赤かび病抵抗性の異なるコムギ2品種における赤かび病発生と デオキシニバレノール蓄積に及ぼす感染時期の影響

大場淳司^{1,2*}・吉田重信^{3,4}・對馬誠也³・生井恒雄⁵

ABSTRACT

OHBA, A.^{1,2*}, YOSHIDA, S.^{3,4}, TSUSHIMA, S.³ and NAMAI, T.⁵ (2009). Effect of infection timing on severity of Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in two wheat cultivars differing in resistance. Jpn. J. Phytopathol. 75: 93–101.

The effects of the timing of inoculation (before or after flowering) of ‘Shiraneekomugi’ (moderately resistant) and ‘Yukichikara’ (relatively susceptible) cultivars of *Triticum aestivum* with *Fusarium graminearum* on the disease severity and subsequent accumulation of deoxynivalenol (DON) in the grain were examined in fields in Miyagi Prefecture, Japan, for three years. “Flowering” was defined as the time when 40–50% of the spikelets in a head were flowering. A conidial suspension of the fungus was periodically sprayed onto the heads of two cultivars from first heading (12–17 days before the flowering) to 30 days after the flowering. Consequently, both cultivars had the highest disease severity and DON levels in the grains when inoculated at various times from 3 days before to the day of flowering in both cultivars, indicating that this is the most susceptible period for each cultivar. At other times of inoculation, however, the levels of disease severity and DON were not always consistent. DON levels were significantly higher in grains of cv. Yukichikara after inoculation during the period. These results suggested that the levels of disease severity and toxin accumulation in relation to the timing of inoculation depends on the cultivar; thus, elucidating these relations for each wheat cultivar is important for developing effective control strategies. A high correlation coefficient between the ratio of flowering spikelets in a head and the ratio of heads with at least one flowering spikelet was observed for each cultivar in the field. This correlation suggests that evaluating the ratio of the flowering heads is useful for estimating the ratio of flowering spikelets in each head, which indicates the time of flowering. The ratio of flowering heads in a field could then be used as an indicator for timing the application of control measures.

(Received July 7, 2008, Accepted September 19, 2008)

Key words: wheat, Fusarium head blight, disease severity, DON accumulation, flowering time

緒 言

ムギ類赤かび病は、*Fusarium* 属菌の複数種によって引き起こされ、収穫物に質的かつ量的に大きな被害を与える重要病害である (McMullen *et al.*, 1997). 我が国では、ムギ類の生育後期が梅雨時期と重なり、本病の発生に好適な条件で経過することから、古くから大発生事例がしばしば報告されて

いる (坂, 2002; 西門, 1958; Pugh *et al.*, 1933).

コムギ赤かび病は、コムギ (*Triticum aestivum* L.) の葍や穎花に病原菌の子のう胞子が付着することで感染し、本病に対して最も感受性の高まる時期はコムギの開花期前後といわれている (Atanasoff, 1920; 西門, 1958; Parry *et al.*, 1995; Pugh *et al.*, 1933; Sutton, 1982). 薬剤散布の適期としては、井上・長江 (1961) は出穂期から開花期, Mesterhazy (2003)

¹ 宮城県古川農業試験場 (〒 989-6227 宮城県大崎市古川大崎字富国 88) Miyagi Prefectural Furukawa Agricultural Experiment Station, 88 Fukoku, Furukawa-Osaki, Miyagi 989-6227, Japan

² 岩手大学大学院連合農学研究科 (〒 020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-8) United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, 3-18-8, Ueda, Morioka, Iwate 020-8550, Japan

³ 独立行政法人農業環境技術研究所 (〒 305-8604 茨城県つくば観音台 3-1-3) National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan

⁴ 現: 農林水産省農林水産技術会議事務局 (〒 100-8950 東京都千代田区霞が関 1-2-1) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, 1-2-1, Kasumigaseki, Tiyoaku, Tokyo 100-8950, Japan

⁵ 山形大学農学部 (〒 997-8555 山形県鶴岡市若葉町 1-23) Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23, Wakaba-mati, Tsuruoka, Yamagata 997-8555, Japan

* Corresponding author (E-mail: oba-at693@pref.miyagi.jp)

