

# 食品の安全性を確保するための麦類赤かび病の防除

(独)農研機構九州沖縄農業研究センター 赤かび病研究チーム なか じま たかし  
中 島 隆\*

## はじめに

コムギ赤かび病は小麦の品質の悪化や減収の原因となるだけでなく、その原因となるフザリウム属の病原菌がデオキシニバレノール (DON)、ニバレノール (NIV) 等のかび毒 (図-1) を作ることもある。国際食品規格 (Codex) 委員会において DON のリスク管理に関する議論が進められている中、我が国では 2002 年に厚生労働省が小麦の DON に関する暫定基準を 1.1 ppm に設定した。現在この基準値を超える小麦を市場流通させないように指導されている。さらに、2003 年産麦より農産物規格規定が改定され、赤かび病被害粒の混入が 0.05% 以上は規格外と極めて厳しい検査規格となっている。

この状況に対応するため、赤かび病の多発年でも DON 濃度を確実に 1.1 ppm 以下に制御する効率的な対策技術を確立することを目的に、これまで九州沖縄農業研究センターが中心となり全国規模のプロジェクト研究を行ってきた。具体的には、農林水産省が実施する「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」と委託プロジェクト「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」(およびその前身プロジェクト)において、各分野の研究者が連携して精力的に研究を進めてきた結果、赤かび病かび毒低減対策に役立つ多くの成果が得られてきた。本稿では、それらの成果をとりまとめた最新版のかび毒汚染リスク低減技術について概説する。

## I 麦類赤かび病と赤かび病かび毒について

本病は、複数種の *Fusarium* 属菌と、過去に本属に分類された *Microdochium nivale* により引き起こされる。日本では、*F. graminearum* 種複合体が主要な病原であり、ほかに特に北海道においては *M. nivale*, *F. avenaceum*, *F. culmorum* 等も関与する。このうち、かび毒 (DON・NIV) を産生するのは *F. graminearum* 種複合体と *F. culmorum* である。本病に侵された穂は、その一部ある

いは全体が褐色化ないし灰白化し、特に小麦において、しばしば穎の合わせ目を中心にサーモンピンク色の分生胞子塊 (スポロドキア) を生じる (口絵①)。穀粒 (収穫物) の病徴は、小麦の場合、全体が白変ししわ粒となるのが典型的である (口絵②)。大麦では、穀粒の一部ないし全体が褐色化する場合が多いが、小麦ほどは穀粒の病徴が明瞭でない (口絵③)。

DON や NIV には、発ガン性は認められていないが、嘔吐、腹痛、下痢といった症状が現れる「急性毒性」と、成長抑制や免疫機能抑制等の症状が現れる「慢性毒性」がある。前者は一度に摂取した場合に短期間のうちに現れる毒性で、後者は少量でも長期間摂取し続けた場合に見られる毒性である。現在主に問題とされているのは、後者の慢性毒性のほうで、DON を少量でも長期間にわたり摂取し続けた場合のヒトへの影響が懸念されている。2001 年に、FAO/WHO 合同食品添加物専門家委員会 (JECFA) により、DON の暫定的な「耐容一日摂取量」(TDI: ヒトが一生涯に当たり摂取し続けても健康への悪影響が出ないと判断される一日当たりの最大摂取量) が  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日と設定された。これを受け、2002 年に日本において小麦中の DON の暫定基準値 (1.1 ppm) が設定されている。一方、NIV については、現在基準値は設定されていないが、2010 年 11 月、我が国独自に、食品安全委員会において DON と併せて NIV の食品健康影響評価がなされ、NIV の TDI が  $0.4 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日と示された。これは NIV が DON (TDI:  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日) と比較して、2.5 倍毒性が高いことを意味する。今後このリスク評価が規格基準にどのように反映されるかは不明であるが、より高度なかび毒低減対策が求められる状況になることが予想される。

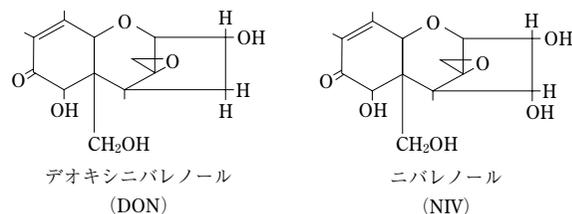


図-1 麦類赤かび病で問題となるかび毒

Control of Fusarium Head Blight in Wheat and Barley for Ensuring Food Safety. By Takashi NAKAJIMA

(キーワード: かび毒, マイコトキシン, デオキシニバレノール, ニバレノール, 生産工程管理)

