

コムギ赤かび病の感染時期が収量と子実中の DON の濃度に及ぼす影響

金子 誠・尾賀邦雄・北澤 健

Effects of Fusarium Head Blight Infection Time on Wheat Yield and Deoxynivalenol Concentration in Grains

Makoto KANEKO, Kunio OGA and Takeshi KITAZAWA

キーワード：コムギ赤かび病，一穂粒重，感染時期，デオキシニバレノール (DON)

2002年よりコムギ赤かび病に起因するマイコトキシンであるデオキシニバレノール (DON) の暫定基準値が1.1 ppmに設定され，DON 汚染の軽減に向けた赤かび病防除対策が求められている．そのため，本県主要作付品種である「ふくさやか」と「農林61号」において，赤かび病菌の感染時期の違いが子実中の DON の濃度 (DON 濃度) と一穂あたりの子実粒重 (一穂粒重) に及ぼす影響について検討した．

- 1) 立毛中において，「ふくさやか」および「農林61号」ともに，出穂期～出穂25日後の赤かび病菌の接種により病徴が認められた．
- 2) DON の産生 (>0.2ppm) は，「農林61号」では出穂期～出穂40日後，「ふくさやか」では出穂期～出穂35日後の赤かび病菌の接種で認められた．このことから，出穂期から立毛中の発病が確認されない登熟中期まで，赤かび病菌の感染により，DON 汚染が起こる可能性がある．
- 3) DON 濃度は，「農林61号」よりも「ふくさやか」において高く，「農林61号」は開花期間の前半に，「ふくさやか」では開花期間の後半に感染すると濃度が高まる傾向が認められた．
- 4) 一穂粒重は，開花期間中の赤かび病菌の感染で減少した．

1. 緒 言

ムギ類赤かび病の発生生態とその防除については，これまで多数の研究が行われている^{3, 8, 10, 11)}．これらの結果から，本病の防除には，開花期の予防的な薬剤散布が有効であるとされている．また，本病が起因して麦粒中に産出され，人畜に対して中毒症状を引き起こすマイコトキシンについて，1976年に芳澤らによって特定され，後にデオキシニバレノール (DON) と命名された¹⁵⁾．1950年代前半には赤かび病汚染麦による健康被害が報告されているが⁷⁾，1955年以降は日本国内での健康被害の報告はない．現在では，このマイコトキシンは直ちに人間の健康に影響があるわけではないとされているが，近年，このマイコトキシンを含めた汚染物質について，FAO /

WHO 合同食品添加物専門家委員会 (JECFA) や CCFA C (コーデックス食品添加物・汚染物質部会) で国際的な基準値設定に向けた検討が進められている．日本においても，2002年に厚生労働省より，DON のコムギでの暫定基準値が1.1ppmと設定され，DON に汚染されたムギが流通出来ないようになった．さらに農産物規格規程において，被害粒のうち，赤かび粒の混入基準が1.0%から0.0%に引き下げられた．

本県のコムギ生産においても，赤かび病は最も重要な病害であり，適切な防除対策が行われているにもかかわらず，栽培ほ場において，毎年発病が認められる．加えて，外見上健全な麦粒でもかび毒で汚染されているとの報告もある⁵⁾．このため，赤かび病の防除対策については，発病抑制のみならず DON による汚染程度についても明らかにし，DON 汚染の

軽減に向けた防除技術の確立が必要と考える。本報では、赤かび病菌の感染時期の違いによる子実中のDONの濃度(以下、DON濃度とする)と、収量への影響として一穂あたりの子実粒重(以下、一穂粒重とする)の変動について検討したので報告する。

