

コムギ赤かび病の発病とデオキシニバレノール蓄積に及ぼす感染時期の影響と薬剤防除適期の把握

宮城県古川農業試験場 ^{おお} ^ぼ ^{あつ} ^し
大 場 淳 司

はじめに

ムギ類赤かび病はムギ類の穂が侵される病害で、収量や品質に大きな被害を与える。我が国ではコムギの生育時期が梅雨時期と重なることから、避けることのできない重要な病害である。

本病に対してコムギの感受性が最も高まる時期や薬剤散布の適期については、これまで種々の報告がある（西門, 1958; PARRY et al., 1995; 井上・長江, 1961; PAUL et al., 2007）が、それらの報告は必ずしも一致していない。しかし、現在のコムギ栽培地域では、開花期を1回目の防除時期とした複数回防除体系が広く実施されている。

一方、多くの赤かび病菌は人畜に有毒な複数のマイコトキシン（かび毒）を産生し、その汚染は国際的にも大きな問題となった。日本でも、2002年に厚生労働省がデオキシニバレノール（以下 DON と略称）に関する暫定基準値を 1.1 ppm に設定し、この基準値を超えるコムギの市場流通を制限した。加えて、農林水産省は、農産物検査規格を改定し、2003年産ムギからは、赤かび病被害粒の限界混入率が 0.0%（0.05%未満）に引き下げられた。このため、コムギ生産のハードルがより高くなるとともに、発病のみならず DON 汚染を防ぐための栽培技術の開発も同時に求められるようになったが、既往の研究はほとんどが発病抑制を目的にしており、DON の蓄積を合わせて評価した知見は少ない。そのため、今後は、発病程度および DON 蓄積の関係を総合的に評価し、個々の確立された技術を再構築する必要が生じた。

宮城県では、主要コムギ品種として‘シラネコムギ’および‘ゆきちから’が栽培されており、前者は赤かび病に対して中程度の抵抗性を示すのに対し、後者ではやや弱の抵抗性を示すとされている。しかし、両品種の赤かび病感染時期と発病程度および DON 蓄積量の関係については不明である。また、これまでコムギの開花期の定義が必ずしも統一されていない事例が多いと指摘する報告（井上・長江, 1961）があるにもかかわらず、それ以降

の詳細な検討や報告はない。赤かび病の防除時期に関しては、多くの場合、達観的な指標として「開花盛期」などを用いてきたが、こうした基準もコムギ栽培圃場での詳細な観察データを基に定義づけることが必要となっている。

そこで、筆者らは、これらを明らかにするため、前述の‘シラネコムギ’および‘ゆきちから’を用いた一連の試験を行ってきた（大場ら, 2009）。本稿では、出穂期以降の出穂率、開花穂率および開花小穂率の推移を調べ、開花期を開花小穂率（1穂当たりの開花小穂の割合）40～50%と定義したうえで、出穂期から成熟期までの本病感受性の推移を発病程度および DON 蓄積量で評価した結果と、防除適期の把握における開花穂率の有効性について明らかにした結果について紹介する。

I コムギの栽培

供試コムギ品種は‘シラネコムギ’および‘ゆきちから’とした。いずれの年も、宮城県の標準播種時期に相当する 10月15日前後に播種し、播種方式は条間 0.8 m, 1条2列の条播とした。基肥や追肥の量および施用時期は宮城県慣行（いずれも窒素成分で 10 a 当たり基肥 8 kg, 幼穂形成期追肥 2.5 kg, 減数分裂期追肥 5.0 kg）とし、いずれも確安で行った。

