

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

胞子飛散と気象によるムギ類赤かび病の発生予察

愛媛県農業試験場生産環境室 **村 上 要 三**

はじめに

西南暖地のムギ類の栽培は、成熟から収穫期にかけて春先の不順な天候に遭遇する頻度が高く、湿害と並んで赤かび病は収量・品質低下の最大要因に挙げられる。さらに、近年の食の安全志向からカビ毒汚染防止対策が急務とされ、防除対象病虫害のなかで最重要病害に位置付けられている。

愛媛県はハダカムギが主体に栽培され、出穂が4月上旬と早く、開花期など生育の変動が大きい。近年のムギ類赤かび病の発生は、1983、98年に甚発生、1986、91年に多発生するなど年次間変動が大きい(図-1)。

ムギ類は経済性が低いことから薬剤防除は開花期を中心に実施されているにすぎず、多発年には防除の遅れから大被害を被ってきた。しかし、2002(平成14)年10月農作物検査法の農産物規格規程の一部が改正され、赤かび病被害粒の混入割合が「0.0」と強化された。さらに、コムギにおけるデオキシニバレノール(DON)の暫定基準の設定により、オオムギにおいてもカビ毒汚染防止の見地から、一層の防除対策が強化され、ここ数年は開花期の防除実施率は向上している。こうした背景から、生産者の防除意識が高まり、営農指導に携わる関係者からも本病の発生予察に対する関心・重要度がしだいに増している。

本病の発生生態は、多くの先人の詳細な研究成果があり、ほぼ全容は明らかにされている。言うまでもないが、感染は開花期以降の降雨と子う胞子の飛散により高まることが明らかにされ(西門, 1958; 井上, 1960)、発病の誘因となる気象条件と主因となる赤かび病菌(*Gibberella zeae* PETCH)子う胞子の飛散と発病の関係による発生予察への有効性も実証されている(上田, 1995)。本県では、これらの発病機構にもとづきムギ類赤かび病の発生予察に気象条件と3~4月の子う胞子飛散調査の結果を活用している。以下、本県のハダカム

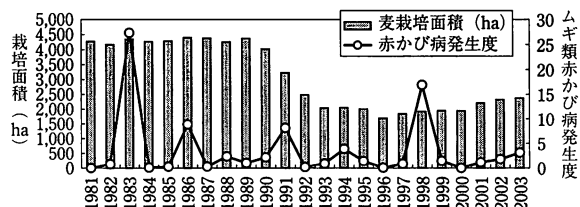


図-1 愛媛県のムギ栽培面積とムギ類赤かび病発生度の年次変動(1981~2003)

ギにおける子う胞子の飛散と気象によるムギ類赤かび病発生予察の現状と課題について記述する。

I *Gibberella zeae* 子う胞子飛散調査

本県のムギ類赤かびの病原菌は *Gibberella zeae* (SCHWEIN) PETCH (*F. graminearum*) が主体である。本病原菌は糸状菌の一種で、腐生栄養繁殖が旺盛で野外のいろいろなところで生活している。イネ科枯死植物上に子う殻を形成し、湿潤条件で子う胞子を飛散する。子う殻は稲わらでよく形成され、西南暖地のムギでは、その多くが水田裏作で栽培されるため、イネ刈り後の刈り株が子う殻形成の格好の場所となっている。

子う胞子の飛散は、早い年には3月中旬ごろから観察され、ムギ類赤かび病の穂への一次感染源として子う胞子が大きな役割を担っている(松尾, 1980)。

1 飛散子う胞子の採集

子う胞子の飛散調査は、ハダカムギの出穂前の3月第5半旬から登熟後期の4月第6半旬にかけて、開花期を中心とした感染期に実施している。使用する胞子採集器は明日山氏が考案したものを用いている(図-2)。本器は、前方に入口の開いた四角い箱状の器体と尾翼からなり、鉄棒を中心に風を受けると入口が常に風上に向く仕組みとなっている。

