

## Aflatoxin과 그 생성에 관련되는 主要因

박 건 영

부산대학교 가정대학 식품영양학과  
(1984년 1월 16일 접수)

## Aflatoxin: Factors Affecting Aflatoxin Production

Kun-Young Park

Department of Food and Nutrition, Pusan National University

(Received January 16; 1984)

### Abstract

Aflatoxins are toxic and carcinogenic secondary metabolites which are produced by strains of *A. flavus* and *A. parasiticus* during their growth on foods and feedstuffs. Aflatoxins are a group of closely related heterocyclic compounds of which B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> and G<sub>2</sub> are the major members. Aflatoxins are synthesized via a polyketide pathway in which the general steps are acetate, anthraquinones, xanthone and aflatoxins. Aflatoxin formation is favored by high moisture or high  $a_w$  (0.95~0.99). The limiting  $a_w$  for aflatoxin production on agricultural commodities is 0.83. Optimum temperature for aflatoxin production by the molds is 25~30°C and the incubation time for the maximum production of the toxin is 7~15 days. The limiting temperatures for aflatoxin production are  $\leq 7.5^\circ\text{C}$  and  $\geq 40^\circ\text{C}$ . Cycling temperatures may or may not stimulate aflatoxin production depending on the amplitude of cycling, substrate and strains of molds. Aflatoxin producing molds are aerobic organisms and thus have a requirement for oxygen. A decreasing O<sub>2</sub> concentration and/or increasing concentrations of CO<sub>2</sub> or N<sub>2</sub> depress the mold growth and aflatoxin formation. *A. flavus* grows competitively or associatively in the presence of other microorganisms and occasionally loses the competition with other microorganisms. Some lactic acid bacteria have been shown to reduce growth and aflatoxin production by *A. parasiticus*. Carbon source is the most important nutritional factors affecting aflatoxin formation by the molds. Sucrose, fructose and glucose are the most favorable carbon sources. Food substrates of plant derived products which have high carbohydrate content such as agricultural commodities and their products are most vulnerable to contamination by aflatoxins.

### 1. 서 언

곰팡이로 식품이나 가축사료가 오염될 경우, 그로 인한 경제적 손실은 물론, 생성된 독성물질에 의한 안정성은 대단히 큰 문제점이 되고 있다. 곰팡이에

의해 생성된 mycotoxin 중 특히 문제가 되고 있는 것은 aflatoxins, ochratoxin A, sterigmatocystin, patulin, penicillic acid, citrinin, zearalenone, trichothecenes(T-2 toxin) 등을 들 수 있다<sup>1)</sup>. 이들 중에서도 가장 독성이 강한 것은 *Aspergillus flavus*

가 생성하는 aflatoxin(이하 AF라고 표기함)으로써 이는 지금까지 알려진 발암물질중 가장 발암성이 강한 독물질임이 동물 실험을 통하여 밝혀졌다<sup>2)</sup>.

AF는 1960년 영국에서 처음 밝혀졌는데, 약 10만 마리나 되는 칠면조가 배죽음을 당한 사건이 발생했을 때, 이를 칠면조 X병 (turkey X-disease)이라고 명명하고 그 원인을 규명해 본 결과, 브라질에서 수입한 사료인 땅콩가루에 *Asp. flavus*균이 오염되어, 그 대사산물인 독성물질이 치사(致死)의 원인이었음을 알게 되었다<sup>3)</sup>. 이와 거의 비슷한 시기에 미국에서 발생했던 송어의 간종만연사건<sup>4)</sup>(trout hepatoma outbreak) 역시 사료중의 목화씨 껍묵에 오염된 AF이 그 원인이었음을 알게 되었다<sup>5)</sup>. AF은 이와 같이 가축은 물론 식품과 관련하여 인간의 건강에도 커다란 영향을 미치고 있음이 밝혀졌고, AF에 대한 많은 관심과 연구가 집중되어 왔다. 본 논문에서는 AF의 일반적인 성질, 생합성 및 독성등을 간략하게 밝힌 후, 식품 또는 가축 사료에서 AF생성에 관련되는 주요인들을 살펴 보도록 한다.

2. 아플라톡신(The aflatoxins; AF)

가. AF의 화학적 성질

AF은 *A. flavus*균의 균주들, 특히 *A. flavus*와 *A. parasiticus*들이 생성하는 제 2차 대사 산물로, 화학적 구조가 서로 유사한 12~13종류의 AF이 알려져 있다. AF은 bifuran moiety에 하나의 coumarin

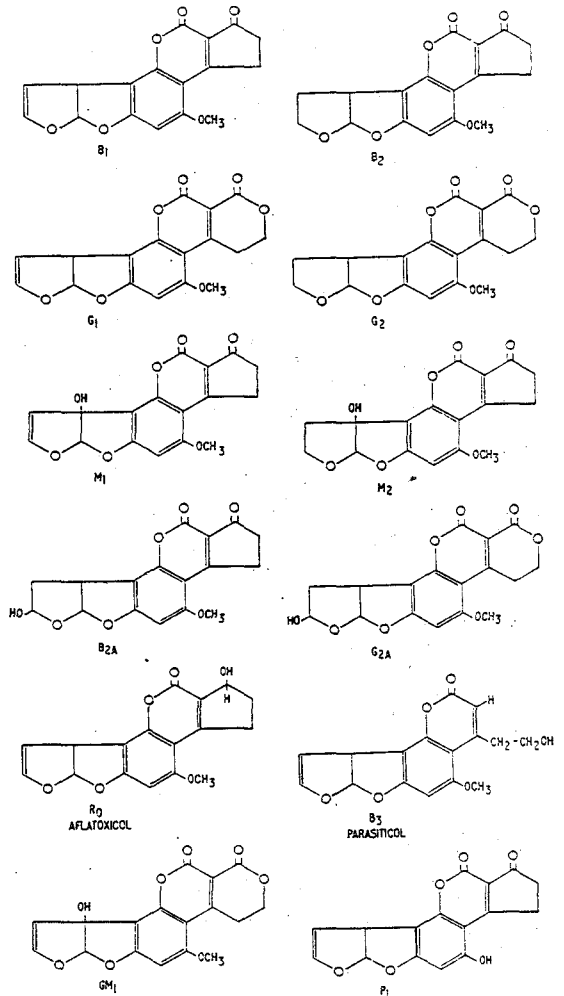


Fig. 1. Chemical structures of aflatoxins<sup>6)</sup>.