II 出穂および開花推移調査

試験区は、1区当たり約 1.5 m²（1.9 m × 0.8 m）とし、1区当たり 5 株（1株当たり穂数約 25～30本）、5反復とした。調査は、調査株内の対象穂すべてについて、出穂確認日から開花終了時まで毎日、正午前後に行い、出穂率、開花穂率および開花小穂率を求めた。ただし、株内で極端に生育が遅れている穂は調査対象から除外した。これまでの報告では、コムギの開花期の定義が必ずしも統一されておらず、井上・長江（1961）も、ムギの生育ステージの表現を統一することの必要性を指摘している。そこで、本試験では、Zadoks の生育ステージ（ZADOKS et al., 1974）を一部改良し、以下のとおり定義した。すなわち、出穂率 1～10%未満の日を「出穂始期（Zadoks growth stage: およそ 50）」、同 40～50%を「出穂期（同 55）」、開花小穂率 10%未満を「開花始期

Effect of Infection Timing on Severity of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol Accumulation in Wheat Cultivars, and Grasp of Properly to Control. By Atsushi OHBA

（キーワード：コムギ, 赤かび病, DON 蓄積, 開花期）

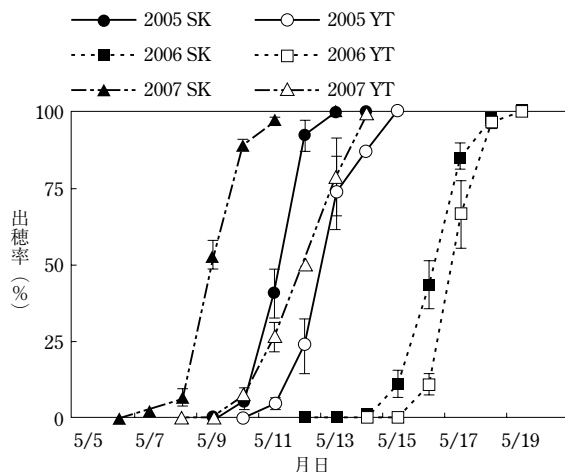


図-1 コムギ2品種における出穂率の推移
品種：SK；シラネコムギ，YT；ゆきちから。縦バーは標準誤差を示す。

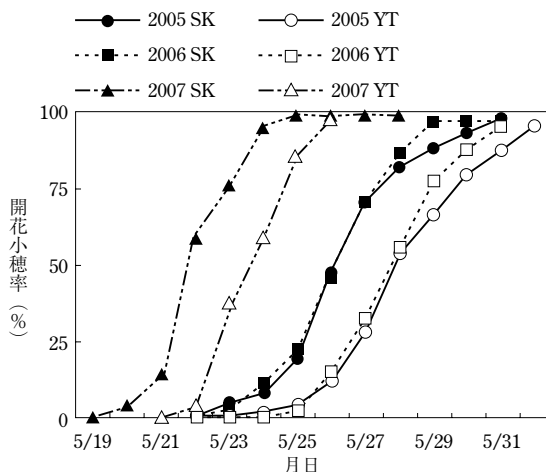


図-2 コムギ2品種における開花小穂率の推移
品種：SK；シラネコムギ，YT；ゆきちから。縦バーは標準誤差を示す。

表-1 コムギ2品種の出穂後の生育ステージ

年	品種 ^{a)}	生育ステージ ^{b)}				
		出穂始期	出穂期	開花始期	開花期	開花終期
2005	SK	5/10 (-16) ^{c)}	5/11 (-15)	5/22 (-4)	5/26 (±0)	5/30 (+4)
	YT	5/11 (-17)	5/13 (-15)	5/23 (-5)	5/28 (±0)	6/01 (+4)
2006	SK	5/14 (-12)	5/16 (-10)	5/23 (-3)	5/26 (±0)	5/29 (+3)
	YT	5/15 (-13)	5/17 (-11)	5/24 (-4)	5/28 (±0)	5/31 (+3)
2007	SK	5/07 (-15)	5/09 (-13)	5/20 (-2)	5/22 (±0)	5/25 (+3)
	YT	5/10 (-14)	5/12 (-12)	5/22 (-2)	5/24 (±0)	5/27 (+3)

^{a)} SK：シラネコムギ，YT：ゆきちから。^{b)} 出穂始期：出穂率10%未満，出穂期：出穂率40～50%，開花始期：開花小穂率10%未満，開花期：開花小穂率40～50%，開花終期：開花小穂率90%以上。^{c)} ()内は開花期からの日数。

