

201426022A

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

基準値の策定に資する食品汚染カビ毒の実態調査
と生体影響評価に関する研究

平成 26 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 局 博一

東京大学大学院農学生命科学研究科

平成 27 (2015) 年 3 月

目 次

I. 総括研究報告書

基準値の策定に資する食品汚染カビ毒の実態調査と生体影響評価

に関する研究 ----- 1

局 博一

II. 分担研究報告書

1. カビ毒の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

1) 食品汚染カビ毒の実態調査 ----- 10

小西 良子

2) 平成 22 年度から平成 24 年度までの実態調査結果による T-2, HT-2 及び
ZEN の限定的曝露評価 ----- 22

小西 良子、局 博一

3) 国内流通食品における *Fusarium* 属菌の分布状況 ----- 29

渡辺麻衣子

2. 毒性評価

かび毒の発達神経毒性評価 ----- 57

渋谷 淳

T-2 トキシンの経口摂取による心拍・体温・活動量への影響 ----- 85

局 博一

III. 個表

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)

総括研究報告書

基準値の策定に資する食品汚染かび毒の実態調査
と生体影響評価に関する研究

研究代表者 局 博一

(東京大学大学院農学生命科学研究科附属食の安全研究センター特任教授)

研究要旨

1. カビ毒の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

1) 食品汚染カビ毒の実態調査

平成26年度は11食品目231件数を対象に行った。ゼアラレノン[®]は、主にコーンフレーク、ソバ、ゴマ及び小豆で、T-2 トキシンとHT-2 トキシンはライ麦粉、ハト麦加工品、ソバ及び小豆から検出された。汚染濃度については、ハト麦粉と小豆のゼアラレノンの平均濃度(LB)が10 µg/kgを超えていた。T-2 トキシンについては、ハト麦加工品、小豆及び雑穀米で平均濃度(LB)が1 µg/kg以上で、HT-2 トキシンについては、ライ麦粉及び小豆において下限平均濃度が2 µg/kgを超えており、小豆においてT-2 とHT-2 の合算値が最も高い検体が認められ、その濃度は147 µg/kgであった。

2) 曝露量評価

平成22年度から平成24年度の3年間で行った実態調査結果と一部平成26年度に行った実態調査結果を用いて曝露量評価を行った。すなわち摂取者割合および摂取量の少ない食品については、曝露評価の対象から除外し、摂取者割合が各年齢層の対象者の1%を超える食品について、食品・年齢層別に行った。実際に評価の対象となった食品は、小麦、大麦、小豆、雑穀米、ビールの5種であった。

その結果、ゼアラレノンについては健康被害のリスクは極めて低いと思われた。HT-2 トキシンについては、95%タイル(20人のうち19人)は健康被害のリスクを考えなくても良いが、輸入小麦と小豆の摂取による曝露が多いため、小麦や小豆の摂取がかなり多い人では、健康被害リスクが存在すると推察される。またT-2 トキシンとHT-2 トキシンの合計量については低年齢層でリスクが高くなっていることがわかった(1~6歳では97.5%タイルでPMTDIを超え、7~14歳では99%タイルでPMTDIを超えた。)今後さらに実態調査結果数を増やして詳細な解析を行う必要がある。

3) 国内流通食品における *Fusarium* 属菌の分布状況

輸入小麦および国産小豆について、フザリウムトキシン汚染の原因菌の特定を試みた。フザリウムトキシンおよび *Fusarium* 属菌の汚染状況、分離株のフザリウムトキシン産生性を同時に検討した。その結果、特にアメリカ・カナダ産 DURAM 小麦および国産白小豆は他品種と比較して *Fusarium* 属菌に汚染されやすい傾向がみられた。また、T-2 トキシン汚染状況と分離された *F. sporotrichioides* の T-2 トキシン産生性が一致したことから、輸入小麦および国産白小豆の T-2 トキシンの汚染原因菌種は本菌であることが示唆された。

2. 毒性評価

1) カビ毒の発達期毒性評価

T-2 トキシン (0, 1, 3, 9 ppm) の発達期曝露影響評価を行った。妊娠 6 日目から分娩後 21 日目まで混餌投与した。母動物では 3 ppm 以上で前胃の病理組織学的変化、9 ppm では脾臓、胸腺の変化が認められた。児動物では出生後 21 日目の雄で 3 ppm より胸腺のリンパ球アポトーシスの増加が認められた。また離乳時の児動物では海馬顆粒細胞層下帯においてアポトーシスの増加が 3 ppm より認められた。

アフラトキシン (AF) M₁ のラットにおける発達神経毒性を調べた。妊娠 6 日目から離乳時 (生後 21 日目) まで AFB₁ を母動物に対して混餌投与 (0.1, 0.3, 1.0 ppm) することにより、経胎盤・経乳的に AFM₁ を児動物に曝露し、離乳時と生後 77 日目における影響について解析した。その結果、母動物では肝重量の増加、児動物 (雄) では体重の低値などが 1 ppm で観察された。また、離乳時の児動物 (雄) の脳顆粒細胞層下帯において type-3 前駆細胞が 0.3 ppm から減少し、1.0 ppm では細胞増殖活性の低下がみられた。一方、歯状回門部ではアセチルコリンレセプター-CHRNA7 を発現する細胞の減少が 0.3 ppm から認められた。

2) T-2 トキシンの経口摂取による心拍・体温・活動量への影響

平成 25 年度は T-2 トキシンの経口摂取が全身機能 (心拍数、活動量、体温) に及ぼす影響を自由行動下のラットのテレメトリー観察によって行った結果、6 ppm 以上で、摂取期間中に心拍数、活動量および体温のレベルおよび日周リズムへの影響が認められた。

0 ppm-T-2 トキシン摂取群ではこのような影響が見られなかったことから、T-2 トキシンの作用と考えられた。平成 26 年度はより低濃度の 3 ppm-T-2 トキシンの経口摂取によって上記の変化が生じるか否かを調べた。その結果、3 ppm の T-2 トキシンを含む粉餌を自由経口摂取したラットにおいて、摂取期間中に心拍数、活動量および体温レベルおよびそれらの日周リズムに明瞭な変化が生じないことが明らかになった。このことから、上記の全身指標の変化閾値は 3 ppm と 6 ppm の間に存在する可能性が示唆された。

A. 研究目的

1. カビ毒の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

諸外国から輸入される様々な食品および国内産食品の安全性を確保するため、国際標準に準じた我が国の成分規格策定やリスク評価を行っていく必要がある。そのため我が国におけるカビ毒の実態調査・曝露評価および毒性評価に関して継続的に調査研究を行う必要がある。また、予防的措置として、欧米等で注目される新規カビ毒、あるいはまだ毒性評価されていないカビ毒複合体を対象に情報収集を行うとともに、輸入食品を汚染するカビ毒産生菌の実態およびその毒素産生能を検討し、モニタリング対象カビ毒の選定を検討する必要性もある。

