世界各国におけるマイコトキシン規制の現状

田中 健治*

Kenji TANAKA*: Current worldwide regulations for mycotoxins

アフラトキシンは1960年に発見され、研究の進展に伴い、急性毒性が強く、また発癌性も自然界で認められるものとしては極めて強いことが明らかにされた。アフラトキシンの発見を契機として、世界各国でマイコトキシンの研究が進み、それに伴って規制値が設定されるようになってきた。もとより、食品および飼料中に含まれるマイコトキシンは無いことが望ましい。しかしながら、食品や飼料がマイコトキシンに汚染された場合、ヒトや動物の健康保持の観点と、食糧や飼料確保との観点から、規制値をいくらかに設定しなければならない。

広義の規制値の中には、limit (限界), guideline (ガイドライン), advisory level (推奨レベル), recommendation (勧告) それに threshold level of toxicity (閾値) などがある。この中で法的に強制力のあるものは limit であり、もしこの値を超えると、法的に規制を受ける。すなわち、起訴されてもしかたがない。一例をあげれば、オーストラリアでは、ピーナッツ中に 50 ppb を超える量のアフラトキシンが検出されると、企業は 10,000 オーストラリアドルを支払わなければならない¹⁾。それに対して、ガイドラインは、limit よりも強制力が弱い。すなわち、当局はしかるべきデータを持っているが、規制値をどのレベルにすべきかを定めるほどには十分なデータを持ちあわせていない状況にある。このレベルを超えるべきではないとは言えるが、超えても裁判に持ち込むことはできない、という値である。オーストラリアでは、アフラトキシン B₁ に関しては、limit は 25 ppb で guideline は 15 ppb である。ところで、advisory level とは、毒性物質がそこに存在する、このレベルは自分たちは良いと考える、このレベルを超えてはならない、しかしながら我々は詳しいデータは持ちあわせてはいない、という値である。毒性試験が進めば、この advisory level からやがて guideline が決められることになる。recommendation それに threshold level of toxicity は、これよりさらに弱い規制値になる。

ここで述べる世界の規制値は、政府から文書でだされたしっかりしたものもあるし、ある国のマイコトキシン研究者から得た情報もあり、さまざまである。

現在マイコトキシンの規制値が決められているのはアフラトキシン、オクラトキシン A、パツリン、デオキシニバレノール、フォモプシン、ケトミン、スタキボツリオトキシン、T-2 トキシンである。また、マイコトキシンの規制は食品のみならず飼料についても行われている。汚染された飼料を動物が食べると動物は中毒を起こし病気になるし、ヒトがマイコトキシンを摂取した動物由来の食品を食べるとマイコトキシンを摂取したことになるからである。

アフラトキシンを動物が摂取すると、Table 1 に示したように動物組織に移行する²⁾。肉牛では、組織あたりの飼料の量は 14,000 であるが、乳牛では 75 (アフラトキシン B 投与に対してアフラトキシン M への移行率) であった。移行率には差があるが、いずれにしても動物組織への移行がある

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 つくば市観音台 2-1-2)

National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (1-2, Kannondai-2, Tsukuba City, Ibaraki 305)

わけで、食品の安全性を考えると注意する必要がある。

Table 1 アフラトキシンの移行

動物	組織	飼料/組織
食用牛	肝臓	14,000
乳牛	ミルク	76 (B/M)
ブタ	肝臓	800
卵を産むニワトリ	卵	2,200
焼き肉用の若鶏	肝臓	1,200

最近問題になっているマイコトキシンとその毒性について、Table 2 に示した。主なものについて述べれば、1988 年に発見されたフモニシンは、ウマに白質脳症を起こすことがわかった。オクラトキシンは、子ブタに腎臓病を、アヒルヒナに肝臓障害を起こすことが明らかになった。外国産のリングジュースに時折検出されるパツリンは、ウシに浮腫や出血を起こすことが知られてきた。

Table 2 最近問題になっているマイコトキシンとその毒性

マイコトキシン	動物	毒性効果
シトリニン	子ブタ	腎臓病
サイクロピアゾン酸	ニワトリ	口の病変
	七面鳥	筋肉の壊死
	子ブタ	腸出血
フモニシン	ウマ	白質脳症
	子ブタ	肺浮腫
オクラトキシン	子ブタ	腎臓病
	アヒルヒナ	肝臓障害
パツリン	ウシ	浮腫、出血
ペニシリン酸	ニワトリ	肝臓および腎臓障害
トリコセセン	ウマ、ウシ	消化異常
	ニワトリ	出血、浮腫
	ブタ	皮膚炎
ゼアラレノン	ブタ、ウシ、ニワトリ、七面鳥、羊	発情的効果