(同60)」、同40～50%を「開花期(同65)」、同90%以上を「開花終期(同69)」とした。また、「開花始期」～「開花終期」までの期間を「開花期」とした。なお、出穂については、穂の先端が一部でも葉鞘から出たことを確認した状態を出穂、開花穂については、1小穂でも開花した穂を開花穂とみなした。各年度の出穂率、開花小穂率の推移をそれぞれ図-1および図-2に、各生育ステージ(出穂始期、出穂期、開花始期、開花期、開花終期)の到達日およびそれぞれの開花期からの日数を表-1に示した。出穂率および開花小穂率の推移は年により著しく異なり、出穂期は同一品種でも最大で7日の差が見られた。同様に、開花期では最大6日の差が認められた。また、「ゆきちから」の出穂期と開花期は、3か年とも「シラネコムギ」に比べ1～3日遅れたが、開花期間

表-2 コムギ2品種の開花期間の比較

品種 ^{a)}	開花期間(日)			平均 ^{b)}
	2005	2006	2007	
SK	8	6	5	6.3 a
YT	9	7	5	7.0 a

^{a)} SK：シラネコムギ，YT：ゆきちから。
^{b)} 同一英小文字間には、Studentのt検定結果($p = 0.05$)による有意差がないことを示す。

(開花始期～開花終期)の長さには品種間で有意差が認められなかった(表-2)。

III コムギの生育ステージの推移と赤かび病感受性および DON 蓄積の関係

コムギの生育ステージと本病に対する感受性と DON 蓄積の関係を明らかにするための接種試験を行った。試験区の構成は、1区当たり約 4.0 m² (4.0 m × 1.0 m), 3ブロック乱塊法とした。供試菌株としては、DON 産生型赤かび病菌 DON5 株 (九州沖縄農業研究センターより分譲, MAFF240559, 中島・吉田, 2007; SUGA et al., 2008) を用いた。マングビーン液体培地 (DILL-MACKY, 2003 を一部改変) を用いて供試菌株を浸とう培養し、分生孢子を形成させ、2 × 10⁵/ml に孢子濃度を調整した。展着剤として Tween20 を 0.02% 添加し、背負い式の動力噴霧器を用い、両品種の出穂始期 (開花期の 12 ~ 17 日前) から開花期の 30 日後までの間で数日おきに 10 a 当たり換算 100 l で噴霧接種した。発病度調査は、開花期 20 ~ 24 日後に各試験区の主茎 50 穂について、BAN and SUENAGA (2000) の手法に従い、発病穂率および 8 段階の発病指数を調査し、発病度: Σ (発病穂率 × 発病指数) を求めた。また、開花期からおよそ 40 日後に試験区の中央部 (長さ約 2 m) のコムギを刈り取り、ビニールハウス内で約 1 週間自然乾燥した後、脱穀調整作業を行い、DON 濃度試験に供試した。なお、脱穀機で

脱穀されなかったものについては、手作業により脱穀し、両者をあわせて子実とした。DON の分析には、Neogen 社製の ELISA キット (Veratox5/5) を用いた。発色の測定は、Neogen 社製のマイクロプレートリーダー (Awareness Microwell reader) を用いた。

コムギ両品種の生育ステージごとに接種した場合の発病度および DON 濃度を表-3 に示した。2005 年の 'シラネコムギ', 06 年および 07 年の 'ゆきちから' の DON 濃度には、接種時期間での有意な差は認められなかったものの、05 年の 'ゆきちから', 06 年と 07 年の 'シラネコムギ' では、発病度、DON 濃度ともに開花期あるいは開花期の接種で有意に高くなる傾向が認められた。また、'ゆきちから' の発病度は 'シラネコムギ' に比べて、一部を除き多くの生育ステージで高かった (表-3)。しかし、両品種の開花期間の長さには有意な差は認められなかったことから (表-2), 2 品種間の発病度および DON 蓄積の差は、開花期間の長短に由来するものではなく、開花期間中の感受性程度の違いによるものと考えられた。

