

国産麦類中のかび毒（フザリウム毒素）の実態調査結果

はじめに

日本では、麦類の生育後期に降雨が多く気温が高くなるが多いため、麦類赤かび病が発生しやすく、麦類の品質や収量の低下の一因となる。赤かび病の原因菌である *Fusarium* は、フザリウム毒素といわれるかび毒（デオキシニバレノール（DON）やニバレノール（NIV）等）を産生する。麦類中の DON や NIV の濃度が著しく高い場合、通常の量の食品摂取でも健康被害が生じる可能性がある。国内では、昭和 30 年代に赤かび病の被害を受けた米麦を摂取したことによる集団食中毒が複数報告されている。

現在では、過去と比較して赤かび病の防除技術が進展しており、収穫や乾燥調製の方法も改善されている。その結果、国内における DON、NIV による食中毒発生の報告はない。しかしながら、赤かび病の発生は現在も報告されている。麦類中の DON、NIV を加工や調理の工程で完全に除去することは困難であるため、麦類の生産段階で赤かび病の発生を防止することによって、麦類やその加工品の DON、NIV による汚染をできる限り防止・抑制することが重要である。

農林水産省は、生産の改善を通じて食品の安全性を向上させるため、汚染要因の解明や汚染の防止・抑制技術の開発等を実施し、それらの成果を活用して、平成 20 年 12 月に麦類の生産関係者向けに「麦類の DON・NIV 汚染低減のための指針」（以下「指針」という。）及び「指針活用のための技術情報」（以下「技術情報」という。）を策定・公表した。また、都道府県と協力して、この指針の生産者への普及に努めている。

麦類赤かび病の発生は、生産年ごとに、気象状況等によって大きく影響を受け、それによって麦類中の DON、NIV 等の濃度も影響を受けることが知られているため、麦類中のフザリウム毒素の含有実態調査は継続的に実施する必要がある。農林水産省では、国産の小麦及び大麦の DON、NIV の含有実態調査を、平成 14 年から継続して実施している。また、平成 22 年以降は、含有実態調査に併せ、生産現場における指針に基づく対策の実施状況等についても調査を実施してきた。

今般、「食品の安全性に関する有害化学物質のサーベイランス・モニタリング中期計画」等に基づいて実施した、平成 14 年～平成 27 年の国産の小麦及び大麦中のフザリウム毒素の含有実態調査結果を集計・解析した。

平成 29 年 6 月

農林水産省消費・安全局

目次

第 1 章 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態とその解析	1
1.1. 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態	1
1.1.1. 小麦	1
1.1.2. 大麦	5
1.1.3. 小麦及び大麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較	7
1.2. 麦類中のフザリウム毒素の濃度及び検出率の年次変動	8
1.2.1. 小麦	8
1.2.2. 大麦	12
1.2.3. 麦類中の DON、NIV 及び ZEN の年次変動の要因	16
1.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態	21
1.3.1. 小麦	21
1.3.2. 大麦	22
1.3.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態と <i>Fusarium</i> の関係	23
1.4. 麦類中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の関係	24
1.4.1. 小麦	25
1.4.2. 大麦	25
1.4.3. 麦類の DON・NIV 汚染と <i>Fusarium</i> の関係	28
第 2 章 麦類の DON、NIV 汚染の防止・抑制対策の実施状況と DON、NIV 濃度の関係	30
2.1. 赤かび病抵抗性による DON、NIV 汚染の防止・抑制	30
2.1.1. 小麦	30
2.1.2. 大麦	31
2.1.3. 赤かび病抵抗性と DON、NIV 濃度の関係	31
2.2. 麦類赤かび病の農薬防除による DON、NIV 産生の防止・抑制	33
2.2.1. 農薬の散布回数	34
2.2.2. 使用された農薬	35
2.2.3. DON、NIV 産生の防止・抑制のための赤かび病防除と麦類中の DON、NIV 濃度	36
2.3. 選別による DON、NIV 濃度の低減	38
2.3.1. 乾燥調製施設における選別方法	38
2.3.2. 主食用麦と細麦・屑麦の DON、NIV 濃度の比較	38
2.3.3. 選別による DON、NIV 低減効果	41
2.4. かび毒検査による DON、NIV の低減効果の確認	42

第3章 麦類由来の遊離型 DON、NIV の推定経口摂取量.....	43
3.1. 経口摂取量の推定に使用したデータ	43
3.1.1. 麦類中の DON、NIV 濃度	43
3.1.2. 日本人の食品摂取量.....	43
3.1.3. 食品摂取量の玄麦相当摂取量への換算.....	44
3.1.4. 食品中の DON、NIV の加工・調理による影響.....	44
3.2. 経口暴露量の推定手順.....	45
3.2.1. 経口摂取量の計算方法	45
3.2.2. 小麦及び大麦の DON、NIV 濃度分布のモデル化	45
3.3. DON、NIV の経口摂取量の推定結果	46
3.3.1. DON の推定経口摂取量	46
3.3.2. NIV の推定経口摂取量	47
3.4. 本推定結果を利用する際の留意点（経口摂取量の推定の“不確実性”分析）	47
3.4.1. 麦類中の DON、NIV 濃度データの“不確実性”	47
3.4.2. 食品摂取量データの“不確実性”	48
3.4.3. 統計解析手法の“不確実性”	48
3.5. DON、NIV の経口摂取による健康リスクに関する考察.....	48
第4章 まとめと今後の対応.....	50
4.1. まとめ.....	50
4.2. 今後の対応	51
別添1 平成14年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素実態調査結果一覧	
別添2 平成24年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素含有実態調査の方法	
別添3 麦類加工品から玄麦への換算係数	
別添4 略語及び用語解説	

第1章 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態とその解析

1.1. 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態

平成14年～平成27年に実施した国産の小麦及び大麦（いずれも乾燥調製後の穀粒）のフザリウム毒素の含有実態調査の結果一覧を別添1に示した。平成14年～平成23年の実態調査の方法については農林水産省のウェブサイトに掲載の公表資料¹を、平成24年～平成27年の実態調査の方法については別添2を参照。

今般、含有実態の解析は、以下のフザリウム毒素について実施した。

- デオキシニバレノール（略称：DON）
- 3-アセチルデオキシニバレノール（略称：3-Ac-DON）
- 15-アセチルデオキシニバレノール（略称：15-Ac-DON）
- ニバレノール（略称：NIV）
- 4-アセチルニバレノール（略称：4-Ac-NIV、別名：フザレノン X）
- T-2 トキシシン（略称：T2）
- HT-2 トキシシン（略称：HT2）
- ゼアラレノン（略称：ZEN）

含有濃度の平均値は、定量限界（LOQ）未満の濃度を0として算出した下限値（Lower Bound: LB）と、検出限界（LOD）未満の濃度をLOD値とし、LOD以上かつLOQ未満の濃度をLOQ値として算出した上限値（Upper Bound: UB）の2種類を算出し、その範囲で示した。

90パーセンタイル値以上の高パーセンタイル値は、統計学的に95%以上の信頼度で推定が可能な試料点数がある場合に、Microsoft ExcelのPERCENTILE.EXC関数で求めた。（例えば、99パーセンタイル値を95%以上の信頼度で推定するためには、299点以上のデータが必要。）なお、Excel関数を用いて算出したパーセンタイル値は、最大値より必ず小さくなることに留意する必要がある。

1.1.1. 小麦

1.1.1.1. DON

平成14年～平成27年の14年間に採取した1998点の調査試料中のDON濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図1-1に示した。

全試料のDON濃度の平均値（LB-UB）は0.057 - 0.066 mg/kg、最大値は2.1 mg/kgであった。試料の85%は0.10 mg/kg以下の濃度を示した。また、DON濃度が、厚生労働省が平成14年に設定した小麦（食用）の暫定基準値1.1 mg/kgを超えた試料は、平成14年産の6点（全体の0.3%）のみであった。平成15年産以降の試料のDON濃度は、全て暫定基準値より低く、最大値は0.93 mg/kgであった。

¹ かび毒含有実態調査の結果（農林水産省）
http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/tyosa/

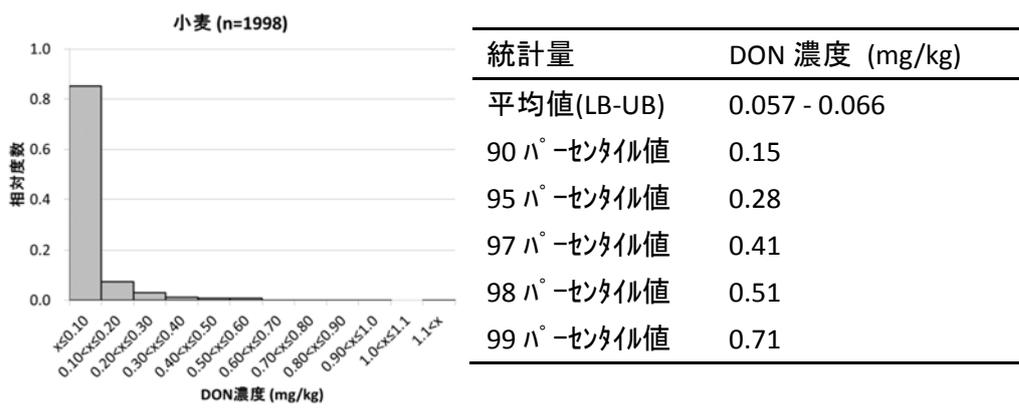


図 1-1 小麦中の DON 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.2. NIV

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間に採取した 1998 点の調査試料中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-2 に示した。

全試料の NIV 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.029 - 0.038 mg/kg、最大値は 1.0 mg/kg であった。試料の 92%は 0.10 mg/kg 以下の濃度を示した。

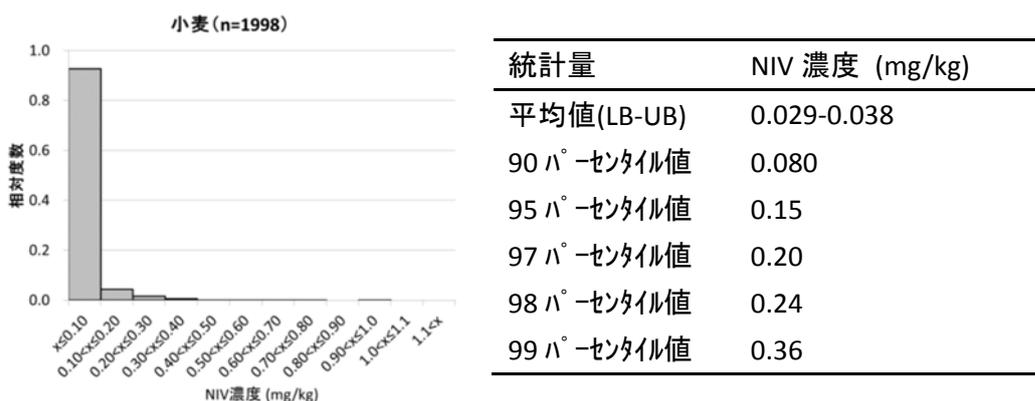


図 1-2 小麦中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.3. ZEN

平成 17 年～平成 27 年の 11 年間に採取した 1280 点の調査試料中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-3 に示した。