および Paul *et al.* (2007) は開花期、上田 (1964) は開花期頃、西門 (1958) は開花期後 1 週間以内としており、必ずしも一致していないが、現在、国内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かび毒 (マイコトキシン) を産生し、それらのムギ類に対する汚染がこれまでに報告されているが (Placinta *et al.*, 1999; Tanaka *et al.*, 1988; Tanaka and Sugiura, 2003), マイコトキシンの中で最も広く分布し、問題視されているものはデオキシニバレノール (以下, DON) である (Codex alimentarius commission, 2002; Placinta *et al.*, 1999)。国内では、厚生労働省が、2002 年 5 月に DON に関する暫定基準値を 1.1 ppm に設定し、この基準値を超過するコムギの市場流通を制限した。加えて、2003 年産ムギからは、農産物検定規格の改定により赤かび病被害粒の限界混入率が 0.049% と定められた。このため、現在では、発病のみならず DON の蓄積も赤かび病防除の重要なエンドポイントとなっている。よって、それらに対応した防除技術を開発するためには、コムギの赤かび病に対する感染時期と発病程度およびマイコトキシン蓄積の関係を総合的に評価する必要がある。しかし、これまでの報告において、発病程度とマイコトキシンの蓄積を合わせて評価した研究例は少ない (Del Ponte *et al.*, 2007)。

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ことが知られている。しかし、両品種の赤かび病感染時期と発病程度およびマイコトキシン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、本研究では宮城県の主要品種であり赤かび病抵抗性の異なる 2 品種、‘シラネコムギ’ および ‘ゆきちから’ を用い、出穂期以降の出穂率、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) が 40 ~ 50 % に到達した時期と定義した上で、出穂期から成熟後期までの本病感受性の推移を発病程度および主要なマイコトキシンである DON の蓄積量で評価した。また、開花小穂率と開花穂率 (開花小穂が見られた穂の割合) の相関関係を調べ、防除適期を把握するための簡易指標としての開花穂率の有効性を明らかにした。

材料及び方法

コムギの栽培 本試験は、宮城県古川農業試験場内畑圃場において 2005 年から 2007 年まで 3 か年行なった。供試コムギ品種は赤かび病抵抗性「中」のシラネコムギ (以下, SK) および同抵抗性「やや弱」のゆきちから (以下, YT) 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 80 cm, 1 条 2 列の条播とした。施肥はいずれも硫安で行い、基肥として 10a あたり窒素成分で 10 kg, 追肥として幼穂形成期に同 2.5 kg, 減数分裂期に同 5 kg をそれぞれ施用した。

各年次における赤かび病の発生程度調査 各試験年次における気象などの圃場環境条件が、赤かび病の発生に好適であったかどうかを把握するために、以下の発病程度の調査を行った。調査区は、1 区あたり約 8 m² (2 m × 4 m) とした。赤かび病菌の感染、発病を促すために、コムギの出穂期約 20 日前に、九州沖縄農業研究センターより分譲された DON 産生型赤かび病菌 DON 5 株 (MAFF240559) (中島・吉田, 2007; Suga *et al.*, 2008) を接種し発病させたトウモロコシ穀粒を、1 m² あたり約 150 粒換算で散布した。なお、赤かび病菌 *Fusarium graminearum* Schwabe は、近年、分子系統学的種概念に基づき 9 つの分子系統群に再分類され、それぞれ別種として記載されているが (O'Donnell *et al.*, 2000; O'Donnell *et al.*, 2004), 本試験で供試した DON 5 菌株 (MAFF240559) は, Ward *et al.* (2002) による遺伝子診断で DON 産生タイプと診断された *F. graminearum* 種複合体 (species complex) である。発病調査は、各品種の後述で定義した開花期の約 25 日後に、以下のように行った。すなわち、各品種 50 茎を任意に抽出し、農作物有害動植物発生予察事業の調査実施基準 (農林水産省植物防疫課, 2001) に従い、以下の基準により発病度を求めた [発病度 = (6A+3B+C) × 100 / (6 × 調査茎数), A: 穂の 2/3 以上の小穂又は粒が発病しているもの, B: 穂の 1/3 ~ 2/3 の小穂又は粒が発病しているもの, C: 穂の 1/3 未満の小穂又は粒が発病しているもの, D: 発病なし]。調査は 2 反復とした。