本研究グループでは、平成 22 年～24 年度までに 15 食品目、約 800 検体のカビ毒汚染調査 (カビ毒陽性検出率、汚染濃度) を実施し、とくに T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ゼアラレノ

ンの汚染状況を明らかにしてきた。実態調査の結果、比較的高頻度に汚染が検出されている現状を重要視し、平成 25 年度からは一部新たな食品目を加えさらに 3 年間の実態調査を行っている。平成 26 年度では、11 食品目、231 検体を対象にカビ毒の汚染状況を分析した。また、これまでの汚染実態調査により T-2 トキシンなどのトリコテセンマイコトキシンの汚染が高まっている輸入小麦および国内産小豆における *Fusarium* 属菌の分布ならびに毒素産生性の調査を行った。

さらに、これまでのカビ毒汚染実態調査結果および食品摂取量データをもとに、T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ゼアラレノンへの曝露量推定を年齢層毎に行った。

2. 毒性評価

食品汚染カビ毒の経口摂取による生体影響を全身の形態学的、生理学的、細胞毒性学的変化および遺伝子発現変化を観察することによ

って俯瞰的に明らかにするために行った。平成26年度はT-2 トキシンおよびAFB₁の経口投与を行った。

B. 研究方法

1. カビ毒 (T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ZEN) の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

1) 汚染実態調査

実態調査に用いた食品は、日本各地の小売店などからランダムに購入したものを用いた。食品の種類およびサンプル数は13食品目231件数であった。食品目の内訳は、ライ麦粉、ハト麦加工品、小麦粉(国産)、小麦粉(輸入)、グラノーラ、ビール、コーングリッツ、コーンフレーク、ソバ、ゴマ、小豆、雑穀米、精米であった。

なお、カビ毒の分析方法は「カビ毒試験法評価委員会」で評価を受けたものを使用した。

2) 日本人における曝露量評価

平成22年度から平成24年度の3年間で行った実態調査結果と一部平成26年度に行った実態調査結果を用いて小麦、大麦、小豆、雑穀米、ビールの5種類の食品目によるT-2トキシン、HT-2トキシン、ゼアラレノンへの曝露量評価をモンテカルロシミュレーション法を用いて行った。各食品目への曝露は年齢によって異なるため、曝露量評価は1歳~6歳、7歳~14歳、15歳~19歳、20歳以上の5段階の年齢層毎に行った。人口あたりの曝露量推定レベルを90%タイル、95%タイル、97.5%タイル、99%タイル、99.5%タイル、99.8%タイル、99.9%タイルの7段階で示した。

3) *Fusarium* 属菌の分布、毒素産生性調査

小麦では輸入小麦43検体(アメリカ産32検体、カナダ産11検体)から*Fusarium*属菌の分離を行った。小豆は、平成26年度の調査で汚染が予めわかっている国内産小豆の一部で分析を行った。また、平成25年度の成果による分離株について、フザリウムトキシンの産生性を検討した。菌株の詳細は以下のとおりである。国産小豆9検体からの分離株27株で、菌種の内訳は、*Fusarium avenaceum* 1株、*Fusarium camptoceras* 1株、*Fusarium incarnatum/equiseti* species complex (FIESC)9株、*Fusarium oxysporum* 7株、*Fusarium proliferatum* 1株、*Fusarium verticillioides* 1株、*Fusarium* sp. 1株であっ

た。

2. 毒性評価

1) T-2 トキシンおよびAFB₁の発達期(神経)毒性

T-2 トキシンの発達期毒性:0~12 ppmのT-2 トキシンを母マウスに経口投与し、児マウスの胃内乳汁におけるT-2 トキシン濃度を測定した。母マウスおよび児マウスの胃、脾臓、胸腺などの臓器における病理組織学的検査を行った。また、児マウス(雄)の離乳時における海馬の免疫組織学的変化を調べた。さらに海馬顆粒層ニューロンの遺伝子発現解析を行った。

AFM₁の発達期毒性: AFB₁を妊娠期ラットに投与し、着床数、産仔数、臓器重量、児ラット胃内乳汁のAFM₁濃度、脳海馬歯状回における免疫組織学的検査などを行った。

2) T-2 トキシンの心拍・体温・活動量への影響

成熟ラットにT-2 トキシン混餌(3 ppm)を5日間自由摂取させ、摂取前後の心拍数、体温、活動量のレベルおよび周期性の変化の有無を調べた。これらの観察はテレメーター送信機を予め埋め込んだラットの自由行動下での連続記録によって行った。

C. 結果

1. カビ毒 (T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ZEN) の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

1) 汚染実態調査

汚染実態調査結果のうち、陽性率、上限平均濃度および最大濃度の結果は下記のようにまとめられた。

(1) 陽性率(30%以上の食品)

T-2 トキシン: 国産小麦粉(46.2%) > ライ麦粉(40.0%) > ソバ(35.0%) > コーングリッツ(33.3%)の順に高かった。

HT-2 トキシン: 国産小麦粉(61.5%) > ソバ(55.0%) > ライ麦粉(50.0%) > 輸入小麦粉(34.6%) > グラノーラ・小豆(33.3%)の順に高かった。

ゼアラレノン: コーンフレーク(100%) > ソバ(90.0%) > アズキ(75.0%) > ゴマ(75.0%) > ハト麦加工品(65.0%) > ライ麦粉(60.0%) > コーングリッツ(46.7%) > グラノーラ(40.0%) > 輸入小麦粉(34.6%)の順に高かった。

(2) 上限平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (上位の7食品目)
T-2 トキシシン: ハト麦加工品 (1.6) >アズキ (1.5) >コーングリッツ (1.1) >雑穀米 (1.0) >グラノーラ (0.6) >ライ麦粉 (0.5) >ソバ (0.2) の順に高かった。

HT-2 トキシシン: 小豆 (7.3) >ハト麦加工品・ライ麦粉 (2.3) >グラノーラ (1.4) >コーングリッツ (1.2) >ソバ・精米 (1.0) の順に高かった。

ゼアラレノン: ハト麦加工品 (27.0) >小豆 (11.8) >雑穀米 (9.2) >ゴマ (3.0) >ライ麦粉 (2.1) >国産小麦粉 (1.4) >ソバ (1.2) の順に高かった。

(3) 最大濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (上位の7食品目)

T-2 トキシシン: 小豆 (24.1) >ハト麦加工品 (20.1) >雑穀米 (6.7) >コーングリッツ (4.1) >ライ麦粉 (3.1) >グラノーラ (2.7) >ソバ (1.2) の順に高かった。

