

# 指針活用のための技術情報



令和5年3月

**農林水産省**

# 指針活用のための技術情報

## 目次

1	DON、NIV の特徴	
1.1	かび毒の種類と構造	1 頁
1.2	毒性	
1.2.1	DON	2 頁
1.2.2	NIV	3 頁
1.3	我が国の汚染の状況	3 頁
2	麦類の DON、NIV 汚染の予防及び低減対策の解説	
2.1	赤かび病防除のための取組事項	
2.1.1	赤かび病が発生しにくい環境の整備	7 頁
2.1.2	赤かび病防除適期の判断	10 頁
2.1.3	農薬の選択	17 頁
2.2	栽培管理・乾燥調製等の工程における取組事項	
2.2.1	適期における適切な収穫の励行	19 頁
2.2.2	適切な乾燥調製の実施	20 頁
2.3	かび毒検査の活用	25 頁
3.	関連情報	26 頁

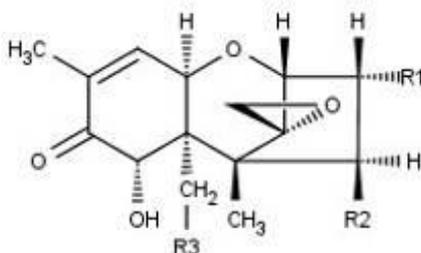
## はじめに

本技術情報は、「麦類のデオキシニバレノール、ニバレノール汚染の予防及び低減のための指針」で推奨している対策を普及、推進、実践する上で、指導者や農業者にとって有用な科学的な情報や根拠となるデータ等を取りまとめたものです。指針と併せてご活用ください。

## 1. デオキシニバレノール（DON）、ニバレノール（NIV）の特徴

### 1.1 かび毒の種類と構造

我が国において麦類を汚染するかび毒のうち、食品安全の観点から最もリスク管理の必要性が高いのは、麦類に感染するフザリウム属菌が産生するデオキシニバレノール（DON）とニバレノール（NIV）です。また、フザリウム属菌が DON や NIV を生合成する際の前駆物質である 3-アセチルデオキシニバレノール（3-AcDON）や 15-アセチルデオキシニバレノール（15-AcDON）、4-アセチルニバレノール（4-AcNIV）も、DON や NIV より低濃度ですが、麦類に蓄積が見られます。また、植物内の配糖化酵素によって DON から作られるデオキシニバレノール-3-グルコシド（DON-3Glc）も蓄積します。これらのかび毒は、トリコテセン環と呼ばれる共通の構造を持つトリコテセン類のかび毒のうち、タイプ B トリコテセン類に分類されます（図 1）。

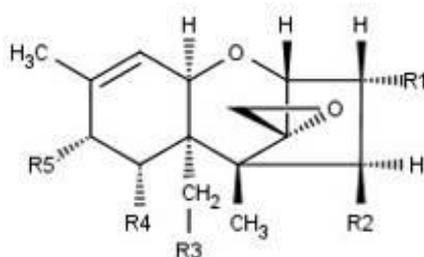


かび毒	R1	R2	R3
デオキシニバレノール	OH	H	OH
3-アセチルデオキシニバレノール	OCOCH <sub>3</sub>	H	OH
15-アセチルデオキシニバレノール	OH	H	OCOCH <sub>3</sub>
デオキシニバレノール-3-グルコシド	O-glucoside	H	OH
ニバレノール	OH	OH	OH
4-アセチルニバレノール	OH	OCOCH <sub>3</sub>	OH

図 1. 代表的なタイプ B トリコテセン類とその構造

DON、NIV は、いずれも水やアルコールなどに溶けやすく、熱に対して安定であり、通常の加熱調理条件ではほとんど分解しないことが知られています。

このほか、麦類に感染するフザリウム属菌が産生する代表的な毒素として、HT-2 トキシシン (HT2)、T-2 トキシシン (T2)、ジアセトキシシルペノール (DAS) などのタイプ A トリコテセン類 (図 2) とゼアラレノン (ZEN) (図 3) があります。ただし、現時点では、国産麦類におけるこれらのかび毒の濃度は、DON や NIV といったタイプ B トリコテセン類と比較して極めて低く、DON、NIV と比較して食品安全上のリスク管理の優先度が低いものです。そのため、我が国では、麦類においては DON、NIV といったタイプ B トリコテセン類の汚染防止、低減対策が重要です。



かび毒	R1	R2	R3	R4	R5
HT-2 トキシシン	OH	OH	OCOCH <sub>3</sub>	H	OCOCH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
T-2 トキシシン	OH	OCOCH <sub>3</sub>	OCOCH <sub>3</sub>	H	OCOCH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
ジアセトキシシルペノール	OH	OCOCH <sub>3</sub>	OCOCH <sub>3</sub>	H	H

図 2. 代表的なタイプ A トリコテセン類とその構造

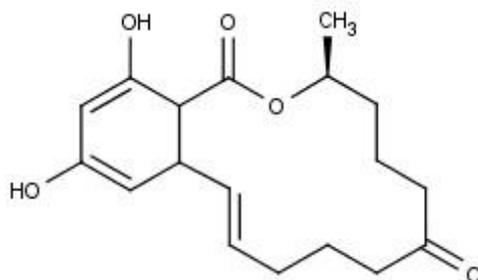


図 3. ゼアラレノンの構造

## 1.2 毒性

### 1.2.1 DON

内閣府食品安全委員会 (FSC) は、2019 年の DON の食品健康影響評価において、実験動物を用いた毒性試験で、主におう吐、摂餌量の減少、体重増加抑制及び免疫系に及ぼす影響が認められたとしています。また、これらの影響が認められた用量よりも高用量で胎児毒性及び催奇形性が認められたとしています。遺伝毒性試験 (化学物質に DNA の損傷、染色体異常、突然変異を引き起こす作用があるかどうか調べるための試験) では一部において陽性の結果が得られているが、その程度は強いものではなかったことから、生体内で影響を及ぼすような遺伝毒性を有する可能性は低いと考えたと

しています。その上で、マウスを用いた2年間の慢性毒性試験における体重増加抑制から無毒性量（異なる投与量を用いて行われた毒性試験で有害影響が見られなかった最大の投与量）を0.1 mg/kg 体重/日とし、不確実係数100を適用して1 µg/kg 体重/日をDONの耐容一日摂取量（TDI、ヒトが一生涯にわたって毎日摂取し続けても、健康への悪影響がないと推定される一日当たりの摂取量）として設定しました。経口摂取した3-AcDON、15-AcDON及びDON-3-Glcは速やかにDONに代謝されると考えられるため、この評価はDON濃度と3-AcDON、15-AcDON及びDON-3-Glcの濃度をDON濃度に換算した値の合計についてなされたものです。

FAO/WHO 合同食品添加物会議（JECFA）の2010年の評価でも同様に、DON、3-AcDON、15-AcDON及びDON-3-Glcのグループ（合計量）での暫定耐容一日摂取量（PMTDI）を1 µg/kg 体重/日と設定しています。また、著しくDONに汚染された食品を一度に摂取するとおう吐などの急性中毒症状を生じます。豚を用いたおう吐に関する試験の結果から、グループ（合計量）の急性参照用量（ARfD、ヒトの24時間又はそれより短時間の経口摂取で健康に悪影響を示さないと推定される摂取量）を8 µg/kg 体重/日と設定しています。

### 1.2.2 NIV

FSCは、2010年のNIVの食品健康影響評価において、実験動物を用いた毒性試験では、主に摂餌量の減少、体重増加抑制及び免疫系に及ぼす影響が認められたとしています。また、これらの影響が認められた用量よりも高用量で胚毒性が認められたとしています。遺伝毒性試験では一部において陽性の結果が得られているが、データが限られていることから遺伝毒性について評価することは困難と考えられた一方、2年間の慢性毒性試験で発がん性が認められていないことから、TDIを設定することは可能と考えられたとしています。その上で、ラットを用いた90日間反復投与毒性試験における白血球数の減少から最小毒性量（異なる投与量を用いて行われた毒性試験で有害影響が見られた最小の投与量）を0.4 mg/kg 体重/日とし、不確実係数1,000を適用して0.4 µg/kg 体重/日をNIVのTDIと設定しました。