出穂および開花推移調査 試験区は、1 区あたり約 1.5 m² (1.9 m × 0.8 m) とし、1 区あたり 5 株 (1 株あたり穂数約 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、開花小穂率 (1 穂当たりの開花小穂の割合) と開花穂率 (開花小穂が見られた穂の割合) 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、コムギの各生育ステージ、特に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、以下の通り定義した。すなわち、出穂率 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 (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」から「開花終期」までの期間を「開花期間」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と見なした。

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および DON 蓄積の関係を詳細に調査するため、接種試験を 2005 年から 2007 年までの 3 か年行った。試験区の構成は、1 区あたり約 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、前述の DON 産生型赤かび病菌 DON 5 株 (MAFF240559) (中島・吉田, 2007; Suga *et al.* 2008) を用いた。供試菌株をマングビーン液体培地 (Dill-Macky, 2003 を一部改変, 組成: マングビーン 20.0 g を蒸留水 1000 ml で煮沸した上清を 1000 ml にメスアップし, yeast extract 1 g を添加, その後オートクレーブ殺菌) で 25°C, 5 日間振とう培養し, 分生胞子を形成させた後, 培養液をガーゼで濾過し, 胞子濃度が 2×10⁵/ml となるよう調整した。希釈液には展着剤として 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 (出穂期の 12 ~ 17 日前) から開花期の 30 日後までの間で数日おきに 10a あたり 100 リットル換算で噴霧接種した。発病度調査は以下の通り行った。すなわち, 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, DON 濃度の分析は以下の手順で行った。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, 脱穀機にかけ, 風選機で夾雑物やしいな等を除いた。また, 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。得られた子実を良く混合した後, 穀粒均分器 (不二金属工業株式会社製) で 1 試料あたり 100 g に調整し, 粉碎器 (ラボミルサー, LM-2, 大阪ケミカル株式会社製) で粉碎した。その後, Neogen 社製の ELISA キット (Veratox5/5, 最低検出濃度 0.1 ppm (w/v)) を用い, マニュアルに従って ELISA 反応を行った。発色の測定は, Neogen 社製のマイクロプレートリーダー (Awareness Miclowell reader, Cat, No. 9302) を用い, 650 nm で吸光度を測定した。

なお, 本試験結果の統計解析には, コンピューターソフト JMP6 (SAS Institute Japan 株式会社製) を中心に用いた。多

重比較検定には, Tuley-Kramer の HSD 検定を用いたが, 発病度の多重比較検定については, Kruskal-Wallis 検定の後に Bonferroni 法 (<http://chiryo.phar.nagoya-cu.ac.jp/javastat/Bonferro-j.htm>) を用いて行った。

結 果

各試験年の赤かび病発生状況

3 か年の赤かび病の発生程度を第 1 図に示した。各年次の両品種の発病度は, 2005 年では SK が 5.5, YT が 8.0 で少～中程度の発生であったのに対し, 2006 年は SK が 12.0, YT が 21.0 の発病度を示し, 両品種ともに多発生であった。また, 2007 年は SK で 4.0, YT で 6.0 と少発生であり, 本病の発病度は年により変動した。また, 3 か年を通して YT の発病度が SK よりも高かった。

出穂および開花推移調査

各年度の出穂率, 開花小穂率の推移をそれぞれ第 2 図およ

第 1 図 コムギ 2 品種における赤かび病の発生程度
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
赤かび病罹病トウモロコシを出穂期約 20 日前に散布したものを伝染源として供試

第 2 図 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

第1表 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

第3図 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

第2表 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	6.3a
YT	9	7	5	7.0a

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

び第3図に, 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第1表に示した. 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, YTの出穂期と開花期は, 3か年ともSKに比べ1~3日遅れたが, 開花期間(開花始期から開花終期)の長さには品種間で有意差が認められなかった(第2表, Studentのt検定, $p=0.05$). なお, 開花期間中の開花小穂率(x)と開花穂率(y)との間には, 両品種とも高い相関(SK: $y=22.792\ln(x)-4.1541$),

第4図 a コムギ品種‘シラネコムギ’における開花小穂率と開花穂率との関係 b コムギ品種‘ゆきちから’における開花小穂率と開花穂率との関係

4.1541, $R^2=0.9642$, YT: $y=20.284\ln(x)+7.065$, $R^2=0.9171$)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(第4図a, b).