\* 現所属: 内閣府食品安全委員会事務局

## II 赤かび病かび毒汚染リスク低減技術と最近の研究動向について

### 1 薬剤防除

赤かび病の防除およびかび毒汚染防止対策として最も重要なのは、麦の生産段階における適切な薬剤（農薬）散布である。赤かび病の発病軽減だけでなくかび毒低減にも効果の高い薬剤を選択し、適期に散布することが大事である。現在、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、残留毒性試験などを経て農薬取締法に基づく農薬登録を受け、これまで実際の防除に使用されてきた。しかしながら、これら薬剤の「かび毒低減効果」についてはほとんど明らかでなかったため、改めてその効果が調べられた。その結果、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、かび毒低減効果が高い薬剤として選抜され、現在では、赤かび病防除においてこれら薬剤の使用が推奨されている。また、同じ薬剤でも剤形により効果が異なり、「粉剤」よりも「水和剤」や「ゾル剤」の効果が高いことが明らかになっている（中島ら、2006）。なお、現在赤かび病防除剤としての登録に向けた試験を行っている薬剤についても、発病を抑える効果だけでなく、かび毒低減効果を併せて調べる自主的な取組が行われている。

薬剤散布の適期、すなわち「どのタイミングで薬剤をまくのがよいか」は、麦種別に異なる。小麦では開花が始まってから10日程度の間が最も感染しやすく、このころに降雨が続き、気温が高いと多発する。なお、この時期に感染しやすくなる大きな理由は、開花により「葯」（おしべの先端部分）が抽出し、この部分が赤かび病菌の感染の足場となるためと考えられる。現在の防除薬剤は予防効果が中心なので、防除開始時期は「開花盛期」よりも「開花始め」が望ましい。この時期に正しく散布できたかどうかで防除の成否がほぼ決まる。その後、秋まき小麦で1回、春まき小麦で2回の追加散布が基本となる。なお同じ品種でも栽培管理状況によって出穂や開花のバラツキが大きいので、各圃場ごとの生育状況に応じた防除が必要で、特に開花期を正確に把握・予測することが求められる。なお、現在も継続しているプロジェクト研究において、西日本の主要小麦品種についてはアメダスの気象データを利用した開花期予測モデルが開発されており（黒瀬ら、2004）、現在現場での有効性について検証が始められているところである。

大麦については、二条大麦と六条大麦で薬剤防除適期が異なることが最近の研究で明らかになった。現在我が

国で栽培されている二条大麦は、ごく一部の例外を除き「閉花受粉性」であるため、開花受粉期（ほぼ「穂揃い期」に相当する）に、葯が抽出しない。さらに、抵抗性やや強の品種が大部分であることから、穂揃い期の感染リスクは低い。しかしその後、子実の肥大に伴い「葯殻」（授粉を終えた葯の殻）が押し出されてくる「穂揃い10日後ごろ」に、最も感染リスクが高くなり、この時期（葯殻抽出期）が、二条大麦の薬剤散布適期であることがわかった（図-2）。従来、二条大麦の薬剤散布適期は「穂揃い期」とされてきたが、本当の散布適期はこれより10日ほど遅い時期であることが明らかにされた（YOSHIDA et al., 2008）。一方、六条大麦については小麦と同様「開花受粉性」であるため、小麦と同じく開花始めが散布適期となる。また、抵抗性が弱～やや弱の品種が大部分なので追加防除が必要である。

ちなみに、「農薬」というと、一般には「人の健康に害を及ぼす悪いもの」というイメージを持たれることが多いが、赤かび病の防除に用いられる薬剤は毒性の低いものがほとんどであり、許容一日摂取量：ADI（TDIと実質的に同義）はDONのTDIの29～120倍である（表-1）。つまり、これら薬剤はDONよりはるかに毒性が低いと評価されていることになる。またこれら薬剤の小麦中の残留基準値は、かび毒に比べ、耐容摂取量から見て相対的に小さく設定されている（表-1）。さらに、実際に栽培された小麦中の残留農薬濃度は基準値に比べ著しく低いことが農林水産省の実態調査の結果で明らかである。このように、使用する農薬の毒性や残留実態からみて、赤かび病防除のための農薬使用による健康影響のリスクはほとんどないと考えられる。よって、赤かび病の防除を適切に行いかび毒汚染を防止・低減すること

