자돈사료에 첨가되는 산화아연 첨가량 저감을 위한 지방피복 산화아연제의 효과 연구



이 철 영 교수
경남과학기술대학교
동물소재공학과

생체에서 아연(Zn)의 이용

• 300개 이상 효소의 보조인자(co-factor)
- DNA & RNA 중합효소(polymerases)
- 전달효소(transferases) & 소화효소
- Superoxide dismutase
- 기타

• 결핍증
- 피부 각질화(parakeratosis)
- 암퇘지의 분만 시간 증가, 산자수 및 생시체중 감소
- 정낭, 세정관 및 흉선 발달 저하
- 성장 저하

057-158 본문2.indd 70 2019-10-28 오후 1:35:47

아연의 공급과 흡수

• 아연제
- 무기태: 산화아연(ZnO), 황산아연(ZnSO4)
- 유기태: 대부분 Zn-amino acid 혹은 Zn-peptide 형태
- 사료원료와 결합된 Zn: 저농도의 피틴태 (phytate form; 저이용성)

• 아연의 이용성
- 무기태: 대부분 위산에 의해 Zn^{2+}로 이온화
- Zn^{2+}는 다양한 음이온과 결합(↓ 이용성)
- 75-90%의 Zn은 소장에서 흡수되지 않고 분으로 배출

산화아연(zinc oxide; ZnO)의 특성

• 물리화학적 특성
- 백색 분말(불순물 함량에 따라 가변적)
- 분자량: 81.4(Zn 함량: 80%)



• 산 및 염과 반응(amphoteric)
- $ZnO + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2O$
- $ZnO + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]$

• 항미생물(antibacterial) 효과

057-158 본문2.indd 71 2019-10-28 오후 1:35:47

자돈 사료에 첨가되는 산화아연의 효과 및 문제점

- 첨가수준: (이유)자돈사료에 한해 2,500ppm 허용(여타 사료: 150ppm 이하)
- 효과[항생제에 필적(항생제와 같이 투여하면 상승효과)]
  - ↓ 설사
  - ↑ 증체율 & 사료효율
  - ↑ 장 상피조직의 성장 및 흡수융모(villus) 구조의 견실성
    - ↑ 장상피의 성장을 촉진하는 insulin-like growth factor-1 발현
    - ↑ 융모 높이; ↓ 음와 깊이(불균일한 효과); 소화효소 활성에는 '+' 혹은 '0' 효과
  - ↑ 장의 면역기능
    - ↑ 봉합접촉(tight junction) 단백질(occludin & zonula occludens protein-1) 발현
      ⇒ ↓ 장의 세균 투과성 ⇒ ↓ 장을 통한 세균감염
    - ↓ 염증반응 유발 cytokines[tumor necrosis factor-α & interleukin (IL)-6) 발현
    - ↑ 염증반응을 억제하는 cytokine인 transforming growth factor-β 발현
    - ↓ 장내 대장균 감염(항미생물 작용) 및 장내 공생 미생물 분포 개선
- 문제점: 분을 통한 Zn 배출(환경오염 위험↑)
  [EU: 150ppm으로 제한]

산화아연 가공방법과 가공의 효과

- 목적: ↑ 위에서 이온화되지 않고 장으로 ZnO 상태로 운반
- 가공 방법
  - Coating(위에서의 이온화 방지): 지방 혹은 미지의 물질로 ZnO 입자 코팅
  - 다공성 ZnO 제조: ZnO 입자의 표면적을 넓혀 작용면적을 극대화
  - Clay mineral(유사물) carrier를 이용
    : Montmorillonite(MMT)-ZnO hybrid
    : Zeolite support에 ZnO를 'loading'
- 기타: Nano-ZnO[항미생물 작용 극대화(in vitro)]
- 가공 효과: 대체로 ZnO보다 높은 효과

057-158 본문2.indd 72 2019-10-28 오후 1:35:47

생산조건 하에서 이유자돈 사료에 첨가된 지방(10%) 피복[lipid-coated (LC)] ZnO의 효과

실험 I. 저 설사발생률 농장에서 대 돈방(34두) 단위 실험(A농장)
(Park 등, Journal of Animal Feed Science and Technology 200:112-117(2015)

