

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)

総合研究報告書

カビ毒の汚染実態調査
(2019～2021 年度)

研究分担者 吉成 知也 (国立医薬品食品衛生研究所)

研究要旨

3 グループの新興カビ毒について、分析法の確立、汚染実態調査、ばく露量推定を行った。タイプ A トリコテセン系化合物については、3 年間で累計 10 食品目計 477 検体の調査を行い、4,15-DAS は主にハト麦加工品において、T-2 トキシンと HT-2 トキシンは、小麦、ライ麦、きな粉及びハト麦など 4,15-DAS よりも幅広い食品目から検出された。ばく露量については、1～6 歳及び全年齢における 95 パーセンタイル値は、それぞれ 3.92～4.02 及び 1.50～1.55 ng/kg 体重/日であった。JECFA が設定したグループ PMTDI 60 ng/kg 体重/日を下回っていたことから、日本人において、T-2 トキシン、HT-2 トキシン及び 4,15-DAS による健康被害の懸念は小さいと考えられた。BEA と ENs については、3 年間で累計 12 食品目 658 検体の調査を行った。BEA については、レーズン以外の幅広い食品目から検出され、その中でも特にきな粉、ハト麦加工品、コーンフラワー、雑穀及びゴマの汚染レベルが高かった。ENs についても BEA と同様に様々な食品目からの検出が認められたが、特に小麦粉(国産)とライ麦粉において汚染レベルが高かった。ENs の日本人における摂取量に対する、マウスにおけるエンニアチン B の無毒性量 (30 mg/kg) の割合を算出した結果、全年齢では 1,330,000～1,370,000 倍、1～6 歳では 528,000～550,000 倍であった。これら値が安全性の目安とされる 10,000 倍を超えていたことから、ENs による日本人の健康への懸念は低いと考えられた。STC については、玄米や小麦加工品を対象に、3 年間で累計 8 食品目 507 検体の調査を行った。小麦を原料としたパン、麺類及び菓子類において STC が検出された。玄米においては、小麦加工品より高頻度かつ高濃度で STC が検出された。日本人における STC のばく露量を推定した結果、平均的な日本人におけるばく露量は 0.02～0.04 ng/kg 体重/日となり、その値から算出したばく露マージン (MOE) は 10,000 を上回っており、健康に対する影響は少ないと考えられた。以上の結果より、いずれの新興カビ毒も直ちに日本人の健康に影響を与える汚染レベルでは無いことが明らかになった。ただし、ライ麦、ハト麦及びきな粉における T-2 トキシンと HT-2 トキシン汚染、ライ麦における ENs 汚染、玄米における STC 汚染など、比較的高レベルの汚染が一部の食品目で認められた。これら食品は主食ではないため摂取量は多くは無いが、突発的な高汚染の発生などにより健康被害が生じる可能性は否定できず、今後も汚染レベルの監視を行っていく必要が考えられた。

研究協力者

中島 正博	名古屋女子大学
竹内 浩	三重県保健環境研究所
谷口 賢	名古屋市衛生研究所
橋口 成喜	川崎市健康安全研究所
佐藤 英子	川崎市健康安全研究所
福光 徹	神奈川県衛生研究所
藤吉 智治	(一財) 食品分析開発センター SUNATEC
平末 実束	(一財) 食品分析開発センター SUNATEC
森田 剛史	(一財) 日本穀物検定協会
村山 智史	(一財) 日本穀物検定協会
下山 晃	(一財) 日本食品検査
本田 俊一	(一財) 日本食品検査
猪之鼻 修一	(一財) 日本食品分析センター
小杉 正樹	(一財) 日本食品分析センター
宮崎 光代	(一財) 日本食品分析センター

A. 研究目的

カビ毒は、カビが感染した農作物中に生産され、カビ毒に汚染された食品により、急性的な中毒症状や慢性的な摂取によるガンの発症などが引き起こされている。これまで厚生労働科学研究において、2001年度より様々なカビ毒について日本に流通する食品における汚染実態や毒性に関する研究を行い、カビ毒に汚染された食品の摂取の低減を目的とした施策策定の科学的根拠となるデータを取得し、食の安全性確保に貢献してきた。

本研究の研究対象は、以下に述べる3種の新興カビ毒である。新興カビ毒とは、数十年前の発見当時は注目をされていなかったが、昨今の分析技術の発達により、食品における検出例が報告され、新たな食品危害物質として国際的に注目を浴びているカビ毒の総称である。本研究は、それら新興カビ毒に対して行政的施策を講じる必要があるかを判断するためのデータの

取得を目的とした。

4,15-ジアセトキシシルペノール(4,15-DAS)については、2016~18年度の厚生労働科学研究により分析法の確立とハト麦における汚染実態を明らかにした。一方、2017年に公表されたJECFAの評価結果¹⁾において、T-2、HT-2トキシシンのグループPMTDIに4,15-DASも組み入れられ、また、2018年に公表されたEFSAの評価結果²⁾においては、コーヒーや大豆製品といったトリコテセン系カビ毒の汚染がこれまでほとんど報告されていない食品からの検出が報告された。このような背景を受け、T-2、HT-2、4,15-DASの一斉分析法を開発し、より広い範囲の食品を対象に調査を行った。

STCについては、2016~18年度の厚生労働科学研究により分析法の確立と米や小麦などの主要食品における汚染実態を明らかにした³⁾。日本人におけるばく露量推定を行うために、より多くの検体を対象とした汚染調査を行う必要と考えられた。

エンニアチン類(ENs)は、数ある新興カビ毒の中でもその高い検出頻度から高い注目を浴びており、欧州を中心に2000~2013年に1万試料を超える大規模な汚染実態調査が行われた⁴⁾。研究代表者が実施した日本に流通する小麦粉を対象とした予備調査⁵⁾においては、高濃度かつ高頻度でENsが検出されており、毒性や小麦以外の食品における汚染実態の情報の取得の必要性が高まっている。ENsについては、2019年度に分析法の確立、2020年度と2021年度には、より広範囲の食品を対象とした汚染調査を行い、ばく露量推定に必要なデータの取得を目指した。

