

厚生労働科学研究費補助金
(食品の安全確保推進研究事業)

分担研究報告書

国内流通穀物におけるカビ毒複合汚染のリスク因子の解明

研究分担者 渡辺 麻衣子 (国立医薬品食品衛生研究所)

研究要旨

国内で流通するハトムギおよびライムギにおけるカビ毒の複合汚染の程度、汚染カビ毒の種類
の傾向およびカビ毒の中でも特にタイプ A トリコテセン系化合物の汚染原因菌を把握することを目的
として、市場から購入収集したハトムギおよびライムギにおいて各種カビ毒汚染量を調査し、それ
らの汚染程度が高かった検体からの *Fusarium* 属菌の分離・同定を行った。さらに、分離株の培養
液中のトリコテセン系化合物の分析を行った。国内流通ハトムギのカビ毒汚染量調査の結果、輸入
品では 4,15-ジアセトキシシルペノール (4,15-DAS)、ニバレノール (NIV)、ステリグマトシス
チン (STC)、アフラトキシン B1 (AFB1) およびビューベリシン (BEA) の複合汚染リスクが、
国産品では T-2 トキシン、HT-2 トキシン、デオキシニバレノール (DON)、NIV および BEA の複
合汚染リスクが、それぞれ高いことが示唆された。国内流通ライムギにおいては、4,15-DAS を除く
今回調査した全ての *Fusarium* トキシンにおいて、海外産よりも国内産で汚染濃度が高い傾向にあ
ることが示され、特に DON およびエンニアチン類 (ENs) でその傾向が強かった。続いてこれら
の試料からの分離株のタイプ A トリコテセン系化合物の産生性調査の結果、海外産ハトムギからは
4,15-DAS のみを産生する *F. incarnatum* 菌株が、国内産ハトムギからはタイプ A トリコテセン系
化合物のうち T-2 トキシン、HT-2 トキシン、4,15-DAS を同時に産生する *F. armeniacum* および
F. sporotrichioides 菌株、および T-2 トキシンまたは 4,15-DAS のどちらかのみを産生する *F.*
incarnatum 菌株が分離された。ライムギ試料では、海外産からは *Fusarium* 属菌を分離するこ
とができず、国内産のからのみ T-2 トキシン、HT-2 トキシンおよび 4,15-DAS を同時に産生する *F.*
sporotrichioides が分離された。このことは、2 年間連続で調査を実施したハトムギにおいて、年を
またいでの再現性があることも確認された。これらがそれぞれの穀類を汚染するフザリウムトキシ
ン汚染のリスク因子となっている可能性が示唆された。

研究協力者

吉成 知也 国立医薬品食品衛生研究所
高橋 治男 国立医薬品食品衛生研究所
平山 美咲 千葉大学真菌医学研究センター
矢口 貴志 千葉大学真菌医学研究センター
伴 さやか 千葉大学真菌医学研究センター

A. 研究目的

タイプ A トリコテセン系化合物は新興カビ毒として近年関心が高まっており、2016 年 FAO/WHO 合同食品規格委員会では、T-2/HT-2 トキシンのグループ PMTDI 0.06 µg/kg 体重/日に 4,15-ジアセトキシシルペノール (4,15-DAS) も含めるとされたり。これら 3 種のカビ毒汚染レベルを複合的に評価する必要がある。また、国内流通穀類においてはデオキシニバレノール (DON) やニバレノール (NIV) といったタイプ B トリコテセン系化合物の汚染があることが広く知られている。トリコテセン系化合物の主な産生菌は *Fusarium* 属菌であるが、このカビは一部の菌種が複数種類の *Fusarium* トキシンを産生することが知られており²⁾、また同一の農作物から複数の *Fusarium* 属菌が同時に検出されることも多い。このことから、穀類など *Fusarium* 属菌汚染が多い農作物は、複数種類のカビ毒の複合汚染のリスクがあることを念頭に置く必要がある。汚染実態の詳細が明らかになっていないタイプ A トリコテセン類を中心に、*Fusarium* トキシンの複合汚染のリスク因子の解明が急務である。

農作物を汚染するカビ毒産生菌は、菌種によってそれぞれ、寄生する植物種や分布する地域の気候や地理的条件、産生するカビ毒の種類などが異なる。これらのカビ毒の汚染を受けた食品から汚染の原因となった産生菌を分離して、分離株の同定を行い、産生するタイプ A トリコテセンの種類、および産生性の強度を調査することによって、どういった食品で複合汚染や高濃度汚染が起こりやすいのかを把握し、詳細な複合汚染のリスク因子を解明することが可能となる。タイプ A トリコテセン系化合物は *Fusarium* 属菌の複数菌種において産生性が知られるが、T-2 トキシン、HT-2 トキシンおよび 4,15-DAS の全てを産生する菌種もあれば (*Fusarium sporotrichioides*、*Fusarium poae*、*Fusarium armeniacum* 等)、

いずれかのみを産生する菌種もある (*Fusarium incarnatum*、*Fusarium sambucinum* 等)。昨年度の本課題の研究成果から、国内流通ハトムギのうち、海外産ハトムギではタイプ A トリコテセン系化合物の中では 4,15-DAS のみの汚染リスクが高く、国内産ハトムギでは T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンの汚染リスクが高かった。加えて、海外産ハトムギではアフラトキシン (AF) およびステリグマトシスチン (STC) といった *Aspergillus* 属カビ毒の汚染レベルも高い傾向があった。海外産ハトムギからは 4,15-DAS のみを産生する *F. incarnatum* が、国内産ハトムギからは、T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンを産生する *F. sporotrichioides* および *F. armeniacum* が分離された。ハトムギにおいては、海外産と国内産とで分布するカビ毒産生菌の種類が異なり、カビ毒汚染リスクが異なることが示唆された。