HT-2 トキシシン: 小豆 (123.0) >ハト麦加工品 (15.8) >ライ麦粉 (12.0) >ソバ (7.7) >グラノーラ (4.4) >コーングリッツ (3.4) >輸入小麦粉 (2.4) の順に高かった。

ゼアラレノン: ハト麦加工品 (218) >雑穀米 (76.9) >小豆 (53.7) >ライ麦粉 (30.7) >国産小麦粉・ゴマ (28.7) >コーングリッツ (5.1) の順に高かった。

T-2 トキシシン+HT-2 トキシシン: 小豆 (146.8) >ハト麦加工品 (35.9) >ライ麦粉 (15.1) >雑穀米 (9.6) >ソバ (8.9) >コーングリッツ (7.5) >グラノーラ (7.2) の順に高かった。

2) 日本人における曝露量評価

輸入小麦 (サンプル数 150)、国産小麦 (サンプル数 26)、輸入大麦 (サンプル数 41)、国産大麦 (サンプル数: T-2・HT-2 トキシシン=30、ZEN=300)、小豆 (サンプル数 40)、雑穀米 (サンプル数 80)、ビール (サンプル数 30) の汚染実態調査結果にもとづいて、3 種類のカビ毒の各食品を介した曝露量推定および上記の全食品を介した曝露量推定を4段階の年齢層毎に行った。

結果の一例として、各トキシシンにおける 99 % タイルおよび 99.9 % タイルの各年齢層の曝露量推定値 (ng/体重 kg/日) を示すと以下のとおりであった。

(1) 1~6 歳

T-2 トキシシン: 28.79 (99%)、96.83 (99.9%)
HT-2 トキシシン: 78.6 (99%)、165.42 (99.9%)
ZEN: 144.32 (99%)、616.43 (99.9%)
T-2 トキシシン+HT-2 トキシシン: 92.26 (99%)、196.45 (99.9%)

(2) 7~14 歳

T-2 トキシシン: 19.02 (99%)、66.62 (99.9%)
HT-2 トキシシン: 52.84 (99%)、109.87 (99.9%)
ZEN: 97.76 (99%)、426.06 (99.9%)
T-2 トキシシン+HT-2 トキシシン: 61.89 (99%)、132.72 (99.9%)

(3) 15~19 歳

T-2 トキシシン: 12.91 (99%)、39.4 (99.9%)
HT-2 トキシシン: 36.0 (99%)、72.37 (99.9%)
ZEN: 60.43 (99%)、278.22 (99.9%)
T-2 トキシシン+HT-2 トキシシン: 41.46 (99%)、82.78 (99.9%)

(4) 20 歳以上

T-2 トキシシン: 18.12 (99%)、54.06 (99.9%)
HT-2 トキシシン: 33.3 (99%)、68.53 (99.9%)
ZEN: 81.27 (99%)、265.21 (99.9%)
T-2 トキシシン+HT-2 トキシシン: 42.04 (99%)、88.86 (99.9%)

3) *Fusarium* 属菌の分布、毒素産生性調査

マイコトキシシン汚染の原因菌の特定を目的として、マイコトキシシンおよび *Fusarium* 属菌の汚染状況、および分離株のマイコトキシシン産生性を同時に検討した。アメリカおよびカナダ産小麦合計 43 検体、および北海道産および岡山県産小豆 3 検体を供試した。検体 100 粒あたりの *Fusarium* 属菌陽性粒率を算出し、全ての *Fusarium* 属菌を分離した。小麦検体から 88 菌株、小豆検体から 77 菌株の *Fusarium* 属菌分離株を得た。これらの分離株に、本研究班の昨年度の研究成果から得られた国産小豆由来株 24 菌株を加え、形態学および分子生物学的手法によって同定した後に、角田培地を用いて培養を行い、LC-MS-MS によって培養液中の T-2 トキシシンおよびゼアラレノン等マイコトキシシンの含有量を定量した。これらの検討の結果、特にアメリカ・カナダ産 DURAM 小麦および国産白小豆は、他品種と比較して *Fusarium* 属菌に汚染

されやすい傾向にあることが明らかとなった。また、T-2 トキシン汚染状況と分離された *F. sporotrichioides* の T-2 トキシン産生性が一致したことから、輸入小麦および国産白小豆の T-2 トキシンの汚染原因菌種は本菌であることが示唆された。

2. 毒性評価

1) T-2 トキシンおよび AFB₁ の発達期 (神経) 毒性

T-2 トキシン (0、1、3、9 ppm) の発達期曝露影響評価を行った。マウスに妊娠 6 日目から分娩後 21 日目まで混餌投与した。母動物では 3 ppm 以上で前胃の病理組織学的変化、9 ppm では脾臓、胸腺の変化が認められた。児動物では出生後 21 日目の雄で 3 ppm より胸腺のリンパ球アポトーシスの増加が認められた。また離乳時の児動物では海馬顆粒細胞層下帯においてアポトーシスの増加傾向が 3 ppm より認められた。

アフラトキシン (AF) M₁ のラットにおける発達神経毒性を調べた。妊娠 6 日目から離乳時 (生後 21 日目) まで AFB₁ を母動物に対して混餌投与 (0.1、0.3、1.0 ppm) することにより、経胎盤・経乳的に AFM₁ を児動物に曝露した。その結果、母動物では肝重量の増加、児動物 (雄) では体重の低値などが 1.0 ppm で観察された。また、離乳時の児動物 (雄) を対象とした脳海馬歯状回において type-3 前駆細胞が 0.3 ppm から減少し、1.0 ppm では細胞増殖活性の低下がみられた。一方、歯状回門部ではアセチルコリン受容体-CHRNA7 を発現する細胞の減少が 0.3 ppm から認められた。

2) T-2 トキシンの心拍・体温・活動量への影響

平成 25 年度は T-2 トキシンの経口摂取が全身機能 (心拍数、活動量、体温) に及ぼす影響を自由行動下のラットのテレメトリー観察によって行った。3 ppm の T-2 トキシンを含む粉餌を自由経口摂取したラットにおいて、摂取期間中に心拍数、活動量および体温レベルおよびそれらの日周リズムに明瞭な変化が生じないことが明らかになった。

D. 考察

1. カビ毒 (T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ZEN)

