

營養製劑 - 비타민과 미량 광물질

李文漢*

1. 서 론

영양제의 정의와 중요성 : 비타민과 미량광물질은 3대 영양소인 탄수화물, 지방질 및 단백질의 체내에서의 이용을 돕는 역할을 한다. 즉 대부분은 생체의 구성성분이나 에너지로 직접 이용되지는 않는다. 그럼에도 비타민과 미량광물질을 영양제로 다루는 한 이유는 아마 약품의 형태로 시중에서 팔리고 있기 때문인 것으로 짐작된다.

백미를 주식으로 하고 있는 동양인에게서는 한 때 비타민 B₁ 결핍증이 문제시 되었기 때문에 비타민에 대한 관심이 매우 높았고, 현재에도 비타민 B군을 만성피로, 권태, 식욕부진 등에 대한 모방인 것 처럼 광고하고 있고 또 많은 사람이 그렇게 인식하고 있다. 비타민과 미량광물질은 미량으로도 그 작용을 충분히 발휘하기 때문에 적어도 사람에게 있어서는 극단적인 편식을 하지 않는 한 이 물질의 결핍증은 쉽게 일어나지 않는다.

그러나 가축의 경우, 고효율 사료에 대한 관심이 높아지면서 이들 물질의 보충이 불가피하게 되었으며, 실제 임상실험을 통하여 비타민과 미량광물질 첨가군이 기본사료만으로 사육한 것에 비하여 생산성이 증가됨이 보고되어 있다. 비타민과 미량광물질을 사람에게나 가축에 모두 필요한 영양소임에는 틀림없으나, 적어도 가축

에 대하여는 유용한 영양제이다.

영양제의 작용기전과 효과 : 대부분의 수용성 비타민과 미량광물질은 효소의 조효소로 작용하여 3대 영양소가 생체내에서 원활히 이용되게 하는 작용이 있다. 지용성 비타민중 비타민 D와 비타민 A의 작용중 일부는 호르몬과 유사한 작용이 있으며 비타민 E와 C 그리고 칼슘과 인은 그 자체의 또 다른 고유한 작용이 있다.

비타민과 미량광물질은 가축에 있어서 사료효율개선, 증체, 산란강화, 비유증진, 내병성증강 그리고 각 물질고유의 결핍증 예방효과가 있다.

대부분의 수용성 비타민은 과량섭취하면 오줌으로 배설되기 때문에 중독증을 보이지 않으나, 비타민 A 및 D 그리고 대부분의 미량광물질은 중독증을 일으킬 수 있다. 특히 후자의 경우 균형있게 섭취하지 않으면 특정 광물질의 결핍증이나 중독증을 나타내기 때문에 이용에 어려움이 많다.

영양제의 생산 및 이용 현황 : 최근 5년간의 판매실적을 보면 매년 증가하고 있는 추세이며, 전체 동물약품 판매액의 약 25~30%를 점하고 있다. 그리고 최근 5년간의 가축 사양두수에 비하여도 영양제의 소비는 증가하고 있는 경향이다. 비타민과 미량광물질을 주성분으로 하는 제제를 종류별로 대별하면 140여종이나 되며, 현재 국내의 약 40여 업체에서 무려 340여종의 제품을 경구투여용, 주사용 그리고 사료첨가용 제제

*서울대학교 獸医科大学

로 생산하고 있어 1개사에서 평균 8종 이상의 제품을 생산하고 있다.

동종제품간의 성분 및 함량비교 : 국내에서 생산하고 있는 제제중에서 소, 돼지 및 닭을 위

한 사료첨가용 종합영양제중에서 3개사의 제품을 무작위로 선택하여 이들 제제의 조성과 함량을 요구량과 비교하여 보았다(표1, 2 및 3). 각사에서 생산하고 있는 제제의 조성과 함량이 적절한지에 대하여는 평가할 수 없는 실정이고 또