そこで、本年度は、昨年度に引き続きハトムギを調査することによって海外産と国内産との間のカビ毒汚染リスクの違いの年次変動の有無を明らかにすること、および昨年度までの実態調査の成果から国内流通製品がタイプ A トリコテセン類に汚染していることが明らかとなっているライムギを調査対象に加え、昨年度と同様の手法で検討を行った。*Fusarium* 属菌の分離効率を高めるため、第一段階としてハトムギおよびライムギ試料のタイプ A トリコテセン類の汚染濃度を確認し、第二段階として汚染レベルが高かった試料から *Fusarium* 属を分離し、分離株の同定およびカビ毒産生性を調査したので、その成果を報告する。

B. 研究方法

(1) 各種カビ毒に汚染されたハトムギおよびライムギ試料の探索

国内の小売店から、ハトムギの輸入品 10 検体および国産品 15 検体の計 25 検体、ライムギの輸入品 19 検体および国産品 9 検体の計 28 検体

を購入して収集した。産地の内訳は表 1 および表 2 に示した。収集した粒状のハトムギおよびライムギをミキサーで粉碎し、粉末状にした。この粉末をカビ毒の分析に用いた。

トリコテセン系化合物に加えて、*Fusarium* トキシシンでありトリコテセン類との複合汚染が予測されるエンニアチン類 (ENs) およびビューベリチン (BEA)、および穀類における高濃度汚染がしばしばみられるアフラトキシシン (AF) およびステリグマトシスチン (STC) の汚染調査を行った。

ハトムギおよびライムギ試料中の AF および STC の測定は以下の通り実施した。ハトムギまたはライムギ 7.5 g にアセトニトリル：水 (85 : 15) 30 mL を加え、30 分振盪し抽出液を得た。これをイムノアフィニティーカラム (IAC ; AFLAKING、堀場製作所) を用いて精製した。抽出液 5.0 mL をピペッターで 50 mL のメスフラスコにとり、PBS で 50 mL にメスアップした後、ガラス繊維ろ紙でろ過した。溶出液を窒素気流により乾固後、残渣をアセトニトリル 0.5 mL で溶解後、さらに蒸留水 0.5 mL 加えてから混合したものを試験溶液とした。試験溶液中のカビ毒を LC-MS/MS により定量した。LC-MS/MS の測定条件は以下の通りとした；

HPLC

カラム : InertSustain C18

2.1×150 mm、3 μm

カラム温度 : 40°C

移動相 : A 2 mmol/L 酢酸アンモニウム

B メタノール

分離条件 : 0 分 A : B = 60 : 40

13 分 A : B = 10 : 90

流速 : 0.2 mL/分

注入量 : 10 μL

MS

イオン化 : ESI positive

モニタリングイオン : 325 [M+H]⁺>281

ハトムギおよびライムギ試料中の ENs 類の測定は以下の通り実施した。測定対象をエンニアチン A (ENA)、エンニアチン A1 (ENA1)、エンニアチン B (ENB)、エンニアチン B1 (ENB1) および BEA とした。ハトムギ 2.5 g にアセトニトリル：水 (85 : 15) 25mL を加え、30 分間振盪し抽出液を得た。この抽出液 400 μL に精製水 800 μL を加えて希釈し、遠心分離を行った。この希釈液 900 μL をメタノール 3 mL と精製水 3 mL で平衡化した C18 カートリッジ (SepPak Vac C18 200 mg、Waters 社) で精製した後、10%アセトニトリル水溶液 3 mL と 50%アセトニトリル水溶液 3 mL で洗浄後、90%アセトニトリル水溶液 1.5 mL で溶出したものを試験溶液とした。試験溶液中の ENs および BEA を LC-MS/MS により定量した。LC-MS/MS の測定条件は以下の通りとした；

HPLC

カラム : Inertsil ODS-3

2.1×150 mm、3 μm

カラム温度 : 40°C

移動相 : A 2 mmol/L 酢酸アンモニウム

B アセトニトリル

分離条件 : 0 分 A : B = 30 : 70

20 分 A : B = 20 : 80

22 分まで保持

流速 : 0.2 mL/分

注入量 : 5 μL

MS

イオン化 : ESI positive

モニタリングイオン :

ENA 699>210、682

ENA1 685>210、668

ENB 657>196、640

ENB1 671>196、654

BEA 801>134、784

ハトムギおよびライムギ試料中のタイプ A トリコセテン類の測定は以下の通り実施した。ハト

ムギ 7.5 g に 85%アセトニトリル 30 mL を加え、30 分振盪し抽出液を得た。この抽出液約 10 mL を多機能カラム（昭和電工社製 AutoprepMF-T 1500）を用いて精製した。最初の流出液 3 mL を捨て、次いで流出する約 2.4 mL を試験管に採り、続く分析に用いた。その溶出液から 2.0 mL を別の試験管に分取し、窒素気流により乾固後、残渣をアセトニトリル：水（1：9）0.5 mL で溶解したものを試験溶液とした。試験溶液中のタイプ A トリコセテン類を LC-MS/MS により定量した。LC-MS/MS の測定条件は以下の通りとした；

HPLC

カラム：Inertsil ODS-3
2.1×150 mm、3 μm
カラム温度：40°C
移動相：A 2 mmol/L 酢酸アンモニウム
B メタノール
分離条件：0 分 A：B = 50：50
20 分 A：B = 10：90
11 分まで保持
流速：0.2 mL/分
注入量：2 μL

MS

イオン化：ESI positive
モニタリングイオン：
T-2 トキシシン 484>305、215
HT-2 トキシシン 442>215、187
4,15-DAS 657>307、247

ハトムギおよびライムギ試料中のタイプ B トリコセテン系カビ毒の測定は以下の通り実施した。ハトムギ 5 g に水 20 mL を加え 30 分間振盪し抽出液を得た。上清 5 mL に PBS 25 mL を加え、この希釈液 12 mL に PBS 10 mL および D.W. 10 mL を加えたものをカラムで精製した。精製後、メタノール 50 μL およびアセトニトリル 1.5 mL で溶出し窒素乾固を行った。その後、LC-MS/MS を用いて測定した。LC-MS/MS の測定条件は以下の通りとした；

HPLC

カラム：Inertsil ODS-3
2.1×150 mm、3 μm
カラム温度：40°C
移動相：A 2 mmol/L 酢酸アンモニウム
B アセトニトリル
分離条件：0 分 A：B = 95：5
8 分 A：B = 10：90
10 分まで保持
流速：0.2 mL/分
注入量：5 μL