子う胞子の飛散は、地上50cm以下で多いとされるが(松尾, 1980; 斉藤, 1984)、胞子採取器は、穂への付着を想定し、生育に応じムギ畑内の地上50~80cmの高さに設置している。子う胞子を採集するグリセリン・ゼリー塗抹スライドガラスは、器体の上部と箱の入り口の2か所に置き、毎朝(24時間ごと)交換する。

Forecasting of Barley Fusarium Head Blight Epidemics Based on Airborne Spores of *Gibberella zeae* and Climatic Factors. By Youzou MURAKAMI

(キーワード: ムギ類赤かび病, 発生予察, 子う胞子飛散, 気象)

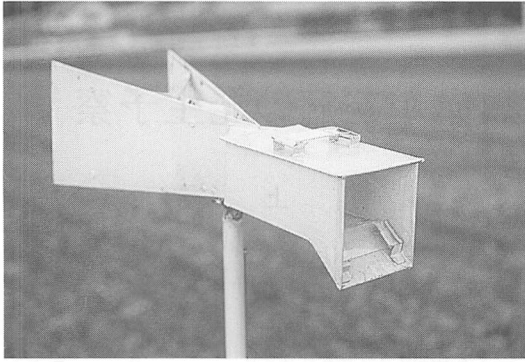


図-2 明日山式胞子採集器



図-3 子のう殻から離脱した赤かび病菌子のう胞子 (×600倍) (上田進氏原図)

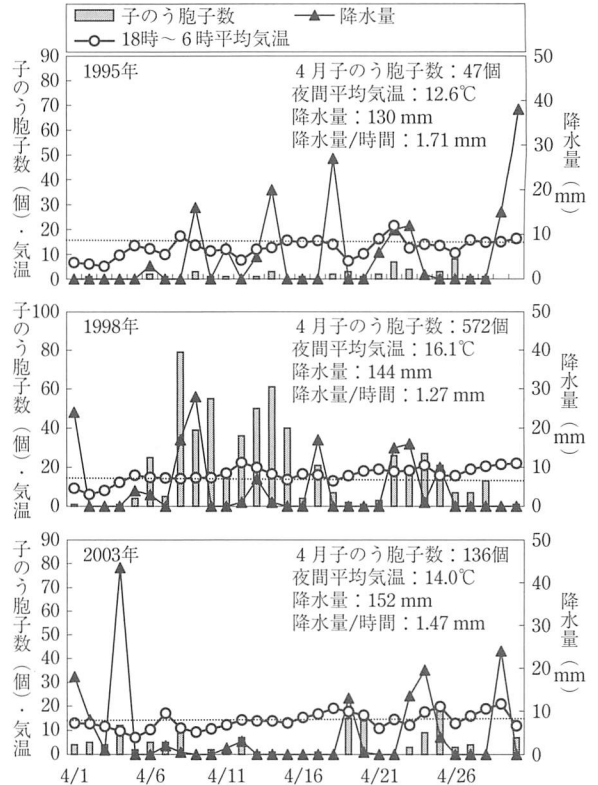


図-4 北条市における4月のムギ類赤かび病菌子のう胞子数と気象の関係 (気象データ: 松山市アメダス)

グリセリン・ゼリーの調製は、蒸留水 100 ml にゼラチン 40 g (板状の物は細くする) を入れ十分に煮沸溶解させ、これにグリセリン 80 ml を加える。三角フラスコ等で数年は貯蔵が可能である。使用の際は、溶解させ手の指やガラス棒でスライドグラス (76 × 26 mm) に凹凸のないよう薄く塗ったものを使用する (明日山, 1962)。筆者は、当年分を一度に作成し、スライドグラス貯蔵箱に保存し、随時使用している。

2 子のう胞子の計数

回収したスライドグラスのグリセリン・ゼリー塗抹部分に水滴を滴下し、その上に 18 mm 四方のカバーグラスを気泡の入らないように置く。その範囲を光学顕微鏡の 100 ~ 400 倍で一方から、くまなく子のう胞子数を計数する。時間と労力がある仕事である。