次に、開花期を起点とした接種時期と発病度および DON 濃度との関係を接種日単位で比較した結果例 (2006 年のみ) を図-3 に示した。いずれの年でも、両品種ともに開花期 3 日前 (-3) から開花期 (±0) にかけての接種で発病度と DON 濃度が最大に達した。ま

表-3 コムギ 2 品種の接種時期と赤かび病の発病度およびデオキシニバレノール (DON) 濃度の関係

接種年	品種 ^{a)}	接種時期 ^{b)}							
		出穂始期	出穂期	開花始期	開花期	開花終期	開花期 + 20	開花期 + 30	
発病度 ^{c)}	2005	SK	NT ^{e)}	0.93b	7.20a	7.77a	3.33b	NT	NT
		YT	NT	0.90b	5.20b	32.63a	4.07b	NT	NT
	2006	SK	2.13c	3.33bc	6.33b	14.70a	2.83bc	NT	NT
		YT	2.67b	5.13b	2.70b	22.53a	4.37b	NT	NT
	2007	SK	0.73d	0.67d	3.20c	13.47a	5.83b	0.33d	NT
		YT	2.87c	4.27c	28.23a	15.47b	4.07c	1.53c	NT
DON 濃度 ^{d)} (ppm)	2005	SK	NT	0.27ab	0.97ab	1.29a	0.99ab	0.28ab	0.10b
		YT	NT	0.99cd	1.89bc	4.48a	2.00b	0.79d	0.67d
	2006	SK	1.25b	1.57b	1.61b	4.29a	1.14b	1.05b	0.95b
		YT	2.40a	2.95a	1.54a	4.74a	2.91a	2.02a	2.53a
	2007	SK	0.16b	0.31b	0.73b	2.25a	0.67b	0.25b	0.09b
		YT	0.78a	0.98a	0.88a	2.75a	1.53a	0.71a	0.54a

^{a)} SK: シラネコムギ, YT: ゆきちから。 ^{b)} 出穂始期: 出穂率 10% 未満 (Zadoks growth stage: ZGS およそ 50), 出穂期: 出穂率 40 ~ 50% (同 55), 開花始期: 開花小穂率 10% 未満 (同 60), 開花期: 開花小穂率 40 ~ 50% (同 65), 開花終期: 開花小穂率 90% 以上 (同 69), 開花期 + 20: 開花期 20 または 21 日後, 開花期 + 30: 開花期 29 または 30 日後。 ^{c)} 各行における同一英小文字間の数値は Kruskal-Wallis 検定および Bonferroni 検定結果 ($p = 0.05$) により有意差がないことを示す。 ^{d)} 各行における同一英小文字間の数値は Tukey-Kramer の HSD 検定結果 ($p = 0.05$) により有意差がないことを示す。 ^{e)} NT: 調査なし。

