



農研機構・九州沖縄
農業研究センター
川上 顕
共同研究者
久保 堅
中川博之
河田尚之
平八重一之

1991年 東北大学農学部農学科卒業
1993年 東北大学大学院農学研究科
修士課程修了
1993年 農林水産省北海道農業試験場
・研究員
2003年 農研機構・中央農業総合研究
センター・研究員
2011年 現職

小麦の国内普及品種および遺伝資源における赤かび病抵抗性とマスクドマイコトキシンの蓄積性の解析

はじめに

赤かび病
罹病小麦穂



健全粒



赤かび病罹病粒
(赤かび粒)

図1：小麦赤かび病の病徴と赤かび病罹病粒

小麦の赤かび病は、地球温暖化に伴い世界的に発生地域が拡大している重要な病害である。本病による被害は、*Fusarium* 属菌の子のう胞子が開花した小花に感染することによって起こり、穂で発病して子実の収量や品質を大きく低下させる（図1）。さらに、感染した赤かび病菌は、トリコテセン系マイコトキシンであるデオキシニバレノール（DON）等を

子実に蓄積し、人畜がそれを摂取することで嘔吐、下痢等の急性毒性、免疫低下等の症状を引き起こす。そのため、2002年に厚生労働省により小麦に含まれるDON濃度の暫定基準値が設定され、1.1ppmを超える小麦粒は市場に流通できなくなった。さらに、農林水産省によって2003年に改正された農産物検査規格規定により、赤かび病による罹病粒（赤かび粒；図1参照）混入率が0.0%を超える小麦粒も流通できなくなった。このように、小麦の流通には二重の規制がかけられており、生産現場において赤かび病の発生は大きな問題となっている。

赤かび病の発生は小麦の開花期から登熟期に降雨の多い地域で助長されることから、我が国では赤かび病発生リスクの高い地域が多い。そのため、赤かび病の発生を抑制し、マイコトキシンの蓄積を低減するための効率的な薬剤（農薬）散布方法等の開発が行われ、麦類の開花期及び開花10日から20日後の薬剤散布がマイコトキシンの低減に有効であることが明らかとなった（Yoshida et. al, 2012）。しかし、散布適期に降雨などにより薬剤散布ができない場合や開花期以降に降雨が多い場合には、薬剤の効果が低下する可能性がある。そのため、日本国内で普及している麦類品種の赤かび病抵抗性とマイコトキシンの蓄積性を明らかにするとともに、赤かび病抵抗性の強い品種の育成を目指して研究が進められている。

