

薬剤抵抗性のメカニズムと管理に向けた試み

園田 昌司

（宇都宮大学・農学部）

キーワード：殺虫剤，抵抗性，メカニズム

1. はじめに

殺虫剤抵抗性は、「使用基準に準じて使用したにも関わらず、期待される防除効果が得られない事態が繰り返し観察される、害虫個体群の感受性の遺伝的変化」と定義されている（IRAC, <http://www.irc-online.org/>）。殺虫剤抵抗性の最初の報告は、1914年、米国カリフォルニアにおけるナシマルカイガラムシの石灰硫黄合剤抵抗性とされるが、問題が顕在化したのは、化学合成薬剤が本格的に投入されるようになった戦後のことである。殺虫剤に対して何らかの抵抗性を発達させた害虫は、全世界で597種（2015年）に達している（IRAC）。殺虫剤抵抗性をもたらす要因として、1) 解毒分解酵素活性の増大、2) 標的部位の感受性の低下、3) 体表透過性の低下、4) 摂食停止や忌避などの行動が考えられている。殺虫剤と害虫の組み合わせによっては、体表透過性の低下、摂食停止や忌避などの行動が抵抗性に関わる可能性はある。しかし一般的には、農業生産において大きな問題となる抵抗性の主な要因は、解毒分解酵素活性の増大と標的部位の感受性の低下のいずれかあるいは両方と考えられている。

殺虫剤抵抗性に関わる解毒分解酵素としては、チトクローム P450、カルボキシエステラーゼ、グルタチオン S-トランスフェラーゼなどが知られている。殺虫剤に対する感受性の低下は、遺伝子変異によるアミノ酸の変化等によって作用点の立体構造が変化し、殺虫剤が強力に作用することが出来なくなるために生じると考えられている。近年の昆虫ゲノム情報の拡充、次世代シーケンサーの活用により、これまで不明であった殺虫剤抵抗性のメカニズムが続々と明らかになりつつある。本講演では、わが国において問題となってい

るいくつかの殺虫剤抵抗性を取り上げ、その抵抗性メカニズムや遺伝子変異の検出法を解説する。また、演者が取り組んでいる、コナガのジアミド剤抵抗性管理への試みについて紹介する。

2. トビイロウンカのイミダクロプリド抵抗性

イミダクロプリドを含むネオニコチノイド剤の標的は、ニコチン性アセチルコリン受容体（nAChR）である。実験室内においてイミダクロプリドによって選抜されたトビイロウンカ系統では、nAChRを構成する α サブユニットの151番目のアミノ酸部位において、チロシンからセリンへの変異（Y151S）が生じていた（Liu et al., 2005）。しかし、野外ではそのような変異を持つ個体は見つからなかった。その後、野外におけるイミダクロプリド抵抗性には、アミノ酸変異によるnAChRの感受性の低下ではなく、特定のチトクローム P450遺伝子の高発現が関わっていることが示唆された（Bass et al., 2011）。

3. アザミウマ類の合成ピレスロイド剤抵抗性

合成ピレスロイド剤の標的はナトリウムチャンネルである。ミカンキイロアザミウマのデルタメトリン抵抗性にはナトリウムチャンネルを構成する α サブユニットの1014番目と929番目のアミノ酸部位における変異（L1014F, T929C, T929I）が関わっていた（Forcioli et al., 2002）。フェンプロパトリン抵抗性を示すチャノキイロアザミウマもL1014FとT929Iをコードしていた（横山ら, 2014）。ミナミキイロアザミウマのシベルメトリン抵抗性には、T929Iのみが関わっていた（Bao et al., 2012）。ネギアザミウマでは、高度のシベルメトリン抵抗性を示す系統はM918Tと

L1014F を、中程度の抵抗性を示す系統は T929I をコードしていた (Toda and Morishita, 2009)。チャノキイロアザミウマとネギアザミウマでは抵抗性を個体レベルで識別するための遺伝子診断法が開発されている (Toda and Morishita, 2009; 横山ら, 2014)。なお、ミナミキイロアザミウマとネギアザミウマのシペルメトリン抵抗性には、チトクローム P450 による解毒分解酵素活性の増大も部分的に関わっていることが報告されている (Bao et al., 2012, Aizawa et al., 2014)。

