

가금의 단백질미네랄 기반 미량미네랄 요구량 재정립



편역: 고 태 송
건국대학교 명예교수

미량미네랄들(Trace minerals) 아연(Zn), 동(Cu), 철(Fe), 망간(Mn)은 모든 생명체의 대사기능 유지에 필수이다. 아연(Zinc: Zn)은 200개가 넘는 효소의 보효소(cofactor)로서 닭의 성장, 우모발생, 면역기관과 내병성에 중요한 역할을 한다. 동(Copper : Cu)은 효소 활성화, 적혈구 정상기능이나 뼈와 엘라스틴(elastin) 생성, 척수(脊髄)와 뇌세포의 수초형성(髓鞘形成 : myelination), 적정 면역반응 및 우모 착색에 필요하다. 철(Iron: Fe)은 체내 헤모글로빈과 대부분 효소의 필수 구성분이다. 망간(Manganese: Mn)은 동물 성장, 뼈의 발달과 수정에 요구된다.

가금에서 미량미네랄의 중요한 역할에도 불구하고 지난 수 십년 간 그 영양 연구는 매우 적었다. 가금의 미량미네랄 NRC 권장 요구량은 1950~1960년대 제한된 연구 성적을 기초로 실험 가금품종도 최근 품종과 다르고 다른 종들이나 다른 연령의 닭들로부터 외삽된 예측값 들이다.

사료 중 미량미네랄 함량은 비교적 저가 미네랄산화염이나 황산염을 사용한 과다 보충이 일반적이다. 이러한 과다첨가는, - 미네랄 사이의 상호작용 때문에 한가지 미량 미네랄 과잉은 다른 미량미네랄의 결핍 유도; -피트산염(phytate)과 킬레이트(chelate)를 형성하는 동(Cu)이나 아연(Zn)은 피타아제(Phytase) 효능 저하; -배설물 중에 미네랄 과다 배설로 환경 오염이 증가하는 문제점들을 발생 시킨다.

유기형 미네랄인 단백질 염들이나 아미노산 킬레이트들의 생물학적 이용성 연구 성적들 대부분은 무기염들 보다 더 높다. 유기형 미네랄의 이용성이 높은 이유는 1) 장관내 유기미네랄들의 환상(環狀) 구조는 금속이온의 양전하를 중화하여 다른 영양소들과의 상호작용 억제로 해당 미네랄의 수동흡수(受動吸收 : passive absorption) 증가, 2) 킬레이트 형성은 용해성과 세포막을 통한 미네랄들의 이동 증가, 3) 킬레이트 염들은 무기미네랄들과는 다른 경로로 장벽

을 고스란히 통과하여 혈액 내 진입이 가능하여 더 효과적으로 흡수된다.

따라서 유기미네랄 급원이 사료로 사용되면 미네랄 첨가수준은 이론적으로 낮아져야 한다. 전 세계적 주요 판매 제품들을 망라한 연구 과제로서 2003년 이래 유기미네랄 기반 동물 미량미네랄 요구량의 재정립이 시작되어 왔다. 따라서 가금의 미네랄 첨가와 관련된 최근 정보로서 축적율, 생물학적 이용성, 배설 및 요구량에서 유기급원(특히 단백질염)과 무기급원의 비교가 필요하다.

■ 가금사료 중 무기미네랄의 유기미네랄 대체 이점

▷ 높은 생물학적 이용성 : 유기태 미량미네랄의 축적율과 생물학적 이용성은 무기태 보다 높다. 브로일러에서 유기태 동(Cu)은 황산Cu 보다 Cu축적율은 35%, 간장의 Cu축적율은 38% 높다는 연구가 있다. 망간(Mn) 첨가 수준과 간장(肝臟), 경골(脛骨) 과 신장(腎腸)의 Mn함량의 중직선 회귀(重直線 回歸)로 추정된 유기태 Mn의 생물학적 이용율은 황산Mn보다 39% 높다는 발표가 있다. 한편 유기태 Zn의 생물학적 이용율도 황산Zn보다 성장율을 지표로 하면 83% 그리고 뼈 중 Zn축적량을 지표로 하면 57% 높다는 보고가 있다.