MS

イオン化：ESI negative
モニタリングイオン：
DON 295>265
NIV 371>281
3-アセチル DON (3ADON) 337>307
15-アセチル DON (15ADON) 337>150

(2) カビ毒汚染レベルが高いハトムギおよびライムギ試料からの *Fusarium* 属菌株の分離

Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol 寒天培地 (DRBC 寒天培地、Difco) 平板上に、供試したハトムギおよびライムギを 1 枚のプレートに 5 粒ずつ計 50 粒を置き、25°C で 7 日間培養した。この際、事前に 70% エタノールで 30 秒間洗浄し、食品表面に付着した真菌を除いてから培養に供した。培養後、生育したコロニーを目視によって観察し、*Fusarium* 属様コロニーをポテトデキストロース寒天 (PDA、栄研化学) 平板培地に釣菌して分離した後、25°C で 1~2 週間培養した。

(3) 分離された *Fusarium* 属菌株の同定

PDA 平板上に生育したコロニーの色調等性状を目視で観察した。さらにカーネーションリーフ・アガー培地に接種し 25°C で 7 日間培養後、プレパラートを作製して顕鏡し、孢子形状、孢子

形成様式等を観察した。また、分離株菌体を 2 mL マイクロチューブに入れたポテトデキストロース液体培地 (PDB) 1 mL に接種し、25°C で 2 晩培養後、得られた菌体から Maxwell RSC Plant DNA Kit (プロメガ株式会社) で DNA を抽出した。これを用いて β -tubulin および EF-1 α 遺伝子の PCR およびシーケンスを行った。この際プライマーは、 β -tubulin 遺伝子では Btu_F-F01

(5'-CAGACCGGTCAGTGC GTAA-3') および Btu_F-R01 (5'- TTGGGGTTCGAACATCTGCT-3')³⁾、EF-1 α 遺伝子では EF-11 (5'-ATGGGTAAGGARGACAAGAC-3') および EF-2 (5'- GGARGTACCAGTSATCATGTT-3')⁴⁾を用いた。得られた形態学的特徴および遺伝子塩基配列の解析結果を参照し、菌種の同定を行った。分離株は PDA 斜面培地に接種して 25°C で 7 日間前培養し、4°C で保存した。

(4) 分離された *Fusarium* 属菌株のトリコテセン系カビ毒産生性の検討

(3) で同定した *Fusarium* 属菌株について、トリコテセン系カビ毒の産生能を持つ菌種であった場合に、タイプ A およびタイプ B トリコテセンの産生量を調査した。前培養として角田培地に PDA 斜面培地で生育した菌体を接種して振盪培養で 25°C 1 日間培養した。この培養液を 200 mL 三角フラスコに入れた角田培地 30 mL に 100 μ L 接種し、25°C で 7 日間静置培養した。その培養物に 85%アセトニトリル 40 mL を加え振盪して得た抽出物を、50%メタノールを用いて 100~1,000 倍に適宜希釈し、(1) で上述の条件にて LC-MS/MS によって T-2 トキシン、HT-2 トキシン、4,15-DAS、DON、NIV、3ADON、15ADON および ENB の測定を行った。

C. 研究結果

(1) ハトムギ試料中のカビ毒検出量の評価

今回供試したハトムギ試料中のカビ毒分析の結果を表 1 に示した。輸入ハトムギ 10 検体からは、100%の検出率で 4,15-DAS (検出濃度の幅は 0.8-16.1 μ g/kg) が、および 80.0%の検出率で LOQ 以上の STC (検出濃度の幅は LOQ 未満-3.5 μ g/kg) が検出され、これらのカビ毒の検出量の平均値は国産品と比較して有意に高かった (4,15-DAS ; $p=0.004$ 、STC ; $p=0.05$)。また海外産ハトムギ群では 50.0%の検出率で AFB1 が検出された (検出濃度の幅は LOQ 未満-1.4 μ g/kg) ことに対して、国内産ハトムギ群では今回調査した全検体から LOQ 以上の検出は確認されず、有意な差ではなかったものの、海外産ハトムギでは国産品よりも比較的 AFB1 が検出される傾向が強いことが示された。国内産ハトムギ 15 検体からは、73.3%の検出率で HT-2 (検出濃度の幅は LOQ 未満-12.4 μ g/kg) が、100%の検出率で DON (0.6-36.9 μ g/kg) がそれぞれ検出され、これらのカビ毒の検出量の平均値は国産品と比較して有意に高かった (HT-2 ; $p=0.005$ 、DON ; $p=0.005$)。また国内産ハトムギ群では 93.3%の検出率で T-2 トキシシンが検出された (検出濃度の幅は LOQ 未満-18.80 μ g/kg) ことに対して、海外産ハトムギ群では今回調査した全検体から LOQ 以上の検出は確認されず、有意な差ではなかったものの、輸入品ハトムギでは国産品よりも比較的 T-2 トキシシンが検出される傾向が強いことが示された。また NIV については海外産および国内産の全検体から 1.4-233 μ g/kg の濃度で検出され、BEA については海外産で 90.0%、国内産で 93.3%のハトムギ検体から検出され (検出濃度の幅は LOQ 未満-62.7 μ g/kg)、海外産および国内産の両群から検出される頻度は高かった。以上のことから、国内流通ハトムギにおいては、輸入品では 4,15-DAS、NIV、STC、AFB1 および BEA の複合汚染リスクが、国産品では T-2 トキシシン、HT-2 トキシシン、DON、NIV および BEA の複合汚染リスクが、それぞれ高いことが示唆さ