の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

1) 汚染実態調査

本年度の実態調査において、ゼアラレノンについてはハト麦加工品、小豆及び雑穀米における汚染が他の試料よりも高かった。T-2 トキシンについてはゼアラレノンと同様にハト麦加工品、小豆及び雑穀米で他の試料よりも汚染が高かった。HT-2 トキシンについては、小豆における汚染が他の試料よりも高かった。今年度の雑穀米において T-2 トキシンが 6.7 µg/kg、HT-2 トキシンが 2.9 µg/kg と比較的高濃度で検出される検体が認められた。この検体はあわ、アマランサス、ひえ、きび等の混合物であることから、これら穀類のいずれかにおいて T-2、HT-2 トキシン汚染が発生している可能性が考えられた。

以上の 3 種の食品についてはこれまでも汚染レベルが他の食品よりも高い傾向が認められており、今年度も同様の結果が得られた。

2) 日本人における曝露量評価

T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ZEN のいずれも年齢層が若いほど曝露量が多かった。とくに HT-2 トキシンおよび T-2 トキシン+HT-2 トキシンでは 1 歳から 14 歳までの低年齢層において曝露量が多かった。T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンの国際的な規格基準について、JECFA (FAO/WHO 食品添加物専門家会議) では暫定的な基準 (PMTDI) として、それぞれ 60 ng/kg (体重) /日 を設けている。今回の我々の食品合計の分析結果では、1 歳~6 歳の最小年齢層では T-2 トキシンは 99.8 % タイルで、また HT-2 トキシンは 99 % タイルで JECFA の基準を上回っている。すなわち前者では 1000 人中 2 名、後者では 100 人中 1 名が JECFA の基準を上回る確率である。7 歳~14 歳の年齢層では、T-2 トキシンは 99.9 % タイルで、HT-2 トキシンでは 99.5 % タイルで JECFA の基準を上回っている。さらに、T-2 トキシン+HT-2 トキシンでは、1 歳~6 歳で 97.5 % タイル、7 歳~14 歳では 99 % タイルで上回っている。T-2 トキシンおよび HT-2 トキシンへの曝露量推定が若年層で多い原因として、若年層では小麦の摂取量が多いことと、小麦の汚染陽性頻度が高く、また分析対象となった期間の輸入小麦で汚染濃度が高かったことが考えられる。

ZEN の PMTDI (JECFA) は 500 ng/Kg (体重)

1日であるが、これを上回っているのは1~6歳の99.9%タイルのみであった。しかし、7歳~14歳の99.9%タイルにおいてもPMTDIに近い値を示した。ZENの平均汚染濃度および最大汚染濃度はハト麦加工品、小豆、雑穀米で高い傾向があったが、これらの食品の若年層における摂取量は少ないことから、若年層での曝露量推定が99.9%タイルのレベルに留まったと考えられる。ZENにおいても若年層で曝露量が多くなる傾向がみられた要因としては、1歳~19歳の年齢層における小豆消費量の絶対量は米の約10%と低いものの、1歳~14歳では小豆摂取量を体重換算した場合に大人に比べて相対的に大きくなることが考えられる。

一方、小豆はT-2トキシン、HT-2トキシン、ZENのいずれに対しても汚染濃度が高く、20歳以上では、小麦の摂取量の約17%の比較的高い水準で消費されていることから、今後曝露量推移を注意深く観察する必要がある。

今回の曝露量推定の分析では、その元になるサンプル数が輸入小麦の150サンプルを除いて、多くは50サンプル以下の少数であるため、より正確な結果を得るまでには、さらにサンプル数を増やす必要がある。しかしながら、サンプル数は少ないものの、平成22年以降に行ってきた我々の汚染実態調査では例年、類似したレベルの汚染頻度と汚染濃度が観察されていることから、全体的な曝露量を概ね反映している可能性が高いものと推測される。

3) *Fusarium* 属菌の分布、毒素産生性調査

本研究の小麦に関する検討において、品種および産地ごとに*Fusarium*属菌の陽性粒率を比較したところ、DURAM小麦はアメリカ産・カナダ産に関わらず、真菌および*Fusarium*属菌に汚染されている傾向が強いことが明らかとなった。そのため、小麦品種間で偏りがあることを考慮する必要があると考えられた。

今回小麦から検出された菌株のうち、CW13、UW29、UW18 および UW53 ではT-2トキシンの汚染がみられ、またこれら4検体いずれにおいても、分離された*F. sporotrichioides*によるT-2トキシンの産生性が確認された。よって、*F. sporotrichioides* は今回供試した全てのT-2トキシン汚染小麦の汚染原因菌であった可能性が強く示唆された。トリコテセン系マイコトキシン産生の最適条件は、マイコトキシンの種

類、菌種および培養温度によって大きく異なることが報告されている。*F. sporotrichioides*におけるマイコトキシン産生最適温度は10~15°Cであるとされ、今回の角田培地を用いた培養時の条件である25°Cでは、産生性が発揮されなかった可能性がある。

本研究の平成25年度および今年度の小豆に関する検討の結果から、白小豆は赤色種皮の小豆よりも有意に高い濃度で*Fusarium*属菌に感染を受けていることが明らかとなった。したがって、感染した*Fusarium*属菌がカビ毒産生菌種だった場合には、農産物としての白小豆は赤色種皮の小豆と比較して、フザリウムトキシン汚染のリスクが高い可能性が示唆された。

また、*F. sporotrichioides*はT-2トキシンおよびHT-2トキシンだけでなく、これら以外のトリコテセン系マイコトキシンタイプAやタイプB、ZENなど様々なフザリウムトキシンを産生することが報告されている。これらヒトに対して健康危害をもたらす可能性があるフザリウムトキシンについても、汚染実態を把握し、汚染原因菌を特定していく重要性は高いと予想される。

本研究で検出された*F. graminearum* および*F. equiseti*の菌株は、マイコトキシン産生に最適な条件に置かれた場合、小麦のマイコトキシン汚染原因菌になる可能性があることから、引き続き留意が必要である。

また、*Fusarium*属菌の一部の菌種は圃場菌と呼ばれ、圃場で植物への感染が成立し、その後貯蔵中には菌数がそれほど増加傾向をたどらない菌種がある。反対に、一部の菌種は貯蔵菌と呼ばれ、収穫後、貯蔵環境で植物への感染が成立し、その後増殖が進む菌種がある。

*Fusarium*属菌のなかでも、*F. sporotrichioides*は圃場菌であり、FIESCは貯蔵菌としての性質を持つことが知られる。今回、小豆や小麦から分離される菌種が明らかになったことから、これらの菌の汚染を防ぐためには、菌種ごとの生態的特徴を把握して、栽培から流通の間のいずれのポイントに焦点を当てた対策を行えばよいのか、十分に考慮し、汚染防止に役立てることができると考えられた。

