

## 돼지사료내 곰팡이독소의 오염 및 영양학적 해결방안

손아름<sup>†</sup>

건국대학교 동물자원과학과

(2018년 10월 15일 접수: 2018년 12월 21일 수정: 2018년 12월 21일 채택)

### Mycotoxin contaminations in swine diets and potential nutritional solutions

Ah Reum Son<sup>†</sup>

*Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea  
(Received October 15, 2018; Revised December 21, 2018; Accepted December 21, 2018)*

**요 약** : 곰팡이독소는 곰팡이의 2차 대사산물로 동물용 원료사료 중에서 특히 곡물 및 곡물부산물에서 가장 흔하게 발생한다. 돼지는 곰팡이독소에 대한 감수성이 다른 동물에 비해 높은 것으로 알려져 있다. 아플라톡신, 디옥시니발레놀 및 제랄레논은 동물용 원료사료에서 가장 흔하게 발생하는 곰팡이독소이며, 국내·외에서 허용기준을 설정하여 관리하고 있다. 곰팡이독소는 종류에 따라 서로 다른 독성작용을 가지지만 모두 면역체계를 표적으로 하며, 최종적으로 돼지의 성장저하를 초래한다. 따라서 곰팡이독소에 의한 피해를 최소화하기 위한 다양한 대책이 필요하다. 일반적으로 곰팡이독소에 오염된 사료를 섭취한 돼지는 사료 섭취량이 감소하며, 그 결과 증체량 저하가 발생한다. 사료섭취량 감소로 인한 필수영양소의 불충분한 공급은 영양소함량을 강화시킨 사료를 급여함으로써 증체량 감소를 최소화할 수 있다. 또한 곰팡이독소 저감제를 이용하여 곰팡이독소에 의한 피해를 저감시킬 수 있으나, 곰팡이독소의 종류 및 농도, 환경적 요인, 저감제의 종류 등에 따라 저감제 사용 효과에 대한 변이가 존재한다.

*주제어* : 사료, 곰팡이, 곰팡이독소 영양적 전략, 돼지

**Abstract** : In the present work, we reviewed feed mycotoxin-related research and provide potential strategies to overcome feed mycotoxin issues. Cereal grains and cereal byproducts are most easily contaminated by fungus. Fungi in feed ingredients produce secondary metabolites such as aflatoxin, deoxynivalenol, and zearalenone, which are commonly found in feed ingredients. These mycotoxins in animal feeds and ingredients are regulated in many countries. Dietary mycotoxins have detrimental effects on immune systems and growth performance in pigs. A major harmful effect of dietary mycotoxin is reduced feed intake, resulting in deficient energy and nutrient intake and eventually depressed growth of pigs. The reduced energy and nutrient intake may be overcome possibly by

---

<sup>†</sup>Corresponding author  
(E-mail: ardongja@naver.com)

increased energy and nutrient concentrations. Dietary supplementation of some mycotoxin binders may reduce the detrimental effects of mycotoxins. However, the effects of mycotoxin binders especially on deoxynivalenol and zearalenone have been reported to be variable depending on classes and concentration of mycotoxin, environmental condition, and type of mycotoxin binders.

*Keywords : Feedstuff, Fungi, Mycotoxin, Nutritional strategy, Pigs*

## 1. 서 론

곡물 또는 곡물부산물은 에너지 및 단백질 공급원으로써 동물사료에서 많은 부분을 차지한다. 하지만 곡물 원료사료는 생산 및 가공과정에서 곰팡이독소에 쉽게 오염된다[1]. 곰팡이독소는 곰팡이의 유독성 대사산물로서, 곡물에서 흔히 발생하는 곰팡이독소는 아플라톡신, 디옥시니발레놀 및 제랄레논 등이다. 곰팡이독소에 오염된 사료를 동물에게 급여할 경우 사료섭취량 저하 및 성장지체로 인하여 생산성을 저하시킬 수 있으며[2], 궁극적으로 경제적 손실을 초래할 수 있다.

돼지는 곰팡이독소에 상당히 민감한 동물로 분류된다[3]. 곰팡이독소에 오염된 사료를 돼지에게 급여할 경우 사료섭취량이 감소하고 이는 돼지의 성장지체를 초래한다[4]. 또한 사료내 곰팡이독소는 면역체계에도 해로운 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[5]. 곰팡이독소에 의한 피해를 예방하기 위해서는 원료사료 및 배합사료가 곰팡이독소에 오염되지 않도록 원천 차단하는 것이 가장 바람직한 방법이다. 하지만 곰팡이독소가 사료에 의도치 않게 유입된 경우나 현실적으로 비오염 배합사료를 생산하는 것이 불가능할 경우, 곰팡이독소에 의한 악영향을 최소화하는 것이 필요하다. 돼지의 장내에서 곰팡이독소가 작용하지 못하도록 물리적으로 차단하거나 곰팡이독소에 의한 성장지체를 영양적 보충을 통해 보상함으로써 곰팡이독소의 피해를 감소시킬 수 있다. 따라서 본고에서는 양돈사료에서 흔히 발생할 수 있는 곰팡이독소가 돼지에게 미치는 영향을 조사하고 사료내 곰팡이독소의 오염에 의한 문제를 극복할 수 있는 가능한 해결방안을 제시하는 것이다.

## 2. 사료내 곰팡이독소가 돼지에 미치는 영향

### 2.1. 아플라톡신(Aflatoxin)

아플라톡신은 곰팡이에서 자연적으로 발생하는 독소로 *Aspergillus* 속 곰팡이(*A. parasiticus*, *A. nomius*, *A. pseudotamarii* 및 *A. flavus*)의 2차 대사산물이며, 많은 사료용 농작물들에서 발생하여 동물의 건강에 해를 끼치는 물질이다[6].

