食品におけるマイコトキシン汚染の実態とその除去

上村 尚*

Hisashi KAMIMURA*: Contamination of mycotoxins in foods and removal of mycotoxins during food processing

1. はじめに

カビが産生する二次代謝物のうちヒトを含む高等生物に対して生理的もしくは病理的障害を与える毒性物質であるマイコトキシン（カビ毒）は300種類以上が知られている。このうち特に、食品衛生上問題となるマイコトキシンの範囲はアフラトキンをはじめフザリウムトキシンあるいはオクラトキシンなど自ずから限定されてくる。アフラトキシンは自然界に存在する化学物質の中で最も強力な発ガン作用を有し、フザリウムトキシンは免疫機能を低下させたり、家畜に対して流産あるいは死産などの障害作用を持つことが知られ、オクラトキシンは肝及び腎臓への障害性が報告されている。

演者らは環食128号の告示以来¹⁾アフラトキシン汚染を調査するとともにフザリウムトキシンなど種々のマイコトキシンについても分析法を開発し、市販食品を中心にマイコトキシン汚染の実態調査を行ってきた²⁻⁶⁾。

また、マイコトキシンが食品の製造あるいは調理加工の過程でどのような消長を経るかを知らねば、ヒトにおけるマイコトキシンの摂取とその影響を評価する上で重要な問題である。これらの問題を解明するために、製造工程あるいは調理加工などの各種条件下でのマイコトキシンの挙動について検討してきた⁷⁻⁹⁾。

現在、一部の食品原料については、虫食い粒、割れ粒、変色粒などの劣悪なものについて選別が行われている。選別方法としては目視による選別あるいは機械による選別であるが、選別の目的はあくまでも鉱物性異物や異種植物を除き品質の維持を図ることに主眼がおかれ、有害物質の除去まで考えたものではなかった。最近になって、近赤外領域の波長を応用した選別機が開発され非破壊的に食品原料中のカビ汚染、あるいはマイコトキシン汚染の有無を感知できることから注目を集めている¹⁰⁾。

今回、マイコトキシン汚染の実態とともに、汚染された原料を用いて調理加工、食品製造あるいは選別を行うことにより、マイコトキシンを除去できるか否かについて最近の知見を紹介する。

2. 市販食品のマイコトキシン汚染

近年、食生活の形態が多様化したことなどにより東南アジア等から香辛料をはじめ多くの農産物が世界各国から輸入されるようになった。これらのうちナツメグ、白コショウ、パプリカ等の香辛料あるいはハト麦、トウモロコシ等の穀類からアフラトキシンが検出されている。また、種実類

* 東京都立衛生研究所（〒169 東京都新宿区百人町3-24-1）

Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health (3-24-1, Hyakunincho, Shinjuku-ku, Tokyo 169)

Table 1 市販食品の汚染実態調査

食 品 名	検体数	検出数 (検出最大値)					
		アフラトキシン (ppb)			フザリウムトキシン* (ppm)		
		B ₁	B ₂	G ₁	DON	NIV	ZEN
小麦および製品	12				5(0.21)	2(0.07)	
トウモロコシ	24	1(0.3)	1(<0.1)		14(2.07)		
大麦および製品	12				8(1.21)	4(0.43)	
麦芽	16				6(0.02)	1(<0.01)	
ハト麦	15	4(0.6)	1(<0.1)	1(<0.1)			6(0.26)
エン麦	4				1(0.26)		
ナイ麦	1				1(0.88)	1(0.30)	1(0.10)
ごま	5	1(2.4)	1(0.5)				1(0.08)
ナツメグ	32	27(13.4)	18(4.0)	3(0.9)			
白コショウ	19	5(1.5)	3(0.9)				
パプリカ	4	1(0.5)					
ミックススパイス	20	4(1.5)	1(<0.1)	1(<0.5)			
赤竹小豆	21						12(0.84)
トラッパー豆	4						1(0.03)
赤あん	5						1(0.52)
ピスタチオナッツ	1	1(1280)					
合 計	200	44	22	8	35	8	22