2. 毒性評価

1) T-2トキシンおよびAFB₁の発達期(神経)毒性

T-2 トキシンのマウスにおける発達期曝露影響評価：

離乳時の雄児動物を対象とした脳海馬歯状回における免疫染色の結果、T-2 トキシンによるニューロン新生障害では3 ppm では type-2 前駆細胞、9 ppm ではさらに type-1 幹細胞が標的となると考えられた。SGZ では TUNEL 陽性細胞数が3 ppm より増加しており、遺伝子発現解析では *Bax* 遺伝子の発現量増加がみられたことから内因性経路によるアポトーシスが誘導されたと考えられた。過酸化脂質の蓄積を示す MDA 陽性細胞数が9 ppm で増加していることから、酸化ストレスの上昇により type-1 幹細胞ないし type-2 前駆細胞のアポトーシスを誘導したと考えられた。また SGZ では type-1 幹細胞及び type-2 前駆細胞の分化、生存に関わる因子である SCF 陽性細胞数の減少がみられ、*Kitl* 遺伝子の発現が低下したことから、酸化ストレスの上昇に加えて幹細胞因子 (SCF) による幹細胞分化制御の低下がアポトーシスの誘導に関わっていると考えられた。本実験における児動物の無毒性量はニューロン新生障害及び胸腺のアポトーシス増加が3 ppm よりみられたことから1 ppm と判断され、FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議による暫定最大1日耐容摂取量を設定する根拠となったブタにおける造血器毒性発現曝露量と比較して5倍から15倍程度高い値であった。

アフラトキシンM₁のラットにおける発達期曝露影響評価：

妊娠SDラットにAFB₁を1.0 ppmを最高用量として妊娠6日目から分娩後21日目まで混餌投与することで、児動物にAFM₁として経胎盤、経乳的に曝露させ、曝露終了時ならびに出生後77日目における影響について解析した。母動物の肝臓ではAFB₁を代謝する *Cyp1a2* の発現量上昇がみられ、酵素誘導を反映したと考えられる肝重量増加が1.0 ppmで認められた。雄児動物を対象とした脳海馬歯状回における免疫染色の結果、type-2b 前駆細胞～未熟顆粒細胞数の減少が離乳時に3 ppmより認められ、type-2b 前駆細胞数、未熟顆粒細胞数に影響がみられなかったことから、AFM₁によるニューロン新生障害はtype-3 前駆細胞を標的とすることが明らかとなった。同用量では歯状回門におけるアセチルコリン受容体-CHRNA7を発現する介在ニ

ューロンの減少が認められた。遺伝子発現解析において *Chrna7* 遺伝子発現量が減少し、合成酵素である *Chat* 遺伝子の発現量が上昇したことからレセプターの発現が低下し、代償性にアセチルコリンの合成が上昇している可能性が考えられた。AFM₁で知られているDNA障害に対する修復系遺伝子の変動はみられず、ニューロン新生障害にDNA障害が関与する可能性は低いと考えられた。SGZでは細胞増殖活性の低下が1.0 ppmで認められており、コリン作動性入力低下によりニューロン新生が障害されている可能性が考えられた。

2)T-2 トキシンの心拍・体温・活動量への影響

T-2 トキシンの経口摂取による全身影響を観察するために、ラットの自由行動下において心電図、活動量および体温の変化をテレメトリー法を用いて観察した。T-2 トキシン摂取前、摂取中および摂取後の全期間において心拍数、活動量および体温(皮下温)はいずれも暗期(20:00-8:00)に高く、明期(8:00-20:00)に低くなる日周リズムを発現した。

これらの3指標の変化を3 ppm T-2 トキシ混餌の摂取前、摂取中、摂取後で比較したところ、明期および暗期のいずれも3指標のレベルに明瞭な変化は認められなかった。また、コログラム解析による周期性(日周リズム)についても3 ppm T-2 トキシ混餌による影響は認められなかった。平成25年度の研究では、6 ppm および12 ppmのT-2 トキシ混餌の摂取によって、心拍数、活動量および体温に明瞭な変化が認められている。したがって、現時点では全身の生理的機能を代表する指標の変化によるLOAELは6 ppmであるが、より詳細な観察を行えば3 ppmと6 ppmの間にLOAELが存在する可能性がある。一方、分担研究者の渋谷らは成熟マウスへの経口摂取によって、1 ppmから胸腺重量の変化を観察している。また、妊娠期～哺乳期における母マウスへの経口摂取実験によって、3 ppm以上の濃度で児マウスに発達神経毒性が生じることが明らかになっている。したがって、摂取期間の相違もあるが、臓器レベルでは6 ppm以下でも影響が生じる可能性が高いものと思われる。我々の以前の *in vitro* 実験では、低濃度の 6×10^{-5} μ M レベルで心筋細胞のミトコンドリア機能の抑制作用が認められている。今回観察した3指標は全身

レベルでの統合的な生理的指標であり、必ずしも細胞レベルあるいは臓器レベルの変化を反映していない可能性が考えられる。

今後、心拍変動解析による自律神経機能影響および不整脈の誘発性に関する詳細な分析も行う必要がある。

E. 結論

1. カビ毒 (T-2 トキシン、HT-2 トキシン、ゼアラレノン) の食品汚染実態調査と生態調査、曝露量評価

1) 汚染実態調査

毒性の高い T-2 トキシン及び HT-2 トキシンが今年度も麦類加工品、ソバ、小豆、雑穀米からも検出された。カビ毒の汚染には年次変化があることを踏まえ、汚染が認められる試料を重点的に調査していく必要性が示唆された。

2) *Fusarium* 属菌の分布、毒素産生性調査

フザリウムトキシンに高濃度で汚染されていることが知られる輸入小麦および国産小豆について、フザリウムトキシン汚染の原因菌の特定を目的として、フザリウムトキシンおよび *Fusarium* 属菌の汚染状況、分離株のフザリウムトキシン産生性を同時に検討した。その結果、特にアメリカ・カナダ産 DURAM 小麦および国産白小豆は他品種と比較して *Fusarium* 属菌に汚染されやすい傾向にあることから、マイコトキシン汚染のリスクが高いことが考えられた。また、T-2 トキシン汚染状況と分離された *F. sporotrichioides* の T-2 トキシン産生性が一致したことから、輸入小麦および国産白小豆の T-2 トキシンの汚染原因菌種は本菌であることが示唆された。この他の菌種についても検出株数は多く、フザリウムトキシン産生に最適な条件にある場合、汚染原因菌になり得ると考えられ、引き続き留意が必要である。

3) 日本人における曝露量評価

T-2 トキシン、HT-2 トキシン、T-2 トキシン+HT-2 トキシン、ゼアラレノンの食品合計の曝露量推定において、95%タイルのレベルでの曝露量は PMTDI よりも低い水準であった。しかし低年齢層の曝露水準は大人に比べるとかなり高いことから、今後とも、食品汚染のレベルの変化に注意すべきであると思われた。