生育ステージごとに接種したコムギ穂の発病程度および DON 濃度

コムギ両品種の生育ステージごと（出穂始期，出穂期，開花始期，開花期，開花終期，開花期 20 日後および開花期 30 日後）に接種した場合の発病度および DON 濃度を第 3 表に示した。2006 年および 2007 年の YT の DON 濃度には，接種時期間の有意な差は認められなかったものの，2005 年の 2 品種，2006 年と 2007 年の SK では，発病度，DON 濃度ともに開花始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，YT の発病度は SK に比べて，一部（2005 年の出穂期と開花始期，2006 年の開花始期および 2007 年の開花終期）を除き多くの生育ステージで高かった（第 3 表，Tukey-Kramer の HSD 検定， $p=0.05$ ）。

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（第 5 図）。その結果，両品種とも，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。2005 年は，発病度，DON 濃度ともに SK では開花期 2 日前（-2），YT では開花期に高く，2006 年では，発病度は SK および YT ともに開花期 1 日前（-1），DON 濃度は SK で開花期（±0），YT では開花期 1 日前（-1）に高かった。さらに，2007 年は発病度，DON 濃度ともに SK で開花期（±0），YT で開花期 1 日前（-1）の接種で最大となった。これらの各最大値を，発

病度については Kruskal-Wallis 検定の後に Bonferroni 法（<http://chiryo.phar.nagoya-cu.ac.jp/javastat/Bonferro-j.htm>， $p=0.05$ ）で，DON 濃度については Tukey-Kramer の HSD 検定（ $p=0.05$ ）で比較した結果，YT の発病度，DON 濃度はいずれも SK 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 YT が SK より高い傾向が認められた。この傾向は，本病の発生が多かった 2006 年で顕著であった（第 5 図）。

考 察

コムギの品種特性に合わせ，効果的かつ効率的な赤かび病の発病抑制およびマイコトキシン低減技術を確立するためには，品種毎に，赤かび病菌の感染時期とコムギの発病，そしてマイコトキシン蓄積の両面から明らかにしていく必要があるが，それらを詳細に解析した報告は少ない。そこで，宮城県的主要な栽培品種で，赤かび病抵抗性の異なる 2 品種（抵抗性「中」品種「シラネコムギ」：SK，抵抗性「やや弱」品種「ゆきちから」：YT）を用い，出穂始期以降の感染時期と赤かび病発病程度および DON 蓄積の関係を 3 年間調査した。

コムギ品種の赤かび病抵抗性には免疫的な抵抗性はなく

第 3 表 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	0.93b ^{c)}	7.20a	7.77a	3.33b	NT ^{e)}
		YT	NT	0.90b	5.20b	32.63a	4.07b	NT
	2006	SK	2.13c	3.33bc	6.33b	14.70a	2.83bc	NT
		YT	2.67b	5.13b	2.70b	22.53a	4.37b	NT
	2007	SK	0.73d	0.67d	3.20c	13.47a	5.83b	0.33d
		YT	2.87c	4.27c	28.23a	15.47b	4.07c	1.53c
DON 濃度 ^{d)}	2005	SK	NT	0.27ab	0.97ab	1.29a	0.99ab	0.28ab
		YT	NT	0.99cd	1.89bc	4.48a	2.00b	0.79d
	2006	SK	1.25b	1.57b	1.61b	4.29a	1.14b	1.05b
		YT	2.40a	2.95a	1.54a	4.74a	2.91a	2.02a
	2007	SK	0.16b	0.31b	0.73b	2.25a	0.67b	0.25b
		YT	0.78a	0.98a	0.88a	2.75a	1.53a	0.71a