これまでにJECFAでは評価が行われていません。

### 1.3 我が国の汚染の状況

農林水産省が平成14年から平成27年までに実施した、乾燥調製施設や倉庫等で採取した国産の小麦及び大麦（玄麦）のかび毒含有実態調査では、DON、NIVは、HT2、T2、ZENより含有濃度の平均値や高パーセンタイル値が高く、また、大麦中のDON、NIV濃度は、小麦中の濃度よりも高い結果でした。小麦及び大麦に含まれるDON、NIVの濃度は生産年によって著しい変動があり、麦類赤かび病（以下「赤かび病」という。）の発生面積が多かった年には発生面積が少なかった年と比較して、より高濃度にDON、NIVを含む試料が多く、生産年ごとの赤かび病の発生面積と小麦、大麦に含まれる

DON、NIV の平均濃度や検出率には強い正の相関がありました。このことは、赤かび病の予防が小麦、大麦中の DON、NIV 濃度の抑制に重要であることを示しています。

また、産地別に汚染状況を見ると、DON と NIV が共に検出される地域と、DON が専ら検出され NIV がほとんど検出されない地域がありました（図 4～6）。これは、赤かび病の原因となるフザリウム (*Fusarium*) 属菌には、同じ生物種であっても DON のみを産生するタイプと NIV を産生するタイプがあり、地域によってこれらの菌の分布や、菌の毒素産生能力が異なるためだと考えられます。DON と NIV の共汚染がみられる地域では、DON と NIV の両方の汚染を低減する必要があります。

具体的には、小麦においては、北海道では総 DON が比較的高濃度の試料でも総 NIV はほとんど検出されず、関東、東海、近畿及び九州では総 DON 濃度と総 NIV 濃度とは極めて強い正の相関を示し、東北では弱い相関を示しました。大麦においては、北海道では総 DON が比較的高濃度の試料でも総 NIV はほとんど検出されず、関東、中国四国及び九州では総 DON 濃度と総 NIV 濃度とは極めて強い正の相関を示し、北陸では弱い相関を示しました。なお、上記以外の地域は試料点数が少ないため、地域別の解析はしていません。

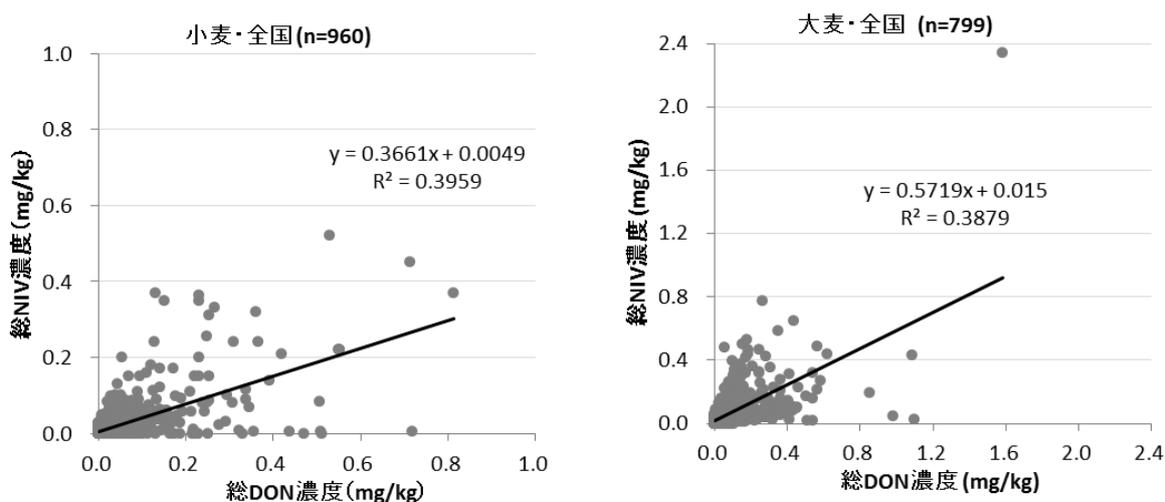


図 4 小麦（左側）及び大麦（右側）の試料中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の相関（2002～2015 年、全国）