2. 材料および方法

2.1 試験区と耕種概況

試験は2005年～2007年の3か年実施した。供試品種は「ふくさやか」(2005年, 2006年, 2007年)と「農林61号」(2006年, 2007年)の2品種とした。感染時期の違いによるDON濃度と一穂粒重の違いを検討するため、表1に示すとおり、赤かび病菌の接種時期の異なる13の試験区(無処理を含む)を設けた。試験には、硬質ポリ鉢(直径15cm×高さ13cm)を用いて、1鉢につき1株で栽培したコムギを用いた。1鉢あたりの穂数は、出穂直前に4～5本程度に調製し(写真)、1試験区あたり10鉢を供試した。降雨による影響を排除するため、穂ばらみ期以降は、底面給水で栽培し、雨水が穂にかからないように管理した。肥培管理は本県麦作栽培基準に準じたが、実肥は施用しなかった。

2.2 赤かび病菌接種方法

赤かび病菌の接種は各区1回とした。接種時期は表1のとおりであり、出穂期前より5日間隔で順次、孢子懸濁液を接種した。使用菌株は、DON産生標準菌である *Fusarium graminearum* (菌株名: H-3, 九州沖縄農研センターより分譲)を用い、1鉢あたり10mlの孢子懸濁液(1×10⁵個/ml)を、止葉から穂にかけて噴霧接種した。赤かび病の発病を促進する



写真 供試した硬質ポリ鉢

表1 試験区の構成と立毛中での発病の有無

接種時期 ^{注1)}	生育ステージ			立毛中での ^{注3)} 発病の有無
	出穂期	開花期	成熟期	
出穂-5日	...		← 登熟期間 →	-
出穂期	...			+
出穂+5日		...		+
出穂+10日		...		+
出穂+15日		...		+
出穂+20日		...		+
出穂+25日			...	+
出穂+30日			...	-
出穂+35日			...	-
出穂+40日			...	-
出穂+45日			...	-
出穂+50日			...	-
無処理				-

注1) “出穂-日”は出穂日前, “出穂+日”は出穂日後を示す。

注2) は接種日, 以降の点線は頭上灌水の期間を示す。

注3) “-”は発病無し, “+”は発病有りを示す。

表2 各品種の年度別出穂・開花・成熟期

年度	ふくさやか			農林61号		
	出穂期	開花期	成熟期	出穂期	開花期	成熟期
2005年	4月18日	4月26日	6月10日	-	-	-
2006年	4月27日	5月5日	6月10日	5月1日	5月7日	6月15日
2007年	4月13日	4月26日	6月10日	4月17日	4月30日	6月12日

ため、接種直後から48時間、チャック付きビニル袋（20×14cm）で穂を被覆し、ビニル袋除去後1日2回、1週間頭上灌水を行った。なお、対照として、無接種・無灌水（底面給水のみ）の無処理区を設けた。

2.3 調査方法

2.3.1 立毛中での発病の確認

試験区の全穂について、黄熟期（開花約35日後）に赤かび病の発病の有無を確認した。黄熟期以降に接種した区は、頭上灌水処理の終了後に行った。

2.3.2 赤かび粒率

成熟期以降に、各区全穂を収穫、乾燥後、脱穀し、2.0mmの篩で調製した。2.0mm以下の麦粒は調査対象から除外した。調製後の全粒について、健全粒数および赤かび粒数を調査し、赤かび粒率を算出した。赤かび粒は、中島らの基準⁵⁾に従い「脱色して白くなるか、表面にしわがある粒」とした。なお、農産物規格規程で定義している、被害粒のうちの赤かび粒（赤かび病等に侵されて赤色を帯びた粒）と、本試験での赤かび粒とは一致しない。

2.3.3 一穂粒重

赤かび粒率の調査後、健全粒と赤かび粒の各々の重量と水分を測定し、穀粒水分12.5%で換算し、それらを収穫時に調査した穂数で割ることで、一穂粒重を算出した。

2.3.4 DON 濃度

一穂粒重の調査後、全粒を粉碎し、市販のDON検査キット（NEOGEN社製 Veratox[®] For DON 5 / 5）によりDON濃度を求めた。なお、このキットのDON濃度検出感度は0.2~2.5ppmであるため、2.5ppm以上のサンプルについては、一定倍率で希釈した後に分析し、DON濃度を算出した。