全試料の ZEN 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.0023 - 0.0031 mg/kg で、最大値は 0.44 mg/kg であった。試料の 96%は 0.010 mg/kg 以下の濃度を示した。母集団の 90 パーセンタイル値や 95 パーセンタイル値は、最も高かった LOQ 値 (0.012 mg/kg) よりも小さいと推定された。



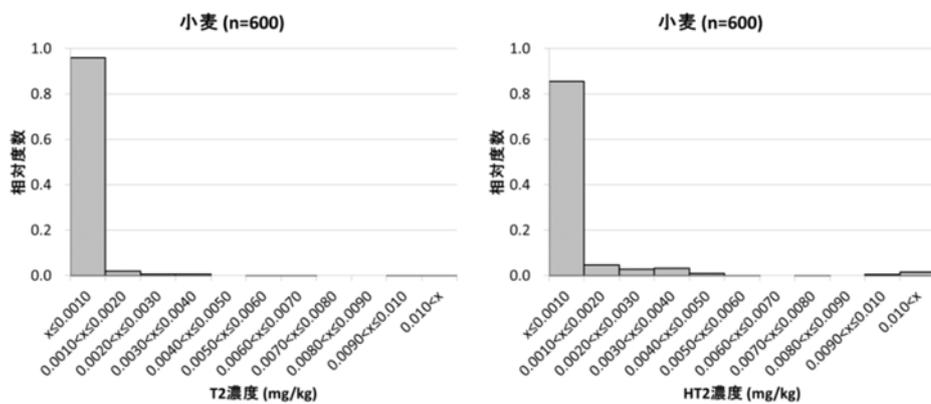
図 1-3 小麦中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.4. T2 及び HT2

平成 23～平成 27 年の 5 年間に採取した 600 点の調査試料中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-4 に示した。

全試料の T2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00015 - 0.00049 mg/kg で、最大値は 0.018 mg/kg であった。試料の 96%は 0.0010 mg/kg 以下の T2 濃度を示した。母集団の T2 濃度の 90 パーセンタイル値や 95 パーセンタイル値は、最も高かった LOQ 値 (0.0010 mg/kg) よりも小さいと推定された。

全試料の HT2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00082 - 0.0012 mg/kg で、最大値は 0.069 mg/kg であった。試料の 85%は 0.0010 mg/kg 以下の HT2 濃度を示した。



統計量	T2 濃度 (mg/kg)	HT2 濃度 (mg/kg)
平均値(LB-UB)	0.00015-0.00049	0.00082-0.0012
90 パーセンタイル値	<0.0010	0.0020
95 パーセンタイル値	<0.0010	0.0037
97 パーセンタイル値	0.0015	0.0046
98 パーセンタイル値	0.0021	0.0092
99 パーセンタイル値	0.0037	0.012

図 1-4 小麦中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.5. 小麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較

DON、NIV、ZEN、T2 及び HT2 のうち、含有濃度の平均値及び高パーセンタイル値が最も高かったのは DON であった。NIV 濃度の平均値及び各高パーセンタイル値は、DON 濃度の概ね 2 分の 1 程度であった。DON、NIV に比べると、ZEN、HT2 及び T2 の濃度は、数値の桁がより小さく、この順に低かった。

1.1.2. 大麦

1.1.2.1. DON

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間に採取した 1029 点の調査試料中の DON 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-5 に示した。

全試料の DON 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.096 - 0.10 mg/kg、最大値は 4.8 mg/kg であった。試料の 78%は 0.10 mg/kg 以下の濃度を示した。

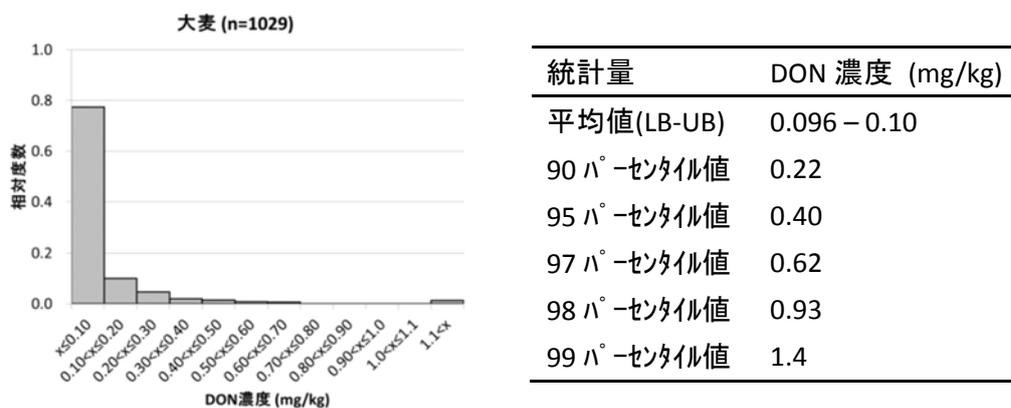


図 1-5 大麦中の DON 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.2.2. NIV

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間に採取した 1029 点の調査試料中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-6 に示した。

全試料の NIV 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.073 - 0.077 mg/kg、最大値は 3.0 mg/kg であった。試料の 82%は 0.10 mg/kg 以下の濃度を示した。

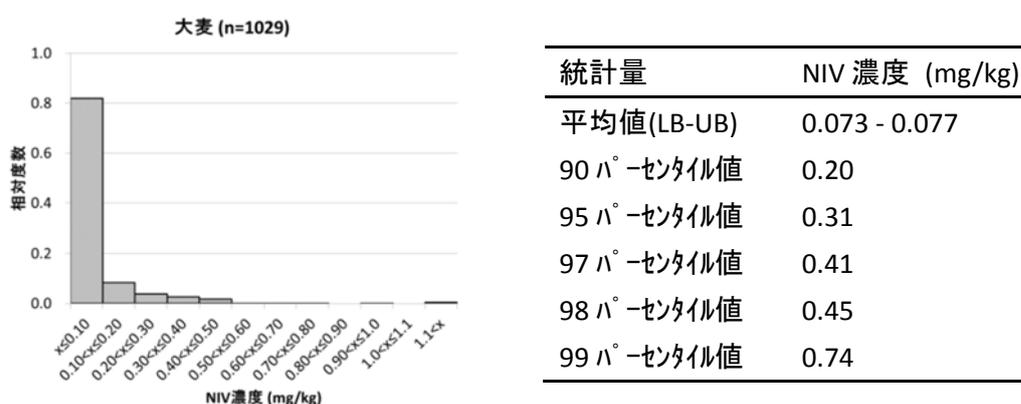
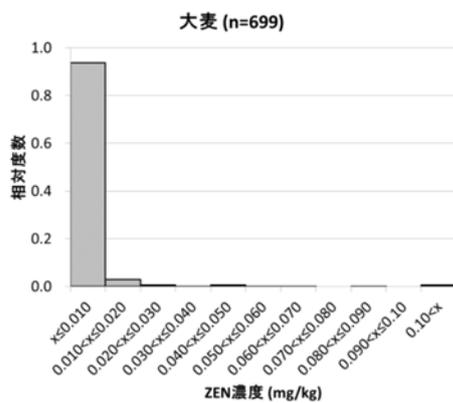


図 1-6 大麦中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.2.3. ZEN

平成 21 年～平成 27 年の 7 年間に採取した 699 点の調査試料中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-7 に示した。

全試料の ZEN 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.0037 - 0.0041 mg/kg、最大値は 0.23 mg/kg であった。試料の 93%は 0.010 mg/kg 以下の濃度を示した。



統計量	ZEN 濃度 (mg/kg)
平均値(LB-UB)	0.0037-0.0041
90 th パーセンタイル値	0.0050
95 th パーセンタイル値	0.014
97 th パーセンタイル値	0.024
98 th パーセンタイル値	0.045
99 th パーセンタイル値	0.081

図 1-7 大麦中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

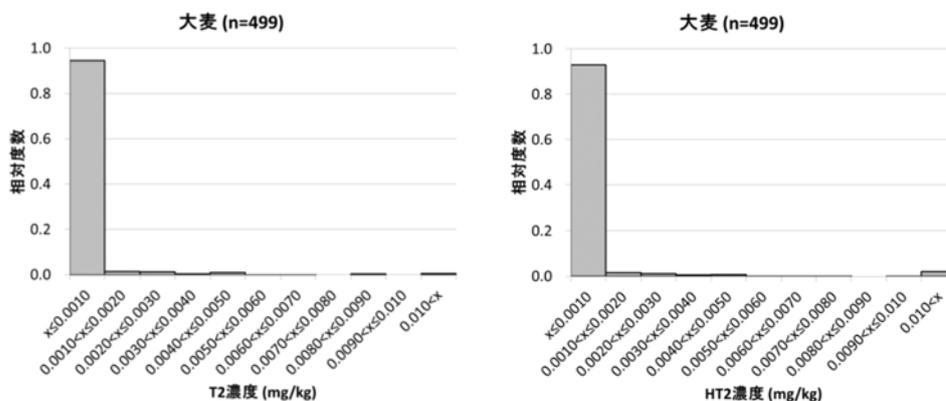
1.1.2.4. T2 及び HT2

平成 23 年～平成 27 年の 5 年間に採取した 499 点の調査試料中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-8 に示した。

全試料の T2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00029 - 0.00057 mg/kg、最大値は 0.018 mg/kg であった。試料の 95 %は 0.0010 mg/kg 以下の T2 濃度を示した。

全試料の HT2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00075 - 0.0011 mg/kg、最大値は 0.11 mg/kg であった。試料の 93%は 0.0010 mg/kg 以下の HT2 濃度を示した。

母集団の T2 濃度及び HT2 濃度の 90 パーセンタイル値は、最も高かった LOQ 値 (0.0010 mg/kg) よりも低いと推定された。



統計量	T2 濃度 (mg/kg)	HT2 濃度 (mg/kg)
平均値(LB-UB)	0.00029-0.00057	0.00075-0.0011
90 th パーセンタイル値	<0.0010	<0.0010
95 th パーセンタイル値	0.0011	0.0023
97 th パーセンタイル値	0.003	0.0047
98 th パーセンタイル値	0.0045	0.015
99 th パーセンタイル値	0.0082	0.017