사료내 아플라톡신은 돼지의 면역력 저하를 일으키는데, 이로 인해 살모넬라증 및 칸디다증과 같은 감염성 질병이 발생할 수 있다(Table 1). 또한 아플라톡신에 오염된 사료를 섭취한 돼지는 사료섭취량이 감소하고 성장이 둔화 된다[7, 8]. Mok 등(2013)은 사료내 아플라톡신의 농도에 따른 사료섭취량 및 증체율의 상대적 변화를 예측할 수 있는 추정식을 제시하였다(Fig. 1 and 2)[4]. 고농도의 아플라톡신을 동물이 섭취하는 경우에는 폐사에까지 이를 수 있다. 특정 곰팡이독소가 동물에게 미치는 영향을 평가하기 위해 정제된 형태의 곰팡이독소를 이용할 수 있다. 그러나 곰팡이독소에 오염된 곡류들은 일반적으로 한 가지 이상의 곰팡이독소에 오염되기 때문에, 일반적으로 정제된 곰팡이독소 보다 자연 발생된 곰팡이독소의 영향이 더 큰 것으로 알려져 있다[9]. 정제된 아플라톡신 1mg/kg에 노출된 돼지는 증체율이 약 20% 감소하였으나[10], 자연적으로 오염된 아플라톡신 0.9mg/kg를 섭취한 돼지는 증체율이 40% 이상 감소한 것으로 보고되었다[11].

Table 1. Symptoms in pigs fed diets containing aflatoxins

Symptoms	References
Increased liver weights	Rustemeyer 등(2010)[7] Weaver 등(2013)[12]
Increased kidney, spleen, and pancreas weights	Shi 등(2007)[13]
Altered serum globulin patterns	Weaver 등(2013)[12]
Increased albumin to globulin ratio and albumin level	Sun 등(2015)[14]
Decreased synthesis of pro-inflammatory cytokines	Marin 등(2002)[15]
Dysregulation of the antigen-presenting capacity of dendritic cells	Mehrzad 등(2014)[16]
Increased the severity of bacterial infection	Cysewski 등(1978)[17]
Decreased growth performance	Rustemeyer 등(2010) [7] Shin 등(2014)[8]

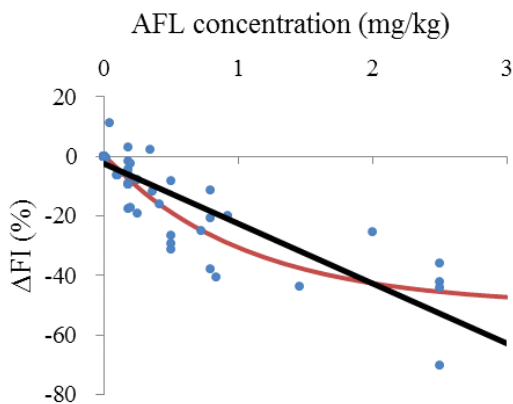


Fig. 1. Relative reduction in feed intake by dietary aflatoxin(AFL) concentration.  $\Delta FI(\%) = -24.9 \times AFL(\text{mg/kg}) - 1.7$  ( $R^2=0.70$ ,  $p<0.001$ );  $\Delta FI(\%) = 0.4 - 51.6 \times (1 - e^{-0.947 \times AFL})$  ( $R^2=0.79$ ,  $p<0.001$ ) ( $n = 83$ ; adapted from Mok 등(2013)[4])

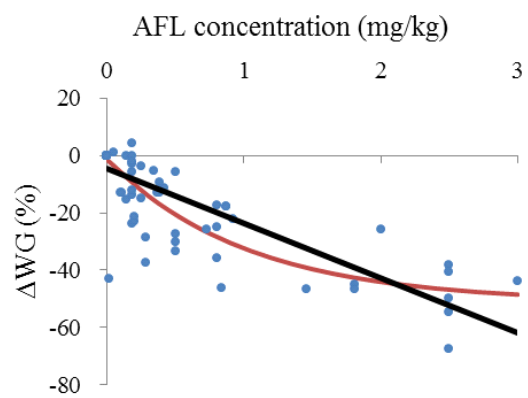


Fig. 2. Relative reduction in weight gain(WG) by dietary aflatoxin(AFL) concentration.  $\Delta WG(\%) = -22.7 \times AFL(\text{mg/kg}) - 4.0$  ( $R^2=0.62$ ,  $p<0.001$ );  $\Delta WG(\%) = -1.4 - 50.3 \times (1 - e^{-0.976 \times AFL})$  ( $R^2=0.69$ ,  $p<0.001$ ) ( $n = 83$ ; adapted from Mok 등(2013)[4])

국내의 배합사료내 아플라톡신 허용기준은 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 규제하고 있다(Table 2). 최근 연구에 따르면 아플라톡신 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 인 배합사료를 이유자돈에게 급여 시 성장저하를 유발시키

지 않았지만 혈소판 수, 혈장 알부민 및 칼슘 항상성에 부정적 영향을 주었다[14]. 하지만 비육돈에 있어 최대 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 까지는 성장에 영향이 없는 것으로 알려져 있다[18].

Table 2. Mycotoxin regulations for complete feeds of pigs in different countries

Country	Growth stage	Mycotoxin, ppb		
		Aflatoxin	Deoxynivalenol	Zearalenone
Republic of Korea <sup>1)</sup>	Weaned pig	10	900	100
	Growing pig	20	900	250
	Finishing pig	20	900	250
	Breeding pig	20	900	100
United States <sup>2)</sup>	Weaned pig	20	5,000	-
	Growing pig	20	5,000	-
	Finishing pig	20	5,000	-
	Breeding pig	20	5,000	-
European Union <sup>3)</sup>	Weaned pig	5	900	100
	Growing pig	20	900	250
	Finishing pig	20	900	250
	Breeding pig	20	900	100

<sup>1)</sup>The deoxynivalenol and zearalenone concentrations in Republic of Korea are recommended allowances.

<sup>2)</sup>Grain and grain by-products in deoxynivalenol.

<sup>3)</sup>The deoxynivalenol and zearalenone concentrations in European Union are guidance values.

