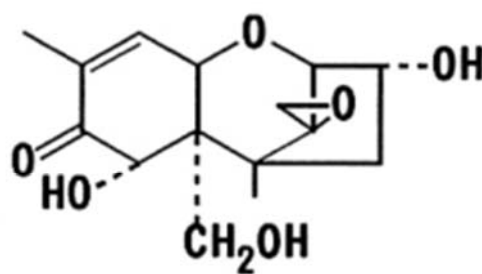


麦類のかび毒汚染低減のための 生産工程管理マニュアル 改訂版



Deoxynivalenol (DON)

平成28年3月

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

1. はじめに

かび毒とは、かび（糸状菌）が作り出す二次代謝産物のうち、人畜に対して有害な作用をもつ物質の総称です。麦類赤かび病は、麦の品質低下や減収の原因となるだけでなく、その原因であるフザリウム属のかびがデオキシニバレノール（以下、「DON」といいます。）、ニバレノール（以下、「NIV」といいます。）等のかび毒を作ることがあります。2002年に厚生労働省はDONによる健康被害を未然に防止する観点から、小麦におけるDONの暫定基準値（1.1 mg/kg）を設定し、農林水産省と連携して暫定基準値を超える小麦の流通防止対策を講じています。

わが国では麦の生育後期に降雨が多いため、赤かび病がまん延し、病原菌が産生するかび毒による汚染がおこる可能性があります。これらの汚染を防止、低減するためには、基準値による結果管理だけでは不十分で、生産の各段階において、科学的根拠に基づいて必要な措置をおこなう工程管理（農業生産工程管理：GAP）の導入が求められています。

そこで、農林水産省の委託を受けて、農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）旧赤かび病研究チームが中心となり全国規模の研究プロジェクトを推進し、工程管理の根拠となる科学的な研究データの蓄積を進め、2008年12月に「麦類のかび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル」を作成しました。当マニュアルでは、都道府県の農業試験場の研究者及び農業改良普及センターや病虫害防除所などの専門的な指導者を対象に、麦類の栽培・防除指導のポイントとなる作付け前から播種、防除、収穫、調製等の各生産工程における、フザリウム属のかびが産生するかび毒（DON、NIV）の汚染防止とその低減対策等を取りまとめました。農林水産省からは、同年、本マニュアルの情報に基づいて、「麦類のデオキシニバレノール・ニバレノール汚染低減のための指針」が作成、通知されています。今回、研究がさらに進展し新たな知見が得られましたので先の実践マニュアルの全項目について内容を追加、大幅拡充し、改訂版を作成しました。本マニュアルを活用して麦類のDON、NIVの汚染低減のための取組がより着実に推進されますよう願います。

なお、本マニュアルは農林水産省委託プロジェクト『生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発』及び『新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業研究』の成果等を取りまとめたものです。試験データを提供していただいた関係各位に深くお礼申し上げます。

2. 麦類のかび毒汚染防止・低減対策のポイント

○ポイントとなる管理点及び実施すべき取組

麦類のかび毒汚染を防止・低減するための管理点及び実施すべき取組について、実施時期ごとに整理すると以下の図のとおりです。それぞれの取組によるかび毒汚染を防止・低減する効果については、高、中、低の3段階で評価しています。

実施時期	実施すべき取組	低減効果
播種前	前作の作物残渣など伝染源の除去（持出し、鋤込みなど）	低
	トウモロコシの後作は回避（一部地域のみ）	中
播種	赤かび病抵抗性が高い品種を選択	高
	推奨される栽植密度の順守	低
	作期の前進など登熟・収穫期の雨害の回避（一部地域のみ）	中
生育期	適切な肥培管理等による倒伏防止	中
出穂期	かび毒汚染を防止・低減する効果の高い薬剤の選択	高
開花期	開花期予測システム等も活用した適期防除の実施	高
	開花20日後までに必要に応じて追加防除の実施	高
	同一系統の薬剤の連用の回避	低
収穫期	適期収穫の徹底	高
	赤かび病被害麦の仕分け収穫の徹底	高
乾燥 調製	収穫後は速やかに乾燥	中
	乾燥調製施設における赤かび病被害麦の仕分けの徹底	高
	粒厚選別や比重選別などによる赤かび病被害粒の選別	高

図 麦類の生産工程におけるかび毒汚染を防止・低減するために実施すべき取組とその効果

3. 各論

1) 播種前

前作の作物残渣など伝染源の除去（持出し、鋤込みなど）・・・低

トウモロコシの後作は回避【一部地域のみ】・・・中

○ 前作

赤かび病の第一次伝染源は土壌表面の作物残渣に形成される赤かび病菌の子のう殻です（図1）。子のう殻の中には子のうがあり、1つの子のうには8個の子のう胞子が入っています。この子のう胞子が飛散して、麦類の穂に感染します。



図1 イネ残渣の地際部に形成された子のう殻(左)、拡大図(中)、子のう殻内の子のうと子のう胞子(右)
注) 右図(子のう胞子)は、コットンブルーで染色後撮影。

前作物の種類や耕起法によって子のう殻の形成程度が異なるため、赤かび病の発病の危険性が変動します。このため、輪作と残渣処理により伝染源の密度を低下させることが耕種的防除のための基本戦略です。

赤かび病菌は腐生性の高い病原菌で、幅広い作物残渣から分離されますが、イネ科作物（トウモロコシ、イネ、ムギ類）やイネ科雑草により多く寄生する性質があります。海外では前作がトウモロコシの場合に赤かび病の発生が多くなるとの報告があります。

地方独立行政法人北海道立総合研究機構（道総研）では前作が DON 汚染に及ぼす影響を評価した結果、トウモロコシの残渣が感染源となり、DON 汚染の原因菌である *Fusarium graminearum* 種複合体の孢子飛散数が高まる傾向がありました（図2）。前作にトウモロコシを栽培する際には圃場表面に残渣が残らないように鋤込むまたは持ち出すことが重要です。

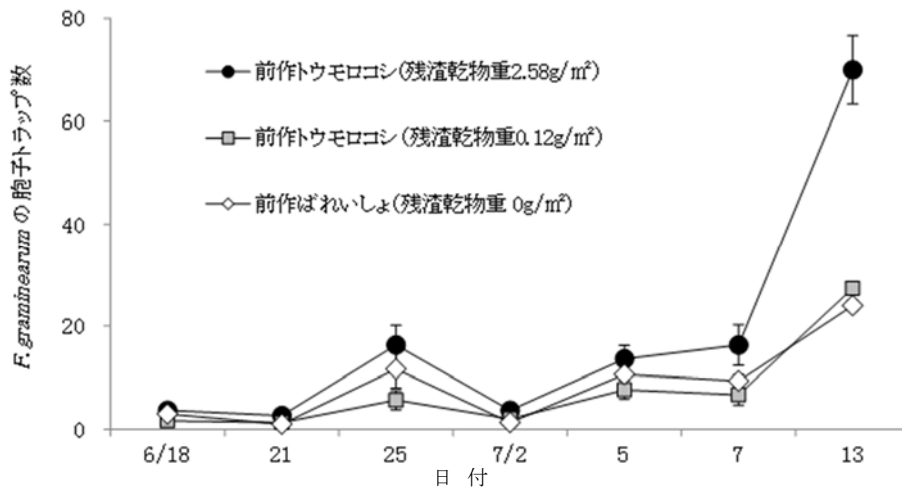


図2 トウモロコシの残渣の量と *F. graminearum* 種複合体の孢子トラップ数の関係(2012年)
(道総研 十勝農試)

○ 作物残渣

図3に示すような前作物の残渣の持ち出し、土入れ等の残渣処理方法が、我が国で現在行われております。さらに、アップカッターロータリーを使用すると地表面の稲わらを効率よく地中に埋没させることが可能です。



持ち出し



土入れ



アップカッターロータリー

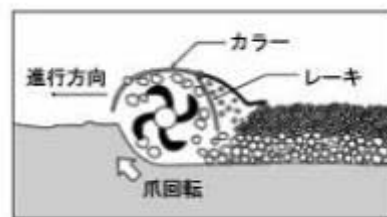


図3 赤かび病菌の伝染源を低減することが期待される残渣処理方法

愛知県農業総合試験場では沖積土壌の水田転換畑において、稲わらの除去が有効な耕種的防除法となるかどうかの確認を行った結果、出穂前までの稲わら除去により、小麦の赤かび病の発病とかび毒濃度は明らかに低下しました(表1)。

また、現地調査の結果、播種時のアップカッターロータリー耕による稲わら鋤込みにより、ロータリー耕と比較して本病の発病の減少が確認できました（表 2）。

表 1 稲わらの有無と小麦の赤かび病の発病及びかび毒濃度（2004 年）

稲わらの有無	発病穂率 (%)	発病小穂率 (%)	DON 濃度 (mg/kg)	NIV 濃度 (mg/kg)
あり	34	7.2	N. D.	0.44
なし	17	2.4	N. D.	0.17

供試品種：農林61号
自然発病条件

(愛知県農試)

表 2 播種時の稲わら鋤込みの有無と小麦の赤かび病の発病の現地調査結果（2004 年）

地区	耕起方法	発病穂率 (%)	発病小穂率 (%)
A地区	アップカッターロータリー耕	5	0.4
	ロータリー耕（慣行）	13	1.3
B地区	アップカッターロータリー耕	10	1.1
	ロータリー耕（慣行）	29	2.5

調査品種：農林 61 号
各地ともチオファネートメチル水和剤で開花期以降に 1 回防除

(愛知県農試)

しかしながら、農研機構九州沖縄農業研究センターで行った火山灰土壌での試験では、播種時にアップカッターロータリーで稲わらを埋設させても、翌年の赤かび病の発生に対する抑制効果はほとんどありませんでした（表 3）。この原因は、軽しょう（軽くてさらさらした）な火山灰土壌では冬期の風雨により風食を受け、翌春には埋設したイネ残渣が再度地表面に現れたためと推察されます。

これらの結果から、前作の作物残渣など伝染源の除去については、条件が揃えば一定の効果は期待できますので、可能ならば実施することが望ましいと考えられます。

表3 耕起・不耕起栽培における赤かび病の発病とかび毒濃度

年	試験区 (畝間)	発病穂率 (%)	発病度	かび毒濃度(mg/kg)		
				DON	NIV	DON+NIV
2010年	不耕起	22.5	3.1	0.38	0.12	0.50
	耕起	23.7	3.1	0.50	0.11	0.61
2011年	不耕起	41.5	3.3	0.72	0.23	0.95
	耕起	29.5	2.0	0.38	0.18	0.56
2012年	不耕起	9.9	0.9	0.28	0.05	0.33
	耕起	10.6	1.1	0.29	0.04	0.33
分散分析			ns	ns	ns	ns

供試品種：ミナミノカオリ、条間 30cm。

耕起：アップカットロータリー耕による稲わら鋤込み。

発病度：罹病程度を Ban and Suenaga(2000)の基準で調査し、発病度（ Σ （発病穂率×罹病程度））を算出した。

かび毒分析は2010、2011年はELISA法、2012年はLC-MS法で測定。ns：有意差なし。

自然発病条件。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

2) 播種

赤かび病抵抗性が高い品種を選択・・・高

推奨される栽植密度の順守・・・低

作期の前進など登熟・収穫期の雨害の回避【一部地域のみ】・・・中

各産地における奨励品種の選定や、生産者の作付け品種の選択には、実需者の評価やニーズを勘案した上で、可能な限り赤かび病抵抗性が強い品種を選択することが重要です。各都道府県の奨励品種の赤かび病抵抗性の程度については表 1 に評価結果を示します。

ただし、各品種とも赤かび病抵抗性の強弱に差があるものの、赤かび病の発病程度はその年の気象や栽培条件の影響を受けて変動し、品種の赤かび病抵抗性のみでは赤かび病の感染は防ぎきれないことを認識する必要があります。

表1 麦類の赤かび病抵抗性別の国内栽培奨励品種一覧（五十音順）（括弧内は栽培が奨励されている地域）

種類	強（極強）	やや強	中	やや弱	弱
小麦		イワイノダイチ（東海）	アイラコムギ（九州）	あやひかり（東海）	キヌヒメ（中国）
		きぬあかり（東海）	アオバコムギ（東北）	きたさちほ（北海道）	コユキコムギ（東北）
		シロガネコムギ（近畿）	あおばの恋（東北）	タマイズミ（東海）	しゅんよう（甲信）
		せときらら（中国）	あやひかり（関東）	ちくし W2 号（九州）	ハナマンテン
		チクゴイズミ（九州）	イワイノダイチ（関東・東海）	フウセツ（甲信）	（関東・甲信）
		ナンブコムギ（北陸）	キタカミコムギ（東北）	ふくあかり（東北）	ハルユタカ（北海道）
		ふくほのか（近畿）	キタノカオリ（北海道）	ふくさやか（中国）	ユメシホウ（東海）
		ゆめかおり（関東）	きたほなみ（北海道）	ミナミノカオリ	
		ゆめちから（近畿）	きたもえ（北海道）	（中国・九州）	
		農林 61 号（東海）	きぬあずま（東北）	ゆきちから（東北）	
			きぬの波（関東・甲信）	ユメセイキ（甲信）	
			銀河のちから（東北）	長崎 W2 号（九州）	
			さとのそら（関東・東海）		
			さぬきの夢 2000（四国）		
			さぬきの夢 2009（四国）		
			シラサギコムギ（近畿）		
			シラネコムギ（東北・甲信）		
			シロガネコムギ（近畿・四国・九州）		
			せときらら（近畿）		
			ダブル 8 号（関東）		
			タマイズミ（関東・東海）		
			チクゴイズミ（四国・九州）		
			つるきち（北海道）		
			つるぴかり（関東）		
			ナンブコムギ（東北）		
			ニシカゼコムギ（九州）		

種類	強（極強）	やや強	中	やや弱	弱
小麦			ニシノカオリ （東海・近畿・中国・九州） <u>ニシホナミ</u> （九州） ネバリゴシ（東北） はるきらり（北海道） <u>ふくさやか</u> （近畿） ふくはるか（近畿） <u>ふくほのか</u> （近畿） <u>ゆめかおり</u> （関東・甲信） <u>ゆめちから</u> （北海道） 春よ恋（北海道） <u>農林61号</u> （関東、東海、近畿、九州）		
六条 大麦			カシمامギ（関東） <u>シュンライ</u> （東北） <u>ミノリムギ</u> （東北・東海）	カシマゴール（関東） <u>シュンライ</u> （近畿・中国） ファイバースノウ （東北・甲信・北陸） <u>ミノリムギ</u> （北陸）	さやかぜ（関東・中国） <u>シュンライ</u> （東北・関東・甲信） すすかぜ（関東） セツゲンモチ（関東） <u>ミノリムギ</u> （北陸）

種類	強（極強）	やや強	中	やや弱	弱
二条 大麦	あまぎ二条（関東） サチホゴールド （関東・九州） ニシノチカラ（九州） 彩の星（関東）	アサカゴールド（中国） アスカゴールデン（関東） あまぎ二条（九州） おうみゆたか（中国） サチホゴールデン （関東・中国・九州） しゅんれい（九州） スカゴールデン（関東・中国） とちのいぶき（関東） ニシノゴールド（九州） ニシノチカラ（四国・九州） ニシノホシ（四国・九州） はるしずく（九州） ほうしゅん（九州） ミルゴールド（中国・九州）	アサカゴールド（近畿・中国） しゅんれい（中国） はるな二条（九州） ミカモゴールデン（関東）		ミカモゴールデン （関東）
はだ か麦	御島裸（九州）		イチバンボシ （関東・中国・九州） ナンプウハダカ（九州） ハルヒメボシ（四国） マンネンボシ（四国） 宮崎裸（九州）	イチバンボシ（四国・九州） トヨノカゼ（中国・九州） ヒノデハダカ（四国）	