ヒトへのマイコトキシン中毒症と思われるものを Table 3 に示した。主なものをあげれば、フモニシンは食道癌、オクラトキシンはバルカン腎症および腎臓の腫瘍、ジアセトキシスシルベノールは食餌性菌性無白血球症、ゼアラレノンは頸部の癌に関与しているのではないかと考えられている。

Table 3 ヒトのマイコトキシン中毒と疑われるもの

マイコトキシン	マイコトキシン中毒症
シトレオピリジン	心臓血管障害
フモニシン	食道癌
グリオトキシン	肺の病気、エイズ
オクラトキシン	バルカン腎症、腎臓の腫瘍
ジアセトキシスシルベノール	食餌性菌性無白血球症
フザレノン-X	赤カビ病
ゼアラレノン	頸部癌

世界で規制値のある国は、ヨーロッパ、ロシア共和国、中国、日本、インド、インドネシア、オーストラリア、エジプト、一部のアフリカ諸国、カナダ、アメリカ合衆国、メキシコ、それに多くの南アメリカ諸国である³⁾。

アフラトキシンの規制は多数の国が行っている。その規制は、アフラトキシン B_1 のみの規制の国とアフラトキシン $B_1+B_2+G_1+G_2$ の総量規制の国とに大別される。アフラトキシンについての世界の規制値が決められている国の数を Table 4 に示した。食品中のアフラトキシンについては、 B_1 のみの規制の国が 33 カ国、 $B_1+B_2+G_1+G_2$ の総量規制の国が 48 カ国となっている。アフラトキシン M_1 に関しては、乳中の規制値が定められている国が 17 にのぼっている。飼料については、 B_1 規制の国が 19 カ国、 $B_1+B_2+G_1+G_2$ のアフラトキシン総量規制の国が 21 カ国にのぼっている。

Table 4 世界のアフラトキシンの規制状況

アフラトキシン	国の数	範囲 (ng/g)	農産物
B_1	33	0-30	食品
$B_1+B_2+G_1+G_2$	48	0-50	食品
B_1	5	0-5	子供の食品
M_1	17	0-1	ミルク
B_1	19	5-1,000	飼料
$B_1+B_2+G_1+G_2$	21	0-1,000	飼料

van Egmond and Dekker, *Natural Toxins* (1996)

アフラトキシン以外のマイコトキシン規制の国は、アフラトキシン規制の国より少ない。規制マイコトキシンと国数、範囲、農産物の種類等を Table 5 に示した。

Table 5 アフラトキシン以外のマイコトキシンの規制状況

マイコトキシン	国の数	範囲 (ppb)	農産物
ケトミン	1	0	飼料
デオキシニバレノール	4	5-4,000	飼料, 小麦, 小麦製品
オクラトキシン A	11	1-50	米, 大麦, 豆類, プタの腎臓
		1	幼児食
		100-1,000	飼料
パツリン	8	30-50	食品, 飼料, ベリー, 果実のジュース
フォモプシン	1	0	飼料
スタキボツリオトキシン	1	0	飼料
T-2 トキシン	1	100	穀物
ゼアラレノン	3	0-1,000	食品, 穀物, 油脂, 油

食品中のアフラトキシンの規制状況を Table 6 に示した。すべての国の規制例を列挙すると多数になるので、ヨーロッパ、アフリカ、北米大陸、南米、アジアの国々の例を一部ずつ取り上げた。しかしながら、規制値には地域的な傾向はないようである。日本のように、アフラトキシン B_1 が全食品から検出されてはならない（検出限界 10 ppb）、もしくは米国のように、アフラトキシン $B_1+B_2+G_1+G_2$ の総量が全食品で 20 ppb を越えてはならないとしている国がある一方、食品の種類毎にアフラトキシン量を規制している国もあることがわかる。いずれにしても、急性毒性が強く、発癌性も強いアフラトキシンに対しては、かなりの国が神経をとがらせていることが理解できる。