실험 II. 저 설사발생률 농장에서 소 돈방(10두) 단위 실험(A농장)
실험 III. 고 설사발생률 농장에서 소 돈방 (8두) 단위 실험(B농장)
(Byun 등, Journal of Animal Science and Technology 60:5(2018)

저 설사율-대 돈방 농장 조건에서 LC ZnO의 효과 - 실험 I

증체율: ZnO-100 < LC ZnO 100 < ZnO-2,500

설사지수: ZnO-100 = LC ZnO-100 > ZnO-2,500

■ 21일령 이유자돈의 2주간의 성장성적 및 설사지수[1)]

항 목	ZnO (Zn 공급 수준(ppm))		LC ZnO (ppm Zn)	표준오차	확률값 (P-value)
	100	2,500	100		
개시체중, kg	6.19	6.12	6.25	0.07	0.47
종료체중, kg	8.76^{b}	9.41^{a}	9.16^{a}	0.11	0.01
일당증체량, g/일	184^{c}	235^{a}	207^{b}	4	<0.01
사료섭취량, g/일	309^{b}	367^{a}	326^{b}	9	<0.01
사료효율, 증체량:섭취량	0.594	0.642	0.637	0.014	0.09
설사지수[2)]	1.31^{a}	1.06^{b}	1.30^{a}	0.05	<0.01

1)4돈방/실험구; 34두/돈방.
2)1, 정상 변; 2, 무른 변; 3, 설사.
a,b,c공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름($P < 0.05$).

057-158 본문2.indd 73 2019-10-28 오후 1:35:47

저 설사율-대 돈방 농장 조건에서 LC ZnO의 효과 - 계속(실험 I)

혈액 & 간의 Zn 농도: ZnO-100 = LC ZnO-100 < ZnO-2,500
소장 융모(villus) 구조의 견실성: ZnO-100 = ZnO-2,500 = LC ZnO-100

■ 2주 사양시험 종료시 생체내 Zn 농도 및 소장 흡수융모의 구조[1)]

항 목		ZnO [Zn 공급 수준 (ppm)]		LC ZnO (ppm Zn)	표준오차	확률값 (P-value)
		100	2,500	100		
혈중 Zn 농도, mg/L		1.48b	2.47[a]	1.77b	0.13	<0.01
간의 Zn 농도, mg/kg		56.3b	311.1[a]	54.2b	9.7	<0.01
십이지장 융모 높이, μm		431	447	418	21	0.62
	음와 깊이, μm	287	325	319	13	0.12
	높이:깊이	1.54	1.39	1.31	0.06	0.07
공장	융모 높이, μm	409	365	350	21	0.17
	음와 깊이, μm	283	283	272	19	0.89
	높이:깊이	1.48	1.30	1.33	0.09	0.36
회장	융모 높이, μm	353	347	331	19	0.69
	음와 깊이, μm	289	286	265	13	0.49
	높이:깊이	1.29	1.21	1.27	0.06	0.63

1)8두/실험구.
a,b공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름(P < 0.05).

ZnO-100 = ZnO-2,500 = LC ZnO-100

■ 소화효소 활성에 미친 영향[단위: μmol end product·mg protein-1·min-1][1)]

항 목		ZnO (Zn 공급 수준(ppm)]		LC ZnO (ppm Zn)	표준오차	확률값 (P-value)
		100	2,500	100		
십이지장	Sucrase	0.027	0.026	0.029	0.002	0.71
	Maltase	3.78	3.66	3.63	0.63	0.98
	LAP[2)]	1.04	1.17	1.05	0.09	0.53
공장	Sucrase	0.085	0.103	0.084	0.020	0.75
	Maltase	5.06	4.55	4.49	0.85	0.88
	LAP	1.21	1.22	1.25	0.07	0.88
회장	Sucrase	0.065	0.059	0.069	0.010	0.80
	Maltase	4.48	3.93	3.89	0.55	0.71
	LAP	1.31	1.25	1.26	0.09	0.89
췌장	Amylase	173.8	270.2	188.7	18.7	0.47
	Trypsin	0.174	0.160	0.177	0.010	0.46

1)8두/실험구.
2)Leucine aminopeptidase.