B. 研究方法

(1) タイプAトリコテセン系化合物の分析法
ビール以外の検体の抽出は、試料25gに抽出溶媒アセトニトリル：水(85：15)100mLを

加え、30 分間振盪することで行った。添加回収試験の場合は、それぞれの食品の中で汚染がないものを選び、汚染レベルを踏まえた濃度のカビ毒を添加し、暗所に 1 時間放置した後に抽出を行った。遠心分離 (1410g、10 分間) により抽出液を分離した。

精製は多機能カラム (昭和電工社製 Autoprep MF-T 1500) を用いた。抽出液約 10 mL をカラムに入れ、最初の流出液 3 mL は捨て、次いで流出する約 2.4 mL を試験管に採った。その溶出液から 2.0 mL を別の試験管に正確にとり、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。

ビールについては、一晩放置して炭酸を抜いた検体 0.5 mL に精製水 2 mL を加え希釈した。アセトニトリル 2 mL と精製水 2 mL で平衡化した固相カートリッジ (Biotage 社製 ISOLUTE Myco) に希釈液全量を加え、精製水 3 mL と 5% アセトニトリル 3 mL で洗浄後、シリンジを用いてカラム内の水分を除去した。アセトニトリル 2 mL で溶出し、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。

<LC-MS/MS の測定条件>

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

8 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, 263

4,15-DAS 384 > 307, 247

(2) STC の分析法

抽出は、試料 25 g に抽出溶媒アセトニトリル : 水 (85 : 15) 100 mL を加え、30 分間振盪することで行った。添加回収試験の場合は STC の標準溶液を添加し、暗所に 1 時間放置した後に抽出を行った。遠心分離 (1410g、10 分間) により抽出液を分離した。

小麦加工品からの抽出液の精製にはイムノアフィニティーカラム (IAC、堀場製作所社製 AFLAKING) を用いた。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。インスタントコーヒーについては、抽出液 1.0 mL をピペッターで 100 mL のメスフラスコにとり、PBS で 100 mL にメスアップした。希釈液 20 mL を IAC に添加し、PBS 10 mL と蒸留水 10 mL で洗浄後、アセトニトリル 3 mL で溶出した。溶出液を窒素気流により乾固後、残渣をアセトニトリル : 水 (85 : 15) で溶解後、さらに蒸留水 0.5 mL を加えてから混合したものを試験溶液とした。

<LC-MS/MS の測定条件>

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：5 μL

MS

イオン化：ESI positive

モニタリングイオン：325 [M+H]⁺>281

ENA 699 > 210, 682

ENA1 685 > 210, 668

ENB 657 > 196, 640

ENB1 671 > 196, 654

BEA 801 > 134, 784

(3) BEA と ENs の汚染実態調査

ENA、ENA1、ENB、ENB1 及び BEA の抽出は、試料 20 g に抽出溶媒アセトニトリル：水（85：15）200 mL を加え、30 分間振盪することで行った。添加回収試験の場合は試料中のカビ毒濃度が 25、100 又は 500 μg/kg となるよう標準品を添加し、暗所に 1 時間放置した後に抽出を行った。遠心分離（1410g、10 分間）により抽出液を分離した。

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。メタノール 3mL と精製水 3 mL で平衡化した C18 カートリッジ（Waters 社製 SepPak Vac C18 200 mg）に希釈液 900 μL を供した後、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。

<LC-MS/MS の測定条件>

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：

平均値については、検出限界値（LOD）未満の値は 0 に、検出限界値以上定量限界値（LOQ）未満の値は検出限界値に置き換えて算出した。

(4) ばく露量推定

摂取量は、2005～2007 年に実施された食品摂取量・摂取頻度調査の結果を用いた。対象食品から小麦加工品 139 種を選抜した。それぞれの小麦加工品の摂取量に対し、小麦の含有量を掛け、さらに麺類については DON の残存率 0.289 を掛けた。のべ 40364 人のデータに対し、同一人物のデータを平均化することにより、全年齢 4,503 人と 1～6 歳児 227 人の摂取量データを作成した。各個人における 139 種の小麦摂取量を足し合わせ、総小麦摂取量とした。Crystal Ball（（株）構造計画研究所）を用いてモデルの探索を行った結果、1～6 歳と全年齢の分布はいずれも対数正規分布が適合した（図 1）。

タイプ A トリコテセン系化合物の汚染量は、2019～2021 年度に収集した小麦粉（国産）72 件と小麦粉（輸入）66 件の結果を用い、4,15-DAS、T-2 トキシン及び HT-2 トキシンの分析値を合算した。小麦粉（輸入）のデータ数を 6 倍（396 件）に複製し、小麦粉（国産）の約 6 倍のデータ数になるようデータセットを作成した。Lower bound（LB）を求める際には、定量限界値未満の値を 0 μg/kg に、upper bound（UB）を求める際には、検出限界値未満の値をそれぞれの化合物の検出限界値に、検出限界値以上定量限界値未満の値はそれぞれの化合物の定量限界値に置き換えた。分布モデルの探索を行ったが適合するモデルが無かったため、ヒストグラ

ムを作成し、カスタム分布とした。3 種のカビ毒の合算値と摂取量の分布を掛け合わせ（試行回数 100000）、ばく露量を求めた。

ENs の汚染量は、2019～2021 年度に収集した小麦粉（国産）94 件と小麦粉（輸入）66 件の結果を用い、ENA、ENA1、ENB 及び ENB1 の分析値を合算した。小麦粉（輸入）のデータ数を 8 倍（528 件）に複製し、小麦粉（国産）の約 6 倍になるようデータセットを作った。分布モデルの探索を行ったが適合するモデルが無かったため、ヒストグラムを作成し、カスタム分布とした。ENs 濃度と摂取量の分布を掛け合わせ（試行回数 100000）、ばく露量を求めた。