Table 3. Symptoms in pigs fed diets containing deoxynivalenol

Symptoms	References
Vomiting	Pollmann 등(1985)[21] Rotter 등(1996)[22]
Increased viremia and lung viral load	Savard 등(2015)[23]
Increased gene expression (IL-12, TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , and IL-6)	Vandenbroucke 등(2011)[24]
Increased lung lesions and mortality	Savard 등 (2014)[25]
Found traces of deoxynivalenol in kidney, liver, spleen and heart tissues	Pollmann 등(1985)[21]
Decreased ileal digestibility of amino acid	Jo 등(2016)[20]
Decreased growth performance	Shin 등(2014)[8] Kong 등(2016)[26]

## 2.2. 디옥시니발레놀(Deoxynivalenol)

디옥시니발레놀은 trichothecenes 계열 중 가장 일반적인 독소로 *Fusarium* 속이 생성하는 유독성 대사산물이다. 사료내 디옥시니발레놀은 일반적으로 구토를 유발하기 때문에 보미독신(vomitoxin)이라 부르기도 한다[6]. 또한 디옥시니발레놀은 면역체계를 감퇴시켜 세균성 및 바이러스성 병원

균에 대한 민감성을 증가시킨다(Table 3). 장으로 흡수된 디옥시니발레놀은 세포벽에 존재하는 세포접합단백질(tight junction protein)의 발현을 감소시켜 장 상피세포를 손상시키며[19], 장 상피세포의 손상은 회장 아미노산 소화율에 악영향을 미칠 수 있다. 디옥시니발레놀의 농도가 10mg/kg인 사료를 섭취한 육성돈에서 일부 아미

노산의 소화율이 대조구에 비해 감소한 것이 보고되었다[20].

디옥시니발레놀에 오염된 사료를 섭취한 돼지는 사료섭취량이 감소한다. 세로토닌은 사료섭취량을 결정하는 주요 호르몬 중 하나인데, 디옥시니발레놀은 혈액내 세로토닌 농도를 증가시킨다[27]. 이러한 사료섭취량의 감소는 일반적으로 증체량 감소로 이어질 수 있다. Mok 등[4]은 사료내 디옥시니발레놀 농도가 사료섭취량의 상대적 변화 및 사양성적에 대한 추정식을 제시하였다(Fig. 3 and 4).

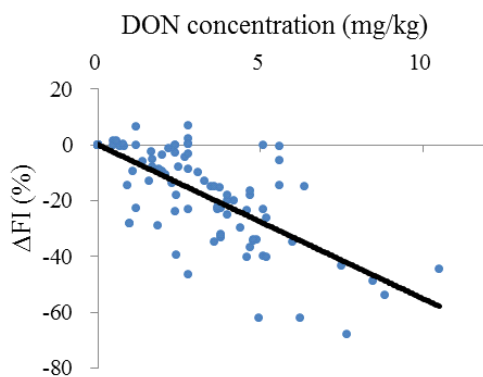


Fig. 3. Relative reduction in feed intake(FI) by dietary deoxynivalenol(DON) concentration.  $\Delta FI(\%) = -5.64 \times DON(mg/kg) - 0.13$  ( $R^2=0.60$ ,  $p<0.001$ ) ( $n = 117$ ; adapted from Mok 등(2013)[4])

사료내 곰팡이독소가 돼지의 사양성적에 미치는 영향은 독소의 농도, 돼지의 일령, 독소 노출 기간 및 독소형태 등에 따라 달라질 수 있다. 이 유자돈에서 아플라톡신( $120\mu g/kg$ ) 및 디옥시니발레놀( $600\mu g/kg$ )에 오염된 사료를 급여하였을 때, 사료 급여 3주 후에 성장 감소가 나타났다[28]. 또한 돼지에서 약 5%의 성장률 감소를 일으키는 곰팡이독소의 농도는 정제된 디옥시니발레놀의 경우  $1.8mg/kg$ , 자연 오염된 디옥시니발레놀의 경우  $0.6mg/kg$ 인 것으로 보고되었다[9]. 또한 디옥시니발레놀에 오염된 사료를 섭취한 기간이 길어질수록 돼지의 간 및 신장내 디옥시니발레놀의 양이 증가한다는 보고가 있다[29]. 국제연합식량농업기구에서는 양돈용 배합사료에 사용되는 곡

물 및 곡물부산물내 디옥시니발레놀의 농도를  $5mg/kg$ (FAO, 2003) 이내로 규제하고 있으며, 유럽식품안전국에서는 배합사료내 디옥시니발레놀의 허용 농도를  $0.9mg/kg$ (88% 건물 기준)으로 권장하고 있다[30]. 국내 사료관리법에서는 디옥시니발레놀은 규제가 아닌 권고 대상이며, 양돈용 배합사료내  $0.9 mg/kg$ 과 단미사료내  $10mg/kg$ 을 기준으로 관리를 권장하고 있다(Table 2).

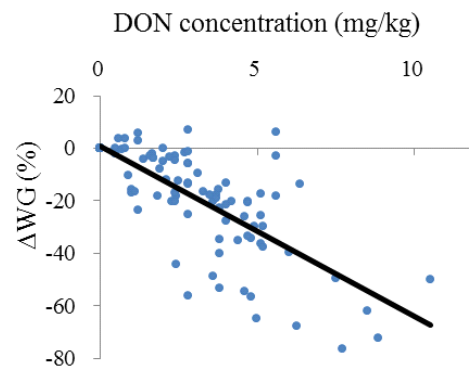


Fig. 4. Relative reduction in weight gain(WG) by dietary deoxynivalenol (DON) concentration.  $\Delta WG(\%) = -6.49 \times DON(mg/kg) + 0.93$  ( $R^2=0.61$ ,  $p<0.001$ ) ( $n = 117$ ; adapted from Mok 등(2013)[4])