（農林水産省）

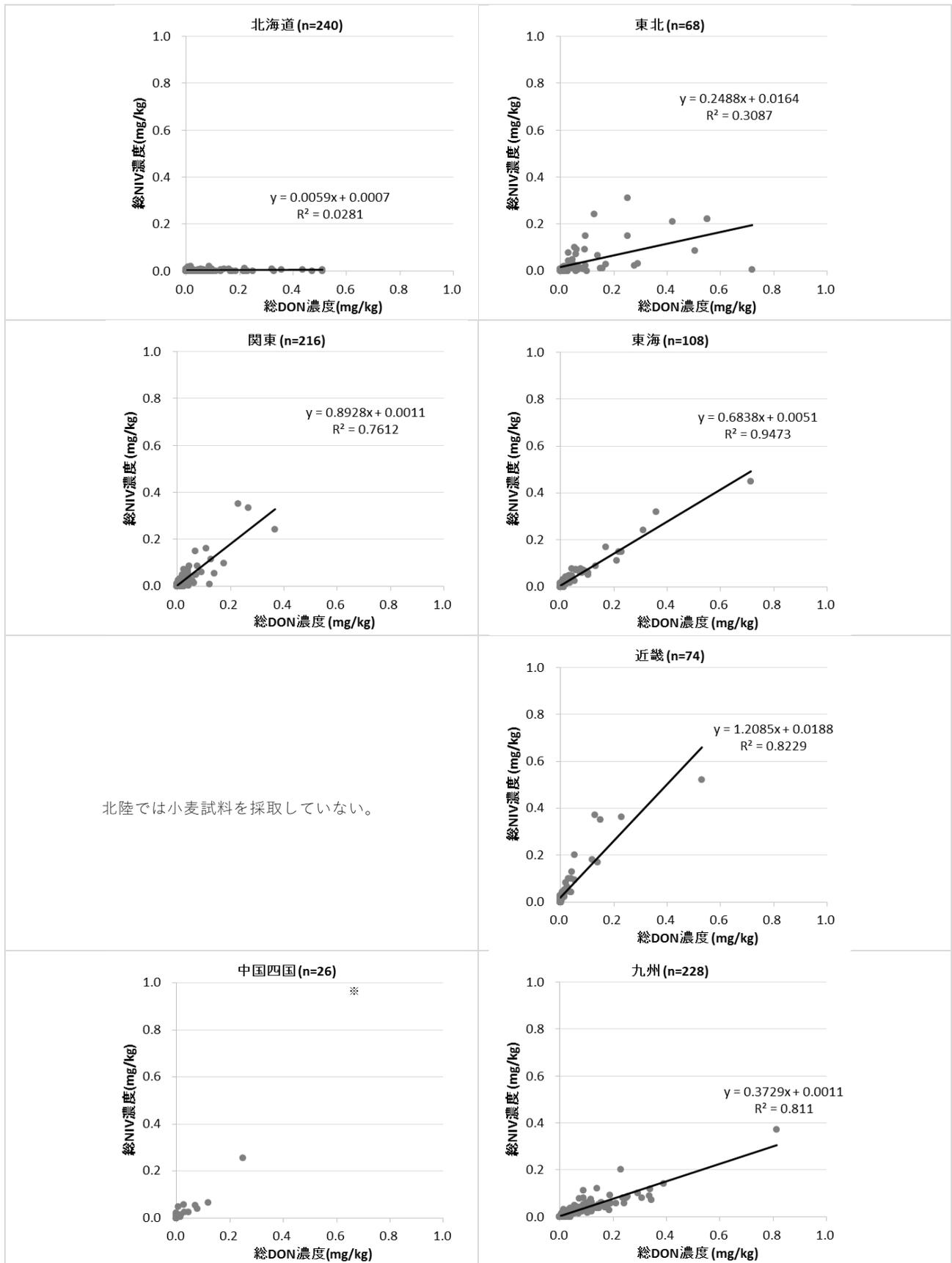


図5 小麦中の総DON濃度と総NIV濃度の相関（2002～2015年、地域別）

（農林水産省）

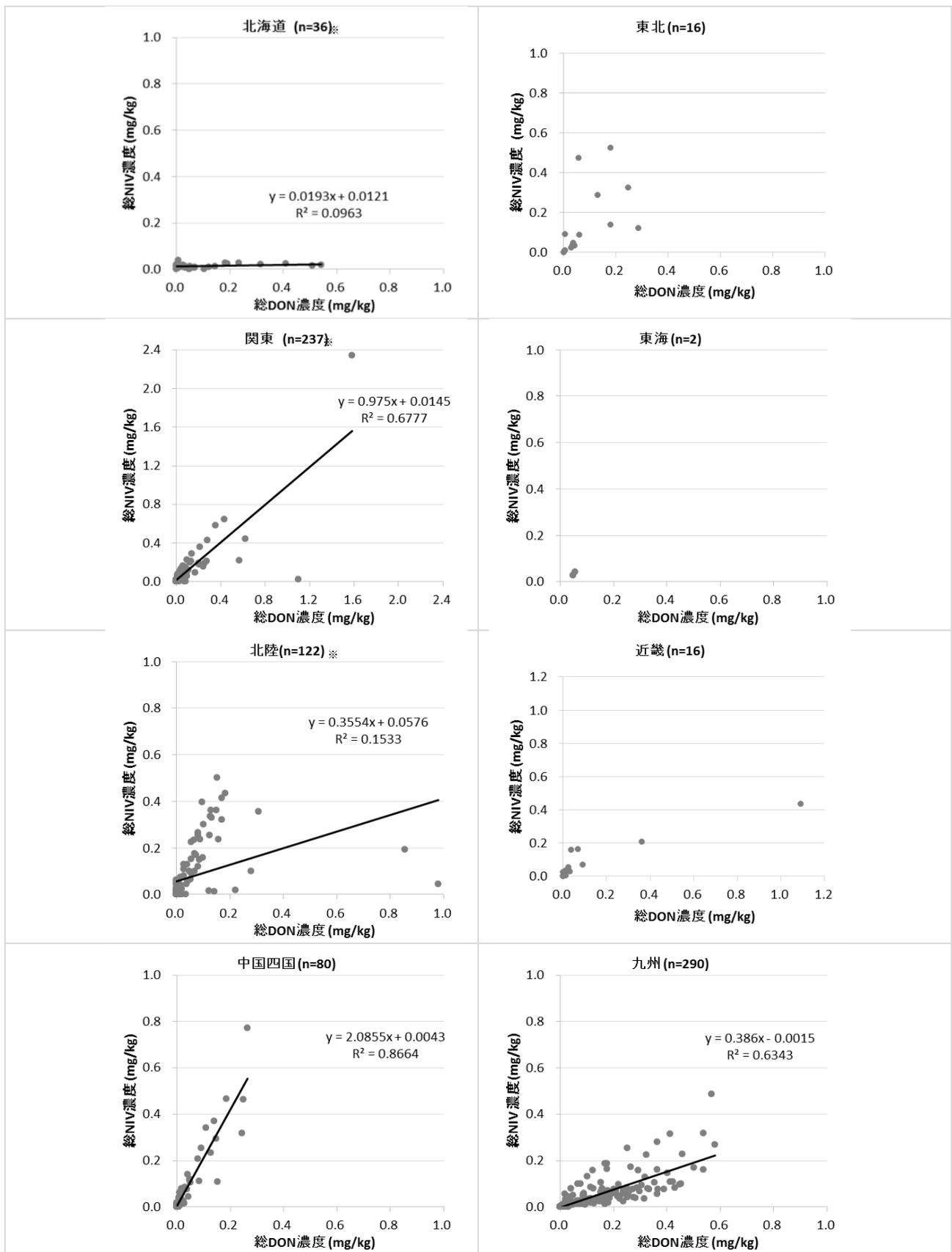


図6 大麦中の総DON濃度と総NIV濃度の相関（2002～2015年、地域別）

（農林水産省）

## 2. 麦類の DON、NIV 汚染の予防及び低減対策の解説

### 2.1 赤かび病防除のための取組事項

#### 2.1.1. 赤かび病が発生しにくい環境の整備

##### 2.1.1.1. 品種の選択

- 赤かび病の発病、まん延を予防するため、産地品種銘柄の中から、赤かび病抵抗性の比較的強い品種を選択することが望ましい。
- 国内で奨励品種となっているパン用小麦品種や六条大麦は、いずれも赤かび病抵抗性が比較的弱いことから、赤かび病対策を徹底する。
- 品種のかび毒蓄積性に関する情報が利用可能な場合には併せて考慮する。

#### 【解説】

赤かび病に対する抵抗性（赤かび病抵抗性）は、麦種や品種により異なり、また、同じ品種であっても、栽培地域によって評価が異なります。令和3年度の時点で国内で奨励品種等となっている品種の赤かび病抵抗性を見ると、小麦では「中」及び「やや弱」の品種が、二条大麦（皮麦）では「やや強」及び「中」の品種が、六条大麦（皮麦）では「やや弱」及び「弱」の品種が、裸麦では「やや強」及び「中」の品種が多くなっています。

かび毒汚染の原因となる赤かび病の発生・まん延を未然に防止するため、赤かび病抵抗性の比較的強い品種を選択するのが望ましいです。ただし、我が国の高温多湿な条件の下で、殺菌剤による防除を必要としないほどの強い赤かび病抵抗性を有する品種は現在までに実用化されていないため、適期に適切な薬剤による防除が必要です。

##### 2.1.1.2. 前作物の影響の考慮

- 麦類の連作やトウモロコシを麦類の前作とすることを避け、適切な輪作体系を取り入れることが望ましい。
- 前作がイネの場合は切り株及び稲わらを適切に処理する。

#### 【解説】

赤かび病菌はほ場環境に存在しており、イネ科の作物（麦類、トウモロコシ、イネ）、牧草及び雑草に広く感染し、伝染源となることが知られています。特に、麦類の前作がトウモロコシの場合には、小麦や大豆の場合と比較して、赤かび病や DON の汚染が増える傾向があることが報告されています。赤かび病菌を無くすことは不可能ですので、感染リスクをできる限り低くするため、可能であればマメ科植物を含む輪作体系を確立し、麦類の連作やトウモロコシを前作とすることを極力避けることが推奨されます。

稲麦二毛作地域や水田転換畑においては、稲の切り株上に形成される赤かび病菌の子のう殻が第一次伝染源となることが知られています。このため、麦類の前作が稲の場合には、確実に切り株及び稲わらの鋤込みを行うか、可能なら収集して持出しを行うことが望ましいです。なお、雨や風による浸食を受けやすい土壌や地形では、一度埋没させた切り株や稲わらが出穂期までに再び地表に表れ、それらが伝染源となることもあるので土壌浸食に注意する必要があります。

### 2.1.1.3. 健全な土作り

- 適切な土壌 pH 及び栄養素が確保されるよう、必要な土壌改良資材又は基肥を施す。

#### 【解説】

麦類の生育が阻害される条件では、病害に対する抵抗性が下がり、赤かび病に感染する可能性が高まります。麦類に適正な土壌 pH である 6.0～6.5 を維持し、十分に栄養素が確保されるよう、必要に応じて土壌改良資材や基肥を施します。施す際にはむらにならないように注意します。適切な管理を行うために、土壌診断を行うことが有効です。

### 2.1.1.4. 伝染源植物の除去

- 前作の作物残さ等のほ場からの持出しや確実な鋤込みを行う。
- 作物生育期間を通してほ場及び畦畔の除草を行う。

#### 【解説】

#### ○ 赤かび病の伝染源

赤かび病の第一次伝染源は、土壌表面の作物残さに形成される子のう殻です。子のう殻の中には子のうがあり、1つの子のうには8個の子のう胞子が詰まっています。この子のう胞子が飛散して、麦類の穂に感染します。