STC の汚染量は、2016～2021 年度に収集した小麦粉（国産）144 件と小麦粉（輸入）127 件の結果を用いた。小麦粉（輸入）のデータ数を 7 倍（889 件）に複製し、小麦粉（国産）の約 6 倍になるようデータセットを作った。分布モデルの探索を行ったが適合するモデルが無かったため、ヒストグラムを作成し、カスタム分布とした。STC 濃度と摂取量の分布を掛け合わせ（試行回数 100000）、ばく露量を求めた。

C. 研究結果

（1）汚染実態調査

①タイプ A トリコテセン系化合物

3 年間で累計 10 食品目計 477 検体の調査を行った。結果を表 1 に示した。4,15-DAS は、小麦粉（国産）、ハト麦加工品、コーンフラワー、きな粉、そば粉及びゴマから検出され、陽性率については、ハト麦加工品とコーンフラワーの 75%が最も高く、次いできな粉の 20%であった。それ以外の食品ではいずれも 7%以下であった。平均値については、ハト麦加工品の 4.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ が最も高く、次いでコーンフラワーの 0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。最大濃度は、ハト麦加工品における 22.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。

T-2 トキシンは、小麦粉（輸入）、小麦粉（国

産）、ライ麦粉、ハト麦加工品、コーンフラワー、きな粉、そば粉、あんこ及びビールから検出された。陽性率については、そば粉の 90%が最も高く、次いでライ麦粉ときな粉で 70%、コーンフラワーで 66%、ハト麦加工品で 56%であり、その他の食品目では 40%以下であった。平均濃度はきな粉の 2.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ が最も高く、次いでハト麦加工品で 1.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、そば粉で 0.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。最大濃度はきな粉における 32.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。

HT-2 トキシンは、T-2 トキシンと同じ食品種から検出された。ライ麦粉の陽性率 73%が最も高く、次いでそば粉で 70%、きな粉で 65%、コーンフラワーで 53%、ハト麦加工品で 51%であり、その他の食品では 50%未満であった。きな粉の平均濃度 6.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ が最も高く、次いでハト麦加工品で 2.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、ライ麦粉で 2.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、そば粉で 1.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。最大濃度はきな粉まにおける 62.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。

3 種のタイプ A トリコテセン系化合物の合算値について、平均濃度はきな粉の 8.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ が最も高く、次いでハト麦加工品で 8.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、ライ麦粉の 2.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、そば粉の 2.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、小麦粉（国産）で 0.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。最大濃度はきな粉における 95.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。

②BEA と ENs

3 年間で累計 12 食品目 658 検体の調査を行った。結果を表 2 に示した。BEA については、小麦粉（国産）、小麦粉（輸入）、大麦、ライ麦粉、ハト麦加工品、米、コーンフラワー、そば粉、雑穀、きな粉、ゴマ及びコーヒーから検出された。陽性率が最も高かったのはコーンフラワー（76%）で、次いでハト麦加工品（74%）であった。きな粉の平均濃度 13.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ が最も高く、次いでハト麦加工品で 9.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、コーンフラワーで 6.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、雑穀で 4.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、ゴマの 3.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。最大濃度は、ハト麦加工品における 127.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。ENs は小麦粉（国

産)、小麦粉(輸入)、大麦、ライ麦粉、ハト麦加工品、米、そば粉、雑穀、きな粉及びコーヒ一豆から検出された。これらの食品においては、4種のENsのうち、ENBの汚染レベルが最も高く、次いでENB1、ENA1、ENAの順であった。ENBの陽性率が最も高かったのはライ麦粉(88%)で、次いで小麦粉(国産)(84%)で、小麦粉(輸入)(76%)、きな粉(67%)で、その他の食品目では40%以下であった。ENBの平均濃度については、ライ麦粉の987.3 µg/kgが最も高く、次いで小麦粉(国産)の79.7 µg/kgであり、その他の食品目より高い傾向にあった。ENBの最大濃度は、ライ麦粉における48,783 µg/kgであった。

③STC

3年間で累計8食品目507検体の調査を行った。結果を表3に示した。米と小麦加工品である小麦粉(国産)、小麦粉(輸入)、パン・パン粉、そば(乾麺)、ビスケット、スパゲッティ、うどん(乾麺)及びインスタントラーメンからSTCが検出された。陽性率が最も高かったのは玄米(72%)で、次いでそば(乾麺)(70%)であり、その他の食品目では30%未満であった。平均濃度については、玄米の0.4 µg/kgが最も高く、次いでそば(乾麺)の0.2 µg/kgであった。最大濃度は、玄米における5.7 µg/kgであった。

(2)ばく露量推定

①タイプAトリコテセン化合物

小麦粉における汚染量の分布を図2に示した。日本人における小麦加工品からのばく露量を推定した結果を表4に示した。全年齢における50%ile値は0~0.16、90%ile値は0.57~0.70、95%ile値は1.50~1.55、99%ile値は5.86~5.91 ng/kg 体重/日であり、また平均値は0.30~0.44 ng/kg 体重/日であった。1~6歳における50%ile値は0~0.41、90%ile値は1.46~1.62、95%ile値は3.92~4.02、99%ile値は14.02~

14.65 ng/kg 体重/日であり、また平均値は0.75~1.09 ng/kg 体重/日であった。

②ENs

小麦粉のENs汚染量の分布を図3に示した。日本人における小麦加工品からのENsばく露量を推定した結果を表5に示した。全年齢における50%ile値は5.2~5.6、90%ile値は35.0~35.8、95%ile値は81.3~82.5、99%ile値は346.4~352.5 ng/kg 体重/日であり、また平均値は22.0~22.6 ng/kg 体重/日であった。1~6歳における50%ile値は15.2~16.7、90%ile値は84.1~86.3、95%ile値は211.5~221.3、99%ile値は848.9~857.5 ng/kg 体重/日であり、また平均値は54.6~56.9 ng/kg 体重/日であった。本研究事業において、2020年度にマウスを用いて実施した毒性試験でENBの無毒性量30 mg/kgが得られた。その値を暫定的なNOAELとして、ENs平均摂取量に対する割合を算出した結果、全年齢では1,330,000~1,370,000倍で、1~6歳では528,000~550,000倍であった。

