

特集：ムギ類赤かび病とそれによるマイコトキシン汚染の防除

ムギ類赤かび病とマイコトキシン汚染の薬剤防除

九州沖縄農業研究センター ^{なか}中 ^{しま}島 ^{たかし}隆

はじめに

ムギ類の赤かび病は、登熟期間中に降水量の多い我が国では避けることのできない病害である。本病は、近年の世界的な異常気象が原因で従来発生がなかった地域でも大きな問題となってきた。このため、今までほとんど注目されることなかった本病原菌が産生するカビ毒による健康被害が国際的にクローズアップされて、我が国でも BSE およびカドミウム汚染とともに農産物の新たなハザードとして緊急対応が迫られている。

2002 年 5 月に厚生労働省の薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会食品規格・毒性合同部会はコムギのデオキシニバレノール (DON) に関する暫定基準を 1.1 ppm に設定した。そして、現在この基準値を超えるコムギは市場流通しないよう指導されている。さらに、農産物規格規定が 2003 年産ムギから改定され、赤かび病被害粒の混入が 0.0% 以上は規格外となる厳しい検査規格となった。これらから、現在は、赤かび病の防除を徹底することが極めて重要となっている。

ところで、現在、ムギ類赤かび病に対し登録のある薬剤は赤かび病の被害を軽減することを目的に選抜され、残留毒性試験等を経て農薬取締法に基づく農薬登録を受け、実際の防除に使用されている。しかし、これらの薬剤がニバレノール (NIV) とデオキシニバレノール (DON) 等のマイコトキシンを軽減するか否かはほとんど明らかではない。このため、今後は赤かび病防除技術のエンドポイントをマイコトキシン汚染量に変更し、既存の薬剤のマイコトキシン低減効果の評価と新たなマイコトキシン低減効果の高い薬剤 (資材) の選抜を早急に行う必要がある。

本稿では、既往の研究成果に筆者が行っている薬剤防除試験成績の一部を加えてムギ類赤かび病とマイコトキシン汚染の薬剤防除の現状と今後の方向について述べる。

I マイコトキシン汚染量に基づく薬剤の評価方法

筆者は 2002 年から薬剤による赤かび病マイコトキシン汚染の低減に関する圃場試験を 2 年間行った。

以下に赤かび病の薬剤試験とマイコトキシン汚染量に基づく評価を行う際の試験方法を記述する。今後、同様な試験を行う際には参考にしていただきたい。供試品種は九州の主要コムギ品種である「チクゴイズミ」を用いた。なお、赤かび病に真性抵抗性を示す品種はなく、すべての品種が感染する。薬剤試験には対象地域の主要品種を用いることが基本となるが、接種試験の場合はある程度の圃場抵抗性をもつ品種を供試しないと赤かび病菌の感染により粒が肥大せず、マイコトキシンの分析が困難となるリスクが大きい。関東以西のコムギでは「農林 61 号」か「チクゴイズミ」が適していると考えている。試験区の規模については、接種試験の場合は条件さえ整えれば、ほぼ均一に発病させることができるので、小さくても問題はないと考えている。筆者の行った試験では 50 × 10 m の圃場を用いて畦幅 0.8 m のすじ播きで 1 区 4 m の試験区を 1 畦おきに 20 区 × 3 反復配置した。自然発病条件下の試験では発病の偏りが大きいこと、圃場内に分布する菌株のマイコトキシン産生能や病原力等の多様性が未解明のことなどからマイコトキシン汚染量を正確に評価するのが困難であり、適正な試験規模を現状で提示する科学的根拠となるデータがない。供試薬剤には農薬登録の有無にとらわれずに毒素低減効果のある薬剤をスクリーニングすることを目的に作用機作の異なる薬剤を数多く用いた。開花始めとその 1 週間後にそれぞれ所定濃度の供試薬剤に一般的な展着剤を加用し、杓型噴霧器を用いて水和剤の場合は 150 l/10 a 散布した。粉剤は手回し式散粉機で 4 kg/10 a 散布した。なお、粉剤の効果が最大限発揮されるように朝露の残っている午前中の早い時間に散布した。ゾル剤はエアースプレー (オリンポス PC-308) を用いて無人ヘリによる散布と同じ 0.8 l/10 a 散布した。薬剤散布は散布回数を調べる試験を除いて、開花始めとその 1 週間後の 2 回行った。