Table 1. Chemical and physical properties of aflatoxins and derivatives<sup>2,6)</sup>

Aflatoxin	Molecular formula	Molecular weight	Melting point	Ultraviolet absorption (362~363 nm)	Fluorescence emission	Fluorescence under UV	R <sub>f</sub> <sup>a</sup> × 100
B <sub>1</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	312	268~269	21,800	425	Blue	56
B <sub>2</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	314	286~289	23,400	425	Blue	53
G <sub>1</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	328	244~246	16,100	450	Turquoise	48
G <sub>2</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330	237~240	21,000	450	Turquoise	46
M <sub>1</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	328	299	19,000	425	Blue	40
M <sub>2</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330	293	—	—	Blue	30
B <sub>2a</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330	240	20,400	—	Blue	13
G <sub>2a</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>8</sub>	346	190	18,000	—	Turquoise	11
R <sub>0</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	314	230~234	14,100	425	Blue	—
B <sub>3</sub>	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	302	233~234	9,700	—	Blue	42
GM <sub>1</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> O <sub>8</sub>	344	276	12,000	—	Turquoise	12
P <sub>1</sub>	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	298	320	14,900	—	—	—

<sup>a</sup>Solid phase: Silica Gel G. Solvent System: Chloroform-Methanol(97 : 3, v/v).

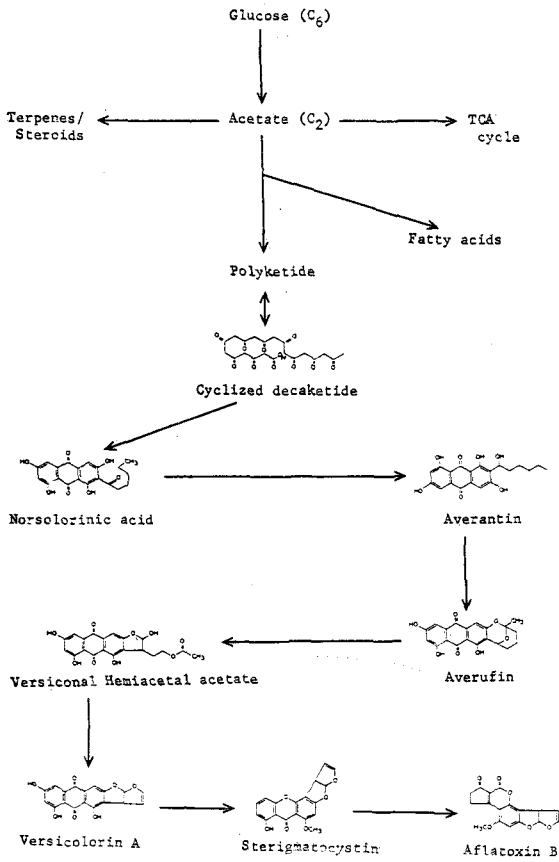


Fig. 2. Proposed pathway for biosynthesis of aflatoxin.

ring이 붙어 있고, B series의 경우는 이들에 cycl-pentenone ring을 가지고 있으며 G series는 six-membered lactone을 가지고 있다(Fig. 1참조)<sup>6)</sup>.

AF중 중요한 화합물들은 자외선 하에서 강하게 발광하는 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>과 G<sub>2</sub>이다. 그의 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, B<sub>2a</sub>, G<sub>2a</sub>, parasiticol, aflatoxicol과 GM<sub>1</sub>등도 자연에서 소량 또는 미량으로 존재한다. M<sub>1</sub>과 M<sub>2</sub>는 이미 B<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>가 오염된 사료를 가축, 특히 젖소가 섭취할 때, 몸 속에서 대사과정 중 변형되어 결국 우유에 잔존하게 되는 것으로 독성이 매우 강한 AF이다. AF의 일반적인 화학적 및 물리학적 성질은 Table 1에<sup>2,6)</sup> 명시되어 있다.

나. AF의 생활성

AF은 acetyl과 malonyl unit의 축합에 의해 탈탄산(decarboxylation)이 되면서 합성되어지는 nonaketides이다. Acetyl CoA를 통해 일어나는 주반응은 TCA cycle, lipid합성, terpene합성, AF합성 등이 있으므로, acetyl CoA단계에서 환경조건에 따라 합성 경로가 달라지게 된다. AF 합성은 Fig. 2에서와 같이 polyketide pathway를 경유하게 된다<sup>7-9)</sup>.

이때 AF합성을 위한 첫번째 전구체는 C<sub>20</sub>-polyketide(decaketide)이며, 그후 5개의 polyhydroxyanthraquinones 즉, norsolorinic acid, averantin, averufin, versiconal acetate와 versicolorin A생성 과정을 거친 후 xanthone인 sterigmatocystin을 생

Table 2. Acute toxicity of aflatoxins<sup>10)</sup>

Species	LD <sub>50</sub> (mg/kg)							
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	B <sub>2a</sub>	P
Duckling	0.36	1.68	0.78	1.42	0.32	1.22	24	
Rabbit	0.3							
Cat	0.55							
Pig	0.62							
Trout*	0.81		1.90					
Dog	0.5~1.0							
Sheep	1.0~2.0							
Guinea-pig	1.40							
Monkey	2.2~7.8							
Chicken	6.3							
Rat	7.2(M)~16(F)							
Mouse	9.0							
Hamster	10.2							
Chick embryo	0.025/embryo		1.0/embryo					150

\* Intra-peritoneal: All other values refer to the oral route.

