

\*\*\*\*\*

# 곰팡이 汚染과 그 安全性

金 銅 淵

〈全南大·教授〉

\*\*\*\*\*

곰팡이毒(mycotoxin)이 食品에서 分離된지 20년이 되었으며 곰팡이毒에는 發癌性的 毒群과 肝障害와 神經障害等을 일으키는 毒群으로 나누어졌으며 10餘種이 알려져 있다. 그리하여 過去の 食中毒은 거의가 細菌이 原因으로 定해지고 곰팡이가 原因이라고는 생각한 적이 없었다. 그러나 지금은 各種 食品原料나 食品에서 이들의 確認이 알려지고 있으며 이들의 防止策이나 生成毒素의 無毒化에 關한 內容의 報文이 많으며 食品은 勿論 飼料에서도 規制하고 있다. 그러나 우리나라에서는 이 무서운 mycotoxin에 對한 報文이 過去 몇 編이 있었을뿐 近者 이에 對한 研究가 없는것같고 또 各種 農産物을 輸入하고 있는 우리나라로서는 食品衛生面에서도 이의 有無를 檢討함과 同時에 國産農産物도 檢討해야 하는데도 全혀 손대지 않고 있어, 學者와 食品衛生行政當局의 이에 對한 觀心을 促求하는 뜻에서 이 글을 쓴다.

## 1. 現在 問題가 된 곰팡이毒

食品衛生面에서 問題되는것은 發癌性곰팡이

毒과 이의 產生곰팡이가 가장 警戒해야 하며 다음은 普遍的으로 分布되며 檢出頻度가 높은 곰팡이毒들이다.

이들의 代表的인 것은 表 1과 같다. 現在 가장 重視되고 있는 것은 aflatoxin이며 이 곰팡이毒은 *Aspergillus flavus*가 產生하는 毒素이며 Wogan, Neuberne, Butler 등의 報告에 依하면 食餌中에 0.015ppm의 aflatoxin B<sub>1</sub>을 攝取한 雄rat는 68週에 雌rat는 80週에 모든 組織에 發癌을 보았다고 한다. 이와 같은 微量의 攝取로 癌이 생겼다는 것은 매우 무서운 따름이다.

이 外에 역시 麴菌屬인 *Aspergillus versicolor*의 代謝産物인 sterigmatocystin도 發癌性 mycotoxin임이 南阿聯邦의 研究團의 Par-chase, Vander, Watt等에 依해 確認되었다. 이 sterigmatocystin은 rat에 하루 0.15~2.25 mg을 投與하여 52週에 發癌되었다. 이의 急性毒性(LD<sub>50</sub>)을 比較하면 aflatoxin B<sub>1</sub>의 約 1/6의 毒性이라고 한다.

南阿聯邦의 原住民 Bantu族의 肝癌多發(人口 10萬當 約 120名) 原因은 主食인 옥수수

表 1. 現在問題가 된 곰팡이 毒과 그 產生菌

發癌性곰팡이 毒群			
Aflatoxin	{ B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	Asp, flavus Asp, parasiticus	肝癌(rat) 腎臟癌(rat)
Sterigmatocystin		Asp, versicolor Asp, nidulaus Bipolaris sp,	肝癌(rat)
Luteoskyrin	}	Pen, islandicum	肝癌(rat)
Cyclochlorotin (Islanditoxin)			
Patulin		Pen, expansum Pen, urticae Asp, clavatus Asp, terreus	肝癌(rat) 神經障害
重要한 곰팡이 毒群			
Ochratoxin A		Asp, ochraceus	肝障害
Citreoviridin		Pen, citreo-viride	神經障害
Trichothetan		Fusarium tricinatum Trichothecium raseum	골수세포의 壞死
Rubrutoxin B		Pen, rubrum Pen, purpurogerum	肝, 其他障害
Penicillic acid		Pen, puberulum Pen, cyclopium Asp, ochraceus Asp, sulphurus	혼수, 경련