規制についてはその分析法に準拠している所もある。我が国は B_1 規制の国に属し、昭和 46 年に、

Table 6 食品中のアフラトキシン規制状況

国 名	食 品	B ₁	B ₁ + B ₂ + G ₁ + G ₂	備 考
フィンランド	全食品		5 ppb	
デンマーク	ピーナッツ		10	
オランダ	ピーナッツ, ピーナッツ製品	5 ppb		
	全食品, 食品原料	5		
ベルギー	全食品	5		
オーストリア	全食品 (製粉脱穀製品以外)	1	5 (B ₂ + G ₁ + G ₂)	
	製粉脱穀製品	2	5 (B ₂ + G ₁ + G ₂)	
	子供用食品		0.02	
ケニヤ	ピーナッツ, ピーナッツ製品, 植物油		20	
カナダ	ナッツ, ナッツ製品		15	
米国	全食品		20	
ブラジル	工業生産された 0~2 才用および学校給食用食品	5	3	
	輸入食品	5	10	
	その他の食品	15	30	
日本	全食品	非検出		検出限界 (10 ppb)
中国	米, ピーナッツ, トーモロコシ, ソルガム, 豆類, 小麦, 大麦, 燕麦	50		
インド	全食品	30		
オーストラリア	全食品 (ピーナッツ製品以外)		5	
	ピーナッツ (製品)		15	

定められた分析法で食品を分析した場合、アフラトキシンは検出されてはならないことになっている。現在の分析法からすると、その当時の検出限界はアフラトキシン B₁ 量にして 10 ppb である。

アフラトキシン M₁ の規制状況を Table 7 に示した。酪農が盛んな国では、種々の食品毎に規制値が設定されていることがわかる。

Table 7 食品中のアフラトキシン M₁ 規制状況

国 名	食 品	ppb
オランダ	チーズ	0.2
	バター	0.02
	粉乳	0.05
	幼児食および幼児食用乳 (輸出用)	0.05
	その他の乳, 乳製品	0.05
ベルギー	乳, 乳製品, コンデンスミルク	0.1
オーストリア	乳児・子供用殺菌乳, 子供用食品	0.01
	ホエー, 液状ホエー製品 (子供用食品以外)	0.025
	ホエー粉末, ホエーペースト (子供用食品以外)	0.4
	チーズ	0.25
	粉乳, 粉乳製品, コンデンスミルク, 濃縮乳	0.4
	その他の乳, 乳製品	0.05
米国	全乳, 低脂肪乳, スキムミルク	0.5
ブラジル	乳, 乳製品	0.5
	輸入乳および乳製品	0.1

飼料中のアフラトキシン規制状況を Table 8 に示した。飼料中のアフラトキシンは、飼料を摂取

Table 8 飼料中のアフラトキシン規制状況

国 名	飼 料	B ₁	B ₁ + B ₂ + G ₁ + G ₂	備 考
EC	生配合飼料	50 ppb		
	完全配合飼料(乳牛, 子牛, 子羊用以外)	50		
	完全配合飼料(豚, 家禽用)	20		
	その他の完全配合飼料	10		
	補助配合飼料(乳牛, 子牛, 子羊, 子ヤギ以外のウシ, 羊, ヤギ)	50		
	補助配合飼料(幼獣以外のブタ, 家禽)	30		
	その他の補助配合飼料	10		
	ピーナッツ, コブラ, パームナッツ, 綿実, パパスヤシ, トウモロコシを含むものおよびその製品	200		
オーストリア	全飼料		50 ppb	
米国	出荷牛用コーン		300	
	出荷豚用コーン		200	
	繁殖牛, 繁殖豚, 成鶏用コーン		100	
	その他		20	
ブラジル	ピーナッツミール(輸出入)		50	
日本	配合飼料(哺乳期子牛用, 乳用牛用, 哺乳期子豚用, 幼雛幼, プロイラー前期用)	10		
	配合飼料(その他の牛用, 豚用, 鶏用, ウズラ用)	20		
	配合飼料原料	1,000		最終製品中に4%以下
インド	ピーナッツミール(輸出入)	120		

した家畜中に移行するので、配合割合等を考慮して規制値は決められている。この表からわかるように、ECでは規制値はかなり細かく定められている。日本でも、表に掲げたように規制をしており、アフラトキシン B₁ 量で哺乳期子牛用・乳用牛用・哺乳期子豚用・幼雛用・プロイラー前期用各配合飼料については 10 ppb、その他の牛用・豚用・鶏用・ウズラ用の各配合飼料については 20 ppb 未満と規制されている。

オクラトキシン A の規制状況を Table 9 に示した。デンマーク等 7 カ国ほど規制値が決められており、その規制値は食品では 1 ppb の国から 50 ppb の国までである。オクラトキシン A は、以前風土