표 1. 젖소용 종합사료첨가제의 제제별 성분 및 조성비교

성분(요구량)	구 분		제제kg당 함량	사료kg당 권장함량*
	제제별			
Vitamin A (3200 IU/kg 사료)	A		3,200,000	6,400~12,800
	B		1,500,000	3,000~6,000
	C		2,650,000	6,625
Vitamin D ₃ (300 IU/kg 사료)	A		640,000	1,280~2,560
	B		300,000	600~1,200
	C		530,000	1,325
Vitamin E (15~60IU/kg 사료)	A		1,000	2~4
	B		500	1~2
	C		1,050	2.5
Fe (100mg/kg 사료)	A		2,000	4~8
	B		15,000	30~60
	C		13,200	33
Mn (20mg/kg 사료)	A		2,000	4~8
	B		6,000	12~24
	C		4,400	11
I (0.6mg/kg 사료)	A		300	0.6~1.2
	B		-	-
	C		440	11
Zn (40~100mg/kg 사료)	A		20,000	40~80
	B		80,000	160~320
	C		4,400	110
Co (0.1~10mg/kg 사료)	A		50	0.1~0.2
	B		-	-
	C		440	1.1
Ca (3.4~5.4mg/kg 사료)	A		-	-
	B		-	-
	C		21	0.525
Cu (10~100mg/kg 사료)	A		300	0.6~1.2
	B		300	0.6~1.2
	C		2,200	5.5

* A : 0.2~0.4%, B : 0.2~0.4%, C : 0.25%

어느 제품이 이상적인가에 대하여도 단언하기 어려운 실정이다. 왜냐하면 비타민과 미량광물질의 요구량은 기후, 사양환경, 사료의 조성과 질 등의 요건에 따라 달라질 수 있는데 우리나라의

사양조건에 맞는 요구량이 아직 결정되어져 있지 않음이 그 첫째 이유이다. 그리고 기본사료 혹은 원료사료중의 비타민과 미량광물질의 조성과 함량에 따라서 첨가제중의 조성과 함량이 결

표 2-1. 양돈용 종합사료첨가제(비타민류)의 제제별 성분 및 조성비교

성분(요구량)	구 분		제제 kg당 함량	사료 kg당 권장함량*
	제제별			
Vitamin A (1300 IU/kg 사료)	A		2,000,000	4,000~8,000
	B		2,500,000	5,000~10,000
	C		1,500,000	3750
Vitamin D ₃ (200 IU/kg 사료)	A		400,000	800~1,600
	B		500,000	1,000~2,000
	C		300,000	750
Vitamin E (11 IU/kg 사료)	A		250	0.5~1.0
	B		3,600	7.2~14.4
	C		500	1.25
Vitamin B (1.1mg/kg 사료)	A		20	0.04~0.08
	B		1,000	2~4
	C		-	-
Vitamin B ₂ (2.6mg/kg 사료)	A		700	1.4~2.8
	B		3,300	6.6~13.2
	C		750	1.87
Vitamin B ₆ (1.1mg/kg 사료)	A		200	0.4~0.8
	B		1,600	3.2~6.4
	C		150	0.375
Vitamin B ₁₂ (11mg/kg 사료)	A		2,200	4.4~8.8
	B		10,000	20~6.4
	C		500	1.25
Niacin (14mg/kg 사료)	A		8,000	16~32
	B		8,000	16~32
	C		8,000	16~32
Choline (700mg/kg 사료)	A		30,000	60~120
	B		50,000	100~200
	C		50,000	125
Pantothenic acid (11mg/kg 사료)	A		3,000	6~12
	B		9,000	18~30
	C		1,000	2.5

* A : 0.2~0.4%, B : 0.2~0.4%, C : 0.25%

정되기 때문이다. 비록 이에 대한 기본자료가 있
다하더라도 이 영양소의 생체 이용율에 대한 자
료가 없다면 이상적인 제제에 대한 평가는 불가
능하다.

그러나 사료첨가제의 경우 사료회사 자체의
기본자료에 따라서 주문 생산하는 체제를 갖추
이 바람직하다고 판단되며, 가능한한 각 제품의
특징을 살리는 방향으로 개발하는 것이 바람직
하다고 판단된다. 비타민중에는 쉽게 파괴되는
것이 있고 특히 미량광물질과 혼합하였을 경우
더욱 쉽게 파괴될 수 있기 때문에 항산화제나 품
질보존을 위한 특별한 대책이 강구되어야 할 것
이다. 그리고 각 성분의 생체에서의 이용율을
높이기 위한 제 3의 인자에 대한 고려도 필요하
다고 사료된다.