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

第 5 図 コムギ 2 品種の発病度および DON 濃度の推移

左図：発病度，右図：DON 濃度

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

(河田, 2002; 堀, 1985), 「量的形質」として発現し (坂, 2002), 感染時の環境条件により発現程度も異なることが明らかとなっている (Ban and Suenaga, 2000). 試験を行った 3 か年でも, 両品種とも最終的な発病程度は年次により異なり, 2005 年は少から中程度, 2006 年は多発生, 2007 年は少発生であった. この原因としては, 2005 年は開花期前後に降雨があったものの, その後は晴天が続いたこと, 2006 年は開花期以降成熟期まで降雨日数が多くかつ日照が不足したこと, 2007 年は生育期間をとらして晴天が続き感染に不適な気象条件で経過したことなどが一つの大きな要因と考えられる. しかし, 2 品種間では, いずれの年も YT が SK に比べて明らかに発病度が高かった. これらのことは, 本病発生程度は気象など

の環境条件により変動すること, また, 従来からいわれている両品種の赤かび病に対する抵抗性程度が今回の試験によっても再現されたことを示唆するものである.

赤かび病に対するコムギの感受性が開花期に最も高まることについては, これまで多くの報告例がある (Atanasoff, 1920; 西門, 1958; Parry *et al.*, 1995; Pugh *et al.*, 1933; Sutton, 1982). しかし, これらの報告での開花期の定義付けは必ずしも明確でなく, 開花程度を示す開花小穂率の推移と発病の関係についての詳細な調査はなされていない. そこで, 本論文では, 圃場試験において, 生育ステージを出穂率および開花小穂率で定義し, その定義に基づき感染時期と発病程度および DON の蓄積の関係を同時に評価した. すなわち, 開花小

穂率が 40～50%に到達した時期を開花期と定義し、開花期を起点としたコムギ生育ステージ別の赤かび病に対する感染と発病程度および DON の蓄積との関係を 3 年間調査した。出穂始期から開花期後 30 日までの期間に経時的に赤かび病菌を噴霧接種し、穂の発病程度および DON 濃度を調べた結果、ほとんどの接種時期で YT の発病度および DON 濃度が SK のそれを上回った。両品種の開花期間の長さに有意な差は認められなかったことから、2 品種間の発病度および DON 蓄積の差は、開花期間の長短ではなく、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。また、接種日単位で発病度および DON 濃度の推移を調べた結果では、両品種ともに開花期の 3 日前から開花期当日までの接種で発病度が最大となった。よって、本病に対する感受性が高まる期間は 2 品種で差がなく、ともに前述の期間であると考えられた。また、DON の蓄積についても、この期間の感染により最も高まることが明らかとなった。一方、罹病トウモロコシ粒を散布した試験では、2006 年の赤かび病発生程度が最も高かったことは前述したが、噴霧接種を行った本試験では、SK では同様の傾向であったものの、YT では必ずしも同様の傾向は認められなかった。すなわち、YT では、2006 年よりは比較的不適な気象条件で推移したと考えられる 2005 年および 2007 年についても、高い発病度および DON 濃度を示した。このことから、噴霧接種のような強制的な接種を行った場合、本病感受性の高い YT では、SK に比べて気象等の環境要因が発生程度に及ぼす影響は低く、常に高い発病度を示すものと考えられた。

赤かび病の防除体系においては、第 1 回目の防除を適期に行うことが最も重要であり、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有効である。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、開花小穂率に変わる指標として、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、開花小穂率 (y) と開花穂率 (y) の間にはそれぞれの品種で高い相関 ($SK: y = 22.792\ln(x) - 4.1541, R^2 = 0.9642$, $YT: y = 20.284\ln(x) + 7.065, R^2 = 0.9171$) が認められた。さらに、両品種ともに開花期 (開花小穂率 40～50%) に相当する開花穂率は約 80%であることが明らかとなった。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思われる。

経時的な接種による発病程度と DON 蓄積は、これら感受性の高い期間 (開花期 3 日前から開花期当日) 以外の時期の接種でも両品種で確認された。Del Ponte *et al.* (2007) も、ポット試験において、生育後期の赤かび病感染による発病が認められ、かつその程度と DON 汚染程度が一致しない事例を報

告しているが、圃場での検討はなされていない。また、吉田ら (2005) は、抵抗性の異なるコムギ 5 品種を用いて、圃場試験により、赤かび病の感染時期とマイコトキシン蓄積量の関係には品種間差があることを示唆しているが、必ずしも詳細な検討はなされていない。今回の圃場試験の結果、感受性の高い期間以外の接種で、両品種の発病度が同程度であったにもかかわらず、DON 蓄積量は YT で SK よりも明らかに高い事例が確認されたことは注目に値する。加えて、SK では、開花 3 日前から開花期までの期間と他の期間の接種で DON 濃度に有意な差が認められたのに対し、YT では、全接種期間で DON 濃度に有意な差は認められない事例が確認され、全期間を通して SK より DON 濃度が高く推移した。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 (SK) と出穂後の全期間の感染が影響を及ぼす品種 (YT) が存在する可能性がある。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。