3. 結果

3.1 生育概況と赤かび病発病状況

供試品種の年度別の出穂期、開花期、成熟期は表

表3 接種時期の違いによる一穂粒数、赤かび粒率、一穂粒重およびDONの濃度(品種:ふくさやか)

年度	区名	一穂粒数	赤かび粒率(%)	一穂粒重(g)	DON(ppm)
2005	出穂-5日	456	0.0	1.42	<0.2
	出穂期	494	0.8	1.73	1.3
	出穂+5日	420	2.9	1.46	2.7
	出穂+10日	137	7.0	0.52	16.5
	出穂+15日	-	-	-	-
	出穂+20日	312	21.0	0.99	34.1
	出穂+25日	402	18.8	1.22	21.3
	出穂+30日	465	8.1	1.42	11.9
	出穂+35日	-	-	-	-
	出穂+40日	468	0.0	1.61	<0.2
	出穂+45日	442	0.0	1.45	<0.2
	出穂+55日	462	0.0	1.54	<0.2
	無処理	453	0.0	1.48	<0.2
	2006	出穂-5日	401	0.0	1.52
出穂期		444	0.4	1.53	1.3
出穂+5日		387	1.7	1.40	1.8
出穂+10日		350	3.2	1.27	7.1
出穂+15日		323	18.2	1.00	24.2
出穂+20日		356	5.7	1.17	10.4
出穂+25日		425	0.6	1.36	1.2
出穂+30日		419	0.2	1.40	1.4
出穂+35日		444	0.0	1.48	1.3
出穂+40日		414	0.0	1.41	<0.2
出穂+45日		403	0.0	1.40	<0.2
出穂+55日		-	-	-	-
無処理		463	0.0	1.60	<0.2
2007		出穂-5日	-	-	-
	出穂期	386	0.0	1.13	<0.2
	出穂+5日	342	16.1	1.00	23.5
	出穂+10日	244	25.7	0.69	29.3
	出穂+15日	150	15.8	0.45	24.2
	出穂+20日	159	45.7	0.35	80.3
	出穂+25日	409	4.8	0.97	14.1
	出穂+30日	388	0.3	0.96	12.6
	出穂+35日	404	0.0	1.02	2.8
	出穂+40日	-	-	-	-
	出穂+45日	372	0.0	0.97	0.7
	出穂+55日	404	0.0	1.10	<0.2
	無処理	379	0.0	1.10	<0.2

注)表中の“-”は、未調査または欠測値を示す。

表4 接種時期の違いによる一穂粒数、赤かび粒率、一穂粒重およびDONの濃度(品種:農林61号)

年度	区名	一穂粒数	赤かび粒率(%)	一穂粒重(g)	DON(ppm)
2006	出穂-5日	35.6	0.0	1.44	<0.2
	出穂期	30.6	0.1	1.26	0.9
	出穂+5日	23.2	9.3	1.01	13.3
	出穂+10日	15.8	7.7	0.66	15.9
	出穂+15日	19.1	5.1	0.78	9.5
	出穂+20日	26.2	3.3	1.04	5.2
	出穂+25日	30.7	3.4	1.19	5.0
	出穂+30日	31.6	0.0	1.17	1.2
	出穂+35日	32.8	0.0	1.29	0.7
	出穂+40日	32.8	0.0	1.31	<0.2
	出穂+45日	34.9	0.0	1.37	<0.2
	出穂+50日	-	-	-	-
	無処理	35.7	0.0	1.44	<0.2
	2007	出穂-5日	-	-	-
出穂期		30.9	0.0	1.19	<0.2
出穂+5日		33.6	0.5	1.32	1.1
出穂+10日		14.4	3.6	0.56	10.0
出穂+15日		23.0	8.7	0.78	12.1
出穂+20日		34.3	2.3	1.17	3.3
出穂+25日		32.1	0.2	1.09	4.8
出穂+30日		30.9	0.2	1.11	1.9
出穂+35日		-	-	-	-
出穂+40日		33.3	0.0	1.22	1.2
出穂+45日		-	-	-	-
出穂+50日		35.0	0.0	1.21	<0.2
無処理		33.2	0.0	1.26	<0.2

