# うどんこ病の薬剤耐性菌とその発生状況

JA 全農営農・技術センター農薬研究室 宗 和 弘

#### はじめに

うどんこ病は、野菜や果樹をはじめ花き類、緑化樹木など非常に多くの植物に発生する病害である。また、多くの場合、葉などの植物体表面に表生し、おびただしい数の白色分生胞子をつくり、伝染・まん延していく。この伝染力と繁殖力の強さが一因となってか、うどんこ病は薬剤耐性菌問題が多い病害の一つとなっている。今まで、うどんこ病に対して高い防除効果を発揮する薬剤はいくつか登場したが、治療効果を有し特異的作用点を持つ薬剤の多くに薬剤耐性菌が発生し、問題となった。ここでは、今までに野菜類で問題となった薬剤耐性うどんこ病菌とその発生状況について報告する。

## I ウリ類うどんこ病

キュウリ、スイカ、メロンをはじめとしたウリ類のうどんこ病は、施設栽培などでしばしば激発し、現在も重要な病害の一つである。特に近年では、施設栽培の増加や薬剤耐性菌の発達も一因となり、使用薬剤の選択に困るほど発生している事例もある。このウリ類うどんこ病における防除効果の低下の歴史は古く、1967年頃のキノメチオネート剤やDPC剤が初めとされている。その後、ベンゾイミダゾール系薬剤やジメチリモールなど多くの薬剤で防除効果の低下が報告されている(木曽、1983)。

しかし、その当時は、うどんこ病が絶対寄生菌であることから、薬剤耐性菌に対する研究が十分に進んでいなかったため、耐性菌である証明はほとんどなされていなかった。

耐性菌出現の報告は、1988年のトリアジメホン (大塚ら、1988;竹内ら、1988)や、1999年のストロビルリン系薬剤(小笠原ら、1999;武田ら、1999;石井ら、1999)があり、現場でも効力の低下が問題となった。以下に現在の発生状況を述べる。

### 1 ベンゾイミダゾール系薬剤

ベンゾイミダゾール系薬剤に対する耐性菌は全国で普 遍的に存在し、本系統の薬剤に対する感受性は一度低下

Resistance on Powdery mildew to fungicides in Japan. By Kazuhiro So

(キーワード:うどんこ病菌,薬剤耐性菌,発生状況)

すると回復しない。そのため、本系統の薬剤に対して感 受性を示すウリ類うどんこ病菌が実際の生産圃場にいる ことはほとんどなく、同剤をウリ類うどんこ病防除に使 用する例もほとんどない。

#### 2 DMI剤(ステロール脱メチル化阻害剤)

病原糸状菌の膜成分の一つであるエルゴステロール生合成過程を阻害する薬剤をエルゴステロール生合成阻害剤(EBI 剤)と呼んでいる。その EBI 剤の中でもエルゴステロールの生合成過程の脱メチル化を阻害する薬剤のことを DMI 剤(ステロール脱メチル化阻害剤)と呼んでおり、日本国内で登録のある EBI 剤は現在のところほとんどが DMI 剤である。このため、近年では、DMI 剤と呼ぶことが多い。

DMI 剤のウリ類うどんこ病への使用は、1980 年代の 初頭から始まり、現在でも多くで使用されている。日本 における耐性菌の報告は、1988 年が最初であるが、世界的には 1983 年頃から報告されていた。

全農では、1990~92年にかけて日本各地のキュウリ、メロンおよびカボチャの産地からうどんこ病菌を採取し、トリアジメホン、トリフルミゾールおよびフェナリモルに対する感受性を調べた。その結果、これらの薬剤に対して感受性が低下した菌株が多数見つかり、全国的に DMI 剤に対する感受性が低下していることがわかった。年次的な変動では、トリアジメホンではほとんど変化がなかったものの、トリフルミゾールやフェナリモルでは感受性が徐々に低下する傾向が認められた(図-1)。

また、耐性の度合いを示す値として使用されている Rf値(Resistance factor:耐性指数)で比較すると、常用濃度散布において防除効果が低下するレベルと考えられる Rf 100 を超える菌株は、トリアジメホンやフェナリモルでは多数見つかったが、トリフルミゾールでは見つからなかった(中澤ら、1993)。その後、1999 年および 2001 年に再びウリ類うどんこ病菌を採取し、薬剤感受性検定を行ったところ、1993 年の感受性値と比較し大きな変動はなく、感受性がより低下した菌株は見つからなかった(表-1)。