参考文献：水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表 平成25年度版（農林水産省生産局編）

* 下線の品種は、都道府県によって赤かび病抵抗性に関する評価・検定結果に差があるもの。

また、かび毒の低減には、赤かび病抵抗性に加えて、品種のかび毒蓄積性も考慮することが重要です。国内では品種毎のかび毒蓄積性に関する知見が少なかったため、主要な麦類品種について、圃場での人工接種試験による赤かび病極多発生条件下において、潜在的なかび毒蓄積性を検討しました。その結果、発病度が低い（赤かび病抵抗性が比較的強い）品種でかび毒濃度が高い（かび毒蓄積性が高い）品種は認められず、かび毒蓄積性の高低は穂の発病度とほぼ一致していました。このことは、現状では、国内においては赤かび病抵抗性の強弱も考慮して薬剤防除を徹底することが、かび毒の低減にも有効であることを示していると考えられます。

北海道における春まき小麦の初冬まき栽培は、開花期の前進化により、開花期に降雨に遭遇する頻度が低くなるため、春まき栽培に比較して、赤かび病発生程度及び DON 濃度が低い傾向があります（図 1）。また、春まき栽培においても、早期播種により、赤かび病の発生及び DON 濃度を低減できる可能性があります。

ただし、気象条件によっては赤かび病の感染や DON 汚染リスクが高まる場合もあるので、適切な防除を心がけることが必要です。

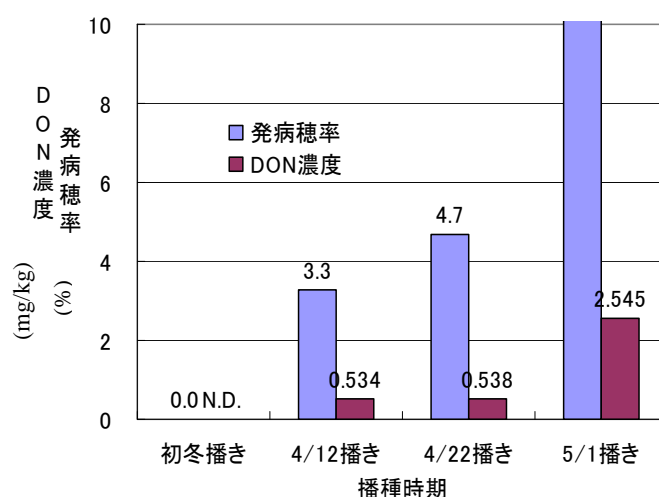


図 1 北海道における春まき小麦の播種時期と赤かび病及び DON 濃度との関係
(道総研 中央農試)

一般的には、栽植密度も農産物の病害発生に影響する場合があります。3か年の小麦の圃場試験の結果からは、栽植密度が麦類の赤かび病の発生に及ぼす影響は小さいと考えられますが（表2）、必要以上の厚播きによる密植は倒伏の原因となりますので、品種毎に推奨される栽植密度を順守することが必要です。

表2 異なる栽植密度で栽培したときの赤かび病の発生程度とかび毒濃度の比較

年	試験区	発病穂率 (%)	発病度	かび毒濃度(mg/kg)		
				DON	NIV	DON+NIV
2010年	密植	7.0	0.5	0.06	0.04	0.10
	疎植	8.7	0.7	0.11	0.04	0.15
2011年	密植	19.8	1.1	0.17	0.06	0.23
	疎植	28.3	1.8	0.12	0.04	0.16
2012年	密植	5.8	0.6	0.14	0.02	0.16
	疎植	5.2	0.5	0.13	0.02	0.15
分散分析		ns	ns	ns	ns	ns

供試品種：ミナミノカオリ。

密植：条間20cm(播種量17.6kg/10a)、疎植：条間80cm(播種量4.8kg/10a)。

発病穂率、発病度、かび毒濃度は3反復の平均値。

発病度：罹病程度をBan and Suenaga(2000)の基準で調査し、 Σ (発病穂率×罹病程度)を算出した。

かび毒濃度：2010、2011年はELISA法、2012年はLC-MS法で測定。

ns：(密植と疎植で)有意差なし。自然発病条件。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

3) 生育期

適切な肥培管理等による倒伏防止・・・中

赤かび病菌が感染した麦では、倒伏により本菌が産生するかび毒である DON 及び NIV の子実汚染濃度が高くなる傾向があります。

2002-2005 年にかけて、全国の圃場から同一圃場内で倒伏部分と非倒伏部分から収穫した麦（玄麦子実）を収集し、DON 濃度を ELISA 法により測定し、比較した試験では、倒伏部分の DON 濃度が有意に高い結果が得られています（図 1）。

また、非倒伏区の DON 濃度が高い程、同一圃場の倒伏区の DON 濃度の増加量が大きくなる傾向にあります（図 1）。さらに、赤かび病菌の特定の菌株を接種した圃場で、人為的に倒伏させる試験を行い、収穫時のかび毒濃度と倒伏期間の関係を調べた結果では、収穫前 5 日間の短期間の倒伏でも DON 及び NIV が 30%程度増加した事例が複数認められています（図 2）。

以上のことから、生育診断に基づく栽培管理（踏圧（麦踏み）、適切な追肥、土入れ等）による倒伏防止が重要です。また、圃場内の倒伏した箇所は刈り分ける等の対策を取るべきです。特に、赤かび病が多発した圃場で倒伏した場合は、かび毒濃度が高くなる可能性がありますので、刈り分け等の対策の徹底が必要です。

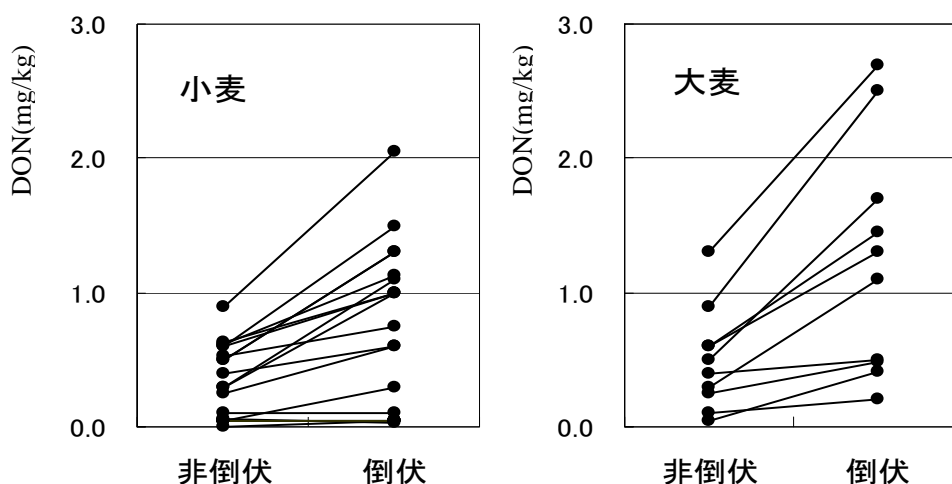


図 1 麦類赤かび病自然発生圃場における DON 濃度に及ぼす倒伏の影響（2002-2005 年）
（農研機構九州沖縄農業研究センター）

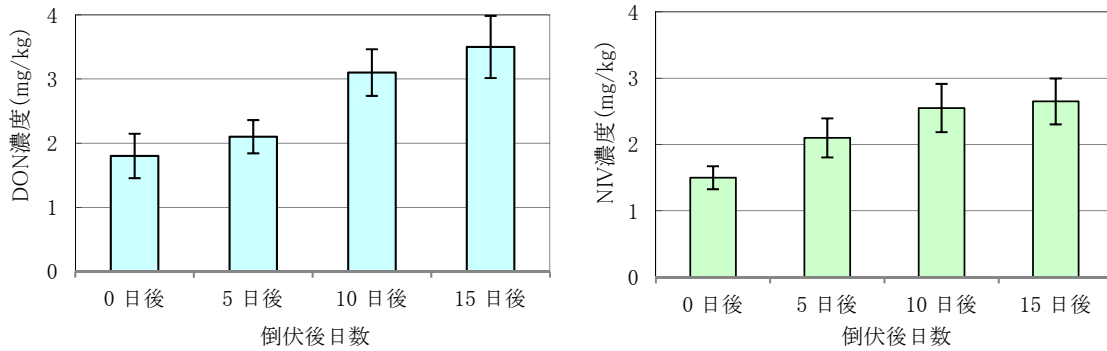


図2 人為的に倒伏させた試験区における小麦の収穫時のDON・NIV濃度（2004年）

赤かび病菌を接種後、人為的に倒伏させ、倒伏部分における小麦のDON・NIV濃度を測定。試験は3反復で実施し、その平均を求めた。図中のバーは標準偏差。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

窒素肥料を過剰に施用すると作物の病害に対する感受性が変化し、イネではいもち病、コムギではうどんこ病などの病害に罹りやすくなることが知られています。

製パン適性が良いことから近年西日本で普及している暖地・温暖地向け硬質小麦「ニシノカオリ」及び「ミナミノカオリ」は、蛋白質含有率を高めるために開花期頃の実肥が必要です。しかし、追肥の窒素により作物体の赤かび病に対する感受性が増し、赤かび病によるかび毒汚染の可能性が高くなることが懸念されました。

そこで、これらの品種において、実肥が赤かび病の発病とかび毒濃度に及ぼす影響について検討した結果、蛋白質含有率向上を目的とした開花期の実肥施用（硫安の土壌表面散布）は、一般的な（あるいは品種に推奨される）施用量の範囲では、赤かび病の発病とかび毒濃度への影響は認められませんでした（図3、4）。

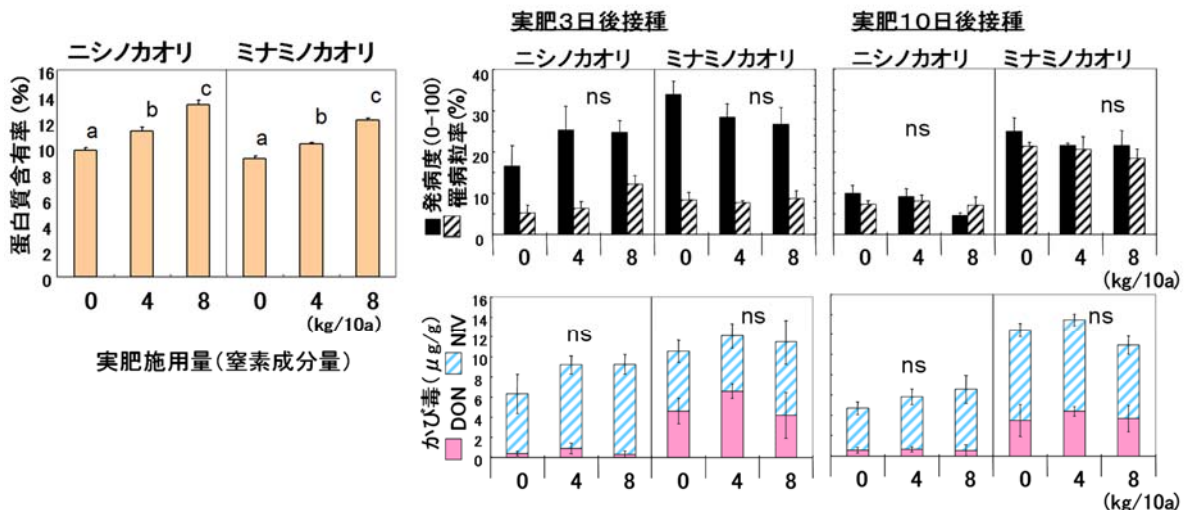


図3 実肥が赤かび病とかび毒濃度に及ぼす影響（ポット試験）（2004年）

注）材料は、1/5000aポットに基肥+茎立期の追肥窒素：10+5.6kg/10aで栽培。1処理区あたり4反復。実肥は硫安（N 21%）を施用。蛋白質含有率（水分13.5%換算値）は、無接種区の収穫物について分析。赤かび病菌を各時期に接種した区は、開花23日後に発病度を調査し、収穫物について罹病粒率とかび毒（DON, NIV）を分析。エラーバー：標準誤差。各棒内の異なる英字間は有意差あり、ns：有意差なし（Tukey-Kramer's法、有意水準5%）。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

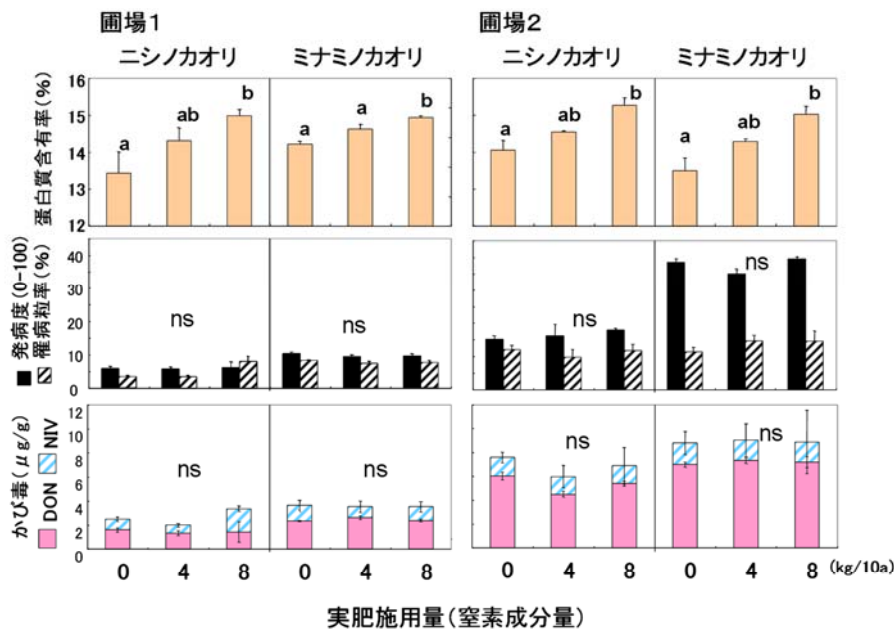


図4 実肥が赤かび病とかび毒濃度に及ぼす影響（圃場試験）（2006年）

注）赤かび病菌培養トウモロコシ粒を畝間散布した2圃場で試験を実施。圃場1：基肥窒素2.4g/10a、実肥施用後2回手動散水。圃場2：基肥窒素なし。出穂期から収穫15日前まで約1ヶ月間、1日4回スプリンクラー散水。実肥は硫安（N 21%）を施用。開花24日後に発病度を調査し、収穫物について、蛋白質含有率（水分13.5%換算値）、罹病粒率およびかび毒（DON, NIV）を分析。3反復乱塊法。エラーバー：標準誤差。各枠内の同一の英字間は有意差なし、ns：有意差なし（Tukey-Kramer's法、有意水準5%）。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

さらに、硬質小麦「ミナミノカオリ」及び二条大麦「ニシノチカラ」の圃場試験において、尿素の葉面散布による実肥施用を行った場合にも、赤かび病の発病とかび毒濃度への影響は認められませんでした。さらには、尿素を赤かび病防除薬剤と混合し散布した場合でも、薬剤効果の低下は認められませんでした（表1、2）。