西日本における赤かび病に関与する菌種はほとんどが

Chemical Control for Fusarium Head Blight and Mycotoxin Contamination. By Takashi NAKAJIMA

(キーワード：デオキシニバレノール, ニバレノール, カビ毒, 赤かび病, 農薬)

表-1 マングビーン培地の作成方法

処方

1 lの水に20 gのマングビーン(緑豆)を入れ、20分間煮る
(大半の豆の表面が割れてくるくらいまで)

ざるでこし、上清を取り、1 lにメスアップし、

yeast extract を1 g加え、オートクレープで滅菌する

マングビーンの入手先:

株式会社 上原園

栃木県下都賀郡都賀町大字平川 725 番地

TEL: 0282-24-8859 FAX: 0282-23-4342

<http://www.ueharaen.co.jp>

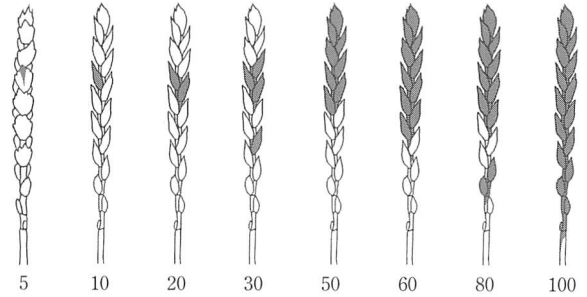


図-1 赤かび病罹病程度の評価指数

Fusarium graminearum であることから接種試験に他菌種を用いる必要はない。しかし、同じ *F. graminearum* でも毒素産生能は菌株により異なる。海外および北海道では DON 産生型菌株がほとんどであるのに対して、西日本では NIV 産生型菌株も多く分布することから (YOSHIZAWA, 1997; 吉田ら, 2003), 今後我が国の赤かび病マイコトキシンの研究対象として NIV 産生型菌株も重視する必要がある。赤かび病が発生した圃場で DON が検出できない場合は、NIV 産生型菌株が関与している可能性が高い。したがって、薬剤の評価も DON だけでなく NIV も分析対象とするべきである。特に自然発生圃場では NIV も併せて分析しないと正しい評価とならない。吉田ら (2003) は西日本で分離された NIV 産生型ムギ類赤かび病菌について、孢子形成能、病原力および感染コムギ粒におけるマイコトキシン産生性を調査し、DON 産生型菌株である H3 菌株と比較した結果から、孢子形成能が比較的高く病原力の異なる 2 菌株を、NIV 産生型菌株として選定した。筆者の試験では上記の菌株 (*Fusarium graminearum* H3 菌株 (DON 産生型) および NIV-2 菌株 (NIV 産生型)) を用いてマングビーン液体培地 (表-1) で室温で浸とう培養し (135 回/分)、分生胞子を大量形成させた。孢子形成量は培養開始後約 1 週間目でピークとなったので、接種には培養 5~9 日目の分生胞子を用いた。分生胞子濃度を 5×10^5 個/ml に調整し、これを試験の目的に応じて DON 産生型菌株と NIV 産生型菌株を単独または等量混合して使用した。これを背負い式の噴霧器を用いて開花盛期とその 1 週間後に 100 l/10 a, 病原菌を噴霧接種した。つまり、薬剤を先に散布して病原菌を 1~2 日後に接種することを 2 回繰り返している。有効薬剤のスクリーニングの目的では予防効果と治療効果を総合的に評価する必要があると考えたからである。その後、病勢進展を促進するためにスプリンクラーによる散水を行った。散水の頻度は 2 時間おきに 15 分を基本とした

が降雨の状況のみをみて適宜調整した。穂が水分を保ち、しっとりした状態となり、乾燥しないように注意した。2003 年はより自然状態に近い接種法として病原菌を培養したトウモロコシ粒を穂ばらみ期に地表面に散布する接種法 (1 l/5 m) も併用した。この接種法を用いた試験区では開花期にトウモロコシ粒の表面に黒色の子のう殻の形成が観察され、収穫期まで子のう胞子の飛散が継続した。マイコトキシン産生には登熟後期の感染も関与していることが想定されるので、より理想的な接種法と考えている。この場合はスプリンクラーによる散水は行わなかった。接種の方法と時期については今後さらなる改良の余地があり、試行錯誤を繰り返していく必要がある。両年とも出穂 35 日前後に各試験区 50 穂について、発病穂率と罹病程度を図-1 の基準 (BAN and SUENAGA, 2000) で調査し、発病度 (Σ 発病株率 \times 罹病程度) を求めた。