▷ 미량미네랄 사이의 길항작용 완화 : 미량미네랄 Zn, Cu, Fe 사이에는 길항작용

(antagonism)이 있다. 길항작용 원인은 장 점막의 미네랄 결합 리간드들 (ligands)과 미네랄 세포내 진입(uptake) 위치들에서 미네랄 사이 경합이다. 동물에서 유기미네랄 형 사용으로 이 미네랄들 사이의 길항작용을 피할 수 있다는 연구들이 있다. 쥐에서 유기Cu (Bioplex[®]: 바이오플렉스) 이용성은 무기태 1000ppm Zn 또는 Fe의 존재 또는 부재시에 황산Cu 보다 높다. 유기Cu 섭취 쥐는 무기Cu을 섭취한 것과 비교하여 간에서 높은 농도의 Fe 과 Zn 농도 뿐만 아니라 신장에서 높은 농도의 Fe 그리고 낮은 농도의 Cu을 가졌다.

병아리 실험에서 간장 Zn농도들은 사료 중 무기Cu(황산염) 농도 증가에 따라 저하되나, 유기Cu으로 높이면 감소되지 않았다. 다른 병아리 실험들은 병아리의 증체/사료비는 무기Zn과 Cu 급여로 낮아지나 유기형 급여는 감소하지 않았다. 이러한 성적들은 이들 미네랄들 사이의 길항작용을 유기형들 사용으로 완화된다는 것을 나타낸다.

▷ 미네랄의 피타아제 활성 억제 작용 완화 : 피트산염과 결합한 아연이온(Zn^{2+})과 동(Cu)은 피트산염 구조의 일부분을 변경시켜서 피타아제 접근이 적어지는 원인이 되는 것 같다. 인 비트로 용액 중에서 Zn은 피트산과 착염(錯鹽)을 형성하여 안정한 침전이 되며, Zn^{2+} 은 시간이 지나면 피트산 두 분자와 가교를 만든다. 피트산염 가수분해 억제 정도는 $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Fe^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ 순이다.

자돈과 병아리에서 약리학적 수준 Zn은

피트산염의 피타아제 가수분해와 이용성을 감소 시켰다. 피타아제 600 FTU/kg 첨가 사료에서 황산Cu으로 Cu 농도증가에 따라 외관상 P 축적은 직선적으로 낮아졌다. 부로일러에 황산동으로 250ppm Cu 첨가사료를 급여 하면 외관상 P 축적 감소를 가져왔다. 칼슘과 유효P이 낮은 사료에서 황산동과다는 외인성 효소 피타아제 효능을 제한 한다.

▷ 유기미네랄 염으로 피타아제 효능 향상 : 피타아제 활성에 미치는 아연 형태들 작용을 조사하기 위하여 황산Zn, Zn단백질염(바이오플렉스 Zn) 및 Zn 킬레이트(Zn methioninehydroxy analogue chelate) 그리고 Zn 수준 0, 3, 6, 12, 23, 47, 94, 188 및 375 ppm의 영향이 조사 되었다. 활성 피타아제들의 피트산에서 무기인산염 방출 작용은 Zn수준 증가에 따라 적어지므로 Zn은 피타아제 활성을 억제한다. 그러나 Zn단백질염은 Zn킬레이트 또는 황산Zn 보다 모든 아연 수준에서 인산염 방출을 유의하게 높였다.

병아리사료 첨가 피타아제 활성은 황산Cu 또는 Cu단백질염의 영향을 받았다. 피타아제만 첨가되거나 피타아제와 함께 황산Cu으로 125 또는 250mgCu/kg 또는 Cu단백질 염으로서 250mg Cu/kg 첨가 저린(低磷 : P) 옥수수-대두박 사료가 병아리에게 3주간 급여되었다. 실험사육 종료 시에 채취한 분 시료로 P축적율이 조사되었다. P축적률은 황산Cu 125mg Cu/kg 급여 군보다 250mgCu/kg 급여로 유의하게 낮았

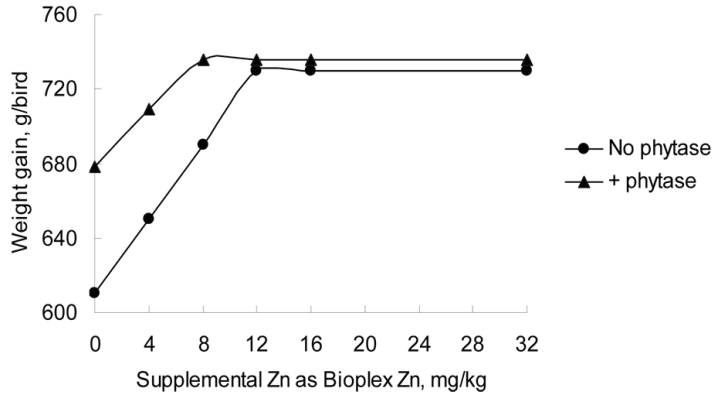
으나 Cu단백질염 급여 시에는 P 축적율의 변화가 없었다.

