

QoI 剤および SDHI 剤耐性菌の現状と 薬剤使用ガイドライン

(独)農業環境技術研究所 ^{いし}石 ^い井 ^{ひで}英 ^お夫

はじめに

アゾキシストロビン（商品名：アミスターほか）やクレスキシムメチル（同：ストロビー）に代表される QoI 剤（ミトコンドリア電子伝達系の複合体 III たんぱく質、すなわちチトクローム *bc1* の Qo 部位を阻害する薬剤の総称。ストロビルリン系薬剤とはほぼ同義）は、今日最も重要な殺菌剤グループの一つで、アゾキシストロビンは世界でベストセラーとなっている。

一方、新世代のボスカリド（商品名：カンタスほか）やベンチオピラド（同：アフェット）で知られる SDHI 剤は、ミトコンドリア電子伝達系の複合体 II たんぱく質（コハク酸脱水素酵素）に作用して、QoI 剤と同様、菌の呼吸を阻害する。現在最も開発が進む殺菌剤グループである。

しかし、QoI 剤耐性菌の圃場出現が相次いでいるほか、新規 SDHI 剤の一部についても既に耐性菌が報告されている。そこで、QoI 剤および SDHI 剤耐性菌の国内外における状況を紹介します。また、日本植物病理学会の殺菌剤耐性菌研究会では、耐性菌による薬剤防除効果の低下を防ぎ、持続的な作物生産に寄与することを目的に、野菜や果樹等における QoI 剤および SDHI 剤の使用ガイドラインを作成し、既に公表したので、併せて紹介します。

なお本稿の内容は、第 19 回および第 22 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウムの講演要旨（石井，2009；2012）から抜粋し、加筆、修正したものである。耐性菌の生物学的特性や検定法、遺伝子診断法等については、紙数の制限上割愛する。

I QoI 剤と耐性菌の出現状況

QoI 剤は現在 19 種類が知られ、このうち 8 種類（クレスキシムメチル、アゾキシストロビン、メトミノストロビン、ファモキサドン、トリフロキシストロビン、フェニアミドン、ピラクロストロビンおよびオリサストロビン）が我が国で登録されているが、それらの間ではほとんどの場合明瞭な交さ（差）耐性が見られる。ピリベンカルブやピコキシストロビンのように登録申請中や委託試

験中の QoI 剤もあるため、今後更なる増加が見込まれる。

QoI 剤が登場した当初は耐性菌発達のリスクはわからなかったが、その後 10 年余りの間に次々と耐性菌が出現し、60 種以上の病原菌（国内は 22 種）で耐性菌が報告されている（表-1、報告者名・出典は省略）。このため、QoI 剤は耐性菌リスクが最も高いとみなされる。

我が国では、QoI 剤の普及後間もなく、キュウリうどんこ病やべと病（天野，2000；石井，2000；ISHII et al., 2001）、ナスすすかび病（矢野，2002）、キュウリ褐斑病（伊達ら，2004；ISHII et al., 2007）、さらにはイチゴ炭疽病（稲田ら，2008）ほかの野菜病害、また果樹や茶の病害でも QoI 剤耐性菌の分布が拡大している。トマト葉かび病菌（渡辺，2009）やブドウ褐斑病菌（井上，2009；菊原，2009）の QoI 剤耐性菌は我が国で初めて報告されたが、最近話題になっているブドウべと病菌（鈴木，2011；綿打，2011）などでは、海外で早くから耐性菌が報告されて、国内での発生が危惧されていた。

イネでは、いもち病菌の QoI 剤感受性低下菌が圃場からごくまれに見いだされ（中村ら，2011）、アメリカでも QoI 剤の効力不足が一例報告されている（GROTH and RUSH, 2006）。オリサストロビン剤などの普及により QoI 剤耐性菌の出現が懸念されるので、今後の動向に十分な注意が必要である。殺菌剤耐性菌研究会は「イネいもち病防除における QoI 剤および MBI-D 剤耐性菌対策ガイドライン」を既に公表している（宗・山口，2008）。これをさらに普及させるとともに、その効果を検証することも重要である。研究会に参加する農業団体やメーカーはいもち病菌の耐性菌モニタリングを継続して実施しているので、社会的な責務として結果の迅速な公表を望みたい。

なお、各種薬剤に対する耐性菌が従来ほとんど知られていなかった *Rhizoctonia solani* に、アメリカのイネ紋枯病でアゾキシストロビン剤耐性菌が検出されたとの情報があり（<http://deltafarmpress.com/rice/fungicide-resistant-rhizoctonia-solani-found-louisiana>）、耐性菌による薬効の低下が関連メーカーによって報じられている（OLAYA et al., 2012）。

II QoI 剤耐性機構とチトクローム *b* の遺伝子変異

QoI 剤耐性はミトコンドリア DNA であるチトクロ-

Current Situation of QoI and SDHI Resistance and Guideline for Fungicide Use. By Hideo Ishii

(キーワード：QoI 剤，SDHI 剤，薬剤耐性菌)

表-1 圃場に出現した QoI 剤耐性菌 (2012年6月現在)

