

〔短報〕

小麦比重選別におけるデオキシニバレノール濃度と赤かび粒率の関係および貯蔵中のデオキシニバレノール濃度

原 圭祐*¹ 角野 晶大*² 小澤 徹*³

DON 濃度の暫定基準値及び2003年産より改訂された農産物規格規定における赤かび粒混入率の上限値に対応した規格内小麦を出荷するため、比重選別機による調製法を検討した。その結果、赤かび粒率の上限値を目安に比重選別機製品出口と戻し口間の仕切り板位置を調整することにより、デオキシニバレノールの暫定基準値及び農産物規格規定に示された項目を満たせることが明らかとなった。また、仕上げ乾燥まで行った小麦を約1年間貯蔵した結果、貯蔵中にDON濃度及び産生菌 (*F. graminearum*) の保菌粒率が増加することは無かった。

緒 言

デオキシニバレノール (以下 DON とする) はコムギ赤かび病の病原菌である *Fusarium graminearum* などが産生する人畜に有害なカビ毒の一種であり、2002年には食品衛生法の規格基準が設定されるまでの暫定基準値が1.1ppmと設定され、これを超える小麦は食用として流通が規制されるようになった^{3),4)}。これに加え、2003年産からは農産物規格規定のうち赤かび粒の混入割合が従来の1.0%から0.0% (0.05%未満) と厳しくなった。

本病の被害を抑えるために生育期間中の薬剤防除が実施されているが、これらの基準を確実に満たすためには収穫後の調製が不可欠である。比重選別機は小麦調製の最終工程で使用される選別機で、かび粒や発芽粒などの比重の軽い被害粒や異種穀粒を選別する目的で広く普及している。近年ではDON濃度を低減できる選別機としても活用されている^{2),8)}。しかし、比重選別機は小麦粒の相対的な見かけ比重の差により選別を行うため、調製する原料毎に選別特性が異なる。このため、安定した調製を行うためには同じ製品口割合で調製できる原料を事前に区分してロット形成し、調製することが望ましい。また、選別機出口で製品として回収する小麦とそれ以外

の小麦を分ける仕切り板の位置は、原料毎に目視で判断される。DON濃度は目視では分からないため、施設のオペレータは基準値を満たしているかを確認するには、DON濃度を分析する必要がある。現在、DON濃度の簡易分析法としてELISAキットが市販されているが、粉碎器等の機器が必要であることや分析に1時間程度を要することから調製段階ではほとんど使用されておらず、自主検査で分析機関に依頼した結果を待って基準値を満たしているか否かを判断する状況にある。

乾燥調製後の小麦は貯蔵施設において1年程度貯蔵される場合があり、貯蔵期間中のDON蓄積量の増加が危惧されている。しかし、半乾貯留中の小麦ではDON濃度が増加する報告はあるが、国内における乾燥調製後の製品の貯蔵中におけるDON濃度の推移に関する知見は無い。

以上のことから本研究では、収穫後の小麦DON汚染低減対策として、比重選別機の仕切り板位置の決定方法、効率的に調製を行うためのロット形成法の検討及び乾燥調製した子実の貯蔵中におけるDON汚染リスクの評価を行った。

試験方法

1. 荷受実態調査

道内のA小麦共同乾燥調製施設に荷受けされた春まき小麦「春よ恋」のDON濃度及び赤かび粒率をトラック毎に調査した。調査数は2003年32点、2004年は30点である。

2. 小麦子実の性状とDON濃度の関係調査

整粒、赤かび粒、その他被害粒とDON濃度の関係を調査した。調査は産地、DON濃度の異なる3原料につ

2009年8月5日受理

*1 北海道立中央農業試験場 (現:十勝農業試験場),
082-0081 河西郡芽室町

E-mail:harakei@agri.pref.hokkaido.jp

*2 北海道立中央農業試験場 (現:花野菜技術センター),
073-0026 滝川市)