채란계 시험에서는 두 수준의 유기 및 무기 미량미네랄 Cu, Mn, Fe 및 Zn 함유사료를 급여한 하이라인 갈색난각 산란계에서 산란생산성이 60주간 조사되었다. 양성 대조사료 이외 모든 사료에 피타아제 600 PU/kg가 첨가 되었다. 전기간 산란율과 사료 섭취량은 사료처리의 영향이 없었다. 계란 난각율은 피타아제 함유 무기미량미네랄사료 급여 산란계에서 유기미네랄 급여 산란계 보다 유의하게 낮았다.

이것은 피타아제 효능에 미치는 무기 미네랄염의 부정적 영향을 유기 미네랄염 급여로 극복이 가능하다는 것을 의미한다. 이상과 같이 피타아제 함유 가금사료에 무기 미네랄 첨가는 피타아제 효능을 저하 시키나 이러한 효능저하는 유기 미량미네랄 사용으로 경감할 수 있다고 보여 진다.

■ 최대 생산성을 위한 아연 요구량 재정립(再定立)

사료 중 무기태 미량미네랄(Zn, Cu, Mn 및 Fe)을 단백질 미량미네랄로 대체 하는 시험이 여러 나라에서 브로일러와 채란계로 다수 실시되고 있다. 가금 사료중의 무기태미네랄의 단백질미네랄 대체는 최적 생산이 얻어질 뿐만 아니라 배설물 중 미량미네랄 함량을 저하 한다. 단백질Zn(바이오플렉스Zn)으로 브로일러 의 Zn요구량을



<그림 1> 무 피타아제 또는 첨가 시 바이오플렉스 아연 첨가량에 대한 증체량의 굴절선분석플롯(Ao 등., 2007 발췌)

(주)Weight gain, g/bird: 증체량 g/수, Supplemental Zn as BioplexZn, mg/kg: 바이오플렉스Zn으로 Zn첨가량 mg/kg, Nophytase: 무 피타아제, +Phytase: 피타아제첨가.

재정립하는 일련의 실험이 실시되었다(Ao 등, 2006, 2007, 2011). 모든 실험에서 옥수수-대두박 기초사료는 Zn 23-31 mg/kg 함유 되었다.

시험 1에서 기초사료와 Zn 5, 10, 20 및 40mg/kg 함유 사료들이 Zn단백질염 (zinc proteinate) 또는 황산Zn (ZnSO4 · 7H2O) 으로 조제된 9개 사료처리에 사료 처리당 병아리 6수 수용 케이지들 여섯 개가 할당 되어 3주 동안 시험사육 되었다. 증체 와 사료 섭취량은 Zn함량 증가에 따라 아연단백질염 급여로 2차함수적 (P<0.05)으로 그리고 황산아연 급여로 직선적으로 증가 하였다. 증체량 데이터의 굴절선분석(Broken-line analysis)으로 얻은 최대성장을 위한 Zn요구량은 단백질염 급여로 Zn9.8mg/kg 사료 및 황산염급여로 Zn20.1mg/kg사료가 되었다.

시험 2에서는 기초사료에 단백질Zn 6 수

준 0, 2, 4, 8, 16 및 32mg/kg과 피타아제 두 수준 0과 500U/kg을 조합 첨가한 12종류의 사료를 0~21일령 기간 급여하였다. 사료 중 아연단백질염 첨가량 증가에 따라 사료섭취량, 증체량, 혈장 아연 농도, 간장 아연농도 및 경골 아연함량이 직선적으로 (P<0.01) 증가하였다.

아연 단백질염으로 첨가한 아연수준에 대한 증체량 경사도, 직선 절선분석 결과, 최대 증체량을 얻는데 필요한 Zn첨가량은 피타아제 무-첨가사료에서 12mg/kg 그리고 피타아제 첨가사료에서 7.4mg/kg이었다(그림 1). 시험 1과 2는 병아리는 초기 (1-21일령)만 한편 시험 3과 4는 바닥사육 우리에서 0~42일령 시험사육 되었다.