子のう胞子の形態は無色で隔膜を有するが、胞子飛散調査で採集される子のう胞子は 3 隔膜が主体である (図-3)。赤かび病菌の胞子と類似した胞子が採集される場合があり、形態のわずかな違いから病原性の有無が判断しづらい点が本調査方法の欠点である。駒田培地を利用

した暴露法 (小泉ら, 1993) の利用は菌の種類判別は容易であるが、培養までに時間を要する。しかし、迅速に子のう胞子の飛散量を発生予察に反映させるため、タイムラグのない胞子採集器を採用している。スライドグラス上の類似子のう胞子の混同を避けるには、イネ株上に形成される子のう胞子と比較しながら調査するとよい (上田, 1988)。

分生胞子の飛散性は極めて小さいことから、胞子採集器には多発生時でも付着胞子数は比較的少数である。

また、グリセリンゼリーは雨滴により洗い流されても子のう胞子は付着しているの、設置時にスライドグラスのゼリー塗抹部を油性マジックでマークしていると、洗い流されても検鏡時のカバーグラスを置く目安となる。

II 子のう胞子飛散に及ぼす気象の影響

子のう胞子は夜間に飛散のピークがあり (堀, 1985)、胞子飛散と気象の影響についても、北条市 (農試場内) の 1997 ~ 2003 年の 4 月における子のう胞子採集数と松山気象台気象データとの関係から検討した。結果は、日

表-1 赤かび病発生度（全県）と気象要因との単相関係数

期 間	項 目	気 象				気 象 要 因	
		平均気温	最低気温	降水量	降雨日数	係数 1	係数 2
出穂～	10 日間	0.351	0.392	0.064	0.480 *	0.084	0.094
	〃 15 日間	0.392	0.484 *	0.112	0.482 *	0.393	0.707 **
出穂 5 日後～	10 日間	0.339	0.425 *	0.392	0.561 **	0.157	0.513
	〃 15 日間	0.451	0.492 *	0.445 *	0.497 *	0.473	0.685 **
出穂 10 日後～	10 日間	0.449 *	0.456 *	0.377	0.400	0.602 *	0.764 **
	〃 15 日間	0.393	0.515 *	0.374	0.500 *	0.498	0.700 **
4 月全期間		0.401	0.405	0.427 *	0.569 **	0.440	0.535 *

注) 1. 気象データは松山気象台アメダス、赤かび病発生度は愛媛県発生予察事業年報より算出。2. 調査期間：1981～2003年（23年間）。3. 出穂日は愛媛農試奨励品種決定調査の県内普及ハダカムギ品種の標準播種（11月20日）のもの。4. 気象要因係数1：(平均気温×降水量)/100，気象要因係数2：(最低気温×降雨日数)/100。5. **: 1%有意水準，*：5%有意水準。

別の孢子採集数と日最低気温（松山市アメダス）との間には0.432と正の相関がわずかに認められたにとどまった。各年次間の3月の気象と4月の孢子採集数との間には相関は認められなかった。このことから、子のう孢子の飛散は、夜間の気象条件の影響は少なからず認められたが、単純な気象条件からの推定は困難と考えられた。

そこで、採集子のう孢子の多かった1998年、中位の2003年、少なかった1995年の4月1か月間の孢子採集数と気象因子の推移を検討した（図-4）。

採集数が多かった1998年は、4月中旬の平均気温が高く、月を通じての気温も高かった。降水量は他の年に比べ変わらないが、定期的な降雨があり、時間当たり降水量の少なさから、降雨時間が長いことがわかる。2003年は、月間の降水量は多いが、4月第2～第3半旬の降雨が少なく、半月までの平均気温がやや低かった。1995年は適度な降雨はあったが、時間降水量が多く、やや強い雨が降った。しかし、夜間平均気温が低かったことにより、子のう孢子の採集数が少なかったと考えられた。以上の結果から、時間ごとの気象変動から次のような条件の日に子のう孢子が多く採集された。