2. 지용성 비타민

비타민 A, D, E 및 K는 비극성이고 소수성인
성상을 띄기 때문에 지용성 비타민으로 분류하
나 수용성 형태로 바꾼것도 있다. 그러나 이것

이 소화관내에서 흡수될 때에는 지방질과 같이
흡수되며 그리고 지방질 흡수는 담즙과 췌장에
서 분비되는 효소의 영향을 받기 때문에 지방성
설사, 담즙분비 이상, 간기능 및 췌장기능이 나
쁜 가축에서는 소화관을 통하여 잘 흡수되지 않
는다. 이들은 간장(A, D, K) 과 지방조직(D, E)
에 상당 기간 동안 저장이 가능하기 때문에 쉽
게 결핍증을 보이지 않으나, 저장조직에서 유리
되어 목적 장기까지 운반되기 위하여는 혈장 단
백질과 결합되어 이동하기 때문에 영양상태가
나쁜 가축 및 고효율 농후사료에 대한 의존도
가 큰 가축에게는 추가로 공급해 주는 것이 바
람직하다.

비타민 A : 식물성 비타민 A 전구물질인 car-
otinoid나 비타민 A는 가열, 태양광선 및 산화물
질에 의하여 쉽게 파괴되며 특히 미량광물질과
같이 섞었을 경우 더욱 빨리 파괴된다. 비타민
A는 고습도의 상온에서 햇빛에 2시간 정도만
노출되어도 그 효력의 35%는 유실된다. 보존기

표2-2. 양돈용 종합사료첨가제(미량광물질)의 제제별 성분 및 조성비교

성분(요구량)	구 분		제제별 kg당 함량	사료 kg당 권장함량*
	제제별			
Mn (2 mg/kg 사료)	A		12,000	24 ~ 48
	B		10,000	20 ~ 40
	C		8,000	20
Fe (60mg/kg 사료)	A		4,000	8 ~ 16
	B		40,000	80 ~ 160
	C		78,000	195
I (0.14mg/kg 사료)	A		250	0.5 ~ 1.0
	B		200	0.4 ~ 0.8
	C		150	0.375
Zn (60mg/kg 사료)	A		15,000	30 ~ 60
	B		70,000	140 ~ 280
	C		60,000	150
Cu (4.0mg/kg 사료)	A		500	1 ~ 2
	B		3,000	6 ~ 12
	C		6,000	15

표 3-1. 가금용 종합사료첨가제(비타민류)의 제제별 성분 및 조성비교

성분(요구량)	구 분		제제 kg당 함량	사료 kg당 권장함량*
	제제별			
Vitamin A (1500 IU/kg 사료)	A		1,500,000	3,000~ 6,000
	B		10,000,000	20,000~40,000
	C		1,500,000	3,750
Vitamin D (200 IU/kg 사료)	A		300,000	600~ 1,200
	B		2,000,000	4,000~ 8,000
	C		250,000	625
Vitamin E (5 IU/kg 사료)	A		1,400	2.8~5.6
	B		5,000	10~20
	C		250	0.625
Vitamin K (0.5mg/kg 사료)	A		300	0.6~1.2
	B		2,500	5~10
	C		550	0.625
Vitamin B ₁ (0.3mg/kg 사료)	A		80	0.16~0.23
	B		1,500	3.00~6.00
	C		-	-
Vitamin B ₂ (1.8mg/kg 사료)	A		750	1.50~3.00
	B		7,500	15.00~ 30.00
	C		1,000	2.5
Vitamin B ₆ (3 mg/kg 사료)	A		300	0.6~1.2
	B		1,500	3.0~6.0
	C		-	3.0~6.0
Vitamin B ₁₂ (0.003mg/kg 사료)	A		2,000(mcg)	4.00~8.00(mcg)
	B		1,500(mcg)	10.00~20.00(mcg)
	C		1,000(mcg)	2.00~4.00(mcg)
Choline (500mg/kg 사료)	A		40,000	80~160
	B		250,000	500~1,000
	C		35,000	87.5~