### 2.3. 제랄레논(Zearalenone)

제랄레논은 디옥시니발레놀과 마찬가지로 *Fusarium* 속이 생성하는 독소 중 하나로 일반적으로 디옥시니발레놀과 함께 발생한다[6]. 제랄레논은 식물성 에스트로겐 물질을 포함하기 때문에 미경산돈의 생식기 및 비뇨기 시스템에 영향을 미칠 수 있으며, 임신돈이 제랄레논에 오염된 사료를 섭취할 경우 유산, 산자수 감소 및 위축돈 출산을 초래할 수 있다(Table 4). 이유 후 미경산돈에서 사료내 1.1 내지  $3.2mg/kg$ 의 제랄레논은 외음부의 팽창을 유발하는 것으로 보고되었다[31]. 하지만 최근 연구에서는 33.7 내지  $47.8\mu g/kg$ 의 제랄레논이 포함된 사료를 섭취한 미경산돈에서 외음부의 팽창을 발견할 수 없었다고 보고 했다[32]. 두 연구에서 서로 다른 결과를 보인 이유는 사료내 제랄레논의 농도차이 때문으로 보인다. 또한 사료내 제랄레논은 사양성적에 영향을

Table 4. Symptoms in pigs fed diets containing zearalenone

Symptoms	References
Weak piglets and small litter size	Prelusky 등(1994)[38]
Edematous swelling and reddening of vulva, prolapse of the vulva, ovarian follicle damage and abortions	Schoevers 등(2012)[39] Zinedine 등(2007)[40]
Vulva expansion	Jiang 등(2011)[31]
Increased oxidative stress	Wang 등(2012)[37]
Increased uterine weight	Young 등(1981)[33]
Increased the synthesis of the inflammatory cytokines IL-8 and IL-10	Marin 등(2015)[41]
Decreased growth performance	Shin 등(2014)[8] Kong 등(2015)[32]

미칠 수 있는데, 이전 연구에서 제랄레논(평균 3.8mg/kg)에 오염된 사료를 섭취한 돼지는 사료 섭취량이 약 16%, 증체율이 약 29% 감소하였다 [33-37]. 일반적으로 제랄레논은 생식 기능에 해로운 영향이 있으나 폐사는 일으키지 않는 것으로 알려져 있다.

### 3. 양돈사료내 곰팡이독소 극복 전략

#### 3.1. 영양소강화 사료

##### 3.1.1. 곰팡이독소 종류에 따른 돼지의 사료섭취량 변화 및 추정

양돈사료내 곰팡이독소의 오염은 일반적으로 사료섭취량 및 증체량 저하의 원인이 되는 것으로 알려져 있으며[11], 이는 경제적 손실로 이어진다[42]. 하지만 만약 사료내 곰팡이독소가 일으키는 생산성의 저하가 사료섭취량의 감소로 인한 필수 영양소 공급의 부족에 주로 기인한 것이라면, 사료내 영양소 함량을 높인 사료의 급여를 통하여 곰팡이독소의 오염으로 인한 생산성의 저하를 완화시킬 수 있을 것이다.

Nutrient Requirements of Swine[43]에서는 돼지의 정상적인 성장에 필요한 영양소의 요구량을 농도 및 일일섭취량으로 제시하고 있다. 농도기준으로 제시된 영양소 요구량의 경우에는 돼지의 일일사료섭취량 및 증체량 등을 고려하여 계산된 값이다. 따라서 곰팡이독소에 오염된 사료로 인해 사료섭취량이 감소할 경우 돼지가 하루에 섭취하

는 영양소의 양이 정상적인 성장을 하기에 충분하지 않게 되는 것이다. 곰팡이독소의 종류 및 농도에 따른 돼지의 사료섭취량의 감소량을 예측할 수 있는 추정식이 보고된 바 있으며 (Fig. 1 and 3; [4]), 사료섭취량의 감소를 보완할 수 있도록 사료내 영양소의 함량을 증가시키므로써 곰팡이독소의 부정적 영향을 일부 완화시킬 수 있을 것이다.

##### 3.1.2. 사료섭취량 감소에 따른 영양소강화 사료

NRC[43]에서 제시한 체중 50 내지 75kg인 육성돈의 영양소 요구량에 맞춘 사료의 배합비 및 주요 영양소 함량의 예시를 나타내었다(control diet in Table 5). 영양소 요구량은 돼지의 일일 사료섭취량을 2,118g/d, 일일증체량을 900g/d로 가정했을 때의 값이다.

사료내 아플라톡신의 농도가 0.34mg/kg라고 가정했을 때, 위에서 언급한 추정식[섭취량의 변화(%) =  $-24.9 \times \text{아플라톡신의 농도(mg/kg)} - 1.7$ ; Fig. 1]을 통하여 추정하면 약 10%의 사료섭취량의 감소(약 1,906g/d)를 예상할 수 있다. 사료섭취량의 감소로 인해 주요 필수 영양소들의 섭취량이 NRC[43]에서 제시한 일일요구량을 충족시킬 수 없다(Table 6).

사료내 아플라톡신의 영향으로 섭취량이 감소할 경우 일일영양소요구량에 비해 주요 필수영양소들의 섭취량이 부족하기 때문에 돼지에게 최적의 성장을 기대하기 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 예상되는 사료 섭취량을 기준으로 사료내 주요

Table 5. Ingredients and analyzed nutrient composition of complete diets in growing pigs<sup>1)</sup>  
(body weight=50 to 75kg; as-fed basis)

Item	Composition, %	
	Control	Aflatoxin-contaminated and nutrient-fortified diet <sup>2)</sup>
Ingredient		
Ground corn	57.29	54.76
Soybean meal, 45% crude protein	14.08	14.08
Ground wheat	8.00	8.00
Corn distillers grain with solubles	8.00	8.00
Canola meal	3.00	3.00
Defatted rice bran	3.00	3.00
Beef tallow	2.00	4.00
Molasses	2.00	2.00
Ground limestone	0.90	0.94
Dicalcium phosphate	0.70	0.92
L-Lysine-HCl	0.40	0.53
DL-Methionine	0.03	0.09
L-Threonine	0.09	0.17
Sodium chloride	0.30	0.30
Vitamin-mineral premix <sup>3)</sup>	0.20	0.20
Choline	0.01	0.01
Nutrient composition <sup>4),5)</sup>		
Metabolizable energy, kcal/kg	3,332	3,415
SID lysine	0.88	0.98
SID methionine	0.26	0.32
SID methionine+cystine	0.50	0.55
SID threonine	0.54	0.61
Total calcium	0.61	0.68
STTD phosphorus	0.28	0.32

<sup>1)</sup>Diets were formulated assuming a daily feed intake of 2,188g/d for control diet and 1,906g/d for aflatoxin-contaminated diet.