성하게 되고, 이어 AFB<sub>1</sub>을 합성하게 된다. 그리고 이 AFB<sub>1</sub>은 oxidation이나 hydroxylation에 의해 다른 AF들로 전환된다<sup>6)</sup>. AF합성에 대한 정보는 변이균주인 *A. parasiticus* 또는 *dichlorvos* 같은 대사저해제의 이용과<sup>9)</sup> radioactive labeling 등의 실험 방법에 의해 밝혀진 바 있다.

#### 다. AF의 독성

AF는 독성물질(potent toxin), 발암성물질(carcinogen), 돌연변이 유도물질(mutagen) 및 기형발생물질(teratogen)로서 사람이나 가축의 안정성에 위협을 주고 있다<sup>10)</sup>. 급성 독성물질로서의 AF의 치사율(LD<sub>50</sub>)은 Table 2에 요약되어 있다. 보통 AFB<sub>1</sub>의 독성에 대한 그 민감도에 따라 동물들을 세 부류로 나눌 수 있는데, 매우 민감한 것으로는 오리, 토끼, 고양이, 돼지, 송어 등이고, 중간 정도로 민감한 것으로는 개, 양, 흰쥐 등이고, 민감하지도 않으면서도 저항적인 것으로는 원숭이, 닭, 쥐 등을 들 수 있다(Table 2참조).

AF는 오리, 쥐, 송어(rainbow trout)를 포함한 여러 동물의 간(liver)부위에 암을 일으키는 물질(hepatocarcinogen)이다. 또한 AF는 위, 신장, 허파, 식도, 대장 및 피부 등 다른 여러 곳에서도 종양(腫瘍)을 유도하는 물질로 밝혀졌다<sup>11)</sup>. 그러나 AFB<sub>1</sub>은 종양을 유도하여 종양을 발생케하는 물질이긴 하지만 그것을 증강(promote)시키는 활성은 가지고 있지 않다고 한다<sup>11)</sup>. 그리고 histidine을 요구하는 변이주인 *Salmonella typhimurium*을 이용한 Ames test에서 AFB<sub>1</sub>이 이 세균에 가해질 때, AFB<sub>1</sub>은 potent frameshift mutagen으로 작용하는 것이 밝혀졌다<sup>12)</sup>. AF들의 독성, 발암성, 돌연변이성에 대한 활성은 B<sub>1</sub>이 가장 강하고 다음 aflatoxicol, M<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, H<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub> 등의 순서이다.

### 3. AF생성에 영향을 주는 주요 요인

AF를 포함한 다른 mycotoxin들의 생성과, 이들을 생성하는 곰팡이들의 성장은 Table 3에서와 같이 물리적, 화학적 또는 생물학적 요인들에 의해 영향을 받는다<sup>13)</sup>. 이들 중 특히 중요한 요인들은 균주의 종류, 수분, 온도, 성장 중 미생물간의 경쟁, 영양 성분 등이라고 할 수 있다.

#### 가. AF를 생성하는 곰팡이 종류

*A. flavus*와 *A. parasiticus*만이 다량의 AF를 생

**Table 3. Factors affecting the production of mycotoxins on natural substrates<sup>13)</sup>**

- |  |
|--|
| I) Physical factors                              |
| A) Temperature and ERH during storage            |
| B) Aeration                                      |
| C) Light   |
| D) Mechanical damage                             |
| II) Chemical factors                             |
| A) Nutritional factors, including inorganic ions |
| B) Use of fungistats                             |
| III) Biological factors                          |
| A) Strain of organism                            |
| B) Competitive growth of fungi                   |
| C) Microbial detoxication                        |

성하는 곰팡이들로 알려져 있다<sup>14)</sup>. 여섯 나라에서 수집한 *A. flavus*군 1,390분리균을 대상으로 행한 실험에서 약 60%인 803균이 AF를 생성, 이들 균주들은 여러가지 종류의 AF를 생성하였으며, 또한 toxin량을 생성한 수치도 서로 다를 뿐더러 최대 생성을 위한 최적 조건도 분리균주에 따라 달랐다고 하였다<sup>15)</sup>.

#### 나. 수분·또는 수분 활성도( $a_w$ )

수분과 온도는 곰팡이의 성장과 AF 생성에 가장 중요한 요인들이다. 일반적으로 곰팡이가 성장을 하는데는 최저  $a_w$  0.70~0.80이 요구되나, *Aspergillus* 속의 경우에는 0.68~0.88이 요구된다. 한편 *A. flavus*는 mesophilic 곰팡이로, 성장하는데 최저 RH, 80%이지만 포자형성 및 AF생성을 위해서는 이보다 약간 높은 최저 RH, 85%이다.<sup>16)</sup> 물론 AF생성을 위한 최저  $a_w$ 는 다른 요인들, 즉, 온도나 여러 농산물 기질, 또는 균주의 종류에 따라 영향을 받는다<sup>17)</sup>. 관련 곰팡이가 성장할 때 최저온도이면 요구되는 최저  $a_w$ 값이 낮고 또한 좋은 영양기질에서도 최저  $a_w$ 값이 역시 낮아진다. 그리고 농산물에 있어서는 농산물의 종류, 저장온도 그리고 저장기간에 따라 약간의 차이는 있지만, 일반적으로 AF생성을 위한 곰팡이들의 최저 제한  $a_w$ 는 0.83~0.84임이 밝혀진 바 있다<sup>18)</sup>.