4. コナガのジアミド剤抵抗性メカニズムとその管理

コナガのジアミド剤抵抗性には、標的であるリアノジン受容体 (カルシウムチャネルの一種) の 4946 番目のアミノ酸部位における変異 (G4946E) が主要因として関わっている (Trocicka et al., 2012)。演者は、G4946E を個体群レベルで推定するための手法を、量的シーケンシング (QS) を用いて開発した (Sonoda et al., 2017)。本手法を用いてジアミド剤に対する感受性の異なるコナガ 11 個体群の G4946E 頻度を調べた。一部の個体群について、QS の結果とダイレクトシーケンシングによる個体ごとのジェノタイピングの結果を比較したところ、QS による大まかな G4946E 頻度の推定は可能であることが示された。次に、本手法で推定された 11 個体群の G4946E 頻度とフルベンジアミドに対する死虫率との関係を調べた。その結果、本手法で調べた G4946E 頻度とジアミド剤抵抗性レベルは相関することが明らかとなった。

次いで、QS を用いて、香川県農業試験場に設置されたフェロモントラップで捕獲されたコナガ個体群における G4946E 頻度の季節的な変化を調べた (Itagaki and Sonoda, 2017)。G4946E 頻度は一般に春から夏にかけて概ね徐々に上昇し、秋に低下した。次年度春先の個体群における G4946E 頻度は前年度晩秋の頻度と類似していた。これらの結果は、当該年のコナガ管理におけるジアミド剤の効果は前年の G4946E 頻度調査に基づいて評価できることを示唆している。以上の結果に基づき、コナガのジアミド剤抵抗性管理に関するガイドラインを作成した。

参考文献

- Aizawa et al. (2014) *J. Pestic. Sci.* 41 : 167-170.
Bao et al. (2012) *Appl. Entomol. Zool.* 47 : 443-448.
Bass et al. (2011) *Insect Mol. Biol.* 20 : 763-773.
Forcioli et al. (2002) *J. Econ. Entomol.* 95 : 838-848.
Itagaki and Sonoda (2017) *J. Pestic. Sci.* 42 : 116-118.
Liu et al. (2005) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102 : 8420-8425.
Sonoda et al. (2017) *Appl. Entomol. Zool.* 52 : 353-357.
Toda and Morishita (2009) *J. Econ. Entomol.* 102 : 2296-2300.
Trocicka et al. (2012) *Insect Biochem. Mol. Biol.* 42 : 873-880.
横山ら (2014) *応動昆* 58 : 59-62.

香川県におけるピシウム病および疫病の発生実態と防除対策について

楠 幹生

(香川県農業試験場病害虫防除所)

キーワード：香川県, ピシウム病, 疫病

はじめに

ピシウム属菌と疫病菌を含む卵菌類は、ストロメノパイル界に属する偽菌類で、形態的にはかびの一種のように見えるが、実際には藻類との関連性が強い。ピシウム属菌と疫病菌は遊走子の形成方法に違いがある。疫病菌は遊走子のうの中で遊走子の分化が起こり、直接遊走子のうから放出されるのに対して、ピシウム菌は遊走子のうから原形質が逸出管と呼ばれる管を通して球のうという被膜に移り、遊走子はこの中で分化が起こって放出される。近年、両属菌による病害の発生は、栽培品目（特に花き類）の増加や栽培様式の変化などによって増加している。しかし、両属菌は種の数が多いことや遊走子のうの観察など同定作業に熟練を要することもあり、新病害の報告まで至らないことも多い。演者は大学でピシウム属菌のことを学んだこともあり、振り返るとピシウム病および疫病に関する研究の機会に恵まれた。今回は香川県に発生したピシウム病および疫病の発生実態と防除対策について紹介する。

1. オオムギ黄枯病 (*Pythium spinosum*, *P. ultimum*, *P. sylvaticum*)

まず、本県での主要作物であるオオムギ（はだか麦：全国2位）の黄枯病について紹介する。オオムギは1～2月になると根部が褐変・腐敗して葉が黄化する。これらの根部から分離された3種のピシウム属菌を黄枯病の病原菌として追加した(楠・一谷, 1994)。本研究は本病の発病を土壤肥料的観点から解明し、アンモニア態窒素濃度が関係していることを明らかにした(楠, 1996)。培地上では、硝酸態窒素は菌糸伸長や孢子発芽を抑制しないのに対し、アンモニア態窒素は高い抑制を示す。一方、圃場では、遅播きすると温度が低下することによって硝化菌の働きが落ち、アンモニア態窒素量が長く維持されて黄化症状の発生が