収穫は 4 m の試験圃場の中央部 2 m を鎌で手刈りし、網室で 1 週間程度自然乾燥した。倒伏した試験区ではマイコトキシン産生量が変動するので、中耕培土等の倒伏回避措置が必要である。それでも倒伏した場合は、倒伏部分避けて収穫する等の対応が望ましい。乾燥後、試験用脱穀機にかけ、一番および二番口を取り、試験用風選機で夾雑物および「しいな」などを除き、子実とした。収量試験では、この重量を子実収量としている。この段階では、赤かび粒のほとんどは残っている。次に子実を 2.2 mm の縦目ふるいにかけて、整粒とした。収量試験では、この重量を整粒収量としている。縦目ふるいは、機種の使用法に応じた一定時間、一定振幅強度とする必要がある。手ふるいでは、整粒にばらつきが生じる。各試験場の所有する脱穀機や風選機により、また、風選の強度により赤かび粒の混入割合が変動する可能性もあるが、2.2 mm の縦目ふるいで整粒することにより、サンプルの調整を統一する以外に現状では方法はないと考える。

こうして選別した整粒について DON および NIV を分析した。マイコトキシンの分析法は厚生労働省の暫定基準設定に係る通知文書に標準的な分析方法が示されており、2002（平成14）年5月現在において、穀粒中のマイコトキシンの分析が可能な厚生労働省指定検査機関として（財）日本食品分析センター、（財）日本穀物検定協会、（財）マイコトキシン検査協会が指定されている。正確な定量を希望する場合は上記検査機関に分析を依頼するのが望ましい。簡便な方法として ELISA 法があり、キットが4社（NEOGEN, Romer, r-Biopharm および協和メディックス社）より販売されている。そのうち NIV を測定できるキットは1社（協和メディックス）のみである。薬剤の評価のような対比較試験では ELISA による分析でも十分な精度が得られる。ただし、メーカーやマイコトキシン研究会等が主催する講習会や外部精度管理のための技能試験に参加することが望ましい。

表-2 チオファネートメチル粉剤の赤かび病およびマイコトキシン汚染低減効果

品種名 (ムギ種)	散布	被害率 (%)	マイコトキシン濃度 (ppm)	
			DON	NIV
‘ヒノデハダカ’ (オオムギ)	無	26.5	0.655	0.84
	有	19.4	0.16	0.286
‘愛媛裸1号’ (オオムギ)	無	4.8	0.445	0.487
	有	0.1	0.048	0.101
‘ダイセンゴールド’ (オオムギ)	無	1.2	0.588	0.882
	有	0.1	0.739	0.571
‘オマセコムギ’ (コムギ)	無	3.2	0.613	0.672
	有	0.6	0.655	0.571

注) チオファネートメチル粉剤 4 kg/10 a を 4 月 22 日と 27 日に散布 (1983, 愛媛農試), 上田・芳澤 (1988) より引用。

II マイコトキシン汚染を低減する薬剤

薬剤とマイコトキシンの関係に関しては上田・芳澤 (1988) の先駆的研究がある。それによると、チオファネートメチル粉剤を開花期とその7日後の計2回散布すると、赤かび病の発生と Fusarium 汚染を効率的に防止すると同時に、DON, NIV による汚染をも抑えた (表-2)。さらに、赤かび病の発生が少なく、一般に薬剤散布の必要性がないと見なされる場合でも、DON, NIV の汚染は認められたが、チオファネートメチル粉剤散布により極めて有効に低減することができたと報告している。

筆者の行った2年間の圃場試験の結果では、メトコナゾール液剤、テブコナゾール水和剤、キャプタン水和剤、チオファネートメチル水和剤が優れた赤かび病抑制効果を示し、マイコトキシンも有意に減少させた (表-3, 4)。これらの薬剤は発病度も同時に抑制したことから赤かび病菌の感染および増殖量を低減させることで DON, NIV を減少させると考えられた。有機銅水和剤、塩基