③STC

小麦粉のSTC汚染量の分布を図4に示した。日本人における小麦加工品からのSTCばく露量を推定した結果を表6に示した。全年齢における50%ile値は0.02、90%ile値は0.07、95%ile値は0.10~0.11、99%ile値は0.25~0.26 ng/kg 体重/日であり、また平均値は0.02~0.04 ng/kg 体重/日であった。2016年に行われたJECFAによるSTCのリスク評価の際に採用されたBMDL₁₀0.16 mg/kg 体重/日に基づき、日本人のSTC平均摂取量からばく露マージン(MOE)を算出した結果、4,000,000~8,000,000であった。

D. 考察

(1)タイプAトリコテセン系化合物

3種類のタイプAトリコテセン系化合物の一斉分析法を開発し、穀類における汚染を調査し、

目的であったばく露量の推定が完了した。汚染実態については、4,15-DAS はハト麦加工品が主要な汚染食品であることが明らかになった。コーンフラワーやきな粉においても検出は認められたが、汚染レベルはハト麦加工品より非常に低かった。小麦、米といった主食ではほとんど検出されなかったことから、健康への影響は小さいと考えられる。T-2 トキシンと HT-2 トキシンは、4,15-DAS よりも幅広い食品目から検出された。特に小麦粉から中程度の陽性率で検出されたことから、健康への影響を評価するために小麦加工品からのばく露量の推定を行った。1～6歳及び全年齢における95パーセンタイル値は、それぞれ3.92～4.02及び1.50～1.55 ng/kg 体重/日であった。JECFA が設定したグループPMTDI 60ng/kg 体重/日を下回っていたことから、日本人において、T-2 トキシン、HT-2 トキシン及び4,15-DAS による健康被害の懸念は小さいと考えられた。ただ、幅広い年齢層で食されるきな粉において、比較的高濃度でT-2 トキシンとHT-2 トキシンが検出された検体が複数認められたことから、突発的な食中毒事故が生じる可能性は拭えず、定期的に汚染状況をモニタリングする必要があると考える。

②BEA と ENs

BEA と4種類のENsの一斉分析法を開発し、穀類、種実類及びそれら加工品における汚染を調査し、目的であったばく露量の推定が完了した。BEA については、レーズン以外の幅広い食品目から検出され、その中でも特にきな粉、ハト麦加工品、コーンフラワー、雑穀及びゴマの汚染レベルが高かった。しかし、主食である小麦や米における汚染レベルは、ENs よりも非常に低いことから、日本人の健康に対する影響を考える上でENsの方が重要と考えられた。ENs についてもBEAと同様に様々な食品目からの検出が認められたが、特に小麦粉(国産)とライ麦粉において汚染レベルが高かった。ライ麦

粉の方が小麦粉よりも汚染レベルは高いが、日本人における摂取量は小麦加工品の方が圧倒的に多いことから、ばく露量推定は小麦粉のデータを用いた。その結果、全年齢におけるENsの摂取量に対するマウスにおけるNOAELの割合は、1,330,000～1,370,000倍、1～6歳では528,000～550,000倍であった。これら値が10,000を超えていたことから、ENsによる日本人の健康への懸念は低いと考えられた。EFSAが公表したBEAとENsのリスク評価の結果において、ENsのヨーロッパ人におけるばく露量推定値の平均値は0.42～1.82 µg/kg 体重/日、95%ile値は0.91～3.28 µg/kgと算出された⁴⁾。これら値は、本研究で算出した日本人においてばく露量の10倍以上に相当し、小麦加工品の摂取量や汚染レベルの差が原因と考えられる。EFSAは、エンニアチン混合物のマウスにおけるLD₅₀ 350 mg/kg 体重を踏まえ、このばく露量においてはヒトに対する急性的な毒性影響の懸念は低いと結論付けている。日本におけるENsによる健康影響の懸念として、ライ麦において4種のENsの合算値が60mg/kgを超えて検出された検体が認められており、一過性の高ばく露が生じる可能性がある。毒性に関する新たな知見が明らかになった場合、リスク評価を再実施する必要があると考えられた。

③STC

2016～2018年度に厚生労働科学研究により実施されたSTCの汚染調査において、玄米や小麦粉においてSTC汚染が認められたことから、2019～2021年度にはそれら食品について調査を継続するとともに、加工品についての調査も行った。その結果、小麦を原料としたパン、麺類及び菓子類においてSTCが検出された。一部の麺類では、小麦粉で検出される濃度を上回るSTCが検出された検体があり、小麦加工品がSTCの主要なばく露源となっていると考えられた。玄米において、小麦加工品より高頻度かつ

高濃度で STC が検出されたが、精米からは検出限界以上の濃度で検出された検体は認められなかった。精米作業により、STC が除去されたと考えられた。これらの結果を踏まえ、小麦加工品からの日本人における STC のばく露量を推定した結果、平均的な日本人におけるばく露量は 0.02~0.04 ng/kg 体重/日となった。2017 年に公表された JECFA による STC のリスク評価の結果において、アフリカ地域及びカナダにおける平均ばく露量は 16~17 及び 0.3~6.3 ng/kg と推定されている⁶⁾。それら地域と比較すると日本人におけるばく露量は非常に小さい結果となった。平均的な日本人における STC の MOE は 10,000 を上回っており、健康に対する影響は少ないと考えられる。ただ、2004~2006 年度に厚生労働科学研究で実施された日本に流通する食品中のアフラトキシン B1 の汚染実態調査結果を基に行われたばく露量推定の結果⁷⁾では、80%ile 値は 0、90%ile 値は 0.001、95%ile 値は 0.003~0.004 ng/kg 体重/日であり、今回算出された STC のばく露量はアフラトキシン B1 の 20~30 倍であった。STC の毒性がアフラトキシン B1 よりも低いとされていることを勘案しても、日本人におけるカビ毒による肝臓ガン発症のリスク評価を実施する際には STC も考慮に入れる必要があると考えられる。また、玄米から小麦加工品を超える濃度で STC が検出されており、玄米の高摂取群においては STC による健康リスクが高い可能性がある。米や小麦を対象とした STC の汚染調査を継続し、高汚染検体の発生等を監視する必要があると考えられた。