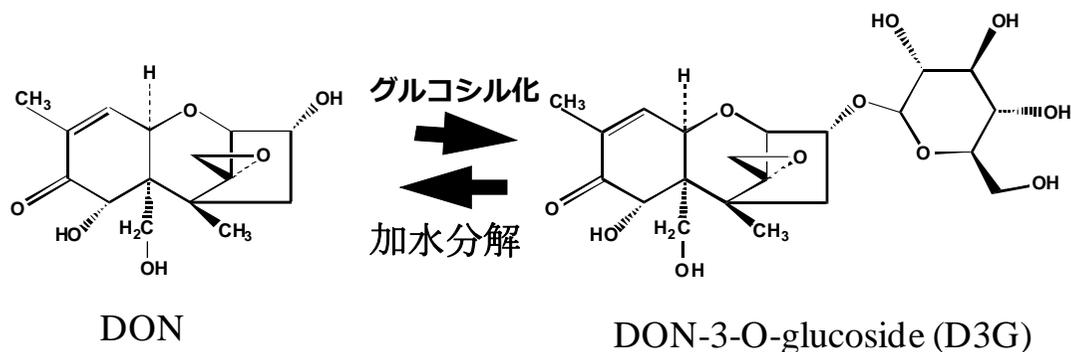


図2：デオキシニバレノール（deoxynivalenol;DON）とDON配糖体（D3G）

赤かび病抵抗性は主に、小麦に対する赤かび病菌の感染を低下させる感染抵抗性と感染後に感染組織から他の組織への菌糸進展を抑制する進展抵抗性に分けられる。そして、近年になって、進展抵抗性に関与する遺伝子座を持つ赤かび病抵抗性小麦系統では代表的なマイコトキシンであるDONを配糖化してマスクドマイコトキシン（DON-3-O-glucoside<D3G>）を産生する活性が高いことが明らかとなった（図2）（Lemmens et al. 2005、Berthiller et al. 2009 など）。さらに、植物由来のUDP-glucosyltransferase（UGT）によってDONをD3Gに変換することが確認された（Poppenberger et al. 2003、Schweiger et al. 2010）。D3G自体は人畜に無毒だが、体内に摂取されると加水分解されて毒性が回復する危険性が指摘されており（Berthiller et al. 2011）、マスクドマイコトキシンを含めたマイコトキシン汚染リスクの把握・管理の必要性が指摘されている。しかし、日本国内の栽培小麦品種のマス

クドマイコトキシン蓄積に関する情報は全くないのが現状である。

そこで、関東以西の麦類品種を栽培し赤かび病菌を接種して得られた小麦粒を用いて、赤かび病菌による被害程度、DON 量及び D3G 量を解析した。D3G の分析は、中川らによって 2011 年に報告された HPLC タンデム型質量分析装置 (LC/MS/MS) を用いる手法を利用した。得られたデータをもとに、各品種のマスクドマイコトキシンの蓄積性に関する品種特性を明らかにし、国内品種のマスクドマイコトキシンの蓄積リスクに関する基盤データの蓄積を目指した。

材料と方法

農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター（筑後拠点）の赤かび病検定圃場において、2009 年及び 2010 年の 11 月に小麦 30 品種・系統（関東以西で栽培されている品種及び育成系統）を播種し、翌年 3 月の茎立期に赤かび病罹病大麦粒を散布することで感染源とし、開花期以後約 6 週間にわたって定時的にスプリンクラー散水を行い、赤かび病の発病を促した。各品種の成熟期に収穫・脱穀した子実を 2.0mm の篩いで整粒し、赤かび病罹病粒と健全粒（図 1）から罹病粒率を算出し、赤かび病菌による小麦粒の被害程度を評価した。また、粉碎した小麦粉を用いて、ELISA 法により DON 量を、HPLC タンデム型質量分析装置 (LC/MS/MS) により D3G 量を定量した。さらに、同サンプルに含まれるエルゴステロール（糸状菌細胞壁に特異的に含まれるステロール）量を HPLC により測定することにより赤かび病菌菌体量を定量し、小麦粒内への赤かび病菌感染量を評価した。

結果と考察

赤かび病の発生は 2009 年播種の小麦では多発生、2010 年播種の小麦では極多発生条件となった。そのため、2010 年播種の小麦粒が 2009 年播種の小麦粒に比べ、罹病粒率と菌

表 1：小麦品種におけるデオキシニバレノール (DON) 等の分散分析 (2 カ年)

	罹病粒率 (%)	菌体量 (ppm)	DON (ppm)	D3G (ppm)	DON+D3G (ppm)	D3G/DON (%)
品種						
範囲	28.9-78.5	7.99-56.90	7.72-35.86	1.12-2.23	9.17-37.25	3.9-21.8
LSD (P<0.05)	9.1	8.03	4.19	0.40	4.26	4.7
年次 (供試品種平均)						
2009	47.0	15.64	4.86	0.98	5.83	20.8
2010	56.5	35.94	21.24	2.10	23.34	11.9
品種・系統 (G)	11.847**	31.681**	15.510**	3.863**	15.258**	4.314**
年次 (Y)	63.328**	229.061**	897.048**	466.545**	992.064**	209.179**
Y*G(相互作用)	2.639**	10.773**	11.534**	3.054**	11.018**	2.238**

**は1%水準で有意差があることを示す

DONはデオキシニバレノール、D3GはDON配糖体を示す

体量がともに高くなっており、DON 量で 4 倍以上、D3G 量で 2 倍以上多くなっている。(表

1)。また、分散分析の結果から、罹病粒率、菌体量、DON 量、D3G 量、DON+D3G 量、D3G/DON 値ともに有意な品種間差が認められた。年次と品種の相互作用も有意であったが、品種の F 値より小さいことから、品種間差に関してある程度信頼性のあるデータが得られたと考えられる (表 1)。

表 2 : 小麦品種におけるデオキシニバレノール (DON) 等の相関分析 (2 ヶ年)