注)表中の“-”は、未調査または欠測値を示す。

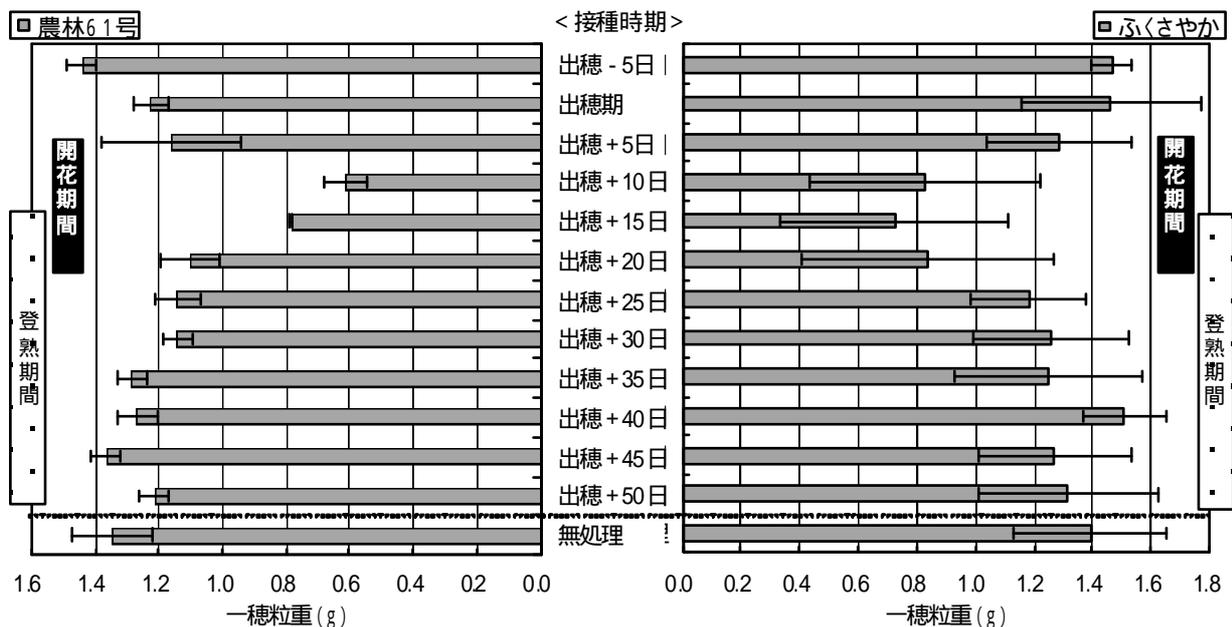


図1 接種時期の違いが一穂粒重へ及ぼす影響

注)ふくさやかは3年間(2005~2007年),農林61号は2年間(2006~2007年)の平均値
 注)バーは標準偏差を示す

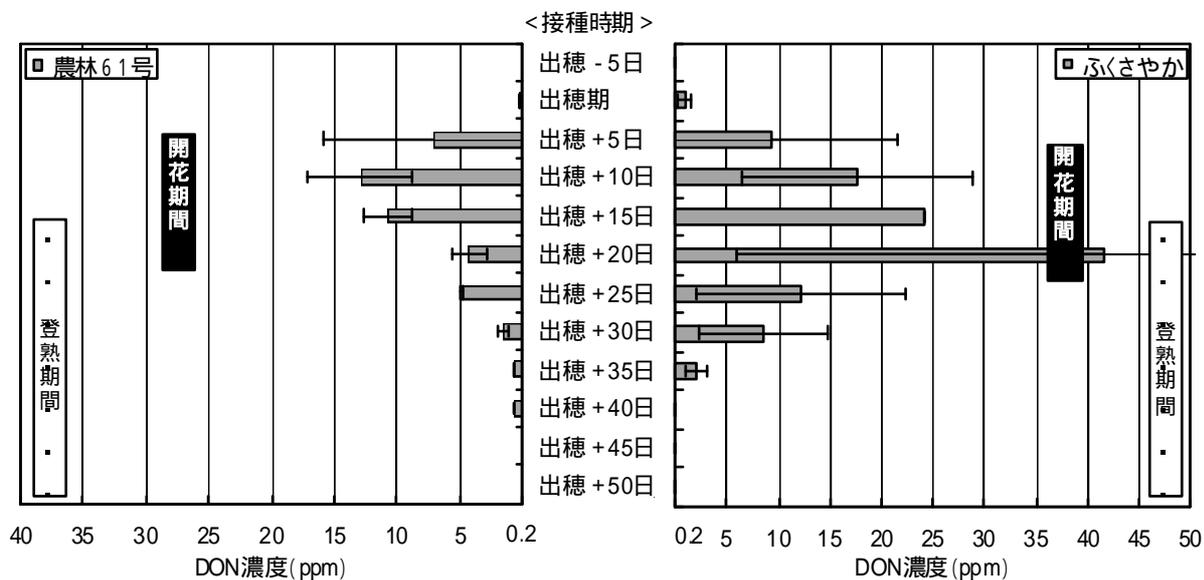


図2 接種時期の違いがDON濃度へ及ぼす影響

注)ふくさやかは3年間(2005~2007年),農林61号は2年間(2006~2007年)の平均値
 注)バーは標準偏差を示す

2のとおりであった。赤かび病の発病は、両品種とも、接種時期が出穂期から出穂+25日までの区で発病が確認できた。出穂前または出穂+30日以降の区では、発病が認められなかった(表1)。

3.2 赤かび粒率

赤かび粒は、両品種とも出穂期から出穂+30日までの区で確認できた。「ふくさやか」の赤かび粒率は、出穂+15日から出穂+20日の区で最も高くなり、「農林61号」は出穂+5日から出穂+15日の区で最も高くなった(表3, 4)。「農林61号」の赤かび粒率のピーク時期が「ふくさやか」よりも早い時期に現れる傾向は2006年、2007年ともに認められた。

3.3 一穂粒重