以上の結果により、今回供試した両品種における発病抑制および DON 蓄積の低減のためには、開花 3 日前から開花期までの防除が最も重要であり、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。加えて、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上で、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。

謝 辞

本研究を行うにあたり、宮城県古川農業試験場水田利用部 滝澤浩幸主任研究員および神崎正明研究員には、コムギ栽培全般について御指導を賜った。ここにお礼を申し上げる。

摘 要

赤かび病の感染がコムギの開花と関連していることは知られているが、これまで圃場レベルでコムギの開花小穂率 (1 穂あたりの開花小穂の割合) を基に開花期を定義し、穂の感染時期と発病およびマイコトキシン蓄積量の関係をあわせて解析した報告はない。本論文では、開花小穂率が 40～50%に到達した時期を開花期と定義し、宮城県の主要コムギ 2 品種 (赤かび病抵抗性「中」の品種シラネコムギと「やや弱」の品種ゆきちから) の穂の感染時期と発病程度およびマイコトキシン蓄積量の関係を 3 年間にわたり解析した。すなわち、圃場での出穂と開花時期の実態を調査するとともに、出穂始期から開花後 30 日にかけて両品種の穂に赤かび病菌を経時的に噴霧接種し、感染時期と発病程度およびデオキシ

ニバレノール (DON) 蓄積量の関係を調べた。その結果、接種時期別による発病程度および DON 濃度は、年次に関係なく両品種ともに開花期3日前から開花期当日の間の接種で最も高く、品種間で比較した場合には、ゆきちからがシラネコムギより有意に高かった。一方、開花3日前以前および開花期以降に接種した場合では、発病度は両品種間で有意な差は認められなかったが、DON濃度では品種ゆきちからで高かった。すなわち、赤かび病菌が感染する時期によっては、発病程度と DON 汚染程度が必ずしも一致しないことが示唆された。このことから、より適切な本病の防除対策を講じるためには、品種ごとに開花特性を明らかにした上で、穂への感染時期と発病程度および DON 蓄積量との関係を把握する必要があると考えられた。また、開花穂率 (開花小穂が見られた穂の割合) が防除指導のための基準となる開花期を推定する指標として有効であるかを検討するため、開花小穂率と開花穂率の関係を調べた。その結果、両品種ともに開花期間の開花小穂率 (x) と開花穂率 (y) との間には高い相関 (品種シラネコムギ: $y=22.792\ln(x)-4.1541$, $R^2=0.9642$, 品種ゆきちから: $y=20.284\ln(x)+7.065$, $R^2=0.9171$) が認められた。このことから、これら2品種の薬剤防除適期の把握には開花穂率を指標として活用しうることが考えられた。