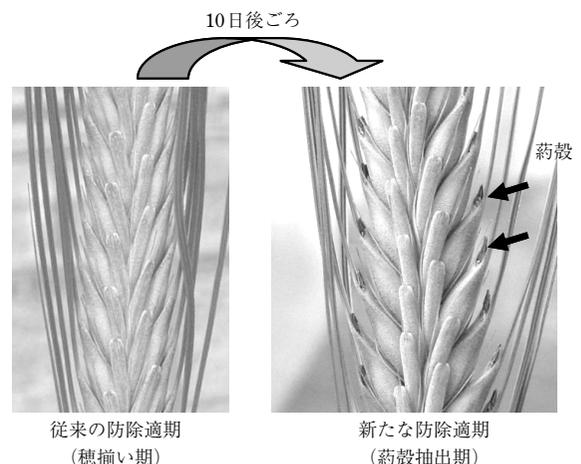


図-2 二条大麦の赤かび病防除適期

表-1 主な赤かび病防除薬剤とかび毒の許容摂取量と残留基準値の比較

| 薬剤         | 許容一日摂取量 (ADI)<br>( $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日) | 小麦中の残留基準値<br>( $\text{mg}/\text{kg}$ ) |
|------------|--|--|
| チオファネートメチル | 120  | 0.6                                    |
| テブコナゾール    | 29   | 2                                      |
| メトコナゾール    | 40   | 0.2                                    |

| 赤かび病かび毒          | 耐容一日摂取量 (TDI)<br>( $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日) | 小麦中の暫定的な基準値<br>( $\text{mg}/\text{kg}$ ) |
|------------------|--|--|
| デオキシニバレノール (DON) | 1.0 <sup>a, b)</sup>                             | 1.1                                      |
| ニバレノール (NIV)     | 0.4 <sup>b)</sup>                                | 未設定                                      |

注：a)：FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (JECFA) による評価 (2001年)。

b)：内閣府食品安全委員会による評価 (2010年11月)。

が食品の安全性を確保するうえで重要である。

## 2 抵抗性品種の利用

各産地において、作付け可能な奨励品種が複数ある場合には、実需者の評価やニーズを勘案したうえで、できるだけ赤かび病抵抗性の強い品種を選択することが大事である。各都道府県の奨励品種の赤かび病抵抗性程度については農林水産省のホームページ ([http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/pdf/akakabi\\_2006.pdf](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/pdf/akakabi_2006.pdf)) に評価が示されている。現在さらに、関東以西の奨励品種については「かび毒蓄積性」について評価が進められているところであり、今後赤かび病抵抗性と併せてかび毒蓄積性についても情報が示される見込みである。

なお赤かび病の発病程度は環境条件により大きく変動し、品種の抵抗性のみでは赤かび病を防ぎきれないことを認識しておく必要がある。抵抗性の強弱にかかわらず、各麦種における薬剤散布適期の1回の散布は必須である。しかし同じ防除を行った場合でも、抵抗性品種の利用によってより確実にかび毒汚染リスクを下げることができ、また追加防除回数の削減も可能になると考えられる。

## 3 最近の抵抗性育種動向

赤かび病かび毒の問題が重要視され出した近年、赤かび病抵抗性育種の取組が精力的に行われている。

九州沖縄農業研究センターでは、2006年に赤かび病に強く品質の優れた小麦新品種‘トワイズミ’を育成した。本品種は温暖地以西の平坦地に適応する日本めん用品種で、赤かび病には‘農林61号’ (抵抗性「中」) よりやや強い。なお‘トワイズミ’は、その祖先に中国由来の赤かび病抵抗性「強」の小麦遺伝資源である‘蘇麦3号’が用いられているが、‘蘇麦3号’と同程度まで抵抗性・かび毒低蓄積性に優れているわけではなく、さらなる抵抗性の改良が可能と考えられる。

また、ごく最近では当研究センターにおいて、小麦では非常に珍しい性質である「閉花受粉性」の遺伝資源‘U24’と、‘蘇麦3号’由来の赤かび病抵抗性を持つ‘西海165号’との交配から、閉花受粉性であることによる物理的な抵抗性と生理的な抵抗性とを併せ持った‘小麦中間母本農9号’が作出されている (KUBO et al., 2010)。この中間母本を育種の際の交配親に用いることにより、機種の異なる赤かび病抵抗性の有用な遺伝因子を効率的に導入することが可能であり、今後、この母本を用いた「閉花受粉性」の性質を持つ新しいタイプの抵抗性品種の育成が期待される。