057-158 본문2.indd 74 2019-10-28 오후 1:35:47

저 설사율 - 소 돈방 농장 조건에서 LC ZnO의 효과 - (실험 II)

증체율: LC ZnO-100 = ZnO-2,500; LC ZnO-100 = ZnO-100
설사지수: LC ZnO-200 = ZnO-2,500; LC ZnO-100 = ZnO-100

■ 21일령 이유자돈의 2주간의 성장성적 및 설사지수[1)]

항 목	ZnO (Zn 공급 수준(ppm)		LC-ZnO (Zn 공급 수준 (ppm)]		표준오차	확률값 (P-value)
	100	2,500	100	200		
개시체중, kg	6.10	6.36	6.30	6.45	0.11	0.197
일당증체량, g/일	197^{bc}	241^{a}	212^{ab}	155^{c}	14	0.011
사료섭취량, g/일	316	357	320	302	17	0.201
사료효율, 증체량/섭취량	0.62^{bc}	0.68^{a}	0.66^{ab}	0.56^{c}	0.02	0.010
설사지수[2)]	0.28^{ab}	0.12^{c}	0.39^{a}	0.19^{bc}	0.04	0.002

1)6돈방/실험구: 10두/돈방.
2)0, 정상 변: 1, 무른 변: 2, 설사: a,b,c공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름(P < 0.05).

융모의 정의 견실성 지표(융모높이 & 융모높이:음와깊이 비율): 실험구 간 차이 무
융모의 부의 견실정 지표(음와 깊이): 실험구간 차이 무

■ 2주 사양시험 종료시 소장 흡수융모의 구조[1)]

항 목		ZnO (Zn 공급 수준(ppm)]		LC-ZnO (Zn 공급 수준 (ppm)]		표준오차	확률값 (P-value)
		100	2,500	100	200		
십이지장	융모 높이, μm	290	293	271	244	9	0.260
	음와 깊이, μm	216	236	208	226	13	0.504
	높이:깊이	1.35	1.27	1.34	1.07	0.11	0.261
공장	융모 높이, μm	297	280	276	245	16	0.187
	음와 깊이, μm	209	234	206	205	12	0.685
	높이:깊이	1.43	1.28	1.37	1.22	0.11	0.540
회장	융모 높이, μm	234	223	257	224	10	0.089
	음와 깊이, μm	171	182	176	181	14	0.947
	높이:깊이	1.39	1.27	1.48	1.28	0.08	0.223

1) 6두/실험구.

057-158 본문2.indd 75 2019-10-28 오후 1:35:47

고 설사율-소 돈방 농장 조건에서 LC ZnO의 효과 - 실험 III

성장성적: 실험구간 유의적인 차이 무

2주간 설사지수: ZnO-2,500 < ZnO-100 = LC ZnO-100 = LC ZnO-200

■ 24일령 이유자돈의 2주간의 성장성적 및 설사지수[1)]

항 목	ZnO (Zn 공급 수준(ppm)]		LC-ZnO (Zn 공급 수준 (ppm)]		표준오차	확률값 (P-value)
	100	2,500	100	200		
개시체중, kg	6.86	6.82	6.70	6.81	0.15	0.899
일당증체량, g/일	180	220	174	168	14	0.065
전기간 사료섭취량, g/일	247	249	253	230	11	0.503
사료효율, 증체량/섭취량	0.76	0.88	0.70	0.77	0.06	0.185
설사지수[2)]						
제 0일	0.11^{Z}	0.02^{Y}	0.04^{Z}	0.23^{Z}		
제 7일	$0.84^{ab,x}$	$0.63b,^{x}$	$1.02^{a,x}$	$0.84a^{b,x}$	0.10^{3l}	
제 14일	0.50^{Y}	0.29^{Y}	0.36^{Y}	0.52^{Y}		
전기간	0.47^{a}	0.31^{b}	0.47^{a}	0.53^{a}	0.05	0.035

1)6돈방/실험구: 8두/돈방.
2)0, 정상 변: 1, 무른 변: 2, 설사.
3)모든 실험일 x 실험구 조합 평균에 적용되는 표준오차.
a,b동일한 행에서 공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름(P < 0.05); x,y,z동일한 열에서 공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름(P < 0.05).