引用文献

- Atanasoff, D. (1920). *Fusarium*-blight (scab) of wheat and other cereals. J. Agric. Res. 20: 1-40.
- Ban, T. and Suenaga, K. (2000). Genetic analysis of resistance to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium graminearum* in Chinese wheat cultivar Sumai 3 and Japanese cultivar Saikai 165. Euphytica 113: 87-99.
- 坂 智広 (2002). ムギ類赤かび病の生理・生態およびコムギの抵抗性. 植物防疫 56: 58-63.
- Codex alimentarius commission (2002). Discussion paper on deoxynivalenol. [Agenda Item 16(g), CX/FAC 02/29.] Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 34th Session (Rotterdam, 11-15 March 2002). [ftp://ftp.fao.org/codex/ccfac34/fa02_29e.pdf](http://ftp.fao.org/codex/ccfac34/fa02_29e.pdf)
- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C. and Bergstrom, G.C (2007). Influence of Growth Stage on *Fusarium* Head Blight and Deoxynivalenol Production in Wheat. J. Phytopathology 155: 577-581.
- Dill-Macky, R. (2003). Inoculation methods and evaluation of *Fusarium* Head Blight resistance in Wheat. *Fusarium* Head Blight of Wheat and Barley (Kurt J.L. and William R.B., eds.) pp. 205, APS PRESS, Minnesota.
- 堀 真雄 (1985). コムギおよびオオムギ赤かび病の発生生態と防除法. 農業および園芸 60: 431-436.
- 井上義孝・長江春季 (1961). コムギ赤かび病に対する薬剤防除適期と散布回数について. 日植病報 26: 81 (講要).
- 河田尚之 (2002). 赤かび病抵抗性検定及び育種の展開方向—赤かび病抵抗性の遺伝・育種—. 冬作物研究 2: 47-54.
- McMullen, M., Jones, R. and Gallenberg, D. (1997). Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. Plant Dis. 81: 1340-1348.
- Mesterhazy, A. (2003). Control of *Fusarium* head blight of wheat by fungicides. *Fusarium* Head Blight of Wheat and Barley (Kurt J.L. and William R.B., eds.) pp. 363-380, APS PRESS, Minnesota.
- 中島 隆・吉田めぐみ (2007). 西日本におけるムギ類赤かび病菌 *Fusarium graminearum* 種複合体のかび毒産生能と病原性. 日植病報 73: 106-111.
- 農林水産省生産局植物防疫課 (2001). 病害虫発生予察事業の実施について—発生予察事業の調査実施基準—. pp. 94-96, 農林水産省, 東京.
- 西門義一 (1958). コムギのアカカビ病防除に関する研究. 農業改良技術資料 97: 1-162.
- O'Donnell, K., Kistler, H., Tacke, B. and Casper, H. (2000). Gene genealogies reveal global Phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. Proc Natl Acad Sci USA 97: 7905-7910.
- O'Donnell, K., Ward, T., Geiser, D., Kistler, H. and Aoki, T. (2004). Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade. Fungal Genet Biol 41: 600-623.
- Parry, D. W., Jenkinson, P. and McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small-grain cereals: a review. Plant Pathol. 44: 207-238.
- Paul, P. A., Lipps, P. E., Hershman, D. E., McMullen, M. P., Draper, M. A. and Madden, L. V. (2007). A quantitative review of tebuconazole effect on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in wheat. Phytopathology 97: 211-220.
- Placinta, C. M., D'Mello, J. B. F. and Macdonald, A. M. C. (1999). A review of world contamination of cereal grains and animal feeds with *Fusarium* mycotoxins. Anim. Feed Sci. Technol. 78: 21-37.
- Pugh, G. W., Johann, H. and Dickson, J. G. (1933). Factors affecting infection of wheat heads by *Gibberella saubinetii*. J. Agric. Res. 46: 771-797.
- Suga, H., Karugia, G.W., Ward, T., Gale, L. R., Tomimura, K., Nakajima, T., Miyasaka, A., Kageyama, K. and Hyakumachi, M. (2008). Molecular characterization of the *Fusarium graminearum* species complex in Japan. Phytopathology 98: 159-166.
- Sutton, J. C. (1982). Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. Can. J. Plant Pathol. 4: 195-209.
- Tanaka, T., Hasegawa, A., Yamamoto, S., Lee, U. S., Sugiura, Y., and Ueno, Y. (1988). Worldwide contamination of cereals by the *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, and zearalenone. 1. Survey of 19 countries. J. Agric. Food Chem. 36: 979-983.
- Tanaka, T. and Sugiura, Y. (2003). Levels and pattern of contamination with trichothecenes in cereal grains and their risk assessment. Mycotoxins 53: 119-121.
- 上田 進 (1964). 麦赤かび病に対する薬剤散布の適期. 農業および園芸 39: 1137-1138.

Ward, T., Bielawski, J., Kistler, H., Sullivan, E. and O'Donnell K. (2002). Ancestral polymorphism and adaptive evolution in the trichothecene mycotoxin gene cluster of phytopathogenic *Fusarium*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 9278-9283.

吉田めぐみ・中島 隆・荒井治喜・富村健太 (2005). コムギ赤

かび病の感染時期別マイコトキシン蓄積様式. *日植病報* 71: 24 (講要).

Zadoks, J., Chang, T. and Konzak, C. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res* 14: 415-421.