한편, AF 생성을 위한 최저  $a_w$ 는 기질에 따라 약간의 차이는 있어도 0.95~0.99이다<sup>19)</sup>. 그리고 곰팡이의 성장과 mycotoxin 생성에 있어 최저온도와 관련된 제한  $a_w$ 를 살펴보면 Fig. 3과 같다<sup>7)</sup>. 즉, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 AF는 다른 mycotoxin들, 특히 patulin이나 penicillic acid들 보다 성장과 독물

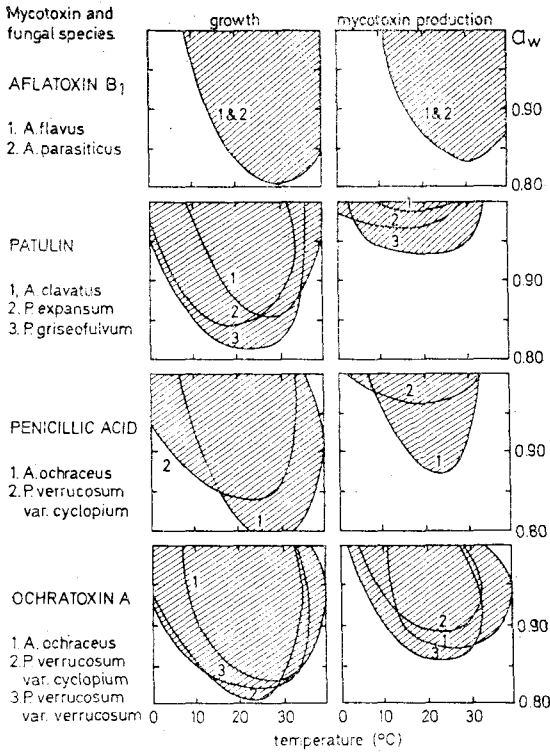


Fig. 3. Conditions of  $\alpha_w$  and temperature favorable (shaded area) for growth and mycotoxin production by different fungal species<sup>17)</sup>.

질 생성에 있어 필요한 최저  $\alpha_w$ 와 최저온도와의 격차(gap)가 적다는데 주목을 할 수 있다. 이는 곰팡이가 성장할 수 있는 조건이라면 곧 독물질이 생성될 수 있다는 점을 말해주고 있다.

다. 온도

1) 온도와 시간

온도는 *A. flavus* 곰팡이들의 성장과 AF생성에 아주 중요한 역할을 한다. *A. flavus*는 mesophilic 곰팡이로 분류되고 성장을 위한 최저온도는 6~8°C, 최적은 36~38°C 그리고 최고는 44~46°C이다<sup>20)</sup>. 그리고 여러가지의 식품기질과 액체배지에서 AF생성을 위한 AF생성균들의 최적온도는 24~25°C였고, 이들의 최적 성장온도는 *A. flavus*분류군들에 따라 달랐으나 29~35°C 사이였다는 보고도 있다<sup>21~22)</sup>. 한편 *A. parasiticus*가 땅콩이나 액체배지에서 성장하여 AF을 생성할 때 최적온도는 25~30°C로 알려지

고 있으며 이때 7~15일 사이에서 최대량의 AF을 생성했다고 한다<sup>23)</sup>.

세계 여러지역에서 분리하여 수집한 *A. flavus*나 *A. parasiticus*균을 wort agar 배지에서 8주일 동안 성장시켜 AF생성을 위한 제한온도를 실험한 결과<sup>24)</sup> 및 기타 연구 결과<sup>19, 23, 25~28)</sup>에 의하면 이 곰팡이들의 AF생성을 위한 제한온도는  $\leq 7.5^\circ\text{C}$ 와  $\geq 40^\circ\text{C}$ 이었다.

2) 온도의 주기적 변화(cycling temperatures)

수송, 저장, 기타 유통 중의 주기적인 온도 변화 또는 밤과 낮, 계절이 바뀔 때 따른 온도변화는 필연적인 것으로, 이러한 온도의 주기적인 변화가 AF의 생성에 미치는 효과에 대한 연구가 많은 사람들에 의하여 이루어진 바 있다<sup>14, 29~33)</sup>. 온도를 주기적으로 짧은 시간에 변화시키되 하루의 평균온도를 25°C로 맞춘 온도 조건하에서는 일정온도인 25°C에서 고정시켜 배양된 환경에서 보다 성장도 좋지 않고 AF생성도 적었다고 한다<sup>29)</sup>. 그리고 주기적인 온도 변화 조건과 일정온도 유지조건과의 비교에서 중요한 요인 중의 하나라고 볼 수 있는 것은 총 열량 투입량 (total heat input)이며, 포자형성과 AF 합성의 최저 총 열량 투입량은 270°C hr/day이라는 보고가 있다.<sup>30)</sup> 그리고 AF생성에 있어서 주기적인 온도변화 즉, 싸이클링의 효과와 이것을 총 열량 투입량으로 환산한 값과의 비교에서는 별 차이가 없었고, *A. parasiticus* NRRL 2999의 경우 총 열량 투입량 648~792°C hrs/day에서 배양 10일 후 최고의 AF이 생성되었으며 AF 생성과 곰팡이의 성장속도는 총 열량 투입량과 비례한다는 것이다<sup>31)</sup>. 그러나 일정한 싸이클링 범위 (5~25°C)에서 싸이클링온도와 총 열량 투입량은 AF생성을 위해 완전히 다른 조건이고, 5°C(냉장온도)와 25°C(실온) 사이를 각각 12시간씩 싸이클 할 경우 그 평균온도, 또는 같은 총 열량 투입량인 일정온도 15°C에서 보다 훨씬 많은 AF이 생성되었다는 보고가 있다.<sup>32~33)</sup>. 이 보고에 의하면 싸이클링 온도는 일정온도에서 보다 더 빠른 화학 반응속도를 갖는다는 효과적 실제온도(effective temperature)의 도입이 가능하다고 하였고, 이 경우 싸이클링 온도의 효과적 실제온도는 18°C임을 제시하였다<sup>14)</sup>. 효과적 실제온도(18°C)와 싸이클 온도(5~25°C) 조건이 곰팡이의 성장, 포자형성 및 AF생성에 있어서 거의 비슷함은 쌀과 치즈를 기질로 사용했을 때에도 나타났으나 싸이클링 온도에서는 기질과 균주에 따라 반응이 다른 바, 그중 쌀의 경우 *A. parasiticus*는 효과적

실제 온도, 18°C와 25°C(AF생성을 위한 최적 온도)에서 보다는 싸이클링 온도에서 훨씬 더 많은 양의 AF가 생성되었는데 그 이유는 아직 밝혀지지 않고 있다<sup>33)</sup>.