*3 北海道立十勝農業試験場

いて行った。なお、赤かび粒，その他被害粒は比重選別後の屑品中からサンプリングした。整粒は比重選別後の製品及び屑品の両方からサンプリングした。

3. DON 濃度及び農産物規格規定を満たすための比重選別機利用法

試験には呼称能力0.5~1.0t/h，OLIVER 社製の比重選別機を供試した。比重選別機による選別程度は原料小麦の性状によって異なるため，2004年~2006年の3年間，道央産の「春よ恋」について，比重選別機による選別が必要と判断された原料の中から DON 濃度，赤かび粒率，整粒割合，容積重の異なる17点を対象に試験を行った。供試した小麦の DON 濃度は0.34~4.23ppm，赤かび粒率は0.07~1.87%，容積重は805~860g/l であり，比重選別前に風力選別，粒厚選別（篩い目2.2mm）を行った。比重選別試験では原料小麦を20kg 程度投入し，選別機出口を10分割してサンプリングした。サンプリングした試料は分割口毎に流量，整粒割合，発芽粒率，黒かび粒率，容積重，DON 濃度を測定し，比重の大きい小麦が流れる側から積算して農産物規格規定の一等麦規格（整粒割合75%，発芽粒率2.0%，黒かび粒率5.0%，赤かび粒0.049%），DON 濃度の暫定基準値1.1ppm を満たすために必要な歩留を求めた。なお，DON 濃度はエライザ法の誤差範囲⁶⁾を考慮して0.7ppm を基準値とした。

4. 貯蔵中における DON 濃度の推移

仕上げ乾燥後，DON 濃度を基準値以下の0.34~0.64ppm に調製した「春よ恋」及び「ホクシン」を樹脂製の PP 袋に10~40kg 入れ，5，15，25，30℃及び室温で貯蔵した。貯蔵した小麦は貯蔵1，3，6，12ヶ月後に子実を採取し，DON 濃度及び *F. graminearum* の保菌粒率を調査した。DON 濃度の測定は ELISA 法（協和メデックス社，FA・マイコトキシン）を用いて行った。保菌粒率は子実100粒を供試し，FG 培地で赤かび病菌を分離後，菌糸を SNA 培地に移植し，分生子及び分生子柄の形態を顕微鏡観察し病原菌の同定を行った。また，実規模での実態調査を把握するため，道央の常温貯蔵庫（1トンのフレコン，スチールコンテナ積載）で貯蔵した「春よ恋」，道東のサイロで貯蔵した「ホクシン」を対象に DON 濃度，産生菌の保菌粒率の推移を調査した。

試験結果

1. 荷受け原料の DON 濃度及び赤かび粒率の実態

荷受け時の小麦赤かび粒率及び DON 濃度の頻度分布を図1，図2に示す。2年間の調査では DON 濃度のみでみると暫定基準値以下で調製の必要のない原料が2003年で約60%，2004年は約80%であった。一方，赤かび粒

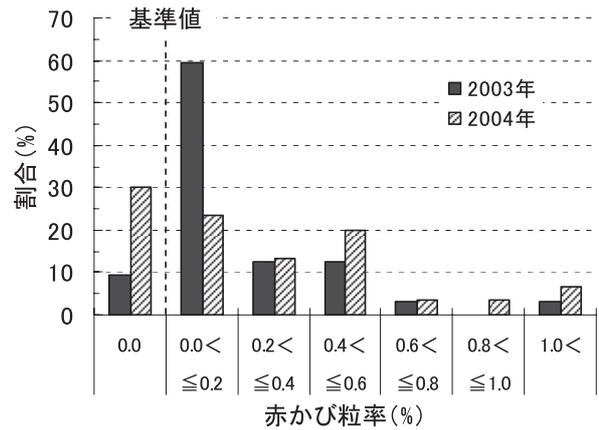


図1 現地荷受け小麦の赤かび粒率分布

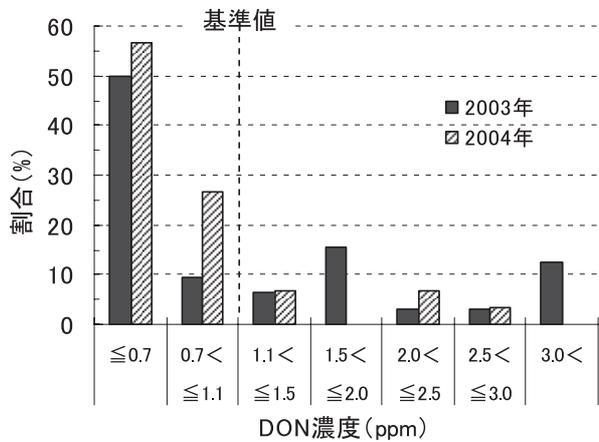


図2 現地荷受け小麦のDON濃度分布

率が基準値以内の原料は，DON 濃度が基準値を満たす原料よりも少なく，2003年で約10%，2004年は約30%であった。

2. 小麦子実の性状と DON 濃度の関係

赤かび粒の DON 濃度は99~151ppm と非常に高く，その他被害粒の DON 濃度も4~5 ppm と比較的高かった（表1）。整粒の DON 濃度は製品口に選別される比重の大きい粒は0.2~0.4ppm と小さいが，屑品口に混入する比重が小さい粒では高い傾向にあり，その差は DON 濃度の高い原料ほど顕著であった。荷受けされる小麦の中でも DON 濃度が3.7ppm と高い原料中に含まれる比重の小さい整粒はその他被害粒並の DON 濃度であった。