稲残さ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)

赤かび病菌は腐生性の高い病原菌で、幅広い作物残さから分離されますが、イネ科作物（麦類、トウモロコシ、イネ）やイネ科雑草により多く寄生する性質があります。

前作の作物の種類や耕起法によって子のう殻の形成量が異なり、赤かび病の発生程度が変動します。このため、持出しや鋤込み等による前作の作物残さ（わらや刈り株、こぼれた穀粒等）処理と輪作により伝染源の密度を低下させることが耕種的防除の基本です。

#### ○ 残さの処理

前作の作物残さを早めに土壌中に鋤き込む、又はほ場外へ持ち出すことによって、次期作以降に向けて伝染源となる作物残さが地表面に残らないようにすることは、赤かび病菌の密度を低下させる効果が期待できます。

作物残さのほ場からの持ち出しやアップカッターロータリーや低速度での耕起による確実な鋤込みを実施しましょう。

播種時のアップカッターロータリー耕による稲わらの鋤込みにより、赤かび病の発病が減少する傾向が確認されています（表1）。

表1 播種時の稲わらすき込みの有無と赤かび病の発病(2004年)

地区	すき込みの方法	発病穂率(%)
A地区	アップカットロータリー耕	5
	慣行ロータリー耕	13
B地区	アップカットロータリー耕	10
	慣行ロータリー耕	29

ほ場試験を2反復で実施し、その平均を求めた。

(愛知県農業総合試験場)

また、水田転換畑においては、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の蓄積量の低下が見られました(表2)。

表2 水田転換畑における稲わらの有無と赤かび病の発病(2004年)

稲わらの有無	発病穂率(%)	発病小穂率(%)	DON含有濃度(mg/kg)	NIV含有濃度(mg/kg)
なし	17	2.4	<0.1	0.17
あり	34	7.2	<0.1	0.44

発病穂率：発病した粒のある穂の割合。

発病小穂率：発病した粒のある小穂の割合。

試験を2反復で実施し、その平均を求めた。

ただし、DONとNIVの含有濃度は2反復の試料を混合した上で分析している。

(愛知県農業総合試験場)

## ○ 雑草の防除

イネ科の雑草は赤かび病の第一次伝染源となるため、除草剤の利用や物理的防除等により、早期に防除することが重要です。

### 2.1.1.5. 適期播種

- 産地の栽培技術指針等に従い、品種ごとに適期播種に努めるとともに、適切な播種密度(播種量)とする。

#### 【解説】

健全な麦を生産するためには、品種ごとに適期に播種する必要があります。麦類の適期播種が可能となるよう、適切な輪作体系・品種を設定することが重要です。指導機関においては、気候変動による影響も考慮しつつ、開花期以降の降雨への遭遇が最小限となるよう、また、高温障害や干ばつ被害に遭わないよう、必要に応じて播種時期を見直しましょう。また、一般的に播種密度も病害発生に影響する場合があることから、適切な播種密度(播種量)とする必要があります。

また、麦類赤かび病における種子伝染の寄与は小さいと考えられていますが、病害のまん延を防止する観点から、種子の更新と消毒を適切に行う必要があります。

## 2.1.2 赤かび病防除適期の判断

### 2.1.2.1 生育状況の把握

- 防除適期を逃さないよう、麦類の生育状況を常に把握する。

#### 【解説】

小麦や六条大麦では開花期に、二条大麦（閉花受粉性）では蒴殻が抽出する時期に赤かび病菌に感染しやすくなります。我が国では、それらの麦類の生育後期と降雨期が重なる生産地域が多く、温暖であることから赤かび病が発生しやすいため、この時期に適切に防除することが必要です。

防除適期は麦種によっても異なります。また、麦類の生育は、同じ品種であっても気象条件によって変動が大きく、我が国の主要産地における出穂期でみると、最速日と最遅日では20日以上の開きがあります（表3）。播種時期や栽培管理によっても生育が大きく変動します。このため、防除適期を逃さないようそれぞれのほ場における麦類の生育状況を把握する必要があります。

病虫害防除所等がその年の生育状況や生育予測等の情報を提供している場合は、それらを積極的に活用するとともに、農業者も防除適期の少し前に当たる出穂期からほ場をこまめに巡回するなどして、生育状況を把握する必要があります。

西日本で栽培されている主要6品種について、アメダス観測点の気温をもとに麦類の発育ステージ（出穂期、開花期、成熟期）を予測する「小麦赤かび病を適期に防除するための開花期予測システム」が公開されています。

[https://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/meteo\\_fukuyama/WEB/wheat/index\\_mugi.html](https://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/meteo_fukuyama/WEB/wheat/index_mugi.html)

表3 麦類の主要な産地における出穂期の平均日と最も早い年の日、最も遅い年の日との差（1985～2006年(22年間)）

		出穂期の 平均日	最も早い年		最も遅い年	
			平均日 との差	平均日 との差	平均日 との差	平均日 との差
小麦	北海道	6月 15日	6月 5日	10日	6月 23日	8日
	群馬	4月 25日	4月 19日	6日	5月 6日	11日
	滋賀	4月 21日	4月 13日	8日	5月 3日	12日
	福岡	4月 14日	4月 6日	8日	4月 24日	10日
二条大麦	栃木	4月 18日	4月 8日	10日	4月 29日	11日
	岡山	4月 16日	4月 6日	10日	4月 29日	11日
	佐賀	4月 10日	4月 1日	9日	4月 22日	12日
六条大麦	栃木	4月 22日	4月 15日	7日	4月 29日	7日
	福井	4月 20日	4月 10日	10日	5月 5日	15日
	愛媛(裸麦)	4月 4日	3月 25日	10日	4月 14日	10日
	大分(裸麦)	4月 9日	3月 31日	9日	4月 20日	11日

赤かび病に関係のある麦類の発育ステージは以下のとおりです。

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」、「醸造用大麦調査基準」、  
 「皮麦・裸麦(非醸造用二条大麦)調査基準」(農業研究センター(1986))



出穂



開花



成熟

(農林水産省調べ)

### 2.1.2.2. 適期防除

- 赤かび病菌の感染、さらには赤かび病の発生を未然に防ぐため、麦種に応じて、必ず以下の生育時期に最初の防除を実施する。

麦種	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 (北海道においては開花始)
二条大麦	穂揃い期(全茎の80～90%が出穂した日)の10日後頃の 葯殻抽出期
六条大麦	開花を始めた時期から開花期までの間

- 地域の気象条件、中長期の天気予報、過去の赤かび病発生状況等に加え、普及指導センター、農業団体、病虫害防除所等からの各種情報や品種の赤かび病抵抗性を考慮し、必要に応じて追加の防除を行う。

## 【解説】

### ○ 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います。

また、開花期の防除に加えて、開花 10 日後から 20 日後頃に追加防除を行うことが、かび毒濃度低減に有効でした（表 4）。

表 4 小麦における各種薬剤による追加防除時期とかび毒（DON、NIV）蓄積の関係（2010 年）

供試薬剤	散布時期(開花後日数)			発病穂率 (%)	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：150 L/10 a 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）

○ 大麦の防除適期

① 二条大麦

国内で栽培されている二条大麦は、ほとんどが閉花受粉性で開花期に葯殻が抽出しないため、受粉時よりも葯殻が押し出されてくる時期（穂揃期の10日後ごろ）の方が感染しやすい状況になります。（図7、表5）。