#### 라. 공기(aeration)

곰팡이는 호기성이기 때문에 공기가 있어야 성장을 하지만 과도한 공기량은 오히려 곰팡이의 성장과 AF생성을 저해한다. 대체로 AF생성은 교반(agitation)에 의하거나 공기를 공급(supply)하기 보다는 정체상태(stationary)의 배양조건에서 최대량을 얻을 수 있다<sup>34)</sup>. 이것은 AF합성은 이용할 수 있는 산소가 다소 제한될 때 일어남을 의미하고 있다. 그러나 일정수준에서는 산소의 농도를 낮출 때 AF생성이 크게 감소되었으며 1%에서 0.1%로 낮출 때 최대의 저해 현상이 일어났다<sup>18)</sup>. 그리고 땅콩 저장중에 CO<sub>2</sub>를 도입함으로써 AF의 생성이 저해되며 AF생성은 CO<sub>2</sub> 농도를 대기 중의 농도인 0.03%에서 20%로 증가했을 때 70%가 감소 되었으며, 고농도인 40~80%인 경우 더 많은 저해를 받고 100%의 CO<sub>2</sub> 농도하에서는 AF생성이 완전히 저지된다<sup>35)</sup>. N<sub>2</sub>역시 저해 효과를 보였으나 CO<sub>2</sub>보다 덜 효과적이다<sup>36)</sup>.

#### 마. 미생물간의 경쟁(microbial competition)

여러 종류의 미생물이 같은 환경 속에 존재하게 되면 *A. flavus*균의 성장과 AF생성이 제한될 가능성이 많다. 미생물간의 경쟁은 우선 영양소의 이용도에서부터 일어날 수 있고 이어 다른 미생물이 그들의 대사산물로 분비한 물질들 즉 휘발성 또는 비휘발성 물질들이 AF생성을 저해하거나 촉진하거나 또는 아무런 영향을 끼치지 않을 수 있다.

*A. flavus*는 다른 미생물하고 경쟁을 하면서(competitively) 또는 공존하면서(associatively) 성장할 수 있다. *A. flavus*나 *A. parasiticus*는 다른 곰팡이하고 경쟁적으로 성장할 때 경쟁에 약하다고 알려져 있다<sup>37)</sup>. 예를 들면 *A. parasiticus*는 비록 처음엔 많은 양이 쌀에 오염되었다 하더라도 다른 야생균주들과 자라던 쉽게 AF생성이 저지당한다<sup>30, 38-39)</sup>. 그리고 인도네시아의 발효식품인 ontjom(발효 땅콩 식품의 일종)을 제조하는데 쓰이는 *Rhizopus oryzae*를 가지고 *A. flavus*와 함께 배양한 상태에서 AF생성에 미치는 효과를 연구한 결과 *R. oryzae*와 *A. flavus*가 경쟁하여 *A. flavus*의 성장 및 AF생성이 억제되었으며 이미 생성된 AF마저도 파괴되었다<sup>13)</sup>.

젖산균중 *Lactobacillus plantarum*이나 *L. casei* 등이 *A. parasiticus*와 함께 자랄 경우도 AF생성은 최대로 감소했으나<sup>40-41)</sup>, 어떤 경우에 있어서는 한 미생물의 성장으로, 기질을 AF생성에 더 알맞는 환경으로 만들 수도 있다. Table 4에서는 *A. parasiticus*가 다른 균들과 같이 성장할 때 더 많은 양의 toxin을 생성하는 것을 보여주고 있는데, *A. parasiticus*가 *Pen. rubrum*과 함께 자랄 때 또는 *A. parasiticus*가 *Pen. rubrum*과 *L. plantarum*과 함께 자랄 때, *A. parasiticus*가 단독으로 성장하여 생성한 AF보다 훨씬 많은 양이 생성되었음을 보여주고 있다. 한편, *Pen. rubrum* 역시 단독으로 성장할 때 보다 *A. parasiticus*와 같이 자랄 때 더 많은 양의 rubratoxin이 생성되었음을 나타내고 있다<sup>40)</sup>. 그리고 효모, 곰팡이, 세균, 사상균, 해조류(algae) 등을 포함해서 1,000여 종의 미생물을 가지고 그들의 AF 파괴능력을 시험해 본 결과, 세균인 *Flavobacterium aurantiacum*(NRRL B-184)만이 액체 영양배지에서 AFB<sub>1</sub>을 비가역적으로 파괴했고, 이 균은 우유와 우

Table 4. Aflatoxin and rubratoxin produced by *Aspergillus parasiticus* and *Penicillium rubrum* when grown together with *Lactobacillus plantarum* in a glucose-salts (GS) medium at 28°C for 3 and 7 days PR=*P. rubrum*, AP=*A. parasiticus*, LP=*L. plantarum*<sup>40)</sup>

Culture	3 days					7 days				
	Aflatoxin μg/ml		Rubratoxin μg/ml		Dry wt. g	A flatoxin μg/ml		Rubratoxin μg/ml		Dry wt. g
	B <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	A	B		B <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	A	B	
PR	—	—	1.0	8.5	0.66	—	—	1.5	10.5	1.75
PR+AP	3.1	1.5	2.0	6.5	0.83	1.11	0.20	2.5	14.5	1.56
PR+LP	—	—	1.0	2.0	0.85	—	—	0.5	4.0	0.99
PR+AP+LP	1.36	0.68	2.5	—	1.12	5.88	3.70	1.0	5.5	1.20
AP	0.10	0.08	—	—	1.01	2.51	1.86	—	—	1.77
AP+LP	0.25	0.06	—	—	0.65	0.48	0.13	—	—	0.92

수수기름과 피너츠버터 등에 오염된 AF을 완전히 파괴시켰다<sup>42)</sup>.