장독소 대장균[enterotoxigenic E. Coli (ETEC)] K88 인공감염된 이유자돈에서 지방피복[lipid-coated (LC)] ZnO의 효과

I. ZnO-100(100ppm Zn) 및 ZnO-2,500 대비 LC ZnO의 효과

(Kwon 등, Animal Science Journal 85:805-813(2014)

II. ZnO-2,500에 상응하는 LC ZnO의 수준(titration)

(Han 등, Canadian Journal of Animal Science 98:538-547(2018)

(ETEC K88: 이유자돈에서 설사를 유발하는 가장 보편적인 대장균)

057-158 본문2.indd 76 2019-10-28 오후 1:35:48

ZnO-100 & -2,500 대비 LC ZnO-100의 효과 - 실험 I

공격접종구 중 증체율: LC ZnO-100 = ZnO-2,500 > ZnO-100
공격접종구 중 분변배출 및 장 부착 K88 수: LC ZnO-100 = ZnO-2,500 ≤ ZnO-100

■ 성장성적 & 분변배출 및 장에의 부착된 ETEC K88 세균수[1)]

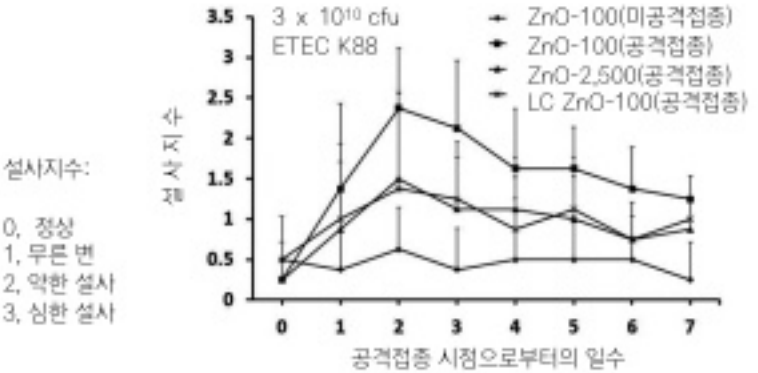
항 목	미공격접종	ETEC K88 공격접종(3 x 1010 cfu)			표준오차	확률값 (P-value)
	ZnO (ppm Zn)	ZnO [Zn 공급 수준(ppm)]		LC ZnO (ppm Zn)		
	100	100	2,500	100		
개시체중(35일령), kg	10.04	9.61	9.95	10.21	0.28	0.50
종료체중, kg	11.98^{a}	10.74^{b}	11.37^{ab}	11.59^{a}	0.27	0.02
일당증체량, g	277^{a}	161^{c}	202^{b}	196^{b}	11	<0.01
ETEC K88 count[2)]						
분변 배출[3)]	0.29^{c}	2.42^{a}	1.50^{b}	1.42^{b}	0.20	<0.01
공장 부착	0.13^{b}	2.00^{a}	1.50^{a}	1.13^{a}	0.31	<0.01
회장 부착	0^{c}	2.25^{a}	1.63^{ab}	1.25^{b}	0.26	<0.01
대장 부착	0.13^{b}	2.00^{a}	1.50^{a}	1.38^{a}	0.37	<0.01
결장 부착	0^{c}	2.00^{a}	1.25^{ab}	1.00^{b}	0.34	<0.01

1)8두/실험구.
2)Plate culture 후 0-3점 척도[no cfu - 'confluency' (cfu 포화)]로 판정.
3)제 1, 3 & 7일에 검사. a,b,c공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름(P < 0.05).