곰팡이汚染이 밝혀졌고 이는 aflatoxin과 sterigmatocystin이 함께 關係하는 것으로指摘되었다. 또 aflatoxin과 肝疾患과의 因果關係를 究明하려는 疫學的인 發表가 Cranford가 Uganda에서, Shank, Wogan이 泰國에서, Campbell이 Phillipine에서 調査한 結果에 對해 各各의 病原學的 見解를 添付한 報告가 있었다. 이리하여 곰팡이毒과 사람의 癌疾患과의 關係가 가장 가깝게 實證되었다. 以外の mycotoxin은 黃變米毒素의 luteoskyrin과 Penicillium islandicum의 代謝產物인 cyclochlorotin(islanditoxin)이 浦口等に 依해 rat의 長期投與實驗에서 明確히 되었다. Pen. expansum, Pen, urtical, Asp. clavatus 등의 代謝產物인 patulin도 Dickens에 依해 發癌性이

認定되었으나 이는 rat에 對해서 1年半에 걸친 長期投與에도 癌의 發生이 없어 神經毒으로 보고있다. Patulin은 sterigmatocystin과 같이 產生곰팡이가 많은 種屬에 걸쳐 있음으로 充分한 調査를 해야할 mycotoxin이다.

以上の 5種의 發癌性 mycotoxin外에 아직 發癌性은 確認되지 않았으나 疑心이 가는것에 보리等に 寄生하는 Fusarium graminearum이 產生하는 trichothetan이라고 불리는 fusarium毒素群이 있다.

Fusarium屬의 곰팡이는 그 種類나 分布가 매우 넓으며 모든 作物 食品等に 寄生하여 被害를 줄뿐 아니라 眞菌中毒의 原因이 된다는 重要한 곰팡이毒이다.

이 毒素은 주로 數種의 scirpene系化合物인

이 알려져 있으나 아직 이들 誘導體의 生物活性에 關하여 檢討가 進行中이다.

## 2. Mycotoxin 產生곰팡이

—檢出과 그 產生條件—

곰팡이, 酵母等 眞菌類의 營養源이 主로 炭水化合物임으로 糖類를 含有하는 菓子類 빵等に 잘 자라는데 大體로 澱粉質食品에 잘 寄生한다. 곰팡이의 生育에 가장 重要한 條件은 濕度이다. 東南亞細亞 臺灣 日本等 一帶의 米作地域은 年間 降雨量이 많고 濕度가 높은 地理的 條件임으로 곰팡이의 生育이 容易하다. 곰팡이의 生育에는 關係濕度가 적어도 80%以上일때 好適條件인데 쌀, 보리等の 穀物은 14% 內外의 水分含量이 適合하다. 水分이 13%以下가 되면 곰팡이는 거의 生育하지 못한다. 쌀의 水分含量에 따라 寄生하는 곰팡이의 種類가 變動되는 것이 Minesoda大學의 Chrystensen教授들의 長歲月에 걸친 研究로 明確히 되었다. 即 表 2에서와 같이 13% 附近에서는

表 2. 貯藏곰팡이의 種類와 水分含量과의 關係

貯藏곰팡이의 種類	發育의 最低水分量(%)
<i>Asp. halophilicus</i>	13.0~13.2
<i>Asp. restrictus</i>	13.2~13.5
<i>Asp. glaucus</i> group	14.0~14.2
<i>Asp. amsterodami</i>	
<i>Asp. chevalieri</i>	
<i>Asp. repes</i>	
<i>Asp. ruber</i>	
<i>Asp. candidus</i> }	15.0~15.2
<i>Asp. ochraceus</i> }	
<i>Asp. versicolor</i>	16.0
<i>Asp. flavus</i>	17.5~18.0
<i>Pen. spp.</i>	16.0이상

*Asp. halophilicus*, *Asp. restrictus*의 生育이 可能하며 14% 附近에서는 *Asp. glaucus*群의 生育이 可能해진다. 15% 附近에서는 *Asp. candidas*, *Asp. ochraceus* 등 毒곰팡이의 生