#### 바. 수소이온 농도(pH)

곰팡이는 대체로 넓은 pH범위(2.0~10.2)에서 성장한다. AF생성에 있어서의 pH의 효과는 영양소의 조성 and 곰팡이의 균주에 의해 영향을 받을 수 있다. AF생성에 있어서 YES(yeast extract-sucrose) 배지에서 초기 pH의 효과를 살펴본 결과에 의하면 pH 3.0만 제외하고 pH의 효과는 차이가 없었다<sup>34)</sup>. 그러나 약산성이나 중성(pH 5~7)에서 *A. parasiticus*나 *A. flavus*는 최대의 AF을 생성한다<sup>13, 43)</sup>. 카제인(casein)을 기질로 했을 경우 *A. flavus*나 *A. parasiticus*는 초기 pH 1.7~9.9 사이에서 성장을 했으며 최대의 AF 생성은 알칼리성(9.34~9.90)과 산성(1.70~2.41)의 pH에서 였다는 보고도 있다<sup>44)</sup>.

#### 사. 빛(light)

AF은 불빛 하에서는 불안정하다. 완전히 불빛을 차단한 곳에서 배양한 *A. flavus*는 균체 g 무게당 AF 생성량이 178  $\mu$ g였지만 불빛하에 방치했을 때는 35  $\mu$ g/g으로 약 80%가 감소 또는 파괴되었다는 보고가 있다<sup>45)</sup>. 그리고 수용액속의 AFB<sub>1</sub>과 G<sub>1</sub>은 암소에서는 안정한 상태를 유지했으나 조명하에서는 하루동안에 40%, 그리고 9일 후에는 100%가 파괴되었다고 한다<sup>46)</sup>.

#### 아. 기질(substrate)

기질의 조성에 따라 AF생성은 크게 영향을 받는다. 무기영양소 또는 유기영양소로 조성된 액체배지를 이용하여 어떤 영양소가 AF생성에 어떻게 영향을 주는가에 대해 광복할 만한 연구가 진행되어 있다.

##### 1) 탄소원

탄소원 중에서 sucrose, fructose, glucose, glycerol, raffinose, xylose 등은 AF생성을 위해 가장 좋은 탄소원으로 알려졌고<sup>34, 47~48)</sup>, mannitol, galactose, sorbose, maltose, mannose 등은 소량의 AF생성을 하며 acetate, succinate, malic acid, lactose, citric acid 및 fumaric acid등은 AF생성은 물론 곰팡이의 성장을 유지 못한다. 그리고 shikimic acid, sodium acetate, pyruvate, ethanol,  $\alpha$ -ketoglutaric acid 등은 곰팡이의 성장은 하지만 AF생성

은 하지 못한다고 알려져 있다<sup>15)</sup>.

##### 2) 질소원

AF생성에 가장 좋은 무기질소원으로는 ammonium sulfate와 potassium nitrate이다. 그러나 이들 무기질소원보다 유기질소원이 훨씬 효과적이다. 특히 yeast extract, corn steep liquor, casamino acids, peptone 등을 그 예로 들 수 있다<sup>15)</sup>. AF생성을 위한 질소원으로써의 아미노산의 효과는 glycine과 glutamic acid가 가장 좋은 단순 아미노산이고 유향을 함유한 방향족의 아미노산은 AF생성에 좋은 질소원이 아니다<sup>49)</sup>.

##### 3) 무기이온

카드뮴과 철은 AF생성을 촉진하나 이때 철은 균체 성장은 저해한다<sup>49)</sup>. AF생성에 아주 중요한 역할을 하는 무기질은 아연인데, 아연은 AF을 포함한 대부분의 미생물의 제 2차 대사산물의 합성에 필수적이며 아연의 결핍은 AF생성을 저지하는 한편 지방합성을 증가시켰다<sup>49)</sup>.

##### 4) 지방산

AF생성을 위한 기질로써 중성지방이나 지방산의 영향에 대한 연구는 대단히 적다. Glucose-salts-amino acid 배지에서 AF생성에 관한 지방산의 효과를 본 결과, 15%의 linoleic acid와 15%의 stearic acid를 각각 강화한 배지들은 모두 AF생성을 저지했다<sup>50)</sup>. Stearic acid로 강화된 배지에서는 AF이 3일 후 1,300  $\mu$ g/100 ml로 생성되었었는데 14일 후에는 미량(trace)으로 감소하여 AF생성을 저지했으며 linoleic acid로 강화된 배지에서는 AF생성이 전 배양 기간동안을 통해 완전히 저지당했다. 한편 옥수수 기름에서 얻은 불포화 지방산을 배지로 했을 때는 곰팡이의 성장과 AF생성을 저해했을 뿐 아니라 생성된 AF의 본래 독성과 발암성 효력을 감소시켰다<sup>51)</sup>. 대두유에 존재하는 불포화지방산의 peroxidized methyl ester가 *in vitro*에서 AF을 파괴할 수 있다는 보고가 있으며<sup>52)</sup>, 그래서 기질에 많은 불포화 지방산의 존재는 그의 peroxidized esters에 의해 AF을 파괴할 가능성이 있다고 보고 있다. 그러나 어떤 경우에 있어서는 지방산 역시 AF생성을 위한 탄소원으로 사용될 수도 있다. Lauric acid는 sucrose와 거의 같은 효과를 가진 탄소원이고, myristic acid도 역시 좋은 탄소원이었으나 palmitic, oleic 및 stearic acid는 좋은 탄소원이 아니다<sup>48)</sup>. 그리고 coconut을 기질로 하였을 때 밀, 쌀 또는 땅콩보다 단위당 약 5

배의 AF을 생성했는데, coconut는 특히 lauric과 myristic acid를 많이 함유하고 있다<sup>53)</sup>.