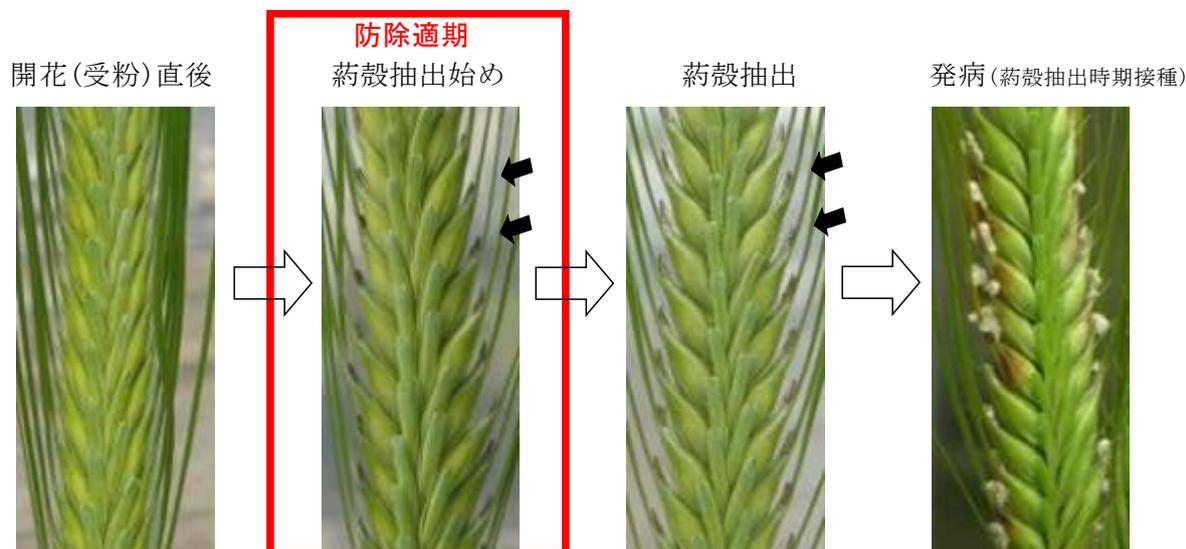


図7 二条大麦(閉花受粉性)における葯殻抽出と葯殻抽出時接種による発病の様子

図中黒矢印は葯殻を示す。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)

表5 二条大麦における薬剤防除が赤かび病及びかび毒産生濃度に及ぼす影響

開花日と農薬散布日の差 (生育ステージ)	2005年				2006年			
	防除価		かび毒 低減率 (%)		防除価		かび毒 低減率 (%)	
-3日 (出穂2日後)	34	b	50	ab	6	ab	17	ab
0日 (穂揃い・開花期)	33	b	47	a	6	ab	41	bc
4日	74	c	68	ab	37	cd	31	abc
9日 (葯殻抽出前)	87	c	76	ab	45	cd	53	cd
11日 (葯殻抽出始め)	88	c	82	b	50	d	75	d
13日 (葯殻抽出盛期)	-	-	-	-	39	cd	80	d
15日 (葯殻抽出終期)	74	c	69	ab	25	bc	79	d
20日	22	b	50	ab	13	ab	52	cd
30日	- 9	a	42	a	4	a	55	cd

防除適期

赤かび病菌培養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場合条件下で試験。  
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。  
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。  
試験を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「-」は試験未実施。

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。

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

(農研機構)

② 六条大麦

国内で栽培されている六条大麦は、基本的に開花受粉性であるため、小麦と同じく開花を始めた時期から開花期まで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、防除に当たっては、天候や生育状況について細心の注意が必要です。

・ 六条裸麦

六条裸麦においては、開花期の防除に加えて、開花 10 日後から 20 日後頃に追加防除を行うことが、かび毒濃度低減に有効でした（表 6）。

表 6 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：イチバンボンシ。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。

(農研機構)

注) チオファネートメチル水和剤は 2022 年 6 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。

・ 六条皮麦

六条皮麦においては、開花期の防除に加えて、開花 10 日後頃に追加防除を行うことが、かび毒濃度低減に有効であることが示唆されています。

○ 地域における被害状況

赤かび病の発生は、その年の天候や地域により異なります。過去の被害状況とそ  
の際の天候や防除方法などを照らし合せて、追加防除の検討に役立てましょう。

・赤かび病の防除は、初回防除、追加防除のいずれも適期を逃さず行うことが重要であり、防除適期に降雨が続く場合であっても、短い晴れ間を利用するなどして、確実に防除を行う。

## 【解説】

### ○ 農薬散布後の降雨の影響

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、短い晴れ間を利用したり、ごく弱い降雨の時に実施したりするなど、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 7）。

発生予察情報の他、天気予報や週間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、一般的に粉剤は降雨の影響を受けやすく、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 時間後でも弱い雨（1 時間あたり 3.6 mm）が 7 時間程度以上続く場合や、強い雨（1 時間あたり 25 mm）が降る場合にはかび毒低減効果の低下が認められましたので注意が必要です（表 8）。

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 7 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 含有濃度 (mg/kg)	同左 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

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。

かび毒含有濃度は DON と NIV の含有濃度を合算。

試験を 3 反復で実施し、その平均を求めた。ただし、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）

表8 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(%)

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 含有濃度 (mg/kg)	
弱い雨 3.6 mm/h	0時間	0	33	b	53	23
	3時間	11	17	a	75	11
	5時間	18	39	bc	43	34
	7時間	25	54	c	22	39
	14時間	50	49	c	28	40
強い雨 25 mm/h	0時間	0	33	a	54	21
	26分	11	46	ab	34	28
	43分	18	44	ab	37	40
	1時間	25	41	ab	42	38
	2時間	50	48	b	31	45

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。

かび毒含有濃度はDONとNIVの含有濃度を合算。

試験を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)

## 一 赤かび病の発生傾向 一

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(農林水産省植物防疫課))

### 2.1.3 農薬の選択

- 赤かび病防除の適用農薬とその剤型、使用方法については、薬剤とその剤型、使用時期、散布方法による効果の違い、その地域の防除方法、農薬の飛散が周辺農作物や近隣住宅地に与える影響等を考慮して適切に選択する。耐性菌の出現を防ぐため、同一系統の薬剤の連続使用は避けるのが望ましい。

#### 【解説】

##### ○ 農薬の種類

麦類の赤かび病に適用がある農薬のうち、チオファネートメチル、テブコナゾール、メトコナゾールが小麦の DON 含有濃度を低減する効果が高い傾向が確認されました（図 8）。

また、これらのほかにも、赤かび病防除とかび毒含有濃度低減の効果の高い新たな農薬の開発、登録が進められています。

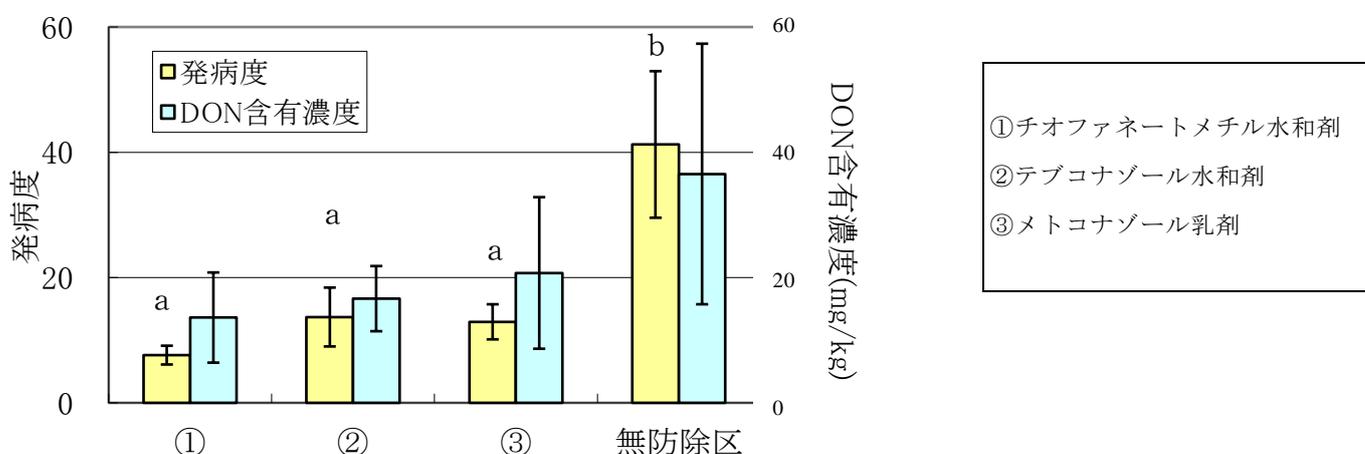


図8 農薬散布による小麦の赤かび病発病度と DON 含有濃度の低減効果(2003 年)