<sup>2)</sup>Concentration of aflatoxin in diet is 0.34mg/kg.

<sup>3)</sup>Provided the following quantities per kg of complete diet: vitamin A, 25,000IU; vitamin D<sub>3</sub>, 4,000IU; vitamin E, 50IU; vitamin K<sub>3</sub>, 5.0mg; thiamin, 4.9 mg; riboflavin, 10.0mg; pyridoxine, 4.9mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.06mg; pantothenic acid, 37.5mg; folic acid, 1.10mg; niacin, 62mg; biotin, 0.06mg; Cu, 25mg as copper sulfate; Fe, 268mg as iron sulfate; I, 5.0mg as potassium iodate; Mn, 125mg as manganese sulfate; Se, 0.38mg as sodium selenite; Zn, 313mg as zinc oxide; and butylated hydroxy toluene, 50mg.

<sup>4)</sup>Nutrient composition is calculated on the basis of the nutrient contents of each ingredient provided by NRC(2012).

<sup>5)</sup>SID, standardized ileal digestible; STTD, standardized total tract digestible.

Table 6. Daily energy and nutrient requirements and intake in aflatoxin-contaminated growing pig diets<sup>1)</sup>(body weight=50 to 75kg; as-fed basis)

Item <sup>2)</sup>	Requirement <sup>3)</sup> (NRC, 2012)	Control <sup>4)</sup>	Aflatoxin-contamination <sup>5)</sup>
Metabolizable energy, kcal/kg	6,989	7,057	6,351
SID lysine	17.9	18.7	16.9
SID methionine	5.20	5.59	5.03
SID methionine+cystine	10.2	10.6	9.49
SID threonine	11.1	11.4	10.3
Total calcium	12.4	12.9	11.6
STTD phosphorus	5.78	6.02	5.42

<sup>1)</sup>Daily nutrient intake was calculated assuming a daily feed intake of 2,188g/d for the control diet and 1,906g/d for the aflatoxin-contaminated diet.

<sup>2)</sup>SID, standardized ileal digestible; STTD, standardized total tract digestible.

<sup>3)</sup>Metabolizable energy is calculated by the predicted feed intake (Fig. 1)

<sup>4)</sup>Calculated based on the nutrient composition in the Table 5 and estimated feed intake.

<sup>5)</sup>Concentration of aflatoxin in diet is 0.34mg/kg.

Table 7. Daily energy and nutrient intake from aflatoxin-contaminated and nutrient-fortified diets by growing pigs<sup>1),2)</sup>(body weight=50 to 75kg; as-fed basis)

Item <sup>3)</sup>	Control	Aflatoxin-contaminated and nutrient-fortified diet <sup>4)</sup>
Metabolizable energy, kcal/kg	7,057	6,509
SID lysine	18.7	18.7
SID methionine	5.59	6.10
SID methionine+cystine	10.6	10.5
SID threonine	11.4	11.7
Total calcium	12.9	12.9
STTD phosphorus	6.02	6.02

<sup>1)</sup>Daily nutrient intake was calculated assuming a daily feed intake of 2,188g/d for the control diet and 1,906g/d for the aflatoxin-contaminated diet.

<sup>2)</sup>Calculated based on the nutrient composition in the Table 5 and estimated feed intake.

<sup>3)</sup>SID, standardized ileal digestible; STTD, standardized total tract digestible.

<sup>4)</sup>Concentration of aflatoxin in diet is 0.34mg/kg.

주요 영양소 함량을 높인다면, 사료섭취량이 감소하더라도 NRC[43]에서 제시하는 일일영양소요구량 또는 아플라톡신에 오염되지 않은 사료를 섭취한 돼지와 유사한 수준까지 일일영양소의 섭취량을 높일 수 있다(Table 7).

### 3.2. 곰팡이독소 저감제 사용

양돈사료에서는 곰팡이독소가 돼지에 미치는 악영향을 최소화하기 위한 전략으로 저감제를 사료에 첨가하는 방법을 널리 이용하고 있다. 하지만 사료내 곰팡이독소의 종류, 독소의 농도 및 환경적 요인 등에 따라 저감제 사용 효과에 대한



변이가 존재한다. 곰팡이독소 저감제는 벤토나이트(bentonite), 몬모릴로나이트(montmorillonite), 제올라이트(zeolites), 효모(yeast) 유래 제품 등으로 구분할 수 있으며, 이들을 혼합한 제품이나 곰팡이독소를 독성이 없는 물질로 변환시키는 효소제 제품도 있다. 곰팡이독소의 흡착률은 저감제의 종류 및 곰팡이독소의 종류에 따라 달라질 수 있다[44]. 동물실험을 통한 곰팡이독소 저감제의 효과는 기존 연구결과에서 일관성이 없게 나타났다. 곰팡이독소 흡착제의 첨가로 곰팡이독소에 의해 감소한 사양성적을 개선시키는 효과를 보고하였다[12, 45]. 디옥시니발레놀의 농도가 3 ppm인 이유자돈 사료에 곰팡이독소 저감제로써 사과박을 8% 사용하였을 때, 사료효율 개선효과가 있었다[45]. 아플라톡신 및 디옥시니발레놀의 농도가 각각 0.15mg/kg 및 1.1 mg/kg인 사료를 먹은 이유자돈에서 점토(clay) 또는 점토 및 효모의 혼합제품을 1.1 내지 2mg/kg을 첨가할 때, 곰팡이독소 오염에 의한 사양성적 감소를 일부 보완할 수 있는 것으로 나타났다[12]. 또한 곰팡이독소 흡착제의 첨가로 혈청내 면역글로불린의 농도가 감소했다는 연구결과도 있다[46]. 하지만 다른 연구에서는 *Fusarium*계 곰팡이독소에 의해 감소한 사양성적을 사료내 곰팡이독소 흡착제의 첨가로 개선하는 효과를 발견하지 못했다[26, 47, 48]. 디옥시니발레놀의 농도가 4mg/kg인 사료에 부식물질(humic substance) 5mg/kg을 첨가하였을 때 곰팡이독소에 의해 감소한 이유자돈의 사양성적이 개선되지 않았다[47]. 디옥시니발레놀의 농도가 4 내지 6mg/kg인 사료에 벤토나이트, 효모벽제품, 또는 혼합제품을 0.2 내지 0.5% 첨가하였을 때, 곰팡이독소에 의해 감소한 육성·비육돈의 사양성적을 개선을 발견하지 못했다 [26, 48]. 체외실험(*in vitro*) 연구결과에서는 벤토나이트, 효모벽, 활성탄 및 혼합 제품은 아플라톡신에 흡착 효과가 있었으나 셀룰로오스 계열 저감제는 거의 효과가 없었다. 또한 디옥시니발레놀의 경우에는 독소저감제의 종류에 상관없이 저감효과가 거의 없는 것으로 나타났다[44].