年度間での変動は認められるが、3年間(「農林61号」については2年間)の各接種時期毎の平均値を図1に示した。「ふくさやか」は出穂+10日から出穂+20日の区で大きく減少し、「農林61号」では出穂+10日から出穂+15日の区で大きく減少した。供試品種間で大きな差はなく、両品種とも開花期間中に接種した場合大きく減少した。なお、一穂あたりの粒数も一穂粒重と同様の傾向を示した(表3, 4)。

3.4 DON濃度

DONの産生は、「ふくさやか」は出穂期から出穂+40日の区で、「農林61号」は出穂期から出穂+40日の区で認められた。濃度のピークは、赤かび粒率のピークと同様の傾向を示した(表3, 4)。一穂粒重と同様に、DON濃度についても、3年間(「農林61号」については2年間)の結果を平均化し、図2とした。「ふくさやか」は出穂+15日から出穂+20日の区でDON濃度は最も高く、「農林61号」では出穂+10日から出穂+15日の区で最も高くなり、DON濃度の高くなる接種時期は、供試品種間で差が見られた。

4. 考 察

本試験では、赤かび病菌の感染時期の違いがコムギの一穂粒重とDON濃度へ及ぼす影響を調査した。

赤かび病菌の感染時期と収量への影響について、

小泉らは、開花盛期に接種を行い、発病顕花率78%で約70%減収し、品質への悪影響が見られたとしている³⁾。また、吉田らは、赤かび病が多発生した現地での調査結果より、収量を構成する要素で負の影響を受けたものとして、一穂粒重、一穂粒数、千粒重をあげている¹⁴⁾。本試験でも両品種ともに、開花期の感染によって一穂粒数と一穂粒重の減少が認められ、無処理区に比べ50%から60%の粒重が減少し大きく減収に繋がると考えられた。