2. 毒性評価

1) T-2 トキシンおよび AFB1 の発達期 (神経) 毒性

T-2 トキシンのマウスにおける発達期曝露により、児動物の海馬歯状回では type-1 幹細胞及び type-2 前駆細胞の障害が離乳時に認められた。酸化ストレスの上昇、幹細胞因子の減少、グルタミン作動性入力及びコリン作動性入力の複数の機序によりこれらの分化段階の異なる顆粒細胞のアポトーシスが誘導されたと考えられた。児動物の無毒性量は胸腺及びニューロン新生への影響が 3 ppm で見られたことから 1 ppm と判断された。

AFM₁ のラットにおける発達期曝露により、児動物の海馬歯状回ではコリン作動性入力の減少及び細胞増殖活性の低下を伴う type-3 前駆細胞の減少が 0.3 ppm で認められた。児動物のニューロン新生障害における無毒性量は 0.1 ppm と判断された。

2) T-2 トキシンの心拍・体温・活動量への影響

3 ppm の T-2 トキシンを含む粉餌を自由経口摂取したラットにおいて、摂取期間中に心拍数、活動量および体温レベルおよびそれらの日リズムに明瞭な変化が生じないことが明らかになった。6 ppm 以上の濃度では、これらの指標の変化が認められていることから、影響閾値は 3 ppm と 6 ppm の間に存在する可能性が示唆された。

F. 研究業績

1. 論文発表

1) Yoshinari T, Takeuchi H, Aoyama K, Taniguchi M, Hashiguchi S, Kai S, Ogiso M, Sato T, Akiyama Y, Nakajima M, Tabata S, Tanaka T, Ishikuro E, Sugita-Konishi Y: Occurrence of four *Fusarium* mycotoxins, deoxynivalenol, zearalenone, T-2 toxin, and HT-2 toxin, in wheat, barley, and Japanese retail food. *J Food Prot.* 2014 Nov;77(11):1940-1946.

2. 学会発表

1) 竹内浩、吉成知也、谷口賢、中島正博、橋口成喜、甲斐茂美、田端節子、田中敏嗣、佐藤孝史、秋山裕、伊佐川聡、石黒瑛一、小西良子: 日本に流通する食品中の T-2 トキシン、HT-2 トキシンおよびゼアラレノン汚染実態調査 (平成 25 年度)。第 108 回日本食品衛生

学会学術講演会(2014.12)。

- 1) 渡辺麻衣子, 中村和真, 吉成知也, 高橋治男, 石崎直人, 小西良子, 寺嶋 淳. 国内流通小豆および大豆における *Fusarium* 属菌の分布状況. 第108回日本食品衛生学会学術講演会, 金沢. 2014.12.
- 2) Maiko Watanabe. Natural occurrence of fumonisin B1 in wine and fungal species causing the contamination in Japan. 49th Session of the Joint UJNR Panel on Toxic Microorganisms. New Orleans, U.S.A. 2014.1.
- 3) 田中 猛, 板橋 恵, 阿部一, Wang Liyun, 村上智亮, 吉田敏則, 渋谷 淳: T-2 トキシンの発達期暴露によるマウス海馬歯状回における離乳時ニューロン新生に対する影響, 第41回日本毒性学会学術年会, 神戸, 第41回日本毒性学会学術年会要旨集 : P-17, p.251, 7月2-4日, 2014
- 4) Takeshi Tanaka, Hajime Abe, Megu Itahashi, Masayuki Kimura, Sayaka Mizukami, Tomoaki Murakami, Toshinori Yoshida and, Makoto Shibutani: Maternal exposure effect of T2-toxin on hippocampal neurogenesis in mouse offspring. XVIII International Congress of Neuropathology, Rio de Janeiro-Brazil 14-18 September 2014,

Special Issue: Abstracts of the XVIII International Congress of Neuropathology, Brain Pathology (2014), 24 (Suppl. 1), p68 (P19-04).

- 5) 田中 猛, 阿部 一, 板橋 恵, 白木彩子, 吉田敏則, 渋谷 淳: アフラトキシン M₁ のラット発達期暴露による離乳時での海馬歯状回ニューロン新生に対する影響, 第31回日本毒性病理学会学術年会, 東京, 第31回日本毒性学会学術年会講演要旨集 : P-03, p.53, 1月29-30日, 2015

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

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)

基準値の策定に資する食品汚染カビ毒の実態調査
と生体影響評価に関する研究

分担研究報告書

食品汚染カビ毒の実態調査

研究分担者 小西 良子 (麻布大学)

研究要旨

カビ毒は、農業を営んでいる世界中のすべての地域にも存在し、防御や予防が非常に難しいことから、国際的にも農業規範や食品規格の策定が急がれている。また、地球温暖化などのカビ毒汚染への影響が深刻さを増してきている。

我が国は、輸入食品への依存性が高く、輸入食品の安全性を確保するために、JECFA などにおいて評価されるカビ毒及び我が国において問題となるカビ毒を対象に、我が国の汚染実態を把握し、然るべき対策をとる必要がある。

2010年から2012年の3年間に亘って、3種のフザリウムトキシン (T-2 トキシン、HT-2 トキシン及びゼアラレノン) を対象に実態調査を行った結果、様々な市販食品中にそれらカビ毒の汚染が認められることがわかった。そのため、曝露評価に必要なデータを収集するために、さらに3年間対象を広げた調査を実施することとした。

今年度の実態調査は13種231品数を対象に行った。ゼアラレノンは、主にコーンフレーク、ソバ、ゴマ及び小豆で、T-2 トキシンとHT-2 トキシンはライ麦粉、ハト麦加工品、ソバ及び小豆から検出された。汚染濃度については、ハト麦粉と小豆のゼアラレノンの平均濃度 (LB) が10 µg/kg を超えていた。T-2 トキシンについては、ハト麦加工品、小豆及び雑穀米で平均濃度 (LB) が1 µg/kg 以上で、HT-2 トキシンについては、ライ麦粉及び小豆において下限平均濃度が2 µg/kg を超えており、小豆においてT-2 とHT-2 の合算値が最も高い検体が認められ、その濃度は147 µg/kg であった。

研究協力者

吉成 知也 国立医薬品食品衛生研究所
脇 ますみ 神奈川県衛生研究所
竹内 浩 三重県保健環境研究所
田中 敏嗣 神戸市環境保健研究所
谷口 賢 名古屋市衛生研究所
田端 節子 東京都健康安全研究センター
橋口 成喜 川崎市健康安全研究所

中島 正博 名古屋市衛生研究所
秋山 裕 (一財) 日本冷凍食品協会
伊佐川 聡 (一財) 日本食品分析センター
石黒 瑛一 (一財) 日本食品分析センター
佐藤 孝史 (一財) 食品分析開発センター
SUNATEC