#### 5) 식품(food substrates)

AF을 생성하는 곰팡이들은 대부분의 식품에서 성장하여 AF을 생성할 수 있다<sup>10)</sup>. 한편 기질의 조성에 따라 어떤 기질에서는 곰팡이는 잘 자라나 AF생성은 일어나지 않을 수도 있다<sup>54)</sup>. 그리고 어떤 기질에는 특수한 아미노산, 지방산, 아연 같은 것들이 있으므로 AF생성을 증가시킬 수도 있다<sup>17)</sup>.

AF을 생성하는 데는 고탄수화물 식품이 고단백이나 고지방식품들 보다 더 많은량의 AF을 생성한다. 농산물 같은 것들은 많은량의 탄수화물을 함유하고 있는데 농산물 또는 이들로 제조된 생식품들은 AF이 생성될 가능성이 있다<sup>2)</sup>. 농산물들 특히, 사탕수수, 땅콩, 옥수수, 밀, 쌀의 경우는 *A. flavus*균의 성장이 양호할 뿐 아니라 AF생성을 위해 매우 좋은 기질이며 그중 쌀은 가장 좋은 기질 중의 하나이다<sup>55)</sup>.

콩은 일반적으로 AF생성에 좋은 기질이 못 된다고 알려져 왔다. *A. flavus*<sup>56)</sup> 및 *A. parasiticus*<sup>54)</sup>는 콩에서 포자형성 및 성장은 왕성하였으나 AF생성은 아주 저조하였다. 그리고 콩에서 *A. flavus*는 AF을 생성하지 않았으나 *A. parasiticus*는 같은 조건하에서 AF을 생성했다고 한다<sup>56)</sup>. 한편, *A. parasiticus*는 콩(Bragg종)에서 많은량의 AF(48~138 µg/ml)을 생성했다는 보고가 있다<sup>18, 57)</sup>. 학자들은 콩이 AF생성에 좋지 않다고 했는데 그 이유는 AF생성에 필요한 아연이 콩에는 아주 미량 들어 있는데 이것조차도 phytic acid와 결합된 상태로 존재하여 AF생성에 쓰여질 수 없다는 것이다. 생콩에서는 AF생성이 없었으나 가압살균한 콩에서는 상당량의 AF이 생성되었다고 하였으며 이는 콩을 가압살균 함으로써 phytic acid를 파괴시켜 아연이 AF생성에 쓰여졌기 때문이라고 밝혔다<sup>58)</sup>.

#### 4. 결 언

AF은 농산물이나 가축 사료에 오염될 때 경제적인 손실은 물론 국민건강에 큰 문제를 주고 있다. AF의 생성은 대체적으로 지금까지 알려진 요인들에 의해 일어나지만 한가지만의 요인이 아니라 여러 요인들이 조합된 가운데 일어날 수 있다. AF의 오염과 생성을 방지하기 위해서는 곰팡이의 성장을 저지하는 것이 우선이 되어야 한다. 물론 곰팡이가 성장했다 해서 그것이 자동적으로 AF을 생성한다는 것은

아니다.

AF은 수분함량이 높을 때( $a_w$  0.95~0.99), 그리고 25~30°C온도에서 가장 많은 양을 생성하며, 저온 특히, 냉장온도에서는 AF을 생성하지 못한다. 싸이클링 온도는 AF생성을 경우에 따라 촉진시킬 수 있으며 산소의 함량을 낮추거나 CO<sub>2</sub>를 도입하거나 또 이들의 조합은 AF생성에 영향을 주고 있다.

가공식품에 있어서는 역시 낮은  $a_w$ , 저온(냉장온도) 또는 식품보존제, 진공포장 방법등을 도입하거나, 곰팡이의 포자나 균사의 가열이나 방사선 조사에 의해 불활성화 시킴으로써 AF의 오염을 방지할 수 있을 것이다. AF생성이 식품이나 가축사료에 이미 발생되면 물리적 또는 화학적 방법에 의해 파괴하거나 제거할 수도 있다. 예를 들어 흡착제, bisulfite, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>같은 산화제, 암모니아의 사용 또는 발효 방법에 의해 파괴시킬 수 있지만 완전한 파괴 여부는 확실치 않으며, 경제적인 것도 문제가 된다. 그러나 미량이라도 잔유하고 있는 AF은 유해하기 때문에 이들의 적용은 특수한 경우에만 이용할 수 있다.

#### 문 헌

1. Bullerman, L.B.: *J. Food Prot.*, **42**(1), 65 (1979)
2. Heathcote, J.C. and Hibbert, J.R.: In "*Aflatoxins: Chemical and Biological Aspects*", Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, (1978)
3. Blount, W.P.: *J. Brit. Turkey Fed.*, **9**(2): 52, 55, 61, 77(1961)
4. Wolf, H. and Jackson, E.W.: *Science*, **142** 676(1963)
5. Halver, J.E.: In "*Aflatoxin*" Ed. Goldblatt, L. A., Academic Press, New York, (1969)
6. Patterson, D.S.P.: In "*Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses*" Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, I, 136(1977)
7. Bennett, J.W., Lee, L.S., Shoss, S.M. and Boudreaux, G.H.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **39**, 835(1980)
8. Applebaum, R.S., Brackett, R.E., Wiseman, D.W. and Marth, E.H.: *J. Food Prot.*, **45**, 752(1982)