*A: 0.2~0.4%, B: 0.2~0.4%, C: 0.25%

간 동안의 안전성을 높이기 위하여 적절한 피막제로 피복하거나 보다 안전성이 높은 acetate 혹은 palmitate 형태로 시판되고 있지만 결코 완전한 안전성을 기대할 수는 없다.

carotinoid의 경우, 식물중에 풍부히 함유되어 있으나 수확, 건조 및 저장기간중에 파괴되며 대체로 수확후 6개월이 경과하면 대부분이 파괴된다. 특히 β -carotene은 동물에 따라 생체내에서 비타민 A로 전환되는 정도가 다르다. 닭의 경우 한 분자에서 비타민 A(retinol) 한 분자가 생성되나(100%), 개의 경우 50%, 돼지 30%, 면양 27%, 말 10% 그리고 소에서는 24%만이 비타민 A로 전환된다. 그리고 이 전환과정에서 비타민 E의 소모가 증가한다. 간기능이 나쁘거나 영양상태가 나쁜 가축에서는 완만한 비타민 A 결핍증을 보이며 이런 가축에 과량의 비타민 A를 투여하면 간장에 충분한 양이 저장될 수 없기 때문에 비타민 과다증을 보인다.

비타민 A의 체내 활성형은 retinol, retinal 및 retinoic acid이다. 이 중에서 retinol은 일종의 호르몬으로 보는 견해가 있는데, 이는 스테로이드 호르몬의 수용기를 활성화시켜 그 작용을 원활히 해 줌으로써 번식능력을 향상시킨다. retinal은 간상체에서 빛의 밝기를 감별하는데 작용하기 때문에 야맹증과 연관이 있다. retinoic acid는 glycoprotein 합성에 필요한 oligosaccharide의 운반체로 작용하여 상피세포의 기능을 유지함으로써 2차감염 예방 및 내병성 증가작용이 있고, 사람에게서는 유방암 억제작용이 있는 것으로 밝혀지고 있다. 특히 닭의 기관기능은 비타민 A에 매우 민감하다.

비타민 A는 생체가 약 3~6개월간 이용할 수 있는 정도의 충분한 양이 간장에 저장되나, 비유기, 성장기, 임신 및 번식기에는 요구량이 많다. 건강한 개체의 경우 년2~3회 고단위로 주사하면 요구량이 충족된다고 한다. 주사제는 수용액

표3-2. 가금용 종합사료첨가제(미량광물질)의 제제별 성분 및 조성비교

성분(요구량)	구 분		제제 kg당 함량	사료 kg당 권장함량*
	제제별			
Fe (40mg/kg 사료)	A		3,500	7.00 ~ 14.00
	B		50,000	100 ~ 200
	C		4,000	8 ~ 16
Mn (25mg/kg 사료)	A		13,000	26 ~ 52
	B		125,000	250 ~ 500
	C		12,000	30
I (0.35mg/kg 사료)	A		40	0.08 ~ 0.16
	B		-	-
	C		250	0.625
Zn (35mg/kg 사료)	A		7,000	14 ~ 28
	B		125,000	250 ~ 500
	C		9,000	22.5
Cu (3 mg/kg 사료)	A		500	1 ~ 2
	B		5,000	10 ~ 20
	C		500	1.25

* A : 0.2~0.4%, B : 0.2~0.4%, C : 0.25%

제제가 유성액제제 보다 효과적이다.

비타민 D : 비타민 D₃ (cholecalciferol)은 생체 내에서 cholesterol이 햇빛의 자외선을 받아 합성되며, 그후 간장에 저장되었다가 필요한 때에 혈중으로 유리되어 활성화된다. 그렇기 때문에 호르몬으로 보는 견해가 있다. 식물성 비타민 D₂ (ergocalciferol)은 식물체의 ergosterol로부터 자외선에 의하여 합성되며, 조류를 제외한 가축에 있어서는 비타민 D₃와 비슷한 효력을 갖는다. 닭에서는 비타민 D₃에 비하여 1~2% 정도의 효력밖에 나타내지 못하기 때문에 비타민 D₃의 공급이 필요하다.