一方、我が国で最も小麦生産量の多い北海道では、道立農業試験場において、近年育成された秋まき小麦品種‘きたほなみ’ (2006年育成) および春まき小麦品種‘はるきりり’ (2007年育成) のそれぞれをベースとして、DNAマーカーを用いて、‘蘇麦3号’由来の抵抗性遺伝子領域を複数導入した系統の育成が短期間のうちに効率的に進められており、かび毒をためにくく実用形質も優れた系統が作出されてきている。これら有用な抵抗性系統は今後、品種化に向けた検討がなされるほか、交配母本としての活用が期待できる。また、ホクレン農業総合研究所や北海道農業研究センターにおいても独自に抵抗性育種および関連研究が精力的に進められており、北海道における赤かび病抵抗性育種の効率化・高度化につながる成果が得られてきている。

## 4 収穫・調製時のかび毒低減対策

防除に失敗し、赤かび病が多発した圃場ではかび毒に高濃度に汚染されている可能性が高いため、仕分け刈りを行うことが望ましい。また、登熟後期に麦が倒伏した場合は赤かび病の発生がわずかの圃場でもかび毒が検出されることがあるため、倒伏させないように肥培管理などに注意する必要がある。また、収穫の遅れによりかび

| 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、鋤込み等）   | 低    |
|            | トウモロコシの後作は回避【一部地域のみ】        | 中    |
| 播種         | 推奨品種の中から赤かび病抵抗性が高い品種を選択     | 高    |
|            | 推奨される栽培密度の遵守                | 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        | 倒伏防止                        | 中    |
| 出穂期<br>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    |
|            | 赤かび病の適期防除の実施                | 高    |
|            | 赤かび病の防除基準や発生子察情報、気象情報の活用    | 中    |
|            | 同一系統の薬剤の連用の回避               | 低    |
| 収穫期        | 適期収穫の徹底                     | 中    |
|            | 赤かび病被害麦の仕分け収穫の徹底            | 高    |
| 乾燥<br>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等による被害粒の選別         | 高    |
| 貯蔵         | 貯蔵施設の温湿度管理                  | 中    |
|            | 関連施設・機器の清掃の徹底               | 低    |

図-3 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

毒の増加が懸念されるため、収穫適期に達したら早めに刈り取りし、終了後は直ちに乾燥作業を行う。

なお収穫した麦のかび毒濃度が高い場合でも、その後の調製によりある程度濃度を下げることが可能である。粒厚選別の篩目を通常より大きくすることで、収量はある程度犠牲になるが、赤かび病被害粒（口絵②）の混入割合を減らしてかび毒汚染を低減することができる。また小麦の赤かび病被害粒は密度が低く千粒重が軽い性質があるため、比重選別もかび毒低減に有効である。このほか、小麦においては、被害粒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を用いても、赤かび病被害粒が除かれ、かび毒低減に有効である。なお、大麦における収穫後の各種調製技術によるかび毒低減効果については、現在検討が進められているところである。

### III かび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル

当研究チームでは「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2008年12月に作成し、公表している（[http://konarc.naro.affrc.go.jp/old\\_team/](http://konarc.naro.affrc.go.jp/old_team/)

Fusarium/manual.pdf)。本マニュアルでは、都道府県の研究者および指導者を対象に、赤かび病かび毒汚染低減技術の指導や現地実証試験に取組む際の対策技術と留意事項を詳細に説明している。具体的には、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・貯蔵等の各生産工程におけるかび毒汚染防止・低減対策等を実施時期ごとに整理しており、また、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、科学的根拠とともに高・中・低の3段階で評価している（図-3）。なお、農林水産省消費安全局・生産局が本マニュアルを基に「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」および「指針活用のための技術情報」（<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouan/081217.html>）を作成・通知しているので参照されたい。なおこれらマニュアルなどは、今後の研究の進展に応じて随時更新される予定である。

#### 引用文献

- 1) KUBO, K. et al. (2010): Breeding Science 60: 405 ~ 411.
- 2) 黒瀬義孝ら (2004): 九州農業研究 66: 23.
- 3) 中島 隆ら (2006): 九病虫研会報 52: 33 ~ 37.
- 4) YOSHIDA, M. et al. (2008): Plant Dis. 92: 1164 ~ 1170.

（登録が失効した農業32ページからの続き）

「殺虫殺菌剤」

- エトフェンプロックス・プロベナゾール粒剤  
17679: オリゼメートトレボン粒剤 L (三井化学アグロ) 11/10/31
- 17680: 明治オリゼメートトレボン粒剤 L (Meiji Seika ファルマ) 11/10/31

17682: ホクコーオリゼメートトレボン粒剤 L (北興化学工業) 11/10/31

- テブフェノジド・ブプロフェジン・イソプロチオラン・フルトラニル粉剤  
19359: コルター1号F粉剤 DL (日本農薬) 11/10/24

(55ページに続く)