病原菌名	学名
イネいもち病菌*	<i>Magnaporthe oryzae</i>
イネ紋枯病菌	<i>Rhizoctonia solani</i>
コムギうどんこ病菌*	<i>Blumeria graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>
コムギ葉枯病菌	<i>Mycosphaerella graminicola</i>
コムギ黄斑病菌	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>
コムギふ枯病菌	<i>Phaeosphaeria nodorum</i>
コムギ赤かび病菌*	<i>Microdochium nivale</i> , <i>M. majus</i> , <i>Fusarium graminearum</i>
オオムギうどんこ病菌	<i>B. graminis</i> f.sp. <i>hordei</i>
オオムギ網斑病菌	<i>Pyrenophora teres</i>
オオムギ雲形病菌	<i>Rhynchosporium secalis</i>
オオムギ <i>Ramularia leaf spot</i> 病菌	<i>Ramularia collo-cygni</i>
トウモロコシ斑点病菌	<i>Cercospora zeaе-maydis</i>
ジャガイモ夏疫病菌	<i>Alternaria solani</i> , <i>A. alternata</i>
ジャガイモ炭疽病菌	<i>Colletotrichum coccodes</i>
ダイズ斑点病菌	<i>Cercospora soja</i>
ヒヨコマメ <i>Ascochyta blight</i> 病菌	<i>Ascochyta rabiei</i>
テンサイ褐斑病菌	<i>C. beticola</i>
ワタ <i>Grey mildew</i> 病菌	<i>Ramularia areola</i>
ウリ類うどんこ病菌*	<i>Podosphaera xanthii</i>
キュウリべと病菌*	<i>Pseudoperonospora cubensis</i>
キュウリ褐斑病菌*	<i>Corynespora cassiicola</i>
ウリ類つる枯病菌*	<i>Didymella bryoniae</i>
ナスすすかび病菌*	<i>Mycovellosiella natrassii</i>
トマト葉かび病菌*	<i>Passalora fulva</i>
トマト褐色輪紋病菌*	<i>C. cassiicola</i>
ナス・ピーマン黒枯病菌*	<i>C. cassiicola</i>
ニンニク白斑葉枯病菌*	<i>Botrytis squamosa</i>
イチゴ炭疽病菌*	<i>C. gloeosporioides</i>
イチゴうどんこ病菌*	<i>Sphaerotheca aphanis</i> var. <i>aphanis</i>
アスパラガス斑点病菌	<i>Stemphylium vesicarium</i>
リンゴ黒星病菌	<i>Venturia inaequalis</i>
リンゴ斑点落葉病菌*	<i>A. alternata</i> apple pathotype
リンゴうどんこ病菌	<i>P. leucotricha</i>
リンゴ炭疽病菌*	<i>C. gloeosporioides</i>
セイヨウナシ黒星病菌*	<i>A. alternata</i> apple pathotype
セイヨウナシ黒星病菌	<i>V. pirina</i>
セイヨウナシ褐色斑点病菌	<i>S. vesicarium</i>
ナシ炭疽病菌*	<i>C. gloeosporioides</i>
モモ灰星病菌	<i>Monilinia fructicola</i>
オウトウ灰星病菌	<i>M. laxa</i>
ビスタチオ <i>Alternaria late blight</i> 病菌	<i>A. alternata</i> ほか
アーモンド <i>Alternaria leaf spot</i> 病菌	<i>A. alternata</i> ほか
アーモンド黒星病菌	<i>Fusicladosporium carpophilum</i>
カンキツ・イチゴ灰色かび病菌*	<i>B. cinerea</i>
カンキツ <i>brown spot</i> 病菌	<i>A. alternata</i> tangerine pathotype
ブドウべと病菌*	<i>Plasmopara viticola</i>
ブドウうどんこ病菌	<i>Erysiphe necator</i>
ブドウ褐斑病菌*	<i>Pseudocercospora vitis</i>
ブドウ晩腐病菌*	<i>C. gloeosporioides</i>
バナナ <i>Black Sigatoka</i> 病菌	<i>M. fijiensis</i>
バナナ <i>Yellow Sigatoka</i> 病菌	<i>M. musicola</i>
チャ輪斑病菌*	<i>Pestalotiopsis longiseta</i>
キク白さび病菌	<i>Puccinia horiana</i>
シバ炭疽病菌*	<i>Colletotrichum graminicola</i>
シバいもち病菌	<i>Pyricularia grisea</i>
シバ赤焼病菌	<i>Pythium aphanidermatum</i>
クレーピングベントグラス炭疽病菌	<i>Colletotrichum cereale</i>
バミューダグラス葉枯病菌	<i>Bipolaris spicifera</i>

*日本で(も)検出.