시험 3에서는 브로일러 육성 전기간 초기 (1-21이령)와 육성(22-42일령)에 NRC 권장량 Zn40mg/kg사료를 황산Zn으로 공급한 사료와 실험 1과 2의 재정립Zn 요구량

첨가수준 Zn 12mg/kg을 Zn단백질염으로 보충하는 사료로 시험사육 되었다. Zn무첨가 옥수수-대두박 대조사료, 황산Zn으로 12 또는 40mgZn/kg 첨가 대조사료로 42일간사육 그리고 Zn단백질염으로서 12 또는 24mgZn/kg사료로 21 또는 42일령까지 사육하였다.

전체적으로 초기 및 육성기에 12 및 24mg의 유기Zn을 각각 급여한 병아리는 다른 처리 사료들 급여 병아리보다 생산성과 뼈 중 아연 함량이 우수하였다. 황산Zn으로 40mgZn/kg사료 급여 병아리는 예외였다.

시험 4에서 사료 중 아연 첨가수준은 황산염으로서 NRC 권장수준과 상업적 사용수준이 그리고 Zn 단백질염으로서는 앞의 시험성적들을 기초로 결정되었다. 시험사료들은 Zn무첨가 옥수수-대두박 대조사료, 황산염으로 40 또는 80mgZn /kg함유사료 그리고 Zn단백질염으로서 12 또는 24mg Zn/kg 함유사료이다. 부로일러 6주간 사육 생산성은 사료처리 사이에 유의차가 없지만, 사료 kg당 유기Zn 24mg 급여 닭들은 처음 21일간 사육 기간 중에 무기Zn 급여 닭들보다 증체량이 유의하게 높았다.

아연 무첨가 대조사료 급여 닭들은 다른 처리사료들 급여 닭들 보다 경골 Zn함량이 유의하게 낮았다. 유기Zn 24mg/kg 급여 닭들은 황산Zn 40mg/kg사료 급여 닭들과 경골 Zn함량이 같았다. 따라서 옥수수-대두박 사료중의 무기아연을 소량의 유기아연 대체사료는 더 좋은 병아리 성장 생산성

을 유지 한다는 것을 증명하였다.

■ 다른 시험 성적들 : 분 및 근육 중 미네랄 함량

브로일러 1-42일 사육시험에서 유기태 Cu, Mn, Fe 및 Zn은 NRC 권장량의 30%에서도 생산성을 유지하였다(Peric 등, 2007). 미량미네랄 4종 모두를 NRC 요구량의 25%만을 단백질염으로 무기태와 대체하여 급여하고 무기염은 전연 급여하지 않아도 증체 손상 없이 미네랄 배설량 34%를 감소시켰다(Pierce 등, 2005b). 유기 킬레이트 Cu 4ppm과 Fe, Mn 및 Zn 각각 40ppm 함유 사료 수준은 브로일러의 생산성 유지에 충분하였고 배설 미네랄을 감소시켰다(Bao 등, 2007).

로스(Ross) 308 브로일러 39일령 사육시험에서 대조사료 중의 황산염 Mn 70, Zn 37, Fe 15 및 Cu 12 mg/kg 대체에 유기태(바이오플렉스)의 Mn, Zn 및 Fe 각각 10mg/kg 및 Cu 2.5mg/kg 첨가한 시험사료를 급여하였다. 그 결과 사육성적은 유기태 미량미네랄구는 대조구와 유의 차가 없었으나 배설물중의 Mn, Zn, Fe 및 Cu 함량은 유기 미량 미네랄구에서 어느 쪽도 유의하게 낮아져서 각각 대조구의 46, 63, 73 및 55%였다(Nollet 등, 2007).

여러 형태와 여러 농도의 Cu, Fe, Zn, Mn와 Se 함유 시험사료로 로스308 브로일러 1-42일간 사육 되었다(Petrovic 등, 2009).

사료 처리 1은 아(亞)셀렌산 나트륨염(sodium selenite: 0.3 mg Se/kg) 및 처리 2는 셀레늄효모(selenium yeast: 0.3 mg Se/kg) 함유 사료이나 다른 미량미네랄(황산Cu, 5 mg/kg; 황산 Fe, 산화Zn 및 산화Mn, 50 mg/kg)함량은 처리 1과 2의 이들과 같다. 처리 3은 처리 1과 그리고 처리 4는 처리 2와 동일 셀레늄염을 함유하나 모두 낮은 농도의 유기태미네랄(Cu, 2.5 mg/kg; Fe, Zn 및 Mn, 10 mg/kg) 첨가사료이다. 유기미네랄 사료 섭취 닭들은 낮은 미네랄 수준에도 불구하고 체중, 도체 및 가슴육 무게와 근육 중 미량미네랄 농도가 높은 수준의 무기미네랄 섭취 닭들과 비교하여 동일하였다.