図 1-8 大麦中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.2.5. 大麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較

DON、NIV、ZEN、T2 及び HT2 のうち、含有濃度の平均値及び高パーセンタイル値が最も高かったのは DON であった。NIV 濃度の平均値は DON 濃度の 8 割程度であり、NIV 濃度の 98 パーセンタイル値や 99 パーセンタイル値は DON 濃度の概ね 2 分の 1 程度であった。DON、NIV に比べると、ZEN、HT2 及び T2 の濃度は、数値の桁がより小さく、この順に低かった。

1.1.3. 小麦及び大麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較

小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度の平均値及び高パーセンタイル値を比較すると、小麦よりも大麦の濃度が高かった。

ZEN、T2 及び HT2 の含有濃度の平均値及び高パーセンタイル値は、小麦と大麦とでは同程度の水準であった。

1.2. 麦類中のフザリウム毒素の濃度及び検出率の年次変動

小麦及び大麦中の DON、NIV 及び ZEN の濃度及び検出率の生産年（以下「年」は「生産年」を表す。）ごとの変動を解析した。T2 及び HT2 については、いずれの年も LOQ 以上の濃度で検出された割合が極めて低かったため、年次変動に関する解析は行わなかった。

Kruskal-Wallis 検定（H 検定）により、小麦又は大麦中の DON、NIV 又は ZEN の年ごとの濃度に統計学的に有意な差があるかどうかを判定した。この際、各年で使用した分析法の違いが統計解析に及ぼす影響を排除するため、最も高い LOQ 値（DON、NIV では 0.05 mg/kg, ZEN では 0.012 mg/kg）未満の値をすべて 0 に置換したデータを検定に使用した。

1.2.1. 小麦

1.2.1.1. DON

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間の年ごとの DON 濃度の相対度数分布を図 1-9 に示した。

年ごとの DON 濃度には、統計学的に有意な差があった（ $P<0.05$ ）。

平成 14、15、16、18、22、23 年には DON 濃度が 0.05 mg/kg を超えた試料が各年の全試料の約 4 割であったが、平成 19、20、25、26 年では約 1 割であった。

また、DON 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、18、22、23、24 年であった。

1.2.1.2. NIV

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間の年ごとの NIV 濃度の相対度数分布を図 1-10 に示した。

年ごとの NIV 濃度には、統計学的に有意な差があった（ $P<0.05$ ）。

平成 14、15、16、18、23、24 年には NIV 濃度が 0.05 mg/kg を超えた試料が各年の全試料の 2 割を超えていたが、その他の年では 1 割未満であった。

また、NIV 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、18、23 年であった。

1.2.1.3. ZEN

平成 17 年～平成 27 年の 11 年間の年ごとの ZEN 濃度の相対度数分布を図 1-11 に示した。

年ごとの ZEN 濃度には、統計学的に有意な差があった（ $P<0.05$ ）。

平成 18 年には ZEN 濃度が 0.010 mg/kg を超えた試料が全試料の 1 割を超えていたが、その他の年では各年の全試料の 1 割未満であった。

また、ZEN 濃度が 0.10 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 18、20、21 年であった。

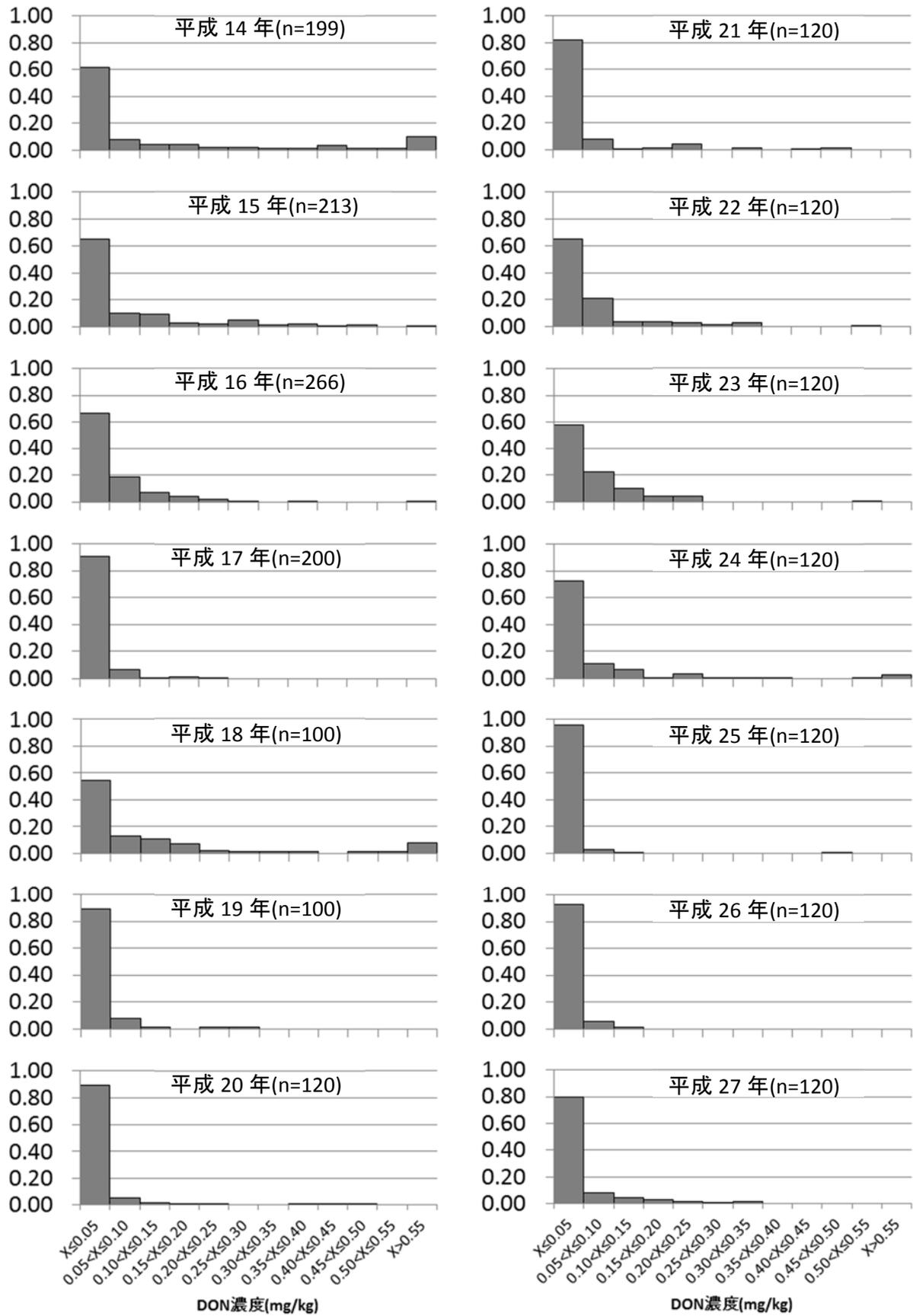


図 1-9 小麦中の DON 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 27 年)

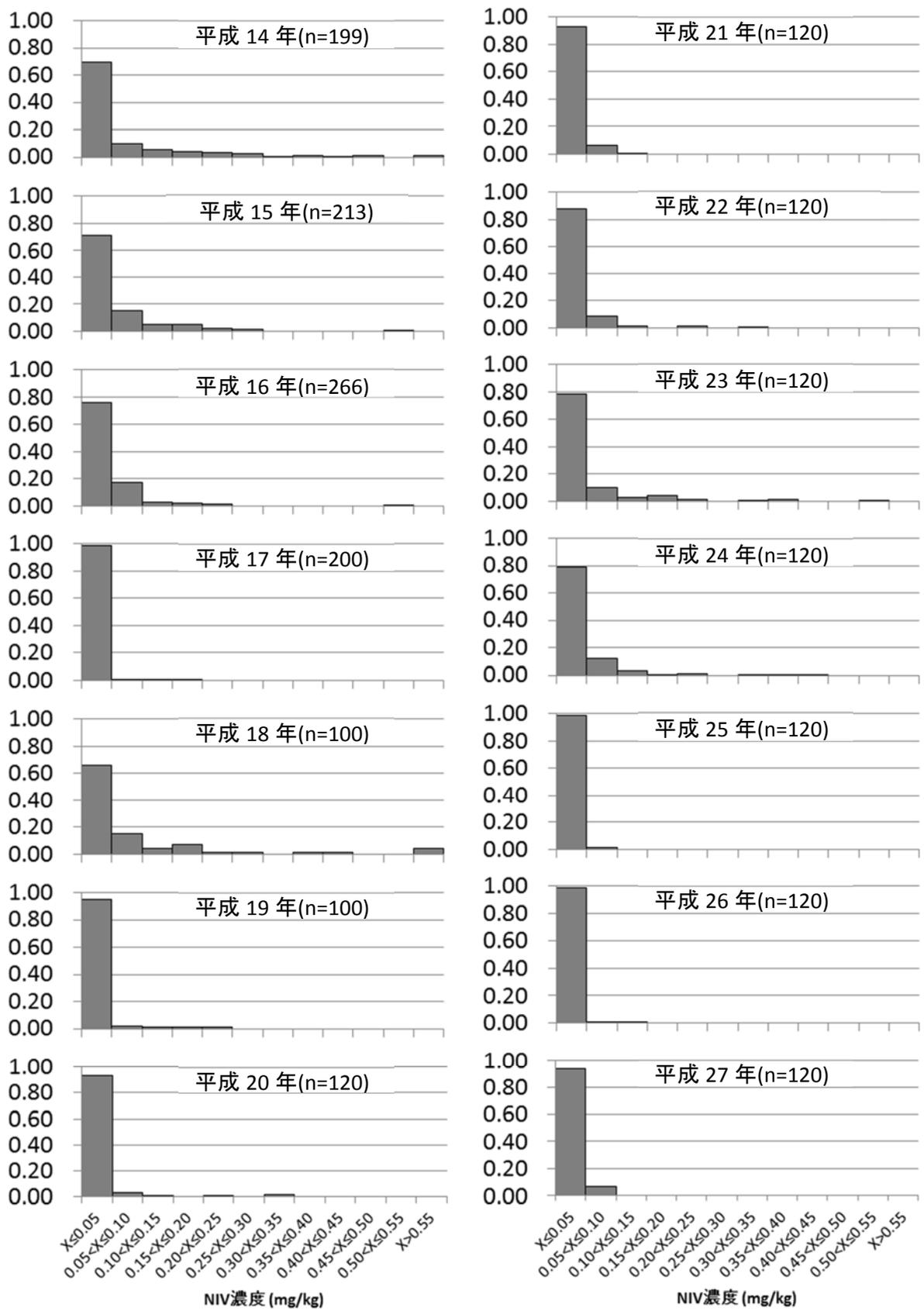


図 1-10 小麦中の NIV 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 27 年)