* DON: デオキシニバレノール NIV: ニバレノール ZEN: ゼアラレノン

ではピーナッツの他にピスタチオナッツから 1000 ppb を超えるアフラトキシンが検出されるなど、広範囲の食品に汚染が認められている (Table 1)。一方、フザリウムトキシンは世界各国で麦類を中心に汚染報告例多く問題となっている。国内外の小麦、大麦、トウモロコシおよびそれらの加工品など広範囲の食品がフザリウムトキシンのうちデオキシニバレノール、ニバレノールあるいはゼアラレノンといったマイコトキシンに汚染されている。また、新たなフザリウムトキシンとしてウマの白質脳炎の原因物質であり、ヒト食道ガンとの関連も示唆されているフモニシンがあるが多くの国々のトウモロコシで汚染が確認されている。オクラトキシンは、蕎麦粉、エン麦、トウモロコシなどに汚染が認められている。

3. 調理加工/製造段階でのマイコトキシンの除去

マイコトキシンに汚染された食品原料を調理または加工する際、熱などによりカビ毒が分解するか否かについて検討したところ、調理で用いられる 100~200°C 程度の熱では分解できず、マイコトキシンは熱に対して安定であることが分かった (Fig. 1)。

また、マイコトキシンに汚染された食品を煮る、焼く等の調理を行いその挙動を調査したが、いずれの調理方法でもカビ毒は完全に分解除去できないことが判明した。加工食品の製造段階で使用される食品添加物がマイコトキシンに与える影響について検討したところ、水酸化ナトリウム等のアルカリ剤あるいは漂白剤として使用される亜硫酸溶液中で分解されることが分かった。製造工程中にアルカリ剤を使用するものとしては食用油の製造がある。そこで、原料油にマイコトキシンを添加し、通常行われている製油工程に従いアルカリ剤を用いた脱酸工程を行ったところ、マイコトキシンを完全に除去することができ最終製品には移行しないことが判明した。一方、ピーナッツあるいはハト麦などの原料を加工する段階では水洗、油揚げ、選別などの工程で、一部のマイコトキ

Fig. 1 カビ毒の熱に対する安定性

シンは除去されるものの、完全に除去することは不可能であり、最終製品にマイコトキシンが残存することが明かとなった。

4. 選別によるマイコトキシンの除去

選別には機械を用いる方法とヒトの目視により除去する方法がある。目視で劣悪なものと判定されたグループにマイコトキシンが検出されることから、この選別方法がマイコトキシン除去に大きな効果を及ぼすことが分かった (Table 2)。しかし、ヒトにより劣悪粒の判断基準が異なるなど問題を含んでいる。また、外見的には健全粒のように見える種実類でもその内部に生育したカビにより、マイコトキシンの汚染を受けている場合がある。この内部カビ汚染粒は目視では除去できない

Table 2 ピーナッツ粒の選別効果

	カビ付着粒	選 別 虫食い粒	変色粒	正常粒
試験粒数	100	100	80	500
汚染粒数	22	12	2	0
汚染粒混在率%	22	12	2.5	0
最大量 (ng)	97363	15698	42	—
最小量 (ng)	8	4	9	—
平均 (ng)	7644	3665	25	—
重量/粒 (g)	0.28-0.46	0.33-0.63	0.43-0.66	0.39-0.71
平均重量 (g)	0.36	0.43	0.45	0.47
B ₁ 濃度 (ppb)	21-231820	9-31390	20-64	—