育이 可能하다. *Aflatoxin*, *Sterigmatocystin*, *Asp. flavus*의 產生과 關係가 있는 *Asp. versicolor*等은 16~18%의 相當히 높은 水分含量이 되어야 生育하며 *Penicillium*의 푸른 곰팡이屬도 이 보다 높은 水分에서 잘 生育한다. 收穫時期의 벼는 水分이 24~25%인데 收穫後 乾燥를 充分히 하면 14~15%로 떨어지게 된다. 또 논외의 收穫前의 未熟벼를 培養하면 植物病原性의 곰팡이類가 많이 分離되지만 (이를 圃場곰팡이라함. 表 3) 收穫乾燥後의 貯藏 벼에는 圃場곰팡이의 分離는 볼 수 없고 代身 다른 곰팡이들이 檢出된다. 이들 곰팡이를 貯藏곰팡이라 한다. 이 圃場곰팡이가 貯藏곰팡이로 變動하는 것은 水分含量의 低下 即, 벼의 乾燥度에 따라 變動한다. 따라서 벼나 쌀을 培養檢査를 하지 않아도 水分含量만을 調査함으로써 곰팡이의 汚染度를 짐작할 수 있다.

곰팡이의 生育에 水分 다음에 必要한 것은 溫度條件인데 食品에 寄生하는 곰팡이의 最適溫度는 25°C로 생각되지만 實際로는 20~28°C 사이는 大部分의 곰팡이의 生育適溫이다. 10°C以下나 30°C以上이 되면 生育은 停頓 되고 0°C附近이 되면 곰팡이는 거의 生育하지 못한다.

우리나라는 벼 收穫期 및 이의 乾燥期가 比較的 乾燥期이여서 벼 收穫에서 乾燥時까지 곰팡이汚染이 比較的 없을것으로 推定되나 收穫直後부터 20日사이에 *Asp. flavus*와 *aflatoxin*의 汚染度가 어떻게 變動되는가 Schroeder (1965)의 實驗結果를 보면 美國의 Texas州는 쌀 主產地인데 收穫後의 乾燥 및 搗精이 20日 間에 마칠수 있도록 精米工場이 配置되어 있으므로 이 期間의 벼의 乾燥條件과 *aflatoxin* 汚染과의 關係를 調査했다(表 4). 먼저 收穫直後의 水分 22.2%의 玄米를 貯藏庫에 넣고 여기에 0.5, 1, 2(c.f.m)의 3段階의 通風을 하여

表 3.