遅れることが解った。また、追肥を行うとアンモニア態窒素濃度が高まることにより、黄化症状が軽減することが解った。さらに、土壤水分が高くなると発病しやすいことについては、アンモニア態窒素濃度が水で薄まることが要因と考えられ、排水対策をすることが重要であることが解った。しかし、土壤中のアンモニア態窒素濃度から、単独では抗菌作用が低いと考えられ、本研究では抗菌メカニズムについては不明な点が残った。最近、有機養液栽培で根部病害抑止に硝化菌の関与が考えられている。土壤というブラックボックス中の出来事を単純な養液栽培の系により、この抗菌メカニズムが解明されることを待ちたい。

2. レタス立枯病 (*Pythium uncinulatum*, *P. irregulare*, *P. spinosum*), ピシウムすそ枯病 (*P. uncinulatum*) および疫病 (*Phytophthora pseudolactuae*)

次に、本県での主要野菜であるレタス（冬レタス：全国5位）でも、ピシウム病や疫病が問題になっている。まず、立枯病として3種のピシウム菌を病原菌として追加した(楠ら, 2009; 楠, 2012)。次に、その中で一番重要な病原菌である *P. uncinulatum* はレタスの結球期に感染すると下葉が腐敗して枯死する症状を示すことから、ピシウムすそ枯病と病名を追加した(楠ら, 2017)。また、疫病は冬季の12～3月に発生し、レタスの髓部を腐敗させる重要病害で、病原菌を特定するとともに (Rahman. et al., 2014), 薬剤の効果について検討した。べと病に登録のあるメタラキシル M・TPN 水和剤, マンジプロパミド水和剤およびシアゾファミド水和剤の効果が高いことが解った(楠, 2015a; 楠, 2017)。

3. イチゴピシウム根腐病 (*Phytophthora helicoides*), 疫病 (*Phytophthora nicotianae*, *P. cactorum*)

イチゴも本県では主要な施設野菜で、主に本県育成品種である「さぬき姫」が栽培されている。ピシウム根腐病は育苗期間中に発生し、夏季が高温の時に多発する(楠・景山, 2015)。また、疫病は2種発生し *P. nicotianae* は温度の高い育苗期間中に、*P. cactorum* は定植後に発生し、温度が低く雨が多い時に多発する。両病害について品種における感受性の差異を調べると、ピシウム根腐病菌では品種間差はないものの、両疫病菌では本県主要品種である「さぬき姫」の感受性が高く、「女峰」および「さちのか」では低いことが解った。「さぬき姫」が主要品種になったことで被害が顕在化したものと考えられる。両病害について薬剤の効果を検討すると、マンジプロパミド水和剤、シアゾファミド水和剤、マンゼブ・メタラキシル M 水和剤、アミスルブロム水和剤の効果が高いことが解った。ピシウム根腐病に対しても、シアゾファミド水和剤、マンゼブ・メタラキシル M 水和剤が高く、両剤により同時防除できることが解った(楠・東條, 2010; 楠, 2015b)。

4. ブロッコリー苗立枯病 (*Pythium megalacanthum*)

ブロッコリーは全国4位の本県主要野菜である。その育苗施設の苗に苗立枯症状が発生して問題となり、*P. megalacanthum* を病原菌として追加した(楠・窪田, 2016)。また、薬剤の効果を調べると、べと病に登録のあるメタラキシル M・TPN 水和剤、シアゾファミド水和剤、アミスルブロム水和剤の効果が高いことが解り(楠・窪田, 2016)、現在、これらの薬剤の育苗中の散布によって被害は軽減されている。

5. ラナンキュラス根腐病 (*Pythium debaryanum*)

香川県におけるラナンキュラス栽培は、県オリジナル品種中心に県下全域で栽培され、栽培面積は増加している。一方、重要病害である *Plectosporium tabacinum* による株枯病(佐藤ら,

2002) に対して薬剤で対策を行っても被害が軽減されない圃場が多く見られ、調査するとこれらの圃場では *P. debaryanum* による根腐病(楠・東條, 2012) が発生していることが解った。また、両病害が併発していることも多く、両病害を同時に防除できる対策として、塊根消毒と土壌灌注および粒剤処理について検討した。塊根消毒ではシアゾファミド水和剤とアゾキシストロビン水和剤の混用の効果が最も高く、メタラキシル M・マンゼブ水和剤の効果も高かった。展着剤(ソルビタン脂肪酸エステル・ポリオキシエチレン樹脂酸エステル)を加用するとさらに効果が高まった。土壌灌注および粒剤処理ではシアゾファミド水和剤とアゾキシストロビン水和剤の混用液の灌注処理およびアゾキシストロビン・メタラキシル M 粒剤が両病害の対策として有効であった(楠, 2014)。