비타민 D₃는 D₂보다 안전성이 있으나 다습한 상태로 보관하면 수일내에 파괴된다. 비타민 D₃는 전신의 장기조직에 저장되나 특히 간장과 지방조직에 많이 저장된다. 간장에서는 25-OH D₃ 형태로 저장되어 있다가 필요시 유리되어 신장에서 1,25-(OH)₂D₃로 활성화되어 칼슘과 인의 대사에 관여한다. 혈중 칼슘과 인 농도가 낮아지면 parathormone의 분비가 증가하고 이것에 의하여 신장중의 hydroxylase가 활성화되어 활성화형인 1,25-(OH)₂D₃가 합성된다. 이것은 장이나 신장에서 calcium-binding protein의 합성을 유도하고, P-pump를 활성화시켜 장에서의 칼슘과 인의 흡수를 증가시키고 아울러 신장에서의 재흡수를 증가시켜 혈중 칼슘과 인 농도를 증가시킨다. 그리고 뼈에 대하여는 다른 기전에 의하여 칼슘과 인 동원을 증가시킨다. 이렇게 하여 혈중 칼슘과 인 농도가 증가하면 parathormone의 분비가 감소되고 아울러 1,25-(OH)₂D₃의 합성도 감소된다. 그대신 25-OH D₃는 24,25-(OH)₂D₃로 전환되어 칼슘과 인을 뼈에 보내어 골 형성을 촉진함으로써 혈중 칼슘과 인 농도를 낮춘다. 이렇게하여 혈중칼슘 및 인 농도가 조화있게 조절, 유지된다.

비타민D 결핍시 골격발육과 성장이 지연된다. 특히 가금류에 있어서는 칼슘과 인 공급이 충분하더라도 비타민D₃를 공급해야 한다. 비유기와

임신기에는 젖과 태아에 이행하는 양이 많기 때문에 칼슘, 인 및 비타민D의 요구량이 증가한다. sweet jasmine (Florida주) 및 solanum속의 식물체 (Argentina)중에는 1,25-(OH)₂D₃ 함량이 많아 비타민 과다증의 원인이 되기도 한다. 덴마크에서는 비타민 D₃을 2~3회 주사함으로써 비타민D를 공급해 준다고 한다.

비타민E : 동물체내에서는 합성되지않으나 식물체중에는 많다. 활성화형은 d- α -tocopherol인데 대기중의 산소 및 햇빛에 의하여 서서히 파괴되며, 특히 제 2철의 염이나, 은의 염과 접촉하면 쉽게 파괴된다. 산소와 접촉만 없다면 산, 알칼리 및 가열에 의하여 쉽게 파괴되지 않는다.

비타민E는 세포나 세포소기관의 막을 구성하는 인지질 특히 polyunsaturated fatty acid (PUFA)의 과산화 (peroxidation)를 막아 준다. 물질대사에 의하여 각종의 peroxide와 free radical이 생성되어 항상 과산화형태로 지방산이 생성되어 세포막이 손상될 기회가 많으나 비타민E가 대신 산화되어 이들 산화력이 있는 물질을 제거한다. 이외에도 생체내에는 peroxidase나 catalase가 있어서 이들 산화성 물질을 제거하는 작용을 하는데 glutathione peroxidase는 Se을 조효소로 하기 때문에 비타민E와 Se은 상호 보완적 작용을 한다. 즉 Se은 비타민E를 절약하는 작용이 있고, 비타민E의 혈중농도를 높이는 작용이 있기 때문에 병용할 경우 상승작용이 있다. 불포화지방산의 섭취가 많으면 비타민E 요구량도 증가한다.