表1 小麦子実の性状とDON濃度の関係 単位：ppm

| | 原料 | 比重選製品中の整粒 | 比重選屑中の整粒 | 赤かび粒 | その他被害粒 |
|-----|-----|-----------|----------|-------|--------|
| 産地A | 1.1 | 0.2 | 0.4 | 150.6 | 4.5 |
| 産地A | 3.7 | 0.2 | 4.0 | 147.7 | 4.9 |
| 産地B | 1.4 | 0.4 | 1.0 | 99.4 | 4.0 |

表2 比重選別機により各基準値を満たす時の歩留

| 事 例 No. | 原料の DON濃度 (ppm) | 原料の 赤かび粒率 (%) | 原料の 整粒割合 (%) | 原料の 容積重 (g/L) | 比重選別機の歩留 (%) | | | | |
|------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|----|
| | | | | | 整粒割合が75%になる ように調製した時 | DON濃度が1.1ppm 未満になるように 調製した時 | 赤かび粒率が0.05% 未満になるように 調製した時 | | |
| 1 | 0.34 | 0.33 | 80.8 | 821 | 96 | < | 100 | > | 47 |
| 2 | 0.34 | 0.44 | 72.9 | 805 | 51 | < | 100 | > | 35 |
| 3 | 0.41 | 0.07 | 74.4 | 822 | 99 | < | 100 | > | 95 |
| 4 | 0.42 | 0.21 | 82.6 | 825 | 100 | = | 100 | > | 67 |
| 5 | 0.53 | 0.50 | 77.1 | 822 | 74 | < | 100 | > | 41 |
| 6 | 0.53 | 0.08 | 88.5 | 837 | 100 | = | 100 | > | 93 |
| 7 | 0.74 | 0.16 | 83.3 | 833 | 100 | = | 100 | > | 77 |
| 8 | 0.76 | 0.13 | 73.0 | 816 | 100 | = | 100 | > | 50 |
| 9 | 1.06 | 0.18 | 79.3 | 838 | 100 | > | 90 | > | 37 |
| 10 | 1.07 | 0.35 | 88.3 | 860 | 100 | > | 95 | > | 61 |
| 11 | 1.34 | 0.39 | 76.0 | 830 | 92 | > | 56 | > | 41 |
| 12 | 1.39 | 0.26 | 80.9 | 835 | 100 | > | 57 | > | 51 |
| 13 | 1.39 | 0.70 | 73.6 | 835 | 100 | > | 58 | > | 55 |
| 14 | 1.53 | 0.46 | 88.5 | 860 | 100 | > | 87 | > | 70 |
| 15 | 1.58 | 0.22 | 82.2 | 835 | 100 | > | 54 | > | 49 |
| 16 | 3.72 | 1.20 | 72.9 | 842 | 77 | > | 44 | > | 32 |
| 17 | 3.74 | 1.87 | 71.8 | 840 | 100 | > | 50 | > | 38 |

3. 比重選別機の歩留と調製目標の関係

表2にDON濃度、赤かび粒率、整粒割合の各基準値のみを満たすように比重選別した時の歩留を示す。DON濃度及び整粒割合は、比重選別機に投入する段階

表3 原料小麦の性状と比重選歩留の相関

| | 原料の 整粒割合 | 原料の 赤かび粒率 | 原料の 容積重 | 原料の DON濃度 |
|--------------------------|-------------|--------------|------------|--------------|
| 全試料における歩留 | 0.82** | 0.64* | 0.45 | 0.59* |
| 赤かび粒率1.0%未満 の試料における歩留 | 0.69** | 0.27 | 0.60* | 0.17 |

注) 数字は相関係数、**有意水準1%、*有意水準5%

で基準値を満たしている原料が17試料中それぞれ8試料、11試料あったため、全体の調製歩留も比較的高く、DON濃度で平均82%、整粒割合で平均93%であった。一方で、赤かび粒率の基準値を満たすように調製したときの歩留はいずれの原料においてもDON濃度、整粒割合と比較して小さく、平均で55%であった。