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 含有濃度は、Tukey-Kramer の多重検定（5%水準）で有意差なし。

（農研機構）

##### ○ 剤型の影響

チオファネートメチル剤については、水和剤・ゾル剤が粉剤よりも赤かび病防除及びかび毒低減の効果に優れている傾向が確認されました（表 9）。

表9 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含有濃度 (mg/kg)	DON低減率 (%)	NIV含有濃度 (mg/kg)
粉剤	9.7	59	1.3	35	1.3
水和剤	5.2	78	1.1	47	1.0
ゾル剤	5.1	78	0.9	54	0.8

赤かび病菌培養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ほ場条件下で実施。試験を 3 反復で実施し、その平均を求めた。

（農研機構）

農薬の選択は、薬剤とその剤型による効果の違いに加え、防除の実施方法、防除コスト、農薬の飛散が近隣住宅地に与える影響等様々な事項を考慮する必要があります。

ます。できる限り、普及指導センターと相談の上、農薬を使用するようにしましょう。また、農薬の使用においては、使用基準を守らなければなりません。

農薬登録情報提供システムも参照してください。

<https://pesticide.maff.go.jp/>

## － かび毒と農薬の毒性 －

### 《急性毒性》

急性毒性については、人が 24 時間又はそれより短時間の経口摂取で健康に悪影響を示さないと推定される量として、急性参照用量（ARfD）が設定されています。DON、NIV と麦類の赤かび病防除に使用されている代表的な農薬の ARfD を比較すると、DON、NIV の急性経口毒性は、かなり高いといえます。

		ARfD※ ( $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ )	設定の根拠となった影響
かび毒	DON	8	おう吐
	NIV	14	おう吐
農薬	チオファネートメチル	(設定の必要なし)	
	プロピコナゾール	300	立毛、下痢、爪先歩行等
	テブコナゾール	300	体重減少/増加抑制

※DON は 2010 年の JECFA、NIV は 2017 年の欧州食品安全機関（EFSA）、チオファネートメチルは 2006 年の FAO/WHO 合同残留農薬専門家会議（JMPR）、プロピコナゾールは 2017 年、テブコナゾールは 2019 年の FSC の評価による。

### 《慢性毒性》

長期的な影響について、人が一生涯にわたり毎日摂取し続けても健康への悪影響がないと推定される量として、DON、NIV については耐容一日摂取量（TDI）が、農薬については許容一日摂取量（ADI）が設定されています。

自然に賦存し管理できない DON、NIV 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、DON、NIV の TDI は、赤かび病防除に使用されている農薬の ADI より低くなっています。DON、NIV の慢性毒性は、当該農薬のものよりかなり高いといえます。

		TDI等※ ( $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ )	設定の根拠となった影響
かび毒	DON	1	体重増加抑制
	NIV	0.4	白血球数減少
農薬	チオファネートメチル	80	体重増加抑制、甲状腺肥大等
	プロピコナゾール	19	十二指腸粘膜うっ血等
	テブコナゾール	29	副腎束状帯細胞の軽微な肥大

※DON 及び NIV は 2010 年及び 2019 年に FSC が評価した TDI。農薬は、チオファネートメチルは 1998 年に JMPR が、プロピコナゾールは 2017 年に、テブコナゾールは 2019 年に FSC が、評価した ADI。

農薬は、使用基準に従って適切に使用すれば、食品に残留する農薬の摂取量が ADI を超えることはなく、健康被害が生じることはありません。一方で、DON、NIV 等のかび毒は、赤かび病の発生に適した条件がそろった場合には著しい汚染が生じ、食品を通して摂取するかび毒による健康被害が生じるおそれがあります。農薬を適正に使用して赤かび病の発生を防止し、麦類の DON、NIV 汚染を低減させることは、人の健康に対する総合的なリスクをより低減させることになります。

## 2.2 栽培管理・乾燥調製等の工程における取組事項

### 2.2.1 適期における適切な収穫の励行

・刈り遅れにより麦類が降雨に当たると、発芽粒やくされ粒等の発生による品質低下だけでなく、DON、NIV等のかび毒の産生を助長する原因となる。一方、早刈りや降雨直後の収穫は未熟粒や異臭の発生、乾燥時間の増大の原因となる。これらのことから、適期に確実に収穫する。

#### 【解説】

##### ○ 適期収穫

我が国では麦類の収穫期と降雨期が重なる地域が多いため、刈り遅れると雨に当たる可能性が高くなります。

小麦については、適期収穫日より5日刈り遅れることにより、有意差はありませんでしたが、DON含有濃度が高くなる傾向にありました(図9)。麦類の収穫適期は年により大きく変動するため、普及指導センターや農業団体等からの情報、天気予報に注意し、各ほ場を巡回し、登熟の程度を把握して、適期になり次第速やかに収穫するように努めましょう。

収穫適期は、茎葉や穂首部分が黄化し、穂軸や粒の緑色が抜け、粒には爪の跡が僅かにつく程度となる頃であり、麦粒中の水分が30%(ビール大麦については25%)を下回ることが一つの目安となります。

共同乾燥調製施設やコンバイン等を利用している地域は、各ほ場の生育状況、登熟度合を把握しつつ、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。

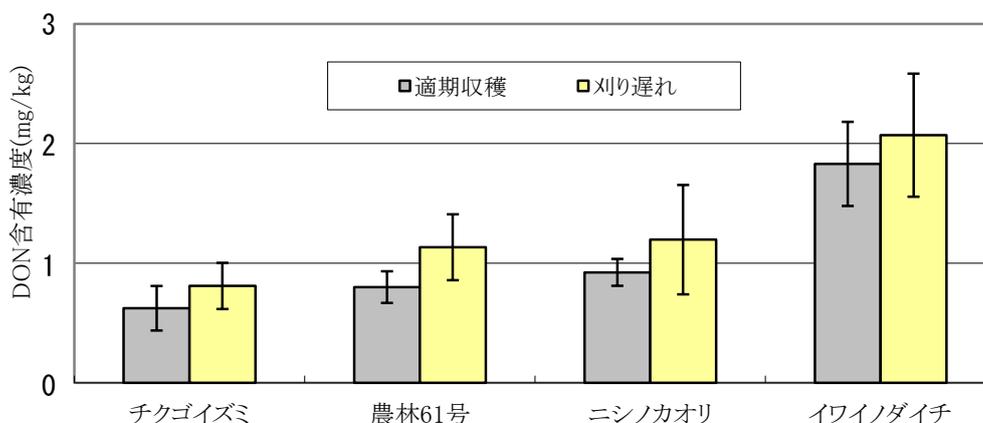


図9 刈り遅れがDON含有濃度に及ぼす影響(小麦)

赤かび病菌培養トウモロコシ粒のほ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)

## 2.2.2 適切な乾燥調製の実施

- ・ 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 等のかび毒が産生される場合がある。このため、収穫した麦は可能な限り速やかに、乾燥調製施設に搬入し乾燥する。
- ・ 乾燥するまで一時貯留（一次貯留）する場合には、通風などにより水分を低下させる。

### 【解説】

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。そのため、麦粒は収穫後速やかに乾燥させましょう。乾燥するまで一時貯留（一次貯留）する場合には、通風などにより水分を低下させましょう。なお、半乾貯留中であっても、DON、NIV が増加する場合があるので、赤かび粒の混入やかび毒含有濃度をチェックし、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、「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（農蚕園芸局長通知、5 農蚕第 6517 号）で品質事故の防止について指導しています。概要は以下の通りです。

### － 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

- ・ 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、被害の程度に応じて、被害を受けていない他の麦とは別に貯留、乾燥するなど仕分けを徹底する。

### 【解説】

赤かび病の被害を受け、かび毒に汚染された小麦粒は、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。荷受け時に赤かび病被害粒（農産物検査規格に規定する「赤かび粒」よりも広く、赤かび病の被害を受けた穀粒全般を意味します。）のチェックを行いましょう。