Table 9 オクラトキシン A 規制状況

国 名	食品, 飼料等	ppb
デンマーク	ブタ腎臓 >25 ppb; 全廃棄	
	ブタ腎臓 10-25 ppb; 臓器廃棄	
	ブタ腎臓 検出-10 ppb; 腎臓のみ廃棄	
ハンガリー	全食品	20
ルーマニア	全食品, 飼料	5
ギリシャ	コーヒー	20
イスラエル	飼料用穀粒	300
ブラジル	米, 大麦, 豆類, トウモロコシ	50

病と考えられたヨーロッパのバルカン地方のバルカン腎症の原因物質であることが、最近明らかになってきている。バルカン地方もしくはこれに近い国の規制値は厳しいようである。

パツリンについては、今のところ国内産のリンゴジュースの汚染は報告されていないが、外国産のリンゴジュースの一部は、汚染を受けたことが知られている。諸外国での規制状況を Table 10 に示した。規制国は 7 カ国に達し、その規制値はルーマニアでは 30 ppb であるが、他の国では、50 ppb である。

Table 10 パツリン規制状況

国 名	食品、飼料等	ppb
ノルウェー	リンゴジュース	50
スウェーデン	果実、ジュース	50
ベルギー	リンゴジュース	50
スイス	フルーツジュース	50
オーストリア	フルーツジュース	50
ルーマニア	全食品、全飼料	30

デオキシニバレノールについては、1983 年にカナダにおいてガイドラインが出された。幼児食などを除けば原料軟質小麦に関しては 2 ppm である。デオキシニバレノールの規制状況を Table 11 に示した。カナダ、米国では食品用および飼料中のデオキシニバレノールの量を細かに規制している。

Table 11 デオキシニバレノール規制状況

国 名	食品、飼料等	ppb
カナダ	原料軟質小麦	2,000
	原料副食用小麦	1,200
	乳幼児用軟質小麦	1,000
	その他の原料軟質小麦	2,000
	飼料（4 カ月以上の肉牛、畜牛、鶏用）	10,000（50% 以下）
米国	飼料（ブタ用）	5,000（20% 以下）
	その他の飼料	5,000（40% 以下）
	食品向け製粉用小麦、小麦製品	2,000
	食品用小麦製品	1,000
	飼料用穀粒	1,000
イスラエル	飼料用穀粒	1,000

フモニシンの米国での規制値を Table 12 に示した。それぞれの飼料でフモニシンの規制値が異なるのはフモニシンの動物に対する毒性の程度が異なるからである。現在は勧告による規制となっている。

ゼアラレノンは、ハンガリー、ルーマニア、ブラジルの 3 カ国で規制値が決められている。その

Table 12 フモニシン規制状況 (recommendation)

国名	飼 料	ppb
米国	ウマ用飼料	<5 ppm
	ブタ用飼料	<20 ppm
	ウシ用飼料、ニワトリ用飼料	<50 ppm

規制の概要を Table 13 に示した。ルーマニアでは全食品で 30 ppb 未満となっており、最も厳しい規制値となっている。

Table 13 ゼアラレノン規制例状況

国 名	食 品	ppb
ハンガリー	全食品	50
ルーマニア	全食品	30
ブラジル	トーモロコシ	200

フォモプシン⁴⁾は、塩素を含んだマイコトキシンである。オーストラリアでは、雑豆による中毒症の原因物質として知られている。ルーピン（ハウチマメ）粉、ルーピン種子粉、ルーピン種子ミール、ルーピンの莢で 5 ppb と勧告がだされ、規制されている。

ルーマニアでは、スタキボツリオトキシンおよびケトミンは、すべての飼料から検出されてはならないことになっている。

以上、Egmond の論文^{3,5)}を基調にして、他の情報^{1,2,4,6)}も入れて規制値について記した。Egmond は改訂版を検討中であり、近々その論文が雑誌に掲載されることになっている。

今後もマイコトキシンの研究が進み、さらに望ましい規制値が設定されることになることであろう。そのことによりまた、食品や飼料の安全性がさらに高まることと思われる。

引 用 文 献

- 1) Pitt, J. I.: Personal communication, (1993).
- 2) Pohland, A. E.: Personal Communication, (1996).
- 3) Egmond, H. P. van.: Nat. Toxins, 3, 332 (1995).
- 4) Edgar, J. A. *et al.*: in "Trichothecens and Other Mycotoxins," (Lacey, J. ed.), p. 317 (1985), John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.
- 5) Egmond, H. P. van.: Food Addit. Contam., 6, 139 (1989).
- 6) Richard, J. F.: Personal communication, (1996).