	罹病粒率	菌体量	DON	D3G	DON+D3G	D3G/DON
罹病粒率	1.00	0.65***	0.56**	0.45*	0.58**	-0.33
菌体量	0.65***	1.00	0.75***	0.07	0.75***	-0.67***
DON	0.56**	0.75***	1.00	0.15	1.00***	-0.78***
D3G	0.45*	0.07	0.15	1.00	0.19	0.33
DON+D3G	0.58**	0.75***	1.00***	0.19	1.00	-0.76***
D3G/DON	-0.33	-0.67***	-0.78***	0.33	-0.76***	1.00

*, **, *** は、それぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意差があることを示す
DONはデオキシニバレノール、D3GはDON配糖体を示す。

DON 量は罹病粒率や菌体量との相関係数が高いことから、赤かび病抵抗性が弱い品種ほど、そして小麦に感染する赤かび病菌が多いほど DON 量が増加することが明らかとなった (表 2)。これらのことは、赤かび病の防除および抵抗性の強い小麦を栽培し、赤かび病菌の感染増殖を抑えることで、小麦粒への DON 蓄積を抑制することができることを示している。

D3G は供試した 30 品種全てで検出されていることから (図 3)、関東以西で栽培されている小麦品種は、量的な差こそあれ D3G が蓄積することが明らかとなった。さらに D3G 量に関しては罹病粒率や菌体量、そして DON 量と相関が低いことから、今回供試した品種では、D3G の蓄積性は発病度等に影響を受けにくい、比較的独立した形質であると考えられる (表 2)。

一方、D3G/DON 値は、UGT による DON から D3G への変換率を表しており、菌体量と DON 量に対して負の相関が高いことがわかった (表 2、図 3)。このことは、小麦粒で感染増殖する菌体量が少ないほど、そして DON 量が少ない品種ほど D3G/DON 値が高いことを示しており、分散分析からもその品種間差が有意であることが示唆された (表 1)。また、2009 年播種の小麦と 2010 年播種の小麦での D3G/DON 値の品種間平均をみると、罹病粒率、菌体量ともに低い 2009 年播種の小麦で 2010 年播種小麦に比べ D3G/DON 値が高くなっている (表 1)。DON を D3G に変換する UGT は小麦によって産生されることから、赤かび病菌や DON によるコムギ組織への被害が大きいほど UGT 発現量が低下し、DON から D3G への転換が抑制された可能性がある。そのため、赤かび病の発病がより少ない条件では D3G/DON 値がさらに増加するか今後検討する必要がある。

また、DON 量と D3G 量との相関が認められない一方で、DON 量と DON+D3G 量は極めて高い正の相関が認められた (表 2)。これは DON 量と D3G/DON 値が負の相関が高い