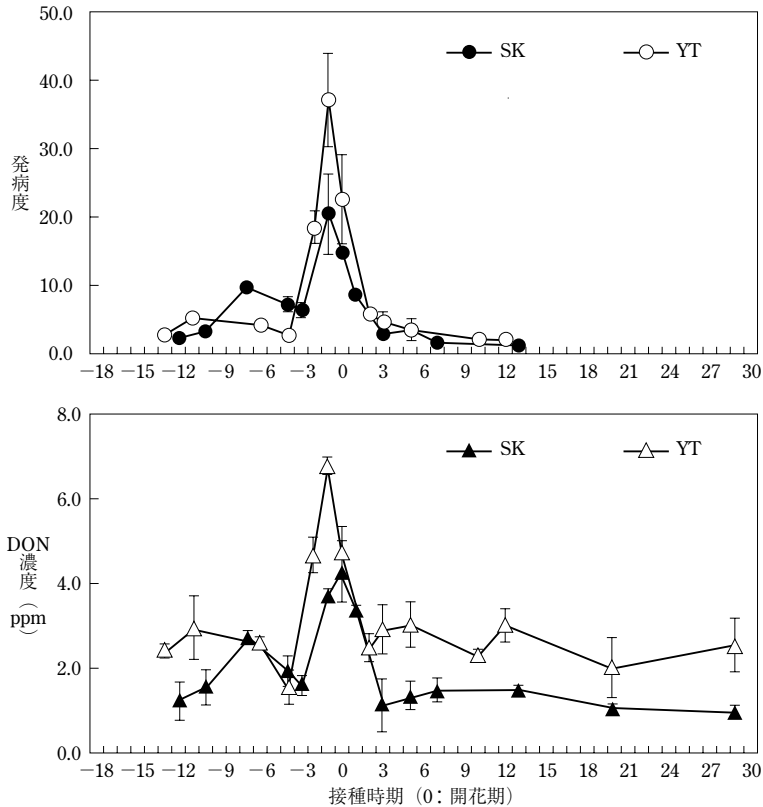


図-3 コムギ2品種の接種時期と赤かび発病度およびDON濃度との関係 (2006)
 品種：SK；シラネコムギ，YT；ゆきちから。縦バーは標準誤差を示す。

た、品種間では、‘ゆきちから’の発病度、DON濃度はいずれも‘シラネコムギ’に比べ有意に高かった。

一方、この期間以外の時期、すなわち、開花3日前以前と開花期以降に接種した場合にも、両品種ともに、発病およびDONの蓄積が認められた。しかし、発病度は両品種で同程度であったが、DON濃度では‘ゆきちから’が‘シラネコムギ’より高い傾向が認められた。

このことから、特定期間の感染がDON蓄積に強く影響を及ぼす品種（‘シラネコムギ’）と出穂後の全期間の感染が影響を及ぼす品種（‘ゆきちから’）が存在する可能性が考えられた。しかし、この可能性については、今後さらに品種を増やして詳細に検討する必要がある。

III 開花穂率を指標とした薬剤散布適期の把握

赤かび病に対してコムギの感受性が最も高まる時期は、発病度およびDON濃度のいずれから評価しても開花期3日前から開花期であり、この期間はおよそ開花始期から開花期に相当することが明らかとなった。すなわ

ち、赤かび病に対する防除体系においては、この時期の防除を確実に行うことが最も重要であることが示唆され、そのためには、今回定義した開花期の迅速かつ簡便な把握が必要となる。しかし、本試験で解析に用いた開花小穂率の調査は時間を要することから、栽培農家が指標に用いることは困難である。そこで、開花小穂率に代わる指標として、実際の現場でも調査が簡便な開花穂率の有効性を検討した。その結果、開花期間中の開花小穂率(x)と開花穂率(y)の間には、両品種とも高い相関（‘シラネコムギ’： $y = 22.792\ln(x) - 4.1541$, $R^2 = 0.9642$, ‘ゆきちから’： $y = 20.284\ln(x) + 7.065$, $R^2 = 0.9171$ ）が認められた。また、両品種とも本試験で定義した開花期（開花小穂率40～50%）に相当する開花穂率は80%前後であった（図-4）。これらの結果から、開花穂率は2品種の第1回目防除時期のための簡易的な指標となり得ると考えられる。