れた。

(2) ライムギ試料中のカビ毒検出量の評価

供試したライムギ試料中のカビ毒分析の結果を表 2 に示した。海外産ライムギ群および国産品ライムギ群の結果を比較したところ、*Aspergillus* トキシンの STC および AFB1 については特段検出頻度や濃度に傾向の差は見られなかったが、4,15-DAS を除く今回調査した全ての *Fusarium* トキシンのについては、有意な差ではなかったものの、検出率および検出濃度の平均値は国産品の方が高かった。また国産品群からは DON で平均値±SD は 439.4±797.7 µg/kg、BEA で平均値±SD は 3.6±6.6 µg/kg、ENA で平均値±SD は 2.6±4.7 µg/kg、ENA1 で平均値±SD は 22.7±35.6 µg/kg、ENB で平均値±SD は 817.9±1189.6 µg/kg、ENB1 で平均値±SD は 223.7±344.0 µg/kg の濃度で検出され、海外産群の平均値よりも 10 倍以上高く検出された。以上のことから、国内流通ライムギについては、4,15-DAS を除く今回調査した全ての *Fusarium* トキシンの汚染濃度は、海外産よりも国内産の方が高い傾向にあり、特に DON および ENs でその傾向が強いことが示された。

(3) ハトムギおよびライムギ試料から分離された *Fusarium* 属菌種およびフザリウムトキシンの産生性

ハトムギ試料 (表 1) およびライムギ試料 (表 2) 中のカビ毒分析の結果を参照し、タイプ A トリコテセン系化合物の検出量が多かったまたは特徴的であったハトムギ 7 検体 (33-HT01、33-HT04、33-HT05、33-HT10、33-HT13、33-HT21、32-HT25) およびライムギ 3 検体 (33-RY10、33-RY18、33-RY25) を用いて *Fusarium* 属菌の分離を試みた。その結果、ハトムギからは計 42 株、ライムギからは計 30 株の *Fusarium* 属菌がそれぞれ分離された。これら

の分離株を培養し、培養液中の T-2 トキシシ、HT-2 トキシシ、4,15-DAS、DON、NIV、3ADON、15ADON および ENB を測定し、いずれか 1 種類以上のカビ毒の産生性が認められた分離株については、同定を行った。その結果をハトムギ由来株については表 3 に、ライムギ由来株については表 4 に示した。輸入ハトムギからはタイプ A トリコテセン系化合物の産生菌の *F. incarnatum* のみが 2 株検出され、これらの株は 4,15-DAS の産生性のみを有した。国内産ハトムギからはタイプ A トリコテセン系化合物の産生菌の *F. armeniacum*、*F. sporotrichioides* および *F. incarnatum* が検出され、*F. armeniacum* は T-2 トキシシおよび 4,15-DAS を、*F. sporotrichioides* は T-2 トキシシ、HT-2 トキシシおよび 4,15-DAS をそれぞれ同時に産生した。*F. incarnatum* は T-2 トキシシまたは 4,15-DAS のどちらかのみを産生する菌株が検出された。以上のことから、今回供試した検体では、海外産ハトムギと比べ、国内産ハトムギでは菌種の多様性がみられた。今回供試したハトムギ検体からは、タイプ B トリコテセン系化合物および ENB の産生能を有する菌株は分離されなかった。ライムギ試料では、国内産の 1 検体 (33-RY25) からのみ *Fusarium* 属菌を分離することができた。タイプ A トリコテセン系化合物の産生菌の *F. sporotrichioides* が 8 株検出され、これらの株は T-2 トキシシ、HT-2 トキシシおよび 4,15-DAS を同時に産生した。またタイプ B トリコテセン系化合物の産生菌の *Fusarium graminearum* が 2 株検出され、これらの株は DON、3ADON および 15ADON を同時に産生した。さらに ENB 産生能を有する *Fusarium avenaceum* が 9 株検出された。

全ての分離株のうち、タイプ A トリコテセン系化合物 3 種全ての産生性が最も高かったのは、国内産ハトムギ試料 33-HT01 から分離された *F. sporotrichioides* の T-2 トキシシ 2368 mg/kg、

HT-2 トキシン 484 mg/kg、および 4,15-DAS 76 mg/kg であった。この株の 3 種のタイプ A トリコテセン系化合物の合算値は 2928 mg/kg となり、昨年度および今年度分離されたハトムギ由来の *F. sporotrichioides* および *F. armeniacum* の全菌株中最も高く、他の菌株のおおよそ 10 倍程度の産生量であることを確認した。

D. 考察

今回調査の対象とした *Fusarium* トキシンについて、主な産生菌種はそれぞれ T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンでは *F. sporotrichioides*、*Fusarium langsethiae*、*F. poae*、*F. armeniacum*、*Fusarium equiseti* など、4,15-DAS では *F. equiseti*、*F. sporotrichioides*、*F. armeniacum*、*F. langsethiae*、*F. poae*、*F. incarnatum*、*F. sambucinum* などである。3 種全てを生産する *F. sporotrichioides* などが広く分布していることから、3 種のタイプ A トリコテセン類の複合汚染のケースが、多くの穀物で確認されている。今回調査したライムギ試料もこれと一致する結果となった (表 2)。このことから、これらの合計値でのリスク評価を実施する国も多い。その一方で、*F. incarnatum*、*F. sambucinum*、*Fusarium venenatum* は 4,15-DAS を産生するが T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンの産生性の報告はほとんど無く^{5,6)}、タイプ A トリコテセン系化合物の中でも、汚染原因菌は必ずしも共通ではない。汚染プロファイルを 3 種のカビ毒で確認することによって、汚染原因菌を推定することが可能となる場合がある。

本研究の結果から、タイプ A トリコテセン系化合物については、ハトムギ試料においては、2 年間の調査結果にわたって、4,15-DAS だけが国産品と比較して輸入品から有意に高い濃度で検出されたのに対して、T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンでは逆に輸入品と比較して国産品から