옥수수-대두박 사료에서 실제사육 시 급여수준의 무기태 미량미네랄을 유기태 미네랄(바이오플렉스)로 완전 대체사료를 급여하여 사육시험(Leeson과 Caston, 2008) 하였다. 대조사료의 무기태 미량미네랄 Zn, Cu, Mn 및 Fe을 각각 100, 70, 56, 42, 28 및 14%를 미네랄 단백질염으로 대체한 시험 사료로 42일 육성한 결과, 대조사료 중의 무기미네랄 100%를 유기미네랄 20%로 대체되어도 체중이나 사료효율에 미치는 사료처리의 영향은 검출되지 않았다.

■ 채란계 사육에 무기태 미량미네랄을 유기태로 대체

채란계 갱신용 어린 닭의 발육과 뼈의 미네랄 상태에 미치는 단백질 미량미네랄 저

수준 급여의 영향을 조사하는 두 가지 시험(Ao 등, 2008b, 2009b)이 실시되었다. 시험사료는 옥수수-대두박 주체의 대조사료에, 단백질 미량미네랄 Cu, Mn, Fe 및 Zn을 NRC 요구량의 25, 50 또는 100%, 또는 무기태 미량미네랄을 요구량의 100%첨가한 것이다. 그 결과 육성사료에 단백질 미량미네랄을 요구량의 25%를 첨가하여도 무기태 미량 미네랄 100%를 첨가한 구와 비슷한 체중 및 조직 미네랄 함량이 얻어졌다.

채란계에 무기태 미량미네랄을 NRC 요구량의 100% 첨가한 대조사료와 유기태 미량미네랄을 요구량의 8, 17 또는 33% 첨가 사료를 급여하여 산란시험을 한 결과(Boruta 등, 2007), 산란성적은 시험구 사이에 유의차가 없었으나, 유기태 미량 미네랄 급여구는 대조구 보다 뼈의 강도가 높고, 미량미네랄 배설량은 적어졌다. 갈색계통 채란계로 무기태와 유기태 미량미네랄을 NRC 권장량의 25, 50 및 100% 첨가 사료를 급여하여 산란시험(Cantor 등, 2008)을 한 결과, 40주간의 산란성적 및 체중은 무기태와 유기태 시험구 사이에 유의차가 없었다.

백색 채란계 육성기에 Cu, Mn 및 Zn을 NRC 요구량의 25, 50 또는 100%를 무기태 또는 유기태염을 첨가한 사료를 급여하여 그 후의 산란 성적 등에 미치는 영향을 검토(Macalinal 등, 2010) 하였다. 28주간 산란기의 산란성적, 체중 및 사료 섭취량은 시험구간에 유의차가 없었다. 채란계에 미량미네랄(바이오플렉스)을 관용수준의 0, 20

또는 100% 첨가 사료로 산란시험(Leeson과 Caston, 2008)을 한 결과, 38-70주령의 산란성적은 시험구 사이에 유의차가 없었으나, 난중은 미량미네랄 무첨가구에서 항상 유의하게 적었다. 미량미네랄 20%구는 미량미네랄 100%구 보다 아연 배설량은 66%, 망간 배설량은 78% 감소하였다.

이상의 시험결과들은 유기태 미량 미네랄을 사용하면 미량미네랄 수준을 NRC 요구량 또는 실용수준 보다 낮추어도 정상적인 산란성적이 유지되고 배설물중의 미량미네랄 배설량은 저하한다는 것을 나타내었다.

■ 유기태 미량미네랄 저 수준으로 브로일러와 채란계 생산성이 유지된다.

무기태 미량미네랄을 대치하여 생물학적

이용률이 높은 유기태 미량미네랄을 저 수준 사용하면, 갱신용 어린 암탉, 채란계 및 브로일러의 생산성을 유지 또는 촉진할 수 있다. 그 뿐만 아니라 미량 미네랄 사이의 길항작용을 배제하고 피타아제 효능에 미치는 미량미네랄의 악영향을 경감하고 조직중의 미량 미네랄 축적량을 높여서, 미량미네랄의 환경 배설을 감소시킬 수 있다.

〈참고 자료〉

1. 土黒定信: 家禽飼料中の無機態ミネラル鹽の蛋白態ミネラルによる代替(總説) 科學飼料 (일본) Vol. 58 No.10 (2013)
2. T. AO & J. Pierce.: The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinate in poultry diets, World's Poultry Sci. J., 69, (1), 5 2013