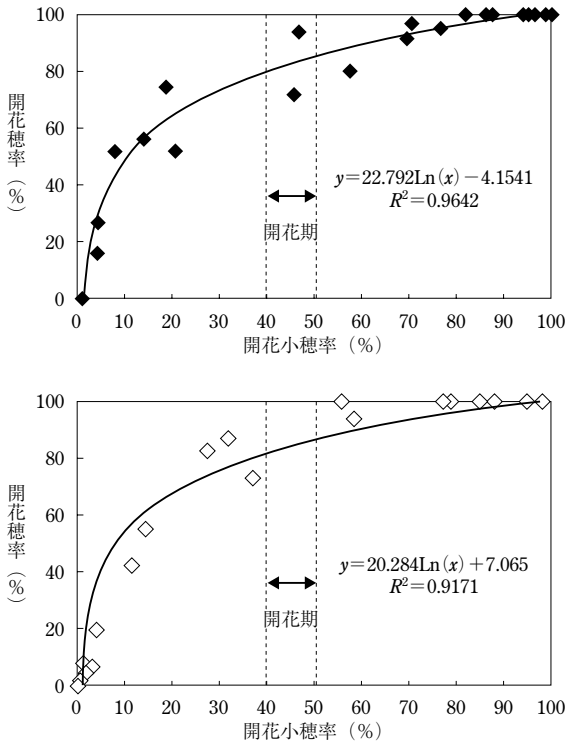


図-4 コムギ2品種における開花小穂率と開花穂率との関係
上図：シラネコムギ，下図：ゆきちから。

積の低減のためには、開花期3日前から開花期までの防除が最も重要であることが示唆され、そのタイミングは開花穂率で推定可能であることが明らかとなった。また、感染時期によりDONの蓄積量は品種間で異なることから、第2回目以降の防除も想定した効率的な防除体系を考えるうえで、現在広く行われている品種一律の防除体系ではなく、個々の品種の開花特性や開花期からの時期と発病程度およびDONの蓄積の関係を明らかにする重要性が改めて示唆された。

今後は、品種ごとに効果的かつ効率的な赤かび病防除対策を確立するため、品種ごとの赤かび病抵抗性を詳細に検討し、それぞれの対策を総合的に解析するとともに、現在のコムギ栽培を取り巻く情勢、そして生産者や消費者の実情も踏まえたうえで、栽培現場の環境や品種の特性に合わせた、より効果的かつ効率的な防除体系の確立が重要性を増してくるものと考えられる。

引用文献

- 1) BAN, T. and K. SUENAGA (2000) : *Euphytica* 113 : 87 ~ 99.
- 2) DILL-MACKY, R. (2003) : *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley* (KURT, J. L. and R. B. WILLIAM eds.), APS PRESS, Minnesota, 205 pp.
- 3) 井上義孝・長江春季 (1961) : 日植病報 26 : 81 (講要).
- 4) 中島 隆・吉田めぐみ (2007) : 日植病報 73 : 106 ~ 111.
- 5) 大場淳司ら (2009) : 同上 75 : 93 ~ 101.
- 6) PARRY, D. W. et al. (1995) : *Plant Pathol.* 44 : 207 ~ 238.
- 7) PAUL, P. A. et al. (2007) : *Phytopathology* 97 : 211 ~ 220.
- 8) 西門義一 (1958) : 農業改良技術資料 97 : 1 ~ 162.
- 9) SUGA, H. et al. (2008) : *Phytopathology* 98 : 159 ~ 166.
- 10) ZADOKS, J. et al. (1974) : *Weed Res.* 14 : 415 ~ 421.

おわりに

今回供試した両品種における発病抑制およびDON蓄

登録が失効した農薬 (22.2.1 ~ 2.28)

掲載は、種類名、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺虫剤」

- シラフルオフェン乳剤
20241：シラフルバインEW（大日本除虫菊）10/02/25

「殺菌剤」

- IBP 粉剤
8551：キタジンP粉剤20（クミアイ化学工業）10/02/07
- EDDP 乳剤
8563：サンケイヒノザン乳剤30（サンケイ化学）10/02/19
8565：ヤシマヒノザン乳剤30（協友アグリ）10/02/19
- オキソリニック酸水和剤
17204：ヤシマスターナ水和剤（協友アグリ）10/02/08

「除草剤」

- CAT 粒剤
6742：シマジン粒剤1（住友化学）10/02/27

● オリザリン・ベスロジン粒剤

20588：ビバテル粒剤（ユーピーエルジャパン）10/02/23

● エトキシスルフロ水和剤

20591：三共グラッチェ顆粒水和剤（三井化学アグロ）10/02/28

「植物成長調整剤」

● デシルアルコール・プトルアリン乳剤

21246：ニューファムイエローリボン（ニューファム）10/02/25