明らかに高く検出される傾向となり、タイプ A トリコテセンの 3 者の間で検出傾向は一律ではなかった。このことから、4,15-DAS は同じタイプ A トリコテセンであっても T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンとは汚染原因菌が異なり、ハトムギの産地ごとにカビ毒の汚染プロファイルが異なる要因は、汚染原因菌の違いによるものであることが考えられた。本研究では、実際に 2 年間の調査にわたって、4,15-DAS のみを産生する *F. incarnatum* が分離された (表 4)。以上のことから、海外産ハトムギでは、4,15-DAS 汚染原因菌は *F. incarnatum* が輸入ハトムギの 4,15-DAS 汚染原因菌の候補であると考えられる。また、輸入品からの *F. incarnatum* 以外の汚染原因菌分離も目指しての検討を継続する必要があるが、過去 2 年間の調査結果から、海外産ハトムギおよびライムギ試料からは、複数種類のフザリウムトキシンが 10 µg/kg 以上の濃度で検出されたにもかかわらず (表 5)、分離できた *Fusarium* 属菌は *F. incarnatum* および *F. verticillioides* のみであった。このことから、収穫から販売に至るまでの間の保管等の条件により、菌が減衰または死滅していた可能性が考えられた。今後はサンプル入手の条件を検討し、これらのカビ毒の汚染原因菌を分離し、特定を進める必要がある。

今回の調査結果から、海外産ハトムギからは 2 年間の調査を通じて T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンはほとんど検出されなかったが (表 5)、海外産ライムギからは、検出率 68.4 および 47.4%、最大 16.20 mg/kg で検出された (表 6)。さらに、タイプ A トリコテセン系化合物の T-2 トキシン・HT-2 トキシン・4,15-DAS の複合汚染の原因菌としては、海外産ハトムギにおいては *F. incarnatum*、国内産ハトムギおよびライムギにおいては *F. sporotrichioides* および *F. armeniacum* が、それぞれ汚染の原因菌となっていた可能性が示された。ハトムギにおいては 2

年間の調査によって年をまたいでの再現性があることも確認された。ハトムギ・ライムギ試料中のタイプ A トリコテセン系化合物の汚染プロファイルの差異と、これらの検出された *Fusarium* 属菌の種類は関連していると考えられ、この菌種の違いがそれぞれの穀類のフザリウムトキシン汚染のリスク因子の一端となっている可能性が示唆された。

海外産ハトムギは東南・東アジア諸国産である一方で、海外産ライムギは北米およびヨーロッパ諸国産であり、この傾向の違いは、農作物の種類に特有であるのか、産地の地理的条件によるものであるのか、詳細は不明である。これを解明することは、タイプ A トリコテセン系化合物の農作物汚染のリスク因子解明およびリスク軽減策の作出につながると期待できることから、ハトムギ以外でも、温暖な地域で生産される品目のタイプ A トリコテセン汚染状況を、文献調査および分析による実態調査によって検討するなど、継続した調査が必要である。

E. 結論

本研究の結果から、国内に流通するハトムギおよびライムギ製品では、作物の種類や生産地によって、*Aspergillus* トキシンおよび *Fusarium* トキシンの汚染状況、および汚染原因菌の種類に偏りが存在することが明らかとなった。今後、ハトムギおよびライムギ製品から受けるヒトのフザリウムトキシンの摂取リスクに注視しつつ、より多検体を供試した検討を継続し、これらの偏りが有意な差であることを確認する必要がある。さらには、作物の種類や生産地によって分布する *Fusarium* 属菌の偏りが生じる原因とメカニズムを解明し、汚染を軽減させるための研究を実施する必要がある。

F. 参考文献

1) World Health Organization & Joint

FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2017. Evaluation of certain contaminants in food: eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. *WHO Technical Report Series: 1002*, pp. 41-55.

2) Watanabe, M., Yonezawa, T., Sugita-Konishi, Y., et al. 2013. Application of phylotoxigenic relationships among trichothecene-producing *Fusarium* species to the prediction about the potential mycotoxin-productivity. *Food Additiv. Contam. A* 30(8):1370-81.

3) Watanabe, M., Yonezawa, T., Lee, K., et al. 2011. Evaluation of genetic markers for identifying isolates of the species of the genus *Fusarium*. *J. Food Sci.* 91:2500-2504.

4) O'Donnell K, Kistler HC, Cigelnik E, Ploetz RC. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proc Natl Acad Sci U S A* 95:2044-2049.

5) Marasas, W.F.O., Nelson, E.P, Toussoun, T.A. 1984. *Toxigenic Fusarium Species*. The Pennsylvania State University Press. USA.

6) Leslie, J.F., Summerell, B.A. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing. Oxford, UK.

G. 研究業績

【論文発表】

1) Hashimoto, K., Kawakami, Y., Hashimoto, R., Kitaoka, Y., Onji, Y., Oda, H., Watanabe, M., et al. 2021. Distribution of *Aspergillus* section *Nigri* at shochu fermenting places in Japan. *J. Air & Waste Manag. Assoc.* 24:1-8.

【学会発表】

- 1) 渡辺麻衣子, 平山美咲, 清水公德, 伴さやか, 矢口貴志, 吉成知也, 工藤由起子. 国内流通ハトムギにおけるカビ毒汚染実態およびトリコテセン系カビ毒産生. *Fusarium* 属菌の分布調査. 日本マイコトキシン学会第 87 回学術講演会. 2022.1.7. (オンライン開催)

- 2) 平山美咲, 渡辺麻衣子, 矢口貴志, 伴さやか, 工藤由起子, 吉成知也. ライ麦から分離されたフザリウム属真菌が生産する新興カビ毒の同定及び分析法の開発. 日本マイコトキシン学会第 87 回学術講演会. 2022.1.7. (オンライン開催)