Field fungi와 storage fungi와의 關係

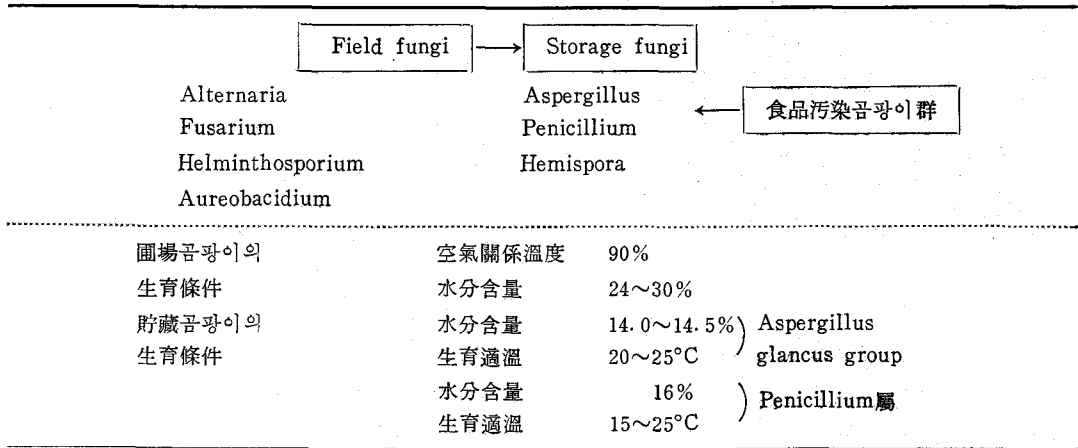


表 4. 送風量과 貯藏期間이 aflatoxin汚染度와 Asp. flavus의 檢出率에 미치는 影響

送風量과 貯藏期間	玄米의 水分量 (%)	溫 度		Asp. flavus의 檢出率 (%)	Aflatoxin 檢定 (ppb)
		穀 溫	送風의 空氣溫度		
	(%)	(°F)	(°F)	(%)	(ppb)
0.5c.f.m					
0日	22.2	95	82	8	—
2	21.5	95	84	4	38
5	21.1	85	83	0	10
8	20.4	84	84	28	133
11	19.7	87	80	29	233
14	18.5	82	78	43	342
17	18.7	85	83	25	629
20	18.3	86	84	52	857
1c.f.m					
0日	22.2	94	82	8	—
3	21.0	78	84	1	—
6	20.9	80	80	9	10
9	20.1	80	84	2	4
12	19.7	78	80	5	17
15	19.1	76	82	45	58
18	18.6	82	82	41	15
21	18.6	79	85	26	23
2c.f.m					
0日	22.2	95	82	—	—
2	20.9	81	84	5	41
5	20.9	76	83	10	41
8	20.4	76	83	1	41
11	20.1	76	84	4	41
14	19.4	74	80	13	41
17	19.2	79	84	6	6
20	18.9	79	82	35	30

20日間 貯藏했다. 이사이의 溫度는 穀溫이 79 ~95°F 空氣溫度는 80~84°F이었다. 玄米의

水分은 22.2%에서 20日後에는 各區마다 約 18.3%까지 乾燥되었는데 가장 빨리 이 水分 含量에 到達한것은 1cfm通風의 것으로 12日 째에 벌써 19.7%, 18日째에는 18%代로 떨어 졌다. 各區 各時期의 Asp. flavus의 檢出狀 况을 보면 0.5cfm區에서 8%에서 32%로 檢 出率의 上昇이 있었으며 특히 8日째부터 急速 히 높아졌다. 다른 2區는 이에 比하여 그다지 少하지 않다. 이것을 aflatoxin의 檢出로 보 면 0.5cfm區는 2日째의 38ppb에서 8日째는 133ppb, 20日째는 857ppb로 甚한 上昇이다. 1cfm區는 若干의 檢出이 있었으나, 2cfm區에 서는 거의 檢出되지 않았다. 그리하여 通風量

과 乾燥를 빨리하는 乾燥方法으로 aflatoxin 汚染을 防止할 수 있다고 結論지었다.

또 Schroeder는 3種의 틀린 水分含量의 玄 米를 同時에 21日間 貯藏하여 aflatoxin의 消 長을 調査하였다(表 5). 即 水分이 26.2%(高 位區), 22.6%(中位區), 19.8%(低位區)의 3 區로 나누어 同一條件에서 貯藏한 結果 高位 區에서는 aflatoxin이 8ppb에서 最高 743ppb 까지 上昇한데 比해 中位區에서는 6日째에 94ppb로 조금 增加했으나 以後 減少했으며 低位區에서는 Asp. flavus의 檢出이 29~32% 程度 있었으나 aflatoxin의 檢出은 없었다. 이 研究結果로 벼 收穫直後 約 1個月間의 調

表 5. 玄米의 水分量과 貯藏期間이 aflatoxin 및 그 產生菌 Asp. flavus의 消長

水分量과 貯藏期間	玄米의 水分量	溫 度		Asp. flavus 檢出率	Aflatoxin 檢定
		穀 溫	庫 中溫度		
高位의 水分	(%)	(°F)	(°F)	(%)	(ppb)
0日	26.2	85	82	—	—
3	23.7	88	80	22	8
6	23.0	87	77	61	104
9	20.6	92	82	83	534
12	21.5	90	86	70	629
15	19.9	83	76	43	434
18	19.5	84	83	98	743
21	18.6	71	71	37	265
中位の 水分					
0日	22.6	85	82	—	—
3	20.8	83	80	16	—
6	20.4	82	77	32	8
9	20.4	87	82	28	94
12	19.3	88	86	35	9
15	19.3	82	76	27	26
18	18.7	84	83	60	11
21	18.2	71	71	62	28
低位의 水分					
0日	19.8	86	82	—	—
3	18.6	81	80	1	—
6	19.0	78	77	11	—
9	18.0	83	82	11	—
12	18.2	82	86	16	—
15	18.0	80	76	32	—
18	17.6	82	83	26	—
21	17.6	79	71	29	—