9. Singh, R. and Hsieh, D.P.H.: *Arch. Biochem. Biophys.*, **178**, 285(1977).
10. Uraguchi, K. and Yamazaki, M.: In "Toxicology: Biochemistry and Pathology of Mycotoxins" Kodansha Ltd., Tokyo, John Wiley & Sons, (1978)
11. Ciegler, A.: *Lloydia*, **38**, 21(1975).
12. Ames, B.N., Durston, W.E., Yamasaki, E. and Lee, F.D.: *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, **70**, 2281(1973)
13. Jarvis, B.: *J. Appl. Bact.*, **34**, 199(1971)
14. Park, K.Y.: Ph.D. Thesis, Univ. of Nebraska-Lincoln, U.S.A. (1982)
15. Diener, U.L. and Davis, N.D.: In "Aflatoxin", Academic Press, New York, 13(1969)
16. Panasenko, V.T.: *Bot. Rev.*, **33**, 189(1967)
17. Northolt, M.D. and Bullerman, L.B.: *J. Food Prot.*, **45**(6), 519(1982)
18. Davis, N.D. and Diener, U.L.: In "Proceedings of the first U.S.-Japan Conference on toxic microorganism", U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., 43(1970)
19. Diener, U.L. and Davis, N.D.: *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **44**, 259(1967)
20. Semeniuk, G.: In "Storage of Cereal Grains and their Products", Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN., II, 77(1954)
21. Reiss, J.: *European J. Appl. Microbiol.*, **2**, 183(1975)
22. Schindler, A.F., Palmer, J.G. and Eisenberg, W.V.: *Appl. Microbiol.*, **15**, 1006(1967)
23. Diener, U.L. and Davis, N.D.: *Phytopathology*, **56**, 1390(1966)
24. Schindler, A.F.: *J. Food Prot.*, **40**, 39 (1977)
25. Northolt, M.D., Verhülsdonk, C.A.H., Sorentero, P.S.S. and Pauseh, W.E.: *J. Milk Food Technol.*, **39**, 170(1976)
26. Schroeder, H.W. and Hein, H. Jr.: *Appl. Microbiol.*, **15**, 441(1967)
27. Sorenson, W.G., Hesseltine, C.W. and Shotwell, O.L.: *Mycopathol. Mycol. Appl.*, **33**, 49(1967)
28. van Walbeek, W., Clademenos, T. and Thatcher, F.S.: *Can. J. Microbiol.*, **15**, 629 (1969)
29. Schroeder, H.W. and Hein, H. Jr.: *Appl. Microbiol.*, **16**, 988(1968)
30. Stutz, H. K. and Krumperman, P.H.: *Appl. Microbiol.*, **32**, 327(1976)
31. Lin, Y.C., Ayres, J.C. and Koehler, P.E.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **40**, 333(1980)
32. Park, K.Y. and Bullerman, L.B.: *J. Food Sci.*, **46**, 1147(1981)
33. Park, K.Y. and Bullerman, L.B.: *J. Food Sci.*, **48**, 889(1983)
34. Davis, N.D., Diener, U.L. and Eldridge, D.W.: *Appl. Microbiol.*, **14**, 378(1966)
35. Landers, D.E., Davis, N.D. and Diener, U.L.: *Phytopathology*, **57**, 1086(1967)
36. Shih, C.N. and Marth, E.H.: *J. Milk Food Technol.*, **36**, 421(1973)
37. Tulpule, P., Manabe, M., Jemmali, M., Hamilton, P. and Patterson, D.: In "Mycotoxins", Pathotox Publishers Inc., 181(1977).
38. Boller, R.A. and Schroeder, H.W.: *Phytopathology*, **63**, 1507(1973)
39. Boller, R.A. and Schroeder, H.W.: *Phytopathology*, **64**, 121(1974)
40. Aldermann, G.G., Emeh, C.O. and Marth, E.H.: *Z. Lebensm. Unters-Forsch.*, **153**, 305(1973)
41. El-Gendy, S.M. and Marth, E.H.: *J. Food Prot.*, **44**, 211(1981)
42. Ciegler, A., Lillehoj, E.B., Peterson, R.E. and Hall, H.H.: *Appl. Microbiol.*, **14**, 934 (1966)
43. Buchanan, R.L. Jr. and Ayres, J.C.: *Appl. Microbiol.*, **30**, 1050(1975)
44. Lie, J.L. and Marth, E.H.: *J. Dairy Sci.*, **51**, 1743(1968)
45. Joffe, A.Z. and Lisker, N.: *Appl. Microbiol.*, **18**, 517(1969)
46. Lijinsky, W. and Butler, W.H.: *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, **123**, 151(1966)
47. Davis, N.D. and Diener, U.L.: *Appl. Microbiol.*, **16**, 158(1968)
48. Venkitasubramanian, T.A.: In "Mycotoxins"

- Pathotox Publishers, Inc. Park Forest South, MN., 83(1977)
49. Davis, N.D., Diener, U.L. and Agnihotri, V.P.: *Mycopathol. Mycol. Appl.*, **31**, 251 (1967)
50. Schultz, D.L. and Luedecke, L.O.: *J. Food Prot.*, **40**, 304(1977)
51. Alfin-Slater, R.: In "NIH Research Advances" U.S. Dept. of Health, Education and Welfare (1977)
52. Ciegler, A., Peterson, R.E., Lagoda, A.A. and Hall, H.H.: *Appl. Microbiol.*, **14**, 826 (1966)
53. Arseculeratne, S.N., DeSilva, L.M., Wijesundera, S. and Bandunatha, C.H.S.R.: *Appl. Microbiol.*, **18**, 88(1969)
54. Park, K.Y. and Bullerman, L.B.: *J. Food Prot.*, **46**, 178(1983)
55. Hesseltine, C.W., Shotwell, O.L., Ellis, J.J. and Stubblefield, R.D.: *Bacteriol. Rev.* **30**, 795(1966)
56. Chang, Y.H., Beng, C.H., Ponnappalam, J.T. and Lim, R.K.H.: *Far East Med. J.*, **2**, 298(1966)
57. Sherertz, P.C., Eadie, T., Young, J.W. and Llewellyn, G.C.: *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **59**, 662(1976)
58. Gupta, S. K. and Venkitasubramanian, T.A.: *Appl. Microbiol.*, **29**, 834(1975)