DONの産生は、出穂期から登熟中期(出穂35日から40日後)までの赤かび病菌の感染によって起こる可能性があり、特に開花期に感染するとDON濃度が著しく高まる傾向が認められた。これは、赤かび病の発病抑制のみならず、DON濃度の軽減のためにも、開花期の防除が重要であることを示す。

今回の赤かび粒の調査では、登熟中期の赤かび病菌の感染により、赤かび粒が認められなくても、DONが産生されていることを確認できた。また、農産物規格規程で定義されている赤かび粒は、本試験での調査では認められなかった。このことから、農産物規格規程で定義されている赤かび粒や、本試験で使用した中島らの基準⁵⁾による赤かび粒を除去したとしても、DON汚染を完全に防ぐことができないと考えられた。

今回供試した2品種間において、次のような傾向が見られた。一穂粒重の減少は、「農林61号」では出穂+10日と出穂+15日の区で大きく、「ふくさやか」では出穂+10日から出穂+20日の区で大きい。DON濃度のピークは、「農林61号」では出穂+10日から出穂+15日の区に、「ふくさやか」では出穂+15日から出穂+20日の区に見られる。つまり、「農林61号」に比べて「ふくさやか」では、赤かび病菌による影響はやや遅く、長い間受けやすい傾向があると考えられた。この理由として、開花以降の穂の状態を観察すると、「ふくさやか」は「農林61号」と比較して、出穂後の葯と葯骸の残存が多く見られたことが考えられる。赤かび病の発病と葯の残存には一次伝染の主要因として高い相関があり⁹⁾未開花のものに接種しても発病せず、小穂に花粉の最も多く付着しているときに接種したものが最も発病率が高い²⁾とされており、供試した品種間に見られた葯や葯骸の形

態の差が、赤かび病の発病とそれに伴う一穂粒重の減少や DON 濃度にまで影響している可能性があると考えられた。

本試験で供試した接種用の菌株は、DON 産生菌である。しかしながら、赤かび病菌である *Fusarium* 属菌は複数のマイコトキシンを産出することが知られている。また、西日本における赤かび病菌は DON 産生タイプよりもニバレノール (NIV) 産生タイプが多いと報告されている⁶⁾。実際に、筆者らが滋賀県内で採取された赤かび病菌の毒素産生タイプを調査したところ、80%以上が NIV 産生タイプであった¹⁾。本試験では DON 産生菌を使用した。NIV 産生菌についても、今後検証が必要であると思われる。

本試験の結果から、DON 汚染軽減対策には開花期の防除が重要であると考えられた。これは、防除時期に関する他の報告^{3, 4, 8, 12, 13)}と同様であった。ムギ類は、出穂期から開花期、成熟期までの期間は栽培地域、品種、気象等で変動が大きいことから、防除を実施する際、生育状況を十分確認することが必要である。さらに開花期に防除することが効果的であることから、精度の高い開花期の予測法の確立とその検証が今後望まれる。また、本試験では、赤かび病菌の感染時期が、一穂粒重や DON 濃度へ与える影響に関して、品種間差がある可能性を示した。しかし、供試品種が2品種しかなく、薬や薬骸の形態の異なるより多くの品種について再度検討する必要があると思われる。

謝 辞

本試験の遂行に当たり、滋賀県農業技術振興センター環境研究部病害虫管理担当の職員の方々には終始ご協力を賜った。ムギの調製、粉碎、分析等で岡田智子氏、中川智枝氏、藤村美和氏にご協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

引用文献

1) 金子誠・尾賀邦雄・有元倫子・北澤健・須賀晴久, 2007. 滋賀県におけるムギ類赤かび病菌 (*Fusarium graminearum* 種複合体) の種と毒素タイプについて。