A. 研究目的

食品を汚染するカビ毒は、国際的に JECFA やコーデックス委員会などで毒性評価や規格策定の準備が行われており、我が国においてもその対応が急がれている。JECFA では、2007 年以降総アフラトキシン、オクラトキシン A、デオキシニバレノール、フモニシンなどの摂取量の見直しが行われた。コーデックス委員会では、穀物中の総アフラトキシンやデオキシニバレノールの規格策定への動きも出てきており、我が国に関係する事項も多い。

国際的にもカビ毒に対する対策が整えられていることから、我が国でまだ規制値が決まっていないカビ毒に関して、輸入食品の安全性を確保するために、我が国の汚染実態を把握し、しかるべき対策をとる必要がある。

いままでに我が国では、パツリン（リンゴジュースの成分規格）及び総アフラトキシン（食品衛生法第6条2項）に規制値が決められている。デオキシニバレノールには今のところ暫定基準値が設定されているが、今後国際動向を見ながら、見直しを検討する必要がある。

本研究事業で対象とした T-2 トキシン、HT-2 トキシン及びゼアラレノンは、すでに JECFA において毒性評価がされているカビ毒であるが、コーデックス委員会での規格はまだ作られていない。これらのカビ毒はフザリウム属真菌が産生することから、フザリウム毒素とも言われている。フザリウム属真菌は、温帯地方に生息しており、我が国も生息地の一つである。そのため、2010 年度から 2012 年の 3 年間に亘って、麦類、トウモロコシ及びその加工品、豆類、米類などを中心に実態調査を行った。その結果、小麦、大麦、ハト麦加工品、小豆などの国産の農作物や輸入された小麦に T-2、HT-2 及びゼアラレノン汚染が認められた。そのためフザリウム毒素汚染に対して寄与率の高い食品を対象に実態調査を続け、より正確な曝露評価が可能と

なるデータをさらに 3 年間収集することとした。

本年度は、これまでに調査を実施したハト麦加工品、ライ麦粉、小麦粉（国産麦由来及び輸入麦由来）、グラノーラ、ビール、ソバ、コーングリッツ、コーンフレーク、小豆、雑穀米、精米及びゴマを対象とした。

B. 研究方法

実態調査に用いた食品は、日本各地の小売店などからランダムに購入したものをを用いた。

T-2 トキシン、HT-2 トキシン及びゼアラレノンの分析は、以下の方法で実施した。

抽出は、試料 25 g に抽出溶媒メタノール：水（75：25）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それぞれのカビ毒で定めた用量を添加し、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。

精製はイムノアフィニティーカラム（R-Biopharm Rhone 社、DZT MS-PREP）を用いた。抽出液 10 mL を正確にピペッターなどで 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。

ろ液 10 mL を IAC に添加し、蒸留水で洗浄後、メタノール 2 mL で溶出した。溶出液を窒素気流により乾固後、残渣を HPLC 移動相 0.5 mL に溶解し、試験溶液とした。

なお、2005 年から 2010 年に EU で実施された T-2 及び HT-2 の汚染実態調査の結果と本実態調査の結果の比較を容易にするために、本年度からは平均濃度の算出を以下の様にした。

下限平均濃度：定量限界値（LOQ）未満の値を全て 0 とし、平均値を算出する。

上限平均濃度：検出限界値（LOD）未満の値を検出限界値に、検出限界値以上定量限界値未満の値を定量限界値とし、平均値を算出する。

<LC-MS/MS の測定例>

HPLC

カラム : Inertsil ODS-4 3×50 mm, 2 μm

カラム温度 : 40°C

移動相 : A 10 mM 酢酸アンモニウム

B メタノール

分離条件 : 0分 A : B = 95 : 5

8分 A : B = 10 : 90

14分まで保持

流速 : 0.2 mL/分

注入量 : 10 μL

MS

イオン化 : ESI

モニタリングイオン :

T-2 トキシン(positive) 484/305

HT-2 トキシン(positive) 442/263

ゼアラレノン(negative) 317/131

C. 研究結果

(1) ゼアラレノン (表 1、図 1)

麦類加工品については、ハト麦加工品における検出率が 65%であり、ライ麦粉で 60%、国産小麦粉で 26.9%、輸入小麦粉で 34.6%、グラノーラで 40%であり、平均濃度 (LB) はそれぞれ 26.9、2.0、1.4、0.04、0.2 μg/kg であり、最大濃度はハト麦加工品の 218 μg/kg であった。ビールからは検出されなかった。

トウモロコシ加工品については、コーングリッツで検出率が 46.7%、コーンフレークで 100%であり、平均値 (LB) はそれぞれ 1.0、0.6 μg/kg であり、最大濃度はコーングリッツの 5.1 μg/kg であった。

その他、ソバで検出率が 90%、ゴマで 70%、小豆で 75%、雑穀米で 95%であり、平均値 (LB) はそれぞれ 1.2、3.0、11.7、9.2 μg/kg であった。雑穀米で最大 76.9 μg/kg 検出される試料が認められた。精米からは検出されなかった。

(2) T-2 トキシン (表 2、図 2)

麦類加工品については、ハト麦加工品における検出率が 35%であり、ライ麦粉で 40%、国産小麦粉で 46.2%、輸入小麦粉で 7.7%、グラノーラで 33.3%、ビールで 15%であり、平均値 (LB) はそれぞれ 1.4、0.4、0.1、0.01、0.5、0.01 μg/kg であり、最大濃度はハト麦加工品の 20.1 μg/kg であった。

トウモロコシ加工品については、コーングリッツで検出率が 33.3%、平均値 (LB) が 0.9 μg/kg、最大濃度は 4.1 μg/kg であった。コーンフレークからは検出されなかった。

その他、ソバで検出率が 35%、小豆で 12.5%、雑穀米で 30%であり、平均値 (LB) 濃度はそれぞれ 0.1、1.4、1.0 μg/kg であった。小豆で最大 24.1 μg/kg 検出される試料が認められた。ゴマと精米からは検出されなかった。

(3) HT-2 トキシン (表 3、図 3)

麦類加工品については、ハト麦加工品における検出率が 5%であり、ライ麦粉で 50%、国産小麦粉で 61.5%、輸入小麦粉で 34.6%、グラノーラで 33.3%であり、平均値 (LB) はそれぞれ 0.8、2.0、0.5、0.5、1.0 μg/kg であり、最大濃度はハト麦加工品の 15.8 μg/kg であった。ビールからは検出されなかった。

