発病率15%以上のデータを抽出する。 |
| ⑤ | データの統合
抽出したデータを統合する。 |
| ⑥ | 統合データの検討
統合したデータを検討し、現場に役立つ最も有用な薬剤を選択する。 |

する要防除水準も異なるはずである。しかし、この点に関するデータの蓄積は極めて乏しいのが現状であり、早急な取り組みが必要である。

4 薬剤散布回数をより低減するための技術開発並びに技術の導入

収集された科学的な根拠に基づく見直しによってこれまでよりも効率的でありながら、スリム化された防除体系が組み立てられているはずである。

しかし、現在、最も病害虫防除に求められている薬剤散布回数並びに使用薬剤数のいっそうの削減を図るためには、さらに種々の技術や手法を導入していく必要がある。この場合、まず考えられるのは薬剤の耐雨性、残効の向上を図ることである。手軽にできる方法としてはアジュバント（機能性展着剤）の利用が考えられる。最近では優れたアジュバントが登場してきており、これらの評価を行うことによって薬剤のより有効な利用が可能になると期待される。例えば、カンキツ類では殺菌剤散布時にミカンハダニを防除対象としたマシン油乳剤を加用すると、同剤のアジュバントとしての効果によって殺菌剤の耐雨性が向上する。このため、散布回数や経費、労力が低減され、さらに、春季～夏季にかけて殺ダニ剤の散布が不要になるというメリットが得られ、本県の生産現場では広く普及している。

さらに、交信かく乱フェロモン剤や物理的防除資材、生物防除資材の利用についても効果が期待できて経済的に見合うものについては積極的な導入を図っていく必要がある。この場合、それぞれの個々の技術について明確な根拠が呈示されていなければならないのは当然のことである。

なお、物理的、生物的防除手法についてはIPM（総合防除）の観点から多くの知見が得られている。しかし、なぜ生産現場で広く普及しないのかという問題がある。現行の病害虫防除体系のなかに、どのようにこれらの防除手段を組み入れていくのかという総合的な観点からの取り組みが今後必要である。

5 EBC体系の実証と改善

種々の根拠に基づいて改善された防除体系、さらには薬剤数や散布回数のいっそうの低減が図られた防除体系について、現場での実証と評価を行う。その結果、明らかになった問題点を改善していくことによって、より実用的な防除体系に発展させていく必要がある。

なお、最善の病害虫対策は防除体系の改善だけで図られるものではない。当然、的確な発生予察と防除指導があつて初めてよりよい対策を講じることができ、被害軽減、人的・物的資源の節減、環境負荷の低減が図られることになる。ところで、この場合の発生予察情報について考えてみると、現場での評価という観点からの追求が少ないように思われる。すなわち、各種の情報が出されっぱなしになっており、予察情報や注意報、警報、特殊報などが農業現場でどのように活用され、評価されているのか、また、それによってどの程度、被害軽減が図られ、現場に寄与したのかなどの解析が必要である。そうすることによってよりよい予察情報の提供が図られ、農業現場での効率的な防除に寄与していくものと期待される。

おわりに

新しい病害虫管理の概念、EBC（Evidence-based Control）について紹介した。科学的な根拠に基づいた防除体系構築の重要性をご理解いただくとともに、EBCの手法に関心をもっていただけたら幸いである。

現在、農薬使用量や散布回数を、例えば50%削減するような防除体系を作る試みが多く行われているようであるが、ただ単に確たる根拠もなく薬剤を抜いていくことは科学技術とはいえない。病害虫防除とはもともとは食料生産における危機管理であり、万全の対策を講じておく必要があるわけで、農産物の安全性を高めつつ、食料の安定生産を図っていくためには昨今の安易な形だけの減農薬防除体系では問題点が多いと思われる。誰でもが納得できる科学的根拠に立脚した、フレキシブルな防除体系の構築が望まれるところである。

なお、EBCを推進していくためには多くの質の高い根拠が必要になる。質の高い根拠は誰もが欲しいところであるが、一部の研究者や試験研究機関だけで対応できる問題ではない。病害虫防除に携わるすべての関係者の熱意と努力によってのみ、現場の役に立つ質の高い根拠が得られるわけで、日頃からの問題意識の向上と情報収集ならびに問題点を少しでも解決していこうとする行動力が必要である。

次号ではEBCの具体例として、いまだ不十分な点多々含まれてはいるが、現在、取り組み中の「ナシにおけるEBCの概念に基づいた減農薬の実践」について紹介する。