비타민E 결핍시는 번식장애(가금, 소, 쥐), 근육변성(가금, 개, 돼지, 소, 면양, 산양, 쥐, 토끼), 간괴사, 심근위축, 적혈구의 취약성 증가, 노화촉진 등의 결핍증을 보이며 가금의 경우 뇌연화증이 생긴다. 특히 돼지에서는 불포화지방산 함량이 높은 어분으로 사육할 때 비타민E 혹은 Se이 부족할 경우 yellow-fat disease의 증상을 보인다. 이상의 결핍증은 모두 비타민E의 항산화작용과 밀접한 연관이 있다.

비타민K: 비타민K₁은 식물에서 유래한 것이며, K₂는 세균이 생성한 것이다. 장내 미생물에 의하여 합성되기 때문에 결핍증을 일으키는 예는 드무나, 단위동물의 경우 하부 소장에서 합성되어 그곳에서 흡수되기 때문에 흡수량은 제한된다. 합성제제인 menadione의 염은 수용성이고 활성도 가장 크다.

비타민 K는 간장에서 혈액응고인자중의 하나인 prothrombin의 합성에 관여하며, 그외에 혈액응고인자 VIII, IX 및 X을 활성화시킨다. 비타민K의 이 결핍증은 주로 밀집사육하는 닭에서 최초 급여가 부족할때 빈발하며 특히 어린 닭에서 혈액응고지연과 자발출혈 증상을 보인다. sweet clover중의 dicoumarin이나 살서제의 일종인 dicumarol은 비타민K의 길항물질이다. 비타민K₁은 alkali 및 환원성 물질에 의하여 파괴되나 산성용액에서는 120°C 까지 가열하여도 파괴되지 않는다.

3. 수용성 비타민

비타민B군과 비타민C는 극성이 크고 물에 잘 녹기때문에 수용성 비타민으로 분류한다. 비타

민B군은 반추동물의 장내세균에 의하여 풍부히 생산되기 때문에 따로 급여할 필요가 없다. 단 미사료가 아닌 배합사료중에는 비타민B군이 골고루 함유되어 있다. 그러나 저장, 가공, 처리 과정에서 파괴될 수 있기 때문에 가금류와 단위동물에게는 따로 공급해 주어야 한다(표 4). 수용성비타민은 체내에 저장되지 않고 또한 쉽게 오줌으로 배설되기 때문에 비타민 과다증을 일으키지는 않으나 매일 조금씩 섭취하여야 한다. 만성질병, 소화 및 흡수장애, 식욕부진 등의 원인에 의하여 비타민의 흡수가 감소되고 소모율이 증가되기 때문에 다종의 비타민에 대한 결핍증을 보이기 쉽다.

비타민C는 영장류와 guinea pig을 제외한 모든 고등동물의 체내에서 합성되기 때문에 비타민으로 보지 않으나, 닭의 경우 하절기에 밀집사육하면 스트레스가 가중되어 비타민C의 소모율이 증가한다. 그리고 개에서는 만성질병에 의한 영양실조 또 말에서는 창상 치유를 돕기 위하여 비타민C를 투여하기도 한다.

비타민B군의 결핍증은 특정 비타민을 분해하는 효소, 장내 미생물을 억제하는 약물, 특정

표 4. 동물별 수용성비타민 첨가필요성 비교

Vitamin	Dog	Pig	Horse	Sheep *	Ox *	Poultry
Thiamine	+	-	±	+	+	+
Riboflavin	-	-	-	-	-	-
Niacin +	+	±	-	-	-	+
Pantothenic acid	rare	rare	-	-	-	-
Folic acid	-	-	-	-	-	-
Choline	-	-	-	-	-	+ §
Biotin	-	-	-	-	-	+
Cobalamin	-	±	-	+	+	-
Ascorbic acid (vitamic C)	-	-	-	-	-	-

* 반추위의 기능이 불완전한 어린동물에는 비타민을 따로이 공급해야 한다. 그러나 모유 혹은 비타민이 첨가된 대용유에서 그 요구량을 충족시킬 수 있음.

+ 사료중의 tryptophan 함량에 따라 달라질 수 있음.

§ Mn 결핍과 연관되어 perosis 유발될 수 있으며 사료중의 methionine 함량에 따라 달라질 수 있음.

|| 사료중 Co의 함량에 따라 달라질 수 있음.