表1 硬質小麦における出穂後の尿素の葉面散布及び赤かび病防除薬剤との混合散布の影響（2009年）

処理名	開花期・開花10日後 (2回) 散布液	発病率 (%)	発病度 (0-100)	千粒重 (g)	赤かび 粒率 (%)	蛋白質 含有率 (%)	DON (μg/g)	発病度防 除価	かび毒 (DON) 低減率
TM水和剤	TM水和剤	12	1.1	38.2	0.4	11.6	0.2	85	96
TM水和剤+尿素	尿素2%・TM水和剤 混 合液	9	0.9	38.9	0.3	12.8	0.1	87	98
尿素	尿素2%液	65	7.4	37.1	2.3	13.0	5.2	0	3
無処理	-	65	7.1	33.8	3.8	12.3	5.4	-	-

供試品種：ミナミノカオリ。開花期に各処理区の1回目散布処理後、同日夕方に赤かび病菌（DON産生型）の孢子懸濁液を圃場全体に噴霧接種した。3ブロック乱塊法で試験を実施。TM水和剤：チオファネートメチル水和剤1,000倍液。かび毒の定量下限値は、DONが0.1 μg/gであった。分散分析の結果、尿素の蛋白質含有率に対する有意な効果が認められたが（P<0.05）、発病率、発病度、かび毒濃度に対しては効果が認められなかった。また、薬剤と尿素の交互作用も認められなかった。2年間の試験で同様な結果が得られた。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

表2 二条大麦における出穂後の尿素的葉面散布及び赤かび病防除薬剤との混合散布の影響(2009年)

処理名	穂揃い期 散布液	穂揃い10日後 (葯殻抽出期) 散布液	発病穂率 (%)	発病度 (0-100)	千粒重 (g)	蛋白質 含有率(%)	DON ($\mu\text{g/g}$)	NIV ($\mu\text{g/g}$)	DON+NIV ($\mu\text{g/g}$)	発病度防 除価	かび毒 (DON+NIV) 低減率
TM水和剤	-	TM水和剤	16	0.6	45.8	8.4	0.1	0.1	0.2	81	89
TM水和剤+尿素	尿素2%液	尿素2%・TM水和剤混 合液	19	0.7	46.8	9.0	0.2	0.1	0.2	77	87
尿素	尿素2%液	尿素2%液	49	2.3	44.4	9.2	1.4	0.4	1.8	22	0
無処理	-	-	55	2.9	44.2	8.9	1.4	0.4	1.8	-	-

供試品種：ニンノチカラ。赤かび病菌培養トウモロコシ粒(DON産生型及びNIV産生型菌株を混合)の畝間散布により接種した。3ブロック乱塊法で試験を実施。TM水和剤：チオファネートメチル水和剤1,000倍液。かび毒の定量下限値は、DONが $0.1\ \mu\text{g/g}$ 、NIVが $0.05\ \mu\text{g/g}$ であった。分散分析の結果、尿素的蛋白質含有率に対する有意な効果が認められたが($P<0.05$)、発病穂率、発病度、かび毒濃度に対しては効果が認められなかった。また、薬剤と尿素的の交互作用も認められなかった。2年間の試験で同様な結果が得られた。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

なお、本マニュアルに共通する発病度の防除価及びかび毒低減率は以下の式によって算出しています。

$$\text{防除価} \cdot \text{かび毒低減率} = \left[\frac{\text{無処理区の値} - \text{処理区の値}}{\text{無処理区の値}} \right] \times 100$$

4) 出穂・開花期

かび毒汚染を防止・低減する効果の高い薬剤の選択・・・高

開花期予測システム等も活用した適期防除の実施・・・高

開花20日後までに必要に応じて追加防除の実施・・・高

同一系統の薬剤の連用回避・・・低

○ 生育ステージの把握

赤かび病に対する麦の感受性は生育ステージにより大きく変化します。小麦と六条大麦では出穂期や穂揃期よりも開花期に感受性が高くなります。

年次により麦の出穂期及び開花期が大きく変動する場合があります、また、同じ年でも栽培管理状況によって麦の出穂期や開花期にバラツキがあるので、圃場毎の生育状況に応じた防除が必要となります。

つまり、防除適期を逃さないためには、圃場をこまめに巡回し、麦の生育状況を常に把握する必要があります。

例えば、小麦における赤かび病の防除適期は開花始期～開花期です。次に紹介する発育ステージ予測技術を使えば、開花期がいつ頃になるかを知ることができます。

【暖地・温暖地（冬期に根雪がない地域）】

播種日を起点とした発育ステージ予測技術により、パソコンなどからの簡単な操作で開花期を知ることができます。開花期の予測結果を見るまでの手順は、まず、麦の発育ステージ予測を公開しているアドレス

(http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/meteo_fukuyama/WEB/wheat/index_mugi.html) にアクセスします。次に、小麦の品種（現時点では「チクゴイズミ」、「シロガネコムギ」、「農林61号」、「ふくさやか」、「ニシノカオリ」、「ミナミノカオリ」の6品種に対応）、都府県、アメダス観測点の順でクリックしていくと、播種日毎に開花期の予測日が表示されます。色付きのセルは今年の気象データ、白抜きセルは平年の気象データを使って予測した結果であり、平年との差もわかるようになっています。

リアルタイムアメダスを用いた麦の発育ステージ予測

アメダス観測点の気温をもとに麦の品種を決定してください

発育予測

麦の品種

チクゴイズミ シロガネコムギ
ミナミノカオリ
ニシノホシ ニシノチカラ
ミカモゴールデン

注1) 予測情報の利用により利用者
注2) 予測情報には誤差があるので
注3) アメダスが市街地にある場合
注4) ご利用地域の奨励品種では
注5) 根雪がある地域では利用できません
注6) 成熟期は生理的成熟期(子実含水率40%)
注7) アメダスが欠測の日は、平年値で置き換え
注8) 平年値は1981年から2010年までの日別平

全国「チクゴイズミ」の発育予測

北海道 青森 福島 山形県 秋田県 岩手県 宮城県 茨城県 栃木県 群馬県 埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県 新潟県 富山県 石川県 福井県 岐阜県 静岡県 愛知県 三重県 滋賀県 京都府 大阪府 兵庫県 奈良県 和歌山県 徳島県 香川県 愛媛県 高知県 福岡県 佐賀県 熊本県 大分県 鹿児島県 沖縄県

広島県 完成予測

品種：農林61号
アメダスコード：87401
最終更新日2013年5月14日

気象図

播種日	葉立日	出穂期	開花期	成熟期
2012年10月1日	11月12日	3月6日	4月1日	5月22日
(平年値)	(11月13日)	(3月5日)	(4月6日)	(5月20日)
2012年10月2日	11月14日	3月10日	4月4日	5月24日
(平年値)	(11月14日)	(3月6日)	(4月6日)	(5月20日)
2012年10月3日	11月16日	3月13日	4月5日	5月24日
(平年値)	(11月16日)	(3月12日)	(4月6日)	(5月21日)
2012年10月4日	11月18日	3月16日	4月6日	5月25日
(平年値)	(11月18日)	(3月16日)	(4月10日)	(5月22日)
2012年10月5日	11月20日	3月18日	4月7日	5月25日

(農研機構西日本農業研究センター)

【寒冷地（冬期に根雪がある地域で後述の小麦品種を作付けしている地域）】

小麦「あおばの恋」、「シラネコムギ」、「ゆきちから」、「ナンブコムギ」では、越冬後の幼穂長と日平均気温を用いて出穂期と開花期を推定することができます。幼穂長は、3月下旬から4月に小麦圃場から生育中庸な株の主茎を5本程度サンプリングし、測定します（幼穂長が5mm未満の場合は実体顕微鏡を使います）。得られた幼穂長を宮城県古川農業試験場が作成した Excel（Microsoft®Office）のワークシートに入力することにより、出穂期と開花期を簡易に知ることができます。その手順は下図に示すとおりです。（図1）

（現在、WEB上で予測が行えるよう準備を進めています。）

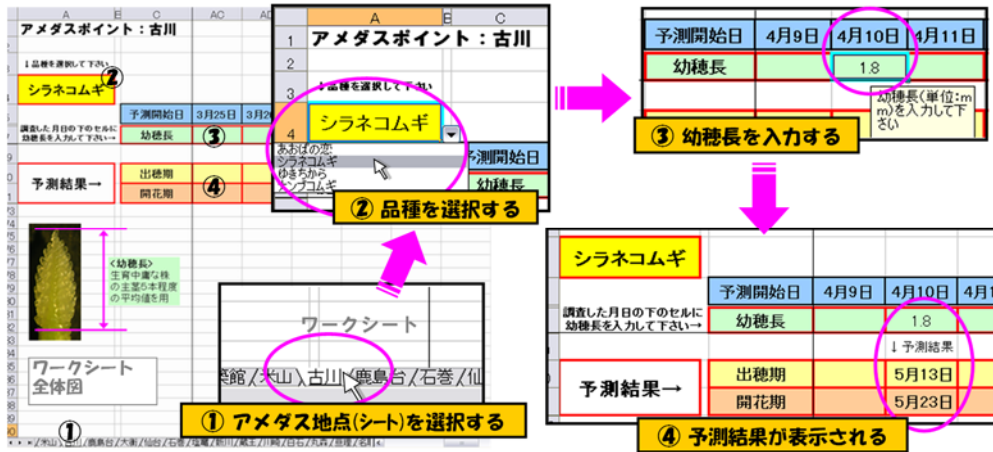


図1 Excel（Microsoft®Office）のワークシートによる開花期予測の手順
（宮城県古川農試）

なお、赤かび病に関係のある麦の生育ステージは以下のように定義されています。

出穂期: 全茎の40～50%が出穂(葉鞘から穂の先端(芒を含まない)が出現)した日。
 穂揃期: 全茎の80～90%が出穂した日。
 開花期: 1穂につき数花開花しているものが、全穂数の40～50%に達した日。
 成熟期: 茎葉並びに穂首部分が黄化し、穂軸や粒は緑色がぬげ、粒にはツメ跡が僅かにつき、ほぼロウぐらいの固さに達した粒をつける茎が、全穂数の80%以上に達した日。
 (「小麦調査基準」(農業研究センター(1986.3当時))



出穂



開花



成熟

○ 小麦における気象と発病の関係

赤かび病の発病は出穂期前後の気温や湿度、降雨等に影響を受けることが報告されています。開花始期から10日間の降雨日数が多いと発病穂率が高くなり、またこの期間の日最低気温が高いと発病度が高くなることが確認されました（図2）。

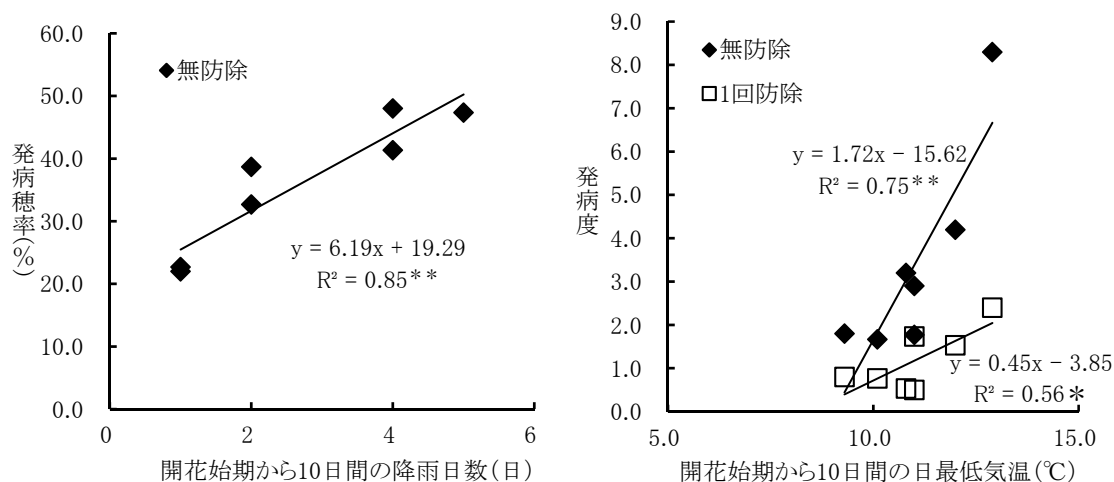


図2 開花始期から10日間の気象と発病穂率、発病度との関係（2007～2013年）

品種「シラネコムギ」、3反復で各区50穂調査しその平均を求めた。1回防除区ではチオファネートメチル剤を使用。気象データはアメダス古川地点のものを使用。**1%、*は5%で有意。

（宮城県古川農試）

○ 小麦における気象とDON濃度との関係

気象とDON濃度との関係では、開花始期11日目から20日間の降水量が多いとDON濃度が高くなることが確認されました（図3）。

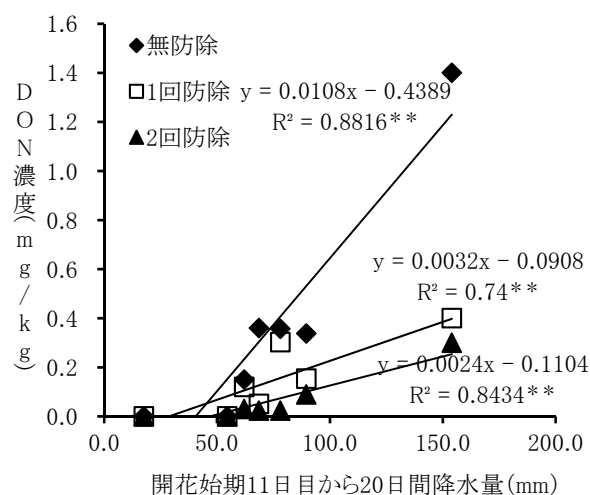


図3 開花始期11日目から20日間の降水量とDON濃度との関係（2007～2013年）

品種「シラネコムギ」、3反復で各区50穂調査しその平均を求めた。1回防除区ではチオファネートメチル水和剤、2回防除区はテブコナゾール水和剤を使用。気象データはアメダス古川地点のものを使用。**1%、*は5%で有意。

（宮城県古川農試）

○ 薬剤の選択

麦類赤かび病に対して登録のある薬剤は、赤かび病の被害を軽減することを目的に選抜され、作物残留性試験等を経て農薬取締法に基づく農薬登録を受け、実際の防除に使用されています。

しかしながら、これら薬剤が DON と NIV 等のかび毒濃度を低減するか否かはほとんど明らかでなかったため、赤かび病防除技術のエンドポイントをかび毒濃度に変更した試験を関係機関の連携のもとに行いました。その結果、赤かび病の発病を抑制する薬剤が必ずしもかび毒濃度を抑制しないとの知見が得られました。