E. 結論

新興カビ毒として健康へのリスクに注目が集まっているカビ毒について、分析法の確立と汚染実態調査を行った。その結果を用い、タイプ A トリコテセン系化合物、BEA と ENs 及び STC の日本人におけるばく露量推定を行った結果、

いずれも直ちに日本人の健康に影響を与える汚染レベルでは無いことが明らかになった。ただし、ライ麦、ハト麦及びきな粉における T-2 トキシンと HT-2 トキシン汚染、ライ麦における ENs 汚染、玄米における STC 汚染など、比較的高レベルの汚染が一部の食品目で認められた。これら食品は主食ではないため摂取量は多くは無いが、突発的な高汚染の発生などにより健康被害が生じる可能性は否定できず、今後も汚染レベルの監視を行っていく必要が考えられた。

F. 参考

- 1) World Health Organization. 2017. Evaluation of certain contaminants in food. WHO Technical Report Series, No. 1002:40-54.
- 2) European Food Safety Authority. 2018. Risk to human and animal health related to the presence of 4,15 - diacetoxyscirpenol in food and feed. EFSA Journal 16(8):5367.
- 3) Yoshinari et al. Determination of sterigmatocystin in foods in Japan: method validation and occurrence data. Food Addit Contam Part A. 2019, 36(9):1404-1410.
- 4) European Food Safety Authority. 2014. Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. EFSA Journal. 12(8):3802.
- 5) Yoshinari T., et al. Occurrence of beauvericin and enniatins in wheat flour and corn grits on the Japanese market, and their co-contamination with type B trichothecene mycotoxins. Food Addit Contam Part A. 2016, 33(10):1620-162.
- 6) World Health Organization. 2017.

Evaluation of certain contaminants in food. WHO Technical Report Series, No. 1002:106–122.

- 7) Sugita-Konishi Y et al. Exposure to aflatoxins in Japan: risk assessment for aflatoxin B1. Food Addit. Contam. Part A. 2010;27(3):365-372.

表1 タイプAトリコテセン系化合物の汚染調査結果
(2019～2021年度)

	調査数	4,15-DAS			T-2 toxin			HT-2 toxin			合算値	
		陽性率 (%)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	陽性率 (%)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	陽性率 (%)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
小麦粉 (輸入)	66	0	—	—	21	0.04	0.7	14	0.2	5.0	0.3	5.7
小麦粉 (国産)	72	6	0.007	0.2	36	0.1	1.1	26	0.8	16.0	0.9	17.1
ライ麦粉	89	0	—	—	70	0.4	5.6	73	2.0	29.3	2.4	34.9
ハト麦加工品	63	75	4.4	22.4	56	1.8	27.0	51	2.5	33.0	8.7	48.2
玄米	20	0	—	—	0	—	—	0	—	—	—	—
コーンフラワー	32	75	0.2	0.5	66	0.4	2.1	53	0.5	2.3	0.6	2.6
きな粉	40	20	0.05	0.6	70	2.7	32.0	65	6.1	62.7	8.8	95.4
そば粉	20	5	0.004	0.07	90	0.6	2.4	70	1.5	6.7	2.1	9.1
ゴマ	30	7	0.005	0.08	0	—	—	0	—	—	0.005	0.08
あんこ	15	0	—	—	13	0.01	0.1	33	0.2	1.2	0.2	1.3
ビール	30	0	—	—	37	0.05	0.2	43	0.3	1.4	0.3	1.6

検出限界値：4,15-DAS 0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$, T-2 toxin 0.007 $\mu\text{g}/\text{kg}$, HT-2 toxin 0.09 $\mu\text{g}/\text{kg}$

定量限界値：4,15-DAS 0.06 $\mu\text{g}/\text{kg}$, T-2 toxin 0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$, HT-2 toxin 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$

表2 BEA と ENs の汚染調査結果 (2019~2021 年度)

食品目	調査数	BEA			ENA			ENA1		
		陽性率 (%)	平均値 (µg/kg)	最大値 (µg/kg)	陽性率 (%)	平均値 (µg/kg)	最大値 (µg/kg)	陽性率 (%)	平均値 (µg/kg)	最大値 (µg/kg)
小麦粉 (国産)	94	23	0.5	4.5	18	0.6	14.2	48	3.7	30.3
小麦粉 (輸入)	66	27	1.2	11.3	8	0.2	3.3	5	0.1	3.0
大麦	20	5	0.07	1.5	0	-	-	10	0.1	1.9
ライ麦粉	121	17	1.4	50.2	25	2.8	115.3	60	31.9	1468
ハト麦加工品	88	74	9.7	127.9	0	-	-	0	-	-
米・玄米	60	7	0.3	8.5	0	-	-	0	-	-
コーンフラワー	21	76	6.0	19.7	0	-	-	0	-	-
そば粉	37	24	0.3	5.1	0	-	-	0	-	-
雑穀	20	40	4.6	43.0	0	-	-	0	-	-
きな粉	30	63	13.5	101.5	7	0.1	3.3	3	0.2	5.1
ゴマ	30	50	3.4	19.1	0	-	-	0	-	-
コーヒー	60	7	0.2	6.6	0	-	-	0	-	-
レーズン	11	0	-	-	0	-	-	0	-	-

表2 BEA と ENs の汚染調査結果 (2019~2021 年度) つづき

食品目	調査数	ENB			ENB1		
		陽性率 (%)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	陽性率 (%)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
小麦粉 (国産)	94	84	79.7	830.4	77	24.4	232.7
小麦粉 (輸入)	66	76	6.4	41.5	62	2.3	10.5
大麦	20	40	2.9	29.5	25	0.9	8.3
ライ麦粉	121	88	987.3	48783	80	255.7	12589
ハト麦加工品	88	2	0.1	8.1	1	0.0	1.9
米・玄米	60	8	0.2	3.6	2	0.1	2.5
コーンフラワー	21	0	-	-	0	-	-
そば粉	37	5	0.05	1.1	0	-	-
雑穀	20	20	3.0	43.0	15	0.6	8.1
きな粉	30	67	3.5	23.9	43	1.4	13.9
ゴマ	30	0	-	-	0	-	-
コーヒー	60	5	0.1	3.3	0	-	-
レーズン	11	0	-	-	0	-	-