벤토나이트는 화산재의 풍화작용으로 만들어진 물질로 상호 교환 가능한 양이온 구성을 바탕으로 칼슘, 마그네슘, 칼륨 및 나트륨 벤토나이트로 분류할 수 있다[6]. 벤토나이트의 이온교환능력을 이용한 곰팡이독소 저감제가 널리 사용되고 있다. 최근연구에 따르면, 아플라톡신이 170ppb 포함된

사료에 나트륨 벤토나이트를 2% 첨가했을 때, 산란계의 사료섭취량 및 산란능력이 개선되었다는 보고가 있다[49]. 몬모릴로나이트는 벤토나이트의 주요 구성성분으로, 2개의 규산염 4면체가 알루미늄-산소 팔면체를 사이에 두고 2:1 구성을 가지고 있다[50]. 벤토나이트내 몬모릴로나이트의 존재가 곰팡이독소 저감능력에 많은 부분을 기여하며, 몬모릴로나이트 단독으로 있을 때 더 강한 곰팡이독소 흡착능력을 나타낸다고 알려져 있다[3]. 또한 몬모릴로나이트는 특히 아플라톡신에 강한 흡착력을 나타내며, 0.1 내지 2.0%까지 사료내 첨가하였을 때, 다양한 동물 및 어류의 성장을 개선했다고 보고했다[50]. 제올라이트는 구조적인 변화 없이 양이온을 교환할 수 있고, 물과 암모니아 같이 상대적으로 큰 분자들을 흡착할 수 있는 공간을 가지고 있다[6]. 또한 곰팡이독소 중에서 아플라톡신에 대한 제올라이트의 흡착능력이 뛰어난 것으로 알려져 있다[51].

#### 4. 결론

동물용 원료사료에서 가장 흔하게 발생하는 곰팡이독소는 아플라톡신, 디옥시니발레놀 및 제랄레논이다. 곰팡이독소는 종류에 따라 서로 다른 독성작용을 가지지만 일반적으로 면역체계 및 성장에 부정적인 영향을 초래한다. 따라서 곰팡이독소에 의한 피해를 최소화하기 위한 다양한 대책이 필요하다. 영양소함량을 강화한 사료를 급여함으로써 사료섭취량 감소로 인한 필수영양소의 불충분한 공급을 방지하고 증체량 감소를 최소화할 수 있다. 또한 곰팡이독소 저감제를 이용하여 곰팡이독소에 의한 피해를 저감시킬 수 있다. 하지만 곰팡이독소의 종류 및 농도, 환경적 요인, 저감제의 종류 등에 따라 저감제 사용 효과에 대한 변이가 존재하므로 곰팡이독소 저감제 사용시 주의가 필요하다. 또한 사료를 통해 섭취한 곰팡이독소가 돼지고기 및 가식부위에 잔류 및 축적될 가능성이 존재하나 이와 관련된 연구가 부족한 실정이다. 따라서 향후 동물사료내 아플라톡신 및 디옥시니발레놀과 같은 곰팡이독소의 농도 및 급여기간에 따른 돼지 체내 축적률 및 잔류특성에 관한 많은 연구가 필요하다.