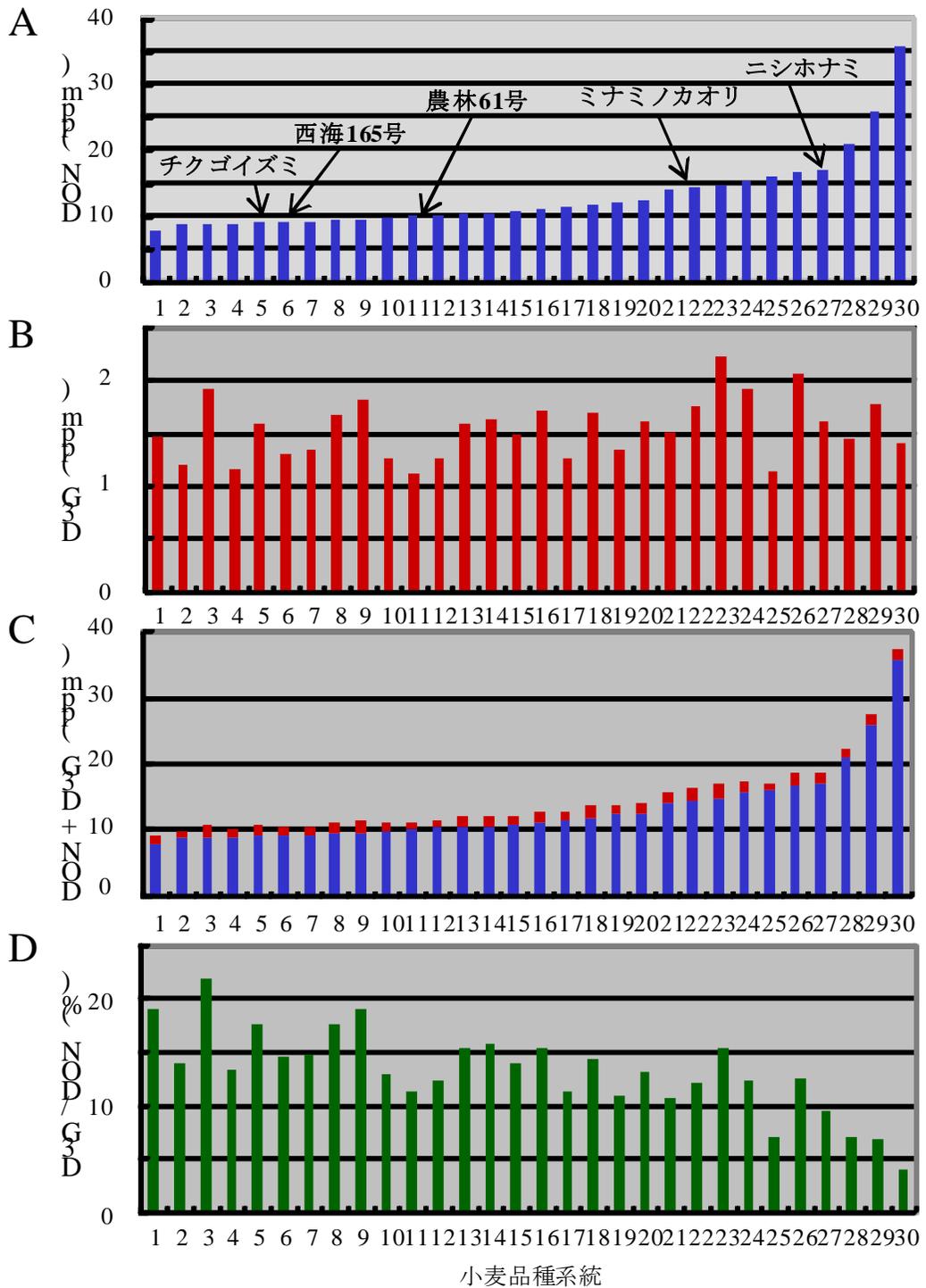


図3 小麦品種のデオキシニバレノール(DON)及びDON配糖体(D3G)の蓄積性
 供試小麦品種(30品種)のDON量(A)、D3G量(B)、(DON+D3G)量(C)、
 (D3G/DON)値(D)の2カ年の平均値を示す。

こと、そして D3G 量が DON 量の数%から 20%程度で (表 1、図 3)、飛び抜けて多量の D3G 量を蓄積する小麦品種がないことが影響したと考えられる。しかし、分散分析の結果から D3G 量に品種間差があることが示唆されており、今後の赤かび病抵抗性品種の育成過程で D3G 量が DON 量を超えて蓄積する品種・系統が出現する可能性も否定できない。

今後の展開

DON は、タンパク合成阻害等により植物細胞を枯死させる作用があることから植物に対する病原因子と考えられているが、配糖体化された D3G ではその作用が低下することが知られている (Poppenberger et al. 2003)。そして、大麦やアラビドプシスの UGT を過剰発現させたアラビドプシスでは、DON から D3G を産生する活性が増加し DON に対する耐性が増加したことが報告されている (Poppenberger et al. 2003、Shin et al. 2012)。そのため、赤かび病菌の感染初期段階で DON を D3G に変換することができれば、DON による小麦組織の枯死や赤かび病菌の進展を抑制する効果が期待できる。一方で、赤かび病による小麦への感染がある程度進展した段階で UGT の活性が増加する場合、DON 単独では 1.1ppm 以下でも、D3G 量を加えた場合には規制値を超えることも考えられる。そのため、赤かび病抵抗性育種素材となる小麦系統の D3G 蓄積程度、小麦 UGT と進展抵抗性や DON 蓄積との関係をより詳細に解析し、赤かび病抵抗性育種にフィードバックする必要があると考えられる。

謝辞

本研究をご支援いただいた (財) サッポロ生物科学振興財団に心より感謝申し上げます。又、本研究課題を御推薦下さいました北海道大学農学研究科近藤教授に御礼申し上げます。