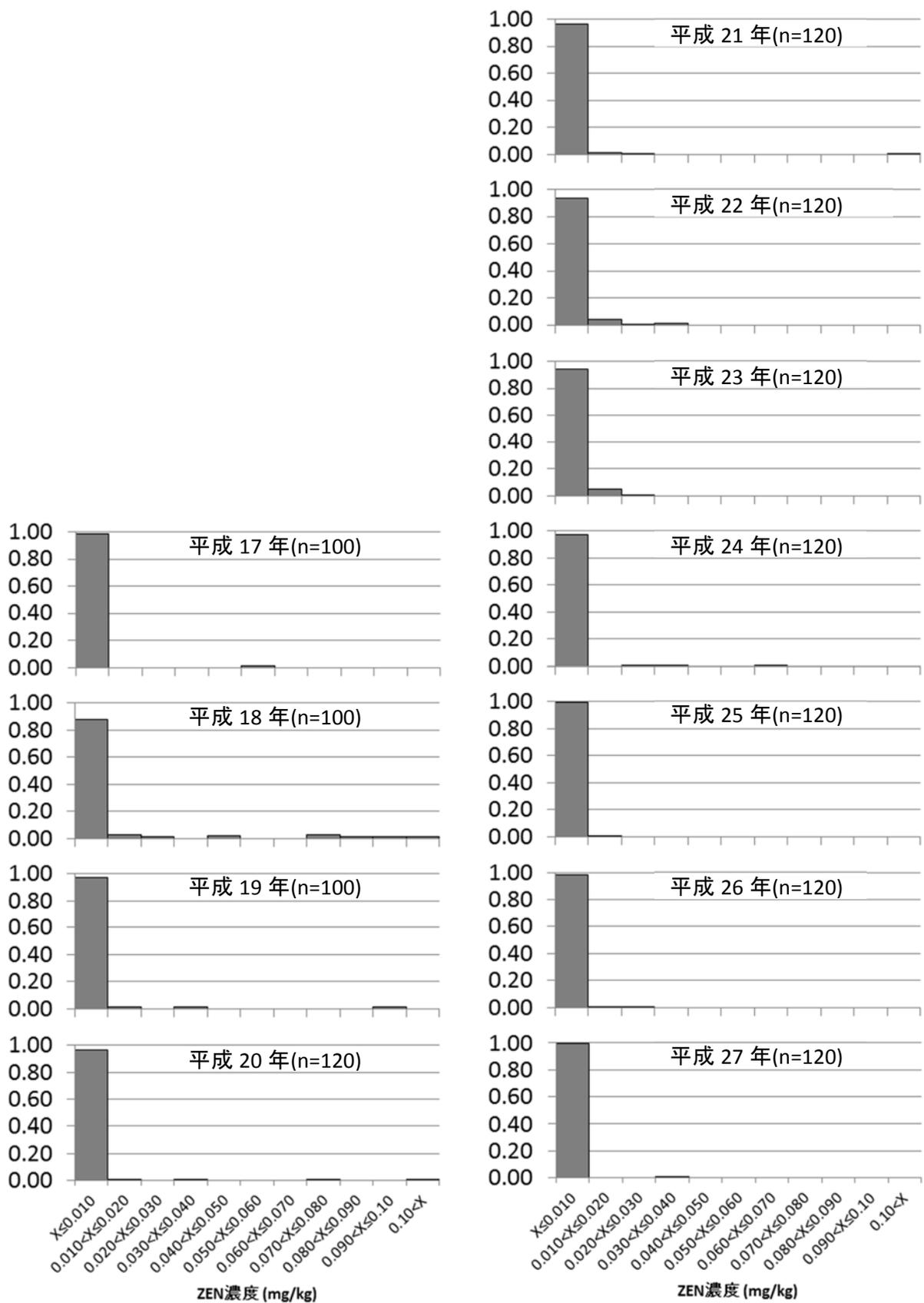


図 1-11 小麦中の ZEN 濃度の相対度数分布（平成 17 年～平成 27 年）

平成 14～16 年は ZEN を分析していない。

1.2.2. 大麦

平成 18 年及び平成 19 年は分析点数がそれぞれ 10 点と少なく、統計解析で信頼性の高い結果を得ることができないだけでなく、この年の調査は全国的なものではなかった。従って、それらのデータとその他の年の全国調査のデータを比較することは適切ではないため、両年の分析結果は年次変動の解析に使用しなかった。

1.2.2.1. DON

平成 14 年～平成 17 年及び平成 20 年～平成 27 年の 12 年分の年ごとの DON 濃度の相対度数分布を図 1-12 に示した。

年ごとの DON 濃度には、統計学的に有意な差があった ($P<0.05$)。

平成 16、22、23、24 年には DON 濃度が 0.05 mg/kg を超えた試料が各年の全試料の約 5 割あったが、平成 20、21、25、26 年では 1 割未満であった。

また、DON 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、20、23、24 年であった。

1.2.2.2. NIV

平成 14 年～平成 17 年及び平成 20 年～平成 27 年の 12 年分の年ごとの NIV 濃度の相対度数分布を図 1-13 に示した。

年ごとの NIV 濃度には、統計学的に有意な差があった ($P<0.05$)。

平成 15、16、24 年には NIV 濃度が 0.05 mg/kg を超えたものが各年の全試料の約 6～7 割あったが、平成 21、25、26、27 年では 1 割未満であった。

また、NIV 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、20、22、24 年であった。

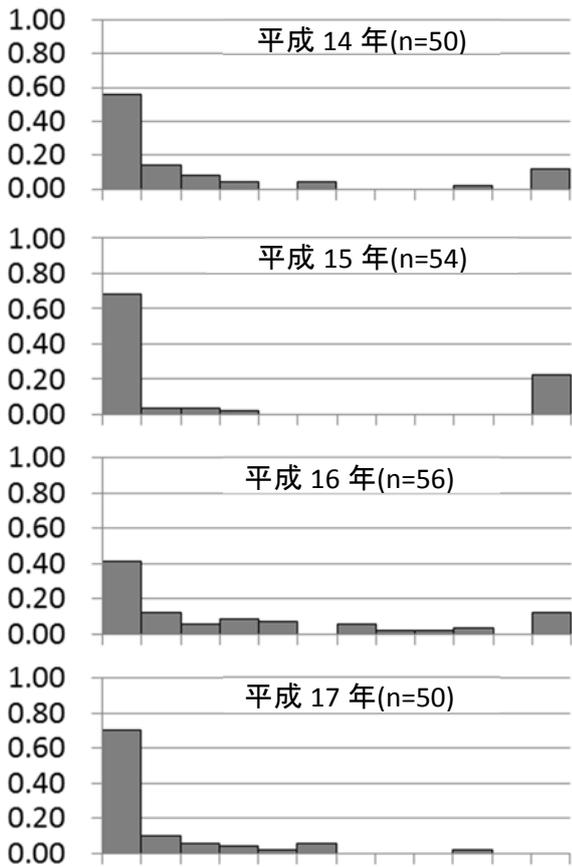
1.2.2.3. ZEN

平成 21 年～平成 27 年の 7 年間の年ごとの ZEN 濃度の相対度数分布を図 1-14 に示した。

年ごとの ZEN 濃度には、統計学的に有意に差があった ($P<0.05$)。

平成 23 年には ZEN 濃度が 0.010 mg/kg を超えた試料が全試料の 2 割を超えていたが、その他の年では各年の全試料の 1 割未満であった。

また、ZEN 濃度が 0.10 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 23、24、26 年であった。



平成 18 年、平成 19 年は解析に使用せず

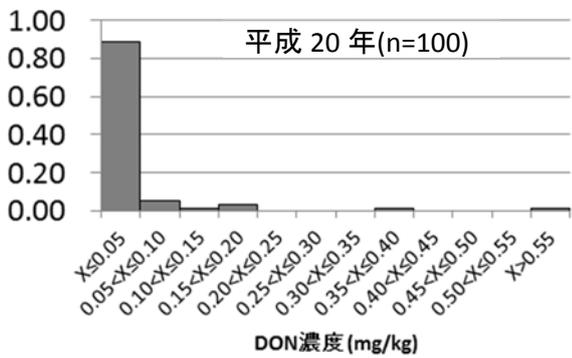
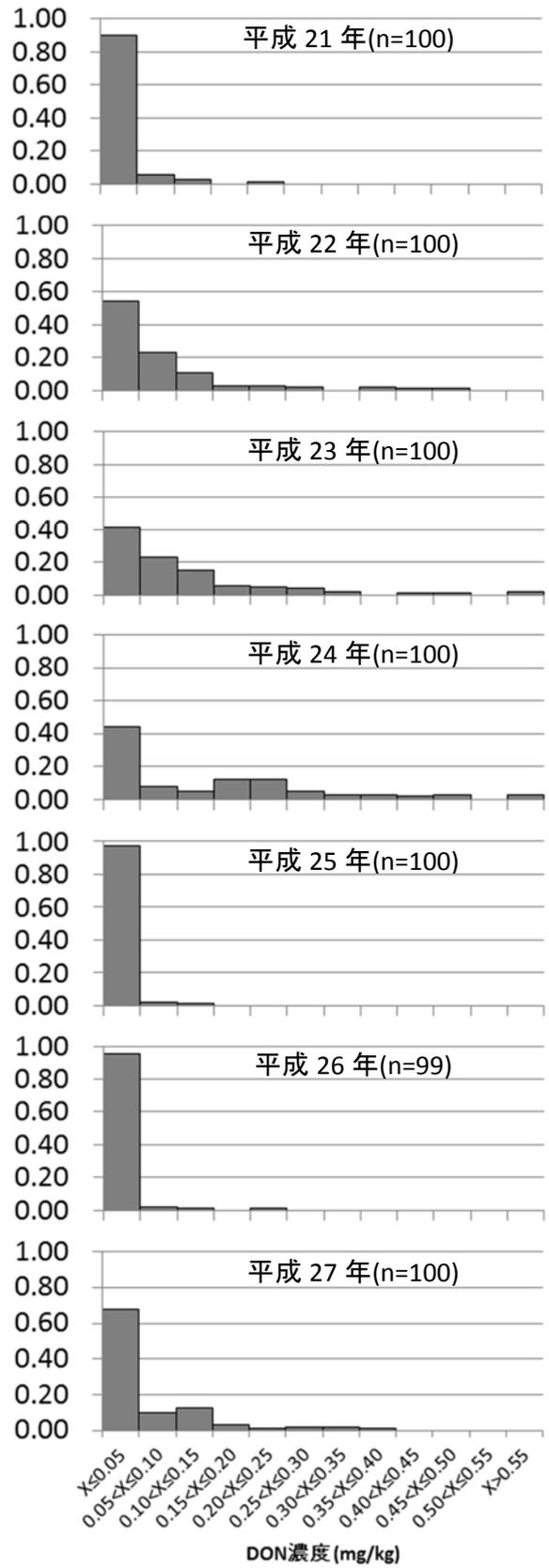
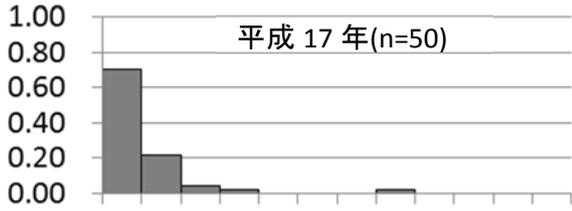
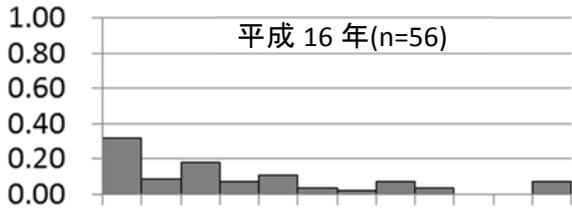
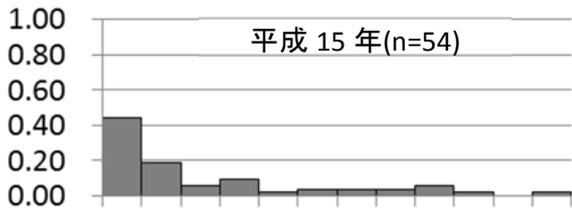
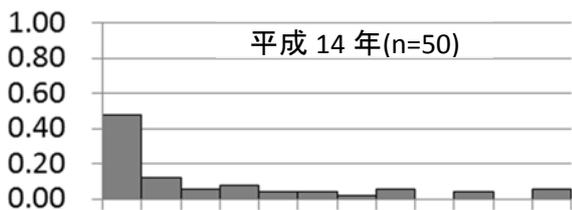