## References

1. L. Pinotti, M. Ottoboni, C. Giromini, V. Dell'Orto, F. Cheli, "Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: A focus on cereal byproducts", *Toxins*, Vol.8, No.2, pp. 45-69, (2016).
2. J. L. Richard, "Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—an overview", *Int. J. Food Microbiol.*, Vol.119, No.1-2, pp. 3-10, (2007).
3. A. C. Chaytor, J. A. Hansen, E. van Heugten, M. T. See, S. W. Kim, "Occurrence and decontamination of mycotoxins in swine feed", *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, Vol.24, No.5, pp. 723-738, (2011).
4. C. H. Mok, S. Y. Shin, B. G. Kim, "Aflatoxin, deoxynivalenol, and zearalenone in swine diets: Predictions on growth performance", *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*, Vol.26, No.4, pp. 243-254, (2013).
5. A. Pierron, I. Alassane-Kpembi, I. P. Oswald, "Impact of mycotoxin on immune response and consequences for pig health", *Anim. Nutr.*, Vol.2, No.2, pp. 63-68, (2016).
6. D. E. Diaz, T. K. Smith, *The Mycotoxin Blue Book*. Nottingham University Press, Nottingham, United Kingdom, (2005).
7. S. M. Rustemeyer, W. R. Lamberson, D. R. Ledoux, G. E. Rottinghaus, D. P. Shaw, R. R. Cockru, K. L. Kessler, K. J. Austin, K. M. Cammack, "Effects of dietary aflatoxin on the health and performance of growing barrows", *J. Anim. Sci.*, Vol.88, No.11, pp. 3624-3630, (2010).
8. S. Y. Shin, C. Kong, I. H. Kim, B. G. Kim, "Effects of naturally produced dietary fusarium mycotoxins on weaning pigs", *Am. J. Anim. Vet. Sci.*, Vol.9, No.2, pp. 105-109, (2014).
9. Y. Dersjant-Li, M. W. A. Verstegen, W. J. J. Gerrits, "The impact of low concentrations of aflatoxin, deoxynivalenol or fumonisin in diets on growing pigs and poultry", *Nutr. Res. Rev.* Vol.16, No.2, pp. 223-239, (2003).
10. B. H. Armbricht, H. G., Wiseman, W. T. Shalkop, J. N. Geleta, "Swine aflatoxicosis. 1. An assessment of growth efficiency and other responses in growing pigs fed aflatoxin", *Environ. Physiol. Biochem.* Vol.1, pp. 198-208, (1971).
11. M. D. Lindemann, D. L. Blodgett, E. T. Kornegay, G. G. Schurig, "Potential ameliorators of a aflatoxicosis in weanling/growing swine", *J. Anim. Sci.*, Vol.71, No.1, pp. 171-178, (1993).
12. A. C. Weaver, M. T. See, J. A. Hansen, Y. B. Kim, A. L. P. De Souza, T. F. Middleton, S. W. Kim, "The use of feed additives to reduce the effects of aflatoxin and deoxynivalenol on pig growth, organ health and immune status during chronic exposure", *Toxins*, Vol.5, No.7, pp. 1261-1281, (2013).
13. Y. H. Shi, Z. R. Xu, C. Z. Wang, "Effects of aflatoxin on growth performance and immunology and antioxidant indices in pigs", *Chin. J. Vet. Sci.*, Vol.27, No.5, pp. 733-736. (2007).
14. Y. Sun, I. Park, J. Guo, A. C. Weaver, S. W. Kim, "Impacts of low level aflatoxin in feed and the use of modified yeast cell wall extract on growth and health of nursery pigs", *Anim. Nutr.*, Vol.1, No.3, pp. 177-183, (2015).
15. D. E. Marin, I. Taranu, R. P. Bunaciu, F. Pascale, D. S. Tudor, N. Avram, M. Sarca, I. Cureu, R. D. Criste, V. Suta, I. P. Oswald, "Changes in performance, blood parameters, humoral and cellular immune responses in weanling piglets exposed to low doses of aflatoxin", *J. Anim. Sci.*, Vol.80, No.5, pp. 1250-1257, (2002).
16. J. Mehrzad, B. Devriendt, K. Baert, E. Cox, "Aflatoxin B(1) interferes with the

- antigen presenting capacity of porcine dendritic cells”, *Toxicol. in vitro*, Vol.28, No.4, pp. 531–537, (2014).
17. S. J. Cysewski, R. L. Wood, A. C. Pier, A. L. Baetz, “Effects of aflatoxin on the development of acquired immunity to swine erysipelas”, *Am. J. Vet. Res.*, Vol.39, No.3, pp. 445–448, (1978).
  18. FAO. *Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, (2004).
  19. P. Pinton, C. Braicu, J-P. Nougayrede, J. Laffitte, I. Taranu, I. P. Oswald, “Deoxynivalenol impairs porcine intestinal barrier function and decreases the protein expression of claudin-4 through a mitogen-activated protein kinase-dependent mechanism”, *J. Nutr.*, Vol.140, No.11, pp. 1956–1962, (2010).
  20. H. Jo, C. Kong, M. Song, B. G. Kim, “Effects of dietary deoxynivalenol and zearalenone on apparent ileal digestibility of amino acids in growing pigs”, *Anim. Feed Sci. Technol.*, Vol.219, No.9, pp. 77–82, (2016).
  21. D. S. Pollmann, B. A. Koch, L. M. Seitz, H. E. Mohr, G. A. Kennedy, “Deoxynivalenol-contaminated wheat in swine diets”, *J. Anim. Sci.*, Vol.60, No.1, pp. 239–247, (1985).
  22. B. A. Rotter, D. B. Prelusky, J. J. Pestka, “Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin)”, *J. Toxicol. Environ. Health*, Vol.48, No.1, pp. 1–34, (1996).
  23. C. Savard, C. Provost, F. Alvarez, V. Pinilla, N. Music, M. Jacques, C. A. Gagnon, Y. Chorfi, “Effect of deoxynivalenol (DON) mycotoxin on *in vivo* and *in vitro* porcine circovirus type 2 infections”, *Vet. Microbiol.*, Vol.176, No.3–4, pp. 257–267, (2015).
  24. V. Vandebroucke, S. Croubels, A. Martel, E. Verbrugghe, J. Goossens, K. V. Deun, F. Boyen, A. Thompson, N. Shearer, P. D. Backer, F. Haesebrouck, F. Pasmans, “The mycotoxin deoxynivalenol potentiates intestinal inflammation by *salmonella typhimurium* in porcine ileal loops”, *PLoS One*, Vol.6, No.8, p. e23871, (2011).
  25. C. Savard, V. Pinilla, C. Provost, C. A. Gagnon, Y. Chorfi, “*In vivo* effect of deoxynivalenol (DON) naturally contaminated feed on porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) infection”, *Vet. Microbiol.*, Vol.174, No.3–4, pp. 419–426, (2014).
  26. C. Kong, C. S. Park, B. G. Kim, “Evaluation of a mycotoxin adsorbent in swine diets containing barley naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins”, *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*, Vol.29, No.3, pp. 169–177, (2016).
  27. Y. H. Cheng, C. F. Weng, B. J. Chen, M. H. Chang, “Toxicity of different *Fusarium* mycotoxins on growth performance, immune responses and efficacy of a mycotoxin degrading enzyme in pigs”, *Anim. Res.*, Vol.55, No.6, pp. 579–590. (2006).
  28. A. C. Chaytor, M. T. See, J. A. Hansen, A. L. P. de Souza, T. F. Middleton, S. W. Kim, “Effects of chronic exposure of diets with reduced concentrations of aflatoxin and deoxynivalenol on growth and immune status of pigs”, *J. Anim. Sci.*, Vol.89, No.1, pp. 124–135, (2011).
  29. A. R. Son, B. G. Kim, “Effects of naturally produced dietary deoxynivalenol on growing pigs”, *14th International Symposium on Digestive Physiology of Pigs. Book of Abstracts*, p. 121, (2018)
  30. European Food Safety Authority (EFSA), “Deoxynivalenol in food and feed: occurrence and exposure”, *EFSA J.*, Vol.11, No.10, p. 3379, (2013).
  31. S. Z. Jiang, Z. B. Yang, W. R. Yang, J. Gao, F. X. Liu, J. Broomhead, F. Chi, “Effects of purified zearalenone on growth performance, organ size, serum metabolites,