- ① 日中降雨があり、夕方に雨が止んだ。
- ② 日中から夜間にかけて、間断的に弱い降雨（1mm以下/時間）があった。
- ③ 降雨翌日の日中が曇りで経過した。

なお、断続的に降雨があった場合や時間降雨量が多い夜間は総じて子のう孢子数の少ない場合が多かった。

このことから、単純な気象データから孢子飛散量を予測することは困難と考えられ、降雨の時間帯や降雨程度など詳細な気象因子の影響を考慮する必要がある。降雨後の高湿度条件で夜間に子のう孢子の飛散が多くなり、さらに気温が高いほど助長される。断続的な降雨あるい

は豪雨は子のう孢子の流失があるため、採集数は比較的少ないと考えられ、井上（1960）の報告とはほぼ一致した。

III ムギ類赤かび病の発生と気象要因

本病の発病の誘因となるファクターとして気象因子は大きなウェイトを占める。特に気温の高い降雨は、子のう孢子の飛散量を助長し、穂への感染に大きく関与していると考えられる。気象因子から発病を予測する試みは、高崎（1982）は、降水量と平均気温と降雨日数によりコムギにおける発病率を予測する回帰式を、上田（1998）は4月中旬（ムギの出穂・開花期）の平均気温15℃以上の日の降水量や降雨日数でハダカムギ赤かび病の発生を予測する回帰式を明らかにしている。

愛媛県における過去23年間の赤かび病の発生と気象因子の関係を単相関係数として表-1に示した。

発生に及ぼす気象因子は、気温では平均気温よりも最低気温、降雨は降水量よりも降雨日数で相関が高かった。さらに気象要因係数として各気象因子を加工し係数化し、発生との関係をみた結果、単独因子よりもさらに高い正の相関が得られた。特に最低気温と降雨日数で求めた係数で有意な高い相関が得られた。

また、ハダカムギの生育ステージからみた、発生と気象の影響は出穂10日後からの期間の気象因子の影響が最も高く、期間も10日間よりも15日間の因子で相関が高かった。このことは主要感染時期と考えられる開花期と一致し、感染から発病期間が長期に及ぶことが示唆された。しかし、これら気象要因の実用的な発生予察での活用を考えると、現状で利用できる気象予報は週間天気予報に頼らざるをえないため、出穂10日後から10日間の気象因子での関係の検討が適当と思われる。

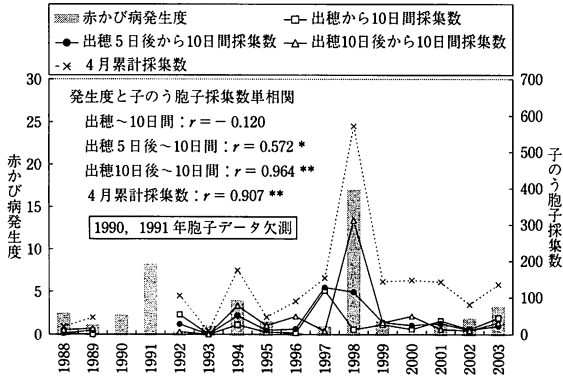


図-5 北条市における赤かび病菌子のう胞子採集数と全県発生度 (1988 ~ 2003)

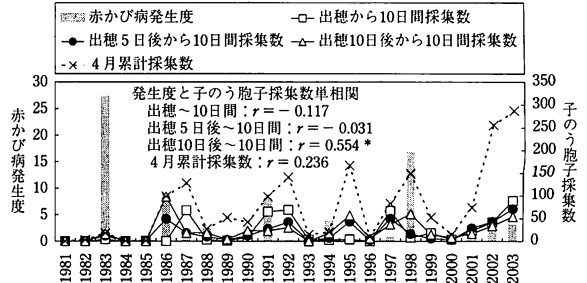


図-6 西条市における赤かび病菌子のう胞子採集数と全県発生度 (1981 ~ 2003)

表-2 赤かび病発生度 (全県) と気象・胞子採集数との重回帰分析 (北条市データ)