検出限界値 : BEA 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENA 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENA1 0.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENB 0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENB1 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$
 定量限界値 : BEA 0.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENA 0.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENA1 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENB 0.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$, ENB1 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$

表3 STCの汚染調査結果
(2019～2021年度)

食品	調査数	陽性率 (%)	平均値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
米	60	72	0.4	5.7
小麦粉 (国産)	72	24	0.05	1.3
小麦粉 (輸入)	66	5	0.003	0.07
パン・パン粉	50	26	0.03	0.2
ソバ (乾麺)	90	70	0.2	1.0
ビスケット	60	10	0.01	0.2
スパゲッティ	43	7	0.02	0.8
うどん (乾麺)	51	20	0.02	0.2
ラーメン	15	27	0.02	0.1

表4 タイプA トリコテセン系化合物の推定ばく露量

年齢区分		推定ばく露量 (μg/kg 体重/日)				平均値
		パーセンタイル値				
		50	90	95	99	
全年齢	LB	0	0.57	1.50	5.91	0.30
	UB	0.16	0.70	1.55	5.86	0.44
1～6歳	LB	0	1.46	4.02	14.65	0.75
	UB	0.41	1.62	3.92	14.02	1.09

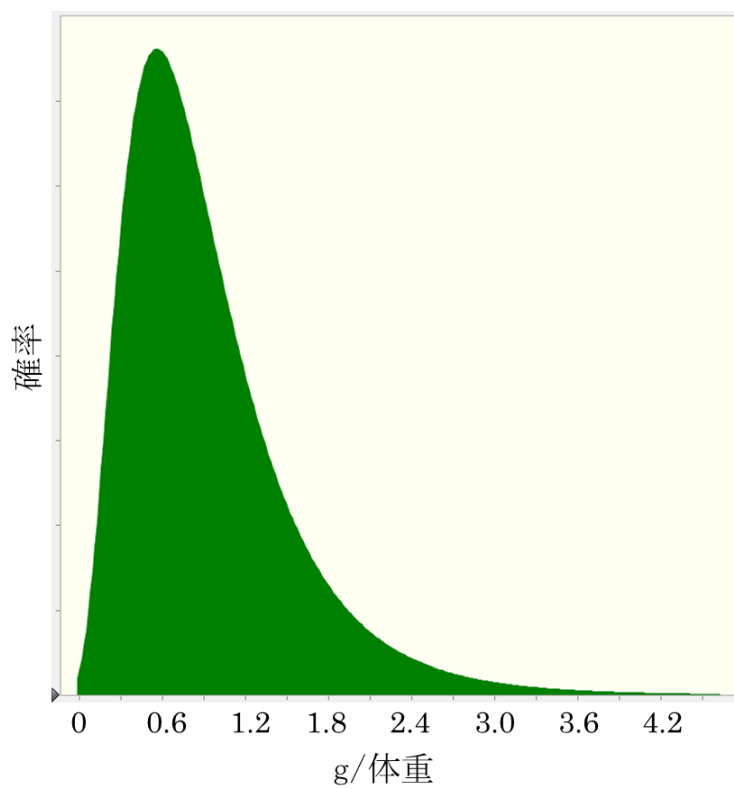
表 5 ENs の推定ばく露量

年齢区分		推定ばく露量 (μg/kg 体重/日)				平均値
		パーセンタイル値				
		50	90	95	99	
全年齢	LB	5.2	35.0	81.3	346.4	22.0
	UB	5.6	35.8	82.5	352.5	22.6
1～6歳	LB	15.2	84.1	211.5	848.9	54.6
	UB	16.7	86.3	221.3	857.5	56.9

表 6 STC の推定ばく露量

	推定ばく露量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日)				
	パーセンタイル値				平均値
	50	90	95	99	
LB	0.02	0.07	0.10	0.25	0.02
UB	0.02	0.07	0.11	0.26	0.04

(A)



(B)