表-3 薬剤散布による赤かび病抑制とマイコトキシン産生低減 (九州沖縄農研, 2002)

薬剤名	濃度 (倍)	処理量 /10 a	発病 穂率 (%)	発病度 (%)	DON 濃度 (ppm)
テブコナゾール 水和剤	2,000	150 l	72.0	7.6	3.79 *
キャプタン水和剤**	600	150 l	72.0	9.1	2.97 *
有機銅水和剤**	400	150 l	66.7	8.5	2.48 *
無処理			100.0	39.8	7.62

注) 分生孢子懸濁液 (DON 産生型のみ) を噴霧接種。*: 無処理区と5%水準で有意差あり。**: キャプタン水和剤と有機銅水和剤はムギ類に適用はない。

表-4 薬剤散布による赤かび病抑制とマイコトキシン産生低減 (九州沖縄農研, 2003)

薬剤名	濃度 (倍)	処理量 /10 a	発病穂率 (%)	発病度 (%)	マイコトキシン濃度 (ppm)		
					DON	NIV	DON + NIV
メトコナゾール液剤**	1,000	150 l	40.7	4.8	0.96	0.89	1.85 *
テブコナゾール水和剤	2,000	150 l	34.7	4.8	0.87	1.14	2.01 *
チオファネートメチル粉剤	—	4 kg	56.7	9.7	1.30	1.81	3.11
チオファネートメチルゾル剤	4	0.8 l	36.0	5.1	1.08	0.81	1.89 *
キャプタン水和剤	600	150 l	40.7	4.2	1.01	1.01	2.02 *
塩基性硫酸銅粉剤	—	4 kg	46.7	9.0	1.22	1.49	2.71
水酸化第2銅水和剤	500	150 l	40.7	4.8	1.10	1.00	2.10 *
亜リン酸肥料 (4-30-16)	250	150 l	67.3	11.6	1.03	1.35	2.38 *
亜リン酸肥料 (0-28-26)	250	150 l	40.0	6.2	1.21	1.03	2.24 *
無処理			80.0	23.6	1.99	1.70	3.69

注) 分生孢子懸濁液 (DON, NIV 産生型を等量混合) を噴霧接種。*: 無処理区と5%水準で有意差あり。**: メトコナゾール液剤は未登録農薬

表-5 薬剤散布による赤かび病抑制とマイコトキシン産生低減(九州沖縄農研, 2003)

薬 剤 名	散布回数	発病穂率 (%)	発病度 (%)	マイコトキシン濃度 (ppm)		
				DON	NIV	DON + NIV
チオファネートメチル粉剤	1	36.0	3.6	1.05	1.19	2.24
チオファネートメチル粉剤	2	29.3	3.1	1.06	1.36	2.42
チオファネートメチルゾル剤	1	22.7	2.2	0.55	0.87	1.42 *
チオファネートメチルゾル剤	2	20.0	2.0	0.64	0.79	1.42 *
チオファネートメチルゾル剤	3	13.3	1.3	0.47	0.50	0.97 *
チオファネートメチル水和剤	2	21.3	2.4	0.69	0.71	1.40 *
無処理		56.7	7.4	0.97	1.51	2.48

注) 病原菌を培養したトウモロコシ粒 (DON, NIV 産生型を等量混合) を穂ばらみ期に地表面に散布 (1 l/5 m) した。1 回目薬剤散布; 開花始め, 2 回目; その 1 週間後, 3 回目; 2 回目の 2 週間後。*: 無処理区と 5% 水準で有意差あり。

表-6 人工降雨実験施設を用いた赤かび病防除薬剤の耐雨性の比較

薬 剤 名	発病度 (0 ~ 100)		DON (ppm)	
	降雨なし	降雨あり	降雨なし	降雨あり
チオファネートメチル粉剤	8.8	28.1	8.41	32.10
チオファネートメチル水和剤	2.5	20.0	0.49	9.50
チオファネートメチルゾル剤	0.3	2.2	0.27	0.34
テブコナゾール水和剤	0.6	4.4	0.44	0.52
メトコナゾール液剤*	1.3	0.0	0.13	ND
無処理	67.5	61.9	27.30	27.20