図 1-12 大麦中の DON 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 17 年、平成 20 年～平成 27 年)



平成 18 年、平成 19 年は解析に使用せず

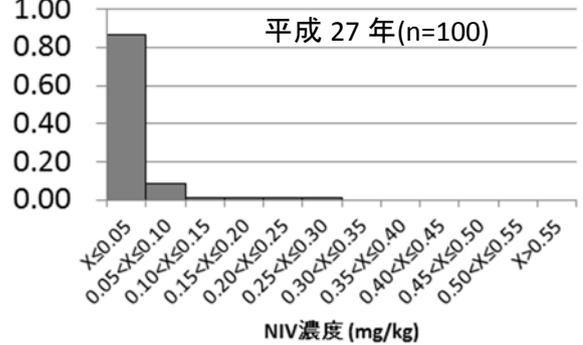
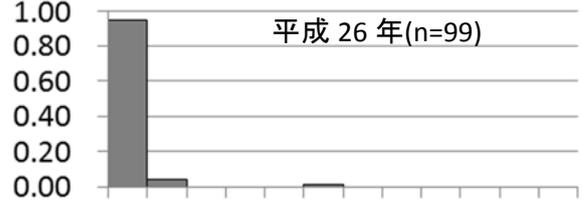
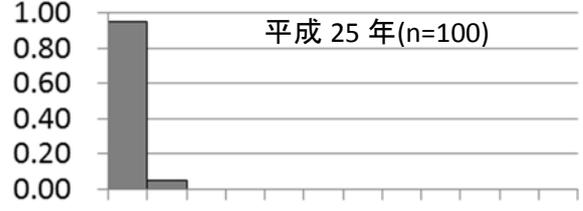
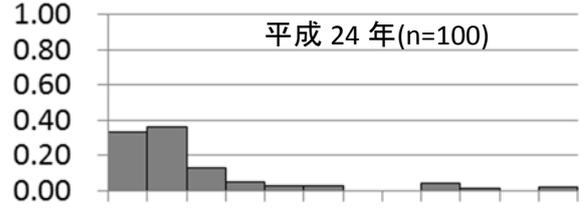
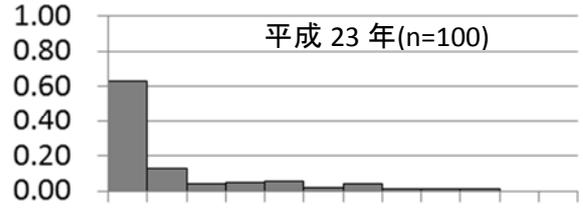
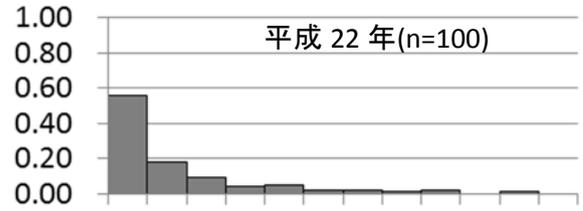
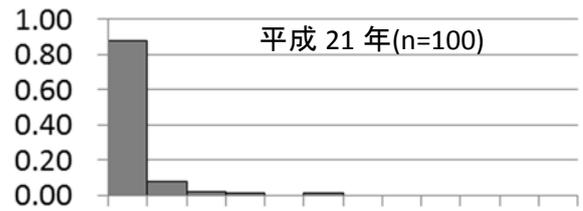
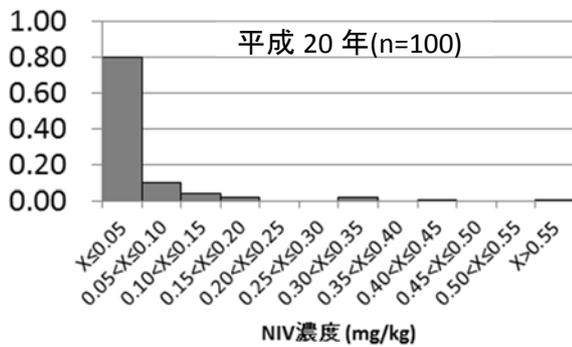


図 1-13 大麦中の NIV 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 17 年、平成 20 年～平成 27 年)

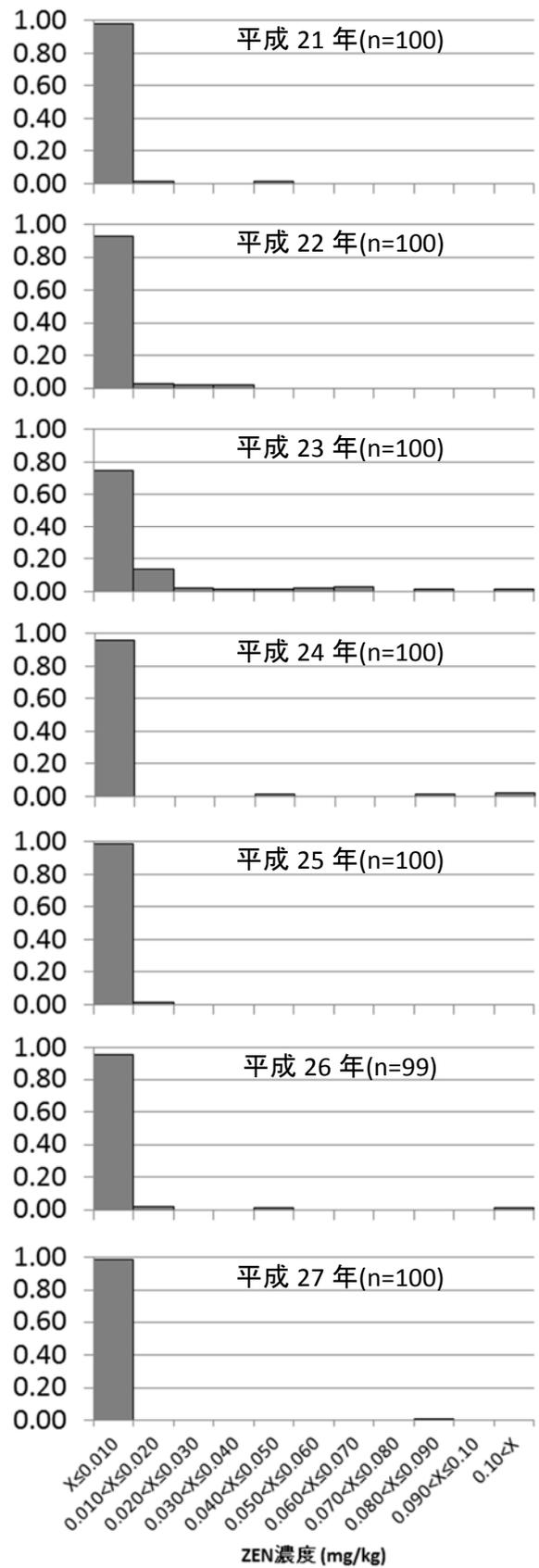


図 1-14 大麦中の ZEN 濃度の相対度数分布 (平成 21 年～平成 27 年)
平成 14 年～平成 20 年は ZEN を分析していない。

1.2.3. 麦類中の DON、NIV 及び ZEN の年次変動の要因

平成 14 年～平成 27 年の年ごとの調査結果の比較によって、小麦及び大麦中の DON、NIV 及び ZEN 濃度には、年により統計学的に有意な差があることが判明した。特に、DON 及び NIV 濃度の分布は、年によって著しく異なっていたので、それらの要因を解析した。

DON、NIV を産生する *Fusarium* が関与している麦類赤かび病の国内における発生状況も、気象状況等の影響により年によって異なることが知られている。国内における小麦及び大麦の作付面積に対する赤かび病の発生面積の割合²は、平成 14 年以降では平成 19、20、25 年が比較的少なく 9%であったのに対して、平成 14、15、18、23、24 年が比較的多く約 30%であった。

小麦と大麦それぞれについて、各年の試料数に対する DON、NIV 濃度が 0.05 mg/kg（調査全期間を通じて最も高い LOQ 値）以上であった試料数の割合（以下 1.2.3.において「検出率」という。）又は平均濃度を、当該年の赤かび病の発生割合と比較した。