表 6. 땅콩種實의 收穫方法과 乾燥速度의 aflatoxin 檢出量과 *Asp. flavus*의 檢出率과의 關係

땅콩의 收穫年 도와 處理方法	收穫時의 水分量	땅콩에서 檢出된 <i>Asp. f.</i>		Aflatoxin 總檢出量	
		빠른 乾燥	느린 乾燥	빠른 乾燥	느린 乾燥
	%	%	%	ppb	ppb
1965	51	0	23	0	2,333
未 風 乾	(48	1	7	0	201
		21	62	0	1,780
風 乾 處 理	(20	0	37	0	160
		13	18	0	13
風 乾 處 理	12	1	19	4	4

整如何가 aflatoxin汚染如否를 判가름하는 重要한 時期임을 알 수 있다. 또 穀物들은 收穫後는 可及的 빨리 乾燥시켜 水分을 15%까지 低下시키는 것이 有力한 防止策이라고 말 할 수 있다. 그러나 벼의 急速한 乾燥는 밥맛이 나빠지는 缺點이 있으므로 乾燥速度와 味質의 調整에는 研究가 必要하다.

Jackson(1967)은 땅콩의 aflatoxin產生條件을 研究했는데(表 6), 收穫時 水分이 많은 試料(48~51%)를 느린乾燥와 빠른乾燥의 比較를 했는데 51%의 것은 빠른乾燥에서 *Asp. flavus*의 檢出은 0, 느린乾燥에서는 23%, aflatoxin의 檢出은 前者는 0, 後者는 2,333ppb이었다. 收穫直後 20%內외의 水分을 갖는 땅콩도 위의 2가지 乾燥에서 느린 때는 1,780ppb, 빠른 때는 檢出되지 않았다. 水分 12~13%의 낮은 試料에서는 13ppb以下의 微量의 aflatoxin이 檢出되었다.

Diener等(1960~65)의 調査에서 땅콩을 侵害하는 곰팡이의 主體는 *Asp. glaucus*群, *Asp. tamaris*, *Pen. citrinum* 등이며 *Asp. flavus*는 寄生곰팡이의 主流가 아니라고 報告했으며 Hanlin(1968)도 땅콩겉질의 곰팡이 消長을 調査하여 *Alternaria*(44%), *Cladosporium*(50%), *Fusarium*(48%), *Phoma*(30%)가 micro flora의 主體이고 *Asp. flavus*는 6% 內외가 檢出되었으며 겉질속의 땅콩에의 到達

은 겉질이 깨지면 쉬우니 收穫時에 겉질이 傷處가 생기지 않게 하는 것이 重要하다고 하였다. Bailey(1968)는 收穫後 可及的 빨리 적어도 3~5日內에 水分을 7~8%까지 低下시키는 것이 *Asp. flavus*의 侵害防止가 되며 또 aflatoxin汚染도 防止된다고 하였다. Ashworth(1965)나 Mac Donald(1964)도 收穫直後의 땅콩이 aflatoxin에 汚染되는 일은 매우 드물며 땅콩의 水分이 23~34%의 높을때에만 aflatoxin이 產生된다고 하였다. 이들 結果로 미루어 땅콩은 收穫後의 3~4日사이의 乾燥處理가 有效함이 確實하다. 現在 美國에서는 땅콩을 高度로 發達한 乾燥工場에서 處理하도록 獎勵하고 있다.

以上에서 aflatoxin과 그 產生곰팡이 *Asp. flavus*의 檢出에 關한 條件을 玄米와 땅콩에 對하여 解說했는데 이들을 綜合하면 食品의 mycotoxin汚染은 原料段階에서 問題가 있음을 알 수 있다. 前述한바와 같이 收穫直後의 數日間의 貯藏法이 잘못되면 高度로 汚染되며 이것은 加工時에 加熱되어도 aflatoxin은 比較的 熱에 安定함으로 相當히 남는다. 땅콩粕에서는 aflatoxin B<sub>1</sub>이 7,000 $\mu$ g/kg의 것을 高壓솥에서 4時間 加熱해도 340 $\mu$ g/kg가 남으며 30分 處理해서는 約 70%인 5,000 $\mu$ g/kg가 남아있다. 또 綿實粕에서도 水分含量에

(p9에 계속)