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

表 1. 供試した国内流通ハトムギ一覧およびカビ毒の汚染状況

試料No.	試料の原産地	検出されたカビ毒 (µg/kg)											
		STC	AFB1	DON	NIV	DAS	HT-2	T-2	BEA	ENA	ENA1	ENB	ENB1
海外産ハトムギ													
33-HT04	タイ	< LOQ ¹	0.0	< LOQ	29.0	16.1	< LOQ	< LOQ	2.9	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT05	タイ	2.7	0.1	< LOQ	16.3	10.6	< LOQ	< LOQ	0.9	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT10	タイ	0.1	< LOQ	< LOQ	42.5	14.5	< LOQ	< LOQ	5.9	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT19	タイ	0.1	0.9	< LOQ	10.2	1.7	< LOQ	< LOQ	1.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT21	タイ	0.6	< LOQ	< LOQ	13.8	10.0	< LOQ	< LOQ	0.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT26	タイ	0.1	< LOQ	< LOQ	21.6	2.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT09	中国	< LOQ	< LOQ	< LOQ	8.9	0.8	< LOQ	< LOQ	4.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT18	中国	3.3	0.1	< LOQ	14.0	8.4	< LOQ	< LOQ	0.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT24	中国	0.3	1.4	3.8	59.1	3.8	< LOQ	< LOQ	3.9	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT25	ラオス	3.5	< LOQ	< LOQ	19.5	3.5	< LOQ	< LOQ	1.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	検出率(%)	80.0	50.0	10.0	100	100	0	0	90.0	0	0	0	0
	最小値	< LOQ	< LOQ	< LOQ	8.9	0.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	最大値	3.5	1.4	3.8	59.1	16.1	< LOQ	< LOQ	5.9	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	平均値±SD	1.1±1.5	0.3±0.5	0.4±1.2	23.5±16.0	7.2±5.5	—	—	2.1±1.9	—	—	—	—
国内産ハトムギ													
33-HT01	岩手県	0.1	< LOQ	8.5	2.3	0.3	12.4	18.8	2.5	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT02	富山県	< LOQ	< LOQ	8.6	233.0	5.3	0.8	0.3	1.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT03	栃木県	< LOQ	< LOQ	12.5	13.5	0.3	< LOQ	0.4	17.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT06	福岡県	< LOQ	< LOQ	0.9	14.3	0.2	< LOQ	0.1	5.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT07	栃木県	< LOQ	< LOQ	6.2	10.8	0.1	< LOQ	0.4	62.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT08	島根県	< LOQ	< LOQ	0.6	15.9	0.1	0.3	0.2	2.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT12	岩手県	0.1	< LOQ	4.2	1.4	< LOQ	5.1	2.0	1.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT13	島根県	< LOQ	< LOQ	36.9	42.9	0.2	7.4	1.8	9.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT14	青森県	< LOQ	< LOQ	4.3	6.2	0.1	1.0	1.1	1.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT15	岩手県	< LOQ	< LOQ	28.1	5.7	< LOQ	4.8	1.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT16	岡山県	< LOQ	< LOQ	5.2	10.0	0.2	3.2	0.8	9.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT17	青森県	< LOQ	< LOQ	3.3	10.3	< LOQ	2.0	0.6	0.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT20	宮崎県	< LOQ	< LOQ	1.0	14.5	0.1	< LOQ	< LOQ	1.5	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
32-HT22	岩手県	< LOQ	< LOQ	15.9	2.5	< LOQ	8.4	5.2	0.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT23	大分県	< LOQ	< LOQ	4.3	7.6	0.3	3.4	2.1	8.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	検出率(%)	13.3	0	100	100	73.3	73.3	93.3	93.3	0	0	0	0
	最小値	< LOQ	< LOQ	0.6	1.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	最大値	0.1	< LOQ	36.9	233.0	5.3	12.4	18.8	62.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	平均値±SD	0.01±0.04	—	9.4±10.4	26.1±58.1	0.5±1.4	3.3±3.8	2.4±4.7	8.4±15.8	—	—	—	—
t-test ²		0.05	0.139	0.005	0.873	0.004	0.005	0.073	0.152	—	—	—	—

¹検出下限値。各カビ毒の値は以下の通り；STCでは0.008µg/kg、AFB₁では0.02µg/kg、DASでは0.05µg/kg、T-2トキシンでは0.02µg/kg、HT-2トキシンでは0.3µg/kg、DONでは1µg/kg、NIVでは0.7µg/kg、BEAでは0.5µg/kg、ENAでは1.6µg/kg、ENA₁では2.0µg/kg、ENBでは2.0µg/kg、ENB₁では2.0µg/kg。

²海外産ハトムギ群と国内産ハトムギ群との間で2標本t検定を行った結果のp値を示した。

表 2. 供試した国内流通ライムギー一覧およびカビ毒の汚染状況

試料No.	試料の 原産地	検出されたカビ毒 (µg/kg)											
		STC	AFB1	DON	NIV	4,15-DAS	HT-2	T-2	BEA	ENA	ENA1	ENB	ENB1
海外産ライムギ													
33-Ry01	ドイツ	< LOQ*1	< LOQ	14.8	< LOQ	< LOQ	0.3	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1.5	7.4	6.0
33-Ry02	アメリカ	< LOQ	< LOQ	5.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry03	ドイツ	< LOQ	< LOQ	3.4	0.4	< LOQ	0.8	0.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	35.4	9.5
33-Ry04	ドイツ	< LOQ	< LOQ	11.2	0.3	< LOQ	0.3	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1.4	7.6	5.7
33-Ry08	ドイツ主体	< LOQ	< LOQ	17.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	6.1
33-Ry10	ドイツ	< LOQ	< LOQ	11.7	1.5	< LOQ	5.3	1.2	< LOQ	< LOQ	3.0	24.7	11.7
33-Ry12	ドイツ・カナダ	< LOQ	< LOQ	2.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry13	ドイツ	< LOQ	< LOQ	13.5	0.7	< LOQ	0.7	0.2	< LOQ	< LOQ	1.0	9.3	4.7
33-Ry15	ドイツ	< LOQ	< LOQ	19.6	2.8	< LOQ	1.6	0.4	< LOQ	< LOQ	1.2	26.2	8.1
33-Ry16	アメリカ	< LOQ	< LOQ	6.1	< LOQ	< LOQ	2.3	0.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	7.1	3.1
33-Ry18	アメリカ	< LOQ	< LOQ	41.1	5.6	< LOQ	16.2	4.3	1.0	< LOQ	11.3	43.5	33.4
33-Ry19	アメリカ	0.1	< LOQ	4.8	< LOQ	< LOQ	0.4	0.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry20	オーストラリア	1.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry21	フランス	< LOQ	< LOQ	33.7	0.9	< LOQ	0.5	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0.7	8.6	3.6
33-Ry22	ドイツ	< LOQ	< LOQ	6.2	0.9	< LOQ	0.6	0.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	6.8	2.0
33-Ry23	ドイツ	< LOQ	< LOQ	4.7	< LOQ	< LOQ	0.3	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	2.6	< LOQ
33-Ry26	ロシア	0.1	< LOQ	2.3	0.9	< LOQ	4.4	0.7	0.6	< LOQ	1.9	38.4	11.4
33-Ry27	オーストラリア	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry28	ドイツ	< LOQ	< LOQ	9.9	0.6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1.8	< LOQ
	検出率(%)	15.8	0	89.5	52.6	0	68.4	47.4	10.5	0	42.1	68.4	63.2
	最小値	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	最大値	1.1	< LOQ	41.1	5.6	< LOQ	16.2	4.3	1.0	< LOQ	11.3	43.5	33.4
	平均値±SD	0.06±0.24	< LOQ	11.0±11.0	0.8±1.4	—	1.8±3.8	0.4±1.0	0.08±0.3	—	1.2±2.6	11.6±14.5	5.5±7.9