小麦のかび毒濃度を低減する効果の高い薬剤として、チオファネートメチル、テブコナゾール、メトコナゾールが選抜されました。

また、効果の認められる薬剤としてプロピコナゾール、イミノクタジン酢酸塩、クレソキシムメチルを確認しました（図4、5）。

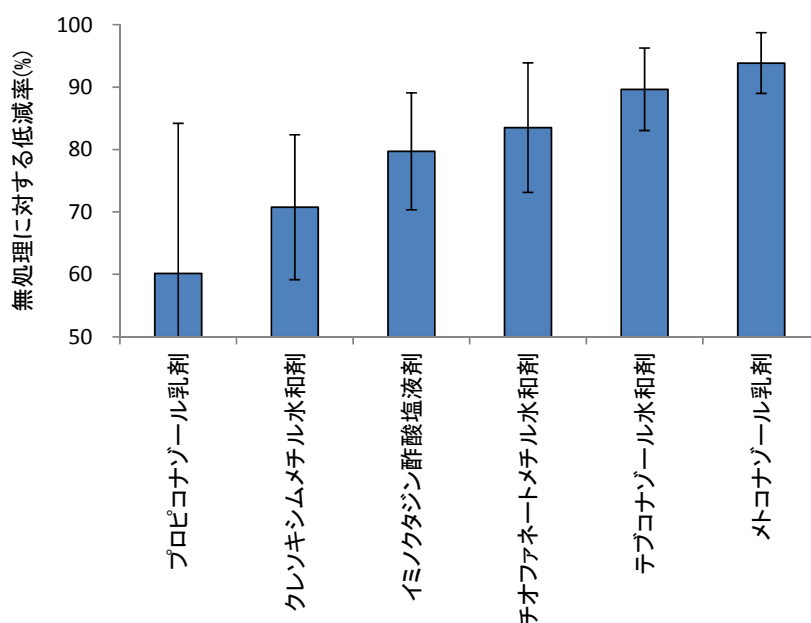


図4 各薬剤の DON 濃度に対する低減効果 (2009 年)

2003～2005 年に道総研中央農試及び十勝農試で実施した試験の平均値を求めた。

低減率は P16 の算出法による。

図中のバーは標準偏差。

(道総研 十勝農試)

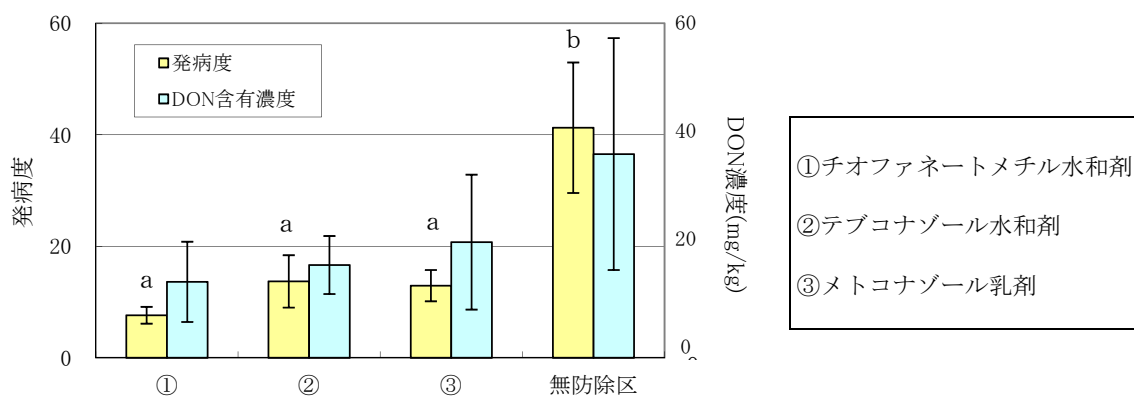


図5 農薬散布による小麦の赤かび病発病度とDON濃度の低減効果(2003年)

供試品種：あやひかり。開花期に供試薬剤を散布し、その3日後に赤かび病菌分生孢子懸濁液を噴霧接種。スプリンクラー散水により発病を促進した。
 試験は3反復で実施し、その平均を求めた。
 図中のバーは標準偏差。
 発病度の異なる添え字はTukey-Kramerの多重検定(5%水準)で有意差あり。
 DON濃度は、Tukey-Kramerの多重検定(5%水準)で有意差なし。

(農研機構中央農業研究センター)

同じ薬剤でも剤型により効果が異なり、チオファネートメチル剤では、粉剤は水和剤・ゾル剤と比べると赤かび病防除効果やかび毒低減効果が劣るとの結果が示されています(表1)。

表1 チオファネートメチル剤の剤型による防除効果の違い

剤型	発病度	防除価	DON (mg/kg)	DON 低減率	NIV (mg/kg)	NIV 低減率
粉剤	9.7	58.9	1.3	35.0	1.3	23.5
水和剤	5.2	78.0	1.1	46.5	1.0	40.0
ゾル剤	5.1	78.4	0.9	53.5	0.8	52.4
無処理	23.6	—	2.0	—	1.7	—

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

現在までに試験に供した薬剤では、DON低減効果とNIV低減効果に正の相関があり、DONまたはNIVを特異的に低減する薬剤は認められていません(図6)

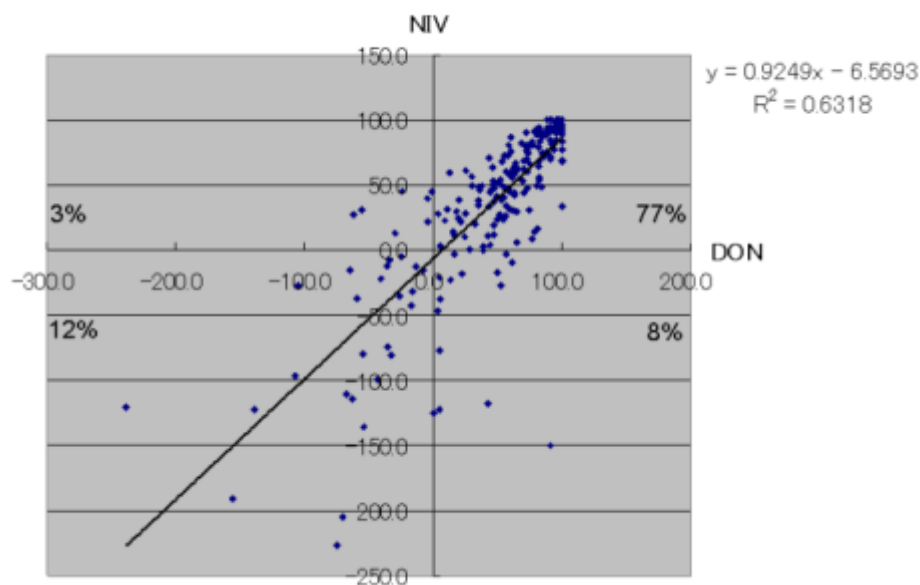


図6 DON低減効果とNIV低減効果の相関分析

縦軸、横軸は各試験区のNIV及びDONの防除価を示す。無処理のDON及びNIVの分析値が0.7 mg/kg以上であった213試験区(2002～2007年)のデータを用いて分析。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

なお、常に新しい農薬登録情報を把握し最新の知見に基づいた薬剤の選択を行うことが重要です。

防除適期

・赤かび病を防ぐためには、麦の種類に応じて、必ず以下の時期に最初の防除をしなければなりません。

	最初の防除を行う生育時期
小麦	開花を始めた時期から開花期（1穂につき数花開花をしているものが、全穂数の40～50%に達した日）までの間
二条大麦	穂揃い期（全茎の80～90%が出穂した日）の10日後頃
六条大麦	開花を始めた時期から開花期までの間

さらに、地域の気象条件、過去の被害の状況等に加え、普及指導センター、農業団体、病害虫防除所等からの各種情報や、品種の赤かび病抵抗性などを考慮して、必要に応じて追加の防除を行う必要があります。

○ 小麦の防除適期

小麦の最初の防除適期は、開花を始めた時期から開花期までとされており、このことは、最近の試験研究でも改めて確認されています(図7)。

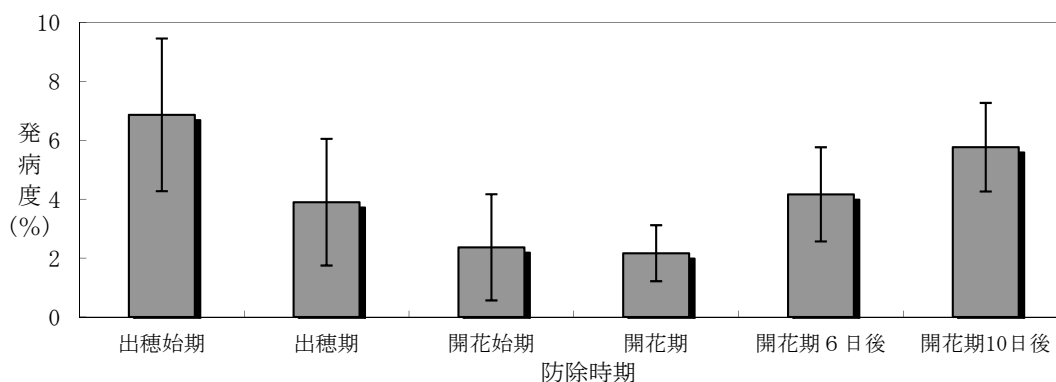


図7 防除時期と赤かび病発病度の比較

供試品種：ゆきちから、チオファネートメチル水和剤により防除を実施。

試験は3反復で実施し、その平均を求めた。図中のバーは標準偏差。

各防除時期の発病度は、Tukey-Kramerの多重検定（5%水準）で有意差なし。

(宮城県古川農試)

現在の赤かび病防除においては、発病を抑制するだけでなく、最終的な収穫物中のかび毒濃度を効果的に低減することが求められています。このため、その基礎的な知見を得るため小麦の登熟にともなう穀粒中でのかび毒蓄積様式を解析しました。その結果、小麦では、開花20日後以降（登熟後半）にかび毒蓄積量が顕著に増加することがわかりました(図8、9)*。これは、登熟後半に、登熟前半に感染した菌由来のかび毒の産生量が大幅に増加することと、開花20日後以降の新たな感染でもかび毒の蓄積が起こることによります(図8)。

このことは、小麦のかび毒濃度を効果的に低減するには、開花期頃の薬剤防除によってこの時期の菌の感染をできるだけ抑制することに加え、(開花期の防除だけでは不十分であることが予測される場合には、) 登熟後半のかび毒蓄積を抑制することが重要であることを示しています。

(※注：供試品種は、国内の品種については「農林61号」等の関東以西で栽培される品種が主体であり、北海道及び東北の小麦品種については検討していない。)

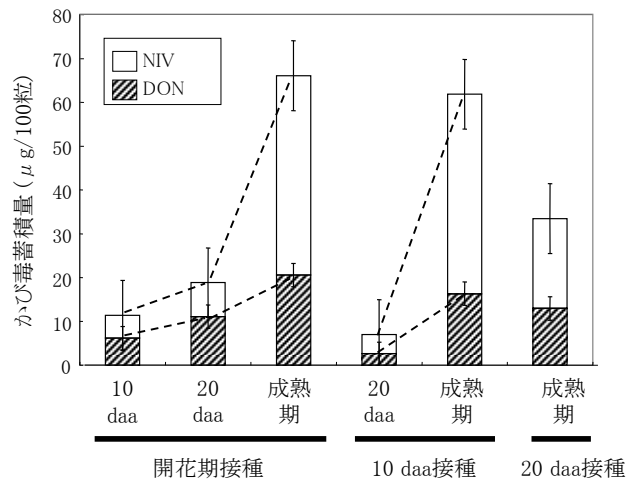


図8 異なる時期に赤かび病菌に感染させた小麦の登熟過程における穀粒中のかび毒蓄積

daa：開花後日数。成熟期：約40daa。品種：「農林61号」。ポット栽培した小麦の各生育ステージの穂に赤かび病菌の分生胞子を噴霧接種し、その後の各ステージにおけるかび毒蓄積量を測定した。反復数：3。エラーバー：標準誤差。

赤かび病抵抗性の異なる3品種（農林61号、蘇麦3号、Emblem）、2年次の試験で同様の傾向が認められた。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

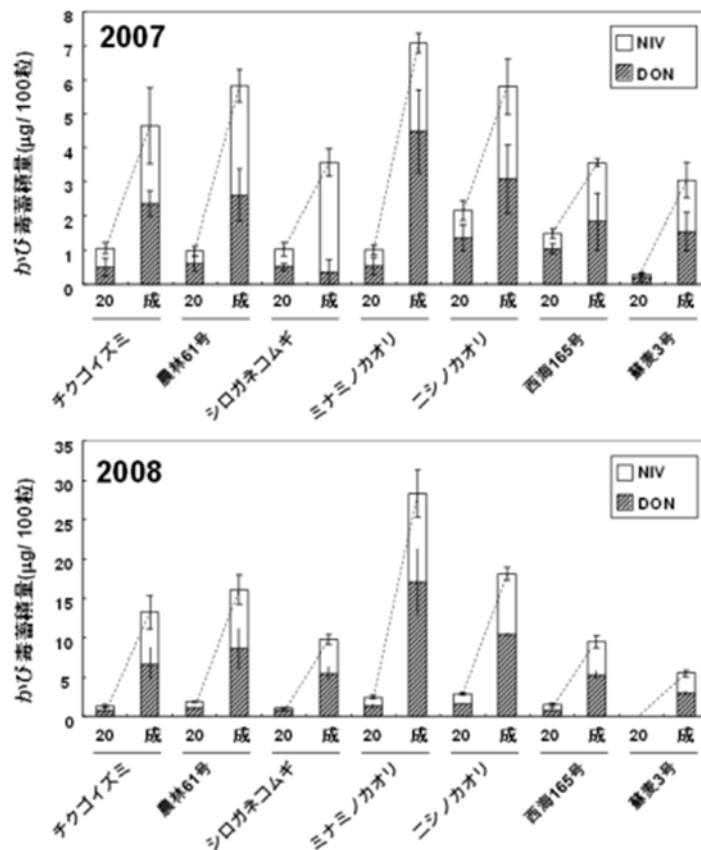


図9 各種小麦品種の登熟過程における穀粒中のかび毒蓄積量の変動

赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水処理により、出穂期以降常時赤かび病菌が感染できる条件とした圃場で試験を実施。各品種・系統の開花20日後（図中表記：20）と開花約40日後の成熟期（図中表記：成）の穀粒中かび毒蓄積量を測定。3ブロック乱塊法。エラーバー：標準誤差。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

この知見を踏まえて行った圃場薬剤散布試験（供試品種：農林 61 号、供試薬剤：チオファネートメチル水和剤）において、赤かび病の発病抑制には開花期の薬剤散布の効果が高く、加えて、かび毒の蓄積抑制には開花 20 日後頃の薬剤散布の効果が高いことが確認されました（表 2）。

表 2 小麦において薬剤散布時期が赤かび病の発病とかび毒蓄積に及ぼす影響

処理 番号	散布時期（開花後日数）				散布 回数	1年目		2年目	
	0	10	20	30		発病度 防除価	かび毒 低減率	発病度 防除価	かび毒 低減率
1	○				1回	76.4	49.9	36.1	0
2		○				0.2	8.8	16.7	16.9
3			○			1.0	45.8	0	34.3
4				○		3.4	3.6	3.2	16.4
5	○	○			2回	84.0	72.2	48.6	17.4
6	○		○			77.7	84.9	37.7	52.0
7	○			○		69.1	56.8	40.9	24.5
8	無処理				0回	—	—	—	—
						32.7	8.9	14.1	2.4
						%	mg/kg	%	mg/kg

供試品種：農林 61 号、供試薬剤：チオファネートメチル水和剤。2005 年と 2006 年の試験データ。処理番号 8 の下段は発病度の実数、かび毒（DON+NIV）の濃度の実数を示す。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水処理により、出穂期以降常時赤かび病菌が感染できる条件とし試験を実施した。
（農研機構九州沖縄農業研究センター）