ZnO-100 & -2,500 대비 LC ZnO-100의 효과 - 계속(실험 I)

설사지수: 모든 ETEC K88 공격접종 구 > 미공격접종 ZnO-100 구
공격접종 구 중 LC ZnO-100 = ZnO-2,500 < ZnO-100

■ 인공감염 후 실험구별 설사지수 변화



설사지수:

0, 정상
1, 무른 변
2, 약한 설사
3, 심한 설사

057-158 본문2.indd 77 2019-10-28 오후 1:35:48

ZnO-100 & -2,500 대비 LC ZnO-100의 효과 - 계속(실험 I)

공격접종 구 중 위장관 pH: LC ZnO-100 ≒ ZnO-2,500 ≤ ZnO-100
공격접종구 중 배상세포 밀도: LC ZnO-100 ≒ ZnO-2,500 ≥ ZnO-100

■ 위장관 pH 및 배상세포[goblet cell(mucin(점액질) 분비 세포)] 밀도(cells/mm^2)

항 목	미공격접종	ETEC K88 공격접종			표준오차	확률값 (P-value)
	ZnO (ppm Zn)	ZnO [Zn 공급 수준(ppm)]		LC ZnO (ppm Zn)		
	100	100	2,500	100		
pH 위	2.43^{bc}	3.60^{a}	2.90^{b}	2.80^{b}	0.18	<0.01
공장	6.09^{b}	6.63^{a}	6.25^{b}	6.13^{b}	0.08	<0.01
회장	6.13^{b}	6.98^{a}	6.31^{b}	6.38^{b}	0.14	<0.01
결장	6.31^{bc}	7.13^{a}	6.63^{b}	6.94^{a}	0.12	<0.01
십이지장 융모	308^{a}	195^{b}	233^{b}	220^{b}	16	<0.01
음와	305^{a}	187^{c}	249^{b}	201^{c}	15	<0.01
공장 융모	316^{a}	173^{c}	230^{b}	224^{b}	13	<0.01
음와	340^{a}	196^{c}	264^{b}	244^{b}	14	<0.01
회장 융모	364^{a}	198^{c}	270^{b}	244^{b}	14	<0.01
음와	324^{a}	225^{b}	251^{b}	243^{b}	14	<0.01
결장	775^{a}	438^{c}	551b	518^{bc}	31	<0.01

a,b,c공통의 위첨자가 없는 값은 서로 다름(P < 0.05).

공격접종 구 중 융모의 견실성 지표: LC ZnO-100 = ZnO-2,500 ≥ ZnO-100

■ 소장 융모(영양분 흡수 조직)의 구조[1)]

항 목	미공격접종	ETEC K88 공격접종			표준오차	확률값 (P-value)
	ZnO (ppm Zn)	ZnO [Zn 공급 수준(ppm)]		LC ZnO (ppm Zn)		
	100	100	2,500	100		
십이지장 융모 높이, μm	320	288	312	318	24	0.77
음와 깊이, μm	246^{b}	293^{a}	268^{ab}	283^{a}	9	<0.01
높이:깊이	1.30^{a}	0.99^{b}	1.18^{ab}	1.13^{ab}	0.11	0.26
공장 융모 높이, μm	327^{a}	258^{c}	294b	297^{b}	9	<0.01
음와 깊이, μm	223^{c}	292^{a}	259^{b}	267^{ab}	9	<0.01
높이:깊이	1.48^{a}	0.89^{c}	1.13^{b}	1.12^{b}	0.04	<0.01
회장 융모 높이, μm	315^{a}	262^{b}	296^{a}	292^{a}	9	<0.01
음와 깊이, μm	241^{c}	305^{a}	274^{b}	282^{ab}	9	<0.01
높이:깊이	1.31^{a}	0.87^{c}	1.08^{b}	1.04^{b}	0.04	<0.01

1)융모 높이 & 융모높이:음와깊이 비율, 융모의 정의 견실성 지표; 음와 깊이, 융모의 부의 견실성 지표.