小麦の健全粒(左)と赤かび病被害粒(右)

また、同一ほ場内の倒伏部分と非倒伏部分から収穫した小麦及び大麦（玄麦子実）の DON 含有濃度を比較した結果では、倒伏部分の DON 含有濃度は非倒伏部分と比べて最大で4倍程度まで高い結果が報告されています（図10）。

さらに、収穫時のかび毒含有濃度と倒伏期間の関係を調べたところ、倒伏後短期間に DON 及び NIV 含有濃度の大幅な増加が認められています（図11）。

このように、赤かび病菌に感染し、ほ場に倒伏した麦は、DON、NIV 含有濃度が高くなりますので、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。

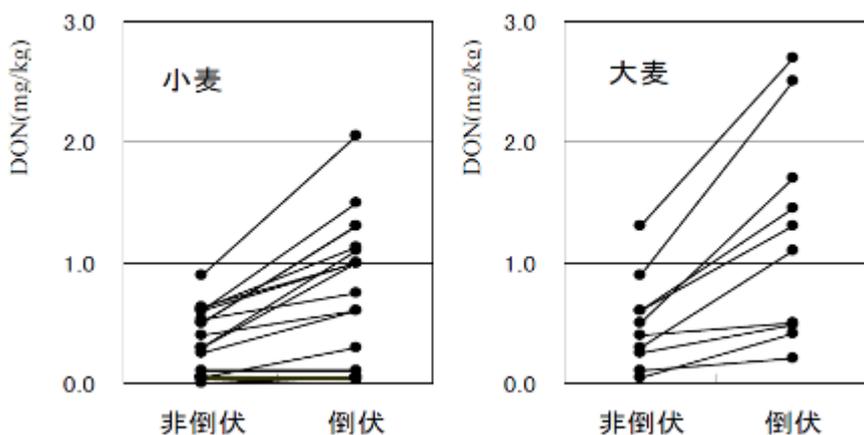


図10 赤かび病自然発生圃場におけるDON濃度に及ぼす倒伏の影響

(農研機構)

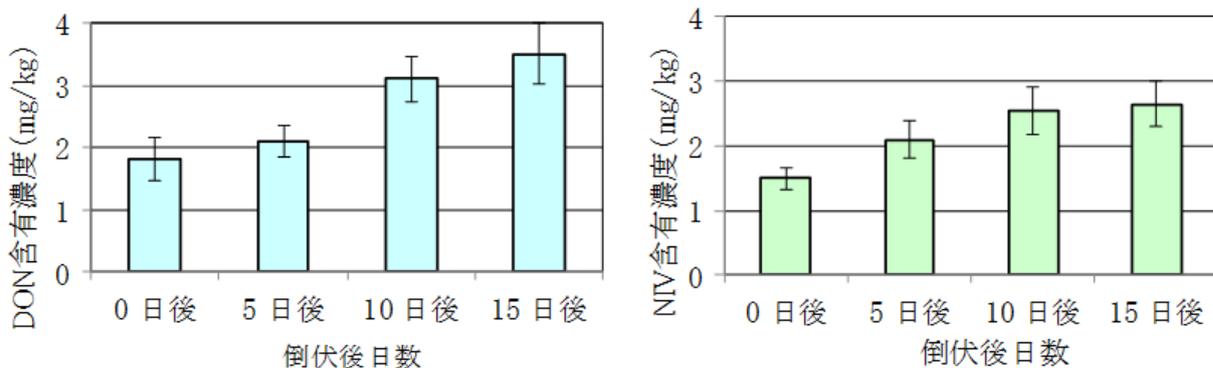


図11 人為的に倒伏させた試験区における小麦の収穫時のDON、NIV含有濃度（2004年）

赤かび病菌を接種後人為的に倒伏させ、倒伏部分の小麦のDON、NIV含有濃度を測定。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)

- ・ 乾燥調製施設においては、粒厚選別、比重選別等による調製を実施し、DON、NIV 等のかび毒の含有濃度の低減に努める。

【解説】

○ 農産物検査規格の基準

2003 年から、農産物検査規格の一部改正により、食用麦における赤かび粒の混入限度が 1.0%（ビール大麦は 0.4%）から 0.0%に改められました。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う必要があります。

○ 粒厚選別と比重選別の効果

赤かび病被害粒は、粒厚が薄くなり、また比重が軽くなることが多いことから、粒厚選別や比重選別により、DON 含有濃度の低減を図ることが可能です。

粒厚と DON 含有濃度の関係は、必ず一致する訳ではありませんが、粒厚が薄いほど DON 含有濃度が高い傾向があることが確認されています（図 12）。

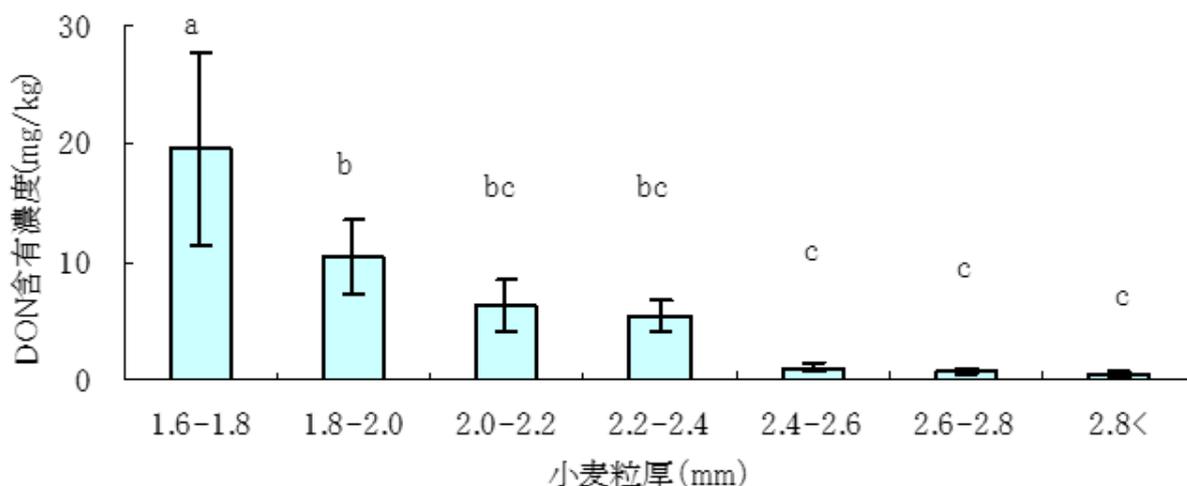


図 12 赤かび病自然発生ほ場(4か所)から採取した小麦の粒厚と DON 含有濃度の関係

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）

また、共同乾燥調製施設における粒厚選別・比重選別等による小麦のDON含有濃度の低減効果を確認しています（図13）。

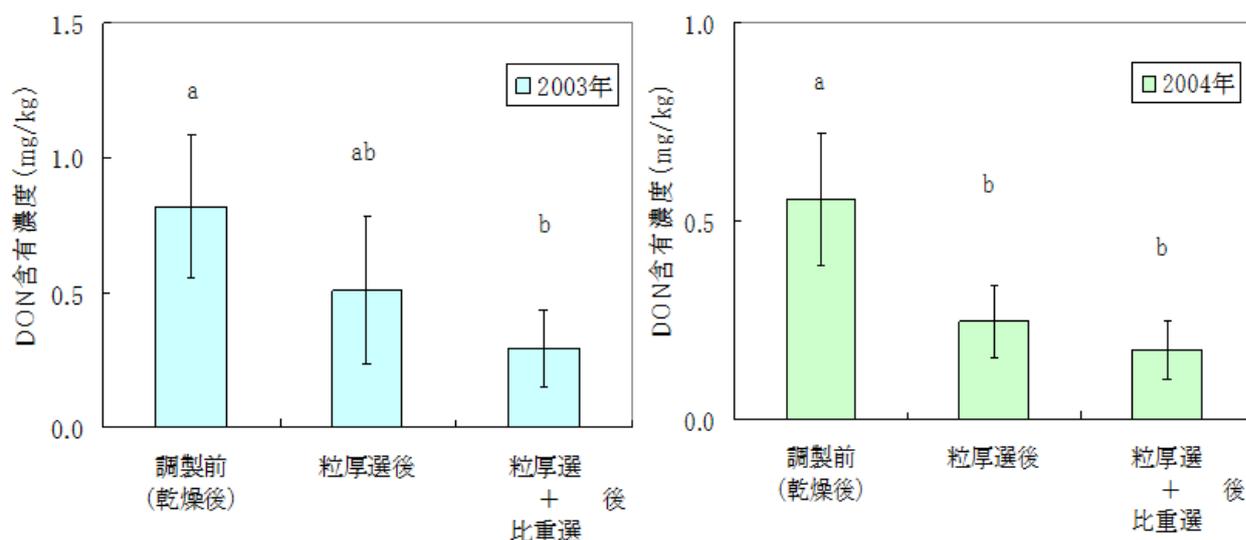


図13 共同乾燥調製施設の各段階におけるDON含有濃度の変化

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。

(佐賀県農業試験場)