さらに供試薬剤を増やした試験によって、小麦の開花期の薬剤散布が適切に行われている場合のかび毒の蓄積抑制のための追加防除は、開花 10 日後から 20 日後の間に行うのが有効であることが示されました（表 3）。

表 3 小麦における各種薬剤による追加防除時期とかび毒蓄積（DON・NIV）の関係（2010 年）

供試薬剤	散布時期（開花後日数）			発病率 （%）	発病度	発病度 防除価	DON+NIV （mg/kg）	DON+NIV 低減率
	0	10	20					
テブコナゾール水和剤	○	○		21	1.5	85	0.37	82
	○		○	25	1.9	82	0.28	86
メトコナゾール水和剤	○	○		17	1.1	89	0.40	80
	○		○	14	1.0	90	0.19	90
プロピコナゾール乳剤	○	○		24	2.1	79	0.72	64
	○		○	21	1.5	85	0.64	69
チオファネートメチル水和剤	○	○		22	2.1	80	0.43	79
	○		○	23	1.6	85	0.10	95
無処理				75	10.1	—	2.03	—

供試品種：農林 61 号。3 ブロック乱塊法で試験を実施。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水を行った接種条件で、供試薬剤（規定倍液：150L/10a 相当量）を 1 回目は開花期に散布し、2 回目を開花 10 日後もしくは 20 日後に散布した。かび毒の定量下限値は、DON、NIV とも 0.05 mg/kg であった。

* 品種「トワイズミ」を供試した試験においても同様の結果が得られている。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

また、開花 20 日後の追加防除における薬剤の剤型別かび毒低減効果は、水和剤・フロアブル剤が粉剤より高い傾向が示されています（表 4）。

表 4 小麦における各種薬剤・剤型の開花 20 日後散布の効果（2011 年）

薬 剤 名・剤 型	発病穂率 (%)	発病度	発病度防除価	DON+NIV (mg/kg)	DON+NIV 低減率
チオファネートメチル水和剤	41	4.0	11	1.45 c	48
チオファネートメチルゾル剤 8倍希釈	45	4.1	9	1.87 bc	33
チオファネートメチル粉剤DL	38	3.5	23	1.91 bc	31
メトコナゾール F剤	37	3.4	25	1.76 bc	37
メトコナゾール F剤（高濃度少量）	39	3.7	17	2.05 b	26
メトコナゾール粉剤DL	38	3.5	23	1.67 bc	40
テブコナゾール F剤	43	4.3	5	1.76 bc	37
テブコナゾール F剤（高濃度少量）	45	4.2	7	2.08 b	25
無処理	47	4.5	—	2.78 a	—

供試品種：チクゴイズミ。3 ブロック乱塊法。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水を行った接種条件で試験を実施。チオファネートメチルゾル剤 8 倍希釈：0.8 L/10a 相当量散布。F：フロアブル。メトコナゾール F 剤（高濃度少量）：10 倍液 0.8 L/10a 相当量散布。テブコナゾール F 剤（高濃度少量）：16 倍液 0.8L/10a 相当量散布。かび毒の定量下限値は、DON が 0.1 mg/kg、NIV が 0.05 mg/kg であった。同一列の同じ英字は PLSD 法による検定で有意差なし（ $P < 0.05$ ）。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

なお、薬剤による追加防除を行う場合には、薬剤の総使用回数（出穂期以降の使用回数）や使用時期等の使用基準の遵守に留意してください。薬剤や剤型によっては、収穫 30 日前以後の散布や出穂期以降 2 回以上の散布ができないものがあります（後述する大麦についても同様です）。

○小麦の追加防除要否の判断

赤かび病の防除や子実のかび毒濃度の低減に要する費用を削減するためには、追加防除の要否を判定することが重要です。

開花期における小麦の葎の赤かび病菌感染率と子実の DON 濃度との間に高い正の相関が認められました（図 10）。このことから、葎の感染率を調べると子実の DON 濃度の程度が予測できると考えられ、追加防除の要否判定が可能になると考えられます。

本手法を用いて圃場試験を行ったところ、無散布区で小麦子実の DON 濃度が暫定基準値を超えるとの予測を受け、追加防除を実施した区では DON 濃度が暫定基準値以下に抑えられた結果が得られました（表 5）。

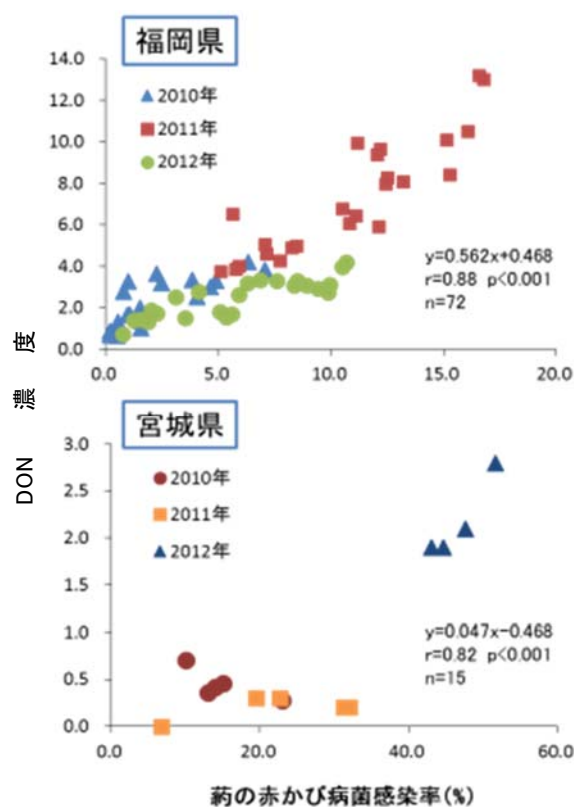


図 10 開花期の葎の赤かび病菌感染率と子実の DON 濃度との関係

供試品種：上図 チクゴイズミ、下図 シラネコムギ

(福岡県農林総試・宮城県古川農試)

表 5 コムギ赤かび病に対する各防除体系の効果と DON 低減効果 (2012 年)

試験区	供試薬剤名・散布日		葎の感染率(%)	発病穂率(%)	発病度	DON濃度(mg/kg)	DON低減率(%)
	開花期	開花期20日後					
追加防除区	メトコナゾールFL	チオファネートメチル水和剤	4.3a	8.0a ¹⁾	0.04	0.7a	72
1回防除区	メトコナゾールFL	—	3.7a	9.0a	0.05	1.1b	56
無散布区	—	—	4.0a	24.0b	0.42	2.5c	

供試品種：チクゴイズミ

注1) 異文字間にはTukey-KramerのHSD検定5%水準で有意差があることを示す。

(福岡県農林総試)

○ 大麦の防除適期

① 二条大麦

我が国の二条大麦の大部分は、開花期に葍が抽出しない閉花受粉性であり、受粉時よりも、受粉後に穎花の中で実り始めた子実により葍殻（受粉を終えた葍）が押し出されてくる時期（穂揃期の10日後ごろ）の方が赤かび病に感染しやすい状況になります（図11）。このため、二条大麦では、この時期に最初の薬剤防除を行うことにより、赤かび病の発病及びかび毒蓄積とともに最も高い低減効果が現れることが確認されました（表6）。

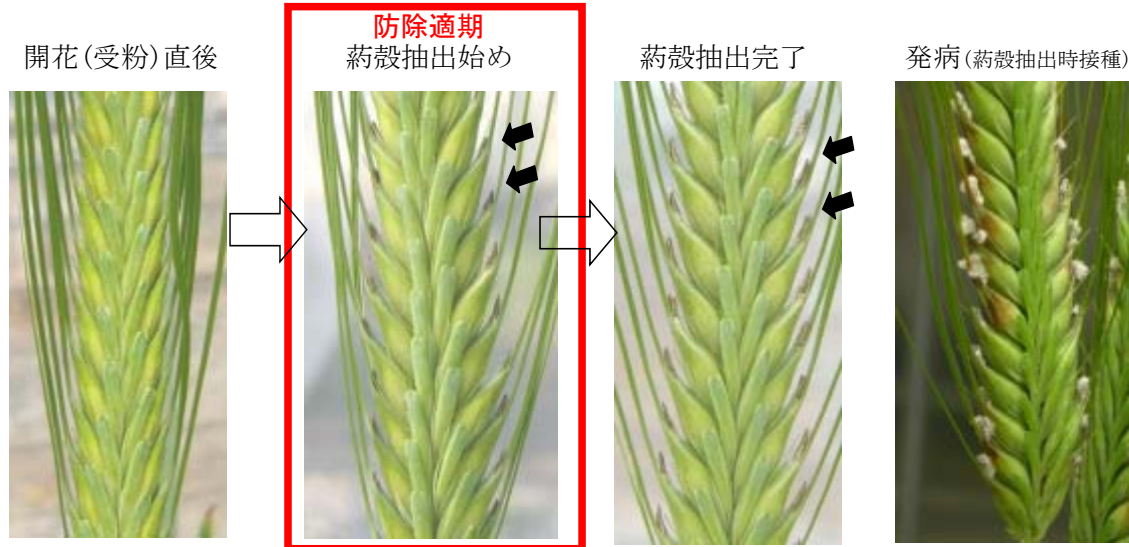


図11 二条大麦(閉花受粉性)における葍殻抽出と葍殻抽出時接種による発病の様子

図中黒矢印は葍殻を示す。品種はニシノチカラ（左、中央左、中央右）及びダイセンゴールド（右）
（農研機構九州沖縄農業研究センター）

表6 二条大麦(閉花受粉性)における薬剤散布時期が赤かび病の発病とかび毒蓄積濃度に及ぼす影響

開花日と農薬散布日の差 (生育ステージ)	2005年		2006年	
	発病度 防除価	DON+NIV 低減率	発病度 防除価	DON+NIV 低減率
-3日 (出穂2日後)	34 c	50 bc	6 ab	17 ab
0日 穂揃い・開花期	33 c	47 b	6 ab	41 bc
4日	74 d	68 bc	37 cd	31 abc
9日 (葍殻抽出前)	87 d	76 bc	45 cd	53 cd
11日 葍殻抽出始め	88 d	82 c	50 d	75 d
13日 葍殻抽出盛期	NT	NT	39 cd	80 d
15日 葍殻抽出終期	74 d	69 bc	25 bc	79 d
20日	22 bc	50 bc	13 ab	52 cd
30日	-9 a	42 b	4 a	55 cd
無散布区 (無散布区実測値)	0 ab (13.7)	0 a (25.0 μ g/g)	0 a (3.5)	0 a (6.1 μ g/g)

罹病トウモロコシ粒の散布等により赤かび病の発生しやすい圃場条件下で試験。

品種「ニシノチカラ」、「チオファネートメチル水和剤」により防除を実施。

「葍殻抽出期」：50%以上の穂で葍殻が見え始めた日、「葍殻抽出盛期」：50%以上の穂で葍殻抽出が完了した日、「葍殻抽出終期」：90%以上の穂で葍殻抽出が完了した日。

防除価は、開花20日後の対照区（農薬無散布区）に対する各処理区の発病度の低減率。

試験は3反復(2005年)と4反復(2006年)で実施し、その平均を求めた。表中「NT」は試験未実施。

同一カラム内の同一の添え字はFisher's PLSD法(5%水準)で有意差なし。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

(※注：現在栽培されている二条大麦品種の中にごく一部開花受粉性品種があるが、それについては検討していない。)

② 六条大麦

六条大麦は一般に開花性であるため、小麦と同じく開花を始めた時期から開花期が最初の防除適期となります。なお、六条大麦の品種の多くは赤かび病抵抗性が弱～やや弱であることから、気象状況や生育状況も考慮し、適期に確実に防除することが必要です。

なお、国内の主要大麦品種の比較試験において、登熟過程における赤かび病病勢進展とかび毒蓄積特性は、六条皮麦品種、六条裸麦品種、二条皮麦品種で異なることが確認されています。

六条皮麦品種（カシマムギ、シュンライ）では、六条裸麦品種（イチバンボシ）や二条皮麦品種（ニシノチカラ）に比べ、早くから赤かび病の発病とかび毒の蓄積が進展し、その程度も高い傾向が認められました（図12）。

このことは、同程度の発病環境条件のもとでは、六条皮麦品種において、六条裸麦品種や二条皮麦品種に比較して、より早期、複数回の追加防除が必要となることを示しています。

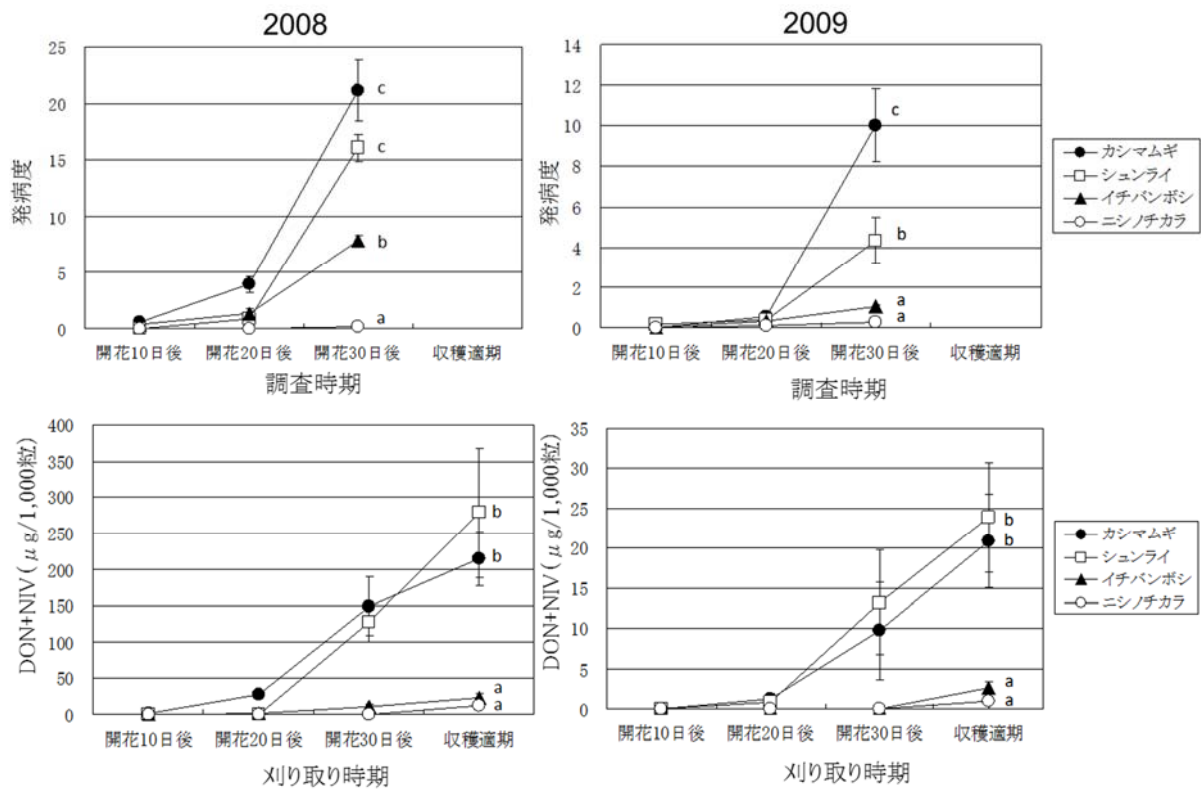


図12 大麦品種の登熟過程における赤かび病発病度とかび毒蓄積量の経時的推移
赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布を行った接種条件で試験を実施。上図は赤かび病発病度、下図はかび毒蓄積量を示す。左図は2008年の結果、右図は2009年の結果を示す。異なる英字間は Ryan-Eniot-Gabriel-Welsch の多重検定 (5%水準) で有意差があることを示す。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