4. 原料小麦の性状と比重選歩留の関係

小麦原料の整粒割合、赤かび粒率、容積重、DON濃度と比重選別機歩留の相関係数を表3に示す。赤かび粒率やDON濃度は全試料でみると相関がやや高いが、赤かび粒率が1.0%未満の原料でみるといずれも相関関係が認められなかった。一方で整粒割合は赤かび粒率の多

表4 貯蔵中におけるDON濃度及び*F. graminearum*保菌粒率の推移

| 品種名 | 貯蔵前 | 貯蔵条件 | | | | | DON濃度(ppm) <i>F. graminearum</i> 保菌粒率(%) | | | | |
|--------|-----|------|------|------|------|------|--|-----|-----|------|---|
| | | 1ヶ月 | 3ヶ月 | 6ヶ月 | 12ヶ月 | 貯蔵前 | 1ヶ月 | 3ヶ月 | 6ヶ月 | 12ヶ月 | |
| 「春よ恋」 | 5℃ | 0.61 | 0.31 | 0.63 | 0.30 | 0.39 | — | — | 12 | 7 | 0 |
| | 15℃ | 0.55 | 0.42 | 0.67 | 0.32 | 0.36 | — | — | 8 | 3 | 0 |
| | 25℃ | 0.52 | 0.43 | 0.43 | 0.38 | 0.36 | — | — | 0 | 2 | 1 |
| | 30℃ | 0.64 | 0.66 | 0.55 | 0.40 | 0.37 | — | — | 4 | 1 | 0 |
| | 常温 | 0.63 | 0.56 | 0.46 | 0.30 | 0.33 | — | — | 4 | 2 | 2 |
| | 常温 | 2.66 | 2.24 | 3.12 | 1.76 | 1.89 | — | — | 8 | 6 | 2 |
| 「ホクシン」 | 5℃ | 0.34 | 0.46 | 0.40 | 0.39 | 0.24 | 6 | 10 | 9 | 9 | 8 |
| | 15℃ | 0.34 | 0.38 | 0.35 | 0.27 | 0.27 | 6 | 10 | 8 | 4 | 2 |
| | 25℃ | 0.34 | 0.44 | 0.53 | 0.44 | 0.28 | 6 | 7 | 3 | 0 | 0 |
| | 30℃ | 0.34 | 0.47 | 0.28 | 0.45 | 0.33 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 常温 | 0.34 | 0.48 | 0.30 | 0.57 | 0.22 | 6 | 8 | 9 | 4 | 0 |

少によらず比重選別機の歩留と高い相関を示した。

5. 貯蔵中における DON 濃度の推移

表4に貯蔵期間中の DON 濃度及び *F. graminearum* の保菌粒率の推移を示す。「春よ恋」、「ホクシン」ともにいずれの貯蔵温度においても DON 濃度及び保菌粒率が増加する傾向は示さなかった。現地におけるフレコン貯蔵及びサイロ貯蔵においても同様に貯蔵中に DON 濃度及び保菌粒率が増加することは無かった。

考 察

本試験で行った実態調査では、荷受け時に DON 濃度の暫定基準値を超えている原料は半数以下であった。これに対し、年次間差はあるが赤かび粒の混入割合が基準値を上回る原料が多いことが明らかとなった。

また、粒の種類と DON 濃度の関係から、DON 濃度低減のためには赤かび粒＞その他被害粒＞みかけ比重の小さい整粒、の順に選別していくことが効果的であることが明らかとなった。比重選別機は DON 濃度の高い赤かび粒、黒かび粒、その他被害粒やみかけ比重の小さい整粒を除去できるため、DON 濃度低減効果が高いと考えられる。

比重選別試験の結果、いずれの原料においても赤かび粒混入割合の基準値を満す時の歩留が最も低くなった。すなわち、調製の観点からは赤かび粒の基準値が最も厳しいと言える。このことから、赤かび粒が混入している原料では、目視で判断できる赤かび粒が基準以内に調製できているかどうかを目安にして比重選別機の仕切り板位置を調節することで、DON 濃度及びその他の項目を基準値以内に調製できる。道産小麦は最終的には自主検査により DON 分析をした上で出荷されるが、比重選別における DON 濃度と赤かび粒率基準値との関係は、調製施設のオペレータが目安にする指標として有効である。