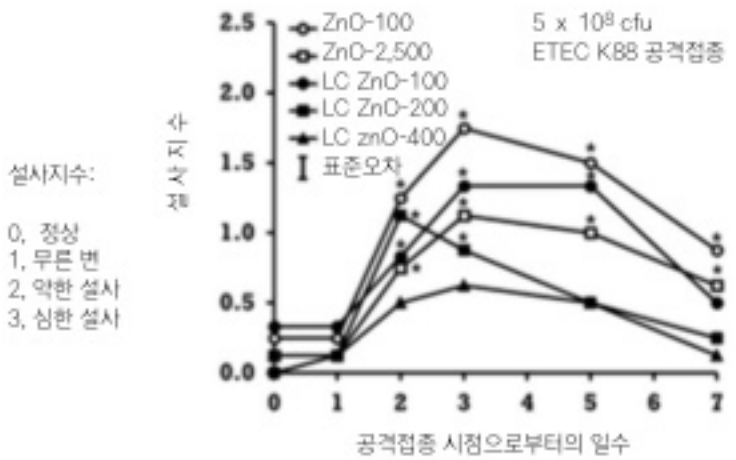
057-158 본문2.indd 78 2019-10-28 오후 1:35:48

ZnO-2,500 대비 LC ZnO 첨가수준의 효과: 성장성적(실험 II)

■ 성장성적: 전 LC ZnO 첨가 구(100, 200 & 400)와 ZnO-100 혹은 -2,500 구와 차이 무

항 목	ZnO (ppm Zn)[1]		LC ZnO (ppm Zn)[1]			표준오차	확률값 (vs LC ZnO)		LC ZnO 선형 회귀	
	100	2,500	100	200	400		ZnO-100	ZnO-2,500	확률값	r^2
개시체중 kg): 제 0일(25일령)	6.54	6.66	6.76	6.74	6.33	0.168	0.73	0.80	—	—
제 7일[2]	8.82	9.32	9.35	8.95	8.71	0.308	0.61	0.39	—	—
제 14일	10.58	11.14	10.94	10.84	10.47	0.449	0.75	0.47	—	—
일당증체량(g): 제 0-7일	284	332	324	275	298	34.2	0.71	0.42	0.69	<0.01
제 7-14일	252	260	227	270	241	40.1	0.89	0.77	0.82	<0.01
사료섭취량(g/일): 제 0-7일	326	406	391	370	387	38.2	0.22	0.61	0.97	<0.01
제 7-14일	332	365	325	351	325	52.3	0.98	0.62	0.92	<0.01
증체량:섭취량: 제 0-7일	0.86	0.82	0.82	0.75	0.78	0.037	0.11	0.43	0.72	<0.01
제 7-14일	0.76	0.72	0.68	0.76	0.77	0.032	0.60	0.65	0.17	0.10

■ 설사지수에 대한 회귀 분석 결과: LC ZnO-159(159 ppm Zn) = ZnO-2,500



설사지수:

0, 정상
1, 무른 변
2, 약한 설사
3, 심한 설사

057-158 본문2.indd 79 2019-10-28 오후 1:35:48

ZnO-2,500 대비 LC ZnO 첨가수준: Zn 농도 및 장부착 K88(실험 II)

혈액 & 간의 Zn 농도: 전 LC ZnO 첨가 구(100, 200 & 400) = ZnO-100 < ZnO-2,500
장 및 장간막 림프절에 부착된 K88 세균수 회귀분석: LC ZnO-300~400 = ZnO-2,500

항 목	ZnO (ppm Zn)		LC ZnO (ppm Zn)			표준 오차	확률값 (vs LC ZnO)		LC ZnO 선형 회귀	
	100	2,500	100	200	400		ZnO-100	ZnO-2,500	확률값	r^2
Zn 농도										
혈청(μg/mL)	1.18	2.28	0.98	1.02	1.09	0.135	0.35	<0.01	0.29	0.06
간(μg/g)	81.5	357.7	59.2	52.1	62.6	11.81	0.10	<0.01	0.61	0.01
ETEC K88 count (log10 CFU/g)										
십이지장	5.98	5.06	5.63	5.12	4.60	0.617	0.24	0.94	0.30	0.06
공장	5.19	3.96	5.31	5.52	4.39	0.562	0.86	0.12	0.17	0.10
회장	5.94	5.09	5.89	4.72	4.65	0.744	0.34	0.99	0.40	0.04
대장	6.19	4.28	6.16	4.26	5.17	0.624	0.18	0.24	0.65	0.01
장 평균	5.83	4.60	5.75	4.90	4.70	0.509	<0.01	0.27	0.20	0.08
장간막	6.57	4.95	6.39	5.64	4.04	0.692	0.14	0.62	0.04	0.21