③六条裸麦

六条裸麦においては、小麦の場合と同様、赤かび病の発病抑制には開花を始めた時期から開花期の薬剤散布が最も効果が高く、開花期の薬剤散布が適切に行われている場合のかび毒濃度低減のための追加防除は、開花 10 日後から 20 日後の間に行うのが有効であることが示されました（表 7、表 8）。

表 7 六条裸麦における薬剤散布時期が赤かび病の発病とかび毒蓄積に及ぼす影響

試験	散布時期 (開花後日数)	発病穂率 (%)	発病度	発病度 防除価	かび毒 (DON+NIV) (mg/kg)	かび毒 低減率 (%)
2010	0	38 b	0.7 b	82	1.6 ab	43
	10	89 a	2.4 a	38	1.0 b	65
	20	99 a	3.4 a	12	0.7 b	75
	30	98 a	3.5 a	10	1.7 ab	42
	無散布	97 a	3.9 a	-	2.9 a	-
2011	0	100 a	5.7 b	50	0.9 ab	18
	10	99 a	5.7 b	50	0.4 b	66
	20	100 a	10.2 a	10	0.3 b	72
	30	100 a	10.4 a	9	0.4 ab	60
	無散布	100 a	11.4 a	-	1.1 a	-

供試品種：イチバンボシ。供試薬剤：チオファネートメチル水和剤 1,000 倍液。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水を行った接種条件で試験を実施。数値は 3 反復の平均値。各試験年の同一列の同じ英字は Tukey 法による検定で有意差なし (P<0.05)。かび毒の定量下限値は DON が 0.1 mg/kg、NIV が 0.05 mg/kg であった。

注) チオファネートメチル水和剤は 2015 年 9 月現在、麦類（小麦を除く）の赤かび病では、使用時期が収穫 30 日前まで、使用回数は 3 回以内（出穂期以降は 1 回以内）となっており、本剤を出穂以降に 2 回散布したり、六条裸麦の収穫 30 日前以後（本試験では開花後 20 日、30 日が該当）に使用することはできません。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

表 8 六条裸麦における追加散布時期が赤かび病の発病とかび毒蓄積に及ぼす影響

試験	散布時期 (開花後日数)	発病穂率 (%)	発病度	発病度 防除価	かび毒 (DON+NIV) (mg/kg)	かび毒 低減率 (%)
2010	0	38 a	0.7 a	82	1.6 a	43
	0, 10	25 a	0.5 a	88	0.9 ab	68
	0, 20	46 a	0.9 a	77	0.4 b	85
	0, 30	47 a	1.2 a	70	0.6 b	78
	- (無散布)	(97)	(3.9)	-	(2.9)	-
2011	0	100 a	5.7 a	50	0.9 a	18
	0, 10	97 a	4.9 a	57	0.4 a	60
	0, 20	98 a	4.9 a	57	0.3 a	72
	0, 30	99 a	6.7 a	42	0.5 a	57
	- (無散布)	(100)	(11.4)	-	(1.1)	-

供試品種：イチバンボシ。供試薬剤：チオファネートメチル水和剤 1,000 倍液。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水を行った接種条件で試験を実施。数値は 3 反復の平均値。統計検定は散布区のみで行い、各試験年の同一列の同じ英字は Tukey 法による検定で有意差なし (P<0.05)。かび毒の定量下限値は DON が 0.1 mg/kg、NIV が 0.05 mg/kg であった。

注) チオファネートメチル水和剤は 2015 年 9 月現在、麦類（小麦を除く）の赤かび病では、使用時期が収穫 30 日前まで、使用回数は 3 回以内（出穂期以降は 1 回以内）となっており、本剤を六条裸麦の収穫 30 日前以後（本試験では開花後 20 日、30 日が該当）に使用すること、初回防除と追加防除の両方に使用することはできません。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

④六条皮麦

六条皮麦においては、関東地方での赤かび病菌を接種した多発条件下の試験では、開花期の20日後頃にはDON蓄積が認められることから、かび毒低減のための追加防除時期はそれより早める必要があることが示唆されました(図13)。赤かび病多発条件のもとでは、開花期あるいは開花期10日後の1回防除のみでは防除効果が安定せず、かび毒蓄積を抑制するためには開花期の防除に加え10日後に追加防除を行うことが有効との結果が得られています(表9)。

なお、赤かび病が甚発生となった場合には、複数回の薬剤追加散布によりかび毒低減効果は認められたものの、DON・NIV濃度が6 mg/kg程度までしか低下せず、甚発生時の防除対策としては不十分であると考えられます(表9)。

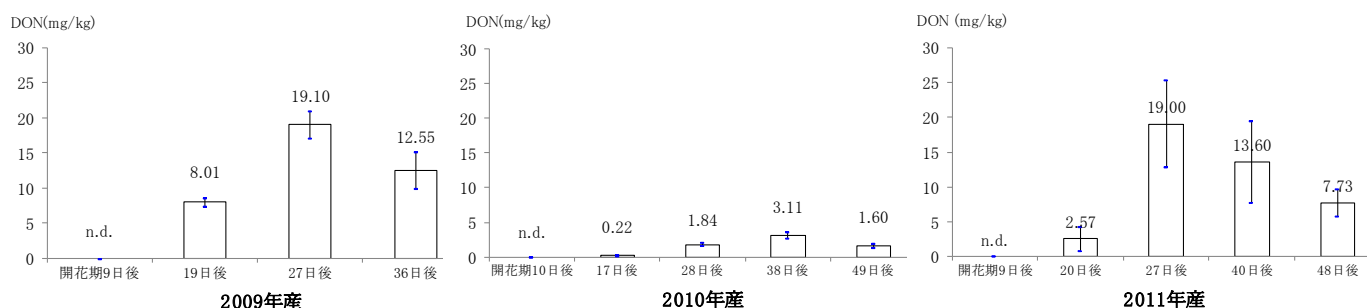


図13 六条皮麦における開花期から成熟期にかけての各年次のDON濃度の推移

供試品種：すずかぜ。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水を行った接種条件で試験を行った。エラーバーは標準誤差を示す。n=3。

(埼玉農技研)

表9 六条皮麦での2種薬剤を用いた散布試験によるかび毒の低減効果(2010-2012年)

防除回数	防除時期			DON+NIV濃度(mg/kg)			かび毒低減率(%)		
	開花期	10日後	20日後	2010年	2011年	2012年	2010年	2011年	2012年
1回	TM	—	—	1.21 *	2.03	12.7 *	49.2	79.8	55.2
1回	M t	—	—	1.19 **	5.40	15.0 *	50.1	46.4	47.2
1回	—	TM	—	0.45 **	4.93	12.7 *	81.1	51.0	55.2
1回	—	M t	—	1.28 *	2.93	9.4 **	46.4	70.9	66.9
2回	TM	M t	—	0.41 **	0.73 *	5.5 **	82.8	92.7	80.5
2回	M t	TM	—	0.37 **	2.07	6.8 **	84.3	79.5	76.2
3回	TM	M t	M t	0.26 **	0.47 *	7.2 **	89.3	95.4	74.8
3回	M t	TM	TM	0.13 **	0.43 *	6.3 **	94.6	95.7	77.7
無防除	—	—	—	2.38	10.07	28.4	—	—	—

供試品種：すずかぜ。TM：チオファネートメチル水和剤1,000倍、Mt：メトコナゾール水和剤(フロアブル)2,000倍。赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布とスプリンクラー散水を行った接種条件で試験を行った。各試験年次において、無防除区に対し**は1%、*は5%水準で有意差あり(Dunnnett法)。

注) TM剤は2015年9月現在、麦類(小麦を除く)の赤かび病では、使用時期が収穫30日前まで、使用回数は3回以内(出穂期以降は1回以内)となっており、本剤を六条皮麦の収穫30日前以後(本試験では開花20日後が該当)に使用すること、初回防除と追加防除の両方や2回以上の追加防除に使用することはできません。

(埼玉農技研)

○ 農薬散布後の降雨の影響

- ・赤かび病の防除は適期を逃さず行うことが重要であり、防除適期に降雨が多い場合であっても、短い晴れ間を利用するなどして、確実に防除を実施する必要があります。

赤かび病の防除は適期に正しく散布できたかどうかで効果が大きく異なります。防除は通常降雨を避けて実施しますが、防除適期に降雨が多く、雨を避けて行うことが困難な場合には、短い晴れ間を利用するなど、適期に散布することを優先して実施することも必要となります。

農薬散布後に雨が降った場合の防除効果について、散布直後に降雨があった場合のみ有意に防除効果の低下が認められましたが、散布 30 分以降の降雨であれば防除効果の有意な低下は認められませんでした(表 10)。

病虫害発生予察情報の他、天気予報や週間天気予報などを参考にして、必ず適期に防除を実施するように努めましょう。

なお、チオファネートメチル粉剤を用いた試験では、農薬散布 1 時間後でも雨(1 時間あたり 3.6 mm)が 5 時間を超えて続く場合や、強い雨(1 時間あたり 25 mm)が降る場合には防除効果の低下が認められましたので、粉剤を利用する際には降雨への注意が必要です(表 11)。

また、防除作業を委託している場合は、防除業者等と日程調整を図り、雨の合間の適期防除に努めましょう。

表 10 農薬散布から降雨までの時間の影響 (2005 年)

処理	発病度 (%)	赤かび病防除価 (%)	かび毒濃度 (mg/kg)	かび毒低減率 (%)
無降雨	2	a	96	1.5
散布直後降雨	28	b	54	9.8
30分後降雨	9	a	86	5.0
60分後降雨	7	a	89	1.0
120分後降雨	4	a	94	3.3
240分後降雨	3	a	95	1.7
対照区(農薬無散布)	62	c	—	40.7

供試品種：チクゴイヅミ。チオファネートメチル水和剤により防除を実施。

降雨は強い雨(25 mm/h)を2時間継続して実施。

降雨処理終了後に赤かび病菌を噴霧接種。10日後に発病度を調査した。

かび毒濃度はDONとNIVの濃度を合算。

試験は3反復で実施し、その平均を求めた。但し、対照区の発病度は、それぞれの

降雨条件で実施した農薬無散布区全て(6処理区×3反復)の平均。

同一カラムの異なる添え字はTukey-Kramerの多重検定(5%水準)で有意差あり。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

表11 チオファネートメチル粉剤の防除効果に及ぼす降雨強度と時間の影響(2005年)

降雨強度	降雨時間	総降雨量 (mm)	発病度 (%)		赤かび病 防除価 (%)	かび毒 濃度 (mg/kg)	かび毒 低減率 (%)	
弱い雨 3.6 mm/h	0時間	0	33	b	53	23	b	49
	3時間	11	17	a	75	11	a	75
	5時間	18	39	bc	43	34	bc	27
	7時間	25	54	c	22	39	c	14
	14時間	50	49	c	28	40	c	13
強い雨 25 mm/h	0時間	0	33	a	54	21	a	52
	26分	11	46	ab	34	28	ab	35
	43分	18	44	ab	37	40	b	7
	1時間	25	41	ab	42	38	b	12
	2時間	50	48	b	31	45	b	-5

供試品種：チクゴイズミ。降雨は農薬散布1時間後から各降雨条件に従い実施。
 最長の降雨条件が終了した10時間後に赤かび病菌を噴霧接種。10日後に発病度を調査。
 かび毒濃度はDONとNIVの濃度を合算。
 試験は3反復で実施し、その平均を求めた。
 同一カラムの異なる添え字はTukey-Kramerの多重検定(5%水準)で有意差あり。
 (農研機構九州沖縄農業研究センター)

－ 赤かび病の発生傾向 －

赤かび病の発生する気象条件については、以下のようなことがいわれています。

- (1) 赤かび病の発生と出穂期前後の気象は重要な関係があり、多発生の年はムギの出穂期以降の平均気温が18～20℃を越え、湿度も80%以上が3日以上続く場合、あるいは降雨又は濃霧頻度が高い(日照時間が少ない)場合である。
- (2) 一般にムギの出穂が遅れることは、梅雨期に遭遇する公算が多くなり、発生が多くなる傾向がある。
- (3) 本病の第一次発生源である子とう殻形成が盛んになるのは、日平均気温で13℃以上、降雨のあった直後であり、子とう胞子の飛散が盛んになるのは、日最高気温で15℃以上、日最低気温が10℃以上で、湿度80%以上か降雨直後である。子とう殻形成と子とう胞子飛散とはおおむね同傾向を示すから、気象調査と平行してこの調査を行い予察に利用する。

(発生予察事業の調査実施基準(農林水産省消費・安全局植物防疫課))

○ 薬剤耐性菌の発生と対策

我が国の主要な赤かび病菌である *F. graminearum* 種複合体においてチオファネートメチル剤に対する耐性菌が 2004 年に大分県で 5 株発見されました。いずれの株も MIC（最小発育阻止濃度）が 100 ppm 以上の高度耐性を示す *F. graminearum* 種複合体中の *F. asiaticum* と呼ばれる菌種で、トリコテセン毒素は NIV 産生タイプでした。

2005 年には隣接する福岡県と熊本県において、さらに 2008 年には三重県において同様の耐性株が検出されています。遺伝子分析による個体識別の結果からは、これらの耐性株はそれぞれの地域で別々に発生したと推定されています。

ただし、いずれの生産地でも耐性株の分離頻度は低く、チオファネートメチル剤の効力低下は確認されていません。

一般的にチオファネートメチルのようなベンズイミダゾール系薬剤は連続使用によって耐性菌率が高まり、使用中止後もその率は下がりにくいことが知られています。

北海道における赤かび病菌の 1 種である *Microdochium nivale* は、既に同剤耐性菌が優占しています。また、中国南部では *F. graminearum* 種複合体の同剤耐性菌による問題が報告されています。

チオファネートメチル剤は、価格も安く、本州においては防除の主力となっている薬剤であることから、各都道府県において耐性菌検定を継続してその発生を警戒していく必要があります。

さらに、他系統の薬剤の普及をすすめ、同一薬剤の連続散布は避けてローテーション散布により、耐性菌の出現のリスクを低下させ、出現しても密度を抑制する必要があります。チオファネートメチル高度耐性 *F. graminearum* 種複合体に対してはチオファネートメチルと異なる系統の薬剤であるテブコナゾールの有効性が確認されています。