表 2. 供試した国内流通ライムギ一覧およびカビ毒の汚染状況（続き）

試料No.	試料の 原産地	検出されたカビ毒 (µg/kg)											
		STC	AFB1	DON	NIV	4,15-DAS	HT-2	T-2	BEA	ENA	ENA1	ENB	ENB1
国内産ライムギ													
33-Ry09	国内	< LOQ	< LOQ	94.4	6.6	< LOQ	8.7	2.0	1.1	2.1	5.4	29.6	17.6
33-Ry29	国内	< LOQ	< LOQ	19.7	< LOQ	< LOQ	0.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	14.3	3.3
33-Ry24	長野県	0.1	< LOQ	2180.0	12.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0.8	3.0	28.6	1042.4	260.2
33-Ry07	兵庫県	< LOQ	< LOQ	5.7	3.3	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1.5	1.3	3.3	39.4	14.4
33-Ry06	北海道	< LOQ	< LOQ	8.4	2.8	< LOQ	0.8	0.2	2.1	0.3	4.9	261.3	63.8
33-Ry14	北海道	0.04	< LOQ	112.0	2.1	< LOQ	0.7	0.2	2.3	< LOQ	8.2	426.0	102.8
33-Ry17	北海道	< LOQ	< LOQ	94.8	2.2	< LOQ	1.4	0.3	2.1	< LOQ	8.9	367.4	97.9
33-Ry25	北海道	1.1	< LOQ	1430.0	2.2	< LOQ	29.3	5.6	21.1	14.7	112.8	3696.7	1079.0
33-Ry30	北海道	< LOQ	< LOQ	9.7	2.2	< LOQ	3.7	0.9	1.3	1.7	32.1	1483.9	374.5
	検出率(%)	33.3	0	100	88.9	0	77.8	66.7	88.9	66.7	88.9	100	100
	最小値	< LOQ	< LOQ	5.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	14.3	3.3
	最大値	1.1	< LOQ	2180.0	12.7	< LOQ	29.3	5.6	21.1	14.7	112.8	3696.7	1079.0
	平均値±SD	0.11±0.32	—	439.4±797.7	3.8±3.8	—	5.0±9.5	1.0±1.8	3.6±6.6	2.6±4.7	22.7±35.6	817.9±1189.6	223.7±344.0
	t-test ^{*2}	0.689	—	0.143	0.025	—	0.371	0.332	0.152	0.128	0.108	0.076	0.093

*1検出下限値。各カビ毒の値は以下の通り；STCでは0.008µg/kg、AFB₁では0.02µg/kg、DASでは0.05µg/kg、T-2では0.02µg/kg、HT-2では0.3µg/kg、DONでは1µg/kg、NIVでは0.7µg/kg、BEAでは0.5µg/kg、ENAでは1.6µg/kg、ENA₁では2.0µg/kg、ENBでは2.0µg/kg、ENB₁では2.0µg/kg。

*2海外産ハトムギ群と国内産ハトムギ群との間で2標本t検定を行った結果のp値を示した。

表 3. *Fusarium* トキシンを産生したハトムギ由来分離株のカビ毒産生性および同定結果

菌株番号	分離原試料 の産地	菌種	培養液中のカビ毒検出量(mg/kg)							
			T-2	HT-2	4,15-DAS	ENB	DON	NIV	3ADON	15ADON
33-HT01-02	岩手県	<i>F. incarnatum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT01-09	岩手県	<i>F. incarnatum</i>	< LOQ ^{*1}	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT01-24	岩手県	<i>F. sporotrichioides</i>	2368	484	76	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT01-31	岩手県	<i>F. armeniacum</i>	7.7	< LOQ	0.5	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT10-07	タイ	<i>F. incarnatum</i>	< LOQ	< LOQ	1.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT13-09	島根県	<i>F. incarnatum</i>	< LOQ	< LOQ	0.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT13-14	島根県	<i>F. incarnatum</i>	< LOQ	< LOQ	0.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-HT21-02	タイ	<i>F. incarnatum</i>	< LOQ	< LOQ	1.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ

*¹検出下限値。各カビ毒の値は以下の通り；T-2では0.1mg/kg、HT-2では1mg/kg、4,15-DASでは0.2mg/kg、ENBでは8mg/kg、DONでは4mg/kg、NIVでは3mg/kg、3ADONでは0.004mg/kg、15-ADONでは0.024mg/kg。

表 4. *Fusarium* トキシンを産生したライムギ由来分離株のカビ毒産生性および同定結果

菌株番号	分離原試料 の産地	菌種	培養液中のカビ毒検出量(mg/kg)							
			T-2	HT-2	4,15-DAS	ENB	DON	NIV	3ADON	15ADON
33-Ry25-03	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ ^{*1}	< LOQ	< LOQ	42	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-04	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	28	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-05	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	99	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-06	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	8.6	< LOQ	0.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-09	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	41	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-13	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	36	1.9	3.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-19	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	14	< LOQ	2.4	4.2	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-20	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	8.0	< LOQ	0.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-23	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	109	14	3.8	9.5	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-25	北海道	<i>F. graminearum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0.5	< LOQ	0.09	2.1
33-Ry25-26	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	41	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-28	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	12	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-29	北海道	<i>F. graminearum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0.2	< LOQ	1.1	< LOQ
33-Ry25-30	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	194	31	5.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-32	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	56	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-33	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	44	5.7	5.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-34	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	14	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-35	北海道	<i>F. sporotrichioides</i>	144	21	14	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
33-Ry25-36	北海道	<i>F. avenaceum</i>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	49	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ

*¹検出下限値。各カビ毒の値は以下の通り；T-2では0.1mg/kg、HT-2では1mg/kg、DASでは0.2mg/kg、ENBでは8mg/kg、DONでは4mg/kg、NIVでは3mg/kg、3ADONでは0.004mg/kg、15ADONでは0.024mg/kg。

表 5-1. 2020 年度に実施した国内流通ハトムギのカビ毒の汚染状況のまとめ

供試検体	検出されたカビ毒 (µg/kg)											
	STC	AFB1	DON	NIV	4,15-DAS	HT-2	T-2	BEA	ENA	ENA1	ENB	ENB1
輸入ハトムギ												
検出率	100.0	90.9	18.2	100.0	100.0	0.0	9.1	90.9	0	0	0	0
最小値	0.0	< LOQ	< LOQ	10.2	1.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
最大値	1.7	6.2	177.8	282.3	22.4	< LOQ	0.0	12.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
平均値±SD	0.9±0.7	0.9±1.9	17.9±53.4	61.1±78.1	12.6±7.3	—	—	2.3±3.4	—	—	—	—
国産ハトムギ												
検出率	90.0	50.0	100.0	100.0	90.0	90.0	90.0	100.0	0	0	0	0
最小値	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0.3	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
最大値	0.5	0.01	159.3	69.0	8.7	33.0	6.8	14.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
平均値±SD	0.01±0.01	0.00±0.00	27.5±50.2	24.2±23.9	0.3±0.4	5.8±10.1	2.2±2.3	3.9±4.1	—	—	—	—
t-test*2	0.000	0.126	0.678	0.169	0.000	0.071	0.005	0.359	—	—	—	—

表 5-2. 2021 年度に実施した国内流通ハトムギのカビ毒の汚染状況のまとめ

供試検体	検出されたカビ毒 (μg/kg)											
	STC	AFB1	DON	NIV	4,15-DAS	HT-2	T-2	BEA	ENA	ENA1	ENB	ENB1
輸入ハトムギ												
検出率	80.0	50.0	10.0	100	100	0	0	90.0	0	0	0	0
最小値	< LOQ	< LOQ	< LOQ	8.9	0.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
最大値	3.5	1.4	3.8	59.1	16.1	< LOQ	< LOQ	5.9	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
平均値±SD	1.1±1.5	0.3±0.5	0.4±1.2	23.5±16.0	7.2±5.5	—	—	2.1±1.9	—	—	—	—
国産ハトムギ												
検出率	13.3	0	100	100	73.3	73.3	93.3	93.3	0	0	0	0
最小値	< LOQ	< LOQ	0.6	1.4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
最大値	0.1	< LOQ	36.9	233.0	5.3	12.4	18.8	62.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
平均値±SD	0.01±0.04	—	9.4±10.4	26.1±58.1	0.5±1.4	3.3±3.8	2.4±4.7	8.4±15.8	—	—	—	—
t-test* ²	0.050	0.139	0.005	0.873	0.004	0.005	0.073	0.152	—	—	—	—

*¹検出下限値。各カビ毒の値は以下の通り；STCでは0.008μg/kg、AFB₁では0.02μg/kg、DONでは1μg/kg、NIVでは0.7μg/kg、4,15-DASでは0.05μg/kg、HT-2トキシシンでは0.3μg/kg、T-2では0.02μg/kg、BEAでは0.5μg/kg、ENAでは1.6μg/kg、ENA₁では2.0μg/kg、ENBでは2.0μg/kg、ENB₁では2.0μg/kg。

*²海外産ハトムギ群と国内産ハトムギ群との間で2標本t検定を行った結果のp値を示した。

表 6. 2018 年度に実施した国内流通ライムギのカビ毒の汚染状況のまとめ

供試検体	検出されたカビ毒 (μg/kg)											
	STC	AFB1	DON	NIV	4,15-DAS	HT-2	T-2	BEA	ENA	ENA1	ENB	ENB1
輸入ライムギ												
検出率	15.8	0	89.5	52.6	0	68.4	47.4	10.5	0	42.1	68.4	63.2
最小値	< LOQ ^{*1}	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
最大値	1.1	< LOQ	41.1	5.6	< LOQ	16.2	4.3	1.0	< LOQ	11.3	43.5	33.4
平均値±SD	0.06±0.24	< LOQ	11.0±11.0	0.8±1.4	—	1.8±3.8	0.4±1.0	0.08±0.3	—	1.2±2.6	11.6±14.5	5.5±7.9
国産ライムギ												
検出率	33.3	0	100	88.9	0	77.8	66.7	88.9	66.7	88.9	100	100
最小値	< LOQ	< LOQ	5.7	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	14.3	3.3
最大値	1.1	< LOQ	2180.0	12.7	< LOQ	29.3	5.6	21.1	14.7	112.8	3696.7	1079.0
平均値±SD	0.11±0.32	—	439.4±797.7	3.8±3.8	—	5.0±9.5	1.0±1.8	3.6±6.6	2.6±4.7	22.7±35.6	817.9±1189.6	223.7±344.0
t-test ^{*2}	0.689	—	0.143	0.025	—	0.371	0.332	0.152	0.128	0.108	0.076	0.093

*¹検出下限値。各カビ毒の値は以下の通り；STCでは0.008μg/kg、AFB₁では0.02μg/kg、DONでは1μg/kg、NIVでは0.7μg/kg、4,15-DASでは0.05μg/kg、HT-2トキシシンでは0.3μg/kg、T-2では0.02μg/kg、BEAでは0.5μg/kg、ENAでは1.6μg/kg、ENA₁では2.0μg/kg、ENBでは2.0μg/kg、ENB₁では2.0μg/kg。

*²海外産ハトムギ群と国内産ハトムギ群との間で2標本t検定を行った結果のp値を示した。