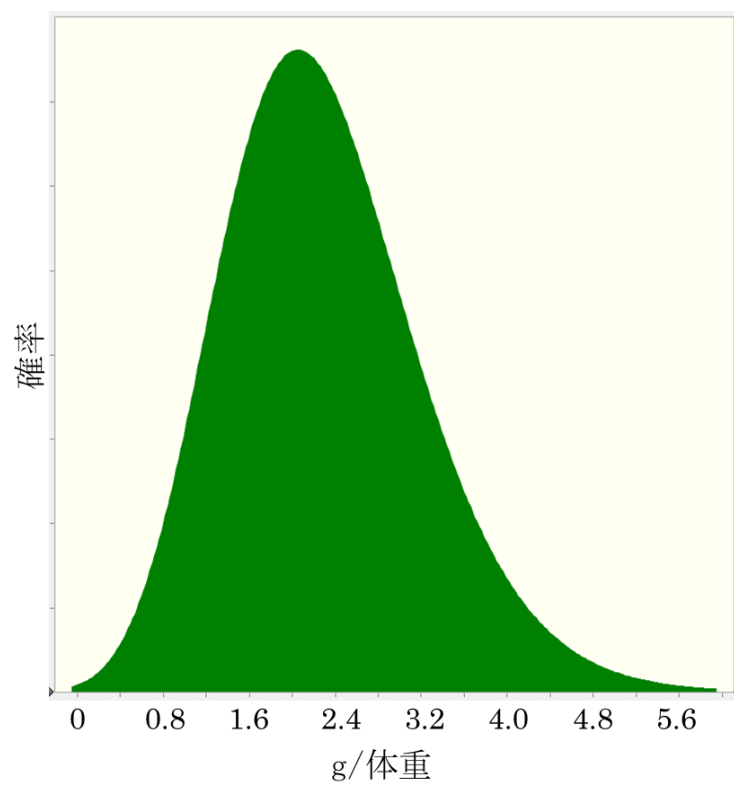


図1 全年齢 (A) 及び 1~6 歳 (B) における小麦加工品の摂取量の分布図

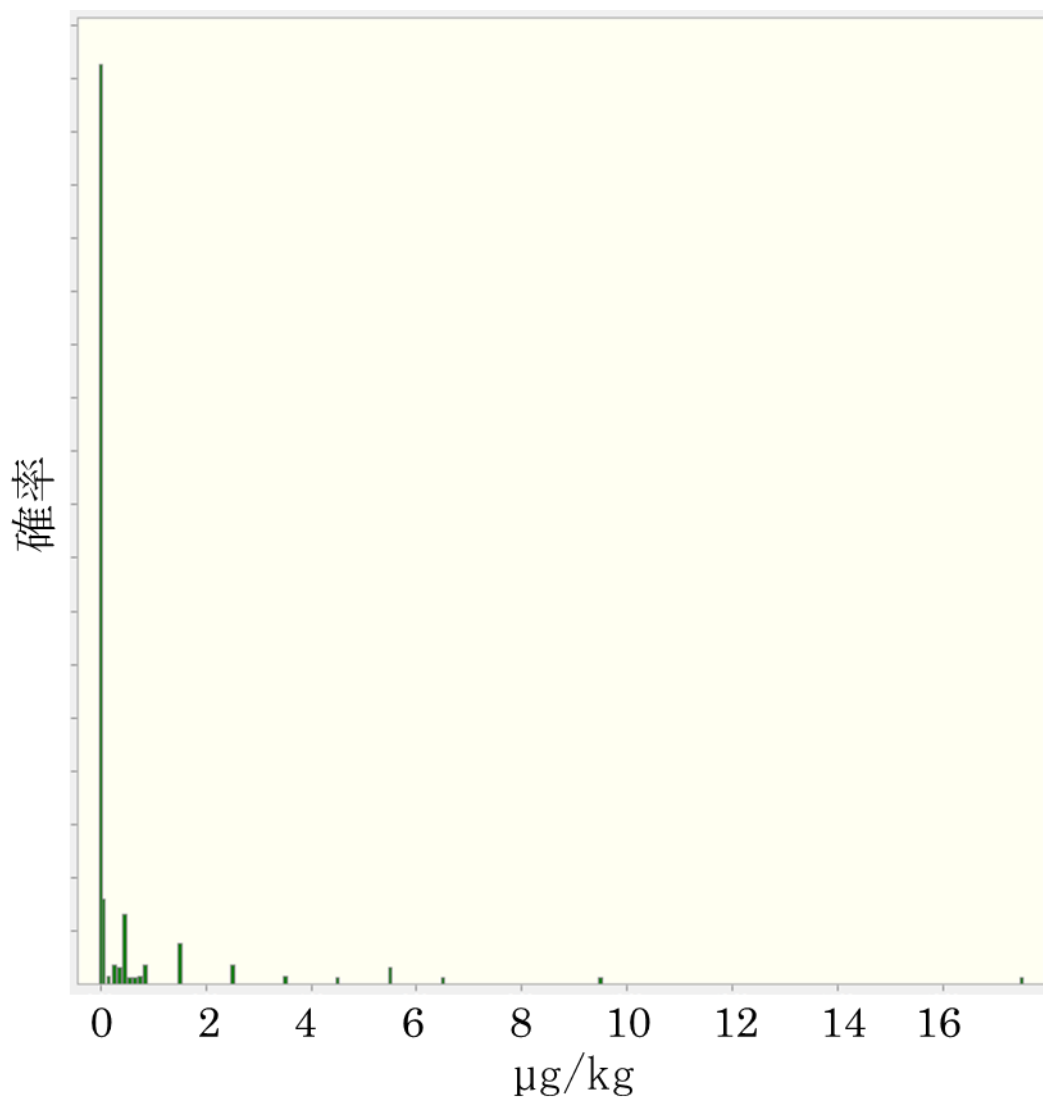