1.2.3.1. 小麦

赤かび病の発生割合と DON、NIV の検出率、赤かび病の発生割合と DON、NIV の平均濃度の年次推移をそれぞれ比較したところ、いずれも似た傾向を示した（図 1-15）。

各年の DON、NIV の検出率又は平均濃度と当該年の赤かび病の発生割合との関係をそれぞれ見たところ、いずれの場合も両者には強い正の相関（ $r^2=0.65\sim 0.86$ 、いずれも相関係数の検定において $\alpha=0.01$ で有意）があった（図 1-16）。

1.2.3.2. 大麦

赤かび病の発生割合と DON、NIV の検出率、赤かび病の発生割合と DON、NIV の平均濃度の年次推移をそれぞれ比較したところ、いずれも似た傾向を示した（図 1-17）。

各年の DON、NIV の検出率又は平均濃度と当該年の赤かび病の発生割合との関係をそれぞれ見たところ、いずれの場合も両者には強い正の相関（ $r^2=0.64\sim 0.70$ 、いずれも相関係数の検定は $\alpha=0.01$ で有意）があった（図 1-18）。

1.2.3.3. まとめ

小麦及び大麦中の DON、NIV 及び ZEN 濃度には、年によって有意な差があり、特に DON 及び NIV の濃度分布は、著しく異なっていた。また、各年の小麦、大麦のいずれにおいても、DON、NIV 検出率及び平均濃度と当該年の赤かび病の発生割合とには、それぞれ強い正の相関があることも判明した。

これまでも、麦類赤かび病の発生が年によって異なること、また、試験ほ場等で採取した小麦や大麦中の DON 濃度が年によって異なることは、都道府県の病虫害防除所や

² 4 麦（小麦、二条大麦、六条大麦及びはだか麦）の作付面積（ha）に対する、4 麦の麦類赤かび病の発生面積（ha）（農林水産統計等に基づく消費・安全局農産安全管理課の試算による）。赤かび病の発生面積には、病害の程度が少ないものも含む。

農業試験場によって報告されてきたが、今回の解析によって、実際に、小麦及び大麦における赤かび病発生と DON、NIV 汚染の間に強い相関性が確認された。

小麦及び大麦では、収穫後の乾燥、調製時に、病害や虫害を受けた被害粒や未熟粒が品質や等級の向上のために除去される。また、農産物検査法（昭和 26 年法律第 144 号）に基づく農産物規格規程によれば、外見上「赤かび粒」と判定される穀粒の混入率が 0.049%以下となるよう管理することになっている³。もし被害粒や未熟粒、赤かび粒のみが DON、NIV に汚染されているのであれば、調製後の実際に流通する小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度は、年によって大きく変動しないはずである。

しかし、今回の調製後穀粒を対象としたフザリウム毒素の含有実態調査結果から、実際に流通する小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度も、赤かび病の発生に応じて年によって変動することが確認された。これは、調製時に選別・除去の対象となる赤かび粒、被害粒、未熟粒等と判断されない、外見上は健全な穀粒にも *Fusarium* の感染が認められ、感染率が高い穀粒では DON 濃度が高いとの報告⁴と整合する。つまり、麦類赤かび病が広い面積で発生した年には、外見上は健全な穀粒にも *Fusarium* が感染しており、その結果として穀粒中の DON、NIV の濃度が高くなった可能性があり、これが、赤かび病の発生状況によって、調製後の小麦及び大麦中の DON、NIV 検出率及び平均濃度に年次変動が生じた要因と考えられる。

平成 14 年～平成 27 年の調査試料を、赤かび病の発生面積が小さかった生産年（ここでは赤かび病発生割合が 20%未満の生産年とした。）と、赤かび病の発生面積が大きかった生産年（ここでは赤かび病発生割合が 20%以上の生産年とした。）とに分けて、小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度の相対度数分布を図 1-19 に示した。この図から、赤かび病発生面積が大きかった年には、発生面積が小さかった年と比較して、より高濃度の DON 又は NIV を含む試料（調製後穀粒）の割合が多かったことがわかる。

これらのことは、赤かび病の発生予防のための対策の実施が、小麦及び大麦中の DON 及び NIV 濃度の抑制に重要であることを示している。

³ 農産物規格規程（平成 13 年農林水産省告示第 244 号）では、「赤かび粒」を「赤かび病菌等に侵されて赤色を帯びた粒をいう。」と定義しており、赤かび粒の混入率が 0.0%を超えた場合（0.05%以上の場合）は規格外となる。

⁴ Souma, J. (2015). Recent progress in research and control of *Fusarium* head blight in wheat in Hokkaido. マイコトキシン, 65(1), 31-38.

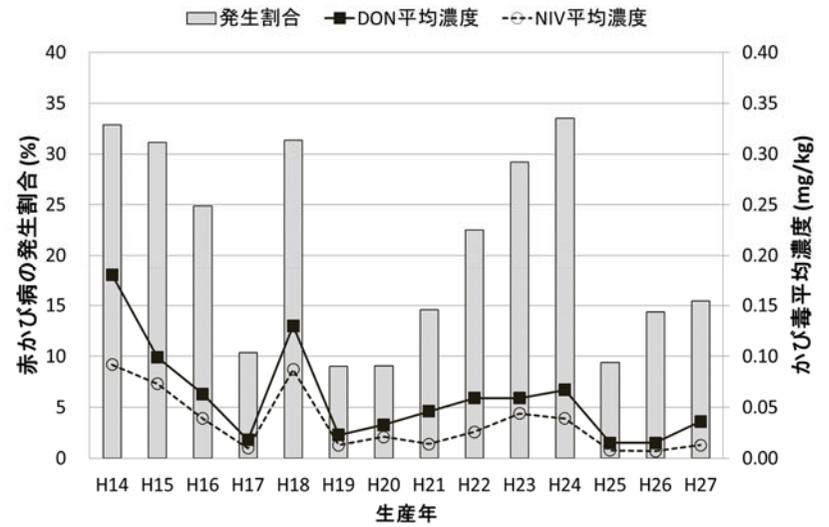
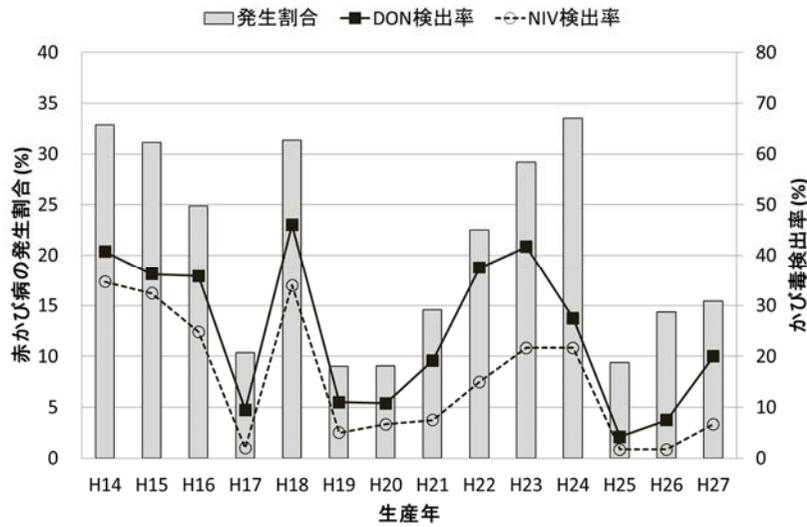


図 1-15 赤かび病の発生割合と小麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の年次推移

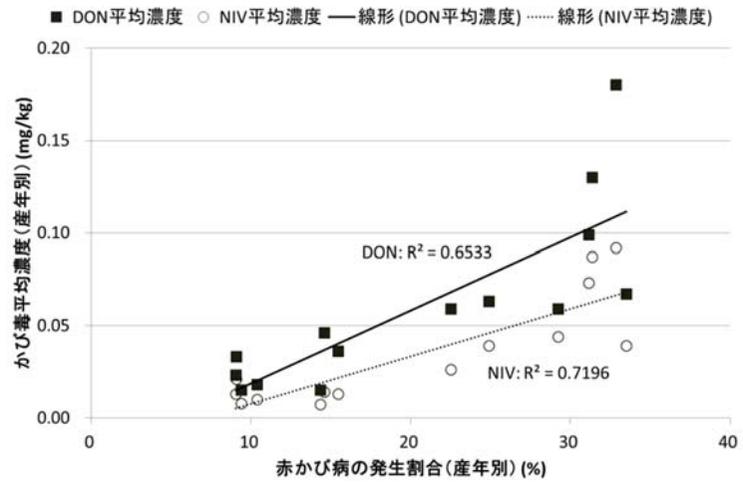
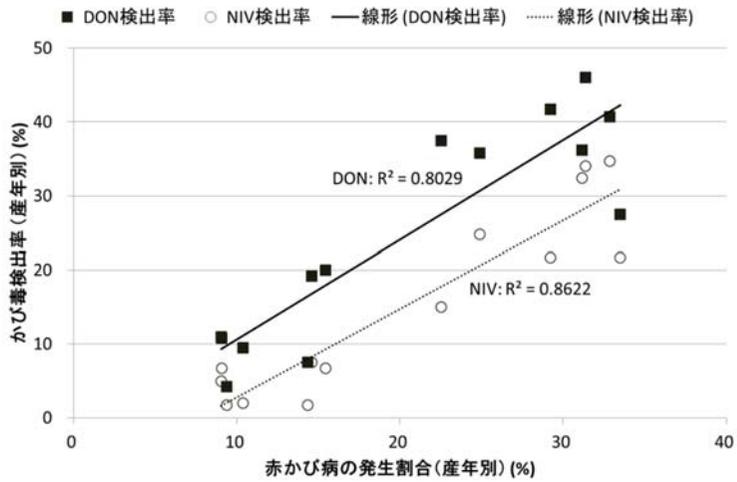