トウモロコシ加工品については、コーングリッツで検出率が 13.3%、平均値 (LB) は 0.4 μg/kg、最大濃度は 3.4 μg/kg であった。コーンフレークからは検出されなかった。

その他、ソバで検出率が 55%、小豆で 33.3%、雑穀米で 25%であり、平均値 (LB) はそれぞれ 1.0、7.2、0.8 μg/kg であった。小豆で最大 123 μg/kg 検出される試料が認められた。ゴマと精米からは検出されなかった。

(4) T-2 トキシン及び HT-2 トキシン (表 4、図 4)

2001 年に行われた JECFA における毒性評価は、T-2 トキシン及び HT-2 トキシンの合計として一日耐容摂取量を規定している。そのため、

本実態調査においても同様に合計汚染量を計算した。高い最大濃度が認められたのは小豆の 147 µg/kg、ハト麦加工品の 35.9 µg/kg、ライ麦粉の 15.1 µg/kg であった。他の食品では全て 10 µg/kg 以下であった。

D. 考察

本年度の実態調査において、ゼアラレノンについてはハト麦加工品、小豆及び雑穀米における汚染が他の試料よりも高かった。

T-2 トキシンについてはゼアラレノンと同様にハト麦加工品、小豆及び雑穀米で他の試料よりも汚染が高かった。

HT-2 トキシンについては、小豆における汚染が他の試料よりも高かった。今年度の雑穀米において T-2 トキシンが 6.7 µg/kg、HT-2 トキシンが 2.9 µg/kg と比較的高濃度で検出される検体が認められた。この検体はあわ、アマランサス、ひえ、きび等の混合物であることから、これら穀類のいずれかにおいて T-2、HT-2 トキシン汚染が発生している可能性が考えられた。

以上の 3 種の食品についてはこれまでも汚染レベルが他の食品よりも高い傾向が認められており、今年度も同様の結果が得られた。

E. 結論

今年度は、6 年間通年で 3 種のフザリウムトキシン (T-2 トキシン、HT-2 トキシン及びゼアラレノン) を測定する 5 年目となる。

毒性の高い T-2 トキシン及び HT-2 トキシンが今年度も麦類加工品、ソバ、小豆、雑穀米からも検出された。カビ毒の汚染には年次変化があることを踏まえ、汚染が認められる試料を重点的に調査していく必要性が示唆された。

F. 研究業績

【学会発表】

- 1) 竹内浩、吉成知也、谷口賢、中島正博、橋口成喜、甲斐茂美、田端節子、田中敏嗣、佐藤孝史、秋山裕、伊佐川聡、石黒瑛一、小西良子：日本に流通する食品中の T-2 トキシン、HT-2 トキシンおよびゼアラレノン汚染実態調査 (平成 25 年度)
第 108 回日本食品衛生学会学術講演会 (2014.12)

表1 ゼアラレノンの汚染実態

試料名	調査数	陽性率 (%)	LOD ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	LOQ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 (LB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ハト麦加工品	20	65.0	0.2	0.4	26.9	27.0	218
ライ麦粉	20	60.0	0.07	0.2	2.0	2.1	30.7
小麦粉(国産小麦)	36	26.9	0.02	0.06	1.4	1.4	28.7
小麦粉(輸入小麦)	25	34.6	0.02	0.06	0.04	0.05	0.3
グラノーラ	10	40.0	0.1	0.3	0.2	0.4	0.8
ビール	20	0	0.01	0.05	0	0.01	-
コーングリッツ	20	46.7	0.1	0.4	1.0	1.1	5.1
コーンフレーク	15	100	0.02	0.05	0.6	0.6	2.3
ソバ	12	90.0	0.05	0.2	1.2	1.2	3.2
ゴマ	20	70.0	0.06	0.2	3.0	3.0	28.7
小豆	20	75.0	0.1	0.4	11.7	11.8	53.7
雑穀米	20		0.2	0.7	9.2	9.2	76.9
精米	10	0	0.6	2	0	0.06	-

表2 T-2 トキシンの汚染実態

試料名	調査数	陽性率 (%)	LOD ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	LOQ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 (LB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ハト麦加工品	20	35.0	0.2	0.7	1.4	1.6	20.1
ライ麦粉	20	40.0	0.07	0.2	0.4	0.5	3.1
小麦粉(国産小麦)	36	46.2	0.03	0.1	0.1	0.2	0.6
小麦粉(輸入小麦)	25	7.7	0.03	0.1	0.01	0.04	0.2
グラノーラ	10	33.3	0.1	0.3	0.5	0.6	2.7
ビール	20	15.0	0.01	0.03	0.01	0.02	0.1
コーングリッツ	20	33.3	0.2	0.6	0.9	1.1	4.1
コーンフレーク	15	0	0.02	0.07	0	0.02	-
ソバ	12	35.0	0.07	0.2	0.1	0.2	1.2
ゴマ	20	0	0.03	0.1	0	0.03	-
小豆	20	12.5	0.0	0.1	1.4	1.5	24.1
雑穀米	20	30.0	0.05	0.2	1.0	1.0	6.7
精米	10	0	0.1	0.3	0	0.1	-

表3 HT-2 トキシンの汚染実態

試料名	調査数	陽性率 (%)	LOD ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	LOQ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 (LB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均値 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ハト麦加工品	20	5.0	1	3	0.8	2.3	15.8
ライ麦粉	20	50.0	0.3	1	2.0	2.3	12.0
小麦粉(国産小麦)	36	61.5	0.1	0.3	0.5	0.5	2.2
小麦粉(輸入小麦)	25	34.6	0.1	0.3	0.5	0.5	2.4
グラノーラ	10	33.3	0.4	1	1.0	1.4	4.4
ビール	20	0	0.1	0.4	0	0.1	-
コーングリッツ	20	13.3	0.6	2	0	1.2	3.4
コーンフレーク	15	0	0.1	0.4	0	0.2	-
ソバ	12	55.0	0.1	0.3	1.0	1.0	7.7
ゴマ	20	0	0.1	0.3	0	0.1	-
小豆	20	33.3	0.08	0.3	7.2	7.3	123
雑穀米	20	25.0	0.2	0.5	0.8	0.8	2.9
精米	10	0	1	4	0	1.0	-

表4 T-2 トキシンと HT-2 トキシンの合算値

試料名	調査数	最大濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ライ麦粉	20	15.1
ハト麦加工品	20	35.9
小麦粉(国産小麦)	36	2.8
小麦粉(輸入小麦)	25	2.6
グラノーラ	10	7.2
ビール	20	0.4
コーングリッツ	20	7.5
コーンフレーク	15	0.31
ソバ	12	8.9
ゴマ	20	0
小豆	20	146.8
雑穀米	20	9.6
精米	10	0

図1 ゼアラレノンの汚染実態