6. その他

ナス促成加温栽培で、台木(台太郎)の地際部や根が褐変して萎凋・枯死する症状が問題となり、*Phytophthora glovera* と同定し、本症状をナス根腐疫病と診断した(楠ら, 2016)。また、鉢植えのマーガレットで地際部分の茎の褐変腐敗を伴う根腐れが発生し、*Pythium uncinatum* によるマーガレット茎根腐病、ヒマワリで生育不良や茎葉部黄化を伴う根腐れが発生し、*Pythium polystachyum* によるヒマワリ根腐病と病名を追加した(中川ら, 2017)。その他にも、カリブラコアおよびゼラニウムに *Pythium myriotylum*、ベゴニアに *Pythium splendens*、ナバナに *Pythium ultimum*、サイネリアに *Pythium sp.* など新病害と思われる病害が発生している(未報告)。

おわりに

地球温暖化や異常気象(集中豪雨)などによってピシウム属菌や疫病菌に好適な環境が増えつつあり、ますますピシウム病や疫病の発生が増えると考えられる。今後も、新しい病害について分類・同定を行っていくとともに防除対策を講じていく必要があると考える。

引用文献

- 楠幹生・一谷多喜郎 (1994) : オオムギ黄枯病を起こす *Pythium* spp. について. 日植病報, 60 : 305-309.
- 楠幹生 (1996) : オオムギ黄枯病に関する研究. 香川農試研報, 66 : 1-53.
- 楠幹生・増本翔太・東條元昭 (2009) : 香川県下で発生したレタス立枯病に関与する *Pythium* 属菌. 日植病報, 75 : 185 (講要).
- 楠幹生・東條元昭 (2010) : 香川県での *Phytophthora cactorum* によるイチゴ疫病の発生と本県主要3品種における本菌の感受性の差異および薬剤による防除効果. 四国植疫, 45 : 38 (講要).
- 楠幹生 (2012) : レタスに発生する *Pythium* 属菌による立枯病. 植物防疫, 66 : 96-100.
- 楠幹生・東條元昭 (2012) : *Pythium debaryanum* によるラナンキュラス根腐病(新称). 日植病報, 78 : 183-184 (講要).
- 楠幹生 (2014) : ラナンキュラス根腐病および株枯病に対する薬剤の効果. 四国植防, 48 : 44(講要).
- 楠幹生 (2015) : レタス疫病に対する薬剤の効果. 日植病報, 81 : 75 (講要).
- 楠幹生・景山幸二 (2015) : イチゴピシウム根腐病の発病と温度との関係. 日植病報, 81 : 215(講要).
- 楠幹生 (2015) : イチゴ疫病 (*Phytophthora nicotianae*) およびピシウム根腐病 (*Pythium helicoides*) に対する各種薬剤の効果と本県主要3品種における感受性の差異. 四国植防, 49 : 62 (講要).
- 楠幹生・窪田昌春 (2016) : *Pythium megalacanthum* de Bary によるブロッコリー苗立枯病の発生と本病に対する薬剤の防除効果. 日植病報, 82 : 55 (講要).
- 楠幹生・Yoshilia,R.・景山幸二 (2016) : *Phytophthora glovera* によるナス根腐疫病の発生と本病に対する各種薬剤の効果および台木品種の抵抗性程度の違い. 日植病報, 82 : 239 (講要).
- 楠幹生・田中淳和・東條元昭 (2017) : *Pythium uncinulatum* によるレタスピシウムすそ枯病(病名追加). 日植病報, 83 : 64 (講要).
- 楠幹生 (2017) : レタス疫病に対する各種薬剤の土壌灌注およびセルトレイ灌注処理の効果. 平成29年度日本植物病理学会関西部会講演要旨集, p53.
- 佐藤豊三・森充隆・富岡啓介 (2002) : *Plectosporium tabacinum* によるラナンキュラス株枯病(新称). 日植病報, 68 : 64-65 (講要).
- 中川章吾・楠幹生・埋橋志穂美・東條元昭 (2017) : *Pythium uncinulatum* によるマーガレット茎根腐病(新称)と *P. polymastum* によるヒマワリ根腐病(新称). 日植病報, 83 : 64 (講要).
- Rahman,M.Z.,Uematsu,S.,Kanto,T.,Kusunoki,M.,Is higuro,Y.,Suga,H.,and Kageyama,K. (2014) : A new species of the genus *Phytophthora* causing stem blight of lettuce in Japan. 日植病報, 80 : 241 (講要)