定数	出穂～10日間		出穂10日後～10日間		相関係数	
	降雨日数(X ₁)	最低気温(X ₂)	降雨日数(X ₃)	胞子数(X ₄)	R	R ²
	偏回帰係数					
I	-2.515	0.828	-0.235	1.378	0.454	0.674
II	0.382			0.053	0.955	0.913
III	-0.958		0.163	-0.103	0.958	0.917
IV	-1.197	0.335	0.038	-0.010	0.964	0.930

注) 1. 気象データは松山気象台アメダス, 赤かび病発生度は愛媛県発生予察事業年報より算出。2. 子のう胞子飛散調査期間: 1988 ~ 2003年 (2年欠測) 間の調査。3. 出穂日は愛媛農試奨励品種決定調査の県内普及ハダカムギ品種の標準播種 (11月20日) のもの。

IV ムギ類赤かび病の発生と子のう胞子採集数

愛媛県における赤かび病の発生と4月中旬の子のう胞子採集数との関係は、1991年までの30年間の解析で高い相関が明らかにされている (上田, 1995)。このことは、穂での発病に子のう胞子が大きく関わっていることが裏付けられる。前述のとおり、子のう胞子の飛散は高湿度で気温の高い夜間に多く、こうした条件は赤かび病の発病も多くなると考えられる。

北条市 (農試場内) と西条市 (現地圃場) における近年の子のう胞子採集数と全県の発生度を図-5, 6に示した。子のう胞子の採集数は年次間の変動があるが、北条市と西条市の4月累計胞子採集数による年次変動間の相関は低い。理由として、西条市は胞子採集器の設置場所が数回変わっていることなどが考えられる。胞子採集器は、圃場条件により子のう殻の形成や採集効率が異なることが考えられるため、できるだけ同一圃場で実施することが望ましい。

赤かび病の発生と胞子採集数の関係は、ムギの生育ス

テージごと3段階と4月全期の胞子採集数と全県の発生度で単相関係数を求めた結果、北条市での最近14年間の結果から出穂10日後から10日間の子のう胞子採集数と高い単相関が得られ、西条市においてもこの時期の採集数と発病において他の時期よりも高い相関がみられた。この時期は、ハダカムギの開花期～乳熟初期に当たり、^{やくがい} (柱頭) から外・内穎に病斑が拡大することから、この時期の子のう胞子の飛散量の推移は発病と密接な関係があると考えられる。

V 胞子飛散と気象因子による発生予測

前述の結果から胞子採集数と気象因子から重回帰分析による赤かび病の発生度との関係式を求めた。単相関の高かった気象因子だけの重相関係数は胞子採集数を加えた係数よりも低く、子のう胞子数の発病に及ぼす影響が高いことがわかる。北条市における出穂10日後からの子のう胞子採集数と発生は高い相関が得られるが、気象因子を加えることによりわずかながら相関係数は高まった (表-2)。