注) 午前 10 時に薬剤を散布し, 午後 4 時から降雨処理 (50 mm/時) を 2 時間施した。翌日午前 10 時に赤かび病菌 (DON 産生型) を噴霧接種し, 細霧ハウスに 1 週間静置し, 10 日後に発病調査, 収穫後に DON を分析。1 処理区 4 ポット (九州沖縄農研, 2003)。*: メトコナゾール液剤は未登録農薬

性硫酸銅粉剤, 水酸化第 2 銅水和剤, 亜リン酸肥料は 1 試験事例のデータしかないが DON, NIV を減少させた (表-3, 4)。また, 同じ薬剤でも剤型により効果が異なり, チオファネートメチル粉剤はゾル剤と比較して防除効果・マイコトキシン低減効果が劣った (表-4, 5)。チオファネートメチル剤を用いて登録の範囲内で散布回数の試験を行ったところ, 粉剤では 2 回散布では赤かび病の防除効果は認められるがマイコトキシン汚染量はほとんど低下しなかった (表-5)。ゾル剤はマイコトキシン汚染低減に有効で, 3 回散布により DON は約半減, NIV は 1/3 に減少した (表-5)。

なお, 本試験で明らかにしたマイコトキシン低減効果のある薬剤の中で農薬登録がされていて使用できるのはテブコナゾール (コムギ) とチオファネートメチル (ム

ギ類) のみである。メトコナゾール, キャプタン, 有機銅, 無機銅は 2004 (平成 16) 年 1 月現在, 農薬取締法に基づく農薬登録がないので試験研究目的以外には使用できない。亜リン酸肥料は肥料としての散布は可能であるが, 赤かび病防除の目的では使用できない。

本州ではコムギ対象の薬剤防除に水和剤を散布する機器を持ち合わせていない農家が多いことと, ムギ類への薬剤散布の時期に水が確保されにくいことからチオファネートメチル粉剤の散布が大部分を占める。チオファネートメチルは本試験が示すようにマイコトキシン汚染低減に有効であるが連用すると耐性菌が出現するリスクが高くなる。このため, 本剤に偏った防除体系から早急に脱却する必要がある。近年開発された薬剤では粉剤は製品化されておらず, 水和剤 (フロアブル剤)・ゾル剤がほとんどである。今後, マイコトキシン低減に有効な薬剤を普及させていくには水和剤を散布できるスプレーヤーおよび無人ヘリの有効活用と無人ヘリ用薬剤の開発と登録促進が欠かせない。

また, 発病を抑制してもマイコトキシン低減につながらない場合もあり (中島ら, 2003), マイコトキシン汚染量を新たな基準にした再評価システムが必要である。

III 薬剤の耐雨性試験

赤かび病の発生が降雨量と関係しているのは, 伝染源である子のう胞子の飛散が多くなることに加え, 防除薬剤が降雨により流亡し防除効果が低下することが考えられる。このため, 薬剤の耐雨性の評価は極めて重要である。仲川ら (1988) によるビニールハウス内で降雨処理を行った結果によると水和硫黄剤, チオファネートメチル水和剤, 同粉剤およびベソミル水和剤は耐雨性が弱く, チオファネートメチルゾル剤, チウラム水和剤およびギ

ャブタン水和剤は耐雨性が強い(表-3)。筆者も新しい剤を用いて人工降雨処理施設を用いて耐雨性の試験を開始している。午前中に薬剤散布をしたが夕方から集中豪雨(50 mm/時)があった場合を想定し、発病度とDON濃度への降雨の影響を調べた。1事例の予備的な試験でしかないが、チオファネートメチルゾル剤に加えテブコナゾール水和剤およびメトコナゾール液剤が耐雨性が強くDON抑制効果も低下しないことが示された(表-6)。今後の赤かび病防除薬剤の評価にはマイコトキシン汚染量とともに耐雨性の評価も併せて必要である。