Fig. 2 機械を用いた選別方法

Fig. 3 内部カビ汚染粒および良粒の透過スペクトル

Table 3 通過粒（良粒）中のアフラトキシン B₁ 濃度

選別感度	通 過 群		排 除 群	
	重量 (%)	B ₁	重量 (%)	B ₁
選別前	5,000 g (100%)	10.16	—	—
48 (1回)	4,933 g (98.6%)	8.24	66.6 g (1.33%)	153
46 (2回)	4,835 g (96.7%)	0.02	164.7 g (3.29%)	308
45 (3回)	4,723 g (94.5%)	0.02	277.1 g (5.54%)	183
44.5 (4回)	4,611 g (92.2%)	0.001	389.1 g (7.78%)	130
44 (5回)	4,483 g (89.6%)	Tr	517.5 g (10.3%)	98

ことから、目視選別での効果は皆無に等しい。現在汎用されている選別機としては色彩選別機、風選別機、比重選別機、金属選別機などがある。これら選別機を単一あるいは複数の組み合わせにより選別を行っているが、いずれもマイコトキシン除去を目的として利用されているものではなく、不良原料を除くことにより製品の品質を確保するために用いられていることから、汚染粒を除けるには至っていない (Fig. 2)。最近、内部カビ汚染の不良粒除去を目的とした選別機が考案され応用段階に入っている。近赤外領域の波長を試料に当て、非破壊的に試料中の成分を計測し、異常値を示した試料を除去するものである。ピーナッツの近赤外領域におけるスペクトルを Fig. 3 に示し

た。実線はカビ汚染のないピーナッツの波形であり、破線は人為的に *A. flavus* を接種したものである。選別感度 (700 nm と 1100 nm の透過度をそれぞれ結んだ傾き) を種々変化させ良粒 (通過粒) と不良粒 (排除粒) とに分別し、それぞれのアフラトキシン濃度を測定した。通過群 (良粒) 及び排除群 (不良粒) 中のアフラトキシン量を測定したところ、Table 3 に示したようにある選別感度になると良粒中からアフラトキシンは検出せず、十分な選別効果が得られていることが判明した。

5. ま と め

わが国のカビ毒汚染レベルは諸外国と比べると低く、これはガイドラインを有していることや、農産物あるいは食品の輸入時から販売に至るまでの食品の監視体制と検査体制が組まれていることに負うところが大きい。しかし、カビ毒汚染食品が皆無というわけではない。有毒物質であるカビ毒の摂取を少しでも減らす努力を絶やしてはならず、今回紹介した新しい選別機のさらなる改良等、今後とも食品の安全を確保するため最大限の努力を払わなければならない。

引 用 文 献

- 1) 厚生省生活衛生局食品保健課乳肉衛生課食品化学課監修: “食品衛生小六法”, p. 1521 (1991), 新日本法規出版, 東京。
- 2) 上村 尚: カビ毒 (マイコトキシン) 汚染, 臨床栄養, 78, 148 (1991)。
- 3) 上村 尚: 食品のカビとカビ毒, 都薬雑誌, 11, 33 (1989)。
- 4) 田端節子, 上村 尚, 田村行弘, 安田和男, 牛山博文, 橋本秀樹, 西島基弘, 二島太一郎: 食衛誌, 28, 395 (1987)。
- 5) 上村 尚, 田端節子, 田村行弘, 安田和男, 牛山博文, 橋本秀樹, 西島基弘, 二島太一郎: 食衛誌, 28, 322 (1987)。
- 6) Tabata, S., Kamimura, H., Ibe, A., et. al: J. Assoc. Off. Anal. Chem., 76, 32 (1993)。
- 7) Kamimura, H.: “Mycotoxins and Phycotoxins 88,” Natori, S., Hashimoto, K., Ueno, Y. (eds), p. 169 (1989), Elsevier, Amsterdam。
- 8) 上村 尚: マイコトキシン, 26, 13 (1987)。
- 9) 上村 尚, 西島基弘, 田端節子, 安田和男, 牛山博文, 二島太一郎: 食衛誌, 27, 59 (1986)。
- 10) 平野 進, 大河原徳之, 芝山 明: 食品と開発, 26, 18 (1991)。