ム *b* 遺伝子の変異が主な原因となり、G143A 変異（塩基変異によりコドン 143 部位のアミノ酸がグリシンからアラニンに置換）が QoI 剤の作用点たんぱく質との結合を妨げて、高度耐性（ED₅₀ に基づく Resistance factor (Rf) : 100 ~ 数 100 以上）を発現すると推定される (Gisi et al., 2002)。これまで筆者らが解析したウリ類うどんこ病菌、キュウリべと病菌をはじめとする多くの病原菌でも、この G143A が見られる場合が多かった (ISHII, 2012 ; ISHII et al., 2001 ; 2007)。

これとは別に、チトクローム *b* 遺伝子の F129L 変異（コドン 129 がフェニルアラニンからロイシンに置換）、G137R 変異（コドン 137 のグリシンがアルギニンに置換）は通常、比較的低レベル（Rf : 5 ないし 15、ごくまれに 50 程度）の QoI 剤耐性をもたらず (LEADBEATER, 2012 a)。我が国でも、F129L 変異がトマト葉かび病菌 (渡辺, 2011) やチャ輪斑病菌 (山田・園田, 2012) の耐性菌で見いだされた。

チトクローム *b* 遺伝子のコドン 143 直後にイントロンをもつ菌株が各種さび病菌 (GRASSO et al., 2006) や灰色かび病菌 (BANNO et al., 2009 ; JIANG et al., 2009) ほかで見つかり、このような菌に G143A 変異が起こると致死となって、耐性菌の出現を妨げるとされる。このイントロンの有無が、耐性菌の出現リスクを占う指標となるという (MIESSNER et al., 2011 ; HILY et al., 2011)。

しかし、最近イギリスとフランスで QoI 剤感受性が低い (Rf : 15) オオムギ小さび病菌 (*Puccinia hordei*) が検出された (FRAC, 2012) ほか、細胞の加齢などによってイントロンの欠失が起こること (SAINARD-CHANET et al., 1993 ; YIN et al., 2012)、イントロンを持つモモ灰星病菌株でピラクロストロピン耐性菌の発生事例がある (LUO et al., 2010 ; AMIRI et al., 2010) ことなどから、イントロンの有無で QoI 剤耐性菌の出現リスクを予測するのは時期尚早と思われる。

なお、QoI 剤耐性の分子機構として、チトクローム *b* 遺伝子の変異とは別に、Alternative oxidase（代替酸化酵素）や ABC トランスポーターが関与する可能性もある。

III チトクローム *b* 遺伝子のヘテロプラスミー

チトクローム *b* 遺伝子は、コピー数がすこぶる多いミトコンドリア DNA である。単胞子由来の QoI 剤耐性菌株であっても、この遺伝子に G143A の耐性変異配列と野生型配列が混在するヘテロプラスミーの現象が見られることも珍しくない。ヘテロプラスミーはキュウリうどんこ病菌 (ISHII et al., 2007) をはじめ多くの菌で明らかになり、耐性の遺伝子診断に支障を及ぼす (石井,

2002 ; 2009 ; ISHII, 2010)。

PCR-RFLP 解析やシーケンシングで当初 G143A 変異が確認された QoI 剤高度耐性菌でも、薬剤無選抜条件下で継代すると、この変異が見られなくなることがある。また、キュウリうどんこ病菌では耐性から感受性への変化も観察された。ミトコンドリアゲノム中で耐性変異型チトクローム *b* 遺伝子が減衰し、やがて感受性菌に復帰したものと思われた (ISHII et al., 2007 ; 石井ら, 2008 ; ISHII, 2012)。一方、G143A 変異を確認できない灰色かび病菌の耐性菌を QoI 剤添加培地で培養すると、再びこの変異が確認できるようになった (ANGELINI et al., 2012)。

我が国と同様、はじめ G143A 変異が確認されていたスペインのキュウリうどんこ病菌でも、この変異が見られない QoI 剤耐性菌が頻りに検出されている (FERNANDEZ-ORTUNO et al., 2008)。G143A 変異配列と野生型配列の混在はリンゴ黒星病菌でも見られ、allele-specific qPCR による G143A 変異の定量が試みられている (VILLANI and COX, 2012)。

IV SDHI 剤と耐性菌の現状

第一世代の SDHI 剤はカルボキシンのように担子菌類に特異的に強い活性を示し、耐性菌もキク白さび病菌ほかに限られていた。しかしその後、ボスカリドに代表される防除スペクトラムの広い新世代の SDHI 剤が開発され、最近さらに多数のものが登場している (GLÄTTLI et al., 2011)。フルキサピロキサド、ピキサフェン、フルオピラム、ペンフルフェン、イソピラザム、セダキサン等で、SDHI 剤は DMI 剤や QoI 剤に代わって、今日最も注目される薬剤グループである。これら新規 SDHI 剤の耐性菌リスクは今のところ「中～高い」とされるが、海外ではボスカリド剤の普及当初からいくつかの病原菌で耐性菌が出現し (表-2)、今後もその事例の増加が懸念される。

国内でも、キュウリ褐斑病 (宮本, 2008 ; MIYAMOTO et al., 2009) に次いでキュウリうどんこ病 (石井ら, 2009 ; 宮本ら, 2009 ; MIYAMOTO et al., 2010 a) で、さらにイチゴ灰色かび病 (鈴木ら, 2012) やナスすすかび病 (岡田ら, 2012) でボスカリド耐性菌が確認された (表-3)。このうち、キュウリ褐斑病菌の耐性菌は全国各地で検出が相次いでいる (牛尾・竹内, 2009 ; 長浜, 2010 ; 田村ら, 2010 ; 古田ら, 2011)。ボスカリドは国内ではキュウリうどんこ病に未登録であるが、褐斑病防除に使用された結果、本来防除活性のあるうどんこ病でも耐性菌が選抜されたと想像される。本菌の場合、ボスカリド耐性菌は既登録のペンチオピラドにも交差耐性を示す (ISHII et al., 2011) ため、耐性菌が広く分布している恐れ

表-2 海外で報告のあるボスカリド剤耐性菌 (2012年6月現在)

病名	病原菌名	報告者名・年
ピスタチオ Alternaria late blight 病	<i>Alternaria alternata</i> *	AVENOT and MICHAÏLIDES, 2007
ブドウ, イチゴ, リンゴ, キウイフ		KIM and XIAO, 2010
ルーツ灰色かび病	<i>Botrytis cinerea</i> *	VELOUKAS et al., 2011
モモ灰星病	<i>Monilinia fructicola</i>	AMIRI et al., 2010
ユリ葉枯病	<i>B. elliptica</i>	FRAC, 2007
ウリ類うどんこ病	<i>Podosphaera xanthii</i> *	McGRATH and MIAZZI, 2008
ウリ類つる枯病	<i>Didymella bryoniae</i> *	THOMAS et al., 2011
トマト褐色輪紋病菌	<i>Corynespora cassiicola</i> *	ADKINSON et al., 2012
アブラナ科菌核病	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	STAMMLER et al., 2011
ジャガイモ夏疫病	<i>A. solani</i>	WHARTON et al., 2012

* QoI 剤との複合耐性菌も分布。

表-3 我が国で報告のあるボスカリド剤耐性菌 (2012年6月現在)

病名	病原菌名
キュウリ褐斑病	<i>Corynespora cassiicola</i>
キュウリうどんこ病	<i>Podosphaera xanthii</i>
イチゴ灰色かび病	<i>Botrytis cinerea</i>
ナスすすかび病	<i>Mycovellosiella natrassii</i>

があり, 早急な調査が望まれる。

V 耐性菌出現と SDHI 剤の使用状況

ボスカリド耐性菌がいち早く報じられたアメリカ, カリフォルニア州のピスタチオ *Alternaria late blight* 病には, 当初からボスカリド単剤ではなく QoI 剤ピラクロストロビンとの混合剤 (Pristine[®]) が1年に2ないし3回使われた。しかし, 3年目には効果の減退が見られた (AVENOT et al., 2008 a)。Pristine[®] の使用開始時にピラクロストロビン耐性菌が既に分布し, ピラクロストロビン・ボスカリド複合耐性菌の選抜が進んだことも, この混合剤の効力低下を速める結果となった。我が国でもピラクロストロビン・ボスカリド混合剤が果樹 (商品名: ナリア) や野菜 (同: シグナム) で使用されているので, 十分な注意を要する。

国内のキュウリでは, ボスカリド剤が2005年1月に灰色かび病と菌核病に登録され, 次いで2006年7月褐斑病にも適用拡大された。使用回数の遵守はもちろん, 他系統薬剤とのローテーション散布をしていたにもかかわらず, 2005年9月に分離された褐斑病菌にボスカリド耐性菌が初めて検出された (宮本, 2011)。当初は中等度耐性菌が検出されていたが, やがて超高度耐性菌が優占するに至っている。灰色かび病菌の場合も, ボスカリド剤使用開始2年後には耐性菌が検出されている (VELOUKAS et al., 2011)。

VI SDHI 剤間の交さ耐性

FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) は現在, 16種類のSDHI剤をすべてCode No.7にまとめているが, ここでは耐性菌が特に問題となるボスカリド以降の新世代の薬剤に限って話を進める。ベンチオピラドはキュウリ褐斑病菌やうどんこ病菌に対する基礎活性がボスカリドに優るため, より低濃度で感受性菌の生育や発病を抑制する。しかし, ボスカリドに比べてRfは低いものの, これらの菌のボスカリド耐性菌はベンチオピラドに交さ耐性を示す (ISHII et al., 2011)。この交さ耐性はウリ類つる枯病菌でも見られる (THOMAS et al., 2012)。ただし, ボスカリド超高度耐性菌はベンチオピラドに交さ耐性を示すが, 高度耐性菌は交さ耐性を示さない (AVENOT et al., 2012)。

一方, フルオピラムはキュウリ褐斑病菌などのボスカリド超高度耐性菌や高度耐性菌にも高い防除効果を示し, 交さ耐性が見られない (ISHII et al., 2011) が, 中等度耐性菌は交さ耐性を示す。したがって, ボスカリド超高度耐性菌や高度耐性菌における交さ耐性の欠如をフルオピラムの基礎活性の違いで説明することはできない。灰色かび病菌では, ボスカリドとベンチオピラドの間に明瞭な交さ耐性が見られない例が報告された (鈴木ら, 2012)。また, この菌ではボスカリドとフルオピラムの間にも, 今のところ交さ耐性は観察されていない (石井ら, 2012; VELOUKAS and KARAOGLANIDIS, 2012)。イチゴ灰色かび病菌のボスカリド高度耐性菌に対して, ベンチオピラド, フルキサピロキサド, フルオピラムの予防散布は有効であった (AMIRI et al., 2012)。

VII SDHI 剤耐性の分子機構

室内耐性菌や圃場耐性菌を用いて, コハク酸脱水素酵素 *sdh* 遺伝子のシーケンズ解析が活発に行われてい

る。SDH は四つのサブユニットからなるが、このうち SDHA を除く SDHB, SDHC と SDHD の三つが SDHI 剤との結合に重要である (AVENOT and MICAHILIDES, 2010)。このため、これらをコードする遺伝子の中で結合部位にアミノ酸置換を伴う塩基の変異が起これば、作用点たんに質と SDHI 剤との結合が弱くなり、耐性を発現する可能性が高い。

圃場耐性菌でこれまで報告されたものの中では、*sdhB* 遺伝子の変異が特に重要である (表-4)。まず、ピスタチオ *Alternaria late blight* 病の病原菌 *A. alternata* で初めて *sdhB* 遺伝子のシークエンスが論文発表された。コドン 277 に相当する推定アミノ酸は感受性菌では H (ヒスチジン) であるが、高度耐性菌では Y (チロシン) や R (アルギニン) に置換していた。しかし、高度耐性菌でもこれらの変異がないものや *sdhC* や *sdhD* 遺伝子に変異が見られるものもあった。

キュウリ褐斑病菌でもボスカリド超高度耐性菌に H278Y, 高度耐性菌に H278R の置換をもたらす *sdhB* 遺伝子の変異が確認されたほか、中等度耐性菌の中には *sdhC* や *sdhD* 遺伝子に変異が見られるものがあった。しかし、超高度耐性菌や高度耐性菌の場合と異なり、中等度耐性菌では、耐性発現にこれらの遺伝子変異が必須かどうかは疑わしく、むしろ *sdh* 遺伝子変異以外の機構が働いている可能性がある。核果類灰星病菌 *M. fructicola* では、*sdh* 遺伝子に変異が見られない耐性菌に、可動遺伝子が見つかっている (CHEN et al., 2012)。

表-4 圃場から分離された SDHI 剤耐性菌における *sdh* 遺伝子の変異 (抜粋)

点突然変異	病原菌	報告者
SDHB-H277Y/R	<i>Alternaria alternata</i>	AVENOT et al., 2008 b
SDHB-H278Y	<i>Corynespora cassiicola</i>	石井ら, 2008
SDHB-H278R	<i>Corynespora cassiicola</i>	MIYAMOTO et al., 2010 b
SDHB-H277Y/R	<i>Didymella bryoniae</i>	AVENOT et al., 2012
SDHB-H229Y	<i>Podosphaera xanthii</i>	STAMMLER et al., 2008
SDHB-H272Y/R/L	<i>Botrytis cinerea</i>	LEROUX et al., 2010
SDHB-P225T/L/F	<i>B. cinerea</i>	LEROUX et al., 2010 VELOUKAS et al., 2011
SDHB-N230I	<i>B. cinerea</i>	LEROUX et al., 2010
SDHC-H134R	<i>A. alternata</i>	AVENOT et al., 2009
SDHC-S73P	<i>Cercospora beticola</i>	GLÄTTLI et al., 2009
SDHC-S73P	<i>Corynespora cassiicola</i>	MIYAMOTO et al., 2010 b
SDHD-D123E	<i>A. alternata</i>	AVENOT et al., 2009
SDHD-H133R	<i>A. alternata</i>	AVENOT et al., 2009
SDHD-S89P	<i>Corynespora cassiicola</i>	GLÄTTLI et al., 2009
SDHD-H132R	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	GLÄTTLI et al., 2009
SDHD-H132R	<i>B. cinerea</i>	LEROUX et al., 2010
SDHD-G109 V	<i>Corynespora cassiicola</i>	MIYAMOTO et al., 2010 b

他の菌と同様、灰色かび病菌でも H272R や H272Y の変異が耐性菌の多くに見つかっているが、耐性レベルの違いとの明瞭な関係は今のところ見いだされていない。また、使用される SDHI 剤の種類によって、耐性に関与する異なる変異が選抜される可能性も指摘された (STAMMLER et al., 2011)。

VIII 耐性菌対策の強化に向けた取り組み

薬剤のラベルに記載される使用回数には、耐性菌のリスクが考慮されていないことが多い。そこで、耐性菌対策上は別途、使用回数を設定する必要がある。FRAC が主要なグループの薬剤に関して使用ガイドライン (recommendation) を公表しているが、既に指摘した通り (石井, 2009; 2011), 使用回数の制限などが十分でない。その理由として、FRAC が農薬メーカーのみからなる組織であること、国や地域によって気候や栽培条件、発病圧が大きく異なること等があげられる。FRAC 自身も、地域の実情に応じたガイドライン作成の必要性に言及している (LEADBEATER, 2012 b)。

耐性菌問題の重要性に鑑み、薬剤グループを簡単に識別できるよう、ラベル表示を工夫することも既にいくつかの国で行われている。農家のみならず、技術普及や試験研究にあたる関係者でも、とすれば薬剤グループ、ひいては交差耐性などに関する重要な知識が不足しがちである。そこで、殺菌剤耐性菌研究会では薬剤グループ一覧表などを現在作成中である。

耐性菌情報の関係者への伝達や啓蒙方法、受け手側の意識等には、なお大きな課題が残る。国内外からの情報収集はもとより、栽培者への周知徹底に至るプロセスをいかに迅速かつ効果的に進めるのか、十分な検討と改善が必要である。2012年3月16日、農林水産省消費・安全局植物防疫課が主催して「薬剤抵抗性病害虫対策検討会」が開かれたが、今後行政との連携も深めながら、耐性菌対策を強化することが殺菌剤耐性菌研究会としても重要である。また、耐性菌の専門育成も急ぐべき課題となろう。

IX QoI 剤および SDHI 剤の使用ガイドライン

殺菌剤耐性菌研究会では、これまで述べた国内外での耐性菌発生事例や我が国における作物の栽培・病害防除体系等を勘案して、「野菜・果樹・茶における QoI 剤および SDHI 剤の使用ガイドライン」を策定、公表したので、以下に掲載する。今後、これが幅広く生産現場に普及・活用されることを期待する。

野菜・果樹・茶における QoI 剤および SDHI 剤使用ガイドライン

一般的な耐性菌対策

(1) 薬剤防除だけに頼るのではなく、圃場や施設内を発病しにくい環境条件にする。

- 1) 可能ならば病害抵抗性品種や耐病性品種を栽培する。
- 2) 病原菌の伝染源となる作物残渣や落葉、剪定枝あるいは周辺の雑草等は速やかに処分する。
- 3) 作物が過繁茂にならないよう誘引や整枝・剪定に気をつける。
- 4) 施設内の温度や湿度管理に気を配る。
- 5) 土壌や水管理にも気を配り、健苗や健全樹の育成・栽培に心がける。
- 6) 発病した葉や果実等は、支障がない限り見つけ次第除去する。
- 7) 関係機関などから薬剤に代わる最新の防除技術について情報を集め、その積極的な導入に努める。

(2) 薬剤防除にあたっては、以下の点に留意する。

- 1) 使用する薬剤がどの系統に属するのかを調べ、耐性菌が発生しやすい薬剤かどうかを確かめる。
- 2) 同じ系統の薬剤では交差耐性になることが多い。
- 3) 耐性菌が発生しやすい薬剤はガイドラインが示す回数範囲内で使用し、使用後は効果の程度をよく観察する。
- 4) 同じ系統の薬剤は連用しない。また、他の系統の薬剤と輪番（ローテーションまたは交互）使用したり現地混用（または混合剤を使用）したりしても、耐性菌の発達は起こることが多いので、過信しない。
- 5) 防除基準や防除暦等で決められた薬剤の希釈倍数や薬量を守り、作物にムラなく散布する。スピードスプレーヤーで果樹に散布する場合は、毎列散布とし隔列散布はしない。
- 6) 新しく開発された薬剤の場合、特に栽培後期の発病の多い時期に特効薬として散布しがちであるが、これでは耐性菌がより発達しやすくなって防除に失敗する恐れがある。薬剤の予防散布を徹底する。
- 7) 薬剤の効果が疑われる場合は直ちに関係機関に連絡し、耐性菌の検定を依頼するとともに防除指導を受ける。検定で耐性菌の分布が確認された場合は、直ちにその薬剤の使用を中止して効果が確認されるまで使用しない。

薬剤使用回数に関するガイドライン（耐性菌未発生圃場の場合）

ウリ科野菜：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤との混用、混合剤のいずれの場合も 1 作 1 回まで。その他の混用も

しくは混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 作 2 回まで。

SDHI 剤は単剤あるいは QoI 剤との混用、混合剤のいずれの場合も 1 作 1 回まで。その他の混用もしくは混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 作 2 回まで。

ナス科野菜：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤との混用、混合剤のいずれの場合も 1 作 1 回まで。その他の混用もしくは混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 作 2 回まで。

SDHI 剤は単剤あるいは QoI 剤との混用、混合剤のいずれの場合も 1 作 1 回まで。その他の混用もしくは混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 作 2 回まで。

イチゴ：QoI 剤は単剤の場合は 1 作 1 回まで。SDHI 剤ほかとの混用（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 作 2 回まで。

SDHI 剤は単剤の場合は 1 作 1 回まで。QoI 剤ほかとの混用（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 作 2 回まで。

リンゴ：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤ほかとの混用、混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）のいずれの場合も 1 年 2 回まで。

SDHI 剤は単剤あるいは QoI 剤ほかとの混用、混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）のいずれの場合も 1 年 2 回まで。

ナシ：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤ほかとの混用、混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）のいずれの場合も 1 年 2 回まで。

SDHI 剤は単剤あるいは QoI 剤ほかとの混用、混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）のいずれの場合も 1 年 2 回まで。

モモ・ウメなど核果類：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤ほかとの混用、混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）のいずれの場合も 1 年 2 回まで。

SDHI 剤は単剤あるいは QoI 剤ほかとの混用、混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）のいずれの場合も 1 年 2 回まで。

カンキツ：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤との混合剤のいずれの場合も 1 年 1 回まで。その他の混用（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 年 2 回まで。

ブドウ：QoI 剤は単剤あるいは SDHI 剤との混用、混合剤のいずれの場合も 1 年 1 回まで。その他の混用もしくは混合剤（効果が期待できる他の成分を含む）の場合は 1 年 2 回まで。

SDHI 剤は単剤あるいは QoI 剤との混用、混合剤のいずれの場合も 1 年 1 回まで。その他の混用（効果が期待で

きる他の成分を含む) の場合は 1 年 2 回まで。

チャ: QoI 剤は単剤の場合は 1 年 1 回まで。混用 (効果が期待できる他の成分を含む) の場合は 1 年 2 回まで。

引用文献

- 1) ADKINSON, H. M. et al. (2012): *Phytopathology* **102**: S4.2 (Abstr.).
- 2) 天野徹夫 (2000): 第 10 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 35 ~ 42.
- 3) AMIRI, A. et al. (2010): *Plant Dis.* **94**: 737 ~ 743.
- 4) ——— et al. (2012): *Phytopathology* **102**: S4.4 (Abstr.).
- 5) ANGELINI, R. M. De M. et al., (2012): *Pest Manag. Sci.*: in press.
- 6) AVENOT, H. F. and MICHALIDES, T. J. (2007): *Plant Dis.* **91**: 1345 ~ 1350.
- 7) ——— and ——— (2010): *Crop Protect.* **29**: 643 ~ 651.
- 8) AVENOT, H. et al. (2008 a): *Plant Pathol.* **57**: 135 ~ 140.
- 9) ——— et al. (2008 b): *Phytopathology* **98**: 736 ~ 742.
- 10) ——— et al. (2009): *Plant Pathol.* **58**: 1134 ~ 1143.
- 11) ——— et al. (2012): *Pest Manag. Sci.* **68**: 645 ~ 651.
- 12) BANNO, S. et al. (2009): *Plant Pathol.* **58**: 120 ~ 129.
- 13) CHEN, F. et al. (2012): *Phytopathology* **102**: S4.21 (Abstr.).
- 14) 伊達寛敬ら (2004): *日植病報* **70**: 10 ~ 13.
- 15) FERNANDEZ-ORTUNO, D. et al. (2008): *Pest Manag. Sci.* **64**: 694 ~ 702.
- 16) FRAC (2007): <http://www.frac.info/frac/index.htm>
- 17) ——— (2012): *ibid.*
- 18) 古田明子ら (2011): *九州病虫研報* **57**: 96 ~ 97.
- 19) GISI, U. et al. (2002): *Pest Manag. Sci.* **58**: 859 ~ 867.
- 20) GLÄTTL, A. et al. (2009): 9th Intr. Conf. Plant Dis.: 670 ~ 681.
- 21) ——— et al. (2011): *Modern Fungicides and Antifungal Compounds VI* (DPG Selbstverlag): 159 ~ 169.
- 22) GRASSO, V. et al. (2006): *Pest Manag. Sci.* **62**: 465 ~ 472.
- 23) GROTH, D. E. and RUSH, M. C. (2006): *Phytopathology* **96**: S43 (Abstr.).
- 24) HILY, J.-M. et al. (2011): *Pest Manag. Sci.* **67**: 385 ~ 396.
- 25) 稲田 稔ら (2008): *日植病報* **74**: 114 ~ 117.
- 26) 井上幸次 (2009): 第 19 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 50 ~ 55.
- 27) 石井英夫 (2000): 第 10 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 43 ~ 51.
- 28) ——— (2002): *植物防疫* **56**: 269 ~ 273.
- 29) ——— (2009): 第 19 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 62 ~ 69.
- 30) ISHII, H. (2010): *Recent Developments in Management of Plant Diseases* (Springer) **1**: 37 ~ 45.
- 31) 石井英夫 (2011): 日植防シンポジウム「薬剤耐性を考える」講要集: 19 ~ 33.
- 32) ——— (2012): 第 22 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 49 ~ 60.
- 33) ISHII, H. (2012): *Fungicide Resistance in Crop Protection* (CAB International): 223 ~ 234.
- 34) 石井英夫ら (2008): *日植病報* **74**: 38 ~ 39 (講要).
- 35) ———ら (2009): 日本農薬学会第 34 回大会講要集: 124.
- 36) ISHII, H. et al. (2001): *Phytopathology* **91**: 1166 ~ 1171.
- 37) ——— et al. (2007): *ibid.* **97**: 1458 ~ 1466.
- 38) ——— et al. (2011): *Pest Manag. Sci.* **67**: 474 ~ 482.
- 39) 石井英夫ら (2012): 日本農薬学会第 37 回大会講要集: 80.
- 40) JIANG, J. et al. (2009): *Pestic. Biochem. Physiol.* **93**: 72 ~ 76.
- 41) 菊原賢次 (2009): 第 19 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 56 ~ 61.
- 42) KIM, Y. K. and XIAO, C. L. (2010): *Plant Dis.* **94**: 604 ~ 612.
- 43) LEADBEATER, A. (2012 a): *Fungicide Resistance in Crop Protection* (CAB International): 141 ~ 154.
- 44) ——— (2012 b): *ibid.*: 271 ~ 278.
- 45) LEROUX, P. et al. (2010): *Appl. Environ. Microbiol.* **76**: 6615 ~ 6630.
- 46) LUO, C.-X. et al. (2010): *Pest Manag. Sci.* **66**: 1308 ~ 1315.
- 47) McGRATH, M. T. and MIAZZI, M. M. (2008): *Phytopathology* **98**: S102 (Abstr.).
- 48) MIESNER, S. et al. (2011): *J. Plant Dis. Prot.* **118**: 51 ~ 53.
- 49) 宮本拓也 (2008): 第 18 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 44 ~ 51.
- 50) ——— (2011): *植物防疫* **65**: 23 ~ 27.
- 51) ———ら (2009): *日植病報* **75**: 216 ~ 217 (講要).
- 52) MIYAMOTO, T. et al. (2009): *Plant Pathol.* **58**: 1144 ~ 1151.
- 53) ——— et al. (2010 a): *J. Gen. Plant Pathol.* **76**: 261 ~ 267.
- 54) ——— et al. (2010 b): *Plant Pathol.* **59**: 873 ~ 881.
- 55) 長浜 恵 (2010): 北日本病虫研報 **61**: 266 (講要).
- 56) 中村亘宏ら (2011): *日植病報* **77**: 163 (講要).
- 57) 岡田知之ら (2012): 同上 **78**: 56 (講要).
- 58) OLAYA, G. et al. (2012): *Phytopathology* **102**: S4.88 (Abstr.).
- 59) SAINARD-CHANET, A. et al. (1993): *J. Mol. Biol.* **234**: 1 ~ 7.
- 60) 宗 和弘・山口純一郎 (2008): 第 18 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 70 ~ 80.
- 61) STAMMLER, G. et al. (2008): *Modern Fungicides and Antifungal Compounds V* (DPG Selbstverlag): 45 ~ 51.
- 62) ——— et al. (2011): *ibid.* VI (DPG Selbstverlag): 195 ~ 198.
- 63) 鈴木啓史ら (2012): *日植病報* **78**: 56 (講要).
- 64) 鈴木俊二 (2011): 第 21 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 13 ~ 20.
- 65) 田村 取ら (2010): *四国植防* **45**: 7 ~ 12.
- 66) THOMAS, A. et al. (2011): *Phytopathology* **101**: S269 (Abstr.).
- 67) ——— et al. (2012): *Plant Dis.* **96**: 979 ~ 984.
- 68) 牛尾進吾・竹内妙子 (2009): 千葉農林総研研報 **1**: 47 ~ 50.
- 69) VELOUKAS, T. et al. (2011): *Plant Dis.* **95**: 1302 ~ 1307.
- 70) ——— and KARAOGLANDIS, G. S. (2012): *Pest Manag. Sci.* **68**: 858 ~ 864.
- 71) VILLANI, S. M. and COX, K. D. (2012): *Phytopathology* **102**: S4.128 (Abstr.).
- 72) 渡辺秀樹 (2009): 第 19 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 42 ~ 49.
- 73) ——— (2011): 第 21 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 2 ~ 12.
- 74) 綿打亮子 (2011): 同上: 21 ~ 28 (講要).
- 75) WHARTON, P. et al. (2012): *Plant Dis.* **96**: 454 (Abstr.).
- 76) 山田憲吾・園田亮一 (2012): 平成 24 年度日植病大会講要集: 118.
- 77) 矢野和孝 (2002): 第 12 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 37 ~ 44.
- 78) YIN, Y. N. et al. (2011): *Phytopathology* **101**: 986 ~ 995.
- 79) ——— et al. (2012): *ibid.* **102**: 315 ~ 322.

発生予察情報・特殊報 (24.7.1 ~ 7.31)

各都道府県から発表された病害虫発生予察情報のうち、特殊報のみ紹介。発生作物: 発生病害虫 (発表都道府県) 発表月日。都道府県名の後の「初」は当該都道府県で初発生の病害虫。

※詳しくは各県病害虫防除所のホームページまたは JPP-NET (<http://www.jpnp.ne.jp/>) でご確認下さい。

- トルコギキョウ: トルコギキョウ葉巻病 (香川県: 初) 7/4
- キュウリ: キュウリ黄化えそ病 (千葉県: 初) 7/11
- チャ: チャトゲコナジラミ (神奈川県: 初) 7/20
- りんどう: トマト黄化えそウイルス (TSWV) (栃木県: 初) 7/23
- ウメ: 輪紋病 (兵庫県: 初) 7/24
- チャ: チャトゲコナジラミ (山口県: 初) 7/26
- ビワ: ビワキジラミ (仮称) (徳島県: 初) 7/27