荷受けでは通常、乾燥ムラを避けるため、子実水分による乾燥原料の仕分けが行われる。農産物検査における赤かび粒率の基準が改正されてからは、赤かび粒率による仕分けを行っている事例もある。この場合、2～3人がそれぞれカルトンを用いて目視で赤かび粒を数え、赤かび粒の数で仕分けしている。本試験では、同程度の比重選歩留のロットを形成するためには、比重選別機投入前の整粒割合により仕分けすることが効果的であることを明らかにした。比重選別機投入前の整粒割合が同程度のロットを形成するためには、荷受けでは該当施設の粒選と同じ目の篩いにより未熟粒を除去し、篩上の整粒よりも少量の被害粒を数えるのが簡便である。なお、これらの被害粒は生麦でも判別可能である。

本試験では仕上げ乾燥後、温度条件を変えて1年間貯

蔵した結果、いずれの条件においても DON 濃度が増加する傾向は認められなかった。また、*F. graminearum* の保菌粒率も増加しなかったことから、貯蔵期間中に既に感染している子実から他の子実への2次感染は起きなかったものと推察される。なお、DON 濃度が暫定基準の1.1ppm以下に調製された試料では最大で0.24ppm程度の変動が見られたが、エライザ法による分析値には20～40%程度の変動が見られる場合があるとされており⁶⁾、この変動は誤差の範囲であると考えられる。産生菌の保菌粒率の変動に関しても同様であると考えられる。

微生物の育成に必要な水分を表す指標として水分活性 (A_w) が用いられており、DON の産生菌である *F. graminearum* は水分活性0.88 (子実水分で19%前後)、*F. culmorum* は水分活性0.87以下では活動しないとの報告がある^{9,10)}。仕上げ乾燥まで行った小麦の水分活性は0.60～0.65で病原菌が活動できる水分活性を大きく下回るため、仕上げ乾燥まで行った小麦は、結露等の事故が無い限り、通常の貯蔵条件で DON 濃度が増加することは無いと考えられる。

引用文献

- 1) 加藤淳, 角野晶大. “エライザ法による生麦のデオキシニバレノール分析技術”. 平成16年度新しい研究成果—北海道地域—. 2005. p.181-184
- 2) 九州沖縄農業研究センター. “粒厚選別及び比重選別がコムギ赤かび病マイコトキシン低減に有効な根拠”. 平成15年度九州沖縄農業研究成果情報. 2004
- 3) 厚生労働省. “小麦のデオキシニバレノールに係る暫定的な基準値の設定について”. 食発第0521001号. 平成14年5月21日.
- 4) 榊浩行. “マイコトキシン暫定基準値の設定と生産上の対応”. 冬作物研究. 2, 1-5 (2002)
- 5) 食糧庁通知. “ELISA法を用いた小麦のデオキシニバレノールの分析について”. 15食糧第166号, 平成15年4月18日.
- 6) 全農施設・資材部編. “共乾施設の手引き—第Ⅱ分冊—. 1986, p.219-243
- 7) 竹中秀行, 角野晶大, 前野眞司, 桃野寛. “小麦のデオキシニバレノール汚染低減のための乾燥調製法”. 平成16年度新しい研究成果—北海道地域—. 2005, p.29-32
- 8) 田中敏嗣. “赤かび病マイコトキシンの検出技術及びリスク評価”. 冬作物研究. 2, 6-19 (2002)
- 9) 鶴田理. “貯蔵穀物における微生物の推移”. かびと食物. 医歯薬出版. 1975, p.193
- 10) 鶴田理. “貯蔵穀類でのマイコトキシン汚染”. マイ

コトキシソ . 14 , 10 (1982)

- 11) 中島隆 . “ 赤かび病防除及びマイコトキシソ産生制御の研究動向 ” . 冬作物研究 . 2 , 20-29 (2002)
- 12) 北海道立中央農業試験場 . “ 春まき小麦のデオキシニバレノール汚染低減に向けた当面の対策 ” . 平成15年普及奨励ならびに指導参考事項 . 2003 , p.168-171

Relationship between Deoxynivalenol Tolerance and Scab-Damaged Wheat Kernels in Gravity Separating, and Deoxynivalenol Concentration in Wheat Grains during Storage

Authors: Keisuke HARA*, Akio SUMINO and Toru KOZAWA

Address: *Hokkaido Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, Hokkaido, 082-0081 Japan

E-mail: harakei @agri.pref.hokkaido.jp