以上のことから、国内の多くの地域においてウリ類う どんこ病菌の DMI 剤に対する感受性は、依然として耐 性であると考えられた。一方、DMI 剤の中でもトリフ ルミゾールだけは、常用濃度での防除効果が現場レベル

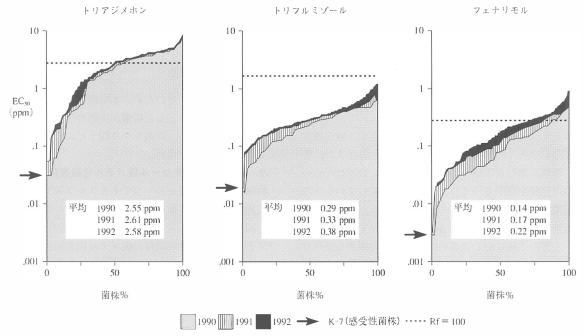


図-1 ウリ類うどんこ病菌の DMI 剤に対する感受性分布の推移

表-1 2001年に行ったキュウリうどんこ病感受性検定(一部抜粋)

菌株名 -	トリフル ミゾール		ト! <b>ジ</b> メ	リア ホン	アゾキシ ストロビン	
	EC <sub>50</sub> (ppm)	Rf 値	EC <sub>50</sub> (ppm)	Rf 値	EC <sub>50</sub> (ppm)	Rf値
()1-1	0.7	35	14.3	477	12.9	2,150
01-2	1.2	60	9.5	317	(MIC:>	20 ppm)
01-3	0.9	45	12.9	430	10.8	1,800
() 1 - 4	0.3	15	3.2	107	34.3	5,717
01-5	1.2	60	3.2	107	(MIC:>	> 20 ppm)
K-7-2a)	0.02	_	0.03	_	0.006	-

<sup>\*\*</sup> DMI 剤・ストロビルリン系薬剤感受性菌(野生株)。

でも維持されており、発病初期など菌密度の低い時期の 使用や作用性の異なる薬剤とのローテーション散布の1 剤として、有効に使用できる薬剤であると考えられた。

#### 3 ストロビルリン系薬剤

ストロビルリン系薬剤には、キレソキシムメチル (1997年登録) とアゾキシストロビン (1998年登録) がある。両剤ともに、幅広い抗菌スペクトルを有し、うどんこ病にシャープな効果を示すため、登録直後から多くの地域で使用されるようになった。ところが、発売まもなくから薬剤の効力が低下した事例が発生し、1999年10月には薬剤耐性菌の発生が報告されている。いずれも、当初は、卓越した防除効果を発揮し、その効果に驚きの声が聞かれたほどであったが、散布を重ねるととも

に効力低下が認められるようになった。また、ストロビルリン系薬剤を一度しか使用していないにもかかわらず、耐性菌が検出される事例もあり(石井、2000)、本系統の薬剤に対する耐性菌の発達は予想以上に早いことがわかった。

前後して行われた感受性検定において、本系統の薬剤に対して耐性を示すうどんこ病菌が多数見つかり、防除効果が低下した地域は全国に広がっていた。そのため、本系統の薬剤をウリ類うどんこ病対象に使用しないようにする対策が取られ、一部県ではキュウリうどんこ病の防除基準から削除され、その後多くの県で同様の措置が取られた。全農でもいくつかの地域で感受性検定を実施したところ、ストロビルリン系薬剤耐性菌が多く検出された。また、当研究室において行ったキュウリ圃場試験結果では、当初認められていた防除効果が散布を重ねるごとに急激に低下し、感受性も急激に低下することがわかった(表-2、3)。

ストロビルリン系薬剤は、キュウリ褐斑病を対象として使用していることが多く、そういった地域ではストロビルリン系薬剤耐性菌が高頻度に検出される場合が多かった。これらの事実から、ストロビルリン系薬剤耐性菌は薬剤の使用に鋭敏に反応し、1回の使用でも耐性菌率が高まるものと考えられた。

耐性が発達した薬剤の使用をやめた場合,その薬剤感 受性は、耐性菌と感受性菌の環境適応力の差により、感

÷4#∆ ⊏7	希釈倍率 (濃度)	1 回散布 10 日後調査		2 回散布 10 日後調査		3 回散布 10 日後調査	
試験区		発病度	同左防除価	発病度	同左防除価	発病度	同左防除価
アゾキシストロビン 20%フロアブル	×2,000 (100 ppm)	22.0 a <sup>1)</sup>	72.7	30.7 b	62.3	89.8 b	9.3
薬剤無処理	_	80.7 b	-	81.3 d	_	99.0 c	_