- 日植病報, 73: 176.
- 2) 木谷清美・井上好之利, 1957. 小麦赤黴病の第一次発生とその発病経過について, 四国農業試験場報告, 3: 125-135.
- 3) 小泉信三・加藤肇・吉野嶺一・駒田旦・一戸正勝・梅原吉広・林長生, 1993. ムギ類赤かび病の病原学的・疫学的研究. 農研センター研報, 23: 1-104.
- 4) 宮坂篤・小泉信三・吉田めぐみ・鈴木文彦・荒井治喜・中島隆, 2008. コムギ赤かび病に対する各種薬剤のデオキシニバレノール低減効果とニバレノール低減効果の相関分析, 日植病報, 74: 25-26.
- 5) 中島隆・草原典夫・坂田智子・吉田めぐみ, 2004. 西日本における赤かび病自然発生圃場のコムギ試料における粒厚・赤かび粒率およびマイコトキシン汚染度の関係, 九州病害虫研究会報, 50: 6-9.
- 6) 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力. 日植病報, 73: 106-111.
- 7) 中村豊・武田周平・小笠原和夫・唐島田隆・安藤和夫, 1952. 赤黴病被害小麦の食中毒に関する研究 (第1報) 赤黴病菌の發育要因に就いて. 北海道立衛生研究所報, 2: 35-45.
- 8) 西門義一, 1958. コムギのアカカビ病防除に関する研究, 農業技術改良資料, 97: 1-162.
- 9) 西門義一, 1965. ムギ赤かび病とその防除, 日植病報, 31: 207-212.
- 10) 斉藤初雄, 1984. ムギ類赤かび病の発生生態と防除. 植物防疫, 38(2): 58-63.
- 11) 須賀晴久, 2006. ムギ類赤かび病菌における近年の研究動向, 日植病報, 72: 121-134.
- 12) 上田進・芳澤宅實, 1988. ムギ出穂期におけるチオファネートメチル剤等の散布が赤かび病の発生ならびにマイコトキシン汚染に及ぼす影響について, 日植病報, 54(4): 476-482.
- 13) 上田進, 1995. ムギ類赤かび病の発生予察・防除ならびにマイコトキシン汚染防止に関する研究, 愛媛県農試研報, 33: 1-54.
- 14) 吉田美夫・福岡寿夫, 1964. 小麦作の災害に関する研究: IV. 長雨による1963年産小麦の筑後における被害様相, 日作紀, 22: 15-18.
- 15) Yoshizawa, T. and N. Morooka. 1973. De-

oxynivalenol and its monoacetate ; New trichothecene mycotoxins from moldy barley. Agri. Biol. Chem. 37. 2933-2934 .

Summary

In 2002, provisional guidelines for the content of deoxynivalenol (DON), a mycotoxin produced in Fusarium head blight (FHB), was established at 1.1 ppm. Since then, there has been demand for a control measure against the disease to reduce DON pollution. Against this background, we examined the effects of *Fusarium graminearum* infection time on DON concentration in grains and grain weight per head in Fukusayaka and Nohrin 61, main wheat cultivars in Shiga Prefecture.

- 1) In both Fukusayaka and Nohrin 61, pathologic signs of FHB were observed in stands after *F. graminearum* was inoculated at the time of heading to 25 days later.
- 2) DON production (>0.2 ppm) was observed after *F. graminearum* was inoculated at the time of heading to 40 days later for Nohrin 61, and at the time of heading to 35 days later for Fukusayaka. This suggests that DON pollution may occur as a result of *F. graminearum* infection at the time of heading to the middle period of grain filling, when the disease does not observed in stands.
- 3) The DON concentration was higher in Fukusayaka than in Nohrin 61, tending to increase when infection occurred in the first half of the blooming period for Nohrin 61, and in the last half for Fukusayaka.
- 4) Grain weight per head decreased because of *F. graminearum* infection during the blooming period.