ZnO-2,500 대비 LC ZnO 첨가수준: 장의 배상세포 밀도(실험 II)

배상세포[1] 밀도 회귀분석 결과: LC ZnO-300~400 = ZnO-2,500 (밀도 단위: cells/mm^2)

항 목	ZnO (ppm Zn)		LC ZnO (ppm Zn)			표준 오차	확률값 (vs LC ZnO)		LC ZnO 선형 회귀	
	100	2,500	100	200	400		ZnO-100	ZnO-2,500	확률값	r^2
십이지장										
융모	139	231	204	217	230	4.2	<0.01	<0.01	<0.01	0.55
음와	213	381	359	372	385	8.3	<0.01	0.36	0.09	0.13
공장										
융모	101	167	191	184	171	4.2	<0.01	<0.01	<0.01	0.38
음와	237	310	347	326	308	10.3	<0.01	0.16	0.02	0.23
회장										
융모	192	193	184	190	191	4.6	0.50	0.39	0.32	0.05
음와	408	450	422	432	442	8.1	0.02	0.07	0.16	0.10
대장	458	618	673	624	629	6.4	<0.01	<0.01	<0.01	0.29

1)점액질(mucin) 분비 세포(goblet cell).

057-158 본문2.indd 80 2019-10-28 오후 1:35:48

ZnO-2,500 대비 LC ZnO 첨가수준: 융모 구조(실험 II)

융모높이 & 음와깊이[1] 회귀분석 결과: LC ZnO-300~400 = ZnO-2,500

(높이 & 깊이 단위: μm)

항 목	ZnO (ppm Zn)		LC ZnO (ppm Zn)			표준 오차	확률값 (vs LC ZnO)		LC ZnO 선형 회귀	
	100	2,500	100	200	400		ZnO-100	ZnO-2,500	확률값	r^2
십이지장										
융모 높이	263	316	260	247	292	15.8	0.86	<0.01	0.07	0.16
음와 깊이	240	232	232	190	208	13.1	0.07	0.14	0.44	0.03
융모높이:음와깊이	1.10	1.39	1.13	1.30	1.41	0.057	001	0.11	<0.01	0.38
공장										
융모 높이	217	246	214	222	237	12.7	0.62	0.14	0.19	0.08
음와 깊이	172	157	164	156	140	8.5	0.07	0.70	<0.01	0.37
융모높이:음와깊이	1.27	1.60	1.31	1.43	1.71	0.084	0.05	0.22	0.01	0.34
회장										
융모 높이	168	215	220	210	237	12.0	<0.01	0.59	0.25	0.07
음와 깊이	143	138	169	148	151	6.8	0.14	0.03	0.27	0.06
융모높이:음와깊이	1.18	1.56	1.31	1.43	1.58	0.077	<0.01	0.18	0.03	0.20

1)융모 높이 & 융모높이:음와깊이 비율, 융모의 정의 견실성 지표; 음와 깊이, 융모의 부의 견실성 지표.