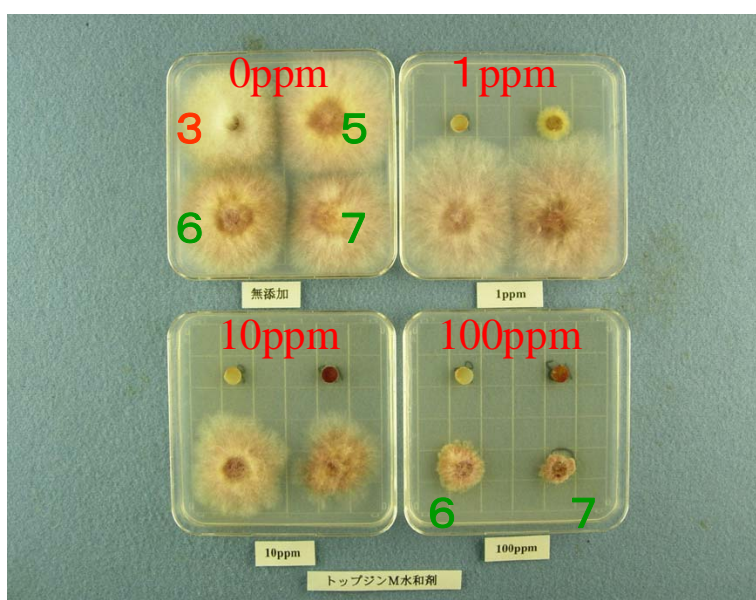


図 14 福岡県で発生したチオファネートメチル剤耐性の赤かび病菌
写真中の 6 と 7 は高度耐性株

－ かび毒と農薬の毒性 －

《急性毒性》

DON、NIV 等と日本で麦類赤かび病の防除に使用されている代表的な農薬の急性経口毒性(LD₅₀)を比較すると、かび毒の経口急性毒性はかなり強いといえます。

かび毒又は農薬の種類		急性経口毒性 (LD ₅₀ 、ほ乳類) (mg/kg 体重)
かび毒	DON	46
	NIV	19.5
	T-2 トキシン	10
農薬	チオファネートメチル	2,270
	テブコナゾール	1,620
	プロピコナゾール	509
	メトコナゾール	410

《一日耐容摂取量》

ヒトがある物質を一生涯にわたり毎日摂取しても健康への悪影響がないと推定される摂取量として、かび毒については一日耐容摂取量 (TDI) が、また、農薬については一日許容摂取量 (ADI) が定められています。

天然に存在するかびが産生し、管理が困難な DON、NIV 等の TDI と、意図的に使用される農薬の ADI は単純には比較できないものの、かび毒の TDI は、赤かび病防除に使用されている農薬の ADI より、いずれもかなり低いことがわかります。

健康影響の種類は異なりますが、ヒトに対して健康への悪影響がないとされるかび毒の摂取量は、農薬で許容されているそれよりもかなり少量といえます。

かび毒または農薬の種類		TDI または ADI ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日)	TDI、ADI の設定根拠となった 健康影響の種類	安全係数
かび毒	DON	1	体重増加抑制	100
	NIV	0.4	血液毒性 (白血球数減少)	1000 (LOAEL)
	T-2 トキシン	0.06	血液毒性 (白血球及び赤血球数の変化)	500 (LOEL)
農薬	チオファネートメチル	80	生殖毒性 (産子数の減少、子体重増加抑制)、甲状腺障害	100
	テブコナゾール	29	副腎の病変 (副腎束状帯細胞の軽微な肥大)	100
	プロピコナゾール	19	消化管の病変 (胃粘膜うっ血、十二指腸粘膜うっ血等)	100
	メトコナゾール	20	生殖毒性 (胎児の水頭症)	100

DON 及び NIV の TDI は、内閣府食品安全委員会が 2010 年に設定した TDI、T-2 トキシンは JECFA が 2001 年に設定した PMTDI、テブコナゾール、プロピコナゾール、メトコナゾールは内閣府食品安全委員会がそれぞれ 2015 年、2014 年、2015 年に設定した ADI、チオファネートメチルは JMPR が 1998 年に設定した ADI。

以上のことから、農薬で赤かび病を防除し、麦類の DON・NIV 汚染を防止、低減することは、麦類に含まれる DON・NIV の摂取による人の健康へのリスクの低減に寄与することになります。

5) 登熟・収穫期

適期収穫の徹底・・・高

赤かび病被害麦の仕分けの徹底・・・高

○ 適期収穫

小麦については、適期収穫日より5日間刈り遅れることにより、DON濃度が高くなる傾向が報告されています(図1)。図1では適期収穫した麦と刈り遅れた麦のDON濃度に有意差はありませんでしたが、これは、麦粒中でDONが試験当時の分析法では測定できなかったDON配糖体(DON-3-グルコシド)に変換された可能性も否定できません。また、収穫適期以降の降雨の有無がDON濃度の増加に影響することも考えられます。そのため、刈り遅れの影響を過小評価している可能性もあるため、本試験結果の解釈には注意が必要です。いずれにしても、適期収穫の徹底が、DON濃度の低減には有効です。

麦類の収穫適期は年により大きく変動します。普及指導センターや農業団体等からの情報に注意し、生育ステージの予測システムを活用したり、各圃場を巡回したりして、登熟の程度を把握して適期に収穫するように努めましょう。

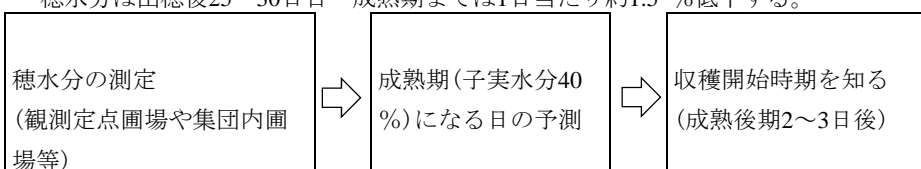
麦粒中の水分が30%を下回ることが収穫適期の一つの目安となります。その時期になると、麦粒は手で潰しても汁はほぼ出ず、麦稈にはごく僅かに緑が残っている程度となります。

共同乾燥調製施設を利用している地域は、各圃場の生育状況を把握しつつ、地域で収穫作業計画を作成し、施設の受入能力にあわせた計画的な収穫を行いましょう。

小麦適期収穫のための穂水分測定による成熟期予測方法の例

収穫適期を知るための成熟期予測(出穂後の25~30日後から開始)

穂水分は出穂後25~30日目~成熟期までは1日当たり約1.5%低下する。



- ◎システムの活用の効果
- ・1~2日の誤差で成熟期を予測できる。
 - ・およその収穫時期を知り、収穫体制を整備できる。
 - ・集団、組織内で刈り取り順が決定できる。

「小麦の品質確保に向けた適期収穫作業に向けて」(北海道農政部)

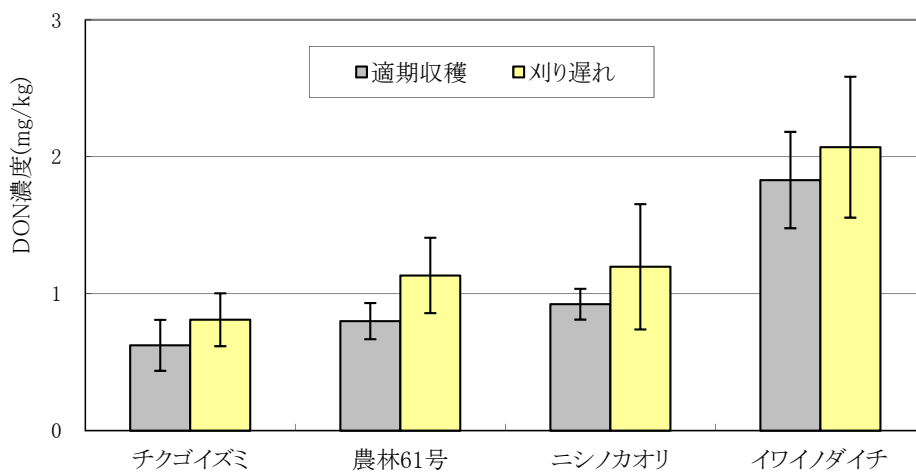


図 1 刈り遅れが DON 濃度に及ぼす影響 (小麦)

罹病トウモロコシ粒の圃場への散布等により赤かび病の発生しやすい条件下で実施。刈り遅れ区は適期の 5 日後に収穫。試験は 3 反復で実施し、その平均を求めた。図中のバーは標準偏差。各品種とも t 検定 (5%水準) で有意差なし。

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

6) 乾燥・調製

収穫後は速やかに乾燥・・・中

乾燥調製施設における赤かび病被害麦の仕分けの徹底・・・高

粒厚選別や比重選別などによる赤かび病被害粒の選別・・・高

○ 乾燥

収穫時の水分が比較的高い場合、収穫後、適切な水分まで乾燥する間に、赤かび病菌が増殖し、DON・NIV が産生される場合があります。収穫した麦粒は収穫後可能な限り速やかに乾燥しましょう。なお、この間は、できるだけ収穫した麦粒を長時間放置することは避け、通風などにより水分が低下するように努めましょう。

なお、半乾貯留中であっても、DON・NIV が増加する場合がありますので、赤かび粒の混入やかび毒濃度をチェックし、その結果を踏まえて、速やかに仕上げ乾燥を行うなどの適切な対応を検討しましょう。

農林水産省では、米麦の乾燥調製に当たっての留意事項として以下の指導を行っています。

－ 品質事故防止のための乾燥 －

- ・ 荷受け後、乾燥等各種作業を行うに当たっては、常に穀温及び水分の推移を把握する。
- ・ 水分が20%以上の原料は、必ず荷受け後4時間以内に第1回目の乾燥を実施するか、貯留乾燥ビンにより通風乾燥を行う。なお、外気温が高い場合には、原料貯留時間を更に短くする。
- ・ 適切な熱風温度（50～60℃）等を維持する。
- ・ 半乾貯留は35日を限度とし、外気温が25℃を超える時期に乾燥を行う場合には、原則として半乾貯留は行わず、速やかに仕上げ乾燥を行う。 等

「大規模乾燥調製貯蔵施設の設置・運営に当たっての留意事項について」
(平成5年10月26日付け5農蚕第6517号農林水産省農蚕園芸局長通知)

○ 被害麦の仕分け

共同乾燥調製施設においては、荷受け時に必ず赤かび病被害粒のチェックを行い、赤かび病被害粒がみられた場合は、必要に応じてその他の麦とは別に乾燥するなど仕分けを徹底する必要があります。赤かび病の被害を受けた小麦粒は、白色から桃色を呈し、萎縮した形態を示すものがあります(図1)。また、圃場で麦が倒伏した場合は、麦粒中のDON・NIV濃度が高くなる可能性がありますので、できるだけ倒伏しないような栽培管理を実施するとともに、倒伏した場合には必要に応じて他の麦とは別に乾燥するなど仕分けを行いましょう。



図1 小麦の健全粒(左)と赤かび病被害粒(右)

○ 農産物検査規格の基準

農産物検査法（昭和26年法律第144号）に基づく農産物検査規格では、赤かび粒が0.0%を超えて混入した食用麦は規格外となります。共同乾燥調製施設等においては、赤かび病被害粒が混入しないよう、粒厚選別、比重選別等により選別を行なう必要があります。

なお、農産物検査規格では、麦角粒（麦角菌（*Claviceps purpurea*）が産生する麦角アルカロイドというかび毒を含む。）については異物として、0.0%を超えて混入した食用麦は規格外となりますので、こちらも赤かび粒と同様に、選別により除去する必要があります。

○ 粒厚選別と比重選別の効果

赤かび病被害粒は、粒厚が薄くなったり比重が軽くなったりすることが多いことから、粒厚選別や比重選別により、DON濃度の低減を図ることが可能です。

粒厚とDON濃度の関係は、必ず一致するわけではありませんが、小麦については、粒厚が薄いほどDON濃度が高い傾向があることが確認されています(図2)。

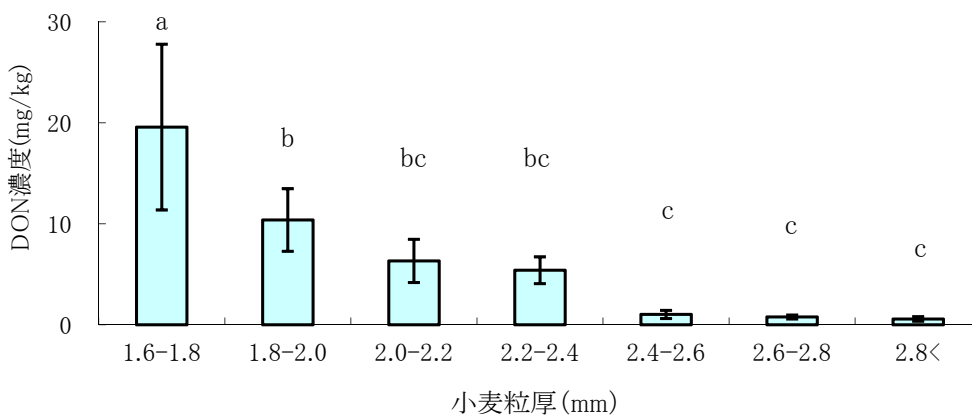


図2 赤かび病自然発生圃場（4か所）から採取した小麦の粒厚とDON濃度の関係

図中のバーは標準偏差。

異なる添え字はTukey-Kramerの多重検定（5%水準）で有意差あり。

（農研機構九州沖縄農業研究センター）

粒厚とかび毒濃度の関係については、大麦においても同様の傾向が確認されています(図3)。

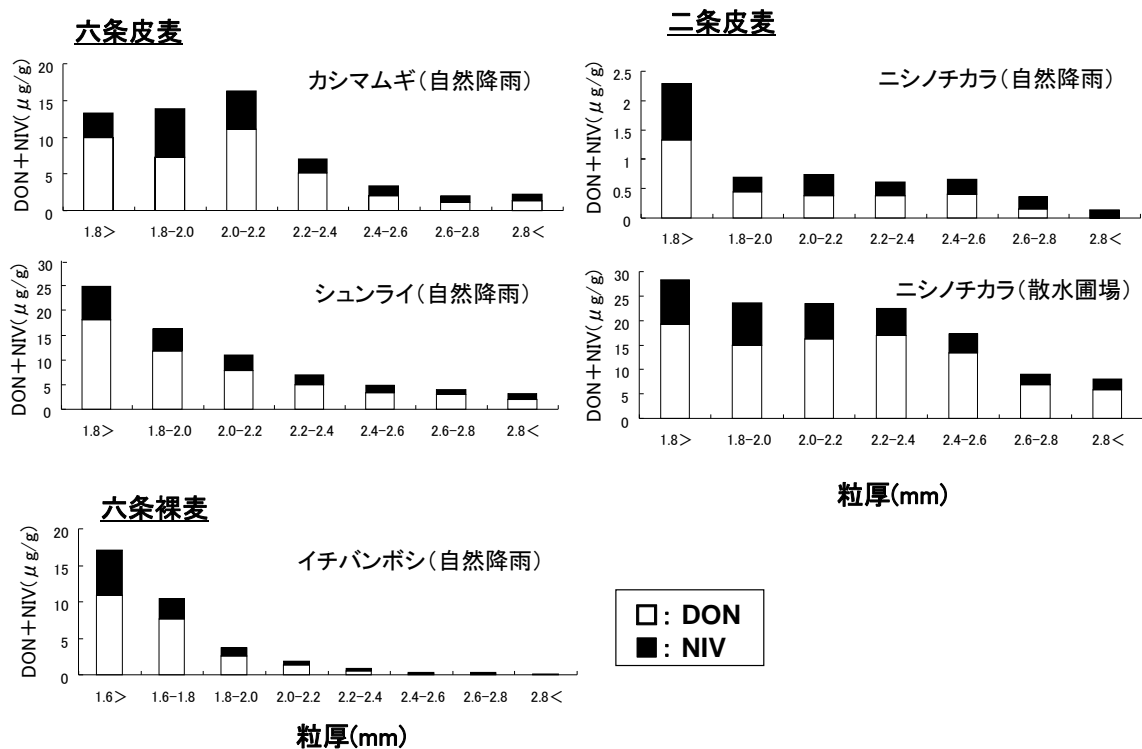


図3 赤かび病菌接種圃場から採取した大麦の粒厚とかび毒濃度の関係 (2010年)