비타민에 대한 길항 약물, 체내에서 합성 가능한 것인 경우 기질공급 부족 등의 원인에 의하여 생길 수 있다.

비타민B군은 다양한 효소의 조효소로 작용하기 때문에 결핍증의 원인을 밝히는 것이 쉽지 않고 또 결핍증상도 동물에 따라 다르다.

비타민B₁ : 최초로 분리 정제된 B군 비타민으로서 열에 약하다. 식물체와 장내미생물에 의하여 합성되며 또한 소장과 대장에서 잘 흡수된다. 장내미생물의 활동이 미약한 어린 동물의 경우 모유로부터 공급받는다.

thiamine의 활성형은 thiamine pyrophosphate (TPP)로서 α -keto acid나 amino acid 등의 산화적 탈탄 산화반응에 관여하는 효소의 조효소로 작용한다. thiamine결핍시는 포도당이 pyruvic acid까지는 산화되나, 이것이 구연산 회로에 들어가 에너지생성을 못하기 때문에 lactate 혹은 pyruvate의 산화에 의하여 생성된 에너지에 전적으로 의존하는 뇌 및 심장에서 병변을 일으킨다. 따라서 근·신경장애(각기증)가 주 증상이며 결국은 심장기능장애를 일으켜 폐사한다. pyruvate의 산화가 억제되어 lactic acidosis 증상을 보인다. thiamine은 체내에 축적되지 않기 때문에 결핍 2~4주면 결핍증상을 보이나, 돼지의 경우 수 개월분의 thiamine이 조직 중에 저장된다.

농후사료 위주로 사육한 반추동물의 장내 미생물은 thiaminase를 분비하여 B₁결핍증인 poli-encephalomalacia가 유발될 수 있으며, 고사리에도 이 효소가 포함되어 있어 말에서 문제시 되기도 한다. 가열처리하지 않은 바닷고기의 내장이나 조개류에는 thiamine길항물질(혈색소 대사물질)이 함유되어 있어서 개, 고양이, 멍크 및 바닷사자에서 B₁결핍증을 보인다. 특히 여우에서의 결핍증을 chasteck paralysis라 한다. 항록시디움제제인 amprolium도 B₁에 대한 길항 작용이 있기 때문에 과량사용했을 때 독성을 보이며 또한 amprolium과 B₁을 병용했을 때 항록시디움 효과가 감소된다. 대체로 임신, 비유

및 성장기에는 thiamine요구량이 증가하며 농후 사료 위주로 사양하는 소에게도 보충해주는 것이 타당하다.

Niacin : niacin과 nicotinic acid는 체내에서 활성형인 nicotinamide로 변하며, 고양이를 제외한 모든 동물의 체내에서 tryptophan으로부터 합성된다. 알카리 용액중에서 쉽게 파괴되고, 체내에 축적되지 않으며 오줌으로 쉽게 배설된다. pyridoxine결핍시 tryptophan으로부터 nicotinamide의 합성이 억제되어 결핍증을 보이기도 한다.

nicotinamide는 40여종의 산화·환원계 효소의 조효소인 NAD와 NADP의 구성 성분이다. 특히 후자는 합성반응 즉 지방산, 콜레스테롤, 헴, GMP 등의 합성반응에 관여한다. 결핍시 동물에 따라서 흑설증(개), 빈혈, 설사, 구토 및 피부염(개, 돼지), 식욕부진, 성장장애 등의 증상을 보이며, 이 결핍증은 niacin 투여로 곧 치료된다. 농후사료 위주로 닭과 돼지를 사육할 경우 tryptophan이나 niacin을 공급해 주어야 한다.

Biotin : 옥수수나 콩류에 들어 있는 것은 장에서 쉽게 흡수되나, 밀기울중에 함유된 biotin은 전혀 흡수되지 않는다. 장내 미생물에 의하여도 합성되며 주로 회장에서 흡수된다. 똥 중에는 흡수량 3~6배량이 함유되어 있다. 난백중에는 oviduct에서 분비되는 albumin의 일종인 avidin이 함유되어 있어서 날것으로 섭취했을 때 biotin흡수를 방해한다.

biotin은 수종의 carboxylