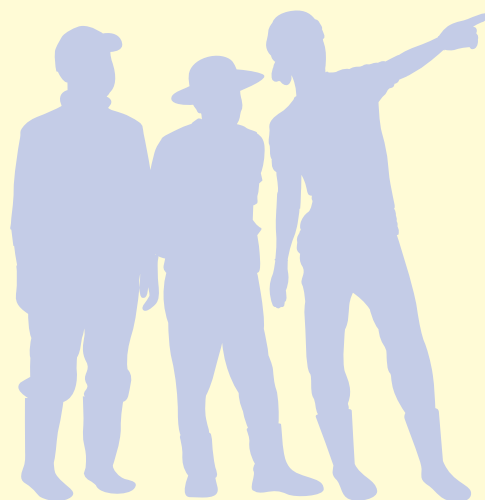


40周年「特別寄稿」



世代を超えて受継がれるオリゼメート

農業技術を創った人たち

元 農林水産省 農林水産技術会議 事務局長 **西尾 敏彦**

「プロベナゾール」との出会い

わたしが「プロベナゾール(オリゼメート)」についてはじめて知ったのは、ちょうど今から10年前、ある農業関係研究者OBの集まりで、明治製菓の岩田道顕さんの「いもち病抵抗付与剤プロベナゾール開発の経緯」というお話を聞いてからである(注)。

さっそく、当時月に1回執筆していた農業共済新聞の「日本の農を拓いた先人たち」欄に、「3つのブレークスルーから生まれた新しいいもち病防除剤オリゼメート」と題する小文を寄稿した(<http://www.jataff.jp/senjin3/9.html>参照)。日本農業を動かしてきた特記すべき技術のひとつとして、なぜプロベナゾールを取りあげたか。農業には疎いわたしが、この新しいいもち病防除剤の出現が、日本農業の歴史にエポックを画する革新技術に思えたからである。予想は間違っていないようだった。おいしいとはいえいもち病に弱い「コシヒカリ」が、ここ半世紀近く断トツ・トップの普及面積を維持できているのも、同じ年月をプロベナゾールのいもち病防除が支えてきたからだろう。

新しい技術革新には、必ずその背景に開発者たちのドラマがある。この世界初のいもち病抵抗性誘導剤Plant Defense Activatorsプロベナゾールの場合、それがなんであったか。ここからは、それについて「外野席的考察」を加えてみたい。

プロベナゾールを呼び寄せた3つのブレークスルー

まず、先刻ご承知のプロベナゾールの開発経過から振り返ってみよう。ここはもっぱら岩田さんの受け売りだが、そこには3つのブレークスルーがあった。

最初のブレークスルーは、もちろん有効成分プロベナゾールの発見である。ちょうど抗生物質農薬のカスガマイシンが世に出た直後のことである。当時、化学農薬に代わる抗生物質農薬の探索が急がれていて、明治製菓も当初は抗生物質の開発をねらい、カスガマイシン同様に、in vivoスクリーニング(ぶっかけ試験)を採用したという。ところがこれが新発見のきっかけ

になった。ひとりの研究者が目標の抗生物質ではなく、抗生物質と結合させた塩に、より高い防除効果を見出したのである。より効果の高い類縁物質の探索が進み、ついにプロベナゾールに行き着いたのは、これがきっかけであった。

第2のブレイクスルーは「水面施用」という新施用法の発見である。ちょうどこのころ、別会社のある農薬を施用した稲ワラ堆肥が、後作の野菜に奇形を生じさせる事件があった。明治製菓もこれを懸念し、薬剤の土壌残存の影響についての調査が開始された。さいわい薬害の心配はなかったが、ここで実験者が、この薬剤を吸収した稲が高いもち病耐性を示すことを発見した。はじめ粉剤か水和剤としての利用を想定していたプロベナゾールが、水面施用向けの粒剤となったのは、これが契機であった。

最後、第3のブレイクスルーは、実際にいもち病が多発した現地の圃場で、この薬品の並外れた効果が確認されたことである。1974年はいもち病が大量発生した年だが、プロベナゾールをテストした現地の試験展示圃だけは、極端に被害が少なかった。じつはこのころ、石油ショックの影響で製造原価が高騰、社内では発売を断念しようという意見が強かったようだが、現地を見回っていた営業担当者の熱意がこれを押しもどした。プロベナゾールはこうした人びとの熱意の積み重ねがあって、はじめて日の目をみたのである。

以上が岩田さんに拝聴した3つのブレイクスルーで、ここからがわたしの意見だが……わたしにはもう1つ、その背景に、農薬事業に参入してまだ日の浅かった明治製菓の研究陣の「イネに学ぼう」という真摯な姿勢があったことを付け加えるべき、と思っている。

イネに学ぶ姿勢

プロベナゾールの作用機作については、遺伝子レベルの解明が進められているようで、わたしの注釈など無用だろう。要はこの薬剤の施用によって「イネの自己防御機構が総動員され、生得的抵抗力が活性化される」ことにあるようだ。そこで、こうした複雑な自己防衛機構が、どうしてイネで形づくられたかだが……。

いもち病に関する最古の文字記録は中国でも日本の古文書でも17世紀に見られるようになるが、実際にこの病気が農民を悩ませるようになったのは、これより遙かに古い時代からだろう。遠い昔から延々と続けられてきたイネといもち病菌の攻防の歴史は、イネといもち病菌の共進化の歴史でもある。イネはいもち病菌との戦いを経験することで、より複雑な防御機構を身につけ、逆にいもち病菌はその堅固な防御機構を突破するため、つぎつぎに新しいレースを

生み出し、対抗してきたのだろう。

プロベナゾールの発見は、この複雑な防御機構を触発し、抵抗性を誘導する生理作用に、たまたま試みた「ぶっかけ試験」が遭遇したことからはじまる。重要なのは、それがシャーレ試験でなく、生育中のイネ観察から見つかったことである。そうしてみると、第2・第3のブレークスルーも、生育中のイネの反応を観察者たちが見逃さなかったことにある。世界初のPlant Defense Activatorsの開発に導いたのは、新農薬開発に燃えた研究者・営業担当者たちのイネを見つめるまなざしにあったというわけである。

環境との調和が不可欠のこれからの農業では、農薬の開発も病原菌に直接作用する化学農薬より、作物の生得的な防衛機能を活かす抵抗性誘導剤が主流になっていくに違いない。プロベナゾールはその抵抗性誘導剤の先駆だが、これを見出したきっかけが、いかなる先進手法でもなく、ポットや現地圃場に生育中のイネの観察からはじまったことは興味深い。いもち病との長い攻防の末にイネが身につけた複雑な防御機構を見きわめるには、それが作動するゆっくりとした時間の流れにつきあい、じっくりとイネを見、イネに聞くことが必要であるということだろう。ごく当たり前のことだが、プロベナゾールの誕生秘話はその当たり前のことの重要さを教えてくれる。

前述した「農業共済新聞」に執筆した小文の最後に、わたしは「オリゼメート開発の経緯を追ってみて、とくに気がつくのは、研究者から営業担当者に至る担当者たちの〈稲に学ぶ〉姿勢のみごとさである。この姿勢が、世界に例をみないこの新農薬を完成させたのだろう」と記した。農業技術の歴史をたどるときいつも感じることだが、どんな歴史を動かす技術革新も、その基本はいつも「現場から学ぶ」ひたむきな姿勢にあるのではないだろうか。

(注)岩田道頭氏の講話「いもち病抵抗付与剤プロベナゾール開発の経緯」は、2004年1月14日に「昭和農業研究会」において報告された。「昭和農業研究会」とは、戦後農業研究にたずさわってきた国公試験場・大学研究者のOB仲間の会。毎回、昭和農業を動かしてきた特定研究について、これにたずさわった当事者、共同研究者、さらにそのライバル研究者も集い、当時の思い出を語り合う会である。平成10年～22年の12年間にわたり、つごう80回開催された。その速記録は合本にして、農林水産省農林水産技術会議図書館(筑波)、公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会(赤坂)および農文協図書館(吉祥寺)に収蔵され、閲覧できる。なお、その一部は農文協から『昭和農業技術への証言(全10集)』としても出版されている。

オリゼメートに思うこと

アグリビジネス推進研究協会 理事長／元 農林水産省 技術政策課長 **横田 敏恭**

オリゼメートとの出会いは、農林水産省に入省(昭和56年)して間もないころでした。入省当初は、横浜植物防疫所で種ばれいしょ検疫の改革や果樹母樹検疫の立ち上げに携わっていました。

昭和58年に植物防疫課の防除班に異動となり、ここからオリゼメートとのお付き合いが始まりました。と言いましても、はじめはそれほど意識していたわけでもありません。昭和58年は、いもち病の発生が少なかったこともあるかもしれません。昭和59年は、葉いもちの発生は多くなったものの、穂いもちの発生は少なく、大きな騒ぎにならずにすんだのではないかと思います。昭和60年は技術係長として、61年～62年は発生予察係長として、いもち病対策に取り組むこととなりました。

今から振り返ると、発生予察を担当したこの3年間は、いもち病の発生は非常に少なく、特に穂いちは過去と比較しても最少の発生になっていたと思います。

この当時は、よく生産現場を回り、農家やJAの方と意見交換をしました。なぜこれほどいもち病の発生が少ないのかという疑問に対する答えの一つが、オリゼメートの効果ではないかというものでした。確かに気象条件なども大きな要因ですが、それだけでは答えにならないというのが、生産現場を回っていた時の感触でした。具体的な地域は忘れてしまいましたが、農家やJAの方がオリゼメートの効果を称賛していたことは、今でも記憶に残っています。

当時の感覚では、これだけ効果を発揮する農薬が広く使用されれば、これまでのようないもち病の大発生はないのではないかと思うようになりました。

農薬メーカーなど関係者が数多く参加している会合で、発生予察係長として情勢報告をする機会があったので、自分自身の正直な気持ちをお話しました。「オリゼメートがあるので、これまでのようないもち病の大発生はないと思う。それほど、この農薬は素晴らしい」この発言に、一番困ったのは、当の明治製菓の方のようでした。休憩時間になると、すぐにお話に見えて「非常にありがたいお話であるが、このような場でお話しされると我々は居づらくなってしまう」ということでした。私とすれば、思っていることを、そのまま話したのですが、少し申し訳なく思いました。

この話には余談があり、平成5年のいもち病大発生のに、「あなたは、以前、いもち病の大発生はないと言っていたが、今年の大発生をどう思うのか」という質問をよく受けました。私の答えは一つ。「もし、オリゼメートがなかったら、この程度の大発生ではすまなかったであろう。オリゼメートのおかげで、発生が抑えられているのだから、私の当時の見解は全く間違っていない」というものです。今でも、この時の自分の考えは、「正しい見解」だと思っています。

さて、皆様のご意見はどうでしょうか。

イノベーションとしてのオリゼメート

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター所長（農学博士）

石黒 潔

先日、オリゼメート剤の開発・販売元であるMeiji Seika ファルマ株式会社の担当の方より、本剤が上市40周年になるので、記念誌に寄稿せよとのご依頼があり、喜んでお受けすることにしました。農薬の有効成分が永く大きなシェアを保ち続けることは、より強力な後発剤の開発、耐性菌の出現・蔓延、予期せぬ問題の勃発等により容易でないと感じてきただけに、まずは、お祝いいたしたいと思います。

30周年記念誌に寄稿した時には、稲いもち病の本場である東北地方の最前線にいる自負がありました。その後、東北からも現場からも離れていましたが、昨年度からは、農研機構・東北農業研究センターに戻り、東北各県の農業生産者をはじめ、試験研究機関や多くの企業や団体の方々のお役に立てる研究を推進する立場になりました。そこで、今回は、まず、最近10年も含めてオリゼメート剤の歩んできた道を私の立場から概観します。その後で、近年喧しい、イノベーションという語をキーワードに、そのケーススタディーとしてオリゼメート剤の開発と普及の道程を捉え、今後の展望を描ければと考えています。

葉いもち専用の予防的防除薬剤として地位確立

私が稲いもち病防除の研究に参入したのは昭和59年からですが、その頃頻発していた冷害を奇貨に、オリゼメート剤の評価が高まりつつありました。しかし、当時在籍していた福島県は、青森県とならび、東北の中では本剤があまり普及していませんでした。青森県で普及があまり進まなかったのは、比較的いもち病のリスクが低かったためでしょうが、福島県で普及が滞ったのは、葉いもち防除があまり普及しておらず、穂いもち防除が重視されていたためと思います。しかし、農業試験場の仲間内では、「剤の効果を熟知した一部の生産者が上手に使っている」あるいは「果樹農家のように労力をあまり稲作に割きたくない農家に適したオプション」という評価でした。その他の東北・北陸各県で普及が一気に進んだのは、当時広く普及していた有人ヘリコプターによる航空散布のダイヤ編成の問題もあったのではないかと考えています。つまり、穂いもち防除のダイヤは出穂期を中心に配置することができますが、葉いもち防除のダイヤ

ヤを事前に的確に設定することが難しかったこと、さらには、有人ヘリ散布自体が社会環境の変化で実施しにくくなり、そのため、その代替として効果が安定して高いオリゼメート剤が一気に普及したのと考えています。当時は、8%単剤の3kg/10a水面施用が大半でした。葉いもち初発前施用という用法には東北管内でも戸惑いが多く、いろいろな経緯を経て6月下旬の暦日散布として使用法が確立しました。

MBI-R系粒剤の挑戦

福島農試時代には、箱剤としてのトリシクラゾール剤の試験を何度も行いました。箱施用という新しいカテゴリーを狙ったのですが、同剤は、成分の溶出が速いため、施用後に苗黄化の葉害が出やすく、残効もやや短く、葉いもち初発時期には効果が低下しました。そのため、対照のオリゼメート剤水面施用の卓効が目立つ試験となりがちでした。その後、徐放処理をした剤が開発されましたが、広い普及には繋がらず、トリシクラゾール剤は、もっぱら茎葉散布剤として普及していきます。トリシクラゾール剤と同系統のピロキロン剤は水面施用剤として葉いもち、穂いもちの両方を対象に開発されました。当時のピロキロン剤に関する連絡会議では、激論が交わされたようで。その結果、北陸は穂いもちのみ、東北では葉・穂両方で普及の方向になったそうです。しかし、結果的には、穂いもち対象水面施用剤として現場で受け入れられ、既存のイソプロチオラン粒剤とその地位を競うことになりました。なお、2000年代以降、ピロキロン剤は、有効成分の溶出時期を制御する製剤化を行い、穂いもち防除をも視野に入れた長期残効型箱薬剤が開発されています。

長期残効型箱粒剤の登場

そのような中、90年代中盤からMBI-D系のカルプロパミド剤により、箱施用で葉いもち流行のほぼ全期間にわたり効果が持続する「長期残効型箱薬剤」という新しいカテゴリーが開拓され、続いて同系統のジクロシメット箱粒剤も上市されました。これらの剤の効果確認試験や連絡試験にも初期から関わりました。葉いもちに対する防除効果はかなり高く、かつ残効も長く、東北地方では、葉いもち防除による間接効果で穂いもちに対しても見かけ上の防除効果が認められていました。これらの剤は、初期害虫等に卓効のある殺虫剤との混合剤として販売されたので、省力の点から一気に普及し、オリゼメート剤(水面施用)のシェアをかなり奪うことにな

りました。箱薬剤は水面施用剤よりも省力的なので、水面施用剤が主体であったオリゼメート剤も、程なく有効成分の徐放化を行ったDr.オリゼ箱粒剤という箱施用剤が開発され、殺虫剤との混合剤も展開されました。ただ、水面施用オリゼメート粒剤の年次推移を見ると、推定使用面積10ha弱のところまで下げ止まっており、かなりのニーズがあるようです。単なる省力化だけの動機で薬剤が選択されている訳でもないようです。

以後しばらくは、各箱薬剤間で価格や施用時期の設定あるいは混合される殺虫剤の組み合わせを競う時期が続きました。通常、田植え直前の施用よりは、緑化時施用、さらには播種時の施用の方が省力的であり、特に、大型育苗施設で播種用アセンブリ・ラインがある場合は、播種時覆土前処理が有利でした。このあたりで、Dr.オリゼ箱粒剤はかなり苦勞されたようでした。

耐性菌に振り回されたMBI-D剤

2001年に佐賀県でMBI-D剤に対する耐性菌が発見されて以降、瞬く間にその系統の薬剤に対する耐性菌問題は全国に拡大しました。九州沖縄農研の方には、採集した耐性菌・感受性菌を併せて系統樹を作成して由来を推定するよう助言しました。その結果、九州に分布する3つの遺伝集団のいずれにも耐性菌と感受性菌が混在していることが分かり、収斂進化、つまり、それぞれの集団内で類似の突然変異が独立に発生したことが示唆されました。種子に付着した菌の移動により分布地域が拡大した事例もあったようですが、多くは同時期の異所的耐性菌発生であり、この問題についての深刻さを思い知らされることとなりました。

MBI-R系薬剤は、いもち病菌に対する直接の殺菌効果がなく、菌のメラニン形成能を阻害する効果しか認められなかったため、その作用機作があちこちで研究されていました。一方、これらの剤は、長年頻用されても耐性菌が確認されなかったので、「殺菌効果のない薬剤は耐性菌が出にくい」とする、今考えると赤面するような俗説が流れていて、正直な話、私もそれを鵜呑みにしていました。そのため、メラニン生合成経路でMBI-R剤がターゲットとしているのは別の酵素を阻害するMBI-D剤でも耐性菌は出現しないと高をくくっていたのは大きな間違いでした。一方、オリゼメート剤については、40年を経ても耐性菌が出現しておらず、今後もそのリスクは極めて低いと考えますが、その機構についての科学的な検討は十分進んでいないと思います。前例を他山の石として今後も慎重な対応が必要でしょう。

MBI-D剤が思いがけない事情でフェードアウトする頃、ストロビルリン系(QoI)のいもち剤が相次いで開発されました。中でもオリザストロピン剤は、箱剤として穂いもちにも高い効果

が認められる長期の残効があり、紋枯病にも防除効果が見られることから、殺虫剤の混合剤で、イネの主要病害虫を網羅できる剤として登場し、連絡試験の取りまとめも行いました。ただし、既に米国においてイネいもち病菌と類縁のペレニアルライグラスいもち病菌でQol耐性菌の報告があったことから、この連絡試験の会議では、同剤の耐性菌出現リスクが論議されました。効果が高く、その効果が長期におよぶ薬剤に高い耐性菌リスクのあることは、理論的にも予想されていたことであり、懸念を抱きながらの普及でした。残念なことに、現在では、九州などの西日本で既に耐性菌が蔓延している地域もあるようで、他剤と同じ経過をたどることになるのか、何らかの対策で蔓延を防ぐことができるのか、研究の真価が問われるところです。

他の誘導抵抗性薬剤の登場

オリゼメート剤の作用機作が植物体の本来有する抵抗性の誘導であることが知られても、かなりの期間にわたり、同系統のいもち剤は登場しませんでした。1993年に開催された第1回国際イネいもち病会議で、米国のFroyd氏はオリゼメート剤の効果と特徴に言及されていました。また、その頃、Delany氏らにより病害抵抗性に対するサリチル酸の役割がScience誌で発表されて話題となりました。当時、両氏にオリゼメート剤についての印象を質問したことがあります。ポット試験で本剤の効果確認が難しかったのか、あまり本剤に興味を持たれていなかったような気がしました。そのような中、Delaney氏らの基礎研究からアシベンゾラルSメチル剤が開発されました。この剤は、いもち剤としてはあまり普及しませんでした。その後、チアジニル剤、続いてイソチアニル剤が開発・上市されました。これらの剤の効果確認試験を行いました。オリゼメート剤に近い効果が得られるとの感触でした。数年前からは、これら3剤がほぼ同一の市場を競うことになったため、今後はこの分野は、いわゆるコモディティー化が予想され、さらなる新機軸が求められるかもしれません。

イノベーションの概念

多くのいもち剤の効果確認試験等に関わったので、回顧が長くなってしまいました。これらが本論です。私の少年時代である高度成長期には、各分野で新製品が次々に登場し、極めて気楽に「イノベーション」なる言葉が唱えられていました。ただし、その用語を「技術革新」と訳して納得していました。しかし、わが国が目標としていた欧米の先行技術に追いつき、新興諸

国から追われる立場になった近年、イノベーションという用語の本来の意味が改めて問われているようです。多くの識者は、この用語の意味について、著名な経済学者シューペンターにより100年以上前に提唱された、直訳すると「新結合」と呼ばれる概念であると指摘しています。すなわち、新しい工夫により、ある事柄の価値が飛躍的に高まる現象を指しているようです。シューペンターは、イノベーションを5分類し、そのうち一つを「消費者の間でそれまで知られていなかった価値」としていますが、オリゼメート剤による防除システムは、この範疇に入るものと考えています。

リニア・モデルに基づかない技術開発

われわれは、基礎研究から応用研究、開発研究を経て世の中に普及する直線的な形でイノベーションが創出されるとする「リニア・モデル」と呼ばれるイメージを持っています。最近出版されたヘンリー・ペトロスキーの著書によれば、このリニア・モデルという考え方は、戦後米国で明示的に唱えられたようで、わが国では、大学や公的研究機関で長く信じられ、企業でも高度成長期の後半、日本の「基礎研究只乗り論」が唱えられるようになって以降、基礎研究を行う中央研究所が建てられました。一方、米国で「日本只乗り論」が出てくるかなり前から、このリニア・モデルに対して疑義が寄せられており、上記の著書によれば、米国国防省の調査から、基礎研究が起点になって実用技術に繋がった事例は全体の0.3%に過ぎないことが分かり、80年代には別のイノベーションモデルが提案されています。

この話を讀んだ時、大学時代に受講した農薬学の講義で、日本における農薬開発戦略について、はっとするような話があったのを思い出しました。すなわち、化合物の殺菌効果に注目して試験管やシャーレ上でスクリーニングする*in vitro*の方法では欧米諸国に追いつけないので、発想を転換し、植物の生体上で化合物の防除効果をスクリーニングする*in vivo*でスクリーニングする方法が唱えられ、その成果として、一連の抗生物質等の有効成分が開発されたとのことでした。オリゼメート剤も恐らく、このような考えで開発されたものではないかと推察しています。

オリゼメートのイノベーション・スタイル

オリゼメートの開発経過の詳細については存じていないことも多いので、推察が混じること

もご了解いただきます。当時の明治製菓の本業である菓子製造に係る甘味物質に何らかのいもち病防除効果があるとの知見から、いくつかの誘導体をもちいた相当ラフなin vivo試験が水田で行われたと伺っています。当然、防除の作用機作についての知見も当時はほとんど無かったのでしょう。つまり、リニア・モデルによる開発ではありません。また、当然、剤の作用機作が当時明確ではなかったはずですから、有効な施用方法や施用時期などについても五里霧中だったのでしょう。先輩方に訊くと、公立試験場でもいろんな方法で施用試験が行われ、ついに葉いもち初発前の水面施用により安定して高い防除効果が得られる技術が確立したとのこと。この「初発前の水面施用による葉いもちに的を絞った防除」という位置付けこそが、「それまで知られていなかった価値」であり、それ故、一気に普及し、他者の追従を永らく許さない独自技術となり得たのでしょう。これらのことから、オリゼメート剤による葉いもち防除体系は、わが国の農業技術を代表するイノベーションの一つとして高く評価できると思います。また、有力な後発の薬剤に対しても戦略的に対応できたことにより、元の「新しい価値」を独占できる状態ではなくなりつつある現在でも、揺るぎない地位を保っているのであろうと考えます。

今後への期待

最後に、今後10年に向けての期待を述べたいと思います。第1は、作用機作についてのさらなる探求です。この分野では、既に明治製菓の時代から関塚泰治先生、岩田道頭先生らによる多数の業績がありますが、誘導抵抗性の機序は、植物が本来有する抵抗性あるいは究極的には宿主・寄生者相互関係の根源にも関わる課題であり、この部分の新知見からのさらなる防除技術のブレークスルーが期待されます。企業や研究機関での粘り強い研究が期待されます。

第2は、抵抗性誘導剤において、葉いもち流行後期から防除効果が低下する現象およびそれが穂いもち防除にどう影響するか究明されることが期待されます。課題としては、現象の観察により問題点を摘出する段階から。要因間の因果推論、その因果関係の機序を明らかにする段階があります。葉いもちに対する防除効果が低下するイネの状態のより正確な観察とともに、葉いもちと穂いもちがどのような発生様相の場合にオリゼメート剤の効果が穂いもちに及ぶのかという点が明らかにされることを期待します。これらは、現場に近い公設試験研究機関の得意分野と考えます。葉いもちと穂いもちの関係については、因果推論に繋げるべきです。恐らく、穂いもちに対する葉いもち防除効果の影響は、葉いもち流行のピークと出穂期との間隔が

影響しており、対象地域の緯度で説明できる要因が関係するはずです。つまり、南日本型流行では両者の間隔が開いており、北日本型流行では狭く、緯度が高くなるほどその傾向が強まります。いもち病の発生については各地で長年積み重ねられたビッグ・データがあるので、先進的な統計学手法による解析も可能と思います。また、抵抗性誘導剤の防除効果が葉いもち流行後期に低減する現象に関係する生化学的レベルでの機序の解明も、これらの剤のより有効な利用法に繋がる研究の進展も期待されます。

第3の期待は、上記の二つとレイヤーが異なるものです。今後日本の水田地帯の多くに広がると予想される大規模営農の栽培体系への本剤の適応戦略です。農業生産物の世界的需給逼迫傾向の一方で、その流通の国際化が進展する傾向も、避けて通れないと考えられます。わが国では、多収・安定生産技術とともに、コストの大幅削減のための技術開発は避けて通れません。このような条件下での病害虫防除のあり方が問われています。病害虫防除による収益の高位安定化とは、そもそも総合的病害虫防除(IPM)の定義に照らせば本来の目的であるはずで、このような観点からオリゼメート剤の果たす役割を考える必要があります。いもち病による被害リスクが高い条件下では、オリゼメート剤のメリットが高いのは明らかですが、比較的リスクの低い条件下での対処法が課題となります。恐らく、オリゼメート剤という切り札となるハードとその効果的・効率的使用に関する意思決定支援というソフトを併せたパッケージとして普及することが望ましい姿と考えます。そのためには、産学連携が有効かもしれません。50周年時には、オリゼメート剤がどのような新しい展開を見せているのか、大いに期待いたします。

耐性菌リスクと抵抗性誘導剤

独立行政法人 農業環境技術研究所 名誉研究員 石井 英夫

はじめに

イネの糸状菌病害では1970年代から1980年代にかけて、いもち病でカスガマイシンや有機りん剤、イソプロチオラン、ばか苗病でベンゾイミダゾール系薬剤に対する耐性菌を経験したが、その後長い間耐性菌問題は起こらなかった。ところが、2000年代になっていもち病でMBI-D剤(メラニン合成経路のシタロン脱水酵素を阻害)耐性菌が、そして最近ではQol剤(ミトコンドリア電子伝達系にある複合体Ⅲたんぱく質のQo部位に作用して呼吸を阻害)耐性菌が発達するに及んで、防除のあり方に大きな疑問を投げかけている。

一方、同じくメラニン合成阻害剤でも、MBI-R剤(還元酵素を阻害)には圃場レベルで耐性菌の確実な報告はない。さらに、過去40年の長きにわたって広く使用されている抵抗性誘導剤のプロベナゾール(商品名：オリゼメート、Dr.オリゼ)には全く耐性菌の報告がない。そこで、薬剤の耐性菌発達リスクを抵抗性誘導剤とからめながら論じてみたい。

1. 近年の耐性菌事情

1) MBI-D剤耐性菌

「天災は忘れた頃にやって来る」。寺田寅彦博士によるこの有名な言葉ではないが、長らく耐性菌では無風状態であったいもち病に、新たな問題が持ち上がった。MBI-D剤耐性菌である。筆者が大塚範夫氏(当時、JA全農農業技術センター)と共に関係者の協力を得て設立した日本植物病理学会の殺菌剤耐性菌研究会は、第9回シンポジウムで「メラニン生合成阻害剤はなぜ耐性菌を生じないのか？」を課題として取り上げた(倉橋・山口、1999)。しかしその時点でも、この耐性菌がわずか2年後に現実のものになるうとはほとんど誰も予想していなかった。その意味で、2011年3月11日の東日本大震災やそれに続く東京電力福島第一原発の過酷事故とは異なり、「想定外」と言ってもおそらく許されるであろう。

では、なぜ我々はMBI-D剤耐性菌を予想出来なかったのだろうか？それは、先行して長く使

われていた別のメラニン合成阻害剤つまりMBI-R剤に、少なくとも国内では全く耐性菌が報じられていなかったからである。メラニン合成阻害剤のように感染を阻害するタイプの薬剤には、耐性菌が生じないのではないか？そのように思っていた。

MBI-D剤耐性菌の実態を少し思い起こしてみよう。カルプロパミド(商品名：ウィン)の入った箱粒剤を使ったにもかかわらず、早期にいもち病が多発した佐賀県から初めて耐性菌が検出されたのは2001年のことであった(山口ら、2002)。その後、同じ箱粒剤を連年使用した地域で独立発生的に、あるいは汚染種子の流通等によって耐性菌の分布は次々に拡大した。沖縄県を除く九州各県、四国、中国から、近畿、北陸、東海、関東東山さらに東北にまで及んだ。

これを受けて殺菌剤耐性菌研究会は遅まきながら「イネいもち病防除におけるQol剤及びMBI-D剤耐性菌対策ガイドライン」を作成し、2008年4月に公表した(宗・山口、2008)。しかし、残念なことにこのガイドラインは十分に活用されず、2010年以降遂に北海道でもMBI-D剤耐性菌が広域に検出され、その分布は合計36道府県に及んでいる。そればかりか、次に述べるQol剤耐性菌の発達まで許してしまった。

2)Qol剤耐性菌

1990年代後半に登場したQol剤は、当初耐性菌リスクが不明であった。ところが、野菜、果樹病害を中心に、各国で耐性菌の報告が相次ぎ、その数は60以上を記録している(石井、2012)。このため、耐性菌発達は「次はいもち病」と誰もが予想出来たはずの、真に「想定内」の出来事であった。

2012年の初夏から西日本とくに中国、九州、四国で、オリサストロピン(商品名：嵐)を含む箱粒剤を使用してもいもち病が多発する地域が見られ、これに耐性菌が深く関与することが関係機関によって明らかになった(宮川・富士、2013；石井・富士、2013)。耐性菌の検出は最初に公表された山口県をはじめ、これまで14府県に上っている(2014年8月現在)。2014年も各地で夏季の多雨が報じられる中、いくつかの県からいもち病関連の警報や注意報が発令されている。

痛恨の極みとはこのことで、殺菌剤耐性菌研究会は2012年8月に改めて先のガイドラインを農林水産省植物防疫課経由で全国のすべての都道府県に配信し、ガイドラインの徹底を図った。それまでの経緯や対策については、2013年及び2014年の殺菌剤耐性菌研究会シンポジウムで取り上げられたほか、総説(石井、2014)もあるので参考にされたい。

3) 耐性菌対策ガイドライン

耐性菌発達に至るこれまでの状況を見る限り、研究会のガイドラインに掲げたことが着実に行われていれば…との思いは強い。「Qol剤の使用は最大で年1回」や「採種圃場およびその周辺圃場ではQol剤は使用しない」は当然として、とくに「育苗箱処理では連年使用は避け、可能な限り1年または2年おきに作用機構の異なる薬剤とローテーションで使用」の項目が遵守されていなかった。箱施薬に長期残効性を期待したとしても、耐性菌リスクの高い薬剤の場合、耐性菌に対する選択圧がより長く強く働く。そのことはMBI-D剤で経験済みであったにもかかわらず、その教訓が生かされなかった。

さらに、「耐性菌が検出された場合、薬効低下が認められなくても当該薬剤の使用を一旦中止する」としたガイドラインについても、実は県によって対応が異なる。Qol剤の使用を全県的に中止したところもあれば、そうでないところもある。MBI-D剤では、耐性菌を検出した当初はごく低率であったものが、翌年も同じ薬剤を使用したために耐性菌率が急速に高まり実際の被害を招いた例もあった。筆者は、Qol剤で同じ過ちを繰り返すことがなければと祈っている。とりわけ、十分な防除がなされない飼料用種子を他県に供給する場合、種子が耐性菌に汚染していれば、相手先がいかに対策を講じようとも耐性菌の持ち込み自体を防ぐことは出来ない。

近年、薬剤の利便性や眼前の経済的利益を優先するあまり、現実の問題が起こるまでその薬剤を使い続け、挙句の果てに耐性菌で台無しにしてしまうケースが目立って仕方がない。優れた薬剤をいとも簡単に葬り去ることで将来何が起こるのか、それに思いを馳せる想像力を養うとともに、使用制限を守ってより長く使用する工夫をしていただきたいものである。

2. 耐性菌リスクの高い薬剤と耐性機構

1970年代初頭から内外で深刻な耐性菌問題を引き起こしてきたのはほとんど、特異作用点阻害剤と呼ばれる、ごく限られた作用部位を持つ薬剤に集中している。ベンゾイミダゾール系薬剤、MBI-D剤、そしてQol剤などである。

またその裏返しとして、耐性のしくみも単純な作用点変異、つまり薬剤が作用するたんぱく質の遺伝子のごく一部突然変異し、それでアミノ酸の一部が変化して作用点たんぱく質に対する薬剤の結合が妨げられるというものが多い。薬剤が作用点と十分に結合出来なければ、効果も発揮されない。

いもち病菌のMBI-D剤耐性菌では、シタロン脱水酵素遺伝子の塩基配列に1つだけ変異が見

られる(Takagaki et al., 2004)。そのような耐性菌が薬剤の使用で選択的に増殖し、やがて薬効低下を引き起こした。Qol剤耐性のいもち病菌でも、ミトコンドリア複合体Ⅲたんぱく質のQo部位(チトクローム*b*)の遺伝子がGGTという塩基配列からGCTに点突然変異を起こし、その結果143番目のアミノ酸がグリシン(G)からアラニン(A)に置き換わるG143Aが起こっていた(宮川・富士、2013)。

このチトクローム*b*たんぱく質のG143A置換こそ、Qol剤に高度耐性をもたらすものとして、最も警戒すべきものであった。なぜなら、これは今回いもち病菌で見つかるずっと以前から、芝いもち病菌(Kim et al., 2003)を含む数多くのQol剤耐性菌で検出され、高度耐性の主因とされていたからである(石井、2012)。イネいもち病菌のQol剤耐性は、決して降ってわいた話ではなく十分予想され、それだからこそ筆者もQol剤の使い方について機会あるごとに注意を呼びかけていた。

3. 耐性菌対策と抵抗性誘導剤

特異作用点阻害剤とは対照的に耐性菌リスクが低いものに多作用点阻害剤がある。詳しくは研究されていないものの、その名のとおり多くの異なる作用点を持つ薬剤であるため、一般には耐性菌を生じにくい。仮に1つか2つの作用点が遺伝的に変化して薬剤から逃れたとしても、まだほかの作用点が残っていて耐性菌とはなれないのである。

病原菌に直接作用して殺菌効果を現わす特異作用点阻害剤に対して、病害抵抗性誘導剤には抗菌活性がないか、あっても低いものが多い。その代わりにこれらは、植物側に作用して植物の免疫機能を飛躍的に活性化させる。その際に植物は実に多くの防御応答をして総力を挙げて病原体に対抗する。

作物の病害抵抗性育種に関して「質的形質で主働遺伝子による真性抵抗性は、新たな病原菌レースの出現によってその抵抗性が打破されやすい。一方、量的形質で複数の微動遺伝子(ポリジーン)の支配を受ける圃場抵抗性は打破されにくい」と、多くの教科書に書かれている。つまり、抵抗性誘導剤には作物に圃場抵抗性を付与するような、ちょうどそんな働きがあるといえよう。

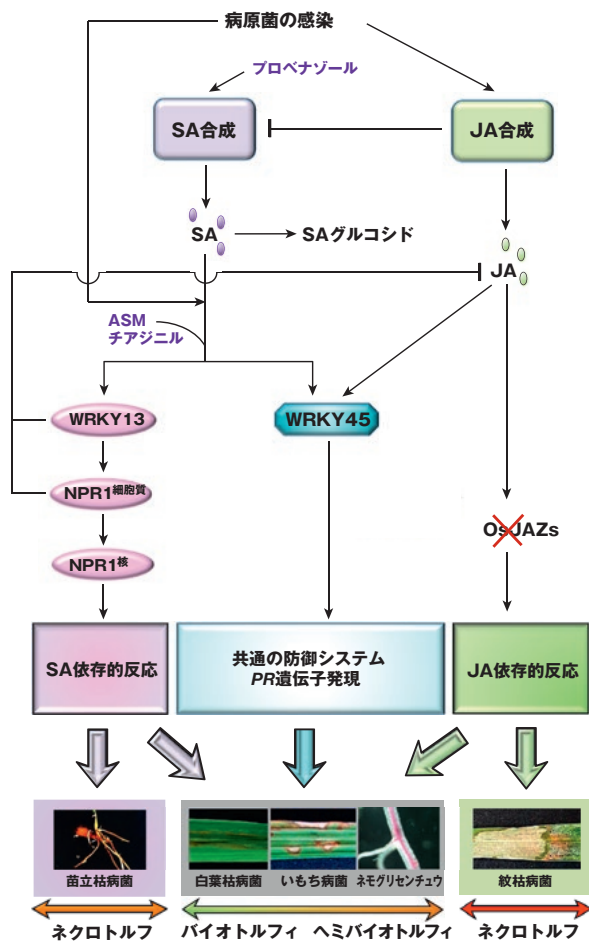
4. 抵抗性誘導剤の作用様式と情報伝達経路

長らく耐性菌研究に携わってきた筆者であるが、実は我々のグループでも抵抗性誘導剤の作

用機構や実用的な病害防除効果などについて研究してきた。ただし、対象としたのはイネでもプロベナゾールでもなく、キュウリやナシ、トマトとアシベンゾラルSメチル(ASM)の組み合わせであった。耐性菌問題がよく起こるこれらの作物に殺菌剤に代わる防除技術を導入し、耐性菌の選択圧を下げる上で抵抗性誘導剤が有効と考えたのである。

ベンゾチアジアゾール(BTH)系のASMは、プロベナゾールや後発のチアジニル(商品名：ブイゲット)、イソチアニル(同：ルーチン)と同様、防御応答に重要な植物ホルモンの一種サリチル酸の類縁体である。このため、サリチル酸(SA)を介した情報伝達系によって抵抗性を発現すると考えられている。

確かに、あらかじめキュウリにASMを処理すると、その後接種した炭疽病菌などに全身獲得抵抗性(Systemic Acquired Resistance、SAR)が速やかに誘導され、その過程でキュウリ体内のSA経路が活性化される。炭疽病菌の分生子発芽と付着器形成には影響しないが、



TRENDS in Plant Science

図1 イネにおけるサリチル酸(SA)とジャスモン酸(JA)の情報伝達系(De Vleeschauwer et al., 2013を改変)

キュウリ細胞壁のリグニン化やパピラ形成(カロース生成)が促進されて、菌はクチクラ層を突き破ってキュウリ内部に侵入出来なくなる。感染特異的たんぱく質の1つPR-1や、抗菌作用も知られる酵素キチナーゼやグルカナーゼの遺伝子発現も高まる(Narusaka et al., 1999)。それらの過程には活性酸素種の生成や消去も関わっている(Deepak et al., 2006; Lin and Ishii, 2009)。抵抗性誘導剤とはまさに、植物が防御応答機能を総動員して病原体から自身を守るのを手助けするものである。

最近、イネの防御応答とSAやジャスモン酸(JA)をはじめとする各種植物ホルモンとの関係について、優れた総説論文が発表された(De Vleeschauwer et al., 2013)。そこには、この分野で大きく貢献している我が国の理化学研究所や農業生物資源研究所などの研究者の論文も多数引用されている。この論文にある、SAとJAの情報伝達系の関係図を示す(図1)。

両シグナル伝達系はかつてそれぞれ独立性の高いものと考えられていたが、近年の研究でそれらの間には複雑なクロストークがあることが分かってきている。先のASMIにしても、キュウリではSA系のみならずJA系遺伝子の発現を高めることが、筆者らのグループにより明らかにされた(Deepak and Ishii, 2012)。その意味でも、抵抗性誘導剤の作用機構にはいまだ不明の点が多い。

5. 抵抗性誘導剤の作用機構と防除スペクトラム

プロベナゾールをはじめとする抵抗性誘導剤の作用機構は、岩田(2014)によって簡潔にまとめられている。中でも注目されるのは、SAシグナル伝達系における抵抗性誘導剤の作用点だが、プロベナゾールはSAの上流に、一方チアジニルやASM、イソチアニルは下流にあると考えられる点である。このことから、イネの抵抗性誘導剤といえども、その働きには違いがありそうである(ただし、現在ASMには農薬としての国内登録がない)。

De Vleeschauwer et al.(2013)の総説論文に立ち戻ろう。SA経路の下流に位置し、抵抗性誘導に重要な役割を果たす転写因子、*OsWRKY45*が過剰に発現しているイネではいもち病や白葉枯病への抵抗性が大いに高まるが、紋枯病には感受性を示すという(Shimono et al., 2012)。しかし、JAではいもち病、白葉枯病に加えて紋枯病に対する免疫性も付与されるらしい。その一方でJAには、茎葉散布、根部処理のいずれにおいても、ペレニアルライグラスのいもち病感受性をむしろ高めたとの報告もある(Rahman et al., 2014)。抵抗性誘導剤に見られる防除スペクトラムや効果の違いは、それぞれの化合物が持つ微妙な作用機構の違いを

反映しているのであろう。

全国一の種もみ生産県であり、日本一の種もみ供給県でもある富山県では、2013年度県病害虫防除指針から「Qol剤を含む箱施薬剤」が削除され、2014年度もこの薬剤を採用するJAはなかったという(守川、私信；鈴木ら、2014)。さらに、県農業研究所においては箱施薬剤として抵抗性誘導剤を使用するものの、1～3年おきに抵抗性誘導剤の種類を変更する念の入れようである。プロベナゾールやチアジニル、イソチアニルによる抵抗性誘導の過程では大きな転写変動が起こるが、これら薬剤の作用性や作用機構に微妙な違いがあることを見越した慎重な対応といえよう。

薬剤による全身抵抗性誘導の過程で、どのようなシグナル物質が植物体全体に行き渡るのかは大変興味深い。サリチル酸(SA)の上流でピペコリン酸が初期のSARシグナルに関わる可能性が指摘されている(Kachroo and Robin, 2013)。また、SA自体は移行しないが、これに由来するサリチル酸メチル(MeSA)あるいはSAが誘導するアゼライン酸、グリセロール-3-リン酸などは師管部(師部)を通じて運ばれ、協調的に働く(Veloso et al., 2014)ほか、これらを局所的に処理するとSARを誘導する。

SAのシグナル伝達系では転写補助因子のNPR1というたんぱく質が鍵となり、これが転写因子TGAと相互作用することにより防御応答に必要な数々の遺伝子が発現する。SAと結合する植物側のたんぱく質(レセプター)として、SAをMeSAに変換する酵素メチルエステラーゼが同定されたが、さらにNPR1自体やこれを介したSAへの反応を調節するNPR3やNPR4もレセプターとして提唱されている(Veloso et al., 2014；野元・多田、2013)。ASMやSAが誘導するいもち病への防御反応には、先にも述べた転写因子WRKY45が重要な役割を果たしている(Shimono et al., 2007)。

反対に菌のエフェクター(植物の防御に必要なたんぱく質の働きを抑えて発病に導く)は植物細胞膜のリン脂質に結合した後、離れた組織に移行して受容性の誘導を起こすらしい(Lapin and van den Ackerveken, 2013)。SARの誘導剤が植物クチクラの発達に貢献する可能性や、クチクラの構成物がSARシグナルの生成に関わることも指摘されている(Kachroo and Robin, 2013)。

6. 抵抗性誘導剤に耐性菌が生じるとすれば

いもち病に対する真性抵抗性遺伝子を単独で導入したイネ品種には、これを犯す新たなレー

すがすぐに現れて、抵抗性の崩壊が起こる。そこで、真性抵抗性のみが異なり他の形質が片方の親と同じ同質遺伝子系統(マルチライン)を複数混ぜる栽培法が登場した(石崎ら、2009)。しかし理論的には、それさえ崩壊させるスーパーレースが出現する可能性もあるらしい。このため、マルチラインが広く普及した新潟県では、レース分布の変化を把握しながら、播種する系統の組み合わせを適宜変更している。

一方、抵抗性誘導剤はいもち病菌のレースに関係なく発病を抑制する。まるで非宿主抵抗性を連想させるが、抵抗性誘導剤の処理で、それぞれのレースが感染時に分泌するはずのエフェクターたんぱく質をイネが一つ一つ認識して、これに対抗出来るようにするのであるのか？

さて、もはや何事にも「想定外」は許されない。それが、3.11の大震災と事故を経験した我々の責務であろう。そうならば、どのようなことが起これば抵抗性誘導剤にも耐性菌が生じうるのか、あるいはなぜ抵抗性誘導剤が効かない場合があるのか？それを考えておくこともあながち無駄ではなからう。

抵抗性誘導剤によって活性化される数々の防御応答反応を無効にするような「スーパーストレイン」は将来出現するのだろうか？たとえば、ジャスモン酸の類縁体として作用するコロナチンという植物毒素があるが、これは実験植物シロイヌナズナのサリチル酸依存性の防御システムを抑えることで、病原細菌*Pseudomonas syringae*の発病を可能にしている(Brooks et al., 2005)。トマト青枯病菌*Ralstonia solanacearum*は感染時に、シグナル伝達の鍵となるサリチル酸やその中間体ゲンチジン酸を分解するので、これらに依存する防御応答を抑制する可能性がある(Lowe et al., 2014)。

病原性の決定因子として宿主特異的毒素(Host-specific toxin、HST)が知られるが、抵抗性誘導剤は一般に、HST産生菌による病害には効果がない。ASMがナシ黒斑病(病原菌：*Alternaria alternata* Japanese pear pathotype)やキュウリ褐斑病(同：*Corynespora cassiicola*)に効果がないことは筆者が確認している。前者の場合、ASMを処理しても分生子発芽が抑えられず、胞子発芽管や侵入菌糸からHSTのAK-毒素が分泌されてしまうために手遅れとなり、発病するのではないかと考えている。また最近、エンバクビクトリア葉枯病菌(*Helminthosporium victoriae*)の産生するHSTのピクトリンが、サリチル酸による抵抗性誘導を阻害すると報告されている(Lorang et al., 2012)。

病原菌の中にはABC(ATP-Binding Cassette)トランスポーターやMFS(Major Facilitator Superfamily)トランスポーターを使って、自身の細胞内に入って来た薬剤などの異物を体外に排出するものがある。このしくみは、作用機構の異なる各種薬剤に対する多剤耐

性(Multidrug Resistance、MDR)に関係する。ただし、通常は耐性レベルが低いことから、圃場で起こる薬効低下に影響を及ぼす可能性は低い。また、病原菌のABCトランスポーターはファイトアレキシン(感染に伴って植物体内で増大する抗菌性の低分子化合物など)への対抗手段としても知られている(Schoonbeek et al., 2001)。抵抗性誘導の過程では、植物中でキチナーゼなどの溶菌酵素をはじめ多くの物質の生成が増大するが、これらを一気に排出出来れば、その菌は「耐性菌」になるかも知れない。

おわりに

抵抗性誘導剤は比較的最近まで海外で大きく注目されることはなかったが、我が国ではベストセラーのプロベナゾールで40年間の使用実績がある。これを受けて、チアジニルやイソチアニルも登場した。耐性菌対策として、またIPMを実現する上での有効なツールとして、抵抗性誘導剤がイネのみならず野菜、果樹などの他作物にも今後更に広く活用されることを心より期待している。また、よもやとは感じるものの、抵抗性誘導剤に対する「耐性菌」出現の可能性についても引き続き関心を持ち続けたい。

最後に、今回執筆の機会を与えていただいたMeiji Seika ファルマ株式会社 生物産業事業本部の齋藤好明氏をはじめ、関係者の皆様に深謝申し上げます。

引用文献

- Brooks, D. M., Bender, C. L. and Kunkel, B. N.(2005) The *Pseudomonas syringae* phytotoxin coronatine promotes virulence by overcoming salicylic acid-dependent defences in *Arabidopsis thaliana*. Mol. Plant Pathol. 6 : 629-639.
- De Vleeschauwer, D., Gheysen, G. and Höfte, M.(2013) Hormone defense networking in rice: tales from a different world. Trends Plant Sci. 18 : 555-565.
- Deepak, S.A. and Ishii, H.(2012) Gene expression analysis during acibenzolar-S-methyl induced systemic disease resistance in cucumber using cross species microarrays. Abstr. IS-MPMI 15th Intr. Congr. : 179.
- Deepak, S.A., Ishii, H. and Park, P.(2006) Acibenzolar-S-methyl primes cell wall strengthening genes and reactive oxygen species forming/scavenging enzymes in cucumber after fungal pathogen attack. Physiol. Mol. Plant Pathol. 69 : 52-61.
- 石井英夫(2012)QoI剤およびSDHI 剤耐性菌の現状と薬剤使用ガイドライン. 植物防疫 66 : 481-487.
- 石井英夫(2014)QoI剤耐性イネいもち病菌の発生状況と対策. 植物防疫 68 : 274-279.
- 石井貴明・富士 真(2013): 福岡県におけるQoI 剤に対する感受性が低下したイネいもち病菌の発生. 日植病報 79 : 197(講要).
- 石崎和彦・松井崇晃・名畑越夫・佐々木康之・星豊一・佐々木行雄・星野卓・竹内睦・小出道雄・束聡志・阿部徳文・近藤敬・阿部聖一・小林和幸・樋口恭子・小関幹夫・田村隆夫・原田惇・金山洋・重山博信・中嶋健一・平尾賢一・浅井苫広・長澤裕滋・佐藤徹・川上修・金田智(2009)全県レベルで普及した「コシ

- ヒカリ新潟BLシリーズ」の育成. 北陸作物学会報 44 : 1-4.
- 岩田道顕(2014)Dr. 岩田の『植物防御機構講座』改訂版. オリゼメート7普及会. pp. 69.
- Kachronn, A. and Robin, G. P.(2013) Systemic signaling during plant defense. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16 : 527-533.
- Kim, Y.-S., Dixon, E. W., Vincelli, P. and Farman, M. L.(2003) Field resistance to strobilurin(Qol) fungicides in *Pyricularia grisea* caused by mutations in the mitochondrial cytochrome b gene. *Phytopathology* 93 : 891-900.
- 倉橋良雄・山口 勇(1999)メラニン生合成阻害剤はなぜ耐性菌を生じないのか? 第9回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 35-45.
- Lapin, D. and van den Ackerveken, G.(2013) Susceptibility to plant disease: more than a failure of host immunity. *Trends Plant Sci.* 18 : 546-554.
- Lin, T.-C. and Ishii, H.(2009) Accumulation of H₂O₂ in xylem fluids of cucumber stems during ASM-induced systemic acquired resistance(SAR) involves increased LOX activity and transient accumulation of shikimic acid. *Eur. J. Plant Pathol.* 125 : 119-130.
- Lorang, J., Kidarsa, T., Bradford, C. S., Gilbert, B., Curtis, M., Tzeng, S.-C., Maier, C. S. and Wolpert, T. J.(2012) Tricking the guard: exploiting plant defense for disease susceptibility. *Science* 338 : 659-662.
- Lowe, T. M., Jacobs, J. M., Ailloud, F. and Allen, C.(2014) *Ralstonia solanacearum* degrades the key plant immune signal, salicylic acid, during tomato infection. *Abstr. APS-CPS Joint Meet.*
- 宮川典子・富士 真(2013) : イネいもち病菌のQol剤耐性菌の発生と対応. 第23回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 25-36.
- Narusaka, Y., Narusaka, M., Horio, T. and Ishii, H.(1999) Induction of disease resistance in cucumber by acibenzolar-S-methyl and expression of resistance-related genes. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 65 : 116-122.
- 野元美佳・多田安臣(2013) : サリチル酸受容体の発見. *化学と生物* 51 : 728-729.
- Rahman, A., Kuldau, G. A. and Uddin, W.(2014) Induction of salicylic acid-mediated defense response in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. *Phytopathology* 104 : 614-623.
- Schoonbeek, H., Del, Sorbo G. and De Waard, M. A.(2001) The ABC transporter BcatrB affects the sensitivity of *Botrytis cinerea* to the phytoalexin resveratrol and the fungicide fenpiclonil. *Mol Plant Microbe Interact.* 14 : 562-71.
- Shimono, M., Koga, H., Akagi, A., Hayashi, N., Goto, S., Sawada, M., Kurihara, T., Matsushita, A., Sugano, S., Jiang, C. J., Kaku, H., Inoue, H. and Takatsuji, H.(2012) Rice WRKY45 plays important roles in fungal and bacterial disease resistance. *Mol. Plant Pathol.* 13 : 83-94.
- Shimono, M., Sugano, S., Nakayama, A., Jiang, C.-J., Ono, K., Toki, S. and Takatsuji, H.(2007) Rice WRKY45 plays a crucial role in benzothiadiazole-inducible blast resistance. *Plant Cell* 19 : 2064-2076.
- 宗 和弘・山口純一郎(2008)イネいもち病菌における殺菌剤耐性菌マネジメントーMBI-D剤及びQol剤に関して. 第18回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 70-80.
- 鈴木啓史・長谷川 優・守川俊幸(2014) Qol剤耐性いもち病菌の発生拡大を防ぐための取り組みと課題. 第24回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 52-63.
- Takagaki, M., Kaku, K., Watanabe, S., Kawai, K., Shimizu, T., Sawada, H., Kumakura, K. and Nagayama, K.(2004) Mechanism of resistance to carpropamid in *Magnaporthe grisea*. *Pest Manag. Sci.* 60 : 921-926.
- Veloso, J., Garcia, T., Bernal, A. and Díaz, J.(2014) New bricks on the wall of induced resistance: salicylic acid receptors and transgenerational priming. *Eur. J. Plant Pathol.* 138 : 685-693.
- 山口純一郎・ロ木文孝・平八重一之・宗 和弘(2002)佐賀県西北部地区におけるイネいもち病に対するカルプロバミド箱粒剤の防除効果の低下. *日植病報* 68 : 261(講要).

オリゼメート神話の始まり

元 宮城大学 食産業学部 教授(農学博士) **本藏 良三**

昭和49年、オリゼメート粒剤が農薬登録された年、宮城県ではいもち病が発生予察事業始まって以来の大発生。梅雨が明けず、じめじめとした雨が降り続いていた。当時大学院博士課程に在籍していた私のそばで、三沢正生教授(当時)と山中達助教授(当時)が外を見ながら「今年はいもちが出るね」と話されていたのを今も鮮明に思い出す。

昭和53年4月、宮城県黒川病害虫防除所に着任。所長は同じ室内にある大和農業改良普及所長が兼務、専任職員は私一人。ただし、普及所の職員が全面的に支援してくれる。慣れないうちにすぐいもち病がやってきた。例年よりかなり早く、6月下旬には葉いもちが目立ち始め、例年の日程通りに薬剤散布ヘリコプターがやってきた7月3半旬(7月中旬前半)には例年の7月下旬の発生最盛期の様相を呈した。その間、地上防除による補完散布を呼びかけるが、後手に戻る。しかし、オリゼメート粒剤を6月中旬ごろに散布していた水田ではいもちが認められず、その効果は口コミでも広がり、オリゼ信仰の始まりといっても過言ではなかった。

オリゼ神話

昭和54年、黒川郡以北は例年より著しく早い時期から葉いもちが発生。例年よりも早かった前年よりもさらに早く、6月第3半旬から葉いもちが管内各地で発生してきた。航空防除のヘリコプターは予定日しか来てくれず、オリゼの地上散布を呼びかける。未だいもち対策の知識の乏しい私にとっては、何が何でもオリゼ散布を呼びかけることで事足りた。明治製菓仙台支店の地上および空からの広報もあり、6月中旬から下旬にかけて積極的に本田散布が実施され、初期防除の遅れた水田の多発を目にして、オリゼの実力が知れ渡った年であった。

なお、53年は梅雨明け後に異常高温・多照が続き、稲作史上最高の豊作(作況指数112)となった。54年は梅雨が長引いたが、8月中旬以降は晴天が続き、葉いもち多発生の割には穂いもちの被害が少なく、まずまずの収穫となった。

これらの葉いもちをたたけば穂いもち被害を軽減できるという経験から、それまでは葉いもちよりも穂いもち重視の防除体系であった地域においても、葉いもちの早期防除の重要性が認

識されるようになっていった。

昭和55年、6月下旬から低温・多雨が続くも葉いもち少発生。強い冷害により水稻作況指数79。過去の事例からみると、葉いもちが多発する気象であった。少発生におさまったのは前年・前前年の経験から7月初めから始めた航空散布の効果もあるが、6月中旬から例年になく広域一斉に散布されたオリゼメートの効果によるものが大きかったであろう。

オリゼには、他剤で当時問題になりつつあった耐性菌問題はなく、オリゼ神話は確定的なものになっていった。

オリゼメート粒剤本田散布時期

このように、宮城県内ではオリゼメートさえ散布しておけば葉いもちは大丈夫という空気が県内全域に広がったこの3年間であったが、いつしか葉いもち発生後のオリゼ散布は効果がないという風評が広がった。

作用機作からするとそのようなはずはないと思われ、試験場内の気象観測地近くに結露計を設置して毎日のいもち病の感染、その後の病斑出現状況とオリゼの施用日との関係を詳細に検討してみた。その結果、前夜から朝にかけて感染のあった当日またその翌日にオリゼメート粒剤を施用すると、その感染に対して十分に高い防除効果を示すこと、それがすでに病斑が出現した初発期以降の時期であってもオリゼ施用後の感染を抑えることが明らかとなり、本田散布時期の迷いは片付いた。すなわち、予防的に感染時期の前に散布するのが最適であるが、散布が遅れてもその後の感染は抑制することを周知させることができた。

葉いもち発生予察技術向上の研究： 「オリゼメート本田散布を発生予察警報で推奨」が目標

昭和54年の葉いもち早期発生とその後の急速な蔓延は当時の想定を超えたものであった。「ササ・コシ神話」のササニシキの本場である宮城県ではいもち病の防除が最も重要なことであり、発生予察会議においても多くの時間をいもち病に充てていた。午前10時にいもち病から始まるが昼休みになってもいもち病が終わらないことがよくあり、県内各地の現況、過去の発生状況、天気予報等から議論が続くが、未だ定量的な予察基準はなく、最後は今後の天候次第ということが続いていた。

ただし、昭和50年代に入り、当時北陸農試の吉野嶺一氏の研究成果、温度・葉面湿潤時間

と侵入率(葉表皮へのいもち病菌分生胞子の侵入率)との関係が明らかとなり、それを利用したシミュレーションモデルの開発研究等定量的な発生予察技術が開発されつつあった。当時の秋田県農試の小林次郎氏からは葉いもち広域的初発期等の理論と実地調査法を秋田県農試圃場において教わり、福島県農試の橋本晃氏からは結露計の読み取り方と葉いもちシミュレーションモデルBLASLの理論とコンピュータープログラムについて実物を前に教わり、東北農試の越水幸男氏からはアメダスデータを利用した葉いもち発生予察法を教わった。これらの懇切丁寧にお教えいただいた知識・技術をもとに、宮城県における葉いもちの発生経過の解析から取り組んだ。県内に4か所設置し、随時病害虫防除所から送られてくる結露計のデータでアメダスデータを補完し、現地の発生状況と試験場内の精密な葉いもち発生状況を知ること、県内平坦地水田の葉いもち発生推移を実用的に利用できるレベルで推測できるようになっていった。

当時、だれの目からも最強・確実に葉いもちを防除できるとされていたオリゼメート粒剤ではあるが、適期一斉散布(6月中旬)を指導するには、遅くとも6月15日ころには葉いもち予察情報を出さねばならない。普通の年では、葉いもちを農家の方が見つけ始めるのは7月10日ころ以降であることから、葉いもちが目立ち始めるおよそ1か月前にその発生量を予察すること、これが私たちにとっての目標であった。

もし、昭和54年と同じ状況が今日現れたら、躊躇なく「葉いもち防除にオリゼメート粒剤の一斉散布を励行しましょう」の発生予察警報の6月中の発令が可能であろう。ただ、現在は育苗箱施用に置き換わり、予察の出番がなくなってしまった。

いもち病発生生態に関する最近の2、3の知見

近年研究事例がめっきり減ったいもち病の発生生態について、まだ未解明と思われる課題について少々検討する機会があった。

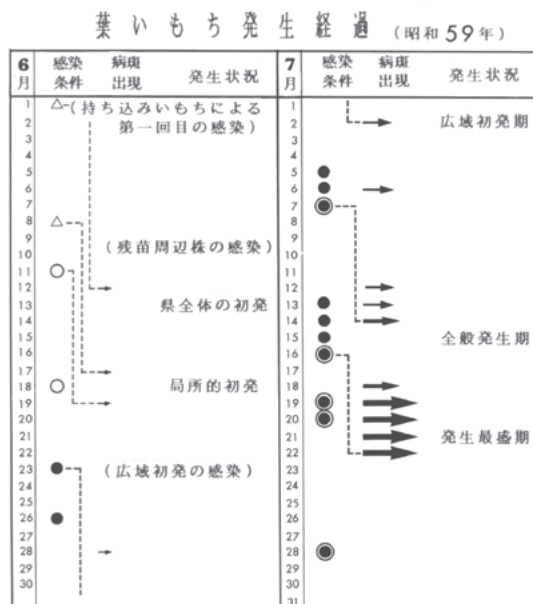
北日本における越冬伝染源について。本田での伝染源は水田に放置された残り苗あるいは感染苗の移植のいずれにしても、育苗期に感染していたイネ苗と考えられているが、これが最も重要であり、ほとんどがこの経路によるものとして間違いはないと思われる。育苗ハウス内に稲ワラを放置すると容易にいもち病が発生することや本田でも家畜舎のそばで早くから葉いもちが確認されやすいことが経験的に知られており、稲ワラからの伝染も無視はできないと思われる。

仙台市の西部住宅街のなかにある宮城大学食産業学部構内の隔離水田で、いもち病被害ワラをはせ架けにして野ざらし状態で越冬させても翌6月まで生き残り、近くのイネに葉いもちを

発生させた。2年連続で同じ結果が確認され、東北地方でも屋外でもいもち病菌が越冬できることが確認された。宮城県の冬は雪が少なく乾燥していることが越冬を可能にしていると思われるが、寒さが越冬の制限要素になっているとは思われない。北国であっても育苗施設周辺で、ぶら下げた状態に置かれた稲ワラは注意が必要と思われる。

真性抵抗性を導入したイネ品種の罹病化においては、その抵抗性遺伝子を侵害する新レースの出現が重要となる。真性抵抗性の発現が不十分である穂において、何らかの要因でレースが変異して新レースが出現すると考えられてきた。上述の宮城大学構内の隔離水田で‘とりで1号’をササニシキと並べて栽培中、ササニシキ葉で蔓延していたいもち病菌(レース037)が‘とりで1号’を侵害するように変異したと推定された新レース437菌による病斑が1個‘とりで1号’葉身上に出現し、その後、葉身で蔓延し、多数の穂首いもちを引き起こし、それらをはせ掛けした隔離水田の翌年は新レースで埋まる現状に出くわした。宮城県では予察圃の中央に‘とりで1号’数百株を植えて、いもち病の発生の有無を約20年間観察してきたが、ほぼ毎年ササニシキ等にはいもち病が多発生していたが、‘とりで1号’の発生は確認されなかった。宮城大学隔離圃場における‘とりで1号’の罹病は発生が早く、最初の1病斑から2次、3次伝染と多数の葉いもち病斑が出現したために見落とさなかったとも考えられるが、この例からすると大面積の圃場では新レースの出現は容易であり、新レース出現当初は見落とされているだけとも思われてくる。

宮城県では、箱施用剤の普及と夏の晴天続きによるものであろうが、昨年を除いてここ数年いもち病の発生が極めて少なく、穂首いもちの採集自体が困難を極める状態であった。この地区にはもういもち病菌はいなくなったと思われるようなところでも、よくよく探し回ると穂首いもちが見つかる。特に止葉の葉節は水滴が留まりやすいようで、葉節の病斑とセットで首いもちが見つかることがしばしばあった。



宮城県における平均的な葉いもち発生経過模式図

秋田県におけるオリゼメート剤の省力施用プロジェクト

元 秋田県農業試験場 生産環境部長 **深谷 富夫**

秋田県では1970年代から粉剤や液剤を用いて、農業試験場の小林氏が提案した予察対応型防除で葉いもちの発生を防いできた⁸⁾。本技術は年3～4回の茎葉散布を行うものである。1980年代に入り、生産者からはより効率的な防除法の確立が求められた。すなわち散布回数の削減とともに安価で防除効果が高く、しかも軽労的な葉いもち防除法である。そこで、筆者は種々のオリゼメート剤が本田の葉いもちに対して常に卓効を示していたことに着目し、本剤の施用量を減じて十分に防除効果が得られ、生産者のニーズに対応した技術となると考え、農業試験場、病害虫防除所、各JA営農指導員、各地病害虫防除員協議会と連携してプロジェクト体制を整え、1983年から検討を開始した。以下に種々オリゼメート剤の減量施用の試験結果と普及に至る経緯について記す。

40周年
「特別寄稿」

プロジェクト発足の背景

【いもち病防除の変遷】

いもち病は稲作において減収をもたらす最大の病害と位置づけられてきた。1950年以降、農薬や撒布機械が開発され、それまで本病の被害を懸念して制約してきた肥料の投下量が増したことでより米の収穫量が増加した。しかし、天候不良等

微気象法

- ・最低気温が16℃以上
- ・当日午後又は翌日午前の日照時間が各々2時間以下
- ・17～8時の継続的降雨は1mm/hr以下、ただし1時間の強雨は4mm/hr以下
- ・21～6時の平均風速が0.5m/s以下



微気象計：結露計、風速計

感染好適条件：気温が高く、風が無く、雨が弱く、結露時間が長い

図1 感染好適気象の予測基準(小林)

表1 気象基準別の全般発生開始期の適否

(深谷 北日本50号)

年次	全般発生開始期	BLASTAM	一般気象法	微気象法
1976	6月24日	—	○	○
1977	7月 2日	×	○	○
1978	6月18日	×	○	○
1979	6月19日	×	○	—
1980	6月27日	×	○	○
1981	7月11日	△	○	○
1982	7月 7日	×	○	○
1983	7月 1日	×	△	○
1984	7月 5日	×	△	○
1985	7月 4日	×	△	○
1986	7月 7日	×	△	○
1987	7月 5日	×	○	—
1988	7月 5日	×	○	○
1989	6月30日	×	○	○
1990	6月20日	×	×	○
1991	6月20日	○	○	○
1992	7月 6日	×	○	○
1993	7月10日	○	×	○
1994	6月24日	×	○	○
1995	6月19日	×	○	×
1996	6月21日	×	○	—
1997	6月26日	×	×	○
1998	6月25日	×	×	×
		9.1%	65.2%	90.0%

○:適合 ×:不適合 △:適合したが前に誤って適合した

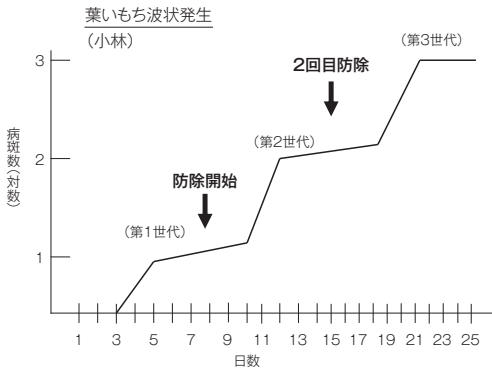


図2 葉いもち病斑の増加状況と茎葉散布の時期 (予察情報で防除時期を指定)

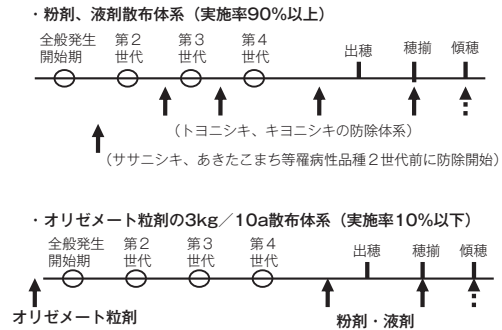


図3 1970～1989年の防除



(粉剤散布)



(ヘリ散布)

写真1 1970～1989年における秋田県の主体的な防除法

により肥料投下量の増加はいもち病抵抗力の低下を招き、防除が遅れた圃場では大きな被害を被る事例が多々みられた¹¹⁾。そこで、小林次郎氏は適期防除を行うための、葉いもち全般発生開始期及び病斑の急増期をもたらす予測基準を作成し、以来、予察対応型防除法の提案・指導を行ってきた。

小林が提案した防除技術、すなわち主力品種である“あきたこまち、ササニシキ”等の罹病性品種は第2世代期以降の葉いもちの感染防止をねらいとし、年3～4回、粉剤や液剤の茎葉散布を行うものである。また、穂いもちに対しては出穂直前と穂揃期、さらに葉いもち多発年には傾穂期にも薬剤散布する等、予防防除に徹して被害軽減に努め、長年にわたり実績をあげてきた⁸⁾。

オリゼメート粒剤は葉いもちに対して常に卓効を示すことから、葉いもち防除は本剤のみの散布で終了できたが、価格が粉剤4回散布分より高かったことから普及率が伸び悩んだ。

そこで生産者ニーズである散布回数の削減および安価で防除効果が高く軽労的葉いもち防除技術となり得る各種オリゼメート剤の減量施用技術の普及に向けて検討した。

1. オリゼメート剤の減量試験

1) オリゼメート粒剤

(1) オリゼメート粒剤の減量水面施用(1.5kg/10a)と育苗箱施用(50g/箱)の効果

(秋田市仁井田農試圃場：褐色低地土 1981年)

試験方法

供試品種は、圃場抵抗性が弱いナツミノリである。中苗を5月15日に機械移植した。試験圃場の基肥は化成肥料でN、P₂O₅、K₂Oを各々10a当たり7kgを全層施用し、追肥は6月下旬と7月中旬の2回、化成肥料でN、P₂O₅、K₂Oを各々10a当たり2kg施用した。試験区面積は21.6㎡の2連制とした。各試験区は乱塊法によって配列し、散布された薬剤が移動しないように試験区をアゼナミシートで区画した。オリゼメート粒剤は初発4日前の7月9日に手まき散布とし、施用後は田面に水が無くなるまでの4日間は入水をさけた。また、育苗箱施用は移植直前に行い、灌水して鎮圧し、10a当たり25箱分を移植した。

試験結果

試験田での初発は7月13日と遅く、しかも7月中の感染好適な気象が17日と18日に訪れたのみであったにもかかわらず多発生となった。その原因として本試験田の近くに設置したいもち病菌の人工接種による葉いもち多発田からの伝染が関与したものと考えられた。

結果は表2に示した。これによれば本粒剤の箱施用区における7月29日調査の葉いもち及び8月28日調査の止葉病斑は無処理区より少ない傾向がみられたが、有意差は認められず、防除効果は確認できなかった。本試験では移植直前の箱施用による葉いもち防除は十分ではないという結果となり、狭間らの九州での試験結果⁵⁾と異なった。狭間らの試験によれば、移植日が著者の場合よりも35日遅い6月19日であり、初発日までの日数が23日であった。表3によれば、オリゼメート粒剤の水面施用後30日頃から感染抑制効果の低下傾向がみられた。ここでは施用方法が異なるので、同一視はできないが、本試験の場合は移植から初発まで54日間要した

表2 オリゼメート粒剤の施用方法の違いと葉いもち防除効果(秋田農試水田 褐色低地土 1981年)

		7月29日(葉いもち)		8月28日(止葉いもち)	
		発病株率 ¹⁾ (%)	100茎の 病斑数(個)	発病株率 ¹⁾ (%)	100茎の 病斑数(個)
1. オリゼメート粒剤	50g/育苗箱	75	16	82	220
2. “	1.5kg/10a 水面施用	2	0	24	31
3. “	3kg/10a 水面施用	0	0	20	25
4. 無 処 理		99	54	100	504

1) 100株の主茎について調査

ので、その間に感染抑制効果が低下して防除効果が得られなかったのではと推察され、秋田県は不適地に該当すると考えられる。

一方、水面施用、すなわち、10a当たり1.5kg施用区、3kg区は共に葉いもち病斑が少なく箱施用区との間に優位差がみられた。以上のことからオリゼメート粒剤の使用に当たっては育苗箱施用よりも初発前の水面施用が有効で、しかも通常施用量の半分である10a当たり1.5kg施用でも実用性が高いと判断された¹⁾。

(2)オリゼメート粒剤の通常の1/4量(10a当たり0.75kg)水面施用の効果

(秋田市仁井田農試圃場：褐色低地土 1983年)

ここでは試験1の結果を踏まえ、さらなる減量水面施用について施用時期を変えて検討した。

試験方法

供試品種は、圃場抵抗性が弱いナツミノリである。稚苗を5月16日に機械移植した。施肥法等栽培管理等は試験(1)に準ずる。試験区面積は21.6㎡の2連制とした。各試験区は乱塊法によって配列し、散布された薬剤が移動しないように試験区をアゼナミシートで区画した。オリゼメート粒剤は6月16日散布区、7月9日散布区を設けた。散布は手まきとし、施用後は田面に水が無くなるまで入水をさけた。なお、発生を助長させるため6月18日に病斑が1個ついた病苗を各試験区の境界に1本ずつ植え込んだ。

試験結果

試験区の構成は表3に示すようにオリゼメート粒剤の10a当たり通常施用量の3kgとその半量の1.5kg、さらに1/4量の0.75kgを初発2日前の6月16日に施用した区と初発21日後の7月9日に施用した区及び無処理区の7区を設けた。6月18日の初発後、感染好適な気象は7月1日、9日、16日、24日に訪れ、葉いもちは多発生となった。

結果は表3に示した。これによれば、6月16日に施用したいずれの区とも7月19日の調査に

表3 オリゼメート粒剤の水面施用量の違いと葉いもち防除効果(秋田農試水田 褐色低地土 1983年)

	10a当たりの施用区	発病株率(%)	7月19日調査 葉位別病斑数(個)				7月28日調査 葉位別病斑数(個)				8月11日調査 葉位別病斑数(個)			
			1	2	3	合計	1	2	3	合計	1	2	3	合計
6月16日 散布	0.75kg	60	0	1	3	4	1	39	92	132	14	48	32	94
	2	37	0	0	3	3	0	12	23	35	6	21	13	40
	3	17	0	0	1	1	1	4	14	19	4	13	13	30
7月9日 散布	0.75kg	100	0	1	36	37	2	22	47	71	18	57	31	106
	2	83	0	2	13	15	0	2	4	6	2	13	6	21
	3	82	0	1	13	14	0	2	5	7	1	8	7	16
	無 散 布	100	1	8	53	62	57	455	667	1179	349	944	387	1680

注)葉位別病斑数: 1、2、3は上葉からの葉位を示す

においては無施用区に比べて明らかに発病が少なく、7月1日、9日の感染に対して高い発病抑制効果を示した。しかし、粒剤の施用量が少ない区ほど発病株率が高くなる傾向がみられた。また、7月28日、8月11日の調査では、いずれの施用区とも上位葉での発病が増加したことから7月16日、24日の感染に対する抑制効果が低下してきたものと考えられる。特に0.75kg区でその傾向が顕著であった。

7月9日の施用においては、7月19日の調査において、いずれの施用区とも発病が多かったことから施用当日の感染に対する抑制効果は低かったものと考えられる。しかしながら、7月28日、8月11日の調査では、いずれの施用区とも無処理区に比べ明らかに発病が少なく、特に1.5kg区、3kg区で顕著であった。すなわち、7月16日、24日の感染に対する抑制効果が高かったことを示すものである。

以上の結果オリゼメート粒剤の0.75kg区は葉いもち抑制効果は認められるが、通常量、すなわち3kg区に比べ明らかに劣り、有効な施用量にはなり得ないと判断した。一方1.5kg区は施用時期が早い場合、3kg施用区より若干発病が多かったが、初発後の施用においては3kg区と同等の防除効果がみられたので10a当たり1.5kg施用を実用性ありと判断した¹⁾。

(3)オリゼメート粒剤の減量(1.5kg/10a)水面施用の現地実証試験

県内各地域の病害虫防除員協議会及び各JA営農指導員の協力のもと土壌条件を異にする現地圃場、1区面積は200～300㎡規模に品種ナツミノリを移植し、1983年から試験を行ってきた。試験内容は試験地で若干の違いはあるが、表4に示すとおりで基本的にはオリゼメート粒剤の10a当たり1.5kg水面施用の実用性の評価を対象にした試験である。なお、以前に持ち込みいもち発生圃場では10a当たり本粒剤3kgの通常量を水面施用しても十分な防除効果が得られない事例がみられたことから、1985年以降の試験では初発7日前と初発7日後の2回、本粒剤の10a当たり1.5kg施用区を設けた。

表4 年次別及び土壌型別の葉いもちに対する防除効果(表中の数字は防除価、小数点以下は繰り上げ)

プロベナゾール粒剤の散布 時期と10a当たりの散布量	試験年次 土壌型	1981	1982	1983	1985	1987	1987	1988	1988	1988	1989	1989
		I	I	I	I	I	II	I	III	IV	I	V
		初発日 調査日	13/Ⅶ 29/Ⅶ	27/Ⅶ 1/Ⅷ	18/Ⅶ 5/Ⅷ	22/Ⅶ 30/Ⅶ	29/Ⅶ 11/Ⅷ	26/Ⅶ 12/Ⅷ	27/Ⅶ 2/Ⅷ	27/Ⅶ 3/Ⅷ	27/Ⅶ 5/Ⅷ	27/Ⅶ 28/Ⅶ
1. 初発7日前	1.5kg	—	—	—	—	100	99	100	97	100	98	100
2. 初発日	1.5kg	100	85	95	—	99	100	100	97	98	98	100
3. 初発7日前+初発 7日後(2回散布)	1.5kg	—	—	—	100	100	100	100	100	100	100	100
4. 初発7日前	3kg	—	—	—	93	100	99	100	100	100	98	99
5. 初発日	3kg	100	92	98	100	100	100	100	100	100	—	—
試験田での葉いもちの発生程度		多	多	多	多	多	中	多	少	少	多	多
注)土壌型		I:褐色低地土		II:黒泥土(砂土)		III:砂丘未熟土		IV:黒泥土(壤土)		V:黒ボク土		

試験結果

試験結果は表4に示すとおりで、オリゼメート粒剤の10a当たり1.5kgの初発7日前施用、及び初発日施用区とも葉いもちに対する防除効果が高く、本剤の10a当たり3kg施用区と差が認められず、実用性を確認できた。減水の著しい砂丘未熟土水田でも、他の土壌型を異にする水田と同様に本粒剤の10a当たり1.5kg施用の防除効果が高かったことは本粒剤は水に溶けやすく、しかも吸収が速やかであることを示していると考えられる¹⁰⁾。

これまでの試験結果において、本粒剤は水面施用した当日の感染に対しては抑制効果は認められなかったが、本蔵は施用当日の感染に対しても抑制効果が十分であると報告している⁶⁾。この違いについては不明であるが、かりに本粒剤が施用された後、葉いもち感染の抑制作用が顕著に働くまで7日間を要するとした場合、各年の微気象データから推測すれば、表4に示した初発日の1.5kg施用は全て第2世代の感染を防止したものと考えられる。従って、小林が提唱している罹病性品種(あきたこまち、ササニシキ等)の葉いもちに対する薬剤防除の目安である2世代の感染を防止⁸⁾することと一致し、高い防除価が得られたものと考えられる¹⁾。

なお、本試験は狭い面積を単位に実施したものであり、一般水田、とくに大面積水田でオリ



(オリゼメート粒剤の葉いもち防除)



(穂いもち防除)

写真2 高品質米「あきたこまち」を守る省力型防除技術の発信

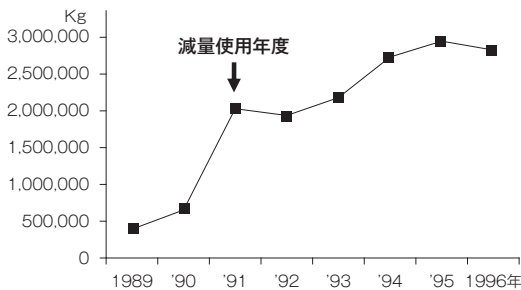


図4 秋田県におけるオリゼメート粒剤使用量の年次推移



図5 1990～2004年の主体的防除体系

ゼメート粒剤の10a当たり1.5kgの均一散布が可能かどうかについては新たな検討課題となった。

なお、本粒剤の1.5kgの2回散布は全てが防除価100となり、高い効果が得られ、持ち込み対策に貢献できる技術と考えられた。

・オリゼメート粒剤減量施用の普及

10年間の試験データを基に、農業試験場、農林部植物防疫担当、病害虫防除所、各地域病害虫防除員協議会（農業共済組合担当者、各JA営農指導員）と協議を重ね、1991年の防除基準に「オリゼメート粒剤を10a当たり2kgを初発時またはその7～10日前に施用する。通常発生年では6月25日～7月5日までに散布するが、全般発生開始期が早い場合は予察情報の指示に従い散布時期を早める。」の項目を記載した。なお、協議の結果、試験内容では本粒剤の10a当たりの施用量は1.5kgで評価したが、散布ムラを回避するためには2kgが必要と判断・決定した。

これまで10%前後の本剤の使用率が減量使用を防除基準に採用した年は60%以上に高まり、その後は主力防除技術となり、生産者のニーズに対応することができた。

2)側条オリゼメート顆粒水和剤

効率的な葉いもち病防除法としてペースト肥料にオリゼメート剤を混入し、田植え同時に側条施用が可能な薬剤が開発された。本技術は1998年の防除基準に採用したが、農薬コストが高く、普及が滞った。本防除剤の投下量は10a当たり500gであり、葉いもちに対する効果は高いことから³⁾、オリゼメート粒剤と同様に施用量を減ずることが可能であろうと考え、各JA営農指導員等の協力をいただき、減量試験を実施してきた。その結果、いずれも高い成果が得られたので、内容について記する。

試験方法

試験実施場所：秋田農試（秋田市仁井田1999年、秋田市雄和2000年、2001年）

品種：ナツミノリ、薬剤は移植時に2倍量の水で溶かした後、側条用ペースト肥料と混和。

表5 試験圃場条件と耕種概要

	1999年	2000年	2001年
土壌群	褐色低地土	グライ土	多湿黒ボク土
移植日	5月13日	5月15日	5月15日
基肥量(10a)	4.8kg/10a	2.4kg/10a	4.8kg/10a
追肥日(N量/10a)	21/VI(3kg)、8/VII(3kg)	17/VI(3kg)、8/VII(3kg)	20/VI(3kg)、1/VIII(2kg)
出穂期	8月2日	8月2日	7月31日
減水深(1日)	2cm	1～2cm	5cm<



写真3

試験結果

1999年の褐色低地土水田、2000年のグライ土水田での試験では側条オリゼメート顆粒水和剤の通常の半量(10a当たり250g)をペースト肥料と混合して深さ3～7cmに側条施用すると、深さが変わっても葉いもちに対して高い防除効果を発揮し、通常施用量と効果に差がなかった(表6、表7)。また、2001年の減水深が大きい多湿黒ボク土水田でも高い効果がえられた(表8)。この原因としては肥料とともに土壤中に埋設することで薬剤の流亡が無く、土中に定着されること、及び薬剤の利用率が高いためと考えられた⁶⁾。

表6 褐色低地土水田での側条オリゼメート顆粒水和剤の減量施用の葉いもち防除効果(1999年)

処 理 区	(10aの施用量・深さ)	7月13日	7月22日		8月11日(止葉病斑)	
		見歩き調査 病斑数/10a	発病 株率	株当たり 病斑数	発病 株率	株当たり 病斑数
1 側条オリゼメート顆粒水和剤	250g 深さ3cm	0個	3%	0.0個	0%	0個
2 〃	250g 深さ5cm	0	0	0	0	0
3 〃	250g 深さ7cm	0	1	0.0	0	0
4 〃	500g 深さ5cm	0	0	0	0	0
5 オリゼメート粒剤	3kg 水面施用	6	8	0.1	0	0
6 無処理		108	100	12.2	100	4.9

表7 グライ土水田での側条オリゼメート顆粒水和剤の減量施用の葉いもち防除効果(2000年)

処 理 区	(10aの施用量・深さ)	7月14日	7月25日		8月17日(止葉病斑)	
		見歩き調査 病斑数/10a	発病 株率	株当たり 病斑数	発病 株率	株当たり 病斑数
1 側条オリゼメート顆粒水和剤	250g 深さ3cm	0個	3%	0.0個	0%	0個
2 〃	250g 深さ5cm	0	1	0.0	0	0
3 〃	250g 深さ7cm	0	3	0.0	0	0
4 〃	500g 深さ5cm	0	1	0.0	0	0
5 無処理		140	100	32.4	92	2.0

表8 黒ボク土水田での側条オリゼメート顆粒水和剤の減量施用の葉いもち防除効果(2001年)

処 理 区	(10aの施用量・深さ)	7月14日	7月25日		8月17日(止葉病斑)	
		見歩き調査 病斑数/10a	発病 株率	株当たり 病斑数	発病 株率	株当たり 病斑数
1 側条オリゼメート顆粒水和剤	250g 深さ3cm	0個	43%	0.7個	0%	0個
2 〃	250g 深さ5cm	0	34	0.5	0	0
3 〃	250g 深さ7cm	0	40	0.6	0	0
4 〃	500g 深さ5cm	0	35	0.5	0	0
5 無処理		160	100	23.7	84	1.3

本技術の普及

2002年には各JA営農指導員らが本技術普及の可否を判定するための現地実証試験を行った。その結果、全て良好な成果が得られたことから2003年以降、防除基準の側条オリゼメート顆粒水和剤の施用量を10a当たり500gから250gに変更した。これを機に、2,000haで実施されていた側条オリゼメート顆粒水和剤の使用量がペースト肥料を用いて栽培している圃場のほぼ全ての約10,000haで使用されることになった。

3) コープガードD12

作業効率性をねらいとした粒状肥料の側条施用技術の導入が2000年以降増加した。そこで、側条施用のためのオリゼメート入り粒状肥料、すなわちコープガードD12(プロベナゾール0.6%)が開発された。コープガードD12は10a当たり40kg～50kg施用であるが、生産者から有機質肥料や育苗箱施肥等との組み合わせが可能な体系、すなわち、本肥料・剤の減量が要望された。これまで、コープガードD12の側条施用は葉いもちに対し卓効を示してきたことから、施用量を半量に減じても効果が高いと考え、土壌条件を異にする圃場において実用性を検討し、成果が得られたのでその内容等を記する。

試験方法

試験実施場所：秋田市雄和 農試の土壌条件を異にする圃場で試験実施

品種：ナツミノリ(中苗)

区制1連制・1区面積：2002年240㎡(24条×30m)

2003年88㎡(18条×16.3m)、2004年88㎡(18条×16.3m)

ヤンマー側条施肥(粒状)田植機を用い栽植密度は条間30cm×株間15cmである。

施用量：表10に示すよう10a当たり20kg区と40kg区を設置した。

試験結果

2002年の黒ボク土水田、2003年のグライ土水田での試験は多発条件となり、2004年のグライ土圃場では初発生が早く激発条件での試験となった。

表10、表11、表12に示すように黒ボク土水田、グライ土下層有機質水田でのいずれの試験ともコープガードD12の20kg/10a施用区は葉いもちに対して同剤の40kg/10a区と同等の高い防除効果が認められた。以上によりコープガードD12の減量施用、すなわち20kg/10aでの使用可能と判定された。

表9 コープガードD12減量施用試験の耕種概要等(試験実施:秋田県農試圃場)

	2002年	2003年	2004年
土壌群	多湿黒ボク土	グライ土(下層有機質)	グライ土(下層有機質)
減水深(cm/日)	3cm	1~2cm	1~2cm
移植日	5月15日	5月14日	5月13日
基肥量(kg-N/10a)	4.8kg	4.8kg	4.8kg
減量区のみ追肥日・量(kg-N/10a)	4/Ⅵ(4Kg)	29/V(4Kg)	10/Ⅵ(4Kg)
全ての試験区の追肥日・量(kg-N/10a)	20/Ⅵ(3kg). 1/Ⅷ(2kg)	16/Ⅵ(3kg). 16/Ⅷ(3kg)	1/Ⅷ(3kg)
出穂期	8月2日	8月3日	8月1日
葉いもち初発日	7月10日	7月2日	6月27日

注)試験区、対照区、無処理区とも10a当たりの基肥を4.8kg/10aとした(不足分を化成肥料で補う)。

表10 コープガードD12の減量施用による葉いもち防除効果(2002年 黒ボク土壌)

処理区	7月29日		8月20日(止葉)	
	発病株率(%)	病斑数/株	発病株率(%)	病斑数/株
コープガードD12 20kg/10a 側条施用	1	0.0個	0	0個
〃 40kg/10a 側条施用	0	0	0	0
ウイン箱粒剤 50g/箱 移植直前施用	80	2	10	0
無処理	100	13	26	0

表11 コープガードD12の減量施用による葉いもち防除効果(2003年 グライ土下層有機質)

処理区	7月28日		8月20日(止葉)	
	発病株率(%)	病斑数/株	発病株率(%)	病斑数/株
コープガードD12 20kg/10a 側条施用	1	0個	0	0個
〃 40kg/10a 側条施用	1	0	1	0
側条オリゼメート顆粒水和剤 250g/10a	0	2	0	0
無処理	100	9	100	2

表12 コープガードD12の減量施用による葉いもち防除効果(2004年 グライ土下層有機質)

処理区	7月22日		8月11日(止葉)	
	発病株率(%)	病斑数/株	発病株率(%)	病斑数/株
コープガードD12 20kg/10a 側条施用	76	1.6(97)個	3	0個
〃 40kg/10a 側条施用	84	1.8(97)	2	0
無処理	100	62	84	2

()内数字は防除価

本技術の普及

本試験結果からコープガードD12の減量施用、すなわち10a当たり20kgでの使用が可能となった。したがってコープガードD12は単独施用はもちろんのこと、有機質肥料や緩効性の育苗箱施肥等との組み合わせができるので、2005年の防除基準には使用量を20~50kg/10aとして採用した。本技術は地域にあった省力体系の米作りが可能となることから、これを機に使用率が向上した。

2. オリゼメート剤の減量施用による持込み・稲わら設置畑周辺水田における防除体系の構築

乾燥状態で冬越しさせた稲わらをマルチに活用した野菜畑等に隣接する水田では、発病苗の持込み水田と同様に早期から葉いもちが多発し、防除に苦慮する事例が多々みられた²⁾。そこで、

以前、現地試験で実証したオリゼメート粒剤の減量2回施用や側条オリゼメート顆粒水和剤の移植時減量施用は早期発生に有効と判断され検討した結果、高い効果が得られたので内容等を記す。

試験方法

2003年、農業試験場において前年水稻栽培圃場の一角をスイカ畑とし、苗を5月9日に定植した。さらに、6月11日には前年葉いもち多発圃場から採取し、乾燥状態で保管した稲わらをスイカ畑の畝間にマルチとして設置した。本畑に隣接する水田には品種ナツミノリ(中苗)を5月14日に移植し、同時にペースト肥料(N 4.8kg/10a)を側条施用した。

試験区の構成

- ①オリゼメート粒剤1.5kg/10aを6月7日、6月26日の2回 水面施用
- ②オリゼメート粒剤2kg/10aを6月15日 水面施用
- ③オリゼメート顆粒水和剤250g/10a 移植時側条施用
- ④無処理

試験結果

当年の全般発生開始期は7月4日であり、その後の感染好適な気象条件は2回程度で一般圃場では少ない発生となった。しかし、稲わら設置畑に隣接する水田では、葉いもちの発生が早くから認められ、7月初めには第2世代期病斑で構成され、病斑密度が高まり激発状態となった。

結果は表13に示すとおりで、オリゼメート粒剤を6月上旬、下旬の2回、10a当たり1.5kgを施用した区及び側条オリゼメート顆粒水和剤を10a当たり250gをペースト肥料に混和した区はオリゼメート粒剤を6月に10a当たり2kgを1回散布した区よりも防除効果が高く、実用性を確認できた。

本技術の普及

スイカ圃場等では5月下旬～6月上旬に稲わらをマルチとして設置することから、周辺水田では、発病苗の持込み水田と同様に6月中旬には初発が確認された。そこで、これら水田ではオリゼメート粒剤(10a当たり2kg)の1回目散布は通常より早い6月上旬とし、2回目を6月下旬に散布することとした。また、側条オリゼメート顆粒水和剤は防除効果が高いことから10a



写真4

表13 稲わら設置畑に隣接する水田における各薬剤の葉いもち防除効果

処 理 区	葉いもち病斑				止葉病斑 8月21日	
	7月11日 発病株率	7月11日 病斑数/ 株	8月1日 発病株率	8月1日 病斑数/ 株	発病株率	病斑数/ 株
1. オリゼメート粒剤 1.5kg/10a 2回散布	27%	0.4個	60%	0.8個	26%	0.5個
2. " 2kg/10a 1回散布	54	1.6	100	4.6	66	1.0
3. 側条オリゼメート顆粒水和剤 250g/10移植時施用	6	0.1	18	0.2	11	0.1
4. 無処理	94	7.4	100	33.7	100	16.5

1区.6月7日、6月26日散布、2区.6月15日散布、3区.5月14日移植時施用



写真5 稲わらからの日別分生孢子飛散調査

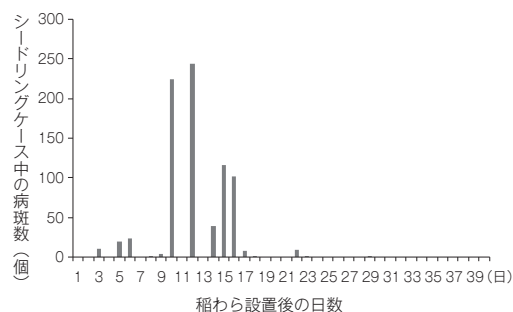


図6 稲わらからのいもち病菌の伝染状況

当たり250g施用を持込みいもちに対応できる技術として提案し、活用されてきた。なお、その後の調査等で稲残渣(稲藁や粃殻)内のいもち病菌は戸外で越冬すると死滅することが判明し、マルチ等で使用する稲残渣は戸外で保管することを提案し、野菜生産者等から受理された。したがって現在ではオリゼメート剤の本施用技術は持込みいもち対策で活用されている。

・種子生産技術に活用

本技術(オリゼメート粒剤の10a当たり2kg施用2回散布及び側条オリゼメート顆粒水和剤10a当たり250g施用)は防除効果が高いことから、秋田県内に設置されている水稻採種圃場(約700ha)において、いもち病菌の保菌を回避する防除法として提案し、現在も活用されている。



写真6 戸外越冬ではいもち病菌は死滅する

3. 「安全・安心・あきた米プロジェクト」におけるオリゼメート剤の位置づけ

1990年代以降、経営規模拡大や基盤整備による水田区画の拡大化に伴って粉剤や液剤の茎葉散布による適期防除が困難となり、葉いもち防除についてはオリゼメート粒剤をベースにした暦日防除に移行した。しかし、発病苗の本田への持込みが多い年はオリゼメート剤といえども完璧に葉いもちに対応できず、注意報・警報等が発令され、穂いもちの追加防除が行われてきた。

そこで、発病苗の持込み回避、すなわち育苗施設での発病防止技術を確立し⁴⁾、被害軽減の方向性を見いだした。

表14 年次別全般発生開始期の病斑分布状況

年次	全般発生開始期	調査地点数	病斑発生地点率	
			散在	集中
1997	7月3日	69	45	9
1998	7月3日	41	37	15
1999	7月4日	39	18	10
2000	7月1日	53	19	30
2001	7月2日	56	27	23
2002	7月10日	34	27	32
2003	7月4日	41	34	20
2004	6月27日	71	31	25
2005	7月4日	48	12	6
2006	7月8日	49	12	10
2007	7月5日	50	16	8
2008	7月5日	48	21	4

2000年注意報、2002年、2004年警報発令
病斑発生地点率の集中は苗等からの持込みによる
(病害虫防除所調査)

2000年代に入り生産者から省力・低コスト型の高品質米生産技術の確立が求められ、病害虫防除においては農薬のさらなる散布回数の削減技術の要望が高まった。また、消費者からも減農薬米のニーズが高まってきた。そこで、いもち病防除対策として育苗施設からの持ち込みを回避し、葉いもち防除をオリゼメート剤の減量施用で対応し、穂いもち防除を削減する技術を確立した^{4)、5)、9)}ことを機会に、2003年、農業試験場内に「安全・安心・秋田米プロジェクトチーム」を結成した。本プロジェクトは県農林部(病害虫防除所含む)、各地域振興局農林部、病害虫防除員協議会、各JAの協力体制で結成され、取り組み課題は良食味米の効率的(省力・低コスト型)・安定生産をめざすための栽培技術の確立・普及をねらいとしたものである。病害虫・雑草防除の分野では薬剤散布回数の削減は勿論のこと防除作業の軽労化を目的とした技術の確立に取り組んだ。ここでは、いもち病の伝染源排除による効率的減農薬防除体系の現地試験の一例について記載する。

・伝染源排除によるいもち病防除

試験方法 (試験年度:2004年)

試験実施場所：横手市平鹿町明沢の水田が約30haが集約した地域

種子消毒：60℃、10分間の温湯消毒法。

育苗記防除：緑化始期にデラウス(ジクロシメット)顆粒水和剤の1,500倍液を育苗箱当たり500mlかん注。

本田葉いもち防除：オリゼメート粒剤を10a当たり2kgを6月17日に散布。

穂いもち防除：なし

なお、稲稲残さ処理や防除作業等は全て生産者が実施した。

調査対照圃場：近隣の一般ほ場

防除体系：聞き取り調査結果

育苗期防除：2割程度の生産者がラブサイド剤を用いて1回防除している状態である。

葉いもち防除：オリゼメート粒剤を10a当たり2kgを6月中旬散布。移植時にオリゼメート剤(側条施用剤や箱粒剤)を施用、一部でデジタルコラトップ、ブイゲットの箱粒剤の使用確認。

穂いもち防除：出穂期以降3～4回散布(例年より葉いもち多く散布回数1～2回多い)

試験結果

当年の全般発生開始期は6月27日で例年より5日早かった。その後、7月中旬にかけて感染好適な気象条件が続いたことから葉いもちが多発し、一般ほ場では7月中旬以降、ズリコミ症

表15 伝染源排除による効率的防除体系試験(2004年)

	葉いもち(7.26)			穂いもち(9.8)			
	調査圃場 (力所数)	発病圃場率 (%)	平均発病株率 (%)	調査圃場 (力所数)	発病圃場率 (%)	平均発病株率 (%)	平均発病穂率 (%)
実証A(明沢地区30ha)	91	16	0	47	72	4	0.2
対照(周辺地区)	58	100	61	32	100	62	7.1



写真7 現地検討会

状が確認されるようになり7月23日付けで警報が発令された。そこで被害を最小限に食い止めるべく穂いもち防除が追加されたが、いたるところで穂いもち発生による減収が認められた。このような発生経過の中で、本試験の対照としていた一般防除地域では7月26日には葉いもちの平均発病株率が61%と高く、1/3以上被害を被った罹病穂の平均発病穂率が7.1%であった。一方、一般圃場から500mほど離れた、試験地の明沢地区(伝染源排除のため育苗期防除を徹底し、葉いもち防除対策としてオリゼメート粒剤を2kg/10a施用)では16%の水田で葉いもち病斑が確認されたが、いずれも100mの見歩き調査⁹⁾で1個の葉いもち病斑が発見される程度で、病斑密度は著しく低かった。また、穂いもちについては72%の水田で発生が確認されたが、平均発病穂率が0.2%と極めて低く、1回分の穂いもち防除用農薬費に満たない被害であった。

以上のことから伝染源排除すなわち育苗期防除と本田葉いもち防除を組み合わせた体系は効果が高く、省力・低コスト型の防除技術になり得ると考えられた。

伝染源排除による効率的(減農薬)防除体系の普及

一般圃場においては近隣に伝染源(発病田)の存在を想定し、育苗期防除と本田葉いもち防除(オリゼメート粒剤、側条オリゼメート顆粒水和剤、コープガードD12の減量施用等)を組み合わせ、穂いもち防除を削減する体系とした。

これまでの基礎試験を踏まえ、2001～2006年にかけて現地(旧平鹿町明沢、鹿角市八幡平水沢、秋田市雄和左手子地区等)において大規模(30～100ha)な減農薬防除実証試験を計8箇所、延べ340haで実施した。その結果、いずれの年においても本防除体系を導入した圃場では他の圃場に比べ発生が少なく、より効率的な防除体系であることが実証された⁷⁾。

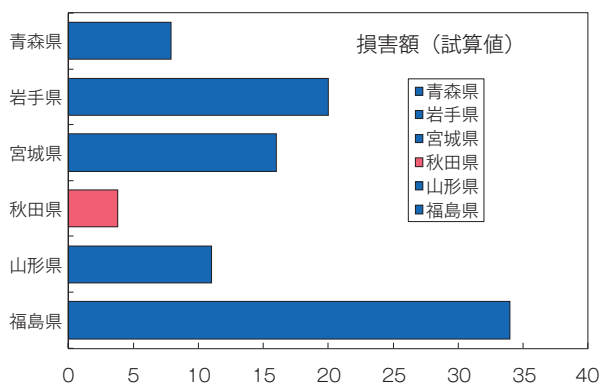


図7 2006年いもち病による被害額(億)東北農政局報告

本技術は2005年から普及体制に入った。その後、育苗施設からの持込みが少なくなったことから本田多発事例が少なくなり、いもち病による減収圃場が大幅に低下した。

今年でオリゼメート粒剤は上市40周年とのこと。種々オリゼメート剤の開発は秋田県における省力・低コスト型いもち病防除技術の構築を導き、高品質な秋田米の安定生産に多大なる貢献をして下さったことに感謝いたします。

引用文献

- 1) 深谷富夫(1990)：北日本病虫研報 41：17-22
- 2) 深谷富夫ら(1996)：北日本病虫研報 47：156(講要)
- 3) 深谷富夫ら(2001)：北日本病虫研報 52：11-13
- 4) 深谷富夫ら(2002)：日植病報 68：209(講要)
- 5) 狭間 渉ら(1982)：九病虫研究会報 28：12-14
- 6) 本藏良三(1989)：北日本病虫研報 40：18-19
- 7) 加藤雅也ら(2004)：北日本病虫研報 55：37-39
- 8) 小林次郎(1984)：秋田農試研報 26：1-84
- 9) 小林次郎(1986)：植物防疫 40：429-432
- 10) 梅原吉弘ら(1972)：北陸病虫研報 20：64-67
- 11) 山口富夫(1974)：植物防疫 28(12)：467-470

オリゼメート上市40周年記念誌刊行によせて

元 宮城県古川農業試験場長 **武田 良和**

オリゼメート上市40周年にあたり、まずは謹んでお慶び申し上げます。イネいもち病防除剤には種々の作用機構を持つ多くの製剤がありますが、長年連用しても耐性菌問題を未だに生じないものは、メラニン生合成阻害剤(ヒドロキシナフタレン還元酵素阻害のもの)と病害抵抗性誘導剤(プラントアクチベーター)だけであります。オリゼメートは病害抵抗性誘導剤として世界初の化合物であり、その後40年間の長きにわたり卓越した防除効果を示し、いもち剤の市場シェア第一位の座を40年間も維持していることには驚きを禁じ得ません。その間、直接的な抗菌活性をもつ殺菌剤も病害抵抗誘導剤も種々の新規剤が登場し、さらには市場ニーズに応じた省力的な各種処理技術の普及なども繰り返されましたが、新製剤技術の開発などにより的確に対応しつつ市場シェアを維持してこられたご努力に敬意を表します。

オリゼメート粒剤が上市された当時、私は農薬残留分析に携わっており、ニンニクのエチルチオメトン分析ではジスルフィッド類を分液ロート中で容易に除去できたものの、プロベナゾールではヨウ化メチル誘導体化法を知らず分析を断念したことを思い出しました。また、植物の生理活性物質を研究する有機化学の先生が、営業担当の横尾さんに「プロベナゾール、面白い物を作ったね」と喜んでいただことも思い出します。多感作用物質やファイトアレキシン類の研究者にしてみれば、思いもかけない既知物質近縁の化合物がファイトアレキシン類の生合成を誘導する可能性に、強い興味を持たれたのも当然と思われました。また、大きな合成組織を持たない会社だからこそ、斬新な作用性を示すものを発見できたものと評価されたようにも思いました。

オリゼメート粒剤で航空防除の粒剤体系を推進

宮城県の葉いもち初発は通常7月上旬頃に見られます。オリゼメートが上市された当時は、航空防除では7月中～下旬頃にかけてカスラブサイドゾル、ラブサイドゾルを散布していましたが、1980年に県北部の迫管内でオリゼメート粒剤の広域試験散布が試験され、それまでの航空防除や個人散布(主にヒノザン粉剤、ラブサイド粉剤)に比較して葉いもちの発生を著しく

抑制することが分かりました。

宮城県の航空防除は1991年まではいもち病防除の60%以上を占めていましたが、この年の多発を契機に地上防除、航空防除ともに粒剤散布が増加しました。当時の航空防除体系では県南部と北部に差があり、さらに地域によっても、液剤防除体系、「葉いもち」にはオリゼメート粒剤、「穂いもち」は液剤、あるいは「葉いもち・穂いもち」共に粒剤体系と三様に分かれていました。

しかし、オリゼメート粒剤の高い効果が現地で実証されたのちは、オリゼメート粒剤とコロトトップ粒剤の粒剤・粒剤体系が次第に増加し、やがて宮城県の航空防除体系の主流になりました。航空防除は1993年頃が最盛期でありましたが、航空防除に対する批判的な世論が高まり、2006年には有人航空防除の実施主体が無くなり、代わりに普及しつつあった無人ヘリコプターによる粒剤防除体系も中止する農協等が次第に増加してきました。加えて、農薬使用成分や化学肥料施用量の制限が主張されてきたのも、当時の農業・農村を取り巻く社会的情勢でした。

ところが、近年の農業構造変化への動きにより、主体的な経営者による規模の大きな水田経営も増加すると思われ、防除における費用対効果の観点からは、種々の防除方法、防除体系が選択される可能性も窺われます。オリゼメート剤は、あらゆるニーズ、使用方法、使用場面における最適な製剤としての工夫を重ねてきた歴史を持っていますから、今後の防除方法、防除体系等にもよく適合できることを確信しています。

オリゼメート場面最適剤としての経験 殺虫成分とのコラボ

Meiji Seika ファルマ仙台支店技術顧問としての短い経験の中でも、オリゼメート製剤が場面最適剤として評価された事例がありました。他社の新規開発殺虫成分とオリゼメートとの混合箱粒剤が、ユーザーが求める場面に最適だった時の事です。当時、n-アセチルコリン受容体あるいはガンマアミノ酪酸作動性神経に作用する殺虫成分に対して、宮城県内でも感受性低下を疑う相談等がありました。

一方で環境保全に関連したNPO法人等の関与もあり、これら殺虫成分とミツバチやアキアカネ等との関係が話題となっていました。この様な時に、隣り合わせた農協管内における隣接水田間で「ヤゴの抜け殻調査」が実施され、一方に多く他方に少ないとの結果が発表されたのです。

少ないとされた農協は、豊かな緑と清冽な水に恵まれた自然環境と多様で豊かな生物相を管内水田環境の誇りとし、産米の付加価値としていたのだから大きな問題だったのです。ところが、営業担当の五十嵐課長も私も、新規箱粒剤については苗生育への安全性、殺菌・殺虫成分の高活性と持続性、広い殺虫スペクトラム、抵抗性イネドロオイムシにも高効果などを中心考えていたので、農協の意思決定におけるヤゴの役割に対する認識が足りなかったと思います。

この農協での平成22年肥料・農薬展示圃巡回検討会で、新しい商品としての播種時処理可能な箱粒剤の展示圃場で、多忙な五十嵐課長の代わりに「殺虫成分が新規作用機作のものであり、抵抗性初期害虫などにも有効」等と説明しました。ところが、閉会挨拶で農協理事は「環境に優しいはずがアカトンボが殆ど飛んでいない、隣の農協に比べて少ない」と専務が言い始めている。日本(我々)では今まで(農薬に対して)100%の効果を求めてきたような気がする。これからは、効果よりも環境である。本日の巡回でも水田には殆ど生物がいなかった。環境保全米のブランドを維持するために、(また隣接農協に負けられないために)、環境へのさらなる配慮を望む。抵抗性昆虫の問題もあろうが、効き過ぎては困る。たとえ(対照害虫に対する)効果が少し劣っても、生物多様性を確保できる資材が望まれる」と述べたのです。私の不味い説明が営業の足を引っ張ることになったと思いました。

NPO法人等の調査では、LC50等の検討も無く環境影響評価としては必ずしも十分では無いようでしたが、上手に説明しないと隣接農協と同系統の殺虫成分の箱粒剤を「採用」されかねません。この農協には、高効果よりも水生生物に対する安全性をアピールできることの方が重要、という雰囲気がありました。そこで早速、2つの農協がそれぞれに採用していた別個の殺虫成分、そしてオリゼメートに配合された新規殺虫成分、これら成分のヤゴへのLC50を調べました。

既存の2成分に関してはヤゴに対する試験例もあり、特に埼玉県環境科学国際センター報告にはライシメーター試験データが記載されており大変参考になりました。ところが、新規成分に関しては、オオミジンコ以外の水生生物への影響データは極僅かで、国内外の公表資料等からも、ヤゴに関するデータを見つけることは出来ませんでした。ようやく、アメリカ合衆国環境保護局の当該新規成分に関するPesticide Fact Sheet の表11. Freshwater Invertebrate Toxicity Dataに、比較的多くの水生無脊椎動物に対するLC50、EC50データの記載を見つけました。ここにはヤゴに関するデータはありませんでしたが、新規成分に対する受容体タンパク質の遺伝的多型が関係するためか、種名が同じでも影響度に少なからず差異が見られました。そして、カワゲラに対しては既存成分A、Bに比べれば、それぞれ10また

は100倍程度は影響度が低いと判断でき、新規殺虫成分の水溶解度が低いことも考慮すると、新規箱粒剤のヤゴへの影響度は低く、水田にアキアカネ戻るといった期待を抱かせました。

早速、五十嵐課長とともに、県内でピオトープを作り水生生物を無料提供するメダカの郷主宰者を訪問し、翌週には殺虫剤メーカー担当の方を案内して試験を依頼しました。メーカー担当の方は、このヤゴによる予備試験から「有望」と判断し、会津山中でアキアカネ幼生のみを採取して本試験を実施しました。その結果、良好な試験成績が得られ、農協のニーズに適合して防除剤に採用されたのです。水稻栽培に必須のオリゼメートと顧客のニーズを満たす殺虫成分とのコラボレーションが、顧客ニーズを満足させ場面最適剤を提供できたものと思います。その後、田んぼの生物調査に参加するとアカトンボが増えたと言われ、実際に少なからずヤゴを確認しています。

日本の農業構造の変化とオリゼメートの対応

さて、現在の水田農業を取り巻く状況は一変しています。イネいもち剤の市場となる日本の農業の現状とコメ消費量、そして農業構造の変化を展望してみたいと思います。そのうえで、これからのいもち病防除剤を考えてみたいと思います。

平成22年の農林業センサスによれば、全国の農業就業人口261万人のうち30歳未満は3.4%、30～50歳は8.8%、50～65歳25.7%、65歳以上は61.7%であります。コメは国が守るべき主要な食料ですが、農水省食料需給表によれば1人当たり年間の精米消費量(キログラム)は、昭和40年111.7、同60年74.6、平成2年70、平成22年59.5と大きく減少しました。ところで、米国では乳製品等の動物性食品の過剰摂取が問題になり、上院栄養問題特別委員会が食事と健康を調査して、いわゆるマクガバン報告書(1977)にまとめ、食品摂取量と発病に関する調査の結果から日本食を高く評価したことがあります。日本食の元祖、日本の水田農業の将来はどうなるのでしょうか。

昨年12月に発表された新たな農業・農村政策では、産業政策としての農地利用の集積・集約化、米の直接支払交付金や米価変動補填交付金の廃止、需要に応じた主食用米の生産、一方で地域政策としての多面的機能支払の創設が示されました。経営体の生産効率とマーケティング能力を重視し、競争原理の下における需給動向に応じた生産体制の構築を目指すものとなっていますが、主食米自給率には言及しておりません。農業を食材製造ビジネスと捉えて、圃場生産から脱皮し、食品加工部門などを取り込み、付加価値を高め、個々の消費者ウオonzにも

応える製品の生産までが求められるという考えが示されています。そして、そのための人材育成が急務とされています。

こうした農業と地域経済の強化は急がれますが、50歳未満の基幹的農業者は農業就業人口の12%を占めるに過ぎません。条件有利な平坦地域でさえ、先端経営の実現は容易でないのです。経営面積が15haを超えると、機械設備を一新しないと対応できません。先端経営への産業政策と、セーフティネットや多面的機能維持等の社会政策との、バランスを保ちつつ農業構造を変革していくことが重要と思います。

予想されたように、綿密な対策を欠いた減反廃止は米価を引き下げ、宮城ひとめぼれの平成26年度概算金は8,400円(前年は11,200円)に急落しました。15ha以上の大きな経営でも9,000円が損益分岐点とされますが、コメ過剰・低米価の下で利益確保は困難化する傾向で、大規模コメ農家(法人)の経営状況は、兼業小農家以上の苦境にあるわけです。

所得格差の拡大に伴い、コメの消費者層も二極化しつつありますが、富裕層への販売数量を確保～拡大できるか否かが鍵となるとも思われます。上位客筋確保と高品質米多収生産が大規模稲作経営の死命を制する、と言うわけです。農協は地域農業維持のためにも、大規模生産農家(法人)への経済的・技術的支援を強化するべきであり、大規模経営が成立し持続するためには、農協による大規模経営のメリットを活かせるような配慮や販売戦略の工夫が益々必要となっています。一方、大規模経営者としては、存続するためには周辺農家や農協の反発などを受けない様に、説明と調整や説得の能力も重視しなければならないのです。

大規模経営志向や国際化による関税低減圧力が強まるなかで、低コストで省力な生産技術に対する要望が一層強まり、農業資材や農業機械等の価格低減も強く求められています。また、農薬の使用場面でも省力化を求める動きは強く、オリゼメート剤にも移植機械などとの同時作業、肥料と農薬を高精度に溶出制御する製剤、等々の新しい処理技術を加えていく必要があるでしょう。

殺菌剤の主流となる病害抵抗性誘導剤、その新たな展開

他方、長期残効型の育苗箱施用剤(殺虫・殺菌)の使用が普及したことから、宮城県でもイネドロオイムシとイネミズゾウムシは少発傾向を示し、古川農試では現地試験結果から、地域性と発生予察に応じた殺虫成分の減農薬化を提案しています。また、農業生物資源研究所の育成品種「ともほなみ」はゲノム情報を活用した水稻育種によるもので、目的とする遺伝子の正確な

位置情報をもとに、食味等必要な遺伝子を残し、陸稲由来のいもち病抵抗性遺伝子だけを導入するデザイン育種の実現性が示されたと発表されました。このように、総合的病害虫・雑草管理(IPM)に関連した技術も、次第に実用性を帯びるようになってきています。

しかし、「一遺伝子支配のいもち病圃場抵抗性品種を一般圃場に導入すると、圃場抵抗性遺伝子に対し強い病原力を獲得したいもち病菌の分布頻度が増加する可能性がある」ことが知られています。そして、宮城大学の本蔵良三教授は、ササニシキの真性抵抗性遺伝子型Piaに対して病原性を有するレース037いもち病菌について、レース437への変異と「とりで1号Piz-t」への感染性獲得を報告しています。このようなことから、いもち病防除の農薬は欠かせないのですが、直接の抗菌活性を主な作用性とする通常の殺菌剤の場合は、殆どが耐性菌問題を乗り越えられません。

今までのところ、耐性菌は偶然に出現した耐性菌個体が集団の中で徐々に優勢化し、育苗箱処理剤で世代交代を繰り返した菌には、殺菌剤による強い淘汰圧がかかるため、優勢化が促進されると考えられています。ところが最近、医薬の抗生物質による多剤耐性菌の発生に関連して、ストレスを受けた細菌が活性酸素種を生成して抗生物質の分解を試み、同時に自身のDNAに影響を与え、自然変異率が高まると言う報告もあります(Molecular Cell vol.37, 2010)。このようなメカニズムが働くとすれば、播種時に直接的殺菌力をもつ薬剤を育苗箱に処理する方法は、耐性菌の出現を一層加速するものと思われます。

日本で同定された植物病原体はウイルスを含めて5000種類以上、そのなかでイネに感染できるものは69種類だと言います。これからの、いもち病防除剤の市場シェアは病害抵抗性誘導剤が主流を占めるものと思われますが、病害抵抗性反応自体の解明も、薬の作用機構の解明も道半ばの状況であります。この分野はシーズの宝庫と思います。

病原菌はエフェクターと呼ばれる種々のたんぱく質を分泌し、宿主の抵抗反応を妨害しますが、イネの抵抗性遺伝子の産物に認識されたエフェクターは、非病原力因子と呼ばれ、それに対応してイネの抵抗性が発現する仕組みになっています。菌のエフェクター遺伝子とイネの抵抗性遺伝子の単離、これらの遺伝子による産物の同定、これは病害抵抗性誘導剤開発の中心テーマとなっています。そして、その研究は徐々にですが、確実に進展しています。

植物免疫を活性化する因子として活性酸素種や一酸化窒素が知られていますが、オリゼメートは細胞質におけるサリチル酸量の増加を誘導して、NPR1タンパク質の活性化およびワーキーファミリー転写因子等による転写誘導を増強することが分かっています。インターネットの要約版ですが(Fu et al., Nature, 2012)、シロイヌナズナの研究から病菌の侵入が認識さ

れる状況では細胞核のサリチル酸濃度も高まり、NPR1がNPR3と結合することによりNPR1の過敏感反応抑制機能が解除されて、過敏感反応による細胞死が起こるといった報告がありました。サリチル酸の受容体たんぱく質により、植物細胞内ではサリチル酸濃度が微妙に制御されているらしいのです。その点で、サリチル酸発現を誘導するオリゼメートは、サリチル酸アナログとして機能する病害抵抗誘導剤よりも、植物の機能に適合しているのかも知れません。

抵抗誘導の作用機構についての研究は、急速に伸展しています。また、活性を示す化合物の枠組みを残したままの構造変換により、受容体との立体配置に適合した3次元配置をもつ多数の合成物から、活性物質をスクリーニングする効率的な方法も開発・実用化されています。このようなことから、病害抵抗誘導剤の分野において、新たな展開が開始されたとも考えられます。

Meiji Seika ファルマ株式会社には病害抵抗誘導の発現機構、微生物発酵研究、さらに天然物由来の創薬などに豊富な研究実績があり、アイデアを活かせる社風があります。病害感染時にのみ速やかに高効果な病害抵抗性を誘導し、かつ殆ど薬害のない新しい骨格の農薬を開発され、これからの農業に大きく貢献されることを期待しています。

北海道におけるいもち病防除の方向性

北海道立総合研究機構農業研究本部 道南農業試験場長 田中 文夫

はじめに

北海道は2010年に過去30年間で最大のいもち病の多発生を経験した。本病は前回の多発年であった2000～'02年以來5年間ほど少発生に推移していたが、2008年に増加傾向に転じ、以來3年連続の多発年となった。特に2010年には穂いもちの発生が水稻の作付面積約11.5万haのうちの半数に近い5万ha強に及び、被害面積も9,700ha(図1,北海道病害虫防除所調べ)、被害額は約50億円に達したとされる。その反省をもとに、2011年から全道的な総合対策に取り組んでいる。その内容は主に一般圃場対策と採種圃場対策である。以下にその概要を紹介する。

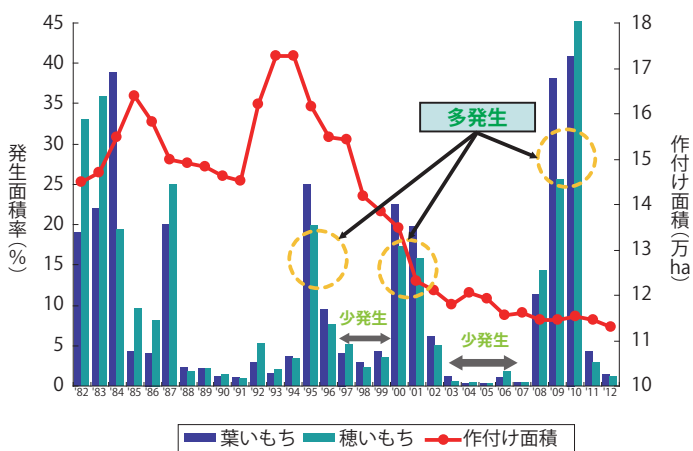
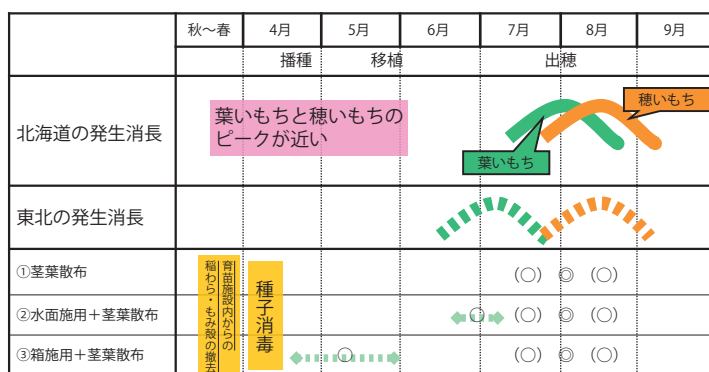


図1 北海道におけるイネいもち病の年次別発生推移
(北海道病害虫防除所)

これまでのいもち病防除

本道の平年における葉いもちおよび穂いもちの発生様相は本州の他府県と比較して大きく異なっている。本道では、4月下旬から始まる育苗期には気温が低いため苗いもちは一般に発生しない。無病徴で保菌した苗は5月下旬から本田に移植され、その後の夜温の上昇に伴って7月中～下旬以降に葉いもちの初発を迎えることとなる。7月下旬から8月上旬に出穂期に達するが、穂揃期以降に穂いもちの発生を見るというパターンで、他府県に比較して葉いもちと



注) ○：水面施用は6月下旬～7月初旬、箱施用は播種時～移植時に実施
 (○)：発生状況に応じて実施する防除（臨機防除）
 ◎：必ず実施する防除（基幹防除）

図2 北海道におけるいもち病の発生パターンと防除体系

穂いもちの発生のピークが極めて近接しているのが特徴である(図2)。

そのために葉いもち防除は穂いもち対策と連動して実施するのが効率的である。一般的には少発年が多いことから、これまで生産者自身による発生モニタリングに基づく「発生対応型防除」を指導してきているが、生産現場では定着を見ていないことからここでは省略する。

2013年現在、生産現場では7月下旬以降に1～2回のラジヘリ・パンクル等によるスケジュール防除が主流となっており、それによる防除面積は延べ17.4万ha、地上茎葉散布剤は地上茎葉散布剤は粉剤・液剤を含めて約3万haと推定される。なお、育苗箱施用剤はその効果の確かさと省力性から普及が進み、約4.4万ha分の薬剤が使用され、水面施用剤は約1.5万ha、それらを全て合わせて、延べ26.2万haで平均2.3回の防除回数と推定される。

2010年の多発要因

今後の総合的防除対策構築のためには2008～'10年の多発要因の解析が欠かせない。

本病の伝染源に関して、近年は遺伝子解析等の知見から、第一次伝染源として保菌種子(穀殻を含む)の重要性は疑う余地がない。

2009年には道内7市町村に設置されている採種団地周辺の一部で、穂いもちが発生した事例があったことから、保菌種子が主な感染源と想定された。本道の採種圃場の審査基準は厳しく、穂いもちの発生率は株率で0.0%以下とされているが、当該年度は周辺の一般圃場の多発によっていもち病菌の飛び込みも多く、防除しきれなかった事情があると考えられている。

そこで健全種子生産の必要性が再認識された。本道では平年であれば7月中～下旬に葉いも

ちが初発することを既に述べたが、2010年は多くの多発圃場において6月中～下旬からの初発が報告されている。さらに、葉いもちの初発の早期化を促したのは6月中～下旬からの感染に好適な気象条件の連続的な出現が誘因として加わったことが重要と考えられる。

実際に北海道で運用されている葉いもち感染好適日予測システム(BLASTAM)の6月中～下旬の道内各地で感染好適日が出現していることが認められている。

これらの要因が重なって、葉いもちの想定外の早発を招いた結果、予定していたスケジュール防除が間に合わず、対応が後手に回ってしまい、その後の穂いもちの発生に繋げてしまったのが多発の原因と考えられた。

2011年度の防除対応

(1)一般圃場対策

2011年以降の防除対策を4段階に区分すれば、以下のようになる。

第一段階：通常の種子消毒+ペノミル水和剤(玄米保菌対策；ただしペノミル水和剤は2011年のみの実施)

第二段階：育苗箱施用剤または水面施用剤による葉いもち防除

第三段階：耕種的防除と発生予察の徹底

第四段階：発生予察に基づく茎葉散布

まずは第一段階であるが、2010年産の種子では前年同様の保菌が懸念されたため、緊急対策として保菌種子(玄米)に対する殺菌効果の高いペノミル剤と通常種子消毒剤の併用が指導された。2012年以降はペノミル剤は使用されていない。

次に第二段階であるが、育苗箱施用剤または水面施用剤による予防的防除である。ただし、Qol剤は2011年の耐性菌の出現を契機に年1回の使用にとどめている。

第三段階の耕種的防除と発生予察の徹底では、BLASTAMでの感染好適日の出現を目安にして、各地での発生モニタリングの強化を図っている。さらに普及側の取り組みの中で第二次伝染源となる置き苗の早期処分の指導が効果的である。第四段階の予察に基づく防除では、前述のモニタリング・発生予測をもとに予察情報による注意喚起および適期防除の呼び掛けを行っている。

(2)採種圃場対策

大まかな流れは前述の一般圃場対策の第一～四段階と変わらないが、大きな相違点は“フル

コース防除”と呼ばれる薬剤防除対策の徹底である。当面は、①通常の種子消毒(温湯消毒・生物農薬使用は除く)+ペノミル水和剤施用、②育苗箱施用剤施用(Qol剤を除く)、③水面施用剤施用(同)、④適期茎葉散布(同)の全てを全生産者が実施している。加えて、普及センター、JAと共に周辺的一般農家にも十分な防除協力を要請している。採種組合の生産者ならびに関係機関の方々のご労苦に深く敬意を表する次第である。

今後のいもち病防除の方向性

将来的には道内も例外ではなく、高齢化に伴う農家人口の急激な減少が予想され、あるセンサスによれば2010～2025年には道内の平均経営耕地面積が水田作地帯では現行の一戸あたり6～10haから10～20ha、拡大程度1.7～1.9倍に及ぶと推測されている(農林業センサスを用いた北海道農業・農村の動向予測、2012年)。耕地面積の拡大に伴って、予防的防除の必要性が増大する、または直播栽培の導入により防除体系が箱施用剤から水面施用剤へ移行するなどの変化が予想され、それに対応した防除体系の構築が急がれる。

一方、本道における現行の基幹品種である「ななつぼし」、「ほしのゆめ」、「きらら397」、「ゆめぴりか」に代表されるうるち米品種、「はくちょうもち」、「きたゆきもち」、「しろくまもち」などのもち米品種のいもち病抵抗性は、「きらら397」が「中」である以外はほとんどが「やや弱」であり、薬剤防除が欠かせない。

しかし、2013年に新品種として登場した「きたくりん」はいもち病の圃場抵抗性に優れ(「強」)、本田での薬剤防除を省略可能である。その次のランク「やや強」には酒米ではあるが、「吟風」、「彗星」などがあり、通常年の本田防除は出穂期1回の防除で対応可能としている。今後とも「やや強」ランク以上の抵抗性育種が継続される方針であることから、それらに対する防除メニューの確立が必要となると思われる。

今後、実際に生産現場でどのような防除方法が要望されるかを明確に予想することは難しいが、早めに対応方針を定めて準備をする必要性を感じている。その場面で、これまで予防薬剤として全国的に使用実績を顕著に積み上げてきたプロベナゾール剤が今後も大きな貢献を果たすことは想像に難くない。

おわりに

これまで2008～'10年のいもち病の発生経過、2011年以降の防除対応を中心に述べてきたが、今回の事例では、薬剤防除と耕種的防除による総合的な対策を徹底するために、いもち病の発生生態に対する生産現場の理解を促す必要性を強く感じている。

さらに温暖化が進行すると、本道においてはいもち病の発生頻度が増加することが予想されるが、今後は一層効率的で省力的な防除体系が確立されることを強く願っている。

青森県におけるいもち病の変遷と防除

地方独立行政法人 青森県産業技術センター 農林総合研究所 病虫部 研究管理員

倉内 賢一

1. はじめに

青森県は冷涼な太平洋側の県南地域と、温かな日本海側の津軽地域に大別される。しかし東北の中でも最北に位置し寒冷地であるため、本県の過去の品種は耐冷性・多収がまず第一に求められてきた。その後、食味・品質も重要視されるようになり、さらに減農薬栽培が求められ、近年では直播栽培や疎植栽培も増加するなど、栽培環境が多様化してきている。一方で、米価低迷を受けて多収を目指す農家も増加しており、これらの変遷と同時にいもち病の発生も様変わりしてきた。そこで、本県におけるいもち病の変遷と防除、今後の展望について述べる。

2. 品種といもち病の変遷

オリゼメート粒剤は昭和50年度東北防除基準に採用されているが、青森県では遅れて昭和57年に採用している。当時は葉いもち初発が東北他県に比べ遅く、茎葉散布剤による早期発見・

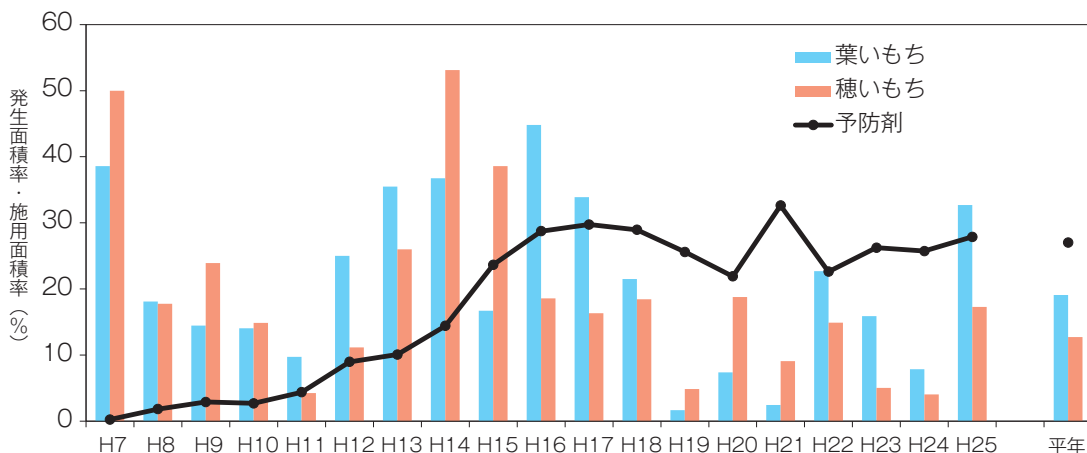


図1 いもち病発生面積率と予防剤施用面積率(青森県)

注) 平年は平成25～16年の平均値。予防剤は箱施用剤、水面施用剤の合計

早期防除で対応できていたためであるが、極早生「ハマアサヒ」の真性抵抗性崩壊により複数回の茎葉散布でも不十分なため、これに対応すべくオリゼメート粒剤を県防除基準に採用している。しかし、当時は多収でいもち病抵抗性が強い「アキヒカリ」やその後も葉いもちに強い「むつほまれ」が主体であったこともあり、予防粒剤の普及はほとんど見られていない。平成5年に「平成の大冷害」と呼ばれた混合型冷害が発生し東北地域ではいもち病が多発したが、青森県ではいもち病も発生できないほどの冷夏となり作況28を記録した(私が入庁した年であるが、収穫期になっても穂が直立したままのイネを、農家が泣きそうな顔で刈り払っていたのを今でも覚えている)。青森県ではこの年以降いもち病の発生が増加し、平成7年には葉いもち発生面積率39%、穂いもち発生面積率50%を記録する大発生となった。原因は多肥栽培と6月の低温によるイネ体質の低下、早い初発とその後の急速な蔓延、そして8月の長雨による防除適期の逸失が重なったためであった。この翌年から、一部でオリゼメート粒剤が使用されるようになり、平成11年には初めてのいもち病防除箱施用剤であるDr.オリゼ箱粒剤とウィン箱粒剤が県防除基準に採用されている。平成12年にいもち病には弱いが耐冷・良食味である「ゆめあかり」が導入されると、箱施用剤や水面施用剤が同時に急速に普及し始める。とはいえ、当初はこれら予防剤に馴染みが薄く、また天候不順も重なり、結果として防除が不十分な年が続き毎年いもち病が多発した。また収量性も十分でなかったため、「ゆめあかり」は農家の受けも悪く、平成19年にはいもち病に強い「まっしぐら」に置き換わった。平成10年から津軽地域で栽培されている「つがるロマン」とあわせて2品種体制となり現在に至っている。さらに、青森県

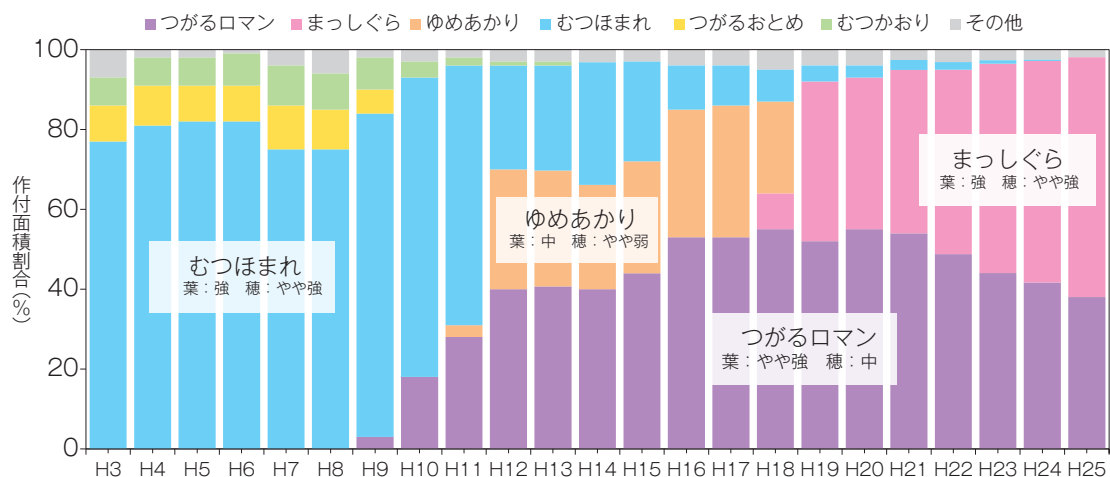


図2 県内主要品種の変遷

では食味ランキング「特A」を目指して、新品種の開発に取り組んでいるところであり、新品種も「まっしぐら」同様にいもち病抵抗性が強いことから、安定生産化が可能であるとともに、減農薬栽培などにも利用されるものと思われる。

3. 防除の現状

(1) 予防剤(箱施用剤・水面施用剤)

予防剤の普及には「ゆめあかり」が大きく関わっている。主に県南地域に作付けされた「ゆめあかり」はいもち病抵抗性が弱く被害が多かったが、箱施用剤や水面施用剤などの予防剤を使用した圃場では卓効を示した。そのため急速に予防剤、特に箱施用剤が普及した。この地域では野菜類や落葉果樹も多く、水稲はできるだけ省力したい意向もあるため、いもち病に強い「まっしぐら」に切り替わった平成19年以降も約6割で予防防除が行われている。

一方、津軽地域では「ゆめあかり」作付地域では箱施用剤が増加したが、津軽地域全体では漸増傾向であった。水稲主体の農家が多く、あらかじめコストがかかる予防剤は敬遠されがちであったことや、津軽地域で作付けが多い「つがるロマン」は倒伏しやすいため多肥にできず、いもち病の発生に不適であったことなどによると思われる。その後「ゆめあかり」が「まっしぐら」に置き換わると予防剤の使用は減少した。しかし、平成23年から「つがるロマン」より「まっしぐら」の栽培面積が多くなり、それに連動し津軽地域でも箱施用剤の使用が増加している。これは、「まっしぐら」は耐倒伏性が強いことから、極端な多肥栽培による多収を目指す農家が多くなったためである。いもち病に強い「まっしぐら」ではあるが多肥栽培のため、いもち病が多発することが多くなり、それを抑えるために箱施用剤が増加しているのである。箱施用剤は紋枯病と同時防除できるオリサストロビン箱粒剤が口コミで広がっている。また、施用量も青森県では減量した30g/箱量がほとんどであったが、多収を意識し通常の50g/箱量に戻す農家も出てきている。このような多肥栽培+箱施用による多収栽培は、当然食味にも影響するため県の指導とはかみ合わないが、長年続く米価低迷に対する経営戦略の一つと思われる。

(2) 茎葉散布剤(地上防除剤)

本県では長年、主要な防除方法の一つであったが、近年では衰退が目立ち、多口ホース噴頭でDL粉剤を散布する風景も今ではなかなか見かけなくなっている。茎葉散布剤による葉いもち防除では、注意報が発表された年はやや増加する傾向にあるものの、ここ10年は作付面積の5%前後で推移している。一方、茎葉散布剤による穂いもち防除はかつては主流の防除

方法であったが、現在では漸減し作付面積の約3割前後となっている。茎葉散布剤は葉いもち注意報が発表された際など緊急性を要する場合には、すぐに防除が可能な機動性のある防除体系だが、実際には労力的な問題もあり、葉いもちが見られていても穂いもち防除まで我慢し、結局上位葉に病斑が移行して穂いもちを多発させてしまう事例を多く見る。その分を無人ヘリで対応できればよいのだが、実際にはなかなか機動的には運用できていない。今後も、地上防除は労力的な問題や、周辺作物へのドリフトの懸念もあることから減少していくであろうが、それに替わる機動力のある防除方法が見あたらないことは憂慮すべきことである。

(3) 航空防除

有人ヘリは広域的に一斉防除が可能であり、かつ非常に省力的でありメリットが大きいのだが、他地域とのスケジュール調整が難しく、かつ散布が天候に左右されやすく防除適期を逃すことも多かった。また、他作物へのドリフト懸念などもあり全国的に減少の一途を辿り、現在ではわずか8道県のみとなっている。青森県では平成15年には県作付面積の20%で実施されていたが、平成25年には県作付面積の3%（実面積1,460ha、延面積4,130ha）にまで減少した。

一方、無人ヘリによる防除は非常に増加し、平成25年には作付面積の55%で実施されており、今や本県の水稲病害虫防除方法の主流といえる。青森県における平成25年の機体数は108機、認定オペレータ数は592人となっており（農林水産航空協会調べ）、機材費は高額であるが省力であり、今後ますます増加していくものと思われる。ただし、散布状況を見てみると、穂いもち防除適期から外れる事例もまだまだ多く見られ、関連する相談をよく受ける。本県は品種構成が単純なため、地域の防除適期が集中し、どうしても散布適期内だけで完了できないものと思われるが、この傾向は続くと思われ、他地域の無人ヘリの効率的活用や、「Googleマップによる気象予測データを利用した農作物警戒情報」などのIT情報の活用、経済面ではリスクマネジメントを考慮した運用など、弾力性をもった効率的運用体制の構築が必要と思われる。

(4) 防除体系の変化

平成25年の県全体の穂いもち防除は作付面積の86%で実施され、防除回数は1.6回となっている。かつての茎葉散布体系（有人・無人ヘリ含む）では、出穂直前にいもち病、紋枯病、殺虫剤の三種混合剤が、穂揃期にはいもち病単剤もしくは混合剤が使用されることが多かった。しかし、斑点米カメムシ類防除対策のため殺虫剤が穂揃期以降に移動するとともに、減農薬栽培や低コスト化による使用成分回数の抑制とが重なり、穂いもち防除も出穂直前＋穂揃期では

なく、出穂期に1回で済ませてしまう事例も増えている。この場合、穂いもちを防除しきれないことがある。出穂期間中の1回散布はいずれのタイミングが被害が少ないのか数年間検討したことがあるが、出穂ステージよりは降雨前(つまり感染が成立する前)の散布の方が被害回避できる率が高かった(未発表)。先述した「Googleマップによる…」では予測BLASTAMも判ることから、これを利用することで防除効果の向上が可能と考えている。

(5) 耐性菌問題

現在のところ、本県ではMBI-D剤を使用した圃場での防除効果低下は起きておらず、耐性菌は確認されていない。またQol剤については現在、病害虫防除所とともに調査中であるが、現場での防除効果低下は今のところ報告がない。しかし、先に述べたように、本県でのいもち病箱施用剤は30g/箱量で使用されることが多く、減量施用が耐性菌の発生リスクにどう影響するか今のところ明確な答えは出ていないが、十分な注意と警戒態勢をもって当たらねばなるまい。一方、プロベナゾール剤は国内各地で40年近い使用実績があるが耐性菌は見られておらず特筆に値する。今後も重要な剤の一つであるとともに、耐性菌を出さないための管理剤としての活用も期待している。

4. リスクを考慮した防除体系の選択

現在の本県の主力品種である「まっしぐら」は、従来品種に比べいもち病に強く、減農薬栽培に向けた品種と言える。一方で農薬を節減した栽培体系は、相応に減収リスクが高まるが、それがどの程度なのか不明なまま現場では減農薬栽培が行われていた。特に本県は中苗が主体であることから、箱施用剤の50g/箱量ではなく30g/箱量に減量する農家が多く、減量した場合のリスクも求められていた。そこで、それぞれの防除体系について、穂いもちの発生条件別に「低い」、「やや低い」、「やや高い」、「高い」の四段階にリスク評価を試みた。2ヶ年の結果から、Dr.オリゼ箱粒剤では、50g/箱量+穂いもち1回防除を組み合わせた場合は、穂いもち少発生条件なら減収リスクは「低く」、中～多発生条件なら「やや低い」であった。一方、50g/箱量のみ場合はややリスクが上昇し、穂いもち少～多発生条件で「やや低い」であった。30g/箱量に減量した場合には少発生条件では「やや低い」が、中発生で「やや高く」、多発生では「高い」とリスクは上昇した。つまり、穂いもちが少発の場合にはどの防除体系でも減収の可能性は低いが、穂いもちが中発生以上になる場合には30g/箱量はかなりリスクな防除体系であるということが判った。もちろんDr.オリゼ箱粒剤は抵抗性誘導型なので主な効果は葉いもちであるが、

それぞれの体系のリスクが判明したことで、リスクを考慮した防除体系が選択可能となった。

5. 今後の展望

筆者は前回の30周年記念誌で「本県はいささか急に予防剤が普及したため、箱施用剤と水面施用剤のコスト比較や初期害虫同時防除の必要性などといった経済性や防除体系がおろそかになっている。(中略)最もコストがかからない防除体系にする必要がある。」と書いている。あれから10年を経て箱施用剤や水面施用剤などの経済性や防除体系への対処はかなり補完され、生産者も数ある選択肢のなかの一つとして選べるようになってきた。一方、低コスト化に関しては、米価低迷が一層進み回復の兆しが見えない中で、さらなる低コスト化が求められるようになってきている。すでに低コスト化の一環として湛水直播や乾田直播、疎植栽培など様々な栽培体系が現場に入っており今後も増加するであろう。また、生産者も様々な価値観、経営方針のもとに生産しており一様では無くなっている。そのため、今後は様々な栽培環境やリスク管理に応じたいもち病防除体系を構築して行かなくてはならないだろう。

秋田県におけるオリゼメート箱粒剤の 効果的・効率的な使用方法

秋田県農業試験場 生産環境部 主任研究員 藤井 直哉

はじめに

東北地方における穂いもちの発生は葉いもちから連続して発生するため、葉いもちをいかに抑え込むかが重要である。オリゼメート箱粒剤をはじめとする育苗箱施用剤のいもち病に対する本田での防除効果は、東北地方であれば7月上～中旬まで持続するとされている。薬剤によっては穂いもちまで直接効果がみられるものがあるが、ほとんどの薬剤は、上位葉の葉いもちの発生を抑えることで、その後の穂いもちの発生を軽減する間接的な防除効果であると思われる。

秋田県における葉いもち防除はこれまでは水面施用剤が主体であったが、圃場の大区画化や生産者の高齢化が進み、省力技術として育苗箱施用剤の使用割合が増加している。平成24年度の葉いもち防除(水面施用剤、側条施用剤、育苗箱施用剤)における育苗箱施用剤の使用割合は約63%であり、広く現地に普及していることがわかる。一方で、現在市販されている育苗箱施用剤は多岐にわたり、いもち病防除剤だけでなく殺虫剤さらには紋枯病防除剤が組み合わせられた混合剤も販売されているが同時に箱施用剤のコストは生産者にとって負担が大きく、より一層のコスト削減が求められている。ここでは代表的な抵抗性誘導型防除剤であるオリゼメート箱粒剤によるいもち病の低コストで効率的な防除事例を紹介したい。

I Dr.オリゼプリンスエース粒剤による育苗期防除と本田葉いもち防除

一般的に、箱施用剤は育苗期間中に感染・発病した苗を移植する、「持ち込み」に対しては効果が発揮されにくく、葉いもちが多発生する場合がある(写真1)。秋田農試での試験の結果、育苗期間中に発生するいもち病に対して効果の高い育苗箱施用剤は、嵐剤等オリサストロピンが含まれている薬剤の



写真1

表1 各種育苗箱施用剤による苗の葉いもち防除効果(秋田農試 2012年)

供試薬剤	処理量	処理時期	発病苗率(%)	病斑数(個/苗)
ファーストオリゼ箱粒剤	50g/箱	播種時	77.3	1.8
ルーチン粒剤	50g/箱	播種時	94.7	5.2
アブライ箱粒剤	50g/箱	播種時	85.2	2.3
嵐箱粒剤 ¹⁾	50g/箱	播種時	0.3	0.0
無処理			99.0	5.4

1)殺虫剤(フィプロニル)との混合剤

表2 各種灌注剤による苗の葉いもち防除効果(秋田農試 2012年)

供試薬剤	処理濃度・処理量	処理時期	発病苗率(%)	病斑数(個/苗)
ビームゾル	200倍・500ml/灌注	緑化始期	1.2	0.0
ベンレート水和剤	500倍・500ml/灌注	緑化始期 ¹⁾	2.8	0.1
無処理			95.7	3.7

1)登録上の使用時期は播種時～播種7日後頃

みである(表1)。このため、秋田県では嵐剤の播種前あるいは播種時処理以外は、育苗初期のビームゾルあるいはベンレート水和剤の灌注処理(表2)を組み合わせることを指導している。

ここでは、より省力的な技術として、オリサストロピンとオリゼメートを組み合わせたDr.オリゼプリンスエース粒剤(成分：フィプロニル0.6%・オリサストロピン2.0%・プロベナゾール20.0%)について育苗期葉いもちと本田葉いもち防除効果を検討した。

(1)育苗期葉いもちに対する防除効果試験

①方法

試験は2007年に秋田県秋田市雄和の秋田県農業試験場内パイプハウスで行った。播種は4月10日に実施し、30×60cmの育苗箱に100g(乾糶換算)播きし、出芽処理は無加温でポリシートによる被覆を8日間行った。薬剤は、嵐プリンス箱粒剤6、Dr.オリゼプリンス粒剤6、Dr.オリゼプリンスエース粒剤を供試した。嵐プリンス箱粒剤6は箱当たり薬剤散布量を10g、25g、50gとし、播種前日に床土混和した。4月18日(緑化期)にDr.オリゼプリンス粒剤6とDr.オリゼプリンスエース粒剤は箱当たり50gをそれぞれ散布した。播種15日後にいもち病菌(レース001)を接種し、播種32日後に200苗/箱(2反復)について発病と苗当たりの病斑数を調査した。

②結果

無処理区の発病苗率が16.3%と中発生条件下となった。嵐プリンス箱粒剤6は通常施用量である箱当たり50gの1/5量(10g)あるいは1/2量(25g)でも高い防除効果が確認された(表3)。また、Dr.オリゼプリンスエース粒剤は発病が全く認められず、高い防除効果が確認された(表3)。一方、Dr.オリゼプリンス粒剤6の防除効果は認められるものの、その程

表3 苗の葉いもちに対する各種薬剤の防除効果(2007年)

供試薬剤名	処理量・処理濃度 (箱当たり)	処理時期	発病苗率 (%)	苗当たり 病斑数	防除価 ²⁾
嵐プリンス箱粒剤6	10g	播種前	0 a ¹⁾	0	100
	25g		0 a	0	100
	50g		0 a	0	100
Dr.オリゼプリンス粒剤6	50g	緑化期	6.9 b	0.08	57.8
Dr.オリゼプリンスエース粒剤	50g	緑化期	0 a	0	100
無処理			16.3 c	0.18	

1)同一英文字を付した数値間にはTukeyの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

2)防除価は発病苗率から算出した。

度は低かった(表3)。嵐プリンス箱粒剤6の成分の一つであるオリサストロピンは箱当たり10gという低薬量(箱当たり落下成分量の理論値は0.7g)でも苗の葉いもちに対する防除効果は高く、Dr.オリゼプリンスエース粒剤の箱当たり50g施用(箱当たり落下成分量の理論値は1.0g)の育苗期間における苗の葉いもちに対する防除効果の大部分はオリサストロピンに因る可能性が本試験の結果から示された。

(2)本田における葉いもち防除効果

①方法

1)場内試験

試験は2007年に秋田県農業試験場内圃場にて実施し、4月10日に播種した後、4月18日(緑化期)に試験薬剤のDr.オリゼプリンスエース粒剤および対照薬剤のDr.オリゼプリンス粒剤6を育苗箱当たり50g散布した。なお、対照薬剤のDr.オリゼプリンス粒剤6施用苗と箱施用剤無施用苗には、苗の葉いもち防除剤として、4月18日にベンレート水和剤500倍液を育苗箱当たり500ml灌注した。5月15日に機械移植を行い、試験区としてDr.オリゼプリンスエース粒剤区、対照のDr.オリゼプリンス粒剤6区、無処理区を設けた(各区2反復)。移植43日後の6月27日に試験区間にいもち病菌(レース001)を接種し発病した稲株を設置した。調査は7月29日に各区100株の上位3葉について株毎に病斑を数えた。また、8月21日に各区50株について止葉病斑を数えた。

2)現地試験

試験は2008年に秋田県湯沢市の農家圃場で実施した。4月28日に播種した後、5月2日(緑化期)に試験薬剤のDr.オリゼプリンスエース粒剤および対照薬剤のDr.オリゼプリンス粒剤6を育苗箱当たり50g散布した。なお、対照薬剤のDr.オリゼプリンス粒剤6施用苗は、育苗期間の苗の葉いもち防除は行わなかった。5月27日に機械移植を行い、約30aの圃場を長

表4 場内試験におけるDr.オリゼプリンスエース粒剤の葉いもち防除効果

供試薬剤名	処理量 (箱当たり)	7月29日			8月21日		
		発病株率 (%)	株あたり病 斑数	防除価 ¹⁾	発病株率 (%)	株あたり病 斑数	防除価 ¹⁾
Dr.オリゼプリンスエース粒剤	50g	19.5 a ²⁾	0.25	80.5	12.0 a	0.12	88.0
Dr.オリゼプリンス粒剤6	50g	32.0 a	0.60	68.0	30.0 a	0.46	70.0
無処理		100 b	6.98		100 b	7.32	

1)防除価は7月29日および8月21日の発病株率の平均値から算出した。

2)同一英文字を付した数値間にはTukeyの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

辺方向に区切り、試験区としてDr.オリゼプリンスエース粒剤区は10a、対照のDr.オリゼプリンス粒剤6区は20aのそれぞれ単連制とした。供試薬剤以外のいもち病防除剤は施用しなかった。また、施肥および殺菌剤以外の一般防除は、現地の慣行に従った。いもち病は自然発生条件とした。葉いもち調査は7月30日に各区4地点(1地点50株)の上位3葉について株毎に病斑を数えた。穂いもち調査は出穂約43日後の9月17日に各区4地点(1地点25株)の全穂について発病程度別に数えた。

②結果

1)場内試験

7月29日の無処理区における上位3葉の発病株率は100%、株当たり病斑数は6.98と多発生条件下での試験であり、Dr.オリゼプリンスエース粒剤区の発病株率は19.5%(防除価80.5)、株当たり病斑数は0.25個であり、Dr.オリゼプリンス粒剤6区の発病株率は32.0%(防除価68.0)、株当たり病斑数は0.60個であった。Dr.オリゼプリンスエース粒剤とDr.オリゼプリンス粒剤6区には統計的有意差が認められず、ほぼ同等の防除効果が得られた(表4)。また、8月21日における無処理区の止葉の発病株率は100%、株当たり病斑数は7.32と多発生条件であり、Dr.オリゼプリンスエース粒剤区の発病株率は12.0%(防除価88.0)、株当たり病斑数は0.12個であり、Dr.オリゼプリンス粒剤6区の発病株率は30.0%(防除価70.0)、株当たり病斑数は0.46個あった。Dr.オリゼプリンスエース粒剤とDr.オリゼプリンス粒剤6区には統計的有意差が認められず、ほぼ同等の防除効果が得られた。

2)現地試験

葉いもち調査の結果、Dr.オリゼプリンスエース粒剤区の発病株率は1.5%(株当たり病斑数は0.03個)となり、対照のDr.オリゼプリンス粒剤6区の発病株率14.0%(株当たり病斑数は0.16個)に比べて有意に高い防除効果を示した(表5)。Dr.オリゼプリンスエース粒剤区で確認されたのは1～2世代病斑であり、全て散在分布であった。一方、Dr.オリゼプリンス粒剤

表5 現地試験におけるDr.オリゼプリンスエース粒剤の葉いもちおよび穂いもちに対する防除効果

供試薬剤名	処理量 (箱当たり)	葉いもち(7/30)		穂いもち(9/17)			
		発病株率 (%)	株当たり病斑数 (個)	発病株率 (%)	発病穂率(%)		
					穂首	枝梗	合計
Dr.オリゼプリンスエース粒剤	50g	1.5 a ¹⁾	0.03	38.0	0.8	1.4	2.3 a
Dr.オリゼプリンス粒剤6	50g	14.0 b	0.16	75.0	1.9	3.4	5.4 b

1)同一英文字を付した数値間には検定による有意差($p < 0.01$)がないことを示す。

6区の病斑は3世代病斑が中心であり、集中分布が確認された。調査圃場周辺では、調査対象外の同一農家ではベンレート水和剤による育苗期の苗の葉いもち防除が行われ、本田における葉いもちの発生が少ないことや他農家の圃場でも調査圃場に影響を与える多発生圃場も無かったことから、Dr.オリゼプリンス粒剤6区では育苗施設からの罹病苗の持ち込みの可能性が推察された。穂いちは、Dr.オリゼプリンス粒剤6区で発病穂率5.4%(発病株率75.0%)と被害が多かったが、Dr.オリゼプリンスエース粒剤区は発病穂率2.3%(発病株率38.0%)とDr.オリゼプリンス粒剤6区に比べて有意に低い発生となった(表5)。以上の結果から、Dr.オリゼプリンスエース粒剤の施用は、本田における葉および穂いもちの発生を減少させることが確認された。

(3)Dr.オリゼプリンスエース粒剤の減量施用による防除試験

①方法

試験は2009年に秋田県農業試験場内圃場にて実施した。対照薬剤である播種時専用剤のファーストオリゼプリンス粒剤は4月10日に播種時覆土前に育苗箱当たり50g散布した。試験薬剤の組み合わせたDr.オリゼプリンスエース粒剤は育苗箱当たり25gを4月17日(緑化期)に散布した。なお、対照薬剤のファーストオリゼプリンス粒剤施用苗と箱施用剤無処理苗には、4月16日にベノミル水和剤500倍液を育苗箱当たり500ml灌注した。5月15日に機械移植を行い、試験区としてDr.オリゼプリンスエース粒剤区、対照のファーストオリゼプリンス粒剤区、無処理区を設けた。移植48日後の7月2日に試験区間にいもち病菌(レース001)を接種し発病した稲株を設置した。調査は7月31日と8月20日に、1)場内試験と同様の調査法で実施した。

②結果

無処理区において、7月31日の発病株率は100%と多発生条件下での試験であったが、Dr.オリゼプリンスエース粒剤の箱当たり25g施用はファーストオリゼプリンス粒剤の箱当たり50g施用と比較して差はなく、高い防除効果が示された(表6)。また、8月20日の発病株率も箱当たり25g施用と50g施用は同様に高い防除効果が示された。

表6 Dr.オリゼプリンスエース粒剤の減量施用による葉いもち防除効果

供試薬剤名	処理量 (箱当たり)	7月31日(上位3葉)			8月20日(止葉病斑)		
		発病株率 (%)	株当たり 病斑数(個)	防除価 ¹⁾	発病株率 (%)	株当たり 病斑数(個)	防除価 ¹⁾
Dr.オリゼプリンスエース粒剤	25g/箱	7.0 a ¹⁾	0.07	93.0	5.0 a	0.05	95.0
ファーストオリゼプリンス粒剤	50g/箱	1.0 a	0.01	99.0	3.0 a	0.03	97.0
無処理		100 b	9.70		100 b	8.88	

1)防除価は7月31日および8月20日の発病株率の平均値から算出した。

2)同一英文字を付した数値間にはTukeyの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

育苗期防除剤としての嵐剤と本田葉いもち防除剤を組み合わせたDr.オリゼプリンスエース粒剤は現在秋田県で普及しているいもち病の防除体系に合致し、かつ省力的な薬剤といえる。また、Dr.オリゼプリンスエース粒剤は、従来の育苗期防除と箱施用剤を組み合わせた防除体系と10a当たりの薬剤費に大きな差はないが、箱施用剤としての価格は高く、減量施用は普及拡大につながる重要な技術といえる。

II 現地における減農薬防除実証

秋田県では平成20年に減農薬防除体系を秋田県産米生産のスタンダードとする「あきたecoらいす」プロジェクトを立ち上げた。平成20～24年度に県内各地で実施した実証では、いもち病の省力・低コスト防除技術を基礎として、農薬の成分回数を慣行の2分の1以下に削減した減農薬防除体系の技術を確立した。ここでは、育苗期いもち病と葉いもち同時防除剤としてDr.オリゼプリンスエース粒剤あるいは育苗期いもち病防除剤とファーストオリゼフェルテラ粒剤の体系により穂いもちを省略した減農薬防除の現地実証の一部を紹介する。

(1)2011年 秋田県北秋田市

①方法

試験実施場所：北秋田市 田中ファーム(約30ha)、実証地区およびその周辺地区における防除は以下のとおり。

現地実証試験の防除体系

実施場所	実証地区(田中ファーム)		周辺地区
防除体系	A(水稲連作)	B(大豆後作)	水稲連作
実施面積(ha)	約22	約8	5
種子消毒	ヘルシード水和剤吹き付け済み種子	ヘルシード水和剤吹き付け済み種子	ヘルシードスターナ水和剤
苗いもち期防除	Dr.オリゼプリンスエース粒剤	Dr.オリゼプリンスエース粒剤	なし
初期害虫防除	25g/箱 緑化期	25g/箱 緑化期	オリゼメート粒剤 1kg/10a
本田葉いもち防除			
穂いもち防除	なし	なし	ラブサイド剤またはブラシン剤

調査：葉いもち調査(8月2日)：各圃場100株について調査し、発病株率、株当たり病斑数

表7 実証地区とその周辺地区におけるいもち病と紋枯病の発生状況(2011年)

調査場所	防除体系	栽培歴	品種	調査圃場数	葉いもち(8/2)		調査圃場数	穂いもち(9/12)	
					平均発病株率(%)	平均株当たり病斑数(%)		平均発病株率(%)	平均株当たり病斑数(%)
実証地区	A	水稻連作	あきたこまち	13	0.5	0.00	13	5.8	0.4
	B	前年大豆	めんこいな	7	0.9	0.01		20.0	1.2
周辺地区			あきたこまち	10	27.3	0.77	5	36.8	4.6

を算出した。調査圃場数は防除体系A：13圃場、防除体系B：7圃場、田中ファーム周辺圃場：10圃場。穂いもち調査(9月12日)：各圃場50株の全穂の穂首発病と1/3以上発病穂について調査し、発病株率、発病穂率を算出した。防除体系A：13圃場、防除体系B：7圃場、田中ファーム周辺圃場：5圃場。

②結果

防除体系AおよびBを実施した圃場では葉いもちの発生が少なかったことから穂いもち防除を省略した。8月2日の葉いもち調査の結果、実証圃場の周辺圃場では葉いもちの平均株率が27.3%、平均株当たり病斑数は約0.8個と葉いもちの発生は少なかった。実証圃場では防除体系A、Bとも葉いもちの発生はほとんど認められなかった(表7)。9月12日の穂いもち調査では、実証圃場の防除体系Aにおいて平均株率が5.8%、平均発病穂率が0.4%であった。一方、前年大豆を作付けした圃場における防除体系Bでは穂いもちの平均発病株率は20.0%、平均発病穂率は1.2であった(表7)。本年は葉いもちの発生が少ない気象条件であったこともあり、大豆作付け後の水稻圃場(防除体系B)でも葉いもちの発生は少なかった。しかし、同圃場では稲の葉色が濃くなり、葉いもちに対する抵抗力が低下する傾向があり、水稻箱施用剤の50g/箱処理が必要であると思われる。

(2)2012年 秋田県仙北郡美郷町

①方法

試験実施場所：美郷町 アグリエース三井寺(約30ha)、実証地区およびその周辺地区における防除は以下のとおり。

実証試験の防除体系

実施場所	実証地区(アグリエース三井寺)		周辺地区
	A(水稻連作)	B(大豆後作)	減・減栽培
実施面積(ha)	約10	約10	約1.2
種子消毒	温湯浸漬+タフブロック	温湯浸漬+タフブロック	温湯浸漬+タフブロック
育苗期防除	ビームゾル 500倍液 灌注 緑化期	ベンレート水和剤 500倍液 灌注 緑化期	嵐プリンス箱粒剤6 50g/箱 緑化期
初期害虫防除	ファーストオリゼフェルテラ粒剤	ファーストオリゼフェルテラ粒剤	
本田葉いもち防除	25g/箱 播種時覆土前	25g/箱 播種時覆土前	
穂いもち防除	なし	なし	ラブサイド剤

表8 実証地区とその周辺地区におけるいもち病の発生状況(2012年)

調査場所	防除体系	調査圃場数	葉いもち(7/25)		調査圃場数	穂いもち(9/12)	
			平均発病株率(%)	平均株当たり病斑数(%)		平均発病株率(%)	平均株当たり病斑数(%)
実証地区	A	5	0	0	5	0	0
三井寺	B	8	0.3	0.0	8	11.3	0.7
周辺地区		10	3.7	0.1	5	4.0	0.2

調査：葉いもち調査(7月25日)：各圃場100株について調査し、発病株率、株当たり病斑数を算出した。調査圃場数は防除体系A(ビームゾル500倍灌注)：5圃場、防除体系B(ベンレート水和剤500倍灌注)：8圃場、アグリエース三井寺周辺圃場：10圃場。穂いもち調査(9月12日)：各圃場50株の全穂の穂首発病と1/3以上発病穂について調査し、発病株率、発病穂率を算出した。調査圃場数は防除体系A：5圃場、防除体系B：8圃場、アグリエース三井寺周辺圃場：5圃場。

②結果

実証圃場では葉いもちの発生が少なかったことから穂いもち防除を省略した。7月25日の葉いもち調査の結果、実証圃場の周辺圃場では葉いもちの平均株率が3.7%、平均株当たり病斑数は0.1個と葉いもちの発生は少なかった。実証圃場では防除体系A、Bとも葉いもちの発生はほとんど認められなかった(表8)。防除体系A、Bいずれにおいても持ち込み由来のいもち病斑はなく、育苗期におけるビームゾルおよびベンレート水和剤の効果が確認された。9月12日の穂いもち調査では、実証圃場の防除体系Aにおいて、平均発病穂率は0%と穂いもちの発生はなかった(表8)。大豆後作圃場における防除体系Bは、平均発病株率は11.3%と防除体系Aに比べてやや多かったが、平均発病穂率が0.7%(最大1.3%)であり収量には影響は認められなかった(表8)。穂いもちの発生がやや多くみられた圃場については、隣接した一般圃場からの葉いもちの影響を受けたためと思われる。

Ⅲ 栽植密度がオリゼート箱粒剤のいもち病防除効果に及ぼす影響

省力的な防除技術である育苗箱施用剤は、圃場の大区画化に伴い今後さらに使用量が増加すると思われる。しかし、栽植密度が箱施用剤のいもち病の防除効果に及ぼす影響は不明であり、特に栽植密度を少なくし、使用育苗箱が減少した場合、10aあたりの薬剤投下量が少なくなる可能性がある。そこで本試験では、栽植密度が水稻育苗箱施用剤のいもち病防除効果に及ぼす影響を検討する。ここでは、県内で広く使用されているファーストオリゼ箱粒剤の防除効果に

ついて検討した。

(1)方法

①2012年

耕種概要 実施場所：秋田県農業試験場内圃場、品種：ナツミノリ、播種：4月13日(播種量100g/箱 中苗)、出芽処理：無加温でポリシートによる被覆を4月18日まで行った。4月20日にビームゾルの500倍液を500ml/箱灌注した。基肥：N、P₂O₅、K₂Oを各6.0kg/10a、追肥：N:1.5kg/10a(減分期)。移植：5月18日、栽植密度：20.8株/m²(69株/坪区)、15.2株/m²(50株/坪区)、使用箱枚数：25箱/10a(69株/坪区)、16箱/10a(50株/坪区)。各区2反復。植え付け本数4～5本/株。出穂期：8月2日。

試験薬剤の処理：ファーストオリゼ箱粒剤を4月13日の播種時に50g/箱散布した。

調査方法：葉いもちは7月27日に各区100株の上位2葉について、株毎に病斑を数えた。また、8月17日に各区100株について止葉病斑を数えた。

病原菌の接種：6月25日に各試験区間にいもち病菌(レース001)を接種し、発病した苗を設置した。

②2013年

耕種概要 実施場所：秋田県農業試験場内圃場、品種：ナツミノリ、播種：4月10日(播種量100g/箱 中苗)、出芽処理：無加温でポリシートによる被覆を4月17日まで行った。4月18日ビームゾルの500倍液500ml/箱灌注した。基肥：N、P₂O₅、K₂Oを各6.0kg/10a、追肥：N:1.0kg/10a(減分期)、移植：5月16日、栽植密度：20.8株/m²(69株/坪区)、15.2株/m²(50株/坪区)、使用箱枚数：25箱/10a(69株/坪区)、16箱/10a(50株/坪区)。各区2反復。植え付け本数3～4本/株。出穂期：7月31日。

試験薬剤の処理：ファーストオリゼ箱粒剤を4月10日の播種時に50g/箱散布した。

調査方法：葉いもちは7月26日に各区100株の上位2葉について、株毎に病斑を数えた。また、8月22日に各区100株について止葉病斑を数えた。

病原菌の接種：6月20日に各試験区間にいもち病菌(レース001)を接種し、発病した苗を設置した。

表9 栽植密度がファーストオリゼ箱粒剤の葉いもち防除効果に及ぼす影響(2012年)

供試薬剤	栽植密度 (株/坪)	処理時期	区	7月27日		防除価	8月17日		薬害
				発病 株率(%)	株当たり ¹⁾ 病斑数(個)		発病 株率(%)	株当たり ²⁾ 病斑数(個)	
ファーストオリゼ箱粒剤	50	播種時覆土前 4/13	I	15.0	0.03	86.5	12.0	0	—
			II	22.0	0.04		26.0	0.02	—
			平均	18.5	0		19.0	0.01	
ファーストオリゼ箱粒剤	69	播種時覆土前 4/13	I	2.0	0	100	10.0	0	—
			II	2.0	0		15.0	0	—
			平均	2.0	0		12.5	0	
無処理	50		I	96.0	0.22		100	1.0	
			II	75.0	0.3		100	0.3	
			平均	85.5	0.3		100	0.7	
無処理	69		I	92.0	0.1		42.0	0.4	
			II	95.0	0.7		48.0	0.6	
			平均	93.5	0.4		45.0	0.5	

1) 上位2葉における病斑数、2) 止葉における病斑数
防除価は7月27日の株当たり病斑数の平均値から算出した。ファーストオリゼ箱粒剤の防除価はそれぞれ同じ栽植密度の無処理区における発病に対する効果の程度を示す。

(2) 結果

①2012年

7月27日の無処理における上位2葉あたりの病斑数は69株/坪区で0.4個、50株/坪区で0.3個であり、差はなく、少発生の条件であった(表9)。7月27日の無処理の69株/坪区における発病株率が93.5%、上位2葉あたりの病斑数は0.4個であるのに対し、ファーストオリゼ箱粒剤の69株/坪の発病株率は2.0%、上位2葉あたりの病斑数は0個と高い防除効果が確認された。同様に無処理の50株/坪区における発病株率が85.5%、上位2葉あたりの病斑数は0.3個であるのに対し、ファーストオリゼ箱粒剤の50株/坪の発病株率は18.5%、上位2葉あたりの病斑数は0.0個と防除効果が確認された(表9)。7月27日のファーストオリゼ箱粒剤の69株/坪の発病株率は2.0%であるのに対し、50株/坪区の発病株率は18.5%とやや高くなった。8月17日の止葉病斑数についても同様に両区とも高い防除効果を示した(表9)。

②2013年

無処理(69株/坪)における7月26日の発病株率は100%、株当たりの病斑数は18.0個であり、多発生条件下での試験となった(表10)。7月26日において、無処理の69株/坪区と50株/坪区では葉いもちの発生程度に大きな差は認められなかった。7月26日の無処理の69株/坪区における発病株率が100%、上位2葉あたりの病斑数は18.0個であるのに対し、ファーストオリゼ箱粒剤処理の69株/坪区の発病株率は10.5%、上位2葉あたりの病斑数は0.1個と高い防除効果が確認された。同様に無処理の50株/坪区における発病株率が100%、

表10 栽植密度がファーストオリゼ箱粒剤の葉いもち防除効果に及ぼす影響(2013年)

供試薬剤	栽植密度 (株/坪)	処理時期	区	7月26日		防除価	8月22日	
				発病 株率(%)	株当たり ¹⁾ 病斑数(個)		発病 株率(%)	株当たり ²⁾ 病斑数(個)
ファーストオリゼ箱粒剤	50	播種時覆土前 4/10	I	7.0	0.1	98.0	9.0	0.1
			II	32.0	0.5		10.0	0.1
			平均	19.5	0.3		9.5	0.1
ファーストオリゼ箱粒剤	69	播種時覆土前 4/10	I	5.0	0.1	99.3	2.0	0.0
			II	16.0	0.2		0	0.0
			平均	10.5	0.1		1.0	0.0
無処理	50		I	100	7.9		26.0	0.3
			II	100	21.2		50.0	1.1
			平均	100	14.5		38.0	0.7
無処理	69		I	100	14.4		44.0	0.6
			II	100	21.6		92.0	2.0
			平均	100	18.0		68.0	1.3

1) 上位3葉における病斑数、2) 止葉における病斑数

防除価は7月26日の株当たり病斑数の平均値から算出した。ファーストオリゼ箱粒剤の防除価はそれぞれ同じ栽植密度の無処理区における発病に対する効果の程度を示す。

上位2葉あたりの病斑数は14.5個であるのに対し、ファーストオリゼ箱粒剤処理の50株/坪区の発病株率は19.5%、上位2葉あたりの病斑数は0.3個と防除効果が確認された(表10)。また、7月26日のファーストオリゼ箱粒剤処理の69株/坪区の株当たり病斑数は同剤処理の50株/坪区の株当たり病斑数と大きな差は認められなかった。8月22日の止葉における発病株率はファーストオリゼ箱粒剤処理の50株/坪区が同処理の70株/坪区と比べてやや高かったが、株当たり病斑数は差が無く同程度の防除効果があると思われた。以上のことから、ファーストオリゼ箱粒剤処理の69株/坪区とファーストオリゼ箱粒剤の50株/坪区の葉いもちの発生程度に差はなく、50株/坪栽培における同剤の50g/箱処理は葉いもちに対して十分な効果が得られることが示唆された。

おわりに

本県では、農家の高齢化、兼業化が進みさらに大区画化圃場が増えた現在、急速に蔓延するいもち病に対して発生予察に応じた適期防除が困難な状況にある。そのような背景から、いもち病防除は箱施用剤による防除割合は年々増加しており、より省力・低コスト化が進むと思われる。しかし、育苗期におけるいもち病防除を実施せず、持ち込みにより葉いもちが多発した場合、本田における穂いもち防除は斑点米カメムシ類を対象とした無人ヘリによる殺虫・殺菌混合剤の散布が多いため、いもち病防除のタイミングに合わないことや、無人ヘリによる防除が天候に左右されやすく、防除タイミングを逸しやすいことから、無人ヘリのみでは対応しき

れない場面が想定される。労力・コストがかかる穂いもち防除を省略するために、育苗期防除と本田葉いもち防除の徹底が重要である。現時点では育苗期防除と葉いもち防除を兼ねる箱施用剤は嵐剤とDr.オリゼプリンスエース粒剤のみであるが、耐性菌対策や対象害虫の発生状況から同剤の使用場面が限られる場面が多々ある。より広い地域と多くの生産者が活用できる箱施用剤の開発に期待したい。

近年の山形県におけるいもち病防除を取り巻く状況と今後について

山形県農業総合研究センター 食の安全環境部 開発専門研究員 **横山 克至**

山形県における水稻の作付面積は全国と同様に減少傾向であるが、県の米の産出額は農業生産全体の産出額の約4割を占めており(2011年)、依然として基幹的な作物である。そのため、米価の低下に対応した生産性の高い米づくりが求められており、近年は農地の集積が進み、大規模稲作農家・経営体による生産が増えている一方、大規模稲作経営ほど米価変動の影響を受けやすく、産米の高付加価値化とともに低コストに向けたあらゆる検討が必要となっている。病害虫防除についても、省力化、低コスト化へのニーズが強まるとともに、特別栽培に代表される農薬使用低減の取り組みも拡大しており、従来のような早期発見・早期防除を基本とする防除体系が難しくなりつつある。そのため、稲作農家が抱える背景をふまえたうえで、いかに適切な病害虫防除を行うかが模索されている。

山形県はいもち病発生面積の推移と特徴

近年、山形県はいもち病の発生面積は少ない傾向にあり、1980年以前は葉いもちの発生面積率が60%を超える年次がみられたが、その後は少発生傾向であり、最近10年間(2004～2013年)の発生面積率の平均は、葉いもちが6.9%、穂いもちが2.0%となっている(図1)。

いもち病の発生には気象的な要因が大きいが、葉いもち発生予測システムBLASTAMの感染好適条件の出現状況についてみると、2004年以降はむしろ出現日数が多い傾向となってお

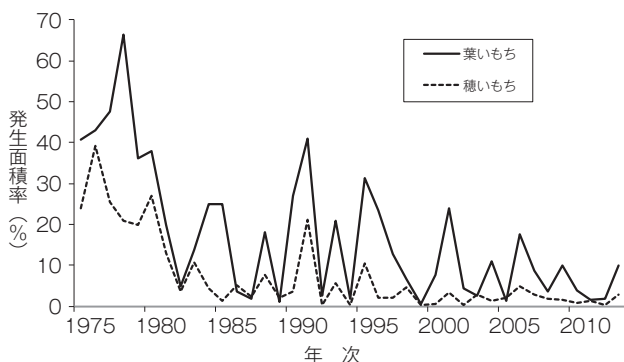


図1 山形県におけるいもち病発生の推移

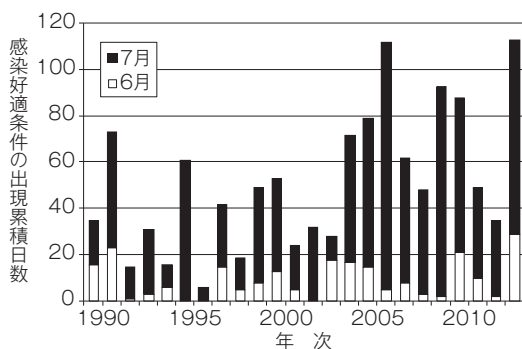


図2 山形県内のBLASTAM感染好適条件の月別出現累積日数(アメダス20地点合計)

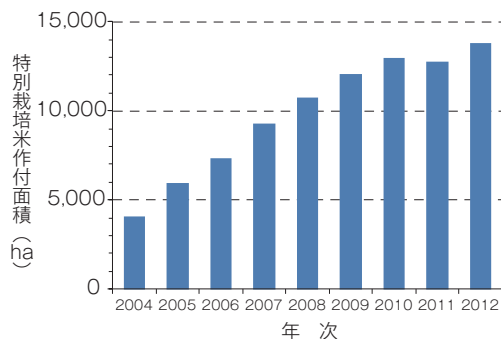


図3 山形県内の特別栽培米作付面積の推移

り(図2)、近年の少発生傾向は防除対策によるところが大きいと考えられる。特に近年は穂いもちの発生面積率が少ない傾向にあるが、早坂(2003)は山形県では葉いもちの初発時期を遅らせ、7月5半旬までの発生を抑えることにより穂いもちの発生を抑制できることを指摘しており、葉いもちの予防防除が穂いもちの少発生傾向に結びついていると考えられる。

山形県におけるいもち病防除の体系

山形県では従前から現在に至るまで、いもち病が最も重要な水稻病害であることは変わらないが、近年は特別栽培への取り組みが拡大しており(図3)、限られた農薬成分回数の中で防除する場面が多くなっている。そのため、事実上多発生時の追加防除は行わず、予防的な防除体系が基本となり、特に育苗箱施用剤や水面施用剤による葉いもちの予防防除の重要性が増してきている。

山形県における標準的ないもち病防除体系は、育苗箱施用剤または水面施用剤による葉いもち防除と穂孕後期および穂揃期の2回の穂いもち防除からなる体系である。最近10年間(2004～2013年)の葉いもち防除回数(延防除面積/実防除面積)の平均が1.2回、穂いもち防除回数の平均が1.8回であり、多くは標準的な防除体系が実施されていると推察される。葉いもちの発生が多い年次には複数回の葉いもち防除が必要であり、上位葉に病斑がみられる場合には穂揃期1週間後の追加防除が必要であることを考えれば、前述のとおり葉いもちの予防防除を主体とした現在の防除体系が少ない防除回数で安定した防除効果が得られる効率的な防除体系であると考えられる。

水稲本田防除の担い手の移り変わり

山形県の水稲防除において近年の最も大きな変化は無人ヘリ防除の拡大があげられる。山形県では1995年以降に広まり、2000年代前半に急速に拡大し、2013年には実防除面積が38,576ha(水稲作付面積の約58%)、延防除面積が99,243ha(平均防除回数:約2.6回)となっている。動力散粉機や動力噴霧機を用いた個人防除や共同防除が、農家の高齢化や担い手の減少、1戸当たり作付面積の拡大等により実施が困難になりつつあった中で無人ヘリ防除は急速に拡大したが、同時に耕作者と防除の実施者が別となり、圃場の観察に基づいたきめ細かな防除対応は難しくなっていくた。また、無人ヘリ防除はスケジュールを立て計画的に防除作業を進める必要があることから、病害虫の発生に応じた防除は困難である。一方で、無人ヘリ防除はコスト低減を図ることができたため、育苗箱施用剤や水面施用剤と組み合わせた防除体系でも農家は受け入れやすく、育苗箱施用剤の実施面積拡大につながったと考えられる。

山形県における水稲作付品種の変遷

いもち病の防除対策を考える上で作付品種のいもち病抵抗性は重要である。山形県では1990年代前半までは、いもち病抵抗性が葉いもち「やや弱」、穂いもち「弱」の「ササニシキ」が主体で、その後、いもち病抵抗性が葉いもち、穂いもちとも「中」の「はえぬき」が主体となった。県内の過去10年間の品種の作付割合をみると、2002年は「はえぬき」62.9%、「あきたこまち」10.2%、「ひとめぼれ」10.1%、「コシヒカリ」7.8%、「ササニシキ」4.8%で、2012年は「はえぬき」60.3%、「ひとめぼれ」11.6%、「つや姫」10.3%、「コシヒカリ」8.8%、「あきたこまち」5.0%であり、近年「つや姫」の作付が増加している以外は品種構成には大きな変化はない。「つや姫」のいもち病抵抗性は、葉いもち、穂いもちとも「強」であるが、その他の主要品種は「中」~「弱」である(表1)。

表1 山形県奨励品種(水稲)等のイネいもち病抵抗性 (「稲作指針」より抜粋)

品種名	葉いもち抵抗性	穂いもち抵抗性
はえぬき	中	中
つや姫	強	強
コシヒカリ	弱	弱
あきたこまち	中	やや弱
ひとめぼれ	やや弱	中
ササニシキ	やや弱	弱
里のゆき	やや強	弱
山形95号	強	強
はなの舞	やや強	中

また、各品種のいもち病真性抵抗性遺伝子型をみると、「ササニシキ」が*Pi-a*、「はえぬき」および「あきたこまち」が*Pi-a*および*Pi-i*、「ひとめぼれ」が*Pi-i*、「コシヒカリ」が+、「つや姫」が*Pi-i*および*Pi-k*と推定されており、これらの品種の作付変化にともない(表3)、いもち病菌レースの変化もみられた(表2)。1991年はレース003の比率が61%で007が34%であり、003が優占していた(小泉ら, 1992)が、1993年はレース003の比率が26%で007が65%、1994年は003が31%、007が69%となり007が優占した(佐藤ら, 1995)。さらに1997年は003が1%、007が87%となった(本田ら, 1998)。1990年代に「ササニシキ」主体から「はえぬき」主体へと品種作付割合が変化していったとともに、1991、1993、1995年はいもち病の発生が多い年次となったことから、*Pi-i*の品種を侵すレース007の比率が急速に拡大したと考えられる。また、近年は*Pi-k*の遺伝子型を持つと推定される「つや姫」が約10%の作付比率となっており、レース007が優占しているもののレース037の分布が拡大傾向である(越智ら, 投稿中)。

一方、山形県ではいもち病に対する高い圃場抵抗性を有する新品種「山形95号」について、従来の基本防除体系(葉いもち1回+穂いもち2回)より1回少ない葉いもち1回+穂いもち(穂孕後期~出穂期)1回を基本防除体系とし(越智ら, 第57回東北農業試験研究発表会講演予定)、現地での普及を図っている。「山形95号」は良食味・高品質で高いいもち病抵抗性を有する品

表2 山形県におけるいもち病菌レースの推移

年次	分離レースと比率(%)				引用文献
	003	007	037	その他(括弧内は分離比率)	
1991	61	34	3	077(3)	小泉ら(1992)
1993	26	65	3	013(2), 017(1), 033(4)	佐藤ら(1995)
1994	31	69			佐藤ら(1995)
1997	1	87	9	033(1), 047(3)	本田ら(1998)
2013		72	22	005(1), 017(2), 026(1), 027(3)	越智ら(投稿中)

表3 山形県で作付される主要イネ品種のいもち病真性抵抗性推定遺伝子型と作付面積率の推移

(「米に関する資料」より作成)

真性抵抗性遺伝子型	主な品種	各年次の作付面積率(%)					
		1988	1993	1998	2003	2008	2013
<i>Pi-a</i>	ササニシキ キヨニシキ さわのはな 出羽際々	85	48	12	5	2	1
<i>Pi-a, Pi-i</i>	はえぬき あきたこまち どまんなか 美山錦	0	36	64	72	68	65
<i>Pi-i</i>	ひとめぼれ はなの舞 はなひかり	6	9	16	11	13	11
<i>Pi-i, Pi-k</i>	つや姫	0	0	0	0	0	10
<i>Pi-k</i>	雪化粧 ヒメノモチ でわのもち	3	4	3	2	3	2
+	コシヒカリ ミルキークイーン	0	3	5	8	11	8

種であることから、より環境保全型農業に取り組みやすく、特徴のある販売につながるものと期待されている。

山形県におけるMBI-D剤耐性いもち病菌の発生について

山形県では2004年にシタロン脱水酵素阻害型メラニン合成阻害剤(以下、MBI-D剤)に低感受性のイネいもち病菌が初めて圃場で確認された(早坂ら, 2006)。その後、2005年には調査した広域合併前の21市町村中10市町村で確認され(早坂ら, 2006)、2006年は36市町村中27市町村、2007年は29市町村中22市町村と県内全域でMBI-D剤耐性菌が確認された(上野ら, 2008)。このこととともに、山形県内のMBI-D剤の使用面積割合は2005年の約33%をピークに減少に転じ、2007年には約4%となり、現在ではほとんど用いられていない。

近年は他県においてストロビルリン系薬剤(以下、Qol剤)の耐性イネいもち病菌が確認されており、育苗箱施用剤が葉いもち防除の中心となっている山形県では耐性菌出現を未然に防ぐために対策を徹底する必要があると考えられた。2008年には日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会から「イネいもち病防除におけるQol剤及びMBI-D剤耐性菌対策ガイドライン」が公表されており、この中に示されている対策について県全体での取り組みを進めている。

山形県における今後のいもち病防除について

冒頭で述べたとおり、山形県における水稻の病害虫防除を取り巻く状況は、稲作経営の大規模化を基調とした省力・低コストのニーズと環境保全型農業の拡大にともなう農薬使用低減のニーズが年々強くなっている。一方で、いもち病は依然として山形県の最重要病害であり、多発生となれば作柄に大きく影響し、農家経営に大きな影響を及ぼしかねないため、必要な防除を確実に実施することも重要である。また、山形県では「総合的病害虫・雑草管理(IPM)実践指標(水稻)」の中で、他の病害虫については防除要否判断基準に基づく防除を基本とするものの、いもち病については予防防除が基本であり、発生してからの防除より予防防除のほうが結果的には防除回数が少なく、効率的な防除方法であると位置付けている。これらのことから、山形県では今後とも育苗箱施用等による葉いもちの予防防除と穂孕後期および穂揃期の2回の穂いもち防除が基本となると思われる。

なお、現状で求められている防除体系は、少ない防除回数によるいもち病防除であるため、

長期残効性の薬剤の開発や普及に対するニーズがさらに強まると考えられる。しかし、長期残効性で防除回数が極端に少なくなると耐性菌出現の懸念が大きくなる。今後はプロベナゾールのような抵抗性誘導剤の効果的な活用や、高いもち病抵抗性を持つ品種の導入など、生産コストを上げることなく実施可能な技術を組み合わせた総合的な対策が重要であると考えられる。

さらに将来的には、極端な大規模稲作経営を想定した低コストで省力的な防除体系や、極端に防除回数を減らした防除体系など、新たな技術開発に基づく防除体系の構築が求められることが予想される。今後は水稻品種開発や栽培技術開発、農業機械などの他の研究分野と病害虫分野がこれまで以上に連携して技術開発に取り組む必要がある。

引用文献

- 1) 早坂剛(2003)：北日本病虫研報 54：7-11
- 2) 早坂剛・菊地繁美(2006)：北日本病虫研報 57：215
- 3) 本田浩央・本間隆・佐藤智浩・内藤秀樹(1998)：北日本病虫研報 49：5-7
- 4) 小泉信三・武田真一・佐久間比路子・根本文宏(1992)：北日本病虫研報 43：7-8
- 5) 越智昭彦・横山克至(2014)：北日本病虫研報 65(投稿中)
- 6) 佐藤健治・佐藤智浩・齊藤初雄・園田亮一・芦澤武人・内藤秀樹・根本文宏(1995)：北日本病虫研報 46：6-7
- 7) 新・米づくりやまがた日本一運動本部・山形県農林水産部(2010)：稲作指針
- 8) 上野清・早坂剛(2008)：北日本病虫研報 59：222
- 9) 山形県農林水産部県産米ブランド課・山形県産米改良協会連合会(2014)：米に関する資料

長野県における水稲病害とプロベナゾールの利用

長野県農業試験場 環境部長 山下 亨

はじめに

水稲栽培においてイネいもち病は、変わらず最も警戒すべき重要病害であり、効果の高い多くの農薬が利用可能な今日においても、作柄に影響するような甚大な被害が、年、地域によって生じている。

葉いもちの発生は梅雨時期の降雨に大きく影響されるが、近年、梅雨時期(入り・明け)が平年と比較して大きくずれ込む年が目立つ。当該年を含めた過去10ケ年の梅雨時期の平年差をもとに標準偏差を算出したところ、近年、梅雨時期の平年差のばらつきが大きくなってきており、特に梅雨明けは2000年以降にその傾向が顕著である(図1)。このことは、葉いもち発生量の年による変動がより大きくなることを意味しており、ことに梅雨明けが遅れる年は、葉いもちの後期進展から穂いもち被害に結びつく可能性が高い。

一方、いもち病の防除においては、茎葉散布剤や水面施薬剤の利用から、長期残効性といわれる苗箱施薬剤を基幹とした防除体系に変遷し、プロベナゾール粒剤をはじめとする苗箱施薬剤は、本県のいもち病防除の基幹薬剤となっている。本稿では主にプロベナゾール苗箱施薬剤のいもち病に対する効果の特性について述べるとともに、もみ枯細菌病への利用の可能性についても言及したい。

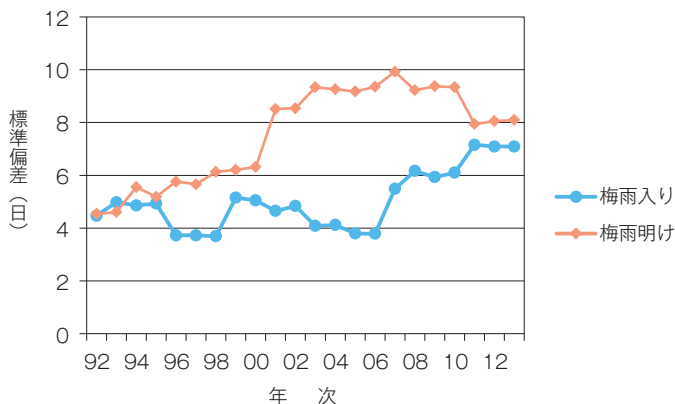


図1 梅雨入り・明け時期の平年差の振れ幅

梅雨入り・明け時期(平年差)の当該年を含めた過去10年の標準偏差の推移

本県でのイネいもち病対象苗箱施薬剤の普及状況

いもち病対象の苗箱施薬剤としては、トリシクラゾールが1980年代に既に開発されており、西日本を中心に利用されていた。その後、1990年代後半に長期残効性を謳った苗箱施薬剤としてプロベナゾール粒剤、カルプロパミド箱剤が開発され、移植から葉いもちの発生時期まで期間が長い本県をはじめとする東日本でも、安定した効果および省力性から、いもち病防除薬剤の基幹剤として普及されてきた。本県では1997年に県の防除基準に採用され、その後、着実に普及面積が拡大している(図2)。2000年代に入り各地でMBI-D剤耐性いもち病菌の報告が相次いだ。本県でも2005年にMBI-D剤耐性いもち病菌が広範囲に認められるに至った。このため、この年を境に、MBI-D剤からプロベナゾール、チアジニル、イソチアニルといった、いわゆる抵抗性誘導型薬剤への切り替えが急速に進んだ(図3)。現在、県内のおよそ60%前後でいもち病対象の苗箱施薬剤が用いられていると推測され、そのうち、およそ85%が抵抗性誘導型の薬剤となっている(図3)。

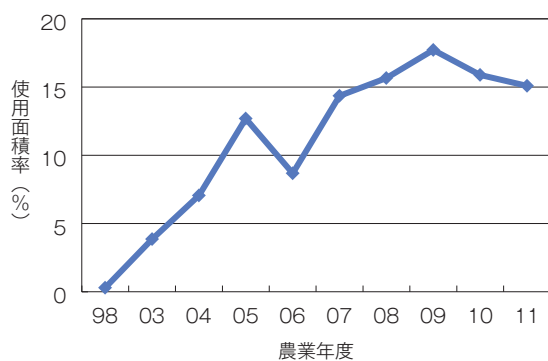


図2 プロベナゾール含有苗箱施薬剤の使用面積率の推移(農薬要覧より作図)

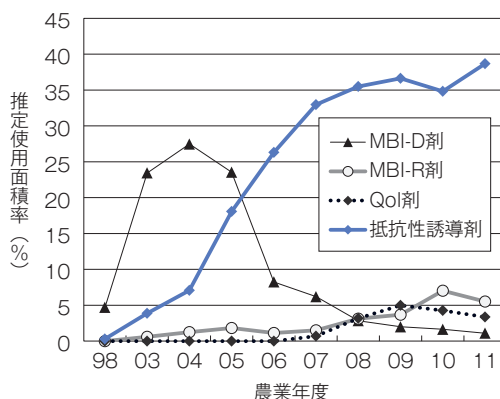


図3 いもち病対象苗箱施薬剤の推定使用面積率の推移
農薬要覧および全農長野の出荷量から作図

苗箱施薬剤の育苗期の葉いもちに対する効果

いもち病対象の苗箱施薬剤の中で播種時処理のできる薬剤がいくつかあり、省力性や広域の利用がしやすいことから採用している育苗センターが多くなってきている。これらの薬剤の中には、処理時に発生するイネ苗の生育への影響を回避するために、有効成分の溶出制御を行っている薬剤もあり、育苗期間中の葉いもちに対する効果は必ずしも明らかではない。

表1 プロベナゾール粒剤の育苗期における葉いもちに対する効果(2011)

供試薬剤	処理方法	反復	播種24日後		播種36日後			
			病斑数/区	防除価	調査苗数(本)	発病苗率(%)	病斑数/100本	防除価
プロベナゾール 粒剤(20%)	50g/箱 播種時覆土前処理	I	4		500	18.6	29.8	
		II	9		500	25.2	58.2	
		III	2		500	9.2	15.0	
		平均	5.0	16.7	500.0	17.7	34.3	58.1
無処理		I	9		500	51.2	111.6	
		II	4		500	18.8	37.0	
		III	5		500	40.8	97.2	
		平均	6.0		500.0	36.9	81.9	

供試品種:「キヌヒカリ」区制・面積:1区1/2 育苗箱 3反復 播種量:100g/箱
 いずれの区も種子消毒済み(イプロナゾール・銅F200倍24時間浸漬前浸漬)
 いもち病接種:10月26日にいもち病自然感染粉を各区に0.9gずつ散播、その後、ミラシートを被覆して管理
 調査:播種24日後には区内の病斑数を、播種36日後には各区500本の苗について病斑の有無を調査し、苗100本当たりの病斑数を求めた

本県における育苗期の葉いもちの発生は、県内の一部で行われている晩植地帯で稀に認められるのみであったが、近年、春先の高温傾向が頻繁に見られる中で、晩植地帯以外でも問題となることがあり、今後の温暖化を見据える中で、防除意識を高めることが必要となってきた。

そこで、プロベナゾール粒剤(20%)の育苗期間中の葉いもちに対する効果を検討した。その結果、プロベナゾール粒剤は、播種24日後の調査では抑制効果が低かったが、播種36日後の調査では防除効果の上昇傾向が認められた(表1)。これは有効成分の溶出時期と量が影響しているものと推察された。

苗箱施薬剤の穂いもちに対する効果

苗箱施薬剤を用いると穂いもちの発生が少なくなるが、穂いもち自体に対する薬効があるのかは気になるところである。そこで、苗箱施薬剤の穂いもちに対する防除効果を暴露試験、接種試験によって検討した。その結果、プロベナゾールをはじめとする抵抗性誘導型の薬剤は、少発生条件下では効果が認められる場合もあるが、中～多発生条件下では効果が期待できないものと考えられた。苗箱施薬剤を用いた際、穂いもちの発生が少なくなるのは、主に感染源である葉いもちの発生を抑制していることに起因するものと考えられ、穂いもちに対する補完防除の可否を判断することが一層重要になってくるものと思われる。

イネもみ枯細菌病とプロベナゾール

イネもみ枯細菌病は代表的な種子伝染性病害であり、育苗期間中には苗腐敗症を、本田では穂枯症を引き起こす。県内においては育苗期の苗腐敗症の発生が問題となっており、これまで種子消毒剤、播種時処理剤等の薬剤防除をはじめ、温度管理を主とする耕種的対策を採ってきているが、年によりゲリラ的に大きな被害が認められている。一方、これまで県内における穂枯症の発生実態は不明であったが、近年、一部地域で穂枯症が散見されており、今後の発生動向を注視している。

苗腐敗症罹病苗を移植した圃場では、出穂期前後の気象条件によっては穂枯症の発生が認められる。また、発病しない場合でも粃が保菌する可能性があるため、採種栽培では問題が大きい。

穂枯症の発生が認められるようになった要因のひとつに、生育期間中の高温傾向によるイネの出穂期の前進化が挙げられる。須坂市の「コシヒカリ」では、1994年以前と比較して5日程度出穂期が早まっている(図4)。これは、感染時期である出穂期以降、高温に遭遇する機会(感染リスク)が増加していることを示している。今後、温暖化の進展により穂枯症の感染リスクがより一層高まることが予想されるため、作期をとおして本病の対策を考えていく必要があると考えている。

抵抗性誘導型の薬剤は糸状菌病害のみならず細菌性病害に対しても効果が認められ、プロベナゾールも水稻では白葉枯病、もみ枯細菌病、内穎褐変病に対し適用登録を有している。このため、プロベナゾールをはじめとする抵抗性誘導型薬剤の穂枯症に対する有効性を確認し、防除体系の一つに組み入れようと試験に取り組んでいるところである。しかし、穂枯症に対する

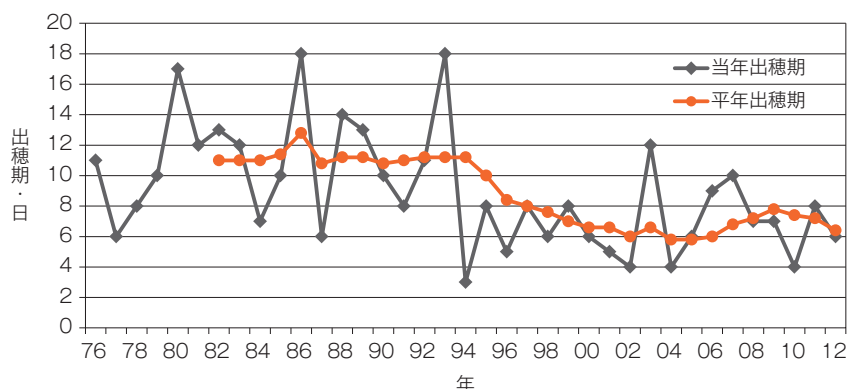


図4 コシカリの出穂期の前進(農試作物部、～2012年)

移植は5月4半旬、平年出穂期:過去7年中、最高最低を除く5ヶ年平均値
縦軸は8月の日付を表す

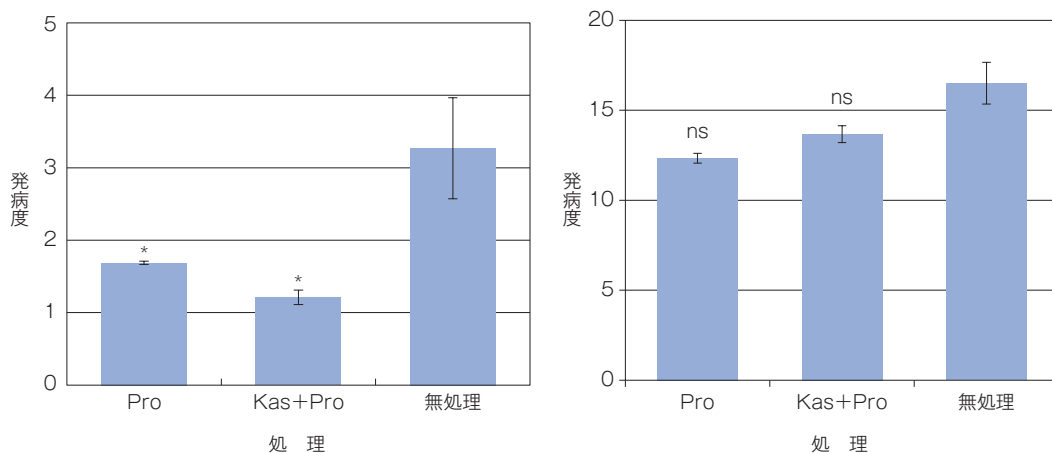


図5 接種法の違いによる穂枯症に対する効果(2011)

供試籾:「コシヒカリ」 移植:6月3日 出穂:8月11日
 左:自然感染 右:出穂7日前接種
 Pro:プロベナゾール移植当日処理 Kas:カスガマイシン液剤8倍液播種時灌注処理
 図中の縦棒は標準誤差を示す
 発病度の*は角変換後、Dunnettの多重比較により有意差があることを示す(P<0.05)

効果試験、特に伝染環に沿った適度な発病条件下での試験は簡単ではない。自然発病では評価できるほどの発病が期待できないため、穂ばらみ期にイネ株全体に病原菌液を噴霧し、場合によっては出穂以降ミストをかけるなどして発病を助長させる場合が多い。このような接種法はもみ枯細菌病の伝染環からは大きく逸脱しており、よほど効果の高い薬剤でないと期待する結果は得られない。そこで、潜伏感染苗を本田に移植することで自然感染に近い状況を作り出し、プロベナゾール粒剤(24%)の穂枯症に対する効果を検討した。

同一圃場内に自然感染区と出穂7日前接種区を設け、穂枯症に対するプロベナゾールの効果の違いを検討した結果、自然感染条件下では穂枯症の発病程度は軽微であったが、プロベナゾールの移植当日処理は無処理と比較し、有意に発病が少なくなった。これに対し、出穂7日前接種区では発病度が高く、薬剤の効果も認められなかった(図5)。

接種法によって薬剤の評価が異なることはまま経験することであるが、伝染環に沿った自然感染に近い条件を作り上げることがいかに重要であるかが改めて認識された。

本県のいもち病防除薬剤の基幹薬剤として高い評価を得ているプロベナゾールであるが、いもち病防除剤としての位置づけは今後も変わることがないと考える。他方、もみ枯細菌病(穂枯症)等の温暖化の進展により増加すると予想される細菌性病害に対して、より有効な処理法を明らかにしようと模索しているところである。

長野県の野菜類でのプロベナゾール剤の出番は？

長野県農業試験場 企画管理部 主任研究員（生物機能工学博士） 藤永 真史

はじめに

小生が大阪の府立高校に入学したのが昭和61年4月である。この年、オリゼメート粒剤が、長野県では初めて野菜類の病害防除剤として紹介された。今回の執筆にあたり、コンピューター全盛の現在と異なるアナログ時代の当時の資料を探しに探しまくり、ようやく2冊の本に辿り着いた。一つが長野県植物防疫協会により平成6年に発刊された「長野県植物防疫史(第三集)」で、もう一方が、平成10年に発刊された「長野県南信農業試験場70年史」である。いずれもキュウリ斑点細菌病の防除薬剤としてオリゼメート粒剤の有用性が記述されている。そして、現在(平成26年)も、オリゼメート粒剤はキュウリ斑点細菌病の防除薬剤として「長野県農作物病害虫・雑草防除基準」に掲載されている。1986年から2014年と、とてもロングランな薬剤であり、今後も当分の間、その場所からいなくなることはないと思われる。ついでに当時の普及できる薬剤としての根拠(データ)を見てみた。小生の荒れに荒れまくっていた中学校時代(昭和58年～60年)の3カ年、長野県南信農業試験場環境部の先人が、オリゼメート粒剤の斑点細菌病に対する1株当たり5gの植穴処理の防除効果について検討している。3カ年とも無処理区の発病度が20～30の中発生条件で、無機銅剤と同程度の防除価が得られている。いずれの試験とも対照の銅剤散布がおおよそ1週間隔で4回連続散布であるのに対し、オリゼメート粒剤は定植時の1回処理と省力だ。当時「省力・低コスト栽培」が叫ばれている昨今の情勢のようであったならば、絶賛されたであろう。また、防除試験に供試された品種も「ときわ北星」、「近成四葉」、「鈴成四葉」と懐かしい。これら一連の試験は、農水省の「ウリ類細菌病の総合的防除に関する研究」で行われたと記載されている。これらの病害に対しては、種子消毒、連作回避、施肥の工夫、抵抗性品種の利用、耕種的防除、薬剤防除などの総合化、つまり現代で言うところのIPMそのものの防除研究がされていたが、オリゼメート粒剤の出現により、防除が比較的容易になったと記述している。改めて、薬剤による防除効果は劇的であると考えさせられた。

現在と未来の出番は？

オリゼメートの水稻での「いもち病」防除剤としての立ち位置は、蔬菜園芸作物(野菜)を専門に扱ってきた小生には良く判らない。園芸品目でも、長野県はレタス、ハクサイ、キャベツなどの比較的規模の大きな畑で栽培する葉野菜が主体的である。20年ほど前、当時大学4年生であった平成5年の冷夏が思い出される。米が不作で、インディカ米の緊急輸入が騒ぎになったが、蔬菜類の値段高騰で本県の葉野菜の産地は大賑わいであった。しかし、一部のキャベツ産地では、「黒斑細菌病(*Pseudomonas syringae* pv *maculicola*)」が大発生し、大きな問題が生じた。そこで、翌年の平成6年、長野県野菜花き試験場によりオリゼメート粒剤のキャベツ黒斑細菌病に対する防除試験が実施された。ところが、平成6年、7年、8年と猛暑干ばつで黒斑細菌病をはじめとする細菌性病害はほとんど見られず、試験が成り立たなかった。ホントに、「天气に翻弄される細菌病」と身に染みた。

平成21年に長野県野菜花き試験場が長野市松代町から塩尻市桔梗が原(旧長野県中信農業試験場)へと移転した。この頃、また過去の「黒斑細菌病」が県内のアブラナ科野菜産地で大問題となっていた。今回は天気回りとは関係なく、各地で恒常的に大きな被害が出て、生産額の減少につながっていた。「敵を知り己を知れば百戦危うからず」をいつも心がけている筆者らは、病原菌のライフサイクル(伝染環、発病条件など)の検討を徹底的に行い、如何にして発病～蔓延に至っているかを鮮明にした。つまり本病は、ハクサイ、キャベツなどの苗を植え付けた後、間もなく降雨などで飛散した病原菌が感染し、大きな被害につながることも一要因だと結論付けた。また、定植後の生育初期(植え付けから4週間程度)の徹底防除で発病が低く抑えられることも明らかにした。そこで、当時の明治製菓の開発マンT氏とひねり出した妙案(?)が、側条オリゼメート顆粒水和剤のセル苗灌注処理である。T氏は半信半疑であったが、小生には自信があった。それは、「敵を知り己を知れば百戦危うからず」の信念があったからである。とはいうものの、ほ場で数字(データ)が取れなければ何の意味もない。まず、何も考えずとにかくやってみた。しかし、やみ雲にやってももったいないということで、T氏と万が一農業登録も視野に入れるのならというコンテンツを設定し、圃場試験を行った。結果は図1のとおりで、2ヵ年とも同じ結果であった。ちょっと、研究らしいデータも取ろうかと、セル苗灌注処理によりどのくらい防除効果が発揮できるかを調べた。ハクサイの苗へ病原菌接種を行った室内試験の結果、約2週間の残効が認められた。また、3週間以降はハクサイ自身の抵抗力が発揮されるのか判らないが、大きくなったハクサイは、そもそも病原菌を接種しても発病程度が低く抑え

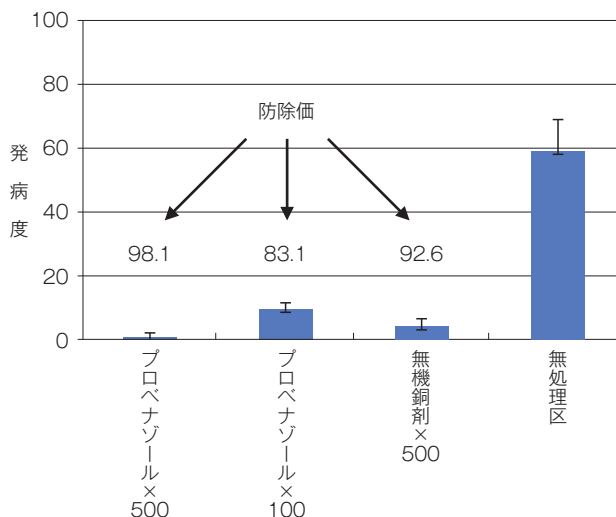


図1 ハクサイ黒斑細菌病に対するプロベナゾール剤の苗処理による発病抑制効果

試験場所:長野県野菜花き試験場内圃場

定植:平成24年7月11日、栽植距離:畝幅45cm×株間40cm 施肥・栽培管理は慣行。対照の無機銅剤(塩基硫酸銅)処理は定植後7、14、21日目の計3回、背負式動力噴霧器を用いて、200L/10aを散布した。なお、散布液には展着剤グラミン5,000倍を加用した。調査日は、8/8、に下記の基準により発病程度を調査し、発病株率をおよび次式より発病度求め、発病度より防除値を算出した。発病度 = $\sum(\text{程度別発病株数} \times \text{指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 3)$ 、発病指数 0:無発病 1:外葉の1/3以下に発病する 2:外葉の1/3~2/3に発病する 3:大部分の外葉に発病が認められる。

プロベナゾール水和剤は1トレイ(128穴)あたり500ml灌注処理。

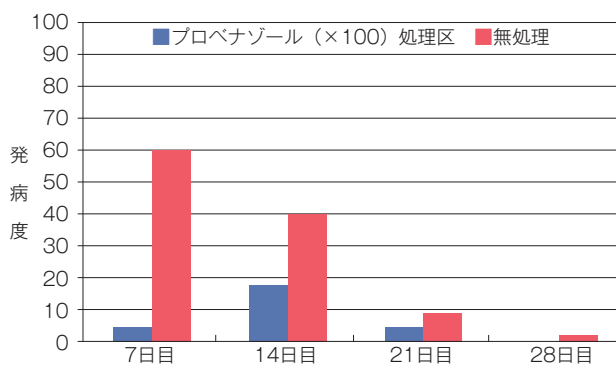


図2 プロベナゾール剤苗処理後の日数とハクサイ黒斑細菌病菌接種が発病に及ぼす影響

試験場所:長野県野菜花き試験場内ガラスハウス

品種はハクサイ「黄愛65」調査は10⁵cfuの病原菌液を噴霧接種後、任意の日により発病程度を調査し、発病株率をおよび次式より発病度求め、発病度より防除値を算出した。発病度 = $\sum(\text{程度別発病株数} \times \text{指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 3)$

発病指数 0:無発病 1:外葉の1/3以下に発病する 2:外葉の1/3~2/3に発病する 3:大部分の外葉に発病が認められる。

プロベナゾール水和剤は×100倍液を1トレイ(128穴)あたり500ml灌注処理。

られた(Adult-Resistance ?)図2。このわずか2週間の効力でも、ほ場では防除効果を示す「側条オリゼメート顆粒水和剤のセル苗灌注処理」に、他作物、他病害への展開も期待して止まない。

終わりに

最近、「古きを温ねて新しきを知る(温故知新)」という言葉がとても心地よく感じる。テクノロジーの進化、進歩は、一瞬の閃きにも左右されるものなのかもしれない。薬剤の専門家との腹を割った会話により、我々試験場職員も「ハッ！」とする閃きが得られるよう、今後ともよろしくお願ひしたいところである。

三重県におけるいもち病防除と今後の展望

三重県農業研究所 農産物安全安心研究課 病害担当 主任研究員 **鈴木 啓史**

1. はじめに

前回、30周年記念誌が発刊された2003年は、MBI-D剤耐性イネいもち病菌が佐賀県だけでなく、九州に広く発生が確認された年であった。その9年後の2012年には、Qol剤耐性イネいもち病菌が山口県で確認され、2013年には12府県に広く発生が確認された。この10年間で、2つの成分で殺菌剤耐性イネいもち病菌が発生したことは、新規作用点の新剤開発が少ない中、米生産者には脅威である。

このような状況の中、植物の抵抗性・免疫力を高める抵抗性誘導剤は、耐性菌リスクの低い殺菌剤として、ますます注目され、その役割は大きく、水稻のいもち病防除に欠かせないものとなっている。

本稿では、三重県におけるいもち病防除の10年間の変遷と、今後の展望について述べる。

2. 三重県の稲作

三重県の水稲作付面積は約3万haあり、主な品種は‘コシヒカリ’で、その作付け比率は約80%である。次に‘キヌヒカリ’が約10%で、他に三重県育成品種である‘みえのゆめ’、‘みえのえみ’や、‘あきたこまち’、‘ヒノヒカリ’などがそれぞれ1%前後作付けされている。この比率はここ10年間ほぼ一定である。

また、田植えのピークは、4月下旬から5月上旬で、三重県は8月に収穫が始まる早場米の産地である。水稻の早期化の主な目的は秋の台風を避けるためであったが、病害対策としての利点もある。田植えの早期化により、育苗期が3月から4月で、比較的低温であるため、苗いもちがほとんど発生しない。また、出穂期が平年は梅雨明け後になるため、穂いもちの発生も少ない。さらに、収穫期が8月から9月と早いため、紋枯病が垂直伝搬する前に稲刈りとなり、その被害回避にもなっている。三重県において、オリサストロピンの普及率が他県より低い要因として、紋枯病の防除ニーズが低いことが考えられる。一方で、いもち病に対する品種抵抗

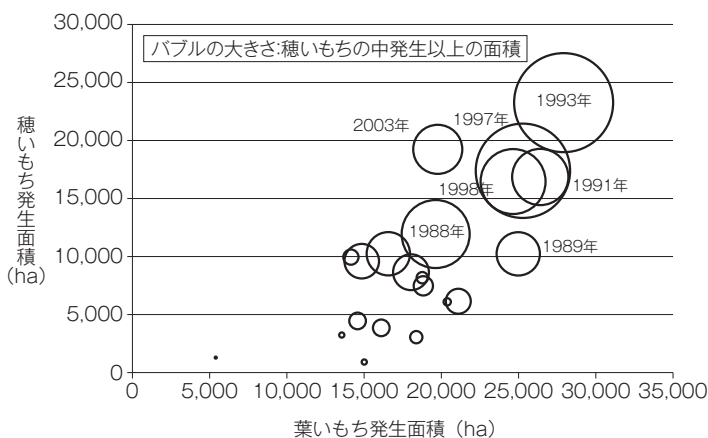


図1 三重県におけるイネいもち病の発生面積

性の弱い「コシヒカリ」が主な作付け品種であることから、三重県では、いもち病防除が必須の対策である。

3. いもち病の発生状況

三重県における葉いもちの発生面積と、穂いもちの発生面積を図1に示した。バブルの大きさが穂いもちの中発生以上の面積を示しており、実害の大きさを示している。この図から葉いもちが多い年は、穂いもちも多くなっていることが確認できる。また、1990年代のいもち病の被害の大きさに比べ、2000年代は、2003年の多発生を最後に、実害が小さい。このことは、育苗箱処理剤の普及との関係が大きいと考える。つまり、育苗箱処理剤により、葉いもちが抑えられることで、穂いもちの発生も抑制されていると考える。

三重県では、1999年からMBI-D剤の育苗箱処理が使用されはじめ、その後、育苗箱処理剤はいもち病防除に欠かせない存在となっていった。今となっては確認できないが、いもち病が多発生となった2003年には、MBI-D剤の育苗箱処理が広域に普及していたことから、この年にすでにMBI-D剤耐性イネいもち病菌が発生したため、葉いもちの防除効果が低下し、穂いもちが多発した可能性が考えられる。2001年佐賀県で初確認され、翌年の2002年には九州のすべての県において耐性菌の分布が認められていた。県内のモニタリング情報も必要であるが、県外の情報による迅速な対応が重要と考えられた。

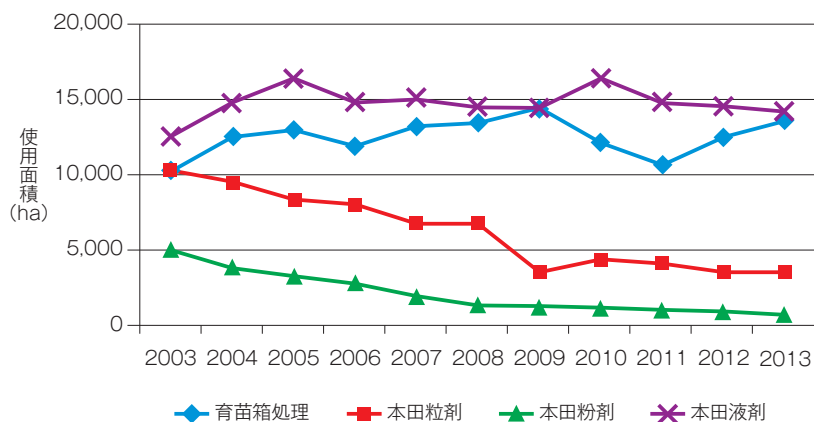


図2 三重県におけるイネいもち病防除方法ごとの使用面積推移

4. いもち病の防除対策

三重県のいもち病防除の実態を知るため、三重県病害虫防除所が、毎年調査を行っている「県内農薬流通状況調査結果(平成25農薬年度)」より、過去10年のいもち病殺菌剤および殺虫殺菌剤を抽出しその動向を調べた。

殺菌剤の使用方法は、育苗箱処理と本田液剤散布がほぼ同程度で、その使用面積はそれぞれ約14,000haであった(図2)。育苗箱処理と本田液剤散布の体系処理と考えたいところだが、三重県の水田作付面積は約3万haであることから、三重県の半数の水田が無防除とは考えにくい。おそらく、いもち病の発生しにくい平坦部では、育苗箱処理を省略して、予察情報や圃場の発生程度に応じて本田防除が行われている一方、いもち病の比較的発生しやすい中山間地では、育苗箱処理で予防的にいもち病の発生を抑え、予察情報や圃場の発生程度に応じて本田防除の実施を判断していると思われる。

また、ここ10年で、本田粒剤や本田粉剤の使用面積は、合わせて約1万ha減少しているにもかかわらず、育苗箱処理や本田液剤は、それほど増加していない。このことは採種圃場における徹底した防除体系により、いもち病の種子伝染を抑制していることに加え、プロベナゾール等の育苗箱処理の防除効果が安定していることが要因として考えられる。

育苗箱処理によるイネいもち病防除はこの10年間でしっかり定着した。しかし、育苗箱処理に利用される殺菌剤の変遷は激しい。2005年に三重県でMBI-D剤耐性イネいもち病菌が検

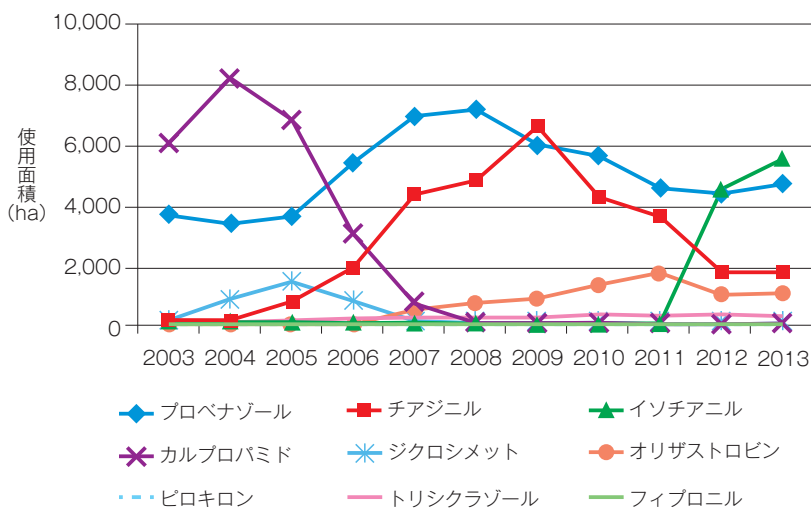


図3 三重県における育苗箱処理剤ごとの使用面積推移

出されるまでは、カルプロパミドが多く利用されていた(図3)。2006年以降、MBI-D剤の代替剤として、耐性菌リスクの低い抵抗性誘導剤(プロベナゾールおよびチアジニル)が選択され、その使用面積は拡大した。

2010年になると、1成分でいもち病と紋枯病の2病害に防除効果のあるオリザストロビンの使用面積が徐々に増加してきた。また、三重県育成品種の‘みえのゆめ’は、いもち病には抵抗性を有するものの、ごま葉枯病に弱く、QoI剤による防除が必要であるため、三重県内で約千ha作付けされている‘みえのゆめ’を対象にしたオリザストロビンが使用されており、今後も使用は続くと思われる。

イソチアニルが2012年に販売されると、その使用面積が急増した。これに伴いチアジニルのシェアは減少したが、プロベナゾールは現状を維持しており、その安定した防除効果が評価されていると思われる。

5. QoI剤耐性イネいもち病菌対策

2013年現在、九州、中国、四国、近畿地方の12府県で、QoI剤耐性イネいもち病菌が検出されている。三重県では、2013年に採取したイネいもち病菌(39地点、189菌株)に対して、QoI剤耐性菌検定を行ったところ、全て感受性菌であった。QoI剤はイネいもち病に対する防除効果が高く、優れた殺菌剤であり、三重県内でも無人ヘリを中心に広い範囲で使用されてい

る。Qol剤を適切に使用することにより、優れた効果を持続させるよう生産者をお願いしている。

いもち病に対する殺菌剤の適切な使用法は、2008年4月29日に日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会より公表されている「イネいもち病防除におけるQol剤及びMBI-D剤耐性菌対策ガイドライン」に記されている。ポイントは、Qol剤の使用は年1回までとし、採種圃場では使用しないことである。その代替剤として、もっとも期待されるのが、耐性菌が未発生である抵抗性誘導剤とMBI-R剤である。特に、抵抗性誘導剤はその作用機作から耐性菌が出にくいとされ、長期持続型の育苗箱処理の場合、耐性菌の発生リスクが低い抵抗性誘導剤を選択することが望まれる。

また、県内で突然変異により耐性菌が発生する可能性もあるが、すでに顕在化した耐性菌が種子流通で移動する可能性も考えられる。主食用イネ種子は、県内産が多いが、飼料用イネの専用品種種子は県外産が多く耐性菌発生県からの購入もある。さらに飼料用イネは、施肥量が多くいもち病の発生を助長する。このように、飼料用イネは主食用イネよりもいもち病発生リスクが高いにもかかわらず、いもち病防除が省略される傾向にある。

三重県では、飼料用イネの場合、種子消毒にペノミル剤を混和するか、育苗中に灌注するかのどちらかの追加防除を加えて、さらにWCSに使用可能な(稲発酵粗飼料生産・給与マニュアルに記載のある殺菌剤)プロベナゾールおよびイソチアニルによる育苗箱処理により、いもち病防除およびQol剤耐性菌対策としている。

6. おわりに

MBI-D剤耐性イネいもち病菌の発生から、約10年でまたQol剤耐性イネいもち病菌が国内で発生した。幸い、三重県ではまだ確認されていない。また、薬剤耐性イネいもち病菌の蔓延を許せば、優れた殺菌剤が次々と使用できなくなっていく。その点、40年間耐性菌が未発生であるプロベナゾールは、今後も耐性菌発生リスクの低い剤として、水稻生産の根幹を支えて行くものと期待している。

鳥取県におけるイネいもち病の発生状況とオリゼメートの軌跡

鳥取県農林水産部 農業振興戦略監とっとり農業戦略課 長谷川 優

はじめに

イネいもち病は鳥取県においても最重要病害であり、過去に幾度も大発生して著しい被害をもたらしてきた。偶然にもオリゼメート40周年にあたる平成26年は、冷夏長雨等により本病が多発生し、平成15年以来となる警報が発令される年となった。このような状況の中、オリゼメート剤導入地域では高い葉いもち防除効果が発揮され、改めて本剤の卓越した効果を再認識することとなった。筆者は昭和63年から現在に至るまで、いもち病等を対象とした育苗箱施用剤の効果把握試験を行うとともに、発生予察、防除指導等にも携わってきた。ここでは、これまでの経験をもとに、鳥取県におけるイネいもち病の発生状況と育苗箱施用剤を中心としたオリゼメート剤の軌跡について述べる。

イネいもち病の発生状況

平成元年以降の発生状況についてみると、警報が発令された大発生年は平成5年、平成15年および平成26年の3回であるが、その間にも注意報が10回発令されるなど、数年おきに本病の発生が問題となっている(図1)。ただし、平年(過去10年)の発生面積率は、葉いもち24%、穂いもち12%と近年では少発生傾向にあるが年次変動が大きい。また、複雑な地形と変化に富んだ気象条件に加えて育苗箱施用剤の普及状況により、本病の発生は地域によって大きく異なる。さらに、イネの栽培体系も早生種の4月下旬田植から中生種の6月中下旬田植まで多岐にわたり、本病の発生相は一層複雑なものとなっている。栽培品種についてみると、平成5年では‘コシヒカリ’等の弱抵抗性品種の作付割合は3割程度であったが、平成15年では弱抵抗性品種の‘ひとめぼれ’、‘コシヒカリ’の両品種で9割を占め、現在においても同様の傾向が続いている。例年、本病の発生が問題となるのは山間地および一部の中山間地であり、水田面積の約2～3割を占める。平年における葉いもちの病勢進展は、梅雨明けの7月20日頃まで続く。平坦地では梅雨明けとともに病勢が停滞し、またイネの出穂期が夏期の高温期と重なることから、穂いもちの発生は少ない。一方、山間地

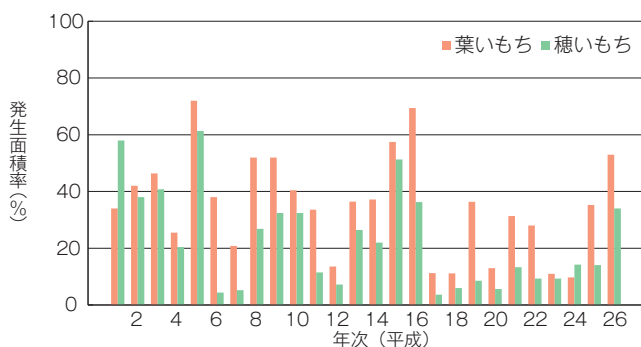


図1 鳥取県におけるイネいもち病の発生面積率の推移 (平成元年～26年)

および一部の中山間地では、葉いもちの終息前に出穂期を迎えることが多く、また出穂期以降も発病に好適な気象条件で経過することから発生相は北日本型に近く、穂いもちの発生も多い。なお、近年では6月以降の田植を中心に、苗いもちが頻発しており、平成26年の大きな発生要因となった。

イネいもち病の防除実態

本病の防除は、まず種子消毒から始まるが、現在では県採種圃の段階で温湯種子消毒が実施され、種子更新率も100%に近い。育苗期の防除については、他病害との同時防除としてベノミル剤による床土消毒やカスガマイシン剤の散布が普及拡大している。葉いもち防除については、各種育苗箱施用剤が全域で普及している。穂いもち防除については、1～2回の粉剤等の散布が行われているが、近年では無人ヘリコプター等による請負防除が3割程度を占めるようになった。なお、以前から兼業化、高齢化等の問題を抱え、防除体制は弱体化しており、緊急時の追加防除は困難な状況にある。

育苗箱施用剤の重要性

直接の被害につながる穂いもちを防ぐためには、まず、伝染源となる葉いもちの防除が重要である。現在の葉いもち防除には、長期間効果が持続する殺虫殺菌成分混合の育苗箱施用剤が全域で普及している。育苗箱施用法は、本田防除に比較して省力的で初期病害虫を効率的に防除できるとともに、環境負荷も少ない防除技術である。本県では、育苗箱施用剤による葉いもち防除の歴史は古く、平成初期には既に7割を超える圃場で使用され、全国的にも高い普及率であった。その中であって、オリゼメート剤は葉いもち防除の中心的薬剤であり、時代とともに

に進化してきた。現在の育苗箱施用剤の種類は多く、また発生する病害虫の種類も多いことから、薬剤選択は各種病害虫に対する防除効果、処理時期の幅、価格等を総合的に判断して行われている。しかしながら、葉いもちに対する防除効果が最も重要であることは現在も変わっていない。

育苗箱施用剤の軌跡

1 初期薬剤の普及(中平坦地中心)

昭和58年のイネミズゾウムシの本県侵入を機に、平坦地～中山間地では、殺虫成分と葉いもち対象の各種殺菌成分を含む混合剤が急速に普及した。葉いもち対象の殺菌成分は、イソプロチオラン(商品名：フジワン)、トリシクラゾール(商品名：ビーム)およびプロベナゾール(商品名：オリゼメートアドバンテージ、オリゼメートオンコル)であった。当時のオリゼメート剤の育苗箱施用の効果は、本田粒剤には劣るもののビーム剤に匹敵する効果を示した。実際には登録が早かったビーム剤の普及が先行し、オリゼメート剤は平成に入ってからでの普及となった。ビーム剤は平坦地では7月上旬まで葉いもちの発生を抑えることが可能であり、通常年であれば追加防除は不要であった。一方、山間地等のいもち病常発地では、育苗箱施用剤のみでは十分な効果が得られなかったことから、オリゼメート粒剤の本田施用が主体であった。しかしながら、発生を見てから散布されることが多く、毎年のように葉いもちの発生が問題となっていた。なお、本県における各種育苗箱施用剤の効果について、後述の薬剤も含めて図2および図3に示したので参考にしていきたい。

このような状況の中で、全国的にいもち病が大発生した平成5年を迎えることとなった。中国管内における発生は本県が最も少なく、中山間地～平坦地では育苗箱施用剤の有効性が示されたが、山間地等のオリゼメート粒剤(本田施用)が主体の地域では葉いもちが大発生した。これを機に、一部の山間常発地では、体系防除「ビーム剤の育苗箱施用+オリゼメート粒剤の本田施用」が行われるようになり、その後の葉いもちの発生は激減した。このように、育苗箱施用剤の導入により追加防除が減り、大幅な低コスト・省力化が図られた。昭和50年代後半～平成10年頃までは、育苗箱施用技術の発展初期であり、その後登場する長期効果持続型の育苗箱施用剤への切り替えに向けた下地作りの時代でもあった。

2 長期効果持続型の育苗箱施用剤の登場

平成3年よりカルプロパミド剤(商品名：ウィン)の試験を開始した。平坦地に位置する農業

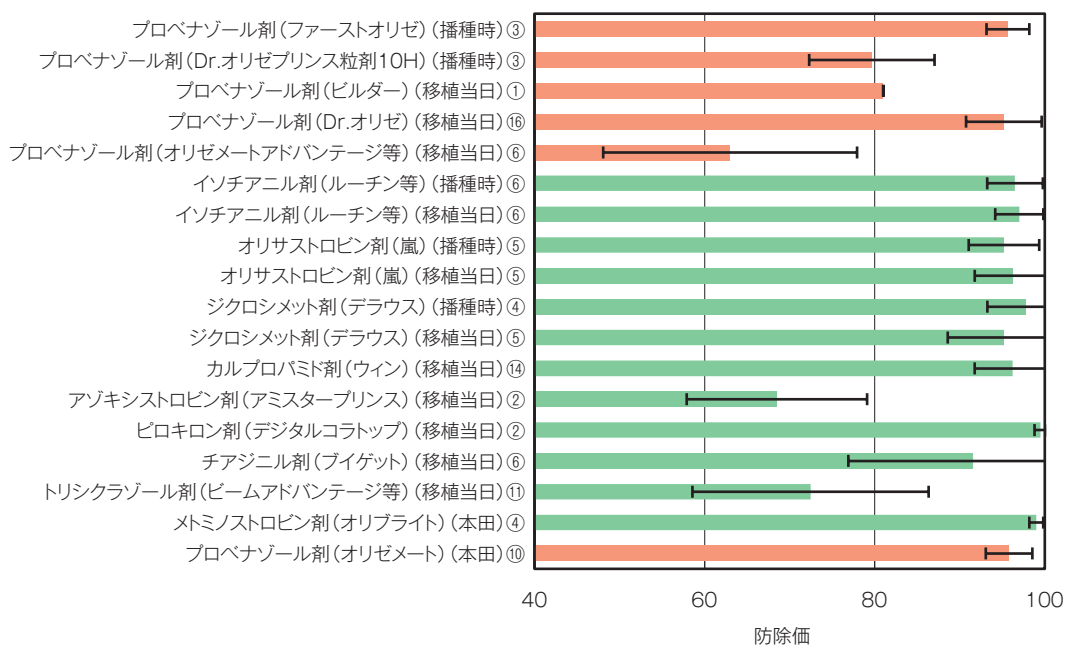


図2 鳥取県(平田地)におけるイネいもち病(葉いもち)に対する各種育苗箱施用剤の防除効果(昭和63年~平成23年)

注)防除価は平均値、バーは標準偏差を示す。薬剤名末尾の丸数字は試験例数(中発生以上)を示す。

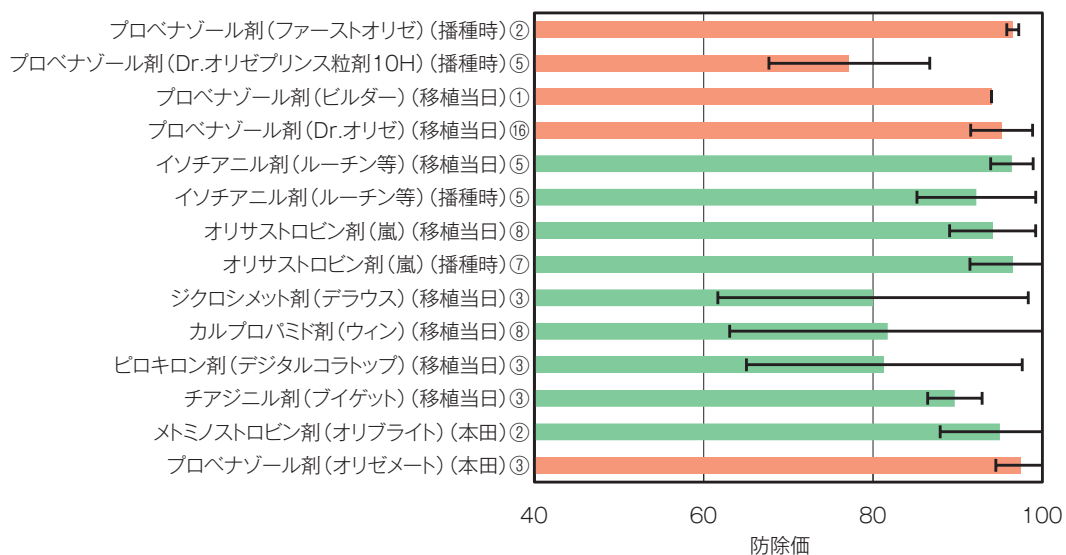


図3 鳥取県(山間地~中山間地)におけるイネいもち病(葉いもち)に対する各種育苗箱施用剤の防除効果(平成5年~21年)

注)防除価は平均値、バーは標準偏差を示す。薬剤名末尾の丸数字は試験例数(中発生以上)を示す。

試験場内の試験では、本剤はビーム剤をはるかに凌ぐ高い葉いもち防除効果を示した。また、本剤は穂いもちに対する直接の効果も確認され、将来のいもち病防除体系が一変することが予想された。一方、ウィン剤に少し遅れてオリゼメート剤の長期効果持続型製剤(24%) (商品名: Dr.オリゼ等)の試験も開始した。両剤はそれぞれ新規の長期残効を有する殺虫成分との混合剤

として商品化され、平成10年頃から県下全域で急速に普及し始めた。しかしながら、ウィン剤については、山間地では十分な防除効果が得られないことが判明した。さらに、平成15年にはカルプロパミド耐性菌(MBI-D系統薬剤耐性菌)の発生が顕在化し、その後、本剤の使用は中止されることとなった。当時、メラニン合成阻害剤である本剤の耐性菌発生リスクは低いと考えられており、十分な対策も取られないまま普及拡大した。一方、Dr.オリゼ剤導入地域では、平成15年においても安定した高い葉いもち防除効果が得られた。本剤は現在においても基幹防除剤として位置付けられており、ウィン剤とは対照的な結果となった。Dr.オリゼ剤は有効成分量を低濃度製剤の約7倍にまで増量し、溶出制御等によって薬害発生を回避することに成功し、結果として長期間にわたり高い効果を持続することが可能となった。本剤は製剤改良によって劇的に進化した画期的な薬剤と言える。現在、本剤は5割以上の圃場で普及し、安定栽培に大きく貢献している。その当時にプロベナゾールをあきらめ、新規成分の開発に舵が取られていたなら、今の状況はなかったかもしれない。

3 播種時処理を実現した最初の新薬剤

ウィン剤と同系統薬剤であるジクロシメット剤(商品名：デラウス)が、平成12年に上市された。本剤の特徴は、ウィン剤と同等の高い防除効果を有し、大幅な省力化が図られる播種時処理が可能なことであった。これまでの薬剤処理は手散布が中心であり、田植直前に散布されることが多かった。このため、散布の機械化、労働分散、散布むらの解消等が望まれていた。当時は、播種時処理法に対して否定的な意見が多かったが、将来の中心的な散布技術になると確信して試験を継続した。ところが、本剤はウィン剤と同様に山間地での効果が不十分であることが判明し、さらに、その後のMBI-D系統薬剤耐性菌の発生によって、本剤の播種時処理法の普及は実現できなかった。結果として、Dr.オリゼ剤は播種時処理に対応できなくてもライバル剤の方から消えていった。

4 プロベナゾール剤の播種時製剤実用化の長い道のり

プロベナゾール剤についても播種時処理製剤の開発が進められ、播種時専用製剤(20%)(商品名：Dr.オリゼプリンス粒剤10H)が平成16年に農薬登録された。筆者は大きな期待を寄せたが、本剤は山間常発地の試験において十分な防除効果が得られないことが判明し、平坦地を中心とした普及に留まった。このため、更なる製剤改良が行われ、平成21年に播種時専用の新製剤(20%)(ファーストオリゼプリンス粒剤10等)が登場した。しかしながら、ファースト

オリゼ剤は、後述のオリサストロピン粒剤(商品名：嵐)の後発となり、また、紋枯病防除成分も混合されていないことから、現在における本剤の普及は一部の大規模農家等に留まっている。

5 効果と価格のバランスを考慮した各種薬剤

MBI-D系統薬剤耐性菌の発生により、平成16年以降はDr.オリゼ剤が主流となる中で、平坦地～中山間地においては、実用的な葉いもち防除効果が得られ、価格を抑えた各種薬剤が次々に上市され、ウィン剤の代替剤として普及し始めた。薬剤としては、プロベナゾール剤(10%)(商品名：ビルダー、グランドオリゼメート)、チアジニル剤(12%)(商品名：ブイゲット)、ピロキロン剤(12%)(商品名：デジタルコラトップ等)等があげられる。ビルダー剤はDr.オリゼ剤と比較すると、プロベナゾール含有量は半分以下であるが、想定以上の高い防除効果を示した。なお、ブイゲット剤も抵抗性誘導型の薬剤であるが、Dr.オリゼ剤に比較すると防除効果が劣ったため、山間地等での使用は控えられた。一方、コラトップ剤は、耐性菌発生が確認されていないMBI-R系統薬剤であったが、混合された殺虫成分が本県には合わなかった。他にもイソプロチオランとピロキロンを組み合わせた複合剤(商品名：ピカピカ)、ストロビルリン系薬剤であるアゾキシストロピン剤(商品名：アミスター)なども一部で使用された。これらのいもち病防除剤は、様々な殺虫成分さらには紋枯病防除成分との組合せによって多様化し、厳しい競争の時代となった。

6 播種時処理と紋枯病にも効く嵐箱粒剤の軌跡

MBI-D系統薬剤耐性菌の発生により、長期効果持続型の薬剤はDr.オリゼ剤のみとなった。このような状況の中、新規薬剤である嵐箱粒剤の実用化に、現場から大きな期待が寄せられていた。嵐剤の本格的な普及は、播種時処理の適用拡大を受けて平成20年から始まり、JA育苗センター、大規模農家等を中心に急速に拡大した。本剤は苗いもちから場合によっては穂いもちまでの長期残効を有し、また、重要病害である紋枯病にも卓効を示す。さらに、本剤の播種時処理は、省力化、労力分散、防除効果の安定化等が図られることも大きな利点であった。本剤導入地域では、いもち病および紋枯病の発生が激減し、その後も大きな問題はなく経過した。一方、本剤未導入地域では、JA育苗センター等で苗いもちが大発生し、大きな問題となった。近年、温暖化の影響により、苗いもちの発生頻度が高まっており、地域によっては本剤への依存度は高い状況にあった。このように本剤導入のメリットは大きいですが、一方では、導入当初から耐性菌の発生が懸念されていた。平成24年に国内で耐性菌発生が確認され、本県においても平成25年に本耐性菌の発生が一部地域で確認された。しかし、発生原因が一部の県外産種子であり、

本県採種圃は健全であったことから、平成26年における本剤の使用は継続されることとなった。平成26年は冷夏・長雨により、本剤導入地域では葉いもちが多発生した。しかし、ある程度の発生を想定していたこともあり、迅速な防除対応が行われ、平成15年のような大被害には至らなかった。最終的には、採種圃場においても低率ではあるが耐性菌の発生が確認され、本剤の使用は困難な状況となった。また1剤、オリゼメート剤のライバル剤が消えていくこととなった。

7 播種時処理可能な新たな抵抗性誘導剤の登場

新規の抵抗性誘導剤として、イソチアニル剤(商品名:ルーチン、ツインターボ(殺虫成分含む)、スタウト等)が平成22年に農薬登録された。本剤は播種時～移植当日までの処理が可能であり、早生品種を用いた試験では、Dr.オリゼ剤およびファーストオリゼ剤と同等の高い葉いもち防除効果を示した。また、本剤は複数の殺虫剤さらには紋枯病防除剤と組合せた混合剤が開発されており、病害虫の発生状況に応じた選択が可能となっている。中でも紋枯病に対して播種時処理可能な製剤が平成26年に農薬登録され、ファーストオリゼ剤の大きな脅威となっている。

育苗箱施用剤の今後の展開

1 新薬剤の葉いもちに対する本当の実力

葉いもち防除剤としては、今後はプロベナゾール剤(Dr.オリゼ剤、ファーストオリゼ剤等)および各種イソチアニル剤が中心となり、抵抗性誘導剤一色の状況が続くと考えられる。ただし、葉いもちに対する本当の実力は多発生年に遭遇して初めて分かる。Dr.オリゼ剤は、平成15年および平成26年にその実力が発揮された。ファーストオリゼ剤およびイソチアニル剤については、山間常発地等の試験においても高い防除効果が得られているが、多発生年における評価はこれからである。

2 多様な殺菌殺虫成分の組合せ

現在、前述のいもち病防除成分と複数の殺虫成分さらには紋枯病防除成分との組合せによって、数多くの薬剤が使用可能であり、除草剤と同様に戦国時代ともいえる状況にある。本県では、各種害虫をはじめ紋枯病の防除も重要である。きめ細かな防除対応が困難な状況の中で、現場からは山間地から平坦地までカバーできる薬剤が求められている。また、JA育苗センター、大規模農家に対しては、播種時処理への対応も重要である。

3 薬剤耐性菌の可能性

MBI-D系統薬剤およびストロビルリン系薬剤の耐性菌発生は、本県においても大きな問題となり、改めて耐性菌リスク管理の重要性を認識させられた。今後の育苗箱施用剤は、長期効果持続型の抵抗性誘導剤が主体となる。プロベナゾール剤は40年間使用されてきたが、耐性菌発生は報告されていない。これまでの薬剤の導入実績、作用機作から考えても、耐性菌が発生する可能性は極めて低いと考えられる。

4 オリゼメート剤への要望

今後、オリゼメート剤をはじめとする抵抗性誘導剤に求めることは、まず苗いもちおよび苗腐敗症(もみ枯細菌病菌)への対応である。本県では温暖化の影響で、育苗期の気温が高い年が多くなっており、上記病害の発生が大きな問題となっている。とくに苗いもち対策は緊急性が高く、平成26年も苗いもち由来の大規模なずり込みが発生し、大きな問題となった。このような状況では、抵抗性誘導剤の効果は低く、再移植や追加防除が必要となる。本県で普及している播種時処理において、ファーストオリゼ剤の安定した効果を得るためにも、他の殺菌成分の混合等による苗いもち対応が求められている。また、ファーストオリゼ剤については、紋枯病の同時防除が可能な製剤の開発も重要である。さらに、今後の防除技術として、種子塗沫等により省力・効率的な処理法への対応を期待したい。

おわりに

育苗箱施用法は、本県の水稲病害虫対策には欠かせない防除技術であり、今後とも複数の殺虫・殺菌成分を含んだ混合剤が主体となり、高い普及率が維持され则认为られる。これに対しては過剰防除との意見もあろうが、多種類の病害虫が発生する西南暖地においては、現実的な選択であると考えられる。農薬業界も厳しい情勢の中、新剤の開発も少なくなっている。国内努力だけでは困難なものもあるが薬剤耐性(抵抗性)等の問題が発生する前に、既存の薬剤を長く使うための様々な対策を講じることも重要である。オリゼメート剤は、多数のライバル剤と競合する中で、時代とともに着実に進化しながら40年もの長きにわたり、水稲の安定栽培に大きく貢献してきた。本剤は今後もイネいもち病の主力剤であることは間違いなく、50周年に向けて更なる飛躍を期待する。

山口県におけるイネいもち病の発生と防除対策について

山口県農林総合技術センター 農業技術部 資源循環研究室 山口県病害虫防除所

角田 佳則

近年、夏の時期には、全国のあちこちで頻繁に集中豪雨による災害や気象記録の更新などの報道が流される。本年も台風や前線の影響によって、各地で豪雨やそれに伴う土砂崩れ等の被害が発生し問題となった。本年の夏、特に8月は記録的な曇雨天続きであり、「平成26年8月豪雨」と命名され歴史に刻まれることになった。山口県を含む九州北部地方の8月の日照時間は、平年比43%と極端に少なく、病害虫の発生についても、例年になく多くの県で葉・穂いもちの注意報や警報が発令される事態となった。こうした頻繁な災害の発生や異常気象については、地球温暖化の影響があるとされており、そのことについては多くの報道がなされている。そのこと自体は首肯できることであるが、我々はともすると自然現象における変化の多くを地球温暖化のせいにしてしまいがちである。例えば、本年は例外となったが、近年はイネいもち病の発生が少なく、現場では異口同音に温暖化が原因で、今後とも発生しないのではないかという意見さえよく耳にしたものである。しかし、一方では農薬が良くなったからという声もあり、私自身そのあたりのことについては、深く考える機会がなかった。そこで、オリゼメート剤の40周年記念誌の原稿作成にあたり、山口県の水稲栽培における病害虫、特にイネいもち病の発生と防除について、病害虫発生予察事業年報等の記録をもとに考察してみた。

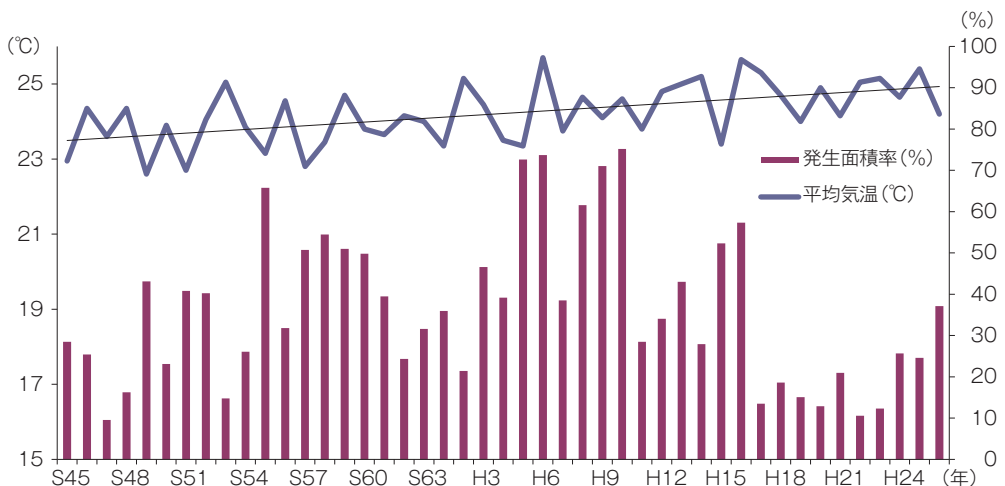


図1 山口の45年間の6～7月の平均気温と葉いもちの発生面積率の推移

先ず地球温暖化の問題については、気象庁のデータでは、明治31年(1898年)以降、我が国の平均気温は100年当り1.1℃の割合で上昇しているとされている。山口県のような田舎でもそれは同様なのか、気象庁の記録データから、特に葉いもちの発生に影響すると考えられる6～7月の気温について、昭和45年から本年まで過去45年間の気象と県内の葉いもちの発生面積率とを比較してみた(図1)。昭和45年からとしたのは、丁度昭和45年前後が稚苗移植技術の普及定着期にあたり、それ以前のデータは栽培方法の違いから比較できないと考えたからである。平均気温については、近似直線から見ると45年間で確かに1℃程度は上昇しており、いもち病の発生に全く影響していないとは言い難いデータである。ただ、県全体の葉いもちの発生面積率との間に相関はなく、図1を見る限りで強いて言えば、多発年は平均気温の低い年が多いと言ってもよさそうかなという程度である。もちろん、葉いもちの発生には温度以外の様々な要因が関与することは常識で、そう単純に解析できることではないから当然のことではある。一方で、図1からは、平成17年以降、最近まで葉いもちの発生が少ないことも見て取れる。では、最近の葉いもちの少ないことは気温の上昇の所以であろうか、このことについて少し別の観点から見てみたい。

昭和45年以降の山口県における水稻のいもち病に対する注意報と警報の発令状況を表1に示す。これを見ると、昭和45年から昭和50年代の中ごろまでは毎年のように葉・穂いもちの注意報や警報が発令されているが、昭和58年頃からは発令の頻度が低下してきている。そしてその後平成の初頭までは発令が少なく、平成3年以降平成10年頃まで再度発令が頻繁になり、平成11年以降は平成16年以外ほとんど発令されていない。このような傾向は葉いもちの

表1 山口県におけるいもち病の注意報・警報の発令状況

年次	葉いもち	穂いもち	年次	葉いもち	穂いもち	年次	葉いもち	穂いもち
S45	○	○	S60	○		H12		
S46			S61			H13		
S47	○		S62			H14		
S48	○		S63			H15		
S49	○	●	H1			H16		○
S50	○	○	H2			H17		
S51	○	○●	H3	○		H18		
S52	○		H4		○	H19		
S53			H5	○	○●	H20		
S54			H6		○	H21		
S55	○	○●	H7			H22		
S56	○		H8	○		H23		
S57		○	H9		○	H24		
S58			H10	○	○	H25		
S59			H11			H26		○●

注)○:注意報、●:警報

発生面積率の推移ともある程度一致している。こうした発生の推移は、一見単なる偶然のばらつきのようにも見えるが、防除薬剤の変遷や薬剤耐性菌の発生と照らし合わせたとき、必然とも思える事象が見えてくる。少し昔の話をする、筆者が県に奉職したのは昭和55年であるが、その年は記録的な冷夏・長雨で、いもち病の発生は30年以上経た今でも話題に上るほどにさまざま、衝撃的であった。その当時の防除薬剤は本田の粉剤が中心であったが、特効薬とされたブラストザイジンS剤も十分な効果が得られなかったことを記憶している。しかし丁度その頃から、プロベナゾール(オリゼメート)粒剤やイソプロチオラン粒剤などの新しい本田粒剤・箱粒剤が現場で実証展示されるようになり、昭和55年の大発生の衝撃も影響したのか数年で普及定着することとなった。筆者も普及所の確認圏を担当し、調査を行ったが、これらの剤は当時の慣行剤と比較して効果が高かった。

その後しばらくの間は葉いもちの発生も小康状態であったが、平成3年以降にはまた多発するようになった。平成7年に分かったことであるが、当時県内ではIBP剤やEDDP剤などの防除薬剤で耐性菌が発生しており、特にIBP剤の耐性菌は全域で認められ、菌株率も46.8%と高くなっていた。両薬剤は、日本植物防疫協会のデータベースに記録された出荷量から計算した散布面積では、粉剤と粒剤を合わせて、のべ約40,000ha程度は利用されていたと思われ、発生が多くなった原因の一つにはこのような事情が関与していた可能性も否定できないと考える。さらにその後、平成10年を最後とするように注意報等の発令が少なくなり、いもち病の多発生が認められなくなっていく。特に葉いもちについては徐々に発生ほ場率が減少し平成15～16年頃に一旦上昇するがまた減少する。

では何故平成10年以降はいもち病の発生がそのような推移を示したのか。この点については、本県における長期持続型箱施用剤の普及時期が平成11年頃であったこと関連していると考えられる。過去の県内のいもち病防除剤の出荷量の推移を見ると、図2に示す山口県におけるいもち病防除用粒剤ののべ使用面積に見られるように、平成11年はMBI-D剤であるカルプロパミド剤が一気に増えた年であり、4,600ha分の薬剤が出荷されている。その後本剤は数年で使用量が倍増し、8,000ha以上で利用されるようになった。しかし本剤については、平成16年には薬剤耐性菌の発生が確認され、発生ほ場率が77.3%と非常に高かったことから、関係機関と協議し使用を中止した。平成15年には注意報は出ていないが、葉いもちの発生ほ場率は52.3%と高く、16年には57.3%で穂いもちの注意報が発令されている。当時のいもち病の多発生は、薬剤耐性菌の発生と関連性が高いと考えられる。そしてその後は、いもち病の発生は少なくなり、最近まで葉いもちの発生ほ場率が10%台を超えることはなかった。その

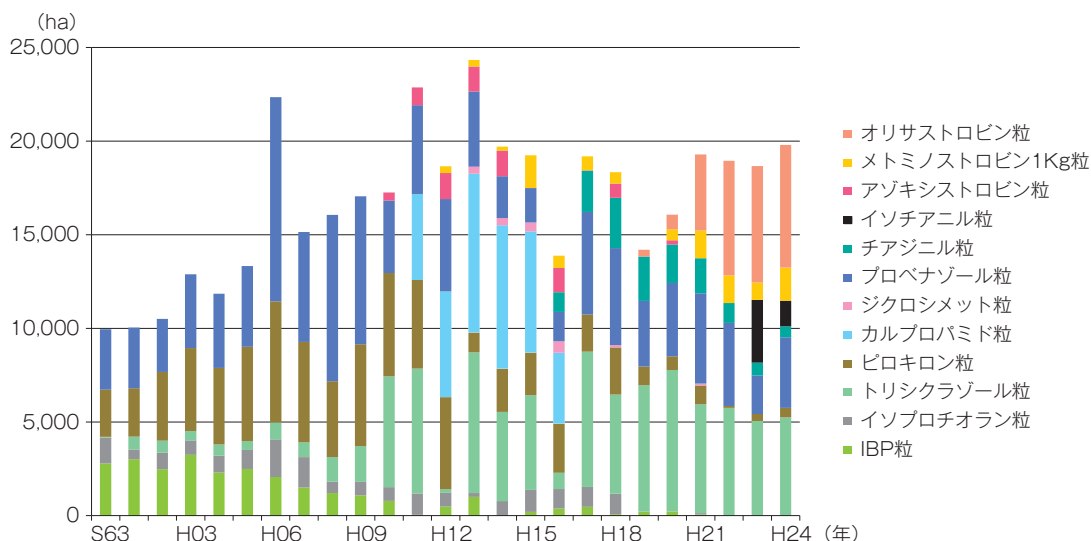


図2 山口県におけるいもち病防除用粒剤ののべ使用面積 (ha)

注1) 本田使用剤は10a当たりの最低使用量で計算した。
 注2) プロベナゾール剤、ピロキロン剤などの単剤は本田使用剤として計算した。
 注3) IBP剤等一部の薬剤はいもち病防除以外に使用されたものも含まれる。

背景には、オリゼメート粒剤が平成10年以降Dr.オリゼ箱粒剤として販売が始まったこと、また平成16年から新たな抵抗性誘導剤としてチアジニル剤が販売されるようになったこと、さらに平成10年前後から販売が始まった新しいタイプの殺菌剤であるストロビルリン系剤(Qol剤)が徐々にシェアを伸ばし、中でも平成19年に導入されたオリサストロビン箱粒剤は導入後数年のうちに5,000ha以上で利用されるようになったことなどが挙げられる。平成10年以降に導入された薬剤は、薬剤耐性菌が発生するまではいずれも効果が高く、特に長期持続型の製剤は筆者らの試験でも見かけ上は70日以上(実際は2か月程度か)の残効性を有していた。このため、施用された殆どのは場で高い効果を示し、連年のいもち病の発生を抑制したと考えられる。

ただし、ここ最近については、状況に陰りが見られるようになってきている。平成24年に県内でQol剤感受性遺伝子変異いもち病菌が発見され、その発生ほ場率は62%にも達していたからである。平成24年頃から徐々に葉いもちの発生ほ場率が増加しているのはそのためかもしれない。このように見ていくと、いもち病(特に葉いもち)の県域全体での発生には、気象変動の影響を否定するわけではないが、それ以上に薬剤のシェアとその効果が大きく影響すると考えざるを得ないのである。

以上のように考えると、近年いもち病の発生が少ないのは薬剤の効果が高いからであり、ひとたび薬剤耐性菌の発生などの事態が生じれば、いつでも発生面積の増加が起こるのではない

かという懸念を抱かざるを得ない。過去の教訓から、今後の水稻における病害虫防除を安定的なものにしていくためには、薬剤の使用方法について栽培暦の見直しなどを含め、新たな対応が必要になるとと思われる。

これまで述べたように、優秀な薬剤を長期にわたって使い続けることができなかつた原因は、作用機構について深く考えず、効果が高いからと同一あるいは同系統の薬剤を広範囲で連続して使用したことにあると考えられる。しかしながら、この問題を解決するのは容易ではない。農薬のユーザーである栽培者は、効果の高い薬剤があると聞けば、誰しも自分も使いたいと欲し、それを止めることはできないからである。では、いもち病の今後の防除にどう対応するのか、筆者なりの思いを述べてみたい。

状況を改善するための一つの手段としては、FRACやIRACなどの農薬の作用機構分類の普及が挙げられる。この手法は農薬の連続使用による薬剤耐性菌や薬剤抵抗性害虫の出現を避けるための有効なツールと考えており、平成25年から本県の農作物病害虫・雑草防除指導基準に掲載しているが、未だ定着しているとは言えず、今後様々な機会に紹介し普及を図っていく必要がある。また、栽培暦の作成に当たっては、FRACの分類の基本である作用機構を理解した上で、地域の実情に合った薬剤の選択を行うことが望ましい。たとえば、少し具体的なことを言えば、抵抗性誘導剤の有効利用を図ってはどうか。抵抗性誘導剤はその性質上、病原菌体に直接作用しないことから治療的効果はなく、薬剤のキレという点ではメラニン生合成阻害剤(MBI剤)やストロビルリン系剤(Qoi剤)に比べるべくもないが、薬剤耐性を生じていない点で優れている。いもち病の近年の増加傾向は、キレの良い箱処理一発剤を求めた挙句の現象とも考えられ、防除体系を見直すべき時にきているのかもしれない。

冒頭にも書いたが、本年は山口県下も大変な日照不足と多雨に見舞われ、8月上旬の巡回調査では葉いもちの発生ほ場率が29.1%となり、平年を大きく上回ったため、8月8日に穂いもちの注意報を発令した。その後も8月終わりまで不順天候が続いたが、幸いなことに葉いもちの発生ほ場率は37.1%までしか増加しなかつた。この発生程度は同様の情報を発令した周辺県と比べても少ない数値となった。この要因としては、情報発令後の防除が適切に行われたこともあると思われるが、8月上旬時点のほ場率を30%程度で抑えていたことの意味は大きいと考える。本県の場合は、平成24年にQoi剤の耐性菌株が見つかって以来、関係機関・団体と協議の上で同系統剤の使用を止めており、箱施用剤や本田剤にこれらを使わず、抵抗性誘導剤などの他系統剤に切り替えている。防除所の調査では、平成25年には79%、平成26年には86%で抵抗性誘導剤が使用されており、それが葉いもちの発生ほ場率を抑制した可能性があ

る。このことについては現在の段階では筆者の私見であり、今後の解析を待つ必要があるが、本年の経験は貴重なものとして今後の防除体系の構築に生かしていく必要があると考えている。

抵抗性誘導剤については、近年ではオリゼメート剤以外にも同一系統剤が複数種販売されており、選択肢の幅も広がっている。これらの剤を予防剤として、育苗箱施用をはじめとする初期防除に有効に活用することにより、いもち病に強い水稻栽培が実現できるのではないだろうか。なお一方、昨今の箱施用剤については、いもち病防除剤についても単剤で処理されることはまれで、殺虫剤や紋枯剤等との混用剤の形で利用されるのが一般的である。ユーザーとしてみれば、薬剤の選択に当たって、いかに合理的な剤の組み合わせがされているかが重要な基準となる。山口県においては、こここのところ2年続けてトビイロウンカの多発生があり、薬剤抵抗性の発達も大きな要因と考えられており、ピメトロジン(チェス)を含む剤などが注目される一方、作用性の異なる新剤の開発やその組み合わせが強く要望されている。また、本県を含め西南暖地にあっては、紋枯病の発生も多いことから箱施用剤で同時防除したいという要望は強い。ただ、実際にそのような様々な要求を満たす剤は少なく、現場のニーズに合わせた今後の開発が望まれる。箱施用剤にはオールマイティーな一発処理効果を望むのではなく、あくまで予防的な薬剤として、本田散布剤との体系処理で防除を考えたい。各種病害虫の初期の密度を低く管理できれば、本田での年ごとの病害虫の発生状況に応じた効率的防除も可能になり、薬剤耐性菌や抵抗性害虫の出現も抑制しやすいのではなかろうか。本年の病害虫の発生状況から、新たな薬剤の登録や普及が待ったなしの状況であることを再認識するとともに、今後ともメーカーと関係機関で協力しながら、現場の要望に応えるべく努力することの必要性を実感している。

佐賀県におけるイネいもち病の防除と今後の対応

佐賀県農業技術防除センター 病害虫防除部 部長 山口 純一郎

1. 佐賀県におけるいもち病の発生状況等

1) 水稲の作付状況

本県の水稲は、主に県北西部を中心に早期、県北部の山間部を中心とした早植え、山麓、平坦部を中心とした普通期でうるちとモチが作付けされている。

現在のうるちの品種は、早期が「コシヒカリ」、普通期が「ヒノヒカリ」や本県独自開発品種である早生の「夢しずく」と高温適応性の高い「さがびより」の3品種がほぼ同程度の面積で栽培されている。一方、モチでは、主に「ヒヨクモチ」が従来から作付けされている。これらは高品質かつ良食味の品種であるが、いずれもいもち病に弱いため、常発地帯での防除対策は栽培技術の中でも重要な位置を占める。

2) 発生状況

早期栽培や山間部の早植え栽培地帯においては、葉いもちが6月下旬から7月上旬に発生し始め、普通期栽培の山麓部地帯では7月上旬から中旬に発生し始める。いずれも梅雨期を中心に進展し、梅雨が明けると一旦停滞する。しかし、下葉の病斑は消えることなく、曇雨天が続くと上位葉に進展して穂いもちの発生につながる。

年次別の発生推移において1980年代は発生が停滞していたものの、1993年の冷夏長雨の年に本病が大発生した。その後一時的に減少したものの、2000年の初め頃にMBI-D剤耐性菌の発生が原因と考えられる多発生年が数年続いた。その後、苗いもち多発や発病に好適な気象に伴う多発生年がみられたものの、発生面積は漸減傾向にある(図1)。

2. 薬剤防除体系

1) 長期残効型箱粒剤

本県はウンカ類の多飛来地域であるため、従来からウンカ対象に栽培面積の7～8割で箱粒

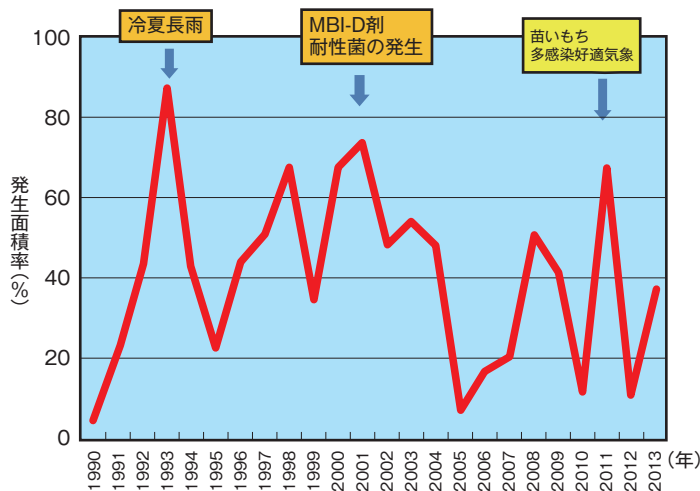


図1 佐賀県における葉いもちの年次別発生推移

剤が施用されており、いもち病の発生地帯では、いもち病を対象の薬剤が混合された箱粒剤が使用されてきた。その中で、移植時に施用することにより、その効果が長期に持続する長期残効型箱薬剤の普及が進み、現在ではいもち病ばかりでなく紋枯病、ウンカ、コブノメイガ等水稻病害虫の防除の柱となっている。

2) MBI-D剤、QoI剤耐性菌の発生

いもち病に対する箱粒剤は、それまでのトリシクラゾール箱粒剤から高い防除効果と持続効果を持つ長期残効型箱粒剤であるMBI-D剤(シタロン脱水酵素阻害型メラニン合成阻害剤)のカルプロパミド箱粒剤へ1998年頃から切り替えられ、県内で広く普及した(図2)。

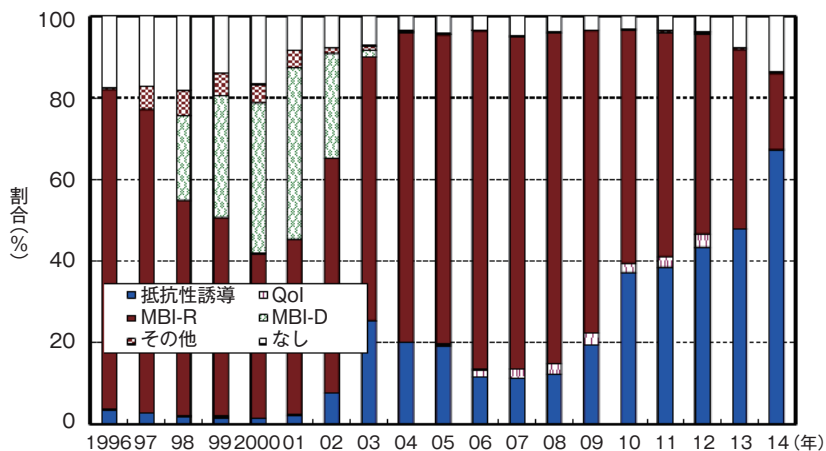


図2 佐賀県における水稻殺菌箱処理剤の流通割合の年次推移

ところが、2001年に県西北部地帯を中心として本箱粒剤を施用したにもかかわらず、葉いもちが多発生し、中にはずりこみ症状を呈する圃場もみられるなど、その効果が著しく低下する現象がみられた。そこで病原菌の薬剤感受性、気象要因、作付け品種、発病苗の持ち込み等各種要因について解析を行った結果、当該地区における多発生はMBI-D剤耐性菌の出現が原因であることが明らかとなった。2002年には、県内のいたる所や九州各県で耐性菌が認められ、その後西日本の各地、東北、北海道でも確認されるなど発生は全国的に拡大している。

MBI-D剤については2003年以降県下全域で使用の自粛を指導し、箱粒剤には耐性菌にも安定した防除効果を示す抵抗性誘導剤を中心とした他系統薬剤の使用を指導した。

その後、他系統薬剤の一つであるQol剤長期残効型箱剤(嵐箱粒剤)が登録されたが、耐性菌のリスクが高いと考えられたため、佐賀県では「県防除の手引き」への掲載を見送った。しかし、一部の地区で連年使用され、他県と同様に2013年に耐性菌の発生が確認された。

3) 耐性菌発生後の防除対応

MBI-D耐性いもち病菌の発生は、これまでの長期残効型箱剤に頼りすぎた防除体系の問題点を浮き彫りにし、本県でそれまで重要視されてなかった本病の種子伝染対策による初期菌密度抑制を含めた総合的な防除の重要性が再認識された。現在、この伝染環を絶つような防除対策を総合的に指導している(図3)。

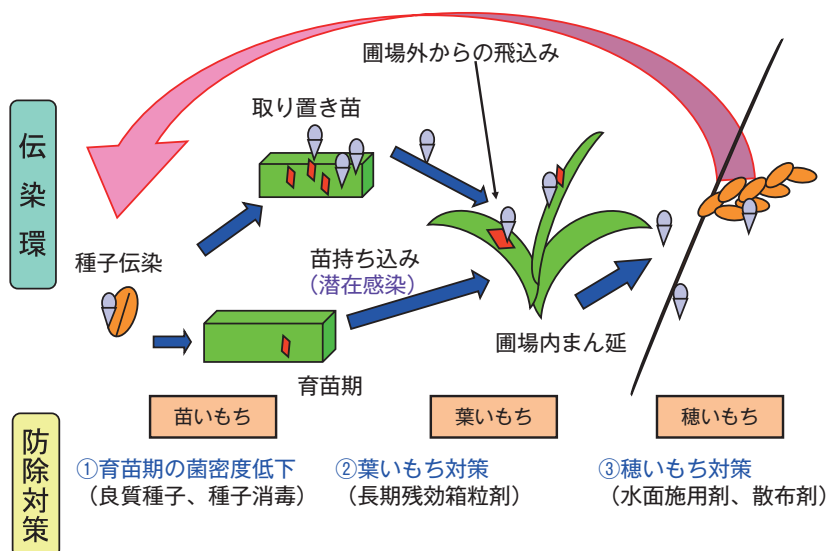


図3 いもち病の主な伝染環と防除対策

(1) 良質種子の確保

いもち病の伝染環については、近年種子伝染の重要性が認識され、県内においても、種子伝染により同一の個体菌群が維持されていることが明らかとなっている。このように種子はいもち病の第一次伝染源として非常に重要であり、種子での対策を図ることが圃場での発生を抑えることにつながる。

耐性菌の発生当時、本県の種子更新率は低く、自家採取籾を種子として使用している農家もみられた。その後、生産履歴を明確にした「安全・安心な農作物」と「良質・均質な米」の安定生産・安定供給を目指すために、良質種子の安定供給が柱の一つとして進められた。種子更新率も2002年の60%台から13年には90%以上にまで高まっている。さらに、種子生産の場面における品質向上対策として種子消毒の徹底、本田期防除の徹底などによる種子伝染性病害虫防除の推進が図られている。

(2) 種子消毒による初期菌密度低下対策

種子伝染のリスクを回避するためには、良質種子の確保に加え、種子消毒を徹底する必要がある。いもち病菌は、種子～育苗期に発生又は潜在感染した苗で本田へ移植とともに持ち込まれ、その後の発生源となることが指摘されており、本県においても状況的ではあるものの確認されている。

種子消毒剤によるいもち病の本田持ち込み抑制効果を検討したところ、慣行の種子消毒剤に苗いもちに効果の高いペノミル(ベンレート)水和剤を混用することで、本田持ち込みが抑制された。このように、種子消毒による本田初期の菌密度の低下が可能であった。ペノミル剤を混用した種子消毒は、県内で種子を生産する一部の地区において、防除暦に掲載され取り組まれている。

(3) 箱薬剤による防除(残り苗、圃場外からの飛び込み対策)

本田の伝染源として、前述の苗持ち込みの他に圃場外や移植残り苗からの飛び込みがあり、これらの伝染及び本田での発病抑制に対しては、移植時施用の長期残効型箱処理剤が有効である。前述したとおり長期残効型箱粒剤としては、2001年のMBI-D剤耐性菌確認以降、耐性菌発生リスクが少なく、安定した防除効果を示す抵抗性誘導剤を中心に使用を指導している。

抵抗性誘導剤は従来、プロベナゾール剤(Dr.オリゼ箱粒剤、ビルダープリンス粒剤等)のみであったが、チアジニル剤(ブイゲット粒剤等)、イソチアニル剤(ルーチン粒剤等)も登録されて薬剤の種類と殺虫剤との混合剤の種類が増え、さらに播種時処理などの使用方法も増えて生産現場での適用性が高まり、今や長期残効型箱薬剤の中の主流となっている(図2)。

(4) 本田～出穂期の防除対策

いもち病の常発地帯では、本田での散布剤によるいもち病防除が穂ばらみ期～穂揃い期やウンカ等の害虫の防除時期の同時防除として無人ヘリコプターや乗用管理機などによって行われる。特に、近年は安全・安心に対応した生産体制が求められる中、生産履歴を明確にするために、集落又はカントリー単位で使用薬剤等の防除体系が統一される傾向にある。

しかしながら、2013年に多発生したトビイロウンカの防除対策において、ミスト散布機の保有率が減少し、個人防除が思うように進まなかった事例もあり、臨機防除の機動性をいかに確保するか等の課題が挙げられる。

4) 今後の防除対応

いもち病の防除薬剤として長期残効型箱粒剤が普及し始めて約20年経過した。長期残効型箱粒剤は、いもち病に安定した効果を示す一方で、病原菌への暴露期間が長く耐性菌の発生リスクが非常に高い剤型となることが指摘されている。実際、長期残効型箱粒剤として施用したMBI-D剤、Qol剤の場合は、普及後4～10年で薬剤耐性菌が発生している。一方で、抵抗性誘導剤は以前から普及し、長期残効型箱粒剤として利用されてきたにもかかわらず、耐性菌の発生は今のところ確認されていない。従って抵抗性誘導剤の長期残効型箱粒剤を用いたいもち病防除体系は、今後とも続くと考えられる。

しかし、抵抗性誘導剤が直接的な効果を発揮するのは、今のところ葉いもちであり、多発時には別途穂いもちへの防除が必要な場面も出てくる。そこで、穂いもちまでの安定した防除効果を得るために、良質種子確保や種子消毒の徹底、抵抗性誘導剤の地域全体での使用等の初期菌密度低下対策を組み合わせていくことが重要である。

ネギ軟腐病に対する プロベナゾール剤の効果的な散布体系

大分県豊肥振興局 主幹 山崎 修一

はじめに

ネギ軟腐病は、*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (Jones 1901) Bergey, Harrison, Breed, Hammer & Huntoon 1923および*E. chrysanthemi* Burkholder, McFadden & Dimock 1953による細菌病である。症状は、地際部を中心に葉鞘が軟化腐敗するとともに、葉身では暗緑色水浸状病斑を生じ、のち内部が軟化腐敗して悪臭を発生する(田中, 1998; 滝川ら, 1983)。病原菌の最適発育温度は28 ~ 34℃であり、大分県では、毎年7月上旬~9月上旬頃に発生する。また、土壌湿度が高い場合に発病が多いため、この時期に長雨や台風の通過等が重なると多発しやすい。

本病の有効な防除手段の一つとして、プロベナゾールを含む粒剤が登録されている。プロベナゾールは、植物免疫の活性化により病原菌の感染を防ぐタイプの薬剤であり、耐性菌出現の可能性が低いことや非標的生物に対する影響が少ないなどの特徴を有する。また、予防効果や残効性に優れており、本病の防除に欠かせない有効な防除薬剤として全国のネギ産地で広く利用されている。しかし、治療効果を有しないことや本病の発生時期が約3ヶ月以上と長期に渡ることから、防除効果は散布時期に左右されやすい。大分県ではプロベナゾール粒剤の6月下旬1回散布を慣行としている。しかし、本体系による防除効果は、圃場間差が大きく十分な効果が得られていないことが課題である。

本研究では、速効性が高いプロベナゾール粒剤と残効性に優れたベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤の散布時期、回数および組みあわせによる効果的な本病の防除体系を検討したので報告する(山崎ら, 2010)。



①ネギ軟腐病
上段:軟腐病による発病株、
下段:プロベナゾール粒剤による防除効果
(黄色矢印が散布した畝を、赤矢印が無散布
の畝を示す)

本論文を執筆するにあたり、御支援を賜った山形大学名誉教授富樫二郎博士に心より深謝の意を表す。また、本研究は、九州病害虫防除推進協議会連絡試験において、鹿児島県農業開発総合センター満塩和昭氏および中西善裕氏との共同研究で得られたものである。さらに、各種薬剤の提供についてはオリゼメート普及会(明治製菓株式会社、北興化学工業株式会社)に御協力いただいた。ここに記して篤く御礼申し上げる。

I 粒剤の散布時期および回数と防除効果との関係

現地慣行である6月下旬プロベナゾール粒剤1回散布と比較して、5月下旬～6月上旬にベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤を追加散布した2回散布体系(体系①)は防除効果が概ね高かった(表1)。また、1年間のデータではあるものの、7月下旬にプロベナゾール粒剤を追加散布した2回散布体系(体系③)も、現地慣行より防除効果が概ね高かった(表1)。この理由として、

表1 プロベナゾール剤の散布体系の違いによる防除効果の比較

試験年度	試験圃場	標高(m) 土性	定植日 品種	試験区 ^{a)}				体系	累積 発病株率 (%) ^{b)}	同左対 対照比 (%)	推定 損失額 (千円/10a) ^{c)}	同左対 対照差額 (千円/10a)
				5月下旬～ 6月上旬	6月 下旬	7月 下旬	8月 中旬					
2007	大分Ⅰ	0, 砂土	3/28 ホワイト タワー	ベン	プロ	×	×	①	3.5 a	16.2	57.0	-207.2
				プロ	ベン	×	×	②	10.6 b	49.1	142.2	-122.0
				×	プロ	×	×	慣行	21.6 c		264.2	
2007	大分Ⅱ	0, 砂土	4/10 華青楼	ベン	プロ	×	×	①	3.7 a	17.4	60.4	-201.2
				プロ	ベン	×	×	②	8.8 a	41.3	121.6	-140.0
				×	プロ	×	×	慣行	21.3 b		261.6	
2007	大分Ⅲ	300, 壤土	3/22 吉蔵	ベン	プロ	×	×	①	5.2 a	19.7	79.6	-244.4
				プロ	ベン	×	×	②	5.7 a	21.6	85.6	-238.4
				×	プロ	×	×	慣行	26.4 b		324.0	
2008	大分Ⅰ	0, 砂土	3/28 ホワイト タワー	ベン	プロ	×	×	①	2.7 a	44.3	47.4	-30.8
				×	プロ	プロ	×	③	3.9 ab	63.9	56.8	-21.4
				ベン	×	×	×	④	6.8 c	111.5	91.6	13.4
				×	プロ	×	×	慣行	6.1 bc		78.2	
2008	大分Ⅱ	0, 砂土	2/29 吉蔵	ベン	プロ	×	×	①	8.9 ab	89.9	121.8	-2.0
				×	プロ	プロ	×	③	5.7 a	57.6	78.4	-45.4
				×	プロ	×	×	慣行	9.9 b		123.8	
2008	大分Ⅳ	0, 砂土	4/30 華青楼	ベン	プロ	×	×	①	9.1 ab	72.2	121.8	-35.4
				×	プロ	プロ	×	③	6.3 a	50.0	78.4	-78.8
				ベン	×	×	×	④	25.0 c	198.4	311.0	153.8
				×	プロ	×	×	慣行	12.6 b		157.2	
2008	大分Ⅴ	200, 砂壤土	5/8 龍翔	×	×	プロ	プロ	⑤	2.4 a	33.3	38.8	-52.6
				×	ベン	×	プロ	⑥	2.5 a	34.7	45.0	-46.4
				×	ベン	プロ	×	⑦	6.8 ab	94.4	96.6	5.2
				×	×	プロ	×	慣行	7.2 b		91.4	
2008	鹿児島	0, 砂土	6/17 夏扇	×	×	プロ	プロ	⑤	30.0 a	108.3	371.8	27.6
				×	ベン	プロ	×	⑦	26.7 a	96.4	337.2	-7.0
				×	ベン	×	×	慣行	27.7 a		344.2	

a) 各圃場における3回の粒剤散布時期に散布した粒剤の種類を示した: プロ、プロベナゾール粒剤; ベン、ベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤; ×、無散布。

b) 同一圃場内の異なる英小文字間は、Arcsin変換後、Tukeyの多重検定($P < 0.05$)で有意差あり。

c) 推定損失額(千円/10a) = 減収額(千円/10a) + 薬剤費(千円/10a)。減収額(千円/10a) = 累積発病株率(%) × 平均栽植株数(40,000株/10a) × 1本重(0.1kg/株) × 平均単価(300円/kg)。

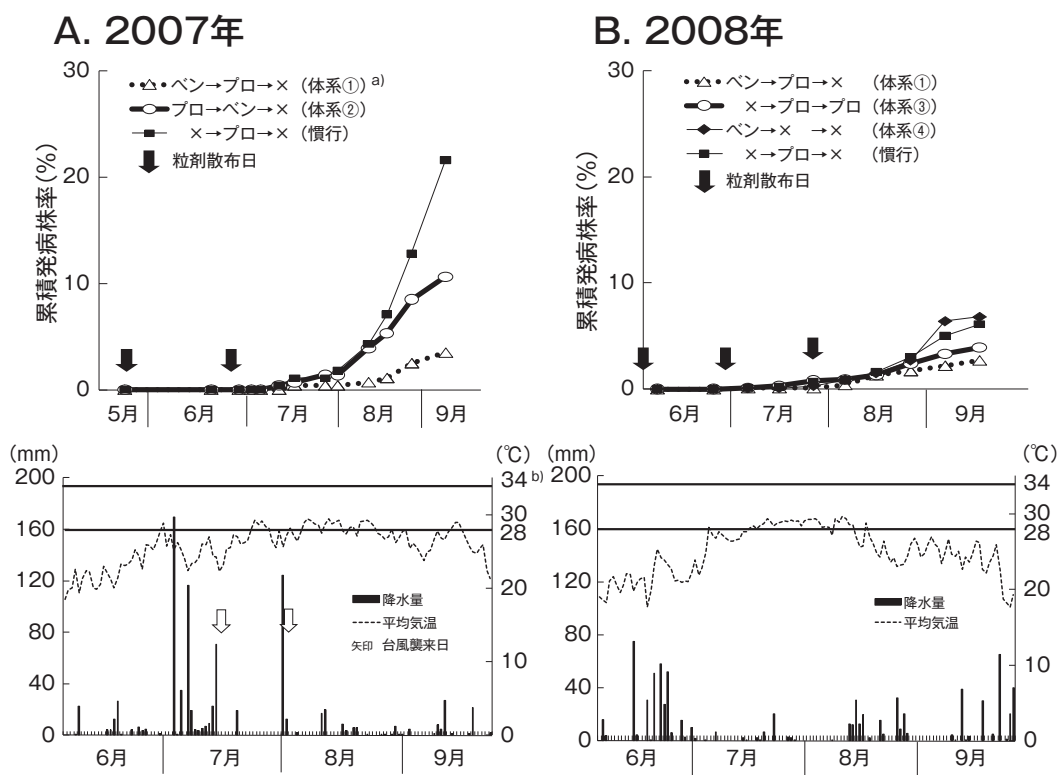


図1 試験圃場 I におけるネギ軟腐病の累積発病株率(上段)と気象(下段)

a) 5月下旬～6月上旬→6月下旬→7月下旬の各散布時期に散布した粒剤の種類を示した: プロ、プロベナゾール粒剤; ベン、ベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤; ×、無散布。なお、散布時期は、表1に準じる。
 b) 軟腐病菌の最適発育温度(28～34℃)を横線で示す。

2種の粒剤の残効期間の影響が考えられる。粒剤を水中に静置した場合の溶出率は、プロベナゾール粒剤の場合、約7～14日間でほぼ100%となる。一方、ベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤は、薬効成分の溶出が制御されている製剤である。そのため、この期間では薬効成分の約25%前後しか溶出されず、約40～70日後にほぼ100%となる(明治製菓, 2007)。また、畑地での溶出速度については不明であるが、上記の水中溶出率やネギにおけるこれまでの試験の結果から、プロベナゾール粒剤の残効期間は約30日、ベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤の残効期間は約60～90日と推察される。佐古(2003)は、プロベナゾール粒剤を6～9月に20日前後の間隔で散布すると効果的であると報告している。

本病は、2007および2008年ともに7月上旬から発生し始め、7月下旬～8月上旬から進展し始めた(図1)。そのため、6月下旬のプロベナゾール粒剤1回散布では発病進展期にあたる8月上旬には薬効不足となるのに対し、体系①および③では、この時期以降も薬効が持続することが推察され、6月上旬あるいは7月下旬の追加散布による2回散布体系が慣行防除である6月

下旬1回散布よりも、防除効果の向上に繋がったものと考えられる。

II 粒剤の種類と防除効果との関係

2007年試験において、体系①および②を比較した結果、体系①はいずれの圃場でも防除効果が慣行区よりも有意に高かったのに対し、体系②は体系①よりも防除効果が有意に低い場合が見られた(表1)。この理由として、前述の残効期間の影響が考えられる。7月上旬の初発期に向けて、体系①では初回に散布したベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤の残効に加えて、追加散布したプロベナゾール粒剤の残効も期待できる。これに対し体系②では、7月上旬の初発期が、初回に散布したプロベナゾール粒剤の残効が切れ始める時期に当たることからこの時期の効果は不安定である。このことから、体系①の方が体系②よりも安定した防除効果に繋がったものと考えられる。

2008年試験において、プロベナゾール粒剤およびベンフラカルブ・プロベナゾール粒剤各1回ずつの散布体系(体系①)と、プロベナゾール粒剤2回散布体系(体系③)のどちらがより有効な防除体系かについては、累積発病株率からは有意な差が見られなかった(表1)。ただし、体系③は、いずれの試験圃場でも、慣行区と比較して概ね低い累積発病株率で推移していたのに対し、体系①は、防除効果の改善がほとんど見られない事例もあった(表1、大分Ⅱ、Ⅳ圃場)。加えて、体系①は、体系③よりも薬剤費が1.5倍程度かかることから、大分県では、体系③を推奨している。

III 定植時期の遅い作型における粒剤の散布時期

軟腐病は、一定の生育期間後に、発病リスクが高まる傾向がある。例えば、ハクサイ軟腐病では、播種後約50日にあたる結球期以降に発病する傾向にある(富樫, 1999, 2000)。これは、この時期に根圏中の軟腐病菌が急激に増殖することや、発病部位である外葉中肋基部が根圏土壌と接触し始めることに起因する。ネギにおいても、軟腐病菌は生育が進むにつれて根圏などで増殖し、土寄せ等による茎盤や葉身の展開基部に対する傷口形成が重なるにつれて、発病リスクが高まる(木嶋, 1991)。そのため、大分県では5月以降、鹿児島県では6月以降に定植する作型では、生育初期にあたる7月には本病が発生していないことが多い。そこで、2008年の試験では、定植時期の遅い作型において、8月中旬に粒剤を散布する体系での防除効果を

検討した(大分V、鹿児島I圃場)。その結果、大分V圃場では、体系⑤および⑥は、慣行区より高い防除効果が得られた(表1)。一方、鹿児島圃場では慣行区との有意な差は見られなかった(表1)。この原因として、同圃場では、最もネギ軟腐病の発病リスクの高まる8月中旬に台風11号が襲来しており、粒剤のみでは防除効果が不十分であったことに加え、液剤の防除も台風襲来2週間後と遅れたためであると考えられた。ただし、2007年試験では、全圃場で台風が襲来したにもかかわらず、体系①では高い防除効果を示したことから(表1)、適切な本粒剤の2回散布体系は、気象等の影響を最小限にできる防除法として有効であると考えられる。なお、大分県の試験圃場における6月中下旬の生育状況を比較したところ、作型の遅い大分V圃場を除く全圃場のネギの軟白径は1cm以上であった(山崎、データ略)。そのため、作型に応じた散布体系の選択については、この時期の生育状況によって判断するように指導を行っている。

IV プロベナゾール粒剤による軟腐病の防除

2年間の試験結果から、粒剤の散布体系は、初発前～発病進展期にプロベナゾールを含む粒剤を2回散布することにより、現地慣行であるプロベナゾール粒剤6月下旬1回散布と比較して、ネギ軟腐病に対する防除効果を改善できることが示唆された。2回散布により薬剤費の支出は増えるものの、この分も加味した本病による損失額(減収額+薬剤費)は、数万～数十万円/10a程度低減できることから、生産者にとって薬剤費以上の利益を得ることができる。また、本病の初発期や進展期は、定植時期やその後の生育状況によって異なる傾向が見られる。そのため、薬剤の効果が最大限に発揮できる時期が、発病の初発期や進展期にあたるように、散布時期を設定することが重要と考えられる。

なお、今回の試験は、品種、土性および標高の異なる複数の圃場で行ったが、いずれの違いも、防除効果に対する顕著な差には繋がらなかった。一方、気象推移の年次変動が防除効果に与える影響について検討するため、気象以外の条件がほぼ一致する大分I圃場の体系①区を年次で比較したところ、発病株率に差は見られるものの、初発生や発病進展の時期や推移に顕著な差は見られず、両年とも一定の防除効果が得られた(図1)。このため、基幹的な防除体系の設定は、気象推移よりも、作型に応じるのが効果的であると推察された。しかし、一部の圃場では、台風の襲来により十分な防除効果が得られなかった。そのため、台風襲来時には、予防も含めた速やかな液剤の追加防除も必要であろう。

おわりに

プロベナゾールのような植物免疫を活性化することのできる物質は、プラントアクティベーター（有江・仲下，2007；花田，2009）、あるいはプラントディフェンスアクティベーター（PDA；岩田，2007）と呼ばれている（以下、岩田の提案に合わせ、PDAと表記する）。PDAは、耐性菌出現リスクが少なく、効果の持続性や有効スペクトラムが広いことなどの大きな利点を有している。これは、植物が多くの防御システムを持っており（有江・仲下，2007）、本物質が、その中の複数のシステムの誘導に関与していることに関係している（岩田，2007）。自然界では、これらの複数の防御システムの全てに耐性を持つ病原菌が出現する確率は極めて低い。そのため、プロベナゾール剤では、これまで上市30余年を経ても耐性菌出現の報告がない（岩田，2007；花田，2009）。また、PDAは殺菌性がないことから、環境影響などが少ない農薬であると考えられており、消費者の安全・安心志向にも合致する。さらに、PDAの誘導する植物免疫の利用は、糸状菌や細菌病害に加えて、実用的な薬剤がないウイルス病の防除手段としても注目されている（Koganezawa et al., 1998）。そのため、様々な病原体に対し、安定した防除効果が期待できるPDAの研究がさらに進むことにより、これまでの病害防除体系の課題解決や、より効果的な防除技術の開発に繋がると予想される。

引用文献

- 1) 有江 力・仲下英雄(2007)：植物防疫 61：531～536.
- 2) 花田 薫(2009)：植物防疫 63：686～689.
- 3) 岩田道頭(2007)：植物防疫 61：553～558.
- 4) 木嶋利男(1991)：作物の細菌病，日本植物防疫協会，東京，p. 227～228.
- 5) Koganezawa, H. et al.(1998)：Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 64：80～84.
- 6) 明治製菓(2007)：オリゼメート総合資料，明治製菓(株)，東京，p.21.
- 7) 佐古 勇(2003)：オリゼメートのあゆみ，明治製菓(株)，東京，p.117～120.
- 8) 滝川雄一ら(1983)：日植病報 49：415.
- 9) 田中澄人(1998)：日本植物病害大辞典，全国農村教育協会，東京，p. 517.
- 10) 富樫二郎(1999)：農薬誌 24：401～407.
- 11) (2000)：山形大学農学部農場報告 12別冊：30～36.
- 12) 山崎修一ら(2010)：九病虫研報 56：1～8.

本稿は一般社団法人 日本植物防疫協会発行の「植物防疫」平成23年6月号に掲載されたものを著者並びに協会の許可を得て転載致しました。

プロベナゾールの作用性に関する最新の知見

元 明治製菓(株) 主席研究員 **岩田 道頭**

明治製菓中央研究所(現Meiji Seika ファルマ横浜研究所)で、オリゼメート製剤の有効成分プロベナゾールが合成されたのは1966年である。それから8年後にはオリゼメート粒剤が農薬登録され、それ以降、多くのオリゼメート製剤が開発されてきた。それらは、主としてイネいもち病に対する的確な防除効果が評価され、広く普及することとなった。その結果、40年を経過した現在も、オリゼメート製剤は日本をはじめとする東アジアの米の安定生産に貢献し続けている。プロベナゾールのいもち病に対する防除メカニズムは、当初よく分からなかったが、研究を重ねるにつれてそれまでの防除剤とは異なるものであることが明らかとなってきた。それは、植物自身が元々持っている自然免疫ともいべき機能を、病原菌が侵入しようとするときに特異的に増強させ、植物自身の力によって感染を防ぐというものであった。このような作用メカニズムによって実用的に病害を防除する薬剤は、プロベナゾールが世界で初めてであった。プロベナゾールのように実質的な抗菌作用を持たず植物の自然免疫系を増強する薬剤を植物防御活性剤(plant defense activator；一般には、plant activator)と称している。日本ではこれまでに、プロベナゾールを含め4種の植物防御活性剤が農薬登録されてきた(そのうち1種は、登録失効)。日本の医薬業界では、日本発・世界初となる薬剤を開発することが一つの目標とされているが、プロベナゾールは、植物保護分野で日本発・世界初を実現した数少ない薬剤の一つである。最近、患者の自己治療力を利用する医薬品の開発がトレンドになっており、ヒトの自己免疫を強くする高分子抗体医薬が世界で50種近く販売されるまでになっている。40年以上も前に開発されたプロベナゾールが、これら最近の医薬品と類似するような生物の自然免疫系を増強させる作用を持っていたことは、特筆されることである。プロベナゾールのこのような特徴からその作用メカニズム解析研究は、植物の自然免疫や防御応答の仕組みを解析する研究でもある。プロベナゾールの作用メカニズムの詳細については、まだ不明の部分が多いが、これまでの研究で明らかになっている解析結果について、以下に概要を紹介する。

1. 病気の成立要因とプロベナゾールの発病抑制原理

植物の病気が成立するためには、単に植物と病原菌とが遭遇するだけではなく、

- ①病気にかかる体質をもった植物(これを素因という)
- ②それを侵す病原菌(これを主因という)
- ③病気の発生に好適な環境条件(これを誘因という)

の3つの要因が十分満たされることが必要である。

植物の病気を防ぐという逆の立場からみれば、これらの“病気の成立要因”の何れかを適度に小さくすることが基本となる。そのため、①を小さくするためには抵抗性品種を導入する、②を小さくするためには殺菌剤を使用する、③を小さくするためには密植・過湿を避ける、など様々な方法が工夫され活用されている。プロベナゾールは、病原菌の密度や数を低減させる殺菌剤とは異なり、植物の自然免疫系を増強して病気にかかりにくくする薬剤である。すなわち殺菌剤の発病抑制原理は“主因”を小さくすることにあるのに対し、プロベナゾールのそれは、“素因”を小さくすることにある。病気の成立要因とプロベナゾールの発病抑制原理の概念を図1に示した。

プロベナゾールのような植物防御活性剤の特徴の一つとして、耐性菌出現の可能性が低いことが挙げられる。一般的に殺菌剤に対する耐性菌は、突然変異によって出現した低感受性の病

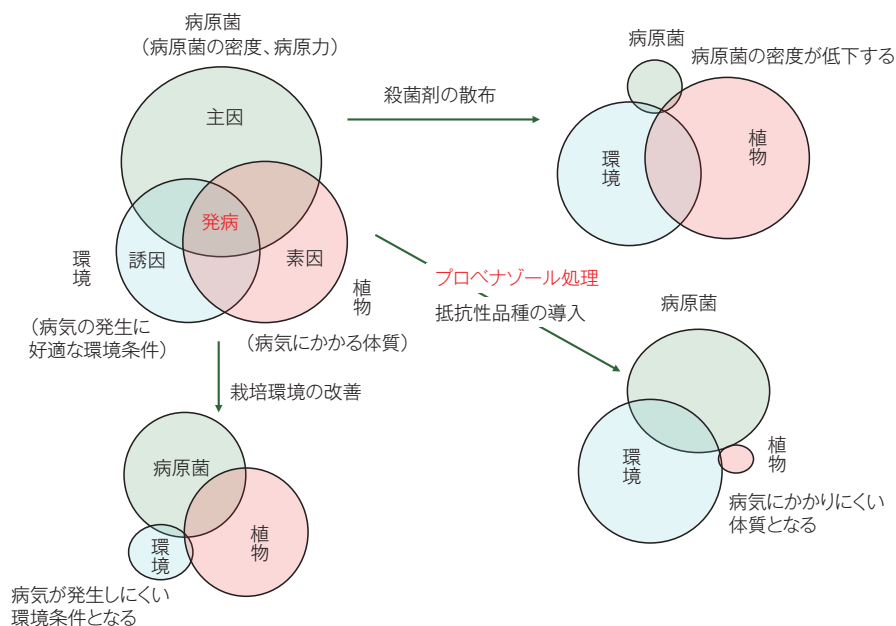


図1 病気の成立に関する3要因の関係とプロベナゾールの発病抑制の原理

3要因が重なり合う場合のみ発病する。

原菌が、薬剤によって選抜され顕在化したものである。耐性菌が出現すると、薬剤の防除効果が低下することになり、何らかの対策が必要となる。一方、プロベナゾールの防除作用は植物体を介して発現されるので、その過程には、プロベナゾールが病原菌を直接選抜する場面はない。このように、プロベナゾールに対する耐性菌出現の可能性が低いと考えられるのは、殺菌剤とは発病抑制原理が異なるからである。それは図1からも容易に理解できる。実際に、プロベナゾールが40年間にわたって広く使用され続けていても、耐性菌出現の報告例はいまだにないという使用実績がある。なお、耐性菌リスクとプロベナゾールについては、本誌で石井英夫氏が詳述している。

2. プロベナゾールの作用メカニズムの概略

プロベナゾールで処理された植物は、恒常的に抵抗反応を発現しているわけではない。プロベナゾールで処理された植物の抵抗反応は、病原菌の感染を受けたときに初めてそれに呼応するように開始される。これは、プロベナゾールで処理されたイネは、感染を受けたときに迅速に応答できるように準備された状態となっているからである。このような状態を、“プライミ

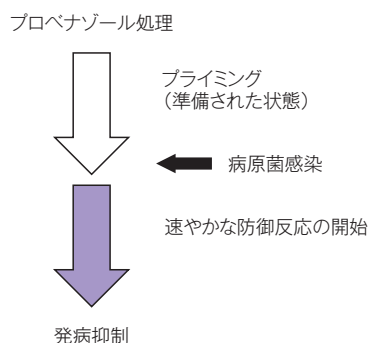


図2 プライミング効果のイメージ

ング”状態にあるという(岩田, 2004)。プロベナゾールの作用の基本は、植物に対する“プライミング効果”である。図2に示したように、プライミング状態にあるイネは、病原菌の侵入を感知すると速やかに抵抗反応を開始し、発病を抑制することができる。プライミングのメカニズムの詳細は不明であるが、プロベナゾールの作用のこの性状により、植物は迅速にかつ効果的に病原菌の侵入に対応することができる。加えて、植物にとって抵抗反応を発現させることは大きな負荷であるが、それを感染時だけに、しかも感染部位だけに限定することができる。プロベナゾールが実用上優れた防除薬剤として存在感を示しているのは、このような特性によるところが大きい。

プロベナゾール処理によりプライミング状態となっているイネで、感染後に発現する抵抗反応は、現象面で見ると主として以下の3点に時系列的に要約することができる(Iwata et al., 1980, Shimura et al., 1983, Sekizawa et al., 1987, Araki and Kurahashi, 1999)(図3)。

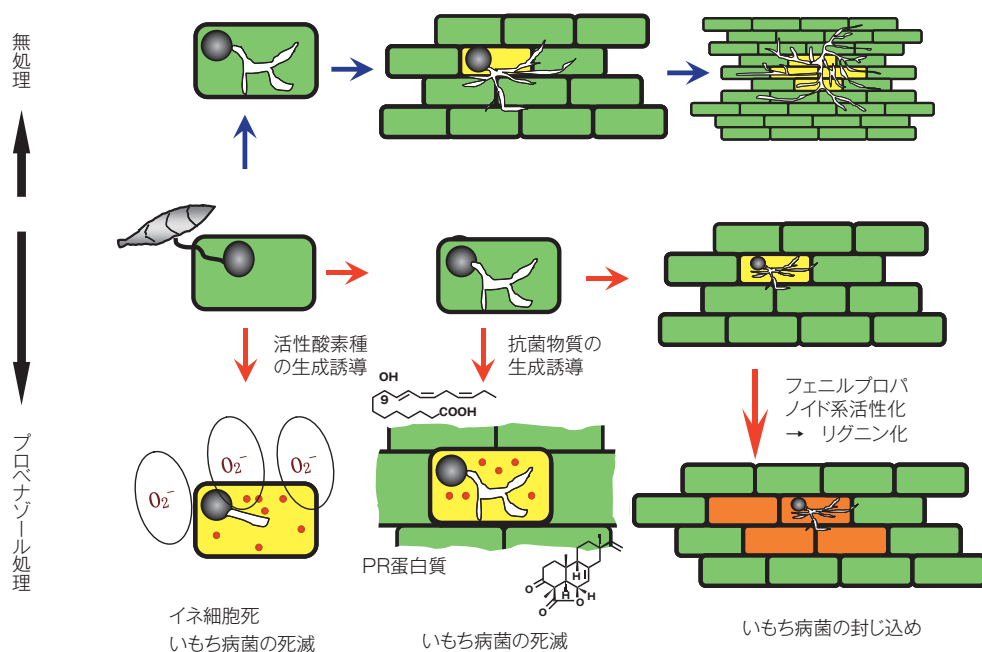


図3 プロベナゾールの作用機構の要約

- ①スーパーオキシドなどの活性酸素種の生成による細胞死の誘導
- ②ファイトアレキシンや酸化型不飽和脂肪酸などの抗菌性物質の産生
- ③リグニン化による物理的障壁の形成

これらの反応は、抵抗性遺伝子を保有するイネにもち病菌が感染するときに観察される“非親和型”の反応と類似している。

3. プロベナゾール処理イネで発現が変動する遺伝子

プロベナゾール処理後にイネがプライミング状態となる過程では、多くの遺伝子が活性化あるいは抑制されていると考えられる。DNAマイクロアレイ解析の手法により、プロベナゾール処理直後(4～168時間後)に発現が変動しているイネの遺伝子を調べた。マイクロアレイは、対象とする生物のほぼ全ての遺伝子の発現を網羅的に解析できる簡便な技術である。解析の結果、プロベナゾール処理直後から非常に多くの数の遺伝子の発現が変動(発現量が増加あるいは減少)していることが観察された。例えば、処理4時間後には既に、416個もの遺伝子の発現が増減していた(この実験では、解析対象総遺伝子数は重複を含めて21,495個)。栽培土へ灌注処理されたプロベナゾールが、根から吸収されマイクロアレイ解析に用いられた葉身部まで移行するまでには一定の時間を要する。このことを考慮に入れると、これは極めて早い応答

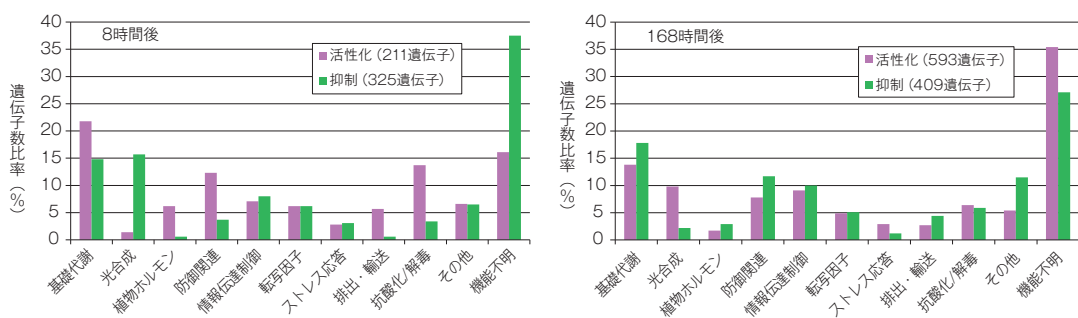


図4 プロベナゾール処理後に発現が変動した遺伝子の機能別解析

重複を含む21,495遺伝子の発現を解析。

である。初期に発現が変動している遺伝子の中にプライミングを誘導・制御するキーとなる遺伝子が含まれている可能性がある。

マイクロアレイ解析で得られたデータの中から、プロベナゾール処理8時間後および168時間後に発現が変動していた遺伝子を、推定機能別に分類し比較した(図4)。

抗酸化や化学物質の解毒に係る遺伝子群および細胞膜を介して物質の排出・輸送に係る遺伝子群は、処理間もない8時間後では活性化(発現量が増加)されていた。一方で、光合成系に関与する多くの遺伝子の発現は、この時間帯では抑制(発現量が減少)されていた。これは、イネ体内で、植物にとって重要な光合成機能を一時的に抑制して、プロベナゾールという異物を緊急に代謝・排除しようとする“仕分け”が行われていた可能性を示している。また、キナーゼ(蛋白質リン酸化酵素)やカルモジュリン(カルシウム結合蛋白質)などの細胞内・細胞膜情報伝達に係る遺伝子群や、遺伝子の発現を制御する転写因子遺伝子群の発現が変動していた。この変動は、上述の緊急の“仕分け”や、プライミング状態を作り出すために細胞内で進行していた複雑な反応を反映しているのかもしれない。

4. サリチル酸情報伝達系とプロベナゾールの作用点

Meiji Seika ファルマの研究グループや、その他の研究グループの解析により、植物ホルモンの一つであるサリチル酸が、プロベナゾールの防除効果発現に何らかの関わりを持っていることが明らかとなってきた。

4-1. プロベナゾールはサリチル酸の合成を誘導する

Meiji Seika ファルマの研究グループが行ったプロベナゾールで処理されたイネのDNA

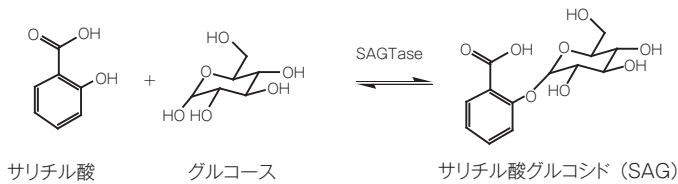


図5 サリチル酸にグルコースが転移される反応

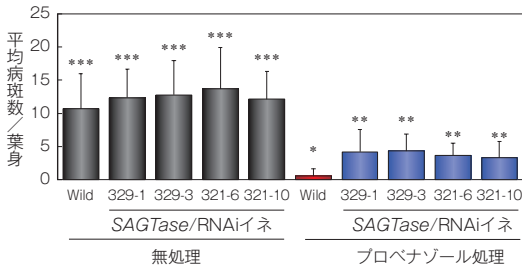


図6 *SAGTase*/RNAi (*SAGTase*ノックダウン) イネにおけるプロベナゾールの防除効果
Umemura et al., 2009の図6を改変

329-1などは、*SAGTase*/RNAiで作出したイネの系統番号。*、**、***は、それぞれの記号間で有意差があることを示す。

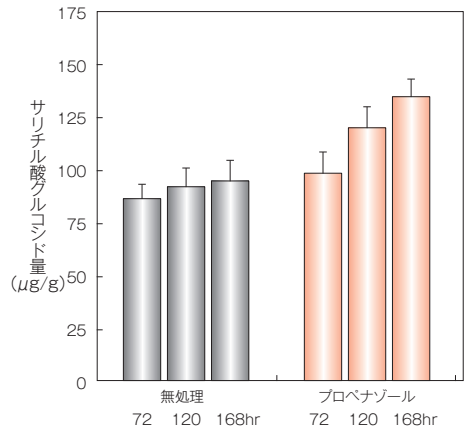


図7 プロベナゾール処理後に蓄積したサリチル酸グルコシド(SAG)量
Umemura et al., 2009の図5を改変

マイクロアレイ解析では、サリチル酸にグルコースを転移させる酵素(*SAGTase*; 図5)の遺伝子が処理直後から特異的に高発現していることが観察された。そして、RNAi(RNA interference; RNA干渉)の手法により作出した*SAGTase*ノックダウンイネでは、いもち病に対するプロベナゾールの防除効果が低下した(図6)。また、*SAGTase*ノックダウンイネでは、元の親イネと比べて多数の遺伝子の発現が影響を受け、活性化あるいは抑制されていることが観察された。このことから、これら影響を受けた遺伝子の何割かがプロベナゾールの防除効果発現に係っている可能性が示唆された。定量的分析実験では、プロベナゾール処理によってイネの総サリチル酸量が増加することも観察された。この場合、グルコースが結合したサリチル酸グルコシド(SAG)の濃度は高くなっていた(図7)が、グルコースが結合していない遊離型サリチル酸の濃度は無処理とほぼ同じレベルであった(Umemura et al., 2009)。総サリチル酸量の増加は、サリチル酸の生合成が促進されていることを示している。このように、サリチル酸やSAG(あるいは*SAGTase*遺伝子も含めて)がプロベナゾールのいもち病防除効果発現に重要な役割を果たしていることが、明らかとなった。しかし、その仕組みについては未解明であり、今後の研究課題である。

農業生物資源研究所の岩井(現宮城県立大学)らの研究グループは、①プロベナゾールのいも

ち病防除効果は幼苗(4葉期)では認められないが8葉期のイネで認められ、これが②プロベナゾール処理に応答して誘導されたイネ体内の遊離型サリチル酸の蓄積量増加と符合する、③サリチル酸溶液を直接散布処理した場合の防除効果は8葉期のイネでのみ認められる、ことを観察した。このことから、プロベナゾールの防除効果は、プロベナゾール処理に応答して葉齢依存的に誘導されたイネ体内の遊離型サリチル酸によりもたらされたものであるとした(Iwai et al., 2007)。この研究結果からも、サリチル酸がプロベナゾールの防除効果発現において重要な関わりを持っていることは明らかである。しかし、プロベナゾールはもともと幼苗を用いた感染実験により(防除効果の強弱を基準として)選抜・創製されたものであること、幼苗でもプロベナゾール処理で総サリチル酸量が増加することから、プロベナゾールの防除効果を葉齢に依存したイネのサリチル酸生理システムの変化だけで説明することはできない。

4-2. プロベナゾールの作用点はサリチル酸情報伝達系上にある

理化学研究所の山口(2001年当時)らの研究グループは、プロベナゾールに加えその代謝物でいもち病防除効果もあるとされているBIT(1,1-benzisothiazole-3(2H)-one 1,1-dioxide)と、実験用モデル植物であるシロイヌナズナ(*Arabidopsis thaliana*)の組み合わせで実験を行い、プロベナゾールとBITは①全身獲得抵抗性(systemic acquired resistance ; SAR)を誘導することを観察し、さらに、BITは②サリチル酸の合成を誘導する、その防除効果は③サリチル酸を分解する酵素の遺伝子*NahG*を導入した植物、および④感染特異的蛋白質(PR-1など)の発現を制御しているNPR1因子(サリチル酸の下流に位置する)が変異した*npr1*植物では認められない、ことも観察した。このことから、プロベナゾールおよびBITの作用点はSAR情報伝達系(サリチル酸情報伝達系ともいう)上にあり、サリチル酸の合成を誘導するのでサリチル酸より上流にあると推定した(Yoshioka et al., 2001)。イネとアブラナ科植物であるシロイヌナズナでは、病原菌感染時の防御応答や、その情報伝達系が必ずしも同一ではないと考えられるが、プロベナゾールの作用点に関する重要な知見である。

局所的な防御反応のシグナルが全身に伝えられ植物体全体が新たな病原菌の侵害に対して抵抗性となるSARのメカニズムについては、ナス科植物やシロイヌナズナなどのモデル植物を用いて多方面から研究が行われてきた。その結果、サリチル酸が植物体内におけるSARの情報伝達に極めて重要な役割を果たしていることが明らかにされた(Kessmann et al., 1994)。また、プロベナゾールと同様に植物防御活性剤として機能することが知られているベンゾチアジアゾール系薬剤(BTH)の作用点が、SAR情報伝達系上のサリチル酸より下流でしかもNPR1より

上流に位置することも明らかにされた(Ryals et al., 1996)。さらに最近シロイヌナズナでは、結合実験の結果からNPR1それ自身がサリチル酸の受容体であると報告されている。その報告では、サリチル酸は銅原子を介して(防御に係っている*PR-1*遺伝子の発現調節部位を構成している)NPR1に結合することができ、サリチル酸が結合するとNPR1の立体構造に変化が生じ、それにもなって*PR-1*遺伝子の転写が始まるとしている。また、シロイヌナズナNPR1には、BTHも結合することを観察したとしている(Wu et al., 2012)。

イネNPR1がサリチル酸の受容体となるかどうかについてはまだ報告例はない。シロイヌナズナNPR1でサリチル酸が結合すると考えられる部位のアミノ酸配列は、イネNPR1ではわずかに異なっている。また、イネ体内に蓄積しているサリチル酸濃度はシロイヌナズナよりはるかに高く、感染にともなうサリチル酸蓄積量の増加割合はイネではわずかである。

4-3. イネのサリチル酸情報伝達系におけるWRKY45の役割の発見

農業生物資源研究所の高辻らの研究グループは、BTH処理イネのマイクロアレイ解析研究で得た知見から、イネではシロイヌナズナと異なり、サリチル酸の下流に位置する情報伝達系は転写因子WRKY45経路とNPR1経路に分岐していることを見出した。転写因子とは、DNAの遺伝情報をRNAに写し取る(転写)過程を制御する蛋白質の総称である。また、RNAiにより作出したWRKY45ノックダウンイネではBTHの防除効果が低下し、WRKY45遺伝子を過剰発現させたイネはBTHで処理しなくてもそれ自身がいもち病に対し強い抵抗性を示したことから、WRKY45はBTHの防除効果発現に必須の因子であるとした(Shimono et al., 2007)。さらに、WRKY45ノックダウンイネではBTHと同様にプロベナゾールの防除効果も低下したことから、プロベナゾールの防除効果発現も少なくとも部分的にはWRKY45を介していると考えられた(Shimono et al., 2012)。

プロベナゾールと同様に植物防御活性剤として位置付けられているチアジニルの作用点は、その代謝物を用いた実験結果から、SAR情報伝達系上のサリチル酸より下流にあると推定されている(Yasuda et al., 2006)。

4-4. サリチル酸情報伝達系とプロベナゾールの作用点の要約

これまで述べてきた知見を総合すると、イネにおけるサリチル酸情報伝達系(SAR情報伝達系)とプロベナゾールの作用点は、図8のように要約できる。

プロベナゾールで処理されたイネのDNAマイクロアレイ解析の結果では、(無処理-非接種

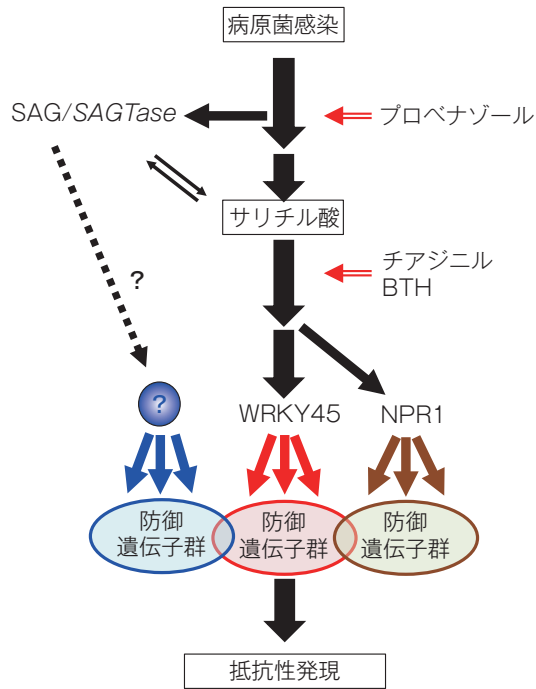


図8 イネにおける全身獲得抵抗性 (SAR) 情報伝達経路とプロベナゾールの推定作用点

イネを基準として比較すると、重複を含む42,124遺伝子の中で1,600個を超える遺伝子の発現が上昇あるいは低下していた。また、プロベナゾール処理後にいもち病菌を感染させたイネでは、(無処理—接種イネを基準として比較すると)1,800個を超える遺伝子の発現が変動していた。さらに、プロベナゾールの防除効果が低下した*SAGTase*ノックダウン(*SAGTase*/*RNAi*)イネでは、プロベナゾールで処理したときに、700余りの遺伝子の発現が(プロベナゾールで処理した)元の親イネより増加あるいは減少していた。上述の高辻らは、ノックダウンイネの解析結果から、防御に係ることが明らかとなった転写因子WRKY45は約300個の遺伝子の発現を制御し、NPR1はそれ以上の数の遺伝子の発現を(主に抑制的に)制御していると報告している。プロベナゾールによるプライミング効果の付与および感染応答反応にも、WRKY45のようなキーとなるいくつかの転写因子に制御された多様な遺伝子群が関与していると考えられる。そして、それらの遺伝子群の働きの総和が、防除効果として表現されているものと思われる(図8)。

なお、高辻らは、いもち病菌が感染するときに植物ホルモンの一つであるサイトカニンが合成され、これがサリチル酸情報伝達系と相乗効果を示すので、この相乗効果が感染時にプライミング効果を顕在化させるメカニズムではないかと考えている(高辻ら, 2008、Jiang et al., 2013)。

4-5. サリチル酸の生合成・代謝経路と全身移行性シグナル物質

サリチル酸は、上述のようにSARやプロベナゾールの防除効果発現に重要な係りを持っていることが明らかとなった。サリチル酸の生合成経路は、タバコやシロイヌナズナなどの双子葉植物で研究が進められ、いくつかの経路が提案されている(Wildermuth et al., 2001)。主要な経路はイソコリスミン酸を経由する系とフェニルアラニンを経由する系である。しかし、サリチル酸の生合成は、植物種で合成経路が異なっていたり、経路が分岐していたりするなど複雑である(Dempsey et al., 2011)。

プロベナゾール処理植物で蓄積するサリチル酸の生合成経路についての研究例がある。Yuらは、シロイヌナズナをプロベナゾールで処理するとイソコリスミン酸合成酵素が活性化されるとともにサリチル酸が蓄積し、イソコリスミン酸合成酵素遺伝子に変異を持つシロイヌナズナでは、それらが認められなくなることを観察した。このことから、プロベナゾール処理シロイヌナズナで蓄積したサリチル酸は、イソコリスミン酸経由で合成されたものであるとした(Yu et al., 2010)。しかし、イネにおけるサリチル酸生合成経路については研究が少なく、双子葉植物と同じなのかあるいは異なるのか、詳細は明らかでない。従って、プロベナゾール処理イネで蓄積するサリチル酸の生合成経路も、シロイヌナズナで報告されたものと同じなのか、あるいはイネ特有の合成系があるのかまだ解明されていない。プロベナゾールに応答するイネ遺伝子を詳細に調べると、サリチル酸生合成経路を推定することができるとともに、キーとなる遺伝子を特定することができるかもしれない。

Klessigらは、サリチル酸メチルがSARの全身移行性シグナル物質であると提唱している。感染局部における防御応答の過程で合成されたサリチル酸がメチル基転移酵素によってサリチル酸メチルに変換され、それが全身に移行し、移行先で再びサリチル酸へと分解されることでシグナルとして機能するというものである(Volt et al., 2008)。プロベナゾールで処理されたイネでも、サリチル酸にメチル基を転移する酵素の遺伝子が高発現していたが、イネでサリチル酸メチルが全身移行性のシグナルとして機能しているのかどうかは不明である。

一方で、SARにおける全身移行性のシグナル物質はサリチル酸メチルではなく、感染応答として合成された9炭素脂肪酸アゼライン酸や脂質で誘導される蛋白質(AZI1、DIR1)であるという説もある(Jung et al., 2009)。

これらの情報を基に、サリチル酸生合成経路(図9)と、SARにおける全身移行性シグナルの概念図(図10)を作成した。

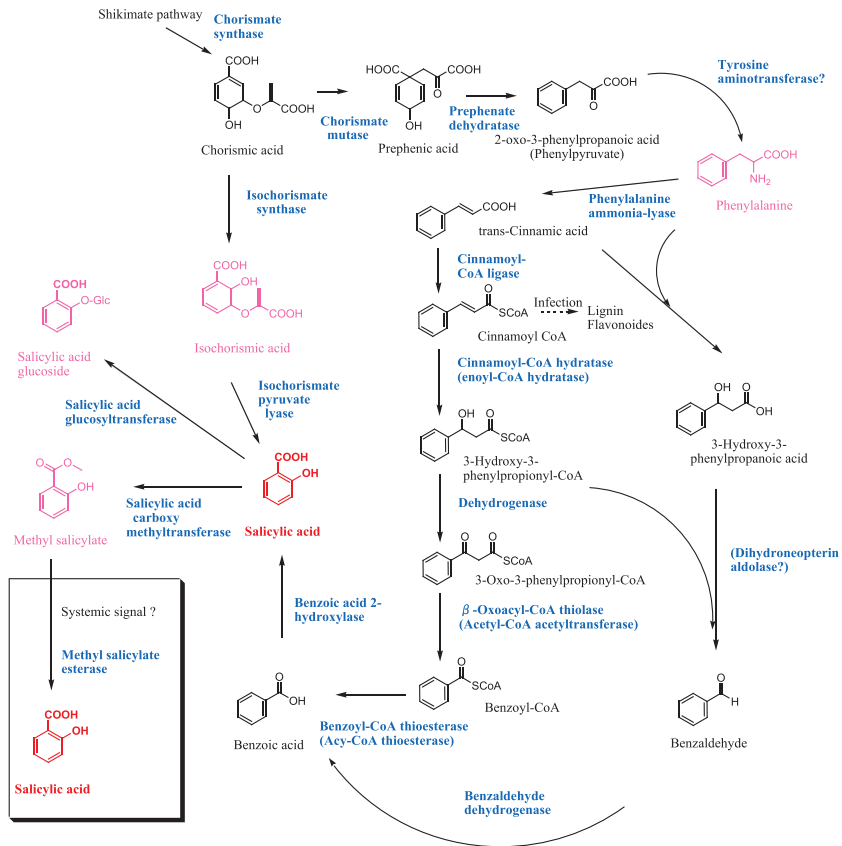


図9 植物におけるサリチル酸の推定生成・代謝系

反応を触媒する酵素名を青字で示した。サリチル酸メチルは全身移行性のシグナル物質であると提唱されている (Volt et al., 2008)。

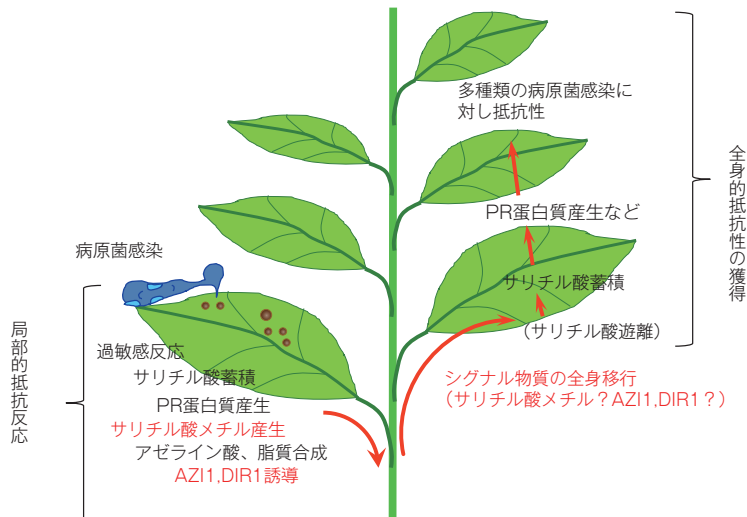


図10 全身獲得抵抗性 (SAR) と全身移行性シグナルの概念図

サリチル酸メチルは、サリチル酸からメチル基転移酵素の触媒作用で作られる (Volt et al., 2008)。AZI1 (azelaic acid induced 1) と DIR1 (defective induced resistance 1) は、アゼライン酸と脂質でそれぞれ誘導される脂質輸送能を持った蛋白質である (Jung et al., 2009)。

5. 低温で合成されるアブシジン酸とプロベナゾールの作用

5-1. 感染防御応答はストレス応答性植物ホルモンアブシジン酸で抑制される

Meiji Seika ファルマの研究グループは、イネの感染応答とプロベナゾールの防除作用についての研究を進めている過程で、植物ホルモンの一つであるアブシジン酸(ABA)をイネに散布処理(25ppm)すると葉身に形成される罹病型の病斑数が著しく増加することを発見し、ABAにはいもち病に対する感受性を高める(感染しやすくする)作用があることを見出した。また、ABAは、プロベナゾールや他の植物ホルモンによる病害抵抗性誘導を阻害した。これらのことから、ABAはイネの感染防御応答を抑制する作用を持っていると考えられた(Matsumoto et al., 1980、Iwata et al., 1981、岩田, 2007)。ABAは、主として植物が乾燥や高濃度の塩、低温などの悪条件に置かれたときに合成され機能する環境ストレス応答性の植物ホルモンである。

その後、ABAが他の植物でも病害抵抗性を抑制することが報告されるようになった。現在ではこの現象は、ABAに依存する環境ストレス応答シグナルと、病害防御応答シグナルが互いに拮抗しているためと考えられている(Jiang et al., 2010)。

5-2. プロベナゾールの防除効果は冷害年でも確認された

上述のことから、冷害年のいもち病の甚発生は、植物防御活性剤であるプロベナゾールの防除効果が低温ストレスで誘導的に合成されたABAにより十分発現しなかったためと指摘する研究者もいる。それを支持するかのよう、「平成の米騒動」とも言われ260万トンもの米を緊急輸入することになった1993年の冷害の際には、いもち病が大発生した。しかし、ある県のその年の防除担当者の総括会議では、いもち病が多発したのは、①いもち病の発生が極めて少ない年が続いていたので「もう、いもち病は重要な病害ではなくなった」という油断があった、それにもとない農家の防除意欲が減退し②予防薬であるプロベナゾール剤はほとんど使用されていなかった、③発生予察に基づいて茎葉散布剤による防除を呼びかけたにもかかわらず防除率はなかなか向上しなかった、ためであるという防除上の問題点が指摘された。そのため、今後の防除方針は、④(プロベナゾール剤を適期に施用した水田ではほとんどいもち病が発生していなかったという発病調査結果から)プロベナゾール剤による一斉防除を基本とし、その後適宜防除を追加することとする、とされた。

冷害年を想定した低温処理試験では、プロベナゾールで処理したイネに形成された病斑の数は標準温度の場合より多くなった。しかし、無処理の病斑数も増加したため、病斑数を基準に

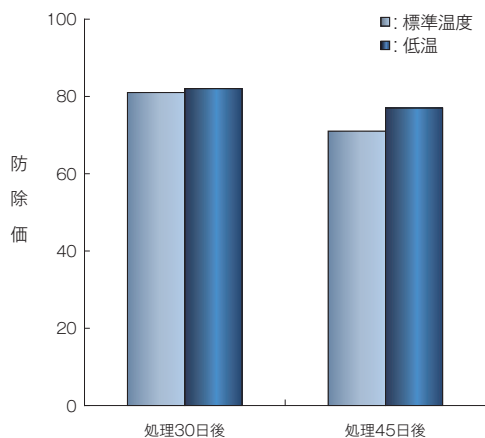


図11 低温下におけるプロベナゾールのいもち病防除効果

仙台市の冷害年の気温を想定した低温でイネを栽培し、プロベナゾールの防除効果を評価。低温は仙台市の1981年の気温に設定(昼間温度15~25℃、夜間温度8~17℃)、標準温度は仙台市の平年気温に設定(昼間温度20~29℃、夜間温度10~21℃)。ファイトトン内でワグネルポット栽培したササニシキに移植46日後にオリゼメート粒剤を水面施用。所定期日後にパンチ付傷法によりいもち病菌を接種。オリゼメート粒剤技術資料(明治製菓,1987)記載のデータから作図。

算出したプロベナゾールの防除価は標準温度の場合とほぼ同じであった。図11には、仙台市の冷害年であった1981年の気温を参考にして行ったプロベナゾールの低温処理防除試験の結果を示す。この試験でもプロベナゾールは十分に高い防除効果を示していた。このことから低温処理によりイネ体内のABA濃度が増加しいもち病に対する感受性は高くなるが、そのレベルはプロベナゾールの防除価に影響をおよぼす程ではないと考えられる。植物体内のABA濃度は極めて低く、数~数10ng/gとされている。これは、(内生ABA濃度と、散布によって植物体表面に付着した外生ABA量とを、直接比較することはできないものの)上述の散布処理実験で用いたABA水溶液の濃度より約1,000~10,000分の1の低いレベルである。

5-3. サリチル酸シグナル系とABAシグナル系は拮抗関係にある

植物の感染応答がABAで抑制されることは、先に述べた。安田らは、シロイヌナズナでは、SAR情報伝達系はABAによってサリチル酸の上流と下流で抑制されていることを見出した。そしてさらに、ABAの生合成やそのシグナル伝達系は、逆に、サリチル酸によって抑制されていることを見出した(Yasuda et al., 2008、安田・仲下, 2009)。植物ホルモンであるサリチル酸とABAが互いに拮抗的な関係にあることは興味深い。図12に感染応答サリチル酸シグナルとストレス応答ABAシグナル間における拮抗作用の概要を示した。どちらの抑制系が勝るかによって、植物の病害に対する感受性の程度が左右されるものと考えられる。

先に紹介したプロベナゾールで処理されたイネのDNAマイクロアレイ解析結果は、ABAの

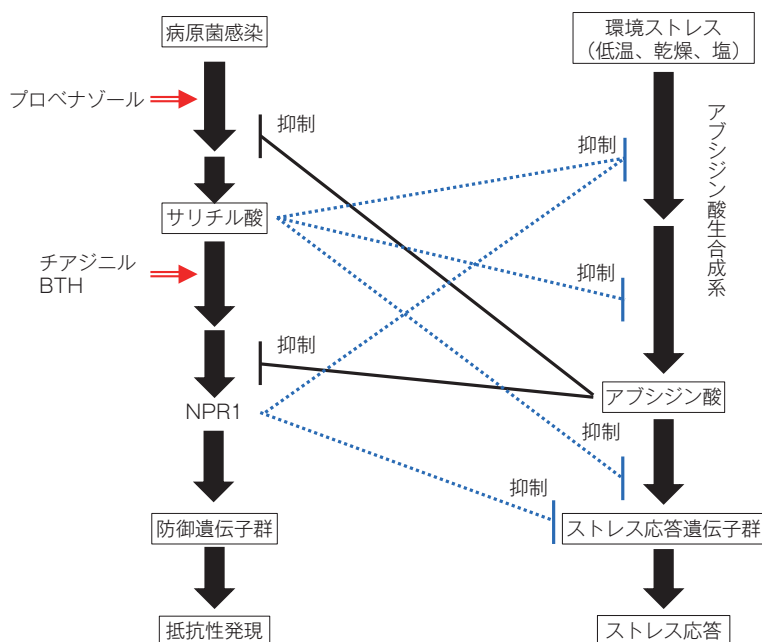


図12 シロイヌナズナにおけるサリチル酸シグナルとアブシジン酸シグナルの拮抗作用

Yasuda et al., 2008、安田・仲下, 2009を参考に作図。

生合成が抑制されていることを示唆していた。これは、プロベナゾール処理によってサリチル酸が誘導的に合成され蓄積したので、サリチル酸によるABAシグナル抑制のほうが、ABAによるサリチル酸シグナル抑制を上回ったためとも考えられる。

なお、高辻らによれば、いもち病菌自身もABAを生産してイネのサリチル酸シグナル伝達系を抑制し、自らの感染を容易にしている可能性があるという(Jiang et al., 2010)。いもち病菌の巧妙な感染戦略とみることもできよう。しかし、そのような状況下でもプロベナゾールが常に高いいもち病防除効果を示すのは、プロベナゾール処理によって合成されたサリチル酸がABAシグナルをより強く抑制しているからなのかもしれない。

6. プロベナゾールはファイトアレキシン生合成遺伝子を活性化させる

ファイトアレキシンは、植物の防御応答の結果として新たに植物体内で合成される低分子の感染特異的抗菌性物質である。Meiji Seika ファルマの研究者も参画した「植物防御システム研究所」では、イネの新規ファイトアレキシンとしてファイトカサンA～Eを発見した(Koga et al., 1995)。それまでに報告されていたイネのファイトアレキシンは、モミラクトンA、B、オリザレキシンA～F、S、およびサクラネチンであったので、これによりイネのファイトアレキ

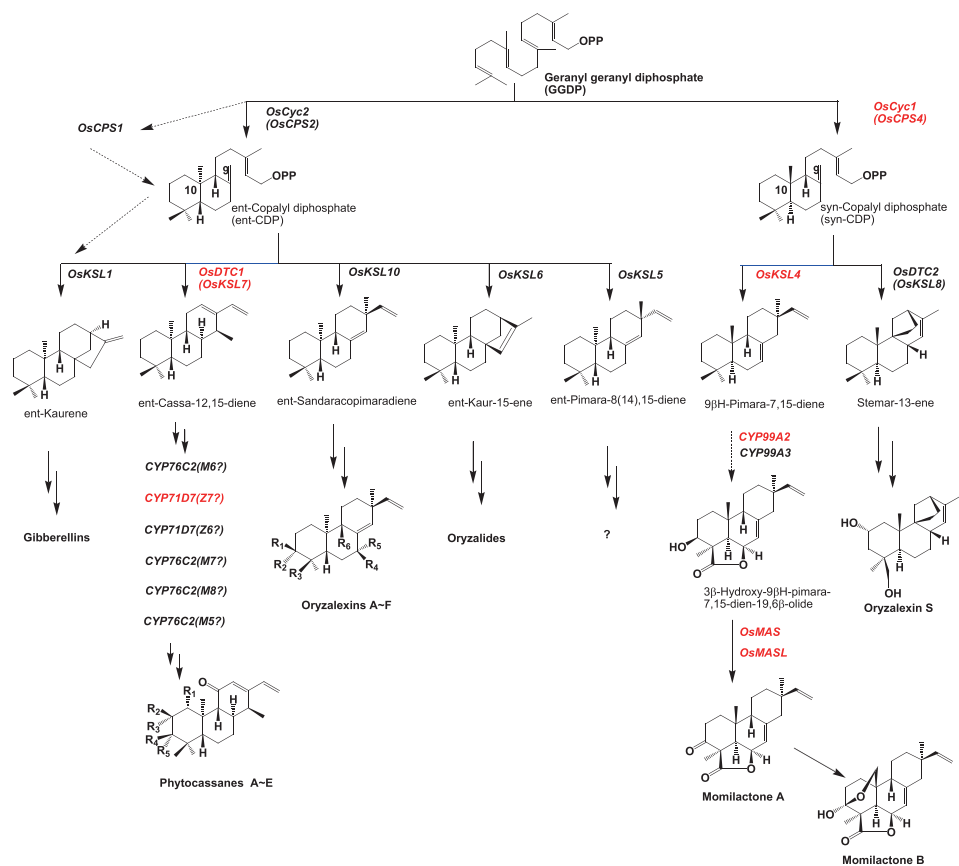


図13 イネにおけるジテルペン型ファイトアレキシンの生合成経路と同定された生合成遺伝子

無処理—いもち病菌接種イネと比較してプロベナゾール処理—いもち病菌接種イネで発現が上昇した遺伝子を赤字で、変動なしを黒字で示した。

シンは合わせて15種となった。このうちサクラネチン以外の14種は、ジテルペンに分類される化学構造を有しており、その化学構造からおおよその生合成経路の推定が可能である。古賀らは、ファイトカサン群の発見に続いて、その生合成を誘導するいもち病菌由来のエリシター(セレブロシド)も発見した(Koga et al., 1998)。エリシターとは、ファイトアレキシン生合成など植物の免疫応答を誘導する病原菌由来の物質の総称である。東京大学の山根(現帝京大学)らの研究グループは、このセレブロシドを用いて、イネのジテルペン型ファイトアレキシンの主要な生合成経路とそれに関与する遺伝子を解明した(Ko et al., 2010、Wang et al., 2012)。

プロベナゾールで処理されたイネのDNAマイクロアレイ網羅的解析データから、山根らによって報告された生合成遺伝子の発現情報を抽出し、それをファイトアレキシン生合成経路図上に示した(図13)。ファイトアレキシン合成に対しても、プロベナゾールのプライミング効果が認められた。すなわち、生合成経路上の遺伝子の発現上昇は、プロベナゾール処理だけではほとんど認められなかったが、それにいもち病菌を感染させると、ファイトカサン群とモミ

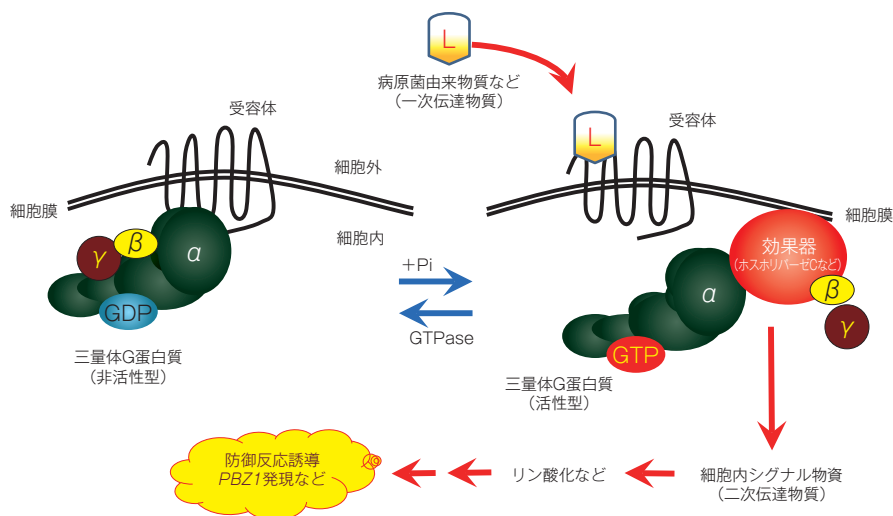


図14 7回細胞膜貫領域を有するG蛋白質共役型受容体と三量体G蛋白質

三量体G蛋白質は、受容体と同調して細胞外からのシグナルを細胞内へ伝える役割を果たしている。受容体が細胞外のシグナルを受け取ると、三量体G蛋白質が活性型に変化し、その情報を次の仲介役である膜結合性効果器分子(エフェクター)に伝える。続いて効果器分子は、細胞内シグナル物質(セカンドメッセンジャー)を活性型に変換し、それが細胞内に拡散することになる。

ラクトン群のそれぞれの生合成につながる遺伝子の発現が上昇していた。ファイトカサン群とモミラクトン群は、いもち病菌分生子に対して、他のファイトアレキシンより強い発芽阻害を示すと報告されている(Koga et al., 1995)。プロベナゾールの防除効果全体の中で、これらのファイトアレキシンの貢献程度を定量的に評価することは困難である。しかし、一般的にファイトアレキシンは病原菌が侵入した細胞に隣接する細胞で合成されるといわれており、イネでは病斑の外周部で濃度が高いことから、ファイトアレキシンは、病原菌の隣接細胞への伸展と病斑の拡大を抑制している可能性がある。

6. シグナル伝達分子G蛋白質とプロベナゾールの作用

6-1. 三量体G蛋白質(heterotrimeric G protein)とプロベナゾールの作用発現

植物は、感染シグナルとなる病原菌由来の物質や植物ホルモンなどの細胞外シグナルを認識するものとして、受容体(レセプター)を持っている。受容体で受け取られた細胞外からのシグナルは細胞内で通用するシグナルへと変換され、酵素活性の変化や遺伝子活性化など細胞内の様々な応答(例えば感染に対する応答)へとつながられていく。細胞外からのシグナルを受けとる装置の一つとして、G蛋白質(GTPが特異的に結合した蛋白質)と協調する受容体(G蛋白質共役受容体; GPCR)が知られている。この受容体蛋白質は、細胞膜を繰り返し貫通して細胞の内外をつないでいる(図14)。これは、多くの生物に共通する装置でもある。

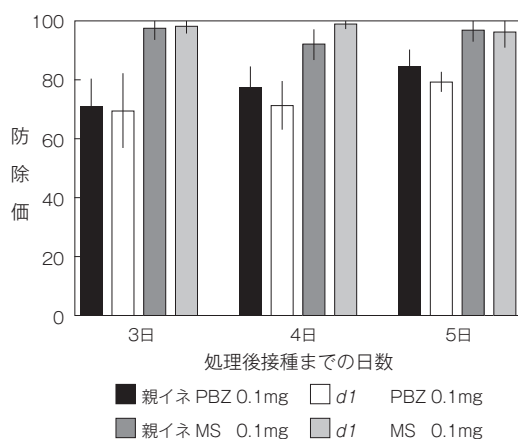


図15 Ga変異イネd1におけるプロベナゾールのいもち病防除効果

PBZはプロベナゾールを、MSは対照殺菌剤メトミノストロピンを示す。0.1mg/ポットを栽培土に灌注処理。プロベナゾールの防除効果は、d1でPBZ1蛋白質がまだ蓄積していない処理3~4日後(図16参照)に接種した場合でも、親イネと同じレベルである。

イネの感染防御応答にG蛋白質とG蛋白質共役受容体が関与している可能性が報告されている(関沢・芳賀, 1989、Sekizawa et al., 1995、Suharsono et al., 2002)。受容体と共役するG蛋白質は、3つのサブユニット(三量体; $G\alpha$ 、 $G\beta$ 、 $G\gamma$)から構成されておりそれぞれ役割分担がある。その中の $G\alpha$ が変異したイネを用いて、プロベナゾールの作用発現と $G\alpha$ の関係について解析した研究がある。

$G\alpha$ 変異イネd1(生長ホルモンジベレリンに対する感受性が低下し矮化しているのでdwarf 1)を用いたいもち病菌接種実験の結果、d1におけるプロベナゾールのいもち病防除効果は、変異していない親イネとほぼ同じであった(図15)。このことから、プロベナゾールの防除効果発現には $G\alpha$ は関与していないと考えられた。しかし、プロベナゾール特異的イネ遺伝子PBZ1(Midoh and Iwata, 1996)の発現が遅延したことから、PBZ1の発現制御については $G\alpha$ が関与している可能性が示された(Iwata et al., 2003; 図16)。農業生物資源研究所の小松らも同じように $G\alpha$ 変異イネd1を用いて実験を進め、d1ではいもち病に対するプロベナゾールの防除効果は影響を受けなかったが、細菌病である白葉枯病に対する防除効果が低下したことを観察している。また、PBZ1の発現は蛋白質リン酸化酵素(protein kinase)阻害剤で阻害され、プロベナゾール処理や白葉枯病菌感染後に活性が増大する蛋白質リン酸化酵素MAPK遺伝子の発現が、d1ではPBZ1と同様に遅延することを見出している。このことから、小松らは、プロベナゾール処理や白葉枯病菌感染によるMAPKやPBZ1遺伝子の発現誘導には、 $G\alpha$ が重要な役割を果たしているとしている。また、白葉枯病抵抗性の情報伝達系には、MAPK蛋白質が関与している可能性があるとしている(Komatsu et al., 2004)。

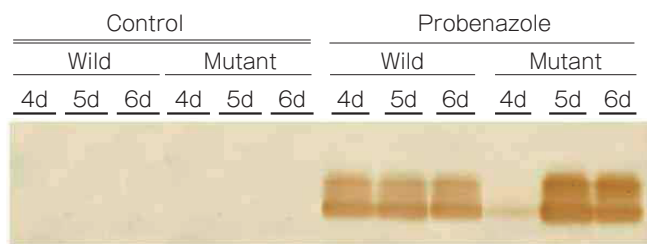


図16 Gα変異イネ*d1*の葉身にプロベナゾール処理により蓄積したPBZ1蛋白質

Wildは親イネを、MutantはGα変異イネ*d1*を示す。*d1*では、PBZ1蛋白質は親イネより1日遅れて処理5日後から検出されている。

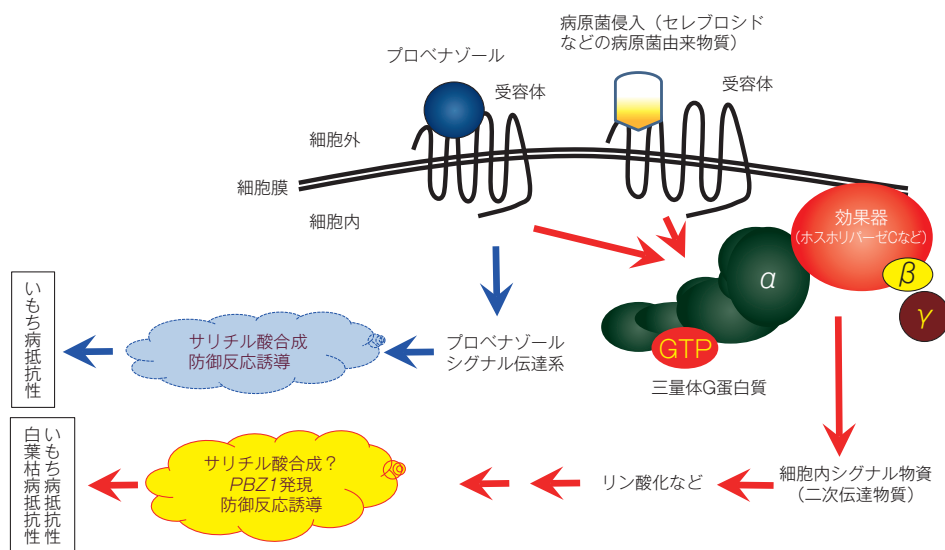


図17 三量体G蛋白質とプロベナゾールのシグナル伝達に関する仮説

プロベナゾールのいもち病防除効果発現のシグナル伝達系とPBZ1遺伝子発現誘導のシグナル伝達系は、分岐しているかあるいは並列している可能性がある。セレプロシドは、いもち病菌に含まれるエリシターであり(Koga et al., 1998)、PBZ1遺伝子の発現を誘導する(Umemura et al., 2000)。

上述の実験では、プロベナゾールのいもち病防除効果発現と、PBZ1遺伝子の発現誘導は必ずしも一致しない結果となっている。さらに、PBZ1遺伝子は、プロベナゾールの代謝物でいもち病防除効果もあるとされているBIT(1,1-benzisothiazole-3(2H)-one 1,1-dioxide)処理では発現誘導されない(Midoh and Iwata, 1997)。もしかしたら、プロベナゾールとその代謝物によるいもち病防除効果発現のシグナル伝達系と、プロベナゾールによるPBZ1遺伝子発現誘導のシグナル伝達系は、分岐しているかあるいは並列しているのかもしれない(図17)。

6-2. 低分子G蛋白質OsRac1はディフェンゾームを形成している

奈良先端科学技術大学院大学の島本らは、防御応答シグナルは、上述の三量体G蛋白質を経て、より分子量の小さなG蛋白質(イネsmall GTPase Rac 1; OsRac1)に伝えられている

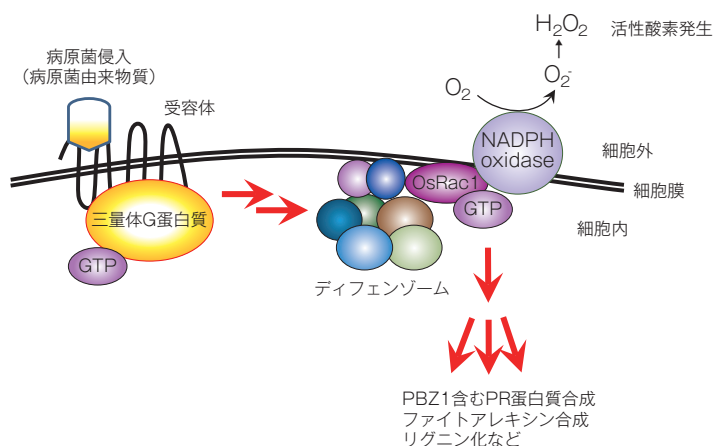


図18 OsRac1を中心とするディフェンゾームと植物免疫制御系のモデル

Suharsono et al., 2002、藤原ら, 2009を参考に作図した。その後の研究により、ディフェンゾームは、①病原菌のエリシターを受容して免疫系を活性化する複合体と、②病原菌の非病原力(avirulence)蛋白質を抵抗性遺伝子が作る受容体で感知して免疫系を活性化する複合体、で構成されていると提唱されている(Shimamoto et al., 2012、Kawano and Shimamoto, 2013)。ここで示した図は、①に相当する。②を含めた詳細は、岩田, 2014を参照のこと。OsRac1は、それぞれの複合体で中核的な役割を果たしている。非病原力(avirulence)蛋白質は、植物の抵抗性遺伝子産物と特異的に対応する病原菌の因子である。非病原力蛋白質は病原菌のレースごとに異なっており、このことにより病原菌は対応する抵抗性遺伝子を持っている植物に感染できない。

ことを見出した。そして、OsRac1の機能を失わせると、PBZ1遺伝子の発現や活性酸素産生などが認められなくなるので、このOsRac1が自然免疫応答のオン・オフを制御しているスイッチとなる分子種であるとした(Suharsono et al., 2002)。さらに、島本らは、自然免疫応答に係るいくつかの蛋白質がOsRac1を中心として複合体を形成していることを見つけた。この複合体が免疫システムを制御する上で重要な役割を担っていることから、この複合体を“ディフェンゾーム”と名付けた(藤原・島本, 2009；図18)。イネの細胞は、ディフェンゾームを形成することによって、すなわち免疫応答に係る蛋白質が複合体を形成することによって、免疫応答シグナルを迅速にかつ確実に伝えることを可能にしていると思われる。生物の細胞の中は、無数の蛋白質や電解質などが溶け込んだ単なるスープでしかないと思われがちだが、実際には、ディフェンゾームのように機能集団ごとに秩序化された蛋白質複合体が形成されており、それらが結合・解離を繰り返しながら定められた機能を果たすことができるようになっていくのかもしれない。

6-3. シグナル伝達分子G蛋白質とプロベナゾールの作用

これまでの研究をまとめると、自然免疫応答およびPBZ1遺伝子発現に係る情報伝達系は、“病原菌侵入 → Gα → OsRac1 → PBZ1発現を含む様々な防御応答反応”および“プロベナゾール処理 → Gα → OsRac1 → PBZ1発現”のように描くことができる。しかし、この情

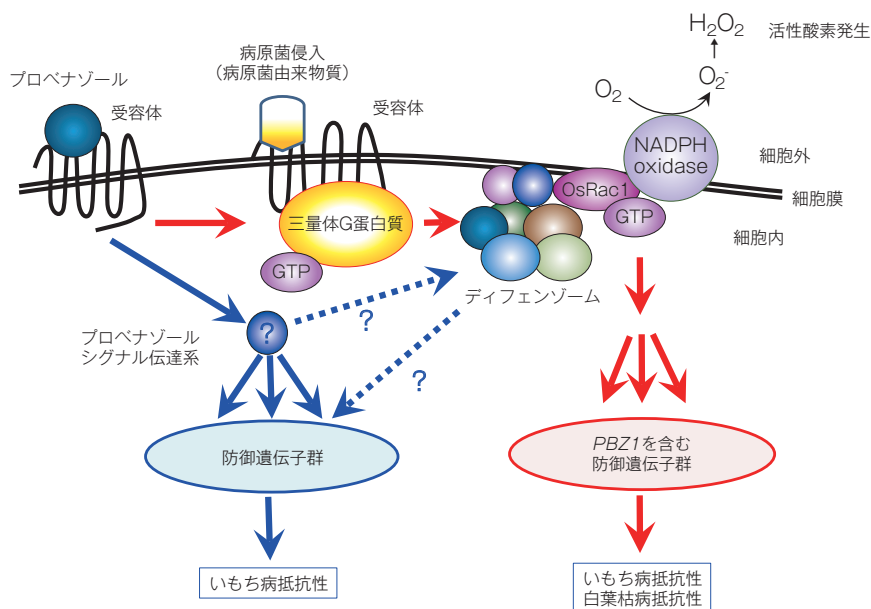


図19 植物免疫制御系のモデルとプロベナゾールのシグナル伝達に関する仮説

報伝達系に、肝心の“プロベナゾール処理 → いもち病防除効果発現”に至る経路を重ね合わせることは、まだ研究情報が不足しており仮説的にしかできない。仮に、図17を図18に重ね合わせると、図19のようになる。

7. プロベナゾールで誘導されるPBZ1の機能

7-1. 防御反応が亢進しているイネではPBZ1遺伝子が発現している

PBZ1は、御堂らによってプロベナゾールで処理されたイネで特異的に発現していることが発見された、新規遺伝子である(Midoh and Iwata, 1996)。PBZ1遺伝子はいもち病菌の感染によっても発現が誘導され、この遺伝子から作られるPBZ1蛋白質は、RNAを分解する酵素であるRNaseとアミノ酸配列の相同性がある。この特徴から、PBZ1はPR-10(感染特異的蛋白質10)群に分類されている。PBZ1遺伝子は、防御反応が亢進する非親和性の組み合わせでいもち病菌を接種した時により早く発現することから、PBZ1蛋白質の蓄積はイネで防御反応が進行しているかどうかの指標として多用されている。島本らは、生育ステージが進むと過敏反応様の細胞死をとまなう疑似病斑(lesion mimic)が出現し、それとともにいもち病に対して抵抗性となる変異イネで、lesion mimicの出現とPBZ1遺伝子の発現が関連することを確認している(Takahashi et al., 1999)。

7-2. PBZ1蛋白質は細胞死を誘導する

PBZ1はRNase類似の蛋白質であるが、抵抗性発現におけるその生化学的機能と役割についての研究は少ない。

Kimらは、イネの培養細胞にPBZ1蛋白質を添加すると濃度依存的に細胞死が誘導され、タバコの葉に塗布しても同様のことが観察された、と報告している(Kim et al., 2011)。さらに、*PBZ1*遺伝子を組換え導入したシロイヌナズナでは、細胞が自滅するように能動的に死亡するアポトーシス(apoptosis ; programmed cell death)が観察され、それは、PBZ1蛋白質のRNase活性によるものだとしている。病原菌が侵入したときに過敏的に細胞死が誘導されることがあるが、これは、典型的な抵抗反応の一つであり、アポトーシスの一種と考えられている。この実験結果から、プロベナゾールの防除効果の一部分は、“プロベナゾール処理 → PBZ1蛋白質誘導 → RNase活性による抵抗性発現”によりもたらされる、と描くことができるのかもしれない。しかし、*PBZ1*遺伝子は病原菌を感染させなくてもプロベナゾール処理のみで発現誘導されるので、この考え方では、プロベナゾール処理イネではPBZ1蛋白質による細胞死が常時進行していることになる。これでは、先に述べた“プロベナゾールの作用の基本は植物に対するプライミング効果である”を説明できない。プロベナゾール処理のみで発現誘導されるPBZ1蛋白質の濃度は、細胞死を誘導しない程度の低い濃度なのかもしれない。さらに研究が必要である。

8. プロベナゾールによる防除効果は、プロベナゾールが存在するときのみ発現する

イネに処理されたプロベナゾールは根から吸収され、そのとき展開していた最上位葉の先端に蓄積する傾向がある。一度、プロベナゾールを吸収したイネは、(その後に展開した新しい葉で、もはやプロベナゾールが検出されなくなっても)いつまでもいもち病菌の感染を抑制することができるのか、その疑問に答えるための実験を行った。

プロベナゾール処理7日後のイネ苗を、根部を洗浄して栽培土壌と共にプロベナゾールを洗い流し、移植した。移植17日後にいもち病菌を接種したところ、根部洗浄イネに形成された病斑数は無処理イネとほぼ同じであった(図20)。17日後の根部洗浄イネのプロベナゾール濃度は非検出までは低下していなかったが、非洗浄イネの10分の1以下であった。この結果は、プロベナゾールを吸収したイネは、いつまでもいもち病菌の感染を防ぐ性質を保持し続けるのではなく、プロベナゾールが体内に一定濃度以上存在するときのみ防除効果を発現すること

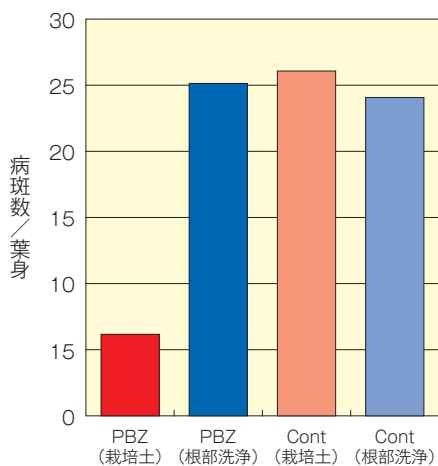


図20 プロベナゾールの防除効果は、プロベナゾールが一定濃度以上存在するときのみ発現する

第4葉が抽出しているプロベナゾール(PBZ)処理7日後のイネ苗を、根部を洗浄して土壌と共にプロベナゾールを洗い流し、ポットに移植。移植17日後にいもち病菌を接種。第6葉および第7葉に形成された病斑数を計測。対照となる栽培土区は、根部を洗浄しないでそのまま栽培土とともに移植。

ができることを示唆している。プロベナゾールの特徴の一つに、圃場における防除効果の持続性が優れていることが挙げられる。これは、プロベナゾールが、圃場ではある期間持続的にイネに吸収され、いもち病菌の感染対象である上位葉に供給され続けているためであると推測される。

9. 残された課題

プロベナゾールは、発売から40年間、多くの稲作農家に受け入れられて米の安定生産に貢献してきた。プロベナゾールの特徴として、いもち病に対する卓越した防除効果に加え、耐性菌出現の可能性が低い、広範囲の病害に対して有効である、効果の持続性がある、非標的生物に対する影響が少なく環境負荷軽減が期待される、などを挙げるができる。

プロベナゾールの作用メカニズム解析研究は、発売以来、手さぐりの的に継続して進められ、その結果多くの成果が蓄積されてきた。しかし、新しい発見があった反面、未解明のまま残されている課題もある。

未解明の点については本文でもいくつか紹介してきたが、最大の課題は、プロベナゾールの受容体に関する情報が得られていないことである。イネに吸収されたプロベナゾールの作用発現は、プロベナゾールがイネ体内の特定の蛋白質(受容体)と結合するところから始まると考えられる。しかしながら、現在までのところ、受容体を特定するまでには至っていない。もし、

受容体を特定することができれば、その遺伝子や受容体の下流につながる情報伝達系について解明研究を進展させることができると思われる。また、プロベナゾールの情報伝達系と、自然免疫応答における情報伝達系の接点も分かってくるに違いない。受容体の遺伝子情報やアミノ酸配列情報から受容体の立体的構造を推定することができるならば、プロベナゾールの化学構造のさらなる最適化とともに新規化学構造の提案が可能となるであろう。近い将来に、これらの課題解決への道筋が見えてくることを期待したい。

引用文献

- Araki, Y. and Kurahashi, Y.(1999). Enhancement of phytoalexin synthesis during rice blast infection of leaves by pre-treatment with carpropamid. *J. Pesticide Sci.* 24 : 369-374.
- Dempsey, D. A., Vlot, A. C., Wildermuth, M. C. and Klessig, D. F.(2011). Salicylic Acid Biosynthesis and Metabolism. *The Arabidopsis Book* 9: e0156. doi: 10.1199/tab.0156.
- 藤原正幸・島本 功(2009). 植物の免疫機構を制御するタンパク質複合体“Defenseome” 低分子量Gタンパク質OsRaclが関わる免疫システム. *化学と生物* 47 : 378-380.
- Iwai, T., Seo, S., Mitsuhashi, H. and Ohashi, Y.(2007). Probenazole-induced accumulation of salicylic acid confers resistance to *Magnaporthe grisea* in adult rice plants. *Plant Cell Physiol.* 48 : 915-924.
- 岩田道頭(2004). 農薬の開発. 島本 功ら(編)新版 分子レベルからみた植物の耐病性. 秀潤社. pp.150-154.
- 岩田道頭(2007). プロベナゾールの開発過程・作用機作. *植物防疫*61 : 553-558.
- 岩田道頭(2014). Dr.岩田の「植物防御機構講座」改訂版 (p-45 図3-7参照、同文を<http://www.meiji-seika-pharma.co.jp/agriculture/lecture/activator.html>にも掲載)
- Iwata, M., Sekizawa, Y., Iwamatsu, H., Suzuki, Y. and Watanabe, T.(1981). Effects of plant hormones on peroxidase activity in rice leaf and incidence of rice blast. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 47 : 646-653.
- Iwata, M., Suzuki, Y., Watanabe, T., Mase, S. and Sekizawa, Y.(1980). Effect of probenazole on the activities of enzymes related to the resistant reaction in rice plant. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 46 : 297-306.
- Iwata, M., Umemura, K., Teraoka, T., Usami, H., Fujisawa, Y. and Iwasaki, Y.(2003). Role of the α subunit of heterotrimeric G-protein in probenazole-inducing defense signaling in rice. *J. Gen. Plant Pathol.* : 69 : 83-86.
- Jiang, C-J., Shimono, M., Sugano, S., Kojima, M., Liu, X., Inoue, H., Sakakibara, H. and Takatsuji, H.(2013). Cytokinins act synergistically with salicylic acid to activate defense gene expression in rice. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 26 : 287-296.
- Jiang, C-J., Shimono, M., Sugano, S., Kojima, M., Yazawa, K., Yoshida, R., Inoue, H., Hayashi, N., Sakakibara, H. and Takatsuji, H.(2010). Abscisic acid interacts antagonistically with salicylic acid signaling pathway in rice-*Magnaporthe grisea* interaction. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 23 : 791-798.
- Jung, H. W., Tschaplinski, T. J., Wang, L., Glazebrook, J. and Greenberg, J. T.(2009). Priming in systemic plant immunity. *Science* 324 : 89-91.
- Kawano, Y. and Shimamoto, K.(2013). Early signaling network in rice PRR-mediated and R-mediated immunity. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16 : 496-504.
- Kessmann, H., Staub, T., Hofmann, C., Maetzke, T., Herzog, J., Ward, E., Uknes, S. and Ryals, J.(1994). Induction of systemic acquired disease resistance in plant by chemicals. *Annu. Rev. Phytopathol.* 32 : 439-459.
- Kim, S., G., Kim, S. T., Wang, Y., Yu, S., Choi, I. S., Kim, Y. C., Kim, W. T., Agrawal, G. K., Rakwal,

- R. and Kang, K. Y.(2011). The RNase activity of rice probenazole-induced protein1 (PBZ1) plays a key role in cell death in plants. *Mol. Cells* 31 : 25-31.
- Ko, K-W., Okada, K., Koga, J., Jikumaru, Y., Nojiri, H. and Yamane, H.(2010). Effects of cytokinin on production of diterpenoid phytoalexins in rice. *J. Pestic. Sci.* 35 : 412-418.
- Koga, J., Shimura, M., Oshima, K., Ogawa, N., Yamauchi, T. and Ogasawara, N.(1995). Phytocassanes A, B, C and D, novel diterpene phytoalexins from rice, *Oryza sativa* L. *Tetrahedron* 51 : 7907-7918.
- Koga, J., Yamauchi, T., Shimura, M., Ogawa, N., Oshima, K., Umemura, K., Kikuchi, M. and Ogasawara, N.(1998). Cerebrosides A and C, sphingolipid elicitors of hypersensitive cell death and phytoalexin accumulation in rice plants. *J. Bio. Chem.* 273 : 31985-31991.
- Komatsu, S., Yang, G., Hayashi, N., Kaku, H., Umemura, K. and Iwasaki, Y.(2004). Alterations by a defect in a rice G protein α subunit in probenazole and pathogen - induced responses. *Plant Cell Environ.* 27 : 947-957.
- Matsumoto, K., Suzuki, Y., Mase, S., Watanabe, T. and Sekizawa, Y.(1980). On the relationship between plant hormones and rice blast resistance. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 46 : 307-314.
- Midoh, N. and Iwata, M.(1996). Cloning and characterization of a probenazole-inducible gene for an intracellular pathogenesis-related protein in rice. *Plant Cell Physiol.* 37 : 9-18.
- Midoh, N. and Iwata, M.(1997). Expression of defense-related genes by probenazole or 1,1-benzisothiazole-3(2H)-one 1,1-dioxide. *J. Pesticide Sci.* 22: 45-47.
- Ryals, J. A., Neuenschwander, U. H., Willits, M. G., Molina, A., Steiner, H-Y. and Hunt, M. D. (1996). Systemic Acquired Resistance. *Plant Cell* 8 : 1809-1819.
- 関沢泰治・芳賀実(1989). 酵素誘導とエチレン. 植物感染生理談話会論文集 7 : 1-12.
- Sekizawa, Y., Haga, M., Hirabayashi, E., Takeuchi, N. and Takino, Y.(1987). Dynamic behavior of superoxide generation in rice leaf tissue infected with blast fungus and its regulation by some substances.: *Agric. Biol. Chem.* 51 : 763-770.
- Sekizawa, Y., Aoyama, H., Kimura, M. and Yamaguchi, I.(1995). GTPase activity in rice plasma membrane preparation enhanced by a priming effector for plant defence reactions. *J. Pesticide Sci.* 20. 165-168.
- Shimamoto, K., Akamatsu, A., Hamada, S. and Kawano, Y.(2012). Defensome in rice innate immunity. Abstract of the XV International Congress on Molecular Plant-Microbe Interactions (Kyoto). PL1-3.
- Shimono, M., Koga, H., Akagi, A., Hayashi, N., Goto, S., Sawada, M., Kurihara, T., Matsushita, A., Sugano, S., Jiang, C-J., Kaku, H., Inoue, H. and Takatsuji, H.(2012). Rice WRKY45 plays important roles in fungal and bacterial disease resistance. *Mol. Plant Pathology* 13; 83-94.
- Shimono, M., Sugano, S., Nakayama, A., Jiang, C-J., Ono, K., Toki, S. and Takatsuji, H.(2007). Rice WRKY45 plays a crucial role in benzothiadiazole-inducible blast resistance. *Plant Cell* 19 : 2064-2076.
- Shimura, M., Mase, S., Iwata, M., Suzuki, A., Watanabe, T., Sekizawa, Y., Sasaki, T., Furihata, K., Seto, H. and Otake, N.(1983). Anti-conidial germination factors induced in the presence of probenazole in infected host leaves. III. Structural elucidation of substances A and C. *Agric. Biol. Chem.* 47 : 1983-1989.
- Suharsono, U., Fujisawa, Y., Kawasaki, T., Iwasaki, Y., Satoh, H. and Shimamoto, K.(2002). The heterotrimeric G protein subunit acts upstream of the small GTPase Rac in disease resistance of rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99 : 13307-13312.
- 高辻博志・霜野真幸・菅野正治・姜昌杰・中山明・林長生(2008). イネの誘導抵抗性に関わる分子機構の解明とその利用. 植物感染生理談話会論文集 44 : 59-68.
- Takahashi, A., Kawasaki, T., Henmi, K., Shii, K., Kodama, O., Satoh, H. and Shimamoto, K.(1999). Lesion mimic mutants of rice with alterations in early signaling events of defense. *Plant J.* 17 : 535-545.

- Umemura, K., Ogawa, N., Yamauchi, T., Iwata, M., Shimura, M and Koga, J.(2000). Cerebroside elicitors found in diverse phytopathogens activate defense. *Plant Cell Physiol.* 41 : 676-683.
- Umemura, K., Satou, J., Iwata, M. Uozumi, N., Koga, J., Kawano, T., Koshiba, T., Anzai, H. and Mitomi, M.(2009). Contribution of salicylic acid glucosyltransferase, OsSGT1, to chemically induced disease resistance in rice plants. *Plant J.* 57 : 463-472.
- Vlot, A. C., Klessig, D. F. and Park, S-W.(2008). Systemic acquired resistance: the elusive signal (s). *Curr. Opin. Plant Biology* 11 : 436-442.
- Wang, Q., Hillwig, M. L., Okada, K., Yamazaki, K., Wu, Y., Swaminathan, S., Yamane, H. and Peters, R. J.(2012). Characterization of CYP76M5-8 indicates metabolic plasticity within a plant biosynthetic gene cluster. *J. Bio. Chem.* 287 : 6159-6168.
- Wildermuth, M. C., Dewdney, J., Wu, G. and Ausubel, F. M.(2001). Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defence. *Nature* 414 : 562-571.
- Wu, Y., Zhang, D., Chu, J. Y., Boyle, P., Wang, Y., Brindle, I. D., De Luca, V. and Després, C.(2012). The *Arabidopsis* NPR1 protein is a receptor for the plant defense hormone salicylic acid. *Cell Reports* 1 : 639-647.
- Yasuda, M., Ishikawa, A., Jikumaru, Y., Seki, M., Umezawa, T., Asami, T., Maruyama-Nakashita, A., Kudo, T., Shinozaki, K., Yoshida, S. and Nakashita, H.(2008). Antagonistic interaction between systemic acquired resistance and the abscisic acid-mediated abiotic stress response in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 20 : 1678-1692.
- Yasuda, M., Kusajima, M., Nakajima, M., Akutsu, K., Kudo, T., Yoshida, S. and Nakashita, H.(2006). Thiadiazole carboxylic acid moiety of tiadinil, SV-03, induces systemic acquired resistance in tobacco without salicylic acid accumulation. *J. Pestic. Sci.* 31 : 329-334.
- 安田美智子・仲下英雄(2009). 植物の全身獲得抵抗性を制御する植物ホルモンネットワーク. *化学と生物* 47 : 553-559.
- Yoshioka, K., Nakashita, H., Klessig, D. F. and Yamaguchi, I.(2001). Probenazole induces systemic acquired resistance in *Arabidopsis* with a novel type of action. *Plant J.* 25 : 149-157.
- Yu, J., Gao, J., Wang, X. Y., Wei, Q., Yang, L. F., Qiu, K. and Kuai, B. K.(2010). The pathway and regulation of salicylic acid biosynthesis in probenazole-treated *Arabidopsis*. *J. Plant Biol.* 53 : 417-424.