図 1-16 赤かび病の発生割合と小麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の相関

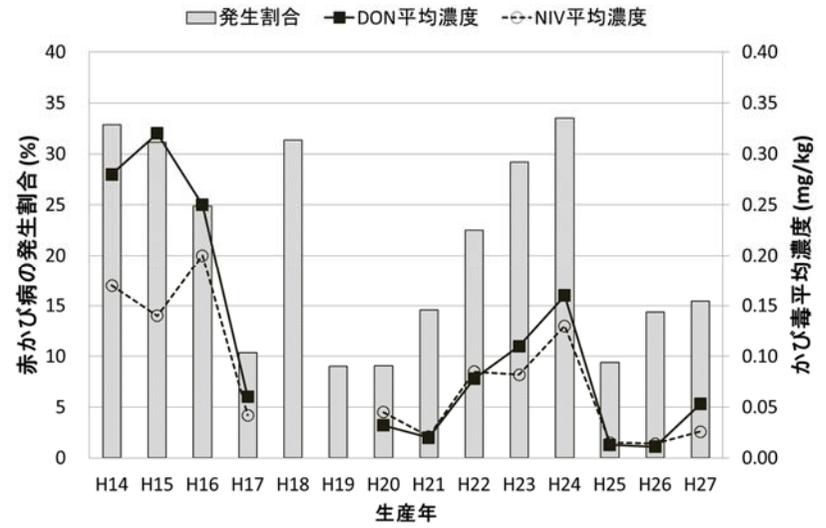
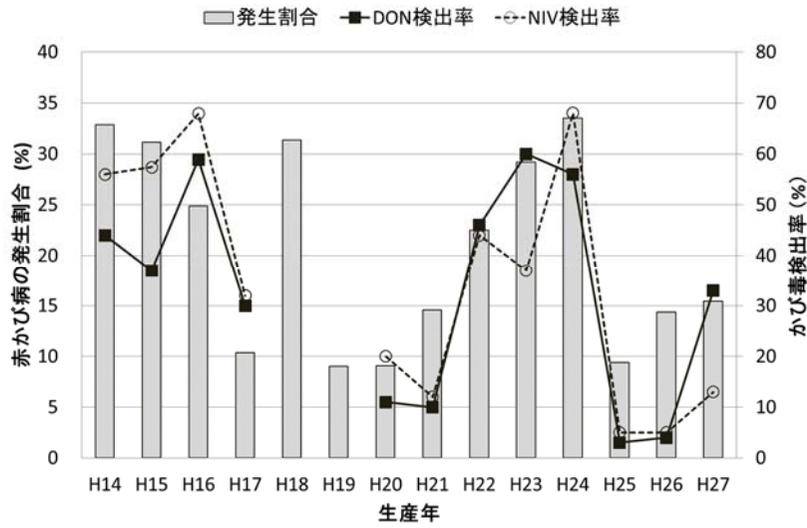


図 1-17 赤かび病の発生割合と大麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の推移

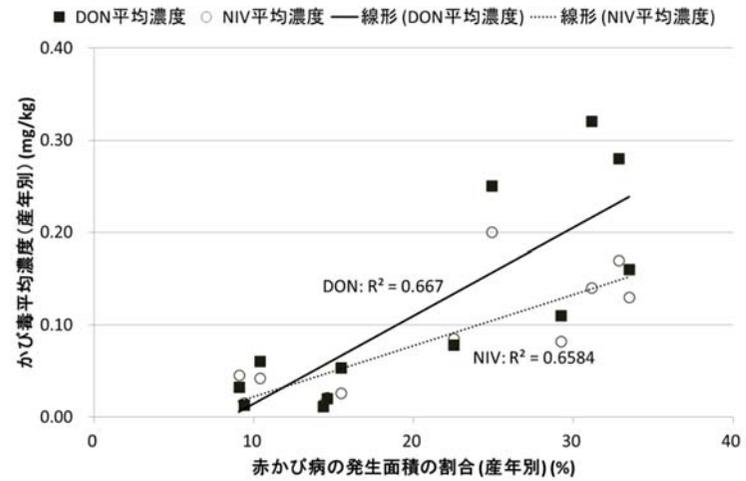
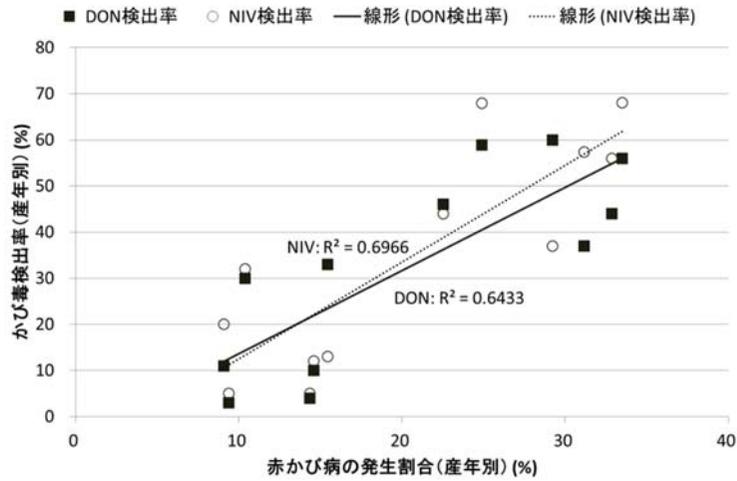
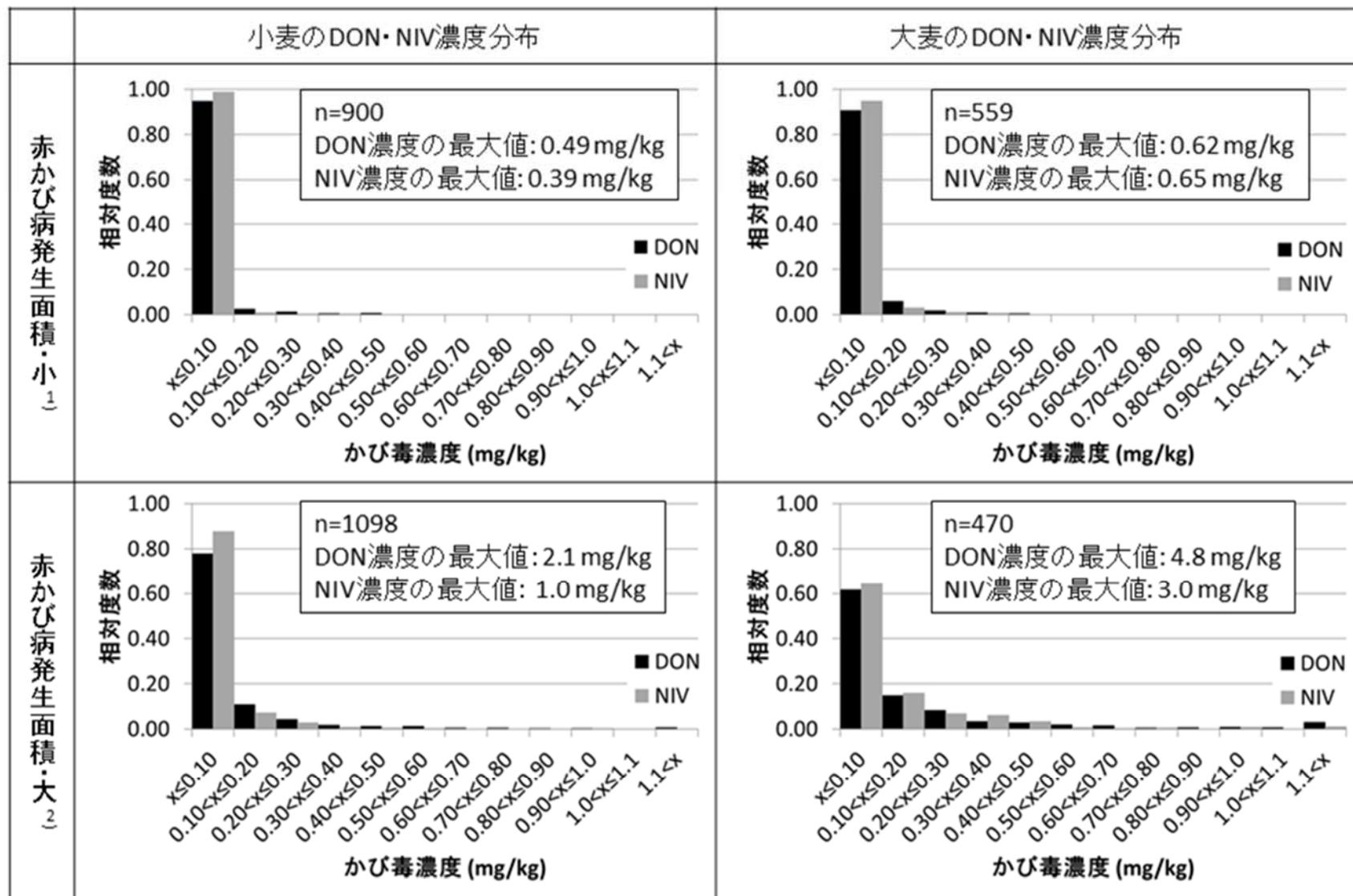


図 1-18 赤かび病の発生割合と大麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の相関



1) 赤かび病発生面積が小さかった年: 平成17, 19, 20, 21, 25, 26, 27年 (国内の麦類作付面積に対する赤かび病発生面積の割合が20%未満)
 2) 赤かび病発生面積が大きかった年: 平成14, 15, 16, 18, 22, 23, 24年 (国内の麦類作付面積に対する赤かび病発生面積の割合が20%以上)

図 1-19 赤かび病発生割合(面積)の大小別的小麦及び大麦中のDON、NIV濃度の相対度数分布

1.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態

Fusarium は DON、NIV の前駆体としてそれらのアセチル体を生合成するため、麦類から、遊離型の DON（以下 1.3.において単に「DON」という。）、遊離型の NIV（以下 1.3.において単に「NIV」という。）と共に 3-Ac-DON、15-Ac-DON、4-Ac-NIV が検出されることがある。

3-Ac-DON や 15-Ac-DON は、DON よりも毒性が低い、動物の体内で加水分解により遊離型として DON が生成するため、JECFA (2010) は、DON だけでなく 3-Ac-DON 及び 15-Ac-DON についても食品中の含有実態把握を行うよう勧告した。4-Ac-NIV も同様に、加水分解により遊離型として NIV が生成する。

DON、NIV、3-Ac-DON、15-Ac-DON、4-Ac-NIV の分析を行った平成 20 年～平成 27 年の 8 年間に採取した小麦 991 点、大麦 806 点について、各試料中の DON、NIV 濃度とそれらのアセチル体濃度を比較した。なお、この解析データには平成 26 年及び平成 27 年に実施した追加調査（別添 1 参照）の試料を含む。

1.3.1. 小麦

3-Ac-DON を LOQ (0.0015～0.016 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 153 点（全体の 15%）であった。また、15-Ac-DON を LOQ (0.0010～0.008 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 23 点（全体の 2.3%）と 3-Ac-DON と比較して少なく、そのうちの 22 点は 3-Ac-DON も LOQ 以上の濃度で含んでいた。

4-Ac-NIV を LOQ (0.0016-0.012 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 12 点（全体の 1.2%）であった。