ZnO-2,500 대비 LC ZnO 첨가수준: 공장 상피의 유전자 발현(실험 II)

↑LC ZnO 수준 ⇒ ZO-1 발현↑,

IL-10 발현 수준: LC ZnO < ZnO-100

상대적인 유전자 발현: 실시간 중합효소 연쇄반응(Real-time quantitative RT-PCR) 결과[1),2)]

항 목	ZnO (ppm Zn)		LC ZnO (ppm Zn)			표준 오차	확률값 (vs LC ZnO)		LC ZnO 선형 회귀	
	100	2,500	100	200	400		ZnO-100	ZnO-2,500	확률값	r^2
IGF-I	1.00	0.26	0.69	0.20	0.30	0.326	0.12	0.72	0.36	0.04
ZO-1	1.00	3.11	0.90	1.03	2.59	0.372	0.25	<0.01	<0.01	0.45
Occludin	1.00	0.58	0.28	0.44	0.07	0.321	0.06	0.40	0.37	0.04
TNF-α	1.00	0.56	0.16	0.63	0.67	0.272	0.11	0.83	0.25	<0.01
IL-6	1.00	0.32	0.89	1.21	0.77	0.430	0.93	0.21	0.75	<0.01
IL-10	1.00	0.20	0.49	0.36	0.46	0.236	0.05	0.39	0.99	<0.01
TGF-β1	1.00	0.32	0.56	1.04	0.88	0.267	0.59	0.11	0.64	<0.01

1)약자: IGF-I, insulin-like growth factor-1; ZO-1, zonula occludens protein-1; TNF-α, tumor necrosis factor-α; IL-6, interleukin-6; TGF-β1, Transforming growth factor-β1.
2)유전자별 정상피조직의 구조, 성장 및 면역 기능에서의 역할: 제 5번 슬라이드 참조.

057-156 본문2.indd 81 2019-10-28 오후 1:35:48

요약 및 결론

- LC ZnO-100~200(100~200ppm Zn)은 ETEC K88 인공감염 혹은 설사율이 높은 농장 에서는 ZnO-2,500과 같은 설사 억제효과가 있었으나, 설사율이 낮은 농장에서는 효과가 없었다. 즉, LC ZnO는 자돈 설사율이 높을 수록 설사 억제 효과가 있음을 의미한다.
- ZnO-100 대비 저농도의 LC ZnO 첨가가 성장성적에 미치는 영향은 실험 조건에 따라가 변적이었으므로 이에 대해서는 추가의 연구가 요망된다.
- LC ZnO-2,500은 ZnO-100 및 LC ZnO-100보다 혈액 및 간의 Zn 농도가 높았으나 ZnO-100과 LC ZnO-100 간에 차이가 없었으므로 이과 같은 결과는 ZnO와 LC ZnO의 흡수율에는 차이가 없고 두 첨가제의 효과는 모두 장에서의 작용에 기인함을 의미한다.
- ETEC K88 공격접종된 자돈에서 LC ZnO의 농도와 장에 부착된 K88 균수, 장의 mucin 분비세포(goblet cell) 밀도 및 흡수융모 구조의 견실성 지표(융모높이 & 음와깊이) 간의 회귀분석 결과 LC ZnO-300~400은 ZnO-2,500과 동일한 효과가 있을 것으로 예측된다.
- ETEC K88 인공감염된 자돈의 공장 상피조직에서 LC ZnO는 IL-10 발현을 저하시키고, 첨가수준이 증가할 수록 ZO-1 발현을 증가시켰다. 본 결과는, LC ZnO가 이들 유전자 발현 제어를 통하여 장의 염증반응을 조절할 수 있음을 시사한다.
- LC ZnO가 장의 상피조직에서 어떠한 분자생물학적 기작으로 면역기능을 조절 혹은 제어하는지를 좀 더 포괄적으로 이해하기 위해서는 추가적인 연구가 요구된다.
- 결론적으로, 본 결과는 대상 항목에 따라 저농도의 LC ZnO 첨가로 ZnO 2,500 첨가의 효과를 기대할 수 있으므로, LC ZnO를 이용하여 자돈사료에 첨가되는 ZnO 양을 낮출 수 있음을 시사한다.

〈공 동 연 구 진〉
- 박만종 박사: 태원농장
- 박병철 교수: 서울대학교
- 송영민 교수: 경남과학기술대학교
- 장인석 교수: 경남과학기술대학교
- 한정희 교수: 강원대학교

057-158 본문2.indd 82 2019-10-28 오후 1:35:48