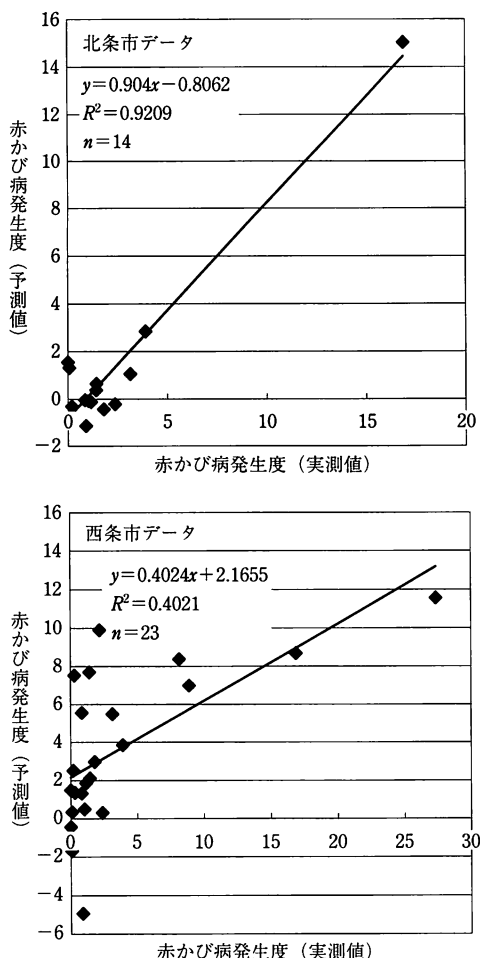


図-7 ムギ類赤かび病発生度の実測値と予測値の関係

北条市の14年間のデータから、赤かび病発生度 = $0.335 \times X_1 + 0.038 \times X_2 - 0.010X_3 + 0.051X_4 - 1.197$ の関係式が得られ、式より求めた予測値と実測値間で極めて高い相関が得られた。また、西条市の23年間のデータからも同様の傾向が得られたが、孢子採集数と発生度との相関がやや低かったことから、IV段階の関係式で得られた予測値と実測値との相関係数は $r^2 = 0.634^*$ とやや低い結果であった。しかし、低い発生程度でのはずれ値がやや多いものの、高い発生度はほぼ一致しており、多発時の予測は可能と判断された(図-7)。

また、子のう孢子数と発病との関係は実証できたが、

目的とする期間の子のう孢子数を予測するため、出穂からの孢子採集数と出穂10日後からの孢子採集数との相関を求めた結果、単相関係数は北条市 $r = 0.158$ 、西条市 $r = 0.204$ と低かった。このことは出穂10日後からの子のう孢子数は実測に頼るしかないと考えられた。今後、子のう孢子採集数を予測するための子のう殻形成等の関係因子を明らかにすることが課題である。

その他、今回得られた関係式がハダカムギの播種期が約1か月に及ぶことから、出穂期の変動や出穂時期の異なるコムギに対応できるか検討も行う必要がある。

実用場面では、開花期の薬剤防除は必須防除と想定し、出穂以降の気象予報と毎日の採集子のう孢子数の推移により当年の赤かび病の発生程度の予測ができ、まん延を防止するための追加防除の要否への活用が考えられる。

おわりに

愛媛県での子のう孢子採集と気象因子によるムギ類赤かび病の発生予察について記述したが、過去の発生と関係因子を明らかにしたにすぎない。しかし、気象因子と子のう孢子採集調査により、精度の高い発生予察の方向性が示唆できた。今後、早期に赤かび病の発生予想が可能となる予察方法への改良が必要と考える。

また、ムギ類赤かび病の抱える現状の問題として、カビ毒(マイコトキシン)汚染防止技術が当面のエンドポイントとして各方面で研究が進んでいる。今後、カビ毒汚染防止を視野に入れた防除技術の確立のため、子のう孢子採集調査を利用した発生予察での対応を検討したい。

本稿を草するに当たり、元愛媛県農業試験場上田進博士には校閲を賜り、記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 明日山秀文ら(1962): 植物病理実験法, 日本植物防疫協会, 東京, pp.236 ~ 239.
- 2) 井上成信(1960): 農及園 35:1807 ~ 1808.
- 3) 上田進(1995): 愛媛県農業試験場研究報告 30:1 ~ 53.
- 4) ———(1999): 四国植物防疫研究 34:92 (講要).
- 5) 小泉信三ら(1993): 農業研究センター研究報告 23:41 ~ 45.
- 6) 西門義一(1958): 農業改良技術資料 97:1 ~ 162.
- 7) 斉藤初雄(1984): 植物防疫 38:58 ~ 63.
- 8) 佐藤剛(2000): 同上 54:167 ~ 170.
- 9) 松尾卓見ら(1980): 作物のフザリウム病, 全国農村教育協会, 東京, pp.45 ~ 48, 77 ~ 80.
- 10) 高崎登美雄(1982): 九州病害虫研究会報 28:22 ~ 24.
- 11) 堀真雄(1985): 農及園 60:431 ~ 436.
- 12) 茂木静夫(1986): 植物防疫 40:168 ~ 173.