DON 濃度又は 3-Ac-DON 濃度が LOQ 未満であった試料を含む、全 991 点（この点数は、統計学的に信頼度の高い結果を得られる。）のデータを使用し、小麦中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との関係について解析した。各試料中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との相関を図 1-20 に示した。なお、LOQ 未満の濃度は 0 とした。

DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との間には、強い正の相関 ($r^2=0.68$) があった。

ほとんどの試料中の 3-Ac-DON 濃度は DON 濃度と比較して 25 分の 1 未満であり、高い場合でも 10 分の 1 程度であった。3-Ac-DON 濃度が DON 濃度よりも高かった試料は 6 点（全体の 0.6%）あったが、その場合の 3-Ac-DON 濃度は最大で 0.018 mg/kg であった。

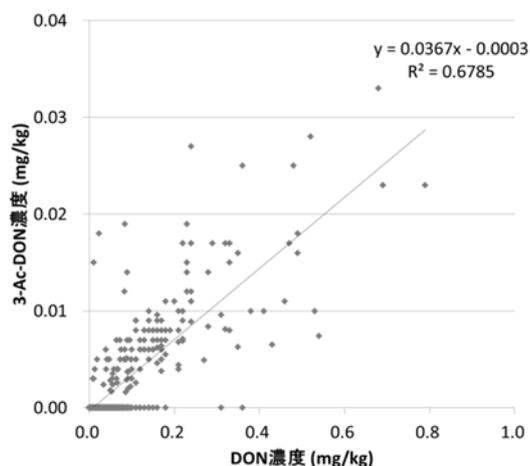


図 1-20 小麦中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度の相関 (n=991)

1.3.2. 大麦

3-Ac-DON を LOQ (0.0020-0.010 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 296 点 (全体の 37%) であった。また、15-Ac-DON を LOQ (0.0010-0.007 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 51 点 (全体の 6.3%) と 3-Ac-DON と比較して少なかった。このうちの 49 点は 3-Ac-DON も LOQ 以上の濃度で含んでいた。

4-Ac-NIV を LOQ (0.0015-0.009 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 170 点 (全体の 21%) であった。

DON、NIV 又はそれらのアセチル体濃度が LOQ 未満であった試料を含む、全 806 点 (この点数は、統計学的に信頼度の高い結果を得られる。) のデータを使用し、DON、NIV 濃度とそれらのアセチル体濃度との関係について解析した。各試料中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度又は 15-Ac-DON 濃度、NIV 濃度と 4-Ac-NIV 濃度との相関を図 1-21 及び図 1-22 に示した。なお、LOQ 未満の濃度は 0 とした。

DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との間には、強い正の相関 ($r^2=0.79$) があった。

ほとんどの試料中の 3-Ac-DON 濃度は、DON 濃度と比較して概ね 10 分の 1 から 5 分の 1 であった。DON 濃度と 15-Ac-DON 濃度には、弱い正の相関 ($r^2=0.35$) があった。ほとんどの試料中の 15-Ac-DON 濃度は DON 濃度と比較して 20 分の 1 未満と、3-Ac-DON 濃度と比較して低かった。

3-Ac-DON 濃度と 15-Ac-DON 濃度の合計値が DON 濃度よりも高かった試料が 9 点 (全体の 1.1%) あったが、その場合の 3-Ac-DON 濃度と 15-Ac-DON 濃度の合計値は最大で 0.14 mg/kg であった。

NIV 濃度と 4-Ac-NIV 濃度とには、中程度の正の相関 ($r^2=0.52$) があった。

ほとんどの試料中の 4-Ac-NIV 濃度は、NIV 濃度と比較して 5 分の 1 未満であった。

4-Ac-NIV 濃度が NIV 濃度よりも高かった試料はなかった。

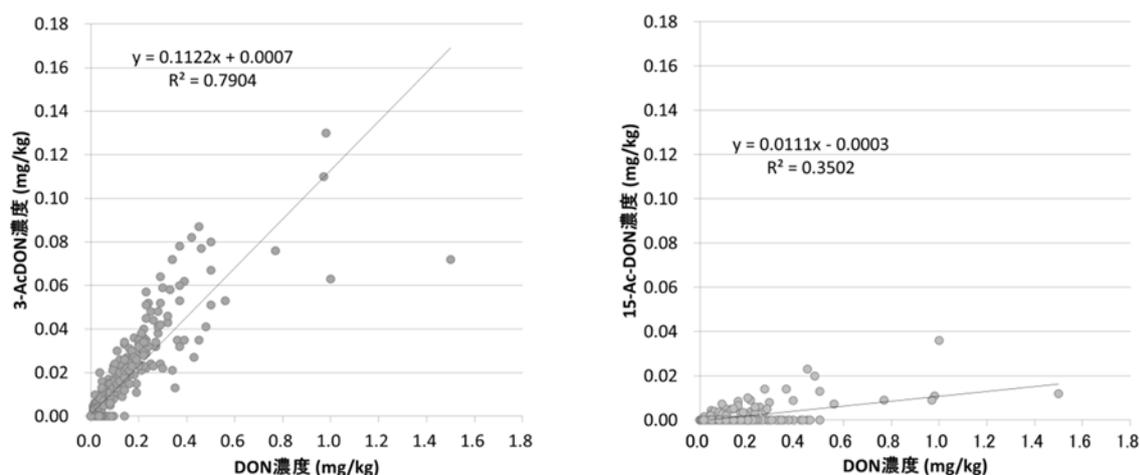


図 1-21 大麦中の DON 濃度と 3-AcDON 濃度 (左側) 又は 15-Ac-DON (右側) の相関 (n=806)

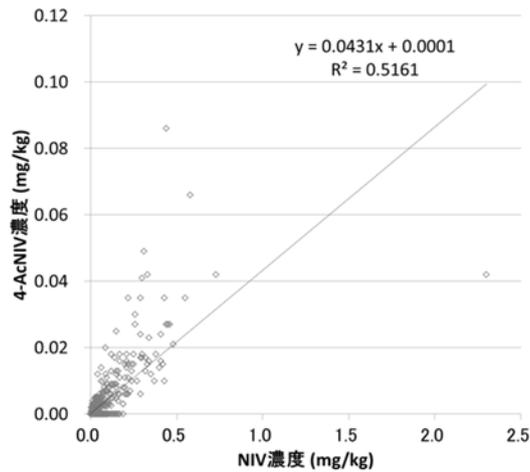


図 1-22 大麦中の NIV 濃度と 4-Ac-NIV 濃度の相関 (n=806)

1.3.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態と *Fusarium* の関係

DON を産生する *Fusarium* には、菌種や菌株によって、前駆体として、主に 3-Ac-DON を産生する型と、主に 15-Ac-DON を産生する型とがある。本調査では、小麦、大麦のいずれにおいても、15-Ac-DON よりも 3-Ac-DON が検出された試料の割合が多く、また、遊離型 DON に対する濃度比も、15-Ac-DON より 3-Ac-DON が高かった。このことは、国産小麦に感染していた *Fusarium* の多くが 3-Ac-DON 産生型であり、15-Ac-DON 産生型は少なかったとの報告⁵と合致する。

DON、NIV のアセチル体が LOQ 以上の濃度で検出された割合及び DON、NIV の遊離型に対するそれぞれのアセチル体の濃度比は、小麦よりも大麦の方が高い傾向にあった。

Fusarium は、まず、より毒性の低い 3-Ac-DON、15-Ac-DON 又は 4-Ac-NIV を生合成し、それらを自らの細胞内に蓄積し、植物への感染過程で加水分解後、遊離型の DON、NIV を細胞外に排出することが知られている⁶。乾燥・調製した小麦及び大麦中の 3-Ac-DON 又は 15-Ac-DON に対する遊離型の DON 又は 4-Ac-NIV に対する遊離型の NIV の濃度比は、最も高い場合でも 5 分の 1 程度であった。収穫期の小麦及び大麦中の DON、NIV は、主として遊離型として存在し、アセチル体は少ないことが確認された。

⁵ 須賀晴久. (2006). ムギ類赤かび病菌における近年の研究動向. 日本植物病理学会報, 72(3), 121-134.

⁶ Nishiuchi, T., Kimura, M., & Sato, K. (2015). The mode of phytotoxic action of trichothecenes during plant-*Fusarium* interaction; our approach to detoxification of trichothecenes in cereals. *JSM Mycotoxins*, 65(2), 143-147.

1.4. 麦類中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の関係

小麦及び大麦に含まれるフザリウム毒素の中では、遊離型 DON（以下 1.4.において単に「DON」という。）の検出率や含有濃度が最も高い。そのため、欧米では DON のみを指標としてリスク管理措置を行うことが多い。我が国でも、自主検査や試験研究の多くが DON を対象として実施されてきた。

しかし、1.1.に示したとおり、我が国では、小麦及び大麦から DON に加えて遊離型 NIV（以下 1.4.において単に「NIV」という。）もその他のフザリウム毒素と比較して高頻度、高濃度で検出される。NIV には DON と同程度の毒性があることから、我が国では NIV の実態も併せて把握することが重要である。

Fusarium には、菌種や菌株によって、主として、DON を産生する型、NIV を産生する型、DON と NIV の両方を産生する型があり、感染している *Fusarium* の菌種や菌株の違いによって、穀粒に含まれる DON と NIV の濃度比が異なることが知られている⁷。*Fusarium* の菌種や菌株は、麦類が生産される場所によって異なるため、調査試料を表 1-1 の 8 つの生産地域（以下「地域」という場合には、基本的にこの区分に基づく地域を指す。）に分けて解析した。

なお、DON、3-Ac-DON 及び 15-Ac-DON の合計を「総 DON」、NIV 及び 4-Ac-NIV の合計を「総 NIV」とし、小麦及び大麦中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の関係及び濃度比を解析した。解析には、DON、3-Ac-DON、15-Ac-DON、NIV 及び 4-Ac-NIV の分析を行った平成 20 年～平成 27 年の 8 年間に採取した小麦 960 点、大麦 799 点の調査試料のデータを使用した。

ただし、地域別の試料点数が 30 点未満であった、北陸及び中国四国の小麦並びに東北、東海及び近畿の大麦については、統計学的な信頼性が低いため、地域別に分けた解析はしなかった。

表 1-1 生産地域の区分と含まれる都道府県

地域区分	都道府県名
北海道	北海道
東北	青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県
関東	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県、長野県、静岡県
東海	岐阜県、愛知県、三重県
北陸	新潟県、富山県、石川県、福井県
近畿	大阪府、京都府、兵庫県、滋賀県、奈良県、和歌山県
中国四国	鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県
九州	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

⁷ 芳澤宅實, & 金銀哲. (1998). 国産ムギ類のトリコテセン汚染実態とその特徴. マイコトキシン, 1998(47), 15-18.