図2 小麦粉における3種のタイプAトリコテセン系化合物汚染量の分布

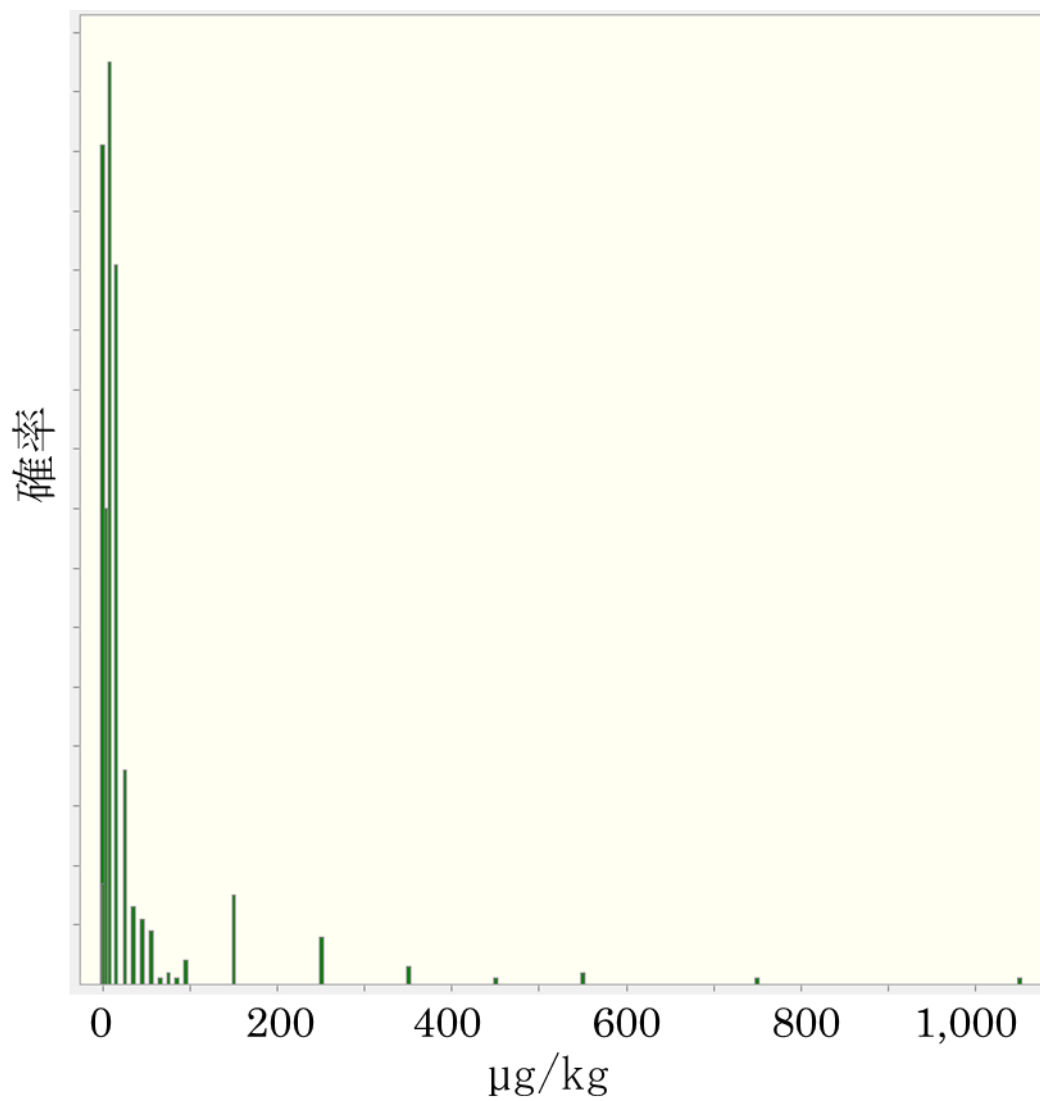


図3 小麦粉における ENs 汚染量の分布

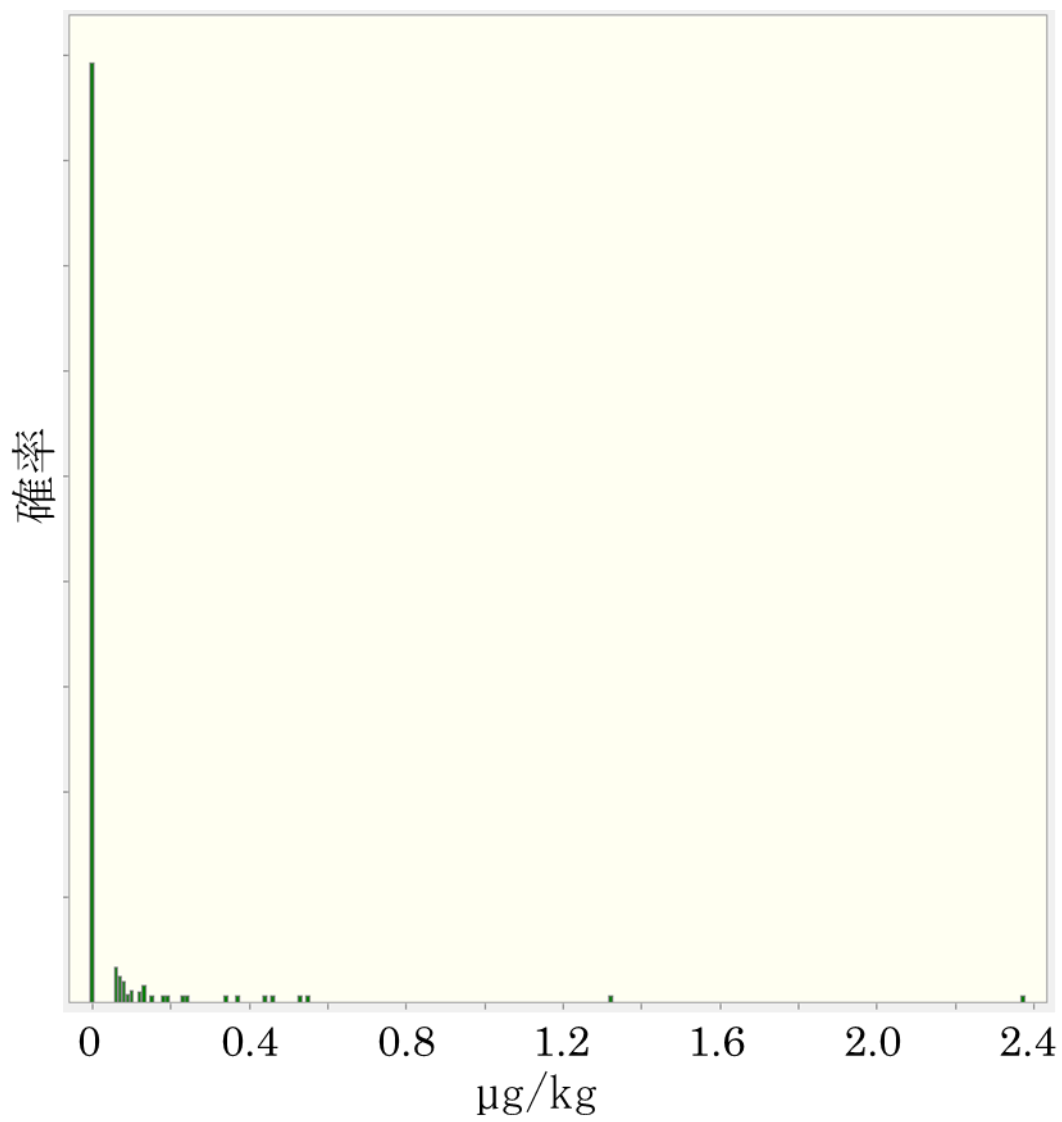


図4 小麦粉におけるSTC汚染量の分布