赤かび病菌培養トウモロコシ粒の畝間散布を行った接種条件で試験を実施(ニシノチカラにはスプリンクラー散水を行った散水圃場区も設置)。成熟期収穫物を乾燥・脱穀後、1.8 (イチバンボシのみ 1.6) ~2.8 mm の縦目篩いによって 0.2 mm 間隔で篩い分けを行った。各粒厚分画のかび毒濃度を ELISA 法で測定した。かび毒の定量下限値は、DON が 0.1 $\mu\text{g/g}$ 、NIV が 0.05 $\mu\text{g/g}$ であった。(農研機構九州沖縄農業研究センター)

また小麦では、共同乾燥調製施設における粒厚選別・比重選別等による DON 濃度の低減効果を確認しています (図4)。

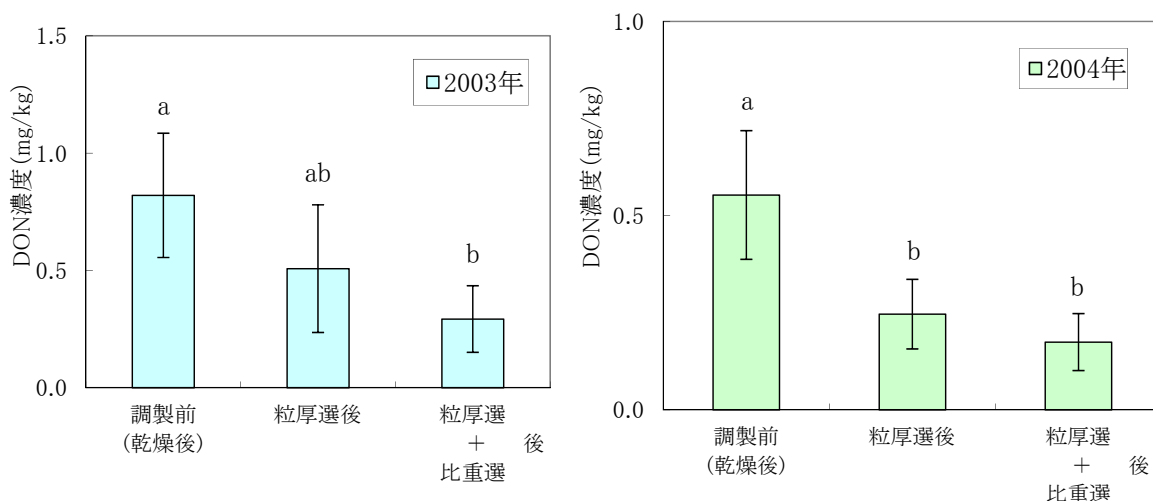


図4 共同乾燥調製施設での各調製段階における DON 濃度の変化

試験は4反復(2003年)と5反復(2004年)で実施し、その平均を求めた。

図中のバーは標準偏差。異なる添え字は Tukey-Kramer の多重検定 (5%水準) で有意差あり。(佐賀県農試)

○ その他の選別

この他の選別法として、小麦においては、被害粒の除去のための光学式選別機や、カメムシによる斑点米を除去する目的で導入が進められている色彩選別機（図5、6）を用いても、被害粒が除かれ、結果としてDON濃度が低減されるとの結果が得られています。

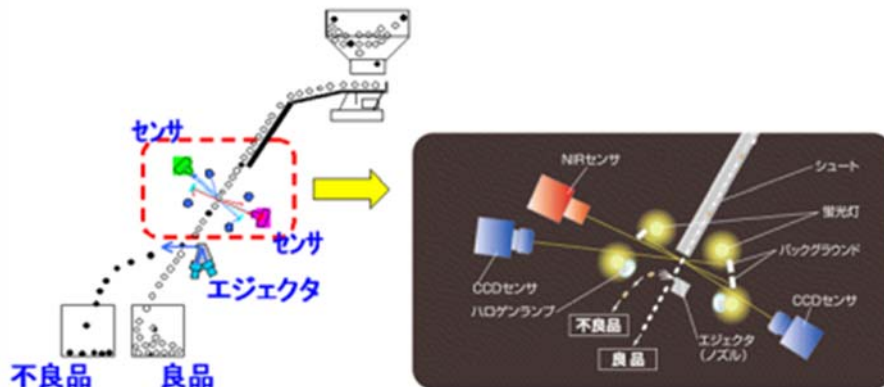


図5 色彩選別機の選別原理

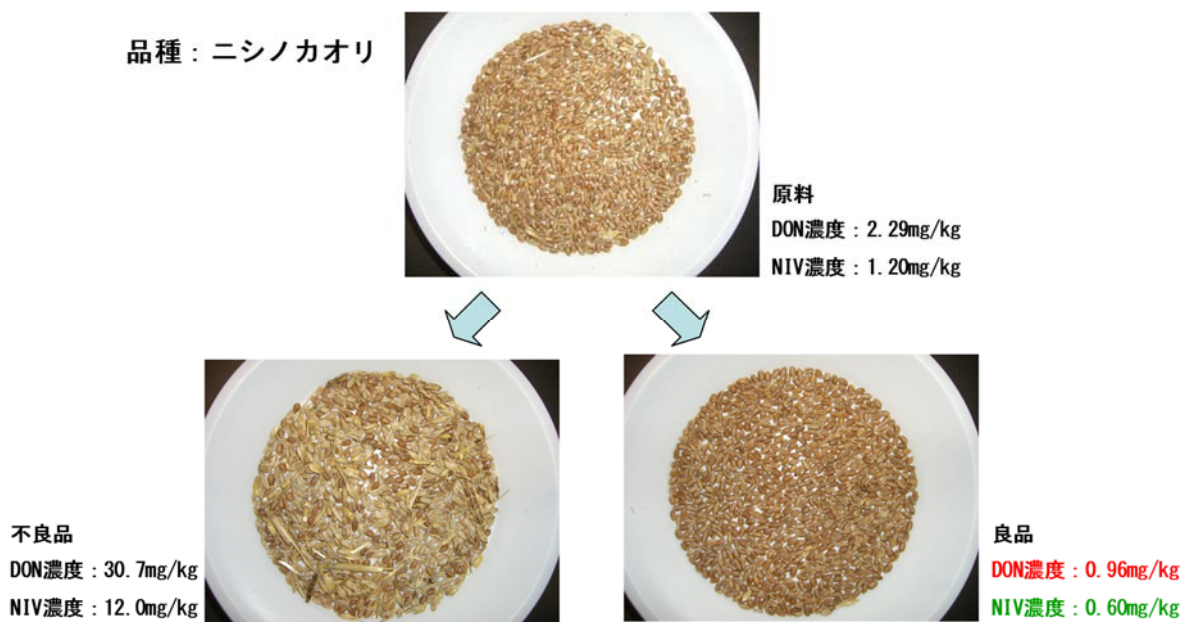


図6 色彩選別機によるDONおよびNIVの低減効果

かび毒検査の活用

- ・産地においては、ELISA分析キットなどにより、試し刈りや荷受け時のDON濃度を確認することで、効率的な分別や乾燥調製の実施が可能となります。
- ・圃場または出荷ロットなどの単位でDON濃度を測り、その測定値を基に、当該年の気象の推移なども勘案しながら、講じた対策について効果を検証することが必要です。
- ・検証結果については、次期作の対策を検討する際に活用することが重要です。

○ DON 検査の活用

試し刈りや荷受け時に ELISA 分析キットで、DON 濃度を確認することにより、圃場ごとの別刈りの指示や荷受け時の仕分けが効率的にできます。

また、DON 濃度の測定結果は、データを蓄積することにより、対策の効果について検証し、見直し等に活用することができます。

なお、検査にあたっては、対象の検査ロットを代表する試料が得られるよう、適切なサンプリングを行う必要があります。

○ 分析

① 簡易分析のための ELISA 分析キット

DON の簡易分析法として ELISA 分析キットが販売されています(図 1)。ELISA 分析キットによる分析値は 20~40 %程度の変動がみられる場合があることが報告されています。従って、一定程度の幅を見込んで分析値を解釈する必要があります。

例えば、DON 濃度が 1.1 mg/kg の試料を ELISA 分析キットで分析した場合、分析値は 0.7~1.5 mg/kg (1.1 mg/kg の±40%) の間でふれる可能性があります。

このため、ELISA 分析キットは、試料(玄麦)が小麦の暫定的な基準値(1.1 mg/kg)を超えるかどうかについて確認する場合、ELISA 分析キットで 0.7 mg/kg を超えた試料については②の機器分析による確認を行う等により、生産段階での DON 濃度のスクリーニングとしての使用が可能です。



図 1 ELISA 分析キットの例

② 機器分析

DON の試験方法は、「デオキシニバレノールの試験方法について」(平成 15 年 7 月 17 日付け食安発第 0717001 号厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知)により、定性及び定量試験として紫外分光光度型検出器付き高速液体クロマトグラフ(HPLC-UV)を、確認試験として液体クロマトグラフ・質量分析計(LC-MS)またはガスクロマトグラフ・質量分析計(GC-MS)を用いる方法が示されています。この試験方法では、DON と同時に NIV も測定できます(図 2)。

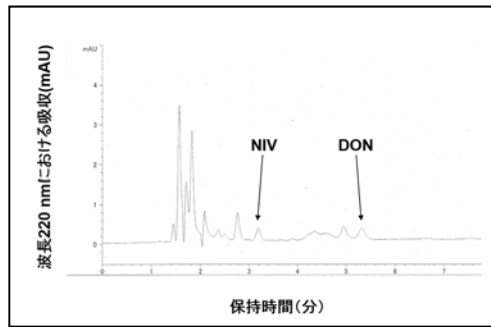


図2 HPLC-UV法によるDON/NIV同時分析の例

小麦中のDON、NIVの試験方法としては、液体クロマトグラフ・タンデム型質量分析計（LC-MS/MS）を用いた一斉分析法も報告されています（カビ毒試験法評価委員会「小麦中のデオキシニバレノール及びニバレノールの同時分析法」）。また農研機構食品研究部門では、小麦、大麦の両者に適用可能なLC-MS/MSを用いた赤かび病かび毒一斉分析法を開発しました。粉砕した麦試料に内部標準物質を添加後、水/有機溶媒の混合液で抽出します。これを遠心分離して得られた上清を固相抽出カラムを用いて精製し、濃縮後にLC-MS/MS分析を行います（図3写真）。本手法は麦類を汚染する主要かび毒5種類（DON、NIV、T-2トキシン、HT-2トキシン、ゼアラレノン）の高感度一斉分析が可能です（図3）。また、室間共同試験による妥当性確認がなされているため、信頼性の高い一斉分析手法です。

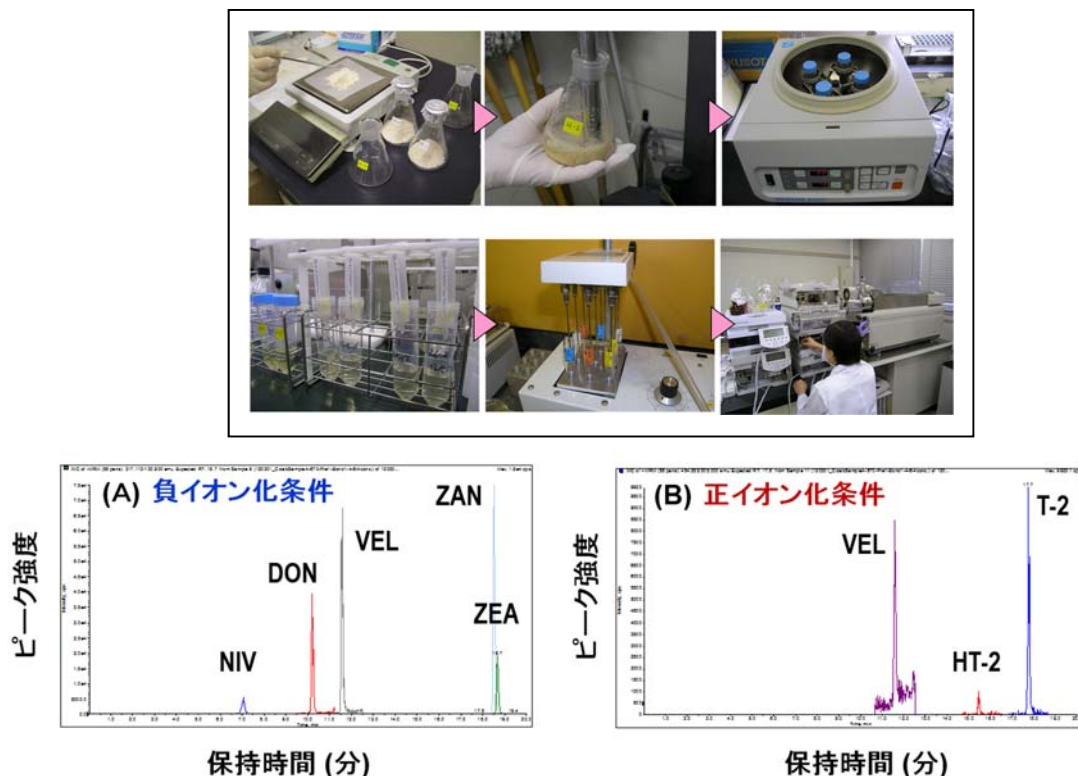


図3 LC-MS/MSを用いた赤かび病かび毒一斉分析法の手順（写真）と分析結果の例

T-2：T-2トキシン、HT-2：HT-2トキシン、ZEA：ゼアラレノン

VEL：ベルカロール（内部標準物質）、ZAN：ゼアララノン（内部標準物質）

③ 精度管理

精度確保のため、分析の担当者は、必ず十分なトレーニングを受け、年1回、技能試験(※)に参加し、分析精度を確認して下さい。

※ 技能試験

第三者機関から提供される濃度未知試料を分析して分析結果の信頼性を確認する、外部精度管理の一手法。英国 FERA が提供する FAPAS が世界的に有名。

4. 関連情報

麦類のかび毒に関する農林水産省からの情報は、以下の web サイトで公表されています。対策技術を導入するに当たって、参考として活用下さい。

- ・ 食品のかび毒に関する情報

(http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/)

- ・ 農業生産工程管理 (GAP) に関する情報

(<http://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/gap/>)

また、内閣府食品安全委員会からの情報は、以下の web サイトで公表されています。

- ・ 食品安全委員会

(<http://www.fsc.go.jp/>)

「麦類のかび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル」の改訂版は、『生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発』及び『新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業研究』等の農林水産省託プロジェクト研究の成果等を活用し作成いたしました。

試験データの掲載等にご協力頂きました関係者各位に深く御礼申し上げます。

(本資料に関するお問い合わせ先)



農研機構九州沖縄農業研究センター 産学連携室

〒861-1192 熊本県合志市須屋2421

TEL:096-242-7682 FAX:096-242-7543

E-mail: q_info@ml.affrc.go.jp

ホームページ: www.naro.affrc.go.jp/karc

資料の取り扱いについて

本マニュアル掲載の研究成果等については未公開のものもあるので、記載内容を転載・複製する場合は、原著者の許可を得てください。