おわりに

最後に、ムギ類のマイコトキシン汚染対策は研究がス

タートしたばかりであり、その対策には生産から流通まで幅広い対応が必要である。また、植物病理分野だけではなく総合的な対策が求められ、かつ緊急性が極めて高い。多くの関係者が本課題に取り組まれることを望む。赤かび病に関する研究手法等をまとめたホームページ(<http://konarc.naro.affrc.go.jp/kiban/jouseki/index.htm>)を開設したのでご利用いただきたい。

引用文献

- 1) BAN, T. and K. SUENAGA (2000) : Euphytica 113 : 87 ~ 99.
- 2) 仲川晃生ら (1988) : 近畿中国農研 76 : 17 ~ 21.
- 3) 中島 隆ら (2004) : 日植病報 70 (1) : 27 (講要)
- 4) 上田 進・芳澤宅實 (1988) : 日植病報 54 : 476 ~ 482.
- 5) 吉田めぐみら (2004) : 日植病報 70 (1) : 27 (講要)
- 6) YOSHIZAWA, T. (1997) : Bulletin of the Institute for Comprehensive Agricultural Sciences, Kinki University 5 : 23 ~ 30.

新農薬紹介

「その他」

展着剤 (ポリオキシエチレンメチルポリシロキサン (H16.1.28))

本剤は石原産業株式会社が開発したシリコン系界面活性剤である。シリコン系界面活性剤とは疎水基がシリコンオイルと称されるメチルポリシロキサン、親水基が非イオン性界面活性剤に用いられるポリオキシエチレンから構成される非イオン性の展着剤のことである。

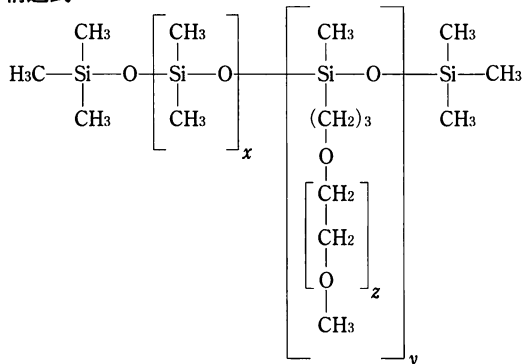
なお、本剤と類似の構造を持つシリコン系非イオン性界面活性剤は、化粧品等の乳化剤等に広く使用されてお

り、疎水基のメチルポリシロキサンおよび親水基のポリオキシエチレンは医薬品添加物として医薬品添加物規格に収載されている。

商品名 : まくびか

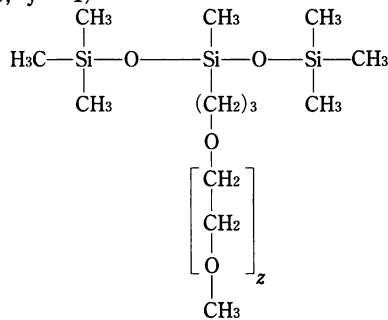
成分・性状 : 本剤は原体=製剤であり、ポリオキシエチレンメチルポリシロキサンを93.0%含む無色澄明粘稠状液体である。密度は1.01 g/cm³ (20℃)、融点は-20℃未満、沸点は分解が起こるために明確な沸点を示さない。溶解度 (g/l, 20℃) は水1.02, アセトン> 500, 酢酸エチル> 500, メタノール> 500, ジクロロメタン> 500, トルエン> 500, ヘキサン> 18.5である。土壤中で1日以内に半減期を迎え、土壌への吸着が強いため、流亡、浸透などの可能性は少ないと推定される。

構造式



<代表成分>

(x = 0, y = 1)



適用作物および使用方法 (表-1)

(1) 所定量の本剤を直接散布液に加え、十分かき混ぜてから散布すること。

(2) 本剤を加えた水で、散布液を調製しても差し支えない。

(3) 極端な酸性、アルカリ性の散布液では使用しない。

毒性 : 普通物。原液は眼に対して刺激性があるので、散布液調製時には保護眼鏡を着用して薬品が眼に入らな

いよう注意すること。眼に入った場合には直ちに水洗し、眼科医の手当を受けること。

(魚毒性) : B類。

通常の使用方法ではその該当がない。

表-1 適用作物および適用方法

適用農薬名	作物名	使用量 (希釈倍数)	使用方法
殺菌剤・殺虫剤	野菜類	3.3 l/10 a (3,000倍)	添加