### ○ その他の選別

ほかの選別法として、被害粒の除去のための光学式選別機(表10)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(表11)を用いても、赤かび病被害粒が除かれ、結果としてDON含有濃度が低減されとの結果が得られています。

表10 光学式選別機による小麦のDON含有濃度低減効果

試験区	DON含有濃度(mg/kg)
原料麦	1.5
光学式選別機 良品	0.4
光学式選別機 屑	1.5

(佐賀県農業試験場)

表11 色彩選別機によるDON及びNIV含有濃度の低減効果

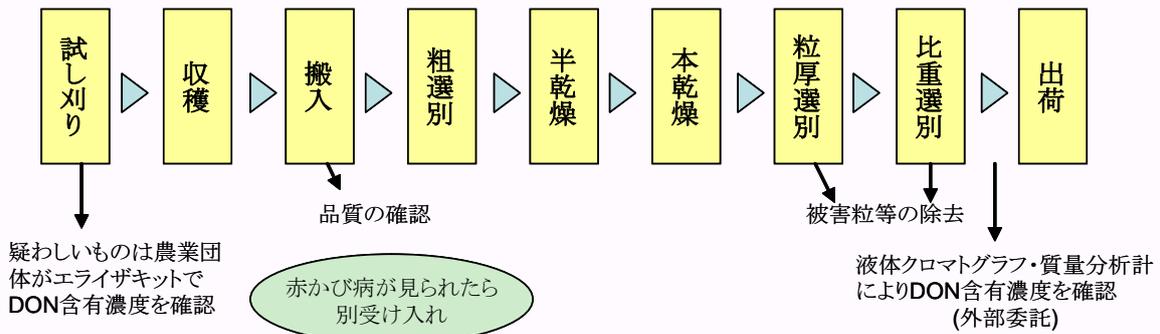
試験区	DON含有濃度(mg/kg)	NIV含有濃度(mg/kg)
原料麦	2.3	1.2
色彩選別後 良品	0.96	0.60
色彩選別後 不良品	30.7	12.0

((株)サタケ)

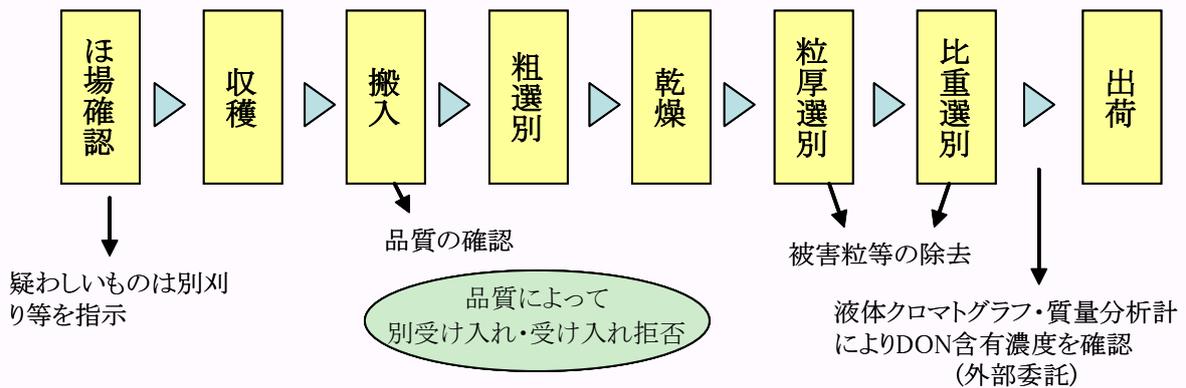
## － 収穫・乾燥調製の事例 －

各産地では、それぞれ分別や乾燥調製などを効率的に行うため、様々なやり方で取り組んでいます。

### (事例 1) 北海道の例



### (事例 2) 関東地方の例



## 2.3 かび毒検査の活用

- ・ エライザ(ELISA)分析キットなどにより、試し刈りや荷受け時の DON 等のかび毒の含有濃度を確認し、効率的な分別や乾燥調製を行う。
- ・ ほ場又は出荷ロットなどの単位で DON 等のかび毒の含有濃度を測り、その測定値を基に、当該年の気象条件による影響なども勘案しながら、本指針に基づき講じた対策の効果を検証することが望ましい。
- ・ 検証結果は、次期作の対策の検討に活用する。

### 【解説】

#### ○ DON 検査の活用

試し刈りや荷受け時にエライザ (ELISA) 分析キットで、DON 含有濃度を確認することにより、ほ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、かび毒含有濃度の測定結果は、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。

#### ○ 分析

##### ① 簡易分析のためのエライザ (ELISA) 分析キット

DON の簡易分析法としてエライザ (ELISA) 分析キットが販売されています。エライザ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 含有濃度が 1.0 mg/kg の試料をエライザ分析キットで分析した場合、分析値は 0.6~1.4 mg/kg (1.0 mg/kg の±40%) の間でふれる可能性があります。

このため、エライザ分析キットは、試料(玄麦)が小麦の基準値(1.0 mg/kg)を超えるかどうかについて確認する場合、エライザ分析キットで 0.6 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 含有濃度のスクリーニングとしての使用が可能です。



ELISA 分析キット

##### ② 機器分析

DON の試験方法は、「小麦中のデオキシニバレノール試験法について」(令和3年9月30日付け生食発 0930 第2号厚生労働省大臣官房生活衛生・食品安全審議官通知)により、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を、確認試験として液体クロマトグラフ・質量分析計又は液体クロマトグラフ・タンデム型質量分析計を用いる方法が示されています。この方法では、DON と同時に NIV も測定できます (<https://mieruka.dc.affrc.go.jp/seika/show/236137>)。

### 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手法です。日本国内では、英国環境食料農村地域省（Department for Environment, Food and Rural Affairs, 略称 DEFRA）傘下の独立行政法人である英国食料環境研究庁（The Food and Environment Research Agency, 略称 Fera）が提供する FAPAS などに参加することができます。

FAPAS に関する問い合わせ先：株式会社セントラル科学貿易  
(<https://www.cscjp.co.jp/fera/>)

## 3. 関連情報

麦類のかび毒に関する最新の試験研究成果などの情報は、以下のウェブサイトでご覧いただけます。指針に基づく取組を実施するに当たって、参考としてご活用下さい。

- ・食品のかび毒に関する情報  
([https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk\\_analysis/priority/kabidoku/](https://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  
(<https://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/gap/> )
- ・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
(<https://www.naro.go.jp/index.html>)

「麦類のデオキシニバレノール、ニバレノール汚染の予防及び低減のための指針」及び「指針活用のための技術情報」は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の多大なるご協力を得て、農林水産省委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。

また、試験データの掲載や生産実態の把握等にご協力いただきました関係者各位に深く御礼申し上げます。

— お問い合わせ先 —

○農林水産省 消費・安全局 農産安全管理課 生産安全班  
〒100-8950 東京都千代田区霞が関 1-2-1 TEL:03-3592-0306