- and oxidative stress in postweaning gilts”, *J. Anim. Sci.*, Vol.89, No.10, pp. 3008–3015, (2011).
32. C. Kong, S. Y. Shin, C. S. Park, B. G. Kim, “Effects of feeding barley naturally contaminated with fusarium mycotoxins on growth performance, nutrient digestibility, and blood chemistry of gilts and growth recoveries by feeding a non-contaminated diet”, *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, Vol.28, No.5, pp. 662–670, (2015).
  33. L. G. Young, R. F. Vesonder, H. S. Funnell, I. Simons, B. Wilcock, “Moldy corn in diets of swine”, *J. Anim. Sci.*, Vol.52, No.6, pp. 1312–1318, (1981).
  34. K. C. Williams, B. J. Blaney, “Effect of the mycotoxins, nivalenol and zearalenone, in maize naturally infected with usarium graminearum on the performance of growing and pregnant pigs”, *Aust. J. Agric. Res.*, Vol.45, No.6, pp. 1265–1279, (1994).
  35. M. Šperanda, B. Liker, T. Šperanda, V. Šerić, Z. Antunović, Ž. Grabarević, Đ. Senčić, D. Grgurić, Z. Steiner, “Haematological and biochemical parameters of weaned piglets fed on fodder mixture contaminated by zearalenone with addition of clinoptilolite”, *Acta. Vet. Beograd.*, Vol.56, No.2–3, pp. 121–136, (2006).
  36. S. Z. Jiang, Z. B. Yang, W. R. Yang, F. X. Liu, L. A. Johnston, F. Chi, Y. Wang, “Effect of purified zearalenone with or without modified montmorillonite on nutrient availability, genital organs and serum hormones in post-weaning piglets”, *Livest. Sci.*, Vol.144, No.1–2, pp. 110–118, (2012).
  37. J. P. Wang, F. Chi, I. H. Kim, “Effects of montmorillonite clay on growth performance, nutrient digestibility, vulva size, faecal microflora, and oxidative stress in weaning gilts challenged with zearalenone”, *Anim. Feed Sci. Technol.*, Vol.178, No.3–4, pp. 158–166, (2012).
  38. D. B. Prelusky, B. A. Rotter, R. G. Rotter, Toxicology of mycotoxins. In: Miller, J. D. and Trenholm, H. L. (Eds.), *Mycotoxins in Grain-Compounds other than Aflatoxin*. pp. 359–403, Eagan Press, St. Paul, MN, USA, (1994).
  39. E. J. Schoevers, R. R. Santos, B. Colenbrander, J. Fink-Gremmels, B. A. J. Roelen, “Transgenerational toxicity of zearalenone in pigs”, *Reprod. Toxicol.*, Vol.34, No.1, pp. 110–119, (2012).
  40. A. Zinedine, J. M. Soriano, J. C. Molto, J. Manes, “Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin”, *Food Chem. Toxicol.*, Vol.45, No.1, pp. 1–18, (2007).
  41. D. E. Marin, M. Motiu, I. Taranu, “Food contaminant zearalenone and Its metabolites affect cytokine synthesis and intestinal epithelial integrity of porcine cells”, *Toxins*, Vol.7, No.6, pp. 1979–1988, (2015).
  42. L. R. Shull, P. R. Cheeke, “Effects of synthetic and natural toxicants on livestock”, *J. Anim. Sci.*, Vol.57, No.Suppl. 2, pp. 330–354, (1983).
  43. National Research Council (NRC). *Nutrient requirements of swine*. 11th ed. National Academy Press, Washington, DC, USA, (2012).
  44. C. Kong, S. Y. Shin, B. G. Kim, “Evaluation of mycotoxin sequestering agents for aflatoxin and deoxynivalenol: an *in vitro* approach”, *SpringerPlus*, Vol.3, p. 346, (2014).
  45. A. Gutzwiller, L. Czegledi, P. Stoll, L. Bruckner, “Effects of Fusarium toxins on growth, humoral immune response and internal organs in weaner pigs, and the efficacy of apple pomace as an antidote”, *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, Vol.91, No.9–10, pp. 432–438, (2007).
  46. H. V. L. N. Swamy, T. K. Smith, E. J.

- MacDonald, H. J. Boermans, E. J. Squires, "Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins on swine performance, brain regional neurochemistry, and serum chemistry and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent", *J. Anim. Sci.*, Vol.80, No.12, pp. 3257-3267, (2002).
47. S. Dänicke, H. Valenta, S. Kersten, "Humic substances failed to prevent the systemic absorption of deoxynivalenol (DON) and its adverse effects on piglets", *Mycotoxin Res.*, Vol.28, No.4, pp. 253-260, (2012).
48. K. R. Park, W. B. Kwon, C. Kong, B. G. Kim, "The effects of mycotoxin binder on growth performance and utilization of nutrients in growing pigs", *Proceedings of 2015 Annual Congress of KSAST. June 25-26. Korean Society of Animal Science and Technology*. Korea, p. 55, (2015).
49. H. Gul, S. Khan, Z. Shan, S. Ahmad, M. Israr, M. Hussain, "Effects of local sodium bentonite as aflatoxin binder and its effects on production performance of laying hens", *Kafkas Univ. Vet. Fak.*, Vol.23, No.1, pp. 31-37, (2017).
50. Y. Li, G. Tian, G. Dong, S. Bai, X. Han, J. Liang, J. Meng, H. Zhang, "Research progress on the raw and modified montmorillonites as adsorbents for mycotoxins: A review", *Appl. Clay Sci.*, Vol.163, pp. 299-311, (2018).
51. A-J. Ramos, J. Fink-Gremmels, E. Hernandez, "Prevention of toxic effects of mycotoxins by means of nonnutritive adsorbent compounds", *J. Food Prot.*, Vol.59, No.6, pp. 631-641, (1996).