表-2 キュウリうどんこ病に対するアゾキシストロビンフロアブルの圃場における防除効果

表-3 試験圃場におけるアゾキシストロビンに対する感受性値 の変化

	薬剤間	放布前	3 回散布後		
菌採取区	MIC (ppm)	EC <sub>50</sub> (ppm)	MIC (ppm)	EC <sub>50</sub> (ppm)	
薬剤無処理区	0.05	0.002	>20	NG <sup>b)</sup>	
アゾキシストロビン散布区	a)		>20	NG	
K-7-2 <sup>c)</sup>	0.01	0.004		_	

<sup>»</sup> 感受性検定を実施していない。 » 検定は実施したが、EC<sub>50</sub> 値は 求められなかった。 ° DMI 剤・ストロビルリン系薬剤感受性菌株(野 生株)

受性に戻る場合があることが知られている。石井らは、ストロビルリン系薬剤に対する耐性菌発生圃場において感受性を継続して調査したところ、本剤の使用を2年間取りやめた圃場では、耐性菌が検出されなくなったと報告している(石井ら、2001)。結論を得るには、さらに詳細な検討が必要と思われるが、このように、ストロビルリン系薬剤耐性うどんこ病においても薬剤の使用停止により感受性の回復が望めるのであれば、優れた特性を持つストロビルリン系薬剤を活かす上手な使い方を構築できる可能性がある。

一方、耐性機構に関する研究も進んでおり、現在までに、耐性菌と感受性菌とを比較すると、ある遺伝子で変異が起こっていることがわかっている。それは、本系統の薬剤の標的であり、呼吸を司る細胞の器官であるミトコンドリアのチトクローム b という部分に関係している。この部分をコントロールする遺伝子である、mtDNA(ミトコンドリア DNA)に変異が起こっていることが確認されており、このことが耐性を示す要因であると考えられている。この mtDNA は、突然変異を起こしやすく、進化の速度が速いといわれており、このことが、これほどにも早く耐性菌が発生してしまった原因の一つと考えられている(石井、2000)。

## Ⅱ イチゴうどんこ病

ウリ類と同様に、イチゴうどんこ病防除には 1980 年 代初頭から DMI 剤が広く使われてきた。そして、1992

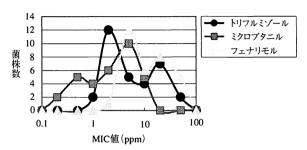


図-2 イチゴうどんこ病菌の DMI 剤に対する感受性分布

年に耐性菌の発生がはじめて報告された(中野ら, 1992)。

全農では、1994年から 1995年にかけて日本各地から イチゴうどんこ病菌を採取し、トリフルミゾール、ミクロブタニル、フェナリモルに対する感受性を調査した。 この結果、3 剤の感受性値は、ややいびつであるが一峰 性の頻度分布を示した(武田、2001)(図-2)。

現在までのところ、イチゴうどんこ病には感受性ベースラインが存在しないため、耐性菌と断定することはできないが、イチゴうどんこ病菌と同一の菌であるシロバナノヘビイチゴうどんこ病菌の野生株を対照とすると、イチゴ菌のトリフルミゾールに対する最大  $EC_{50}$  値が 5.6 ppm であるのに対し、シロバナノヘビイチゴうどんこ病菌野生株の同剤に対する  $EC_{50}$  値は 0.05 ppm であり(Rf 値 113)、となり耐性菌と呼べるレベルであった。 DMI 剤の効果が低下している圃場から採取された菌株はいずれも感受性が低い傾向にあることから、多くの地域で DMI 剤に対する感受性の低下が起こっているものと考えられた。なお、イチゴでも DMI 剤間に交差耐性が認められ、トリフルミゾールも含めてすべてのDMI 剤の効果が全体的に低下していた。

一方、全農では、ストロビルリン系薬剤に対する感受性についても検討を進めているが、今のところ、同剤に対する感受性低下菌は検出できていない。実際の圃場においては、効果が低下してきた地域もあるようだが、まだ実用的な防除効果を示す地域もあり、耐性菌の存在は判然としていない。今後、慎重に検討していきたいと考

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup>表中の同一英文字を付した数値間には逆正弦変換後のダンカンの多重検定による有意差(P=0.05)がない。

えている。

## Ⅲ トマトうどんこ病

従来トマトに発生するうどんこ病菌としては、Erysiphe cichoracearum が知られていたが、最近ではErysiphe polygoni型の oidium sp. による発生が認められ、菌の種類が変化している可能性が報告された(佐藤ら、1997)。このことが薬剤感受性に何らかの影響がある可能性があったため、トマトうどんこ病菌について感受性検定を実施した。トリフルミゾールの防除効果が低下していると報告を受けた圃場からトマトうどんこ病菌を採取し、感受性検定を実施した結果、DMI 剤およびストロビルリン系薬剤のいずれに対しても感受性を示し、耐性菌は検出されなかった。

トマトうどんこ病の場合,薬剤の反応にフレが多いため,現在の手法では耐性菌の検出を正確に行えていない可能性があるため,引き続き検討を続けていきたい。

#### おわりに

うどんこ病と耐性菌問題は,今までの歴史からも明ら かなように切っても切れない関係にあるように思える。

特に近年は、耐性菌発生までの期間に違いはあるもの の、優れた防除効果を示す新しい薬剤が登場するたびに 耐性菌の発生に悩まされてきた。今までも、耐性菌の発生を回避するために同系統の薬剤の連用をさけ、系統の異なる薬剤でのローテーション防除を行うよう指導されてきているが、それが守られていない圃場があることも事実である。折角の優れた薬剤も使い方を誤ると一気に寿命が短くなってしまうものである。

現在も新規の優れた薬剤がいくつか開発されているが、これらを有効に長く活用し、加えて既存剤を上手に活用するためにも、ローテーション散布をはじめとした耐性菌対策のより一層の徹底が図られるよう願ってやまない。

#### 引用文献

- 木曽 皓 (1983): 薬剤抵抗性、ソフトサイエンス社、東京、 184~187.
- 2) Онтѕика, N. et al. (1988) : Ann. Phytopath. Soc. Japan 54: 629~632.
- 3) 竹内妙子ら (1988): 日植病報 54:389.
- 4) 小笠原孝一ら (1999): 同上 65: 655.
- 5) 武田敏幸ら (1999): 同上 **65**: 655. 6) 石井英夫ら (1999): 同上 **65**: 655.
- 7) 中澤靖彦ら (1993): 同上 59: 321.
- 8) 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, 45.
- 9) 中野智彦ら (1992): 奈良農試研報 23:27~32.
- 10) 石井英夫ら(2001): 日植病関東部会講要集, 22.
- 11) 武田敏幸 (2001): 第 11 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集, 48.
- 12) 佐藤幸生 (1997): 日植病報 63: 205.

書評

## 「山の畑をサルから守る」 井上雅央著 農村漁村文化協会刊,平成 14 年 1 月発行 117 頁,本体価格 1,429 円+税

獣害対策について、実によい本が出たものだ。読み進むと、具体的な被害対策が随所に紹介されている。しかも、難しい対策ではない。それなら自分でやってみようと、そんな気にさせる。獣害対策に悩む行政担当者や被害を受ける農家を元気づける本である。

この本は、著者を中心とした奈良県農業技術センターの通称「サルチーム」が実践した猿害防止対策を紹介したものである。著者はハダニの専門家で、しかも、チーム全員が獣害対策未経験者だという。被害対策は、チョウチョもハダニも、サルもみな同じと言い切るエネルギーがすごい。

サルの被害防除は、1番がサルを知ること、2番が集落の点検、3番が防護栅らしい。おかしな順序だと思うが、著者は、先に栅、栅と考えてしまうと、いつまでたっても防げないと言う。農家がうわさなどに影響されて

多種多様な対策を試みるが、失敗することも多い。対策 費が高価だと、落胆は大きい。闇雲な対策は効果がない。まず、敵を知ることの大切さを、著者は指摘する。 これは、私が取り組むイノシシ対策にも当てはまる。

なぜ、サルが畑に降りてくるのだろう? 難しい問題に思えるが、答えは簡単。目前の集落で、作物という栄養たっぷりのおいしい餌が手に入るからだ。それなら、サルにとって魅力のない集落を作れば、猿害問題は大きく改善される。著者は「いますぐやれる経費ゼロの対策」として、餌付け行為の減少を提案する。取り残し、お墓の供え物、生ゴミの竹薮などへの投棄、いずれもが餌付けに当たる。取り残すくらいなら枯らす。被害もまた結果的に餌付けとなる。

「ガンバレ! 役所のサル対策担当者」と題した章で、この本は締めくくられている。フォローなしの補助は逆効果で、一緒にやる気構えが農家のやる気を生むという。遠くからわかるサルチームのスタッフジャンパーも活躍したらしい。この本からは、著者らの楽しいチャレンジ精神が伝わってくる。多くの人に読まれ、かれらの熱意が各地に広がることを期待したい。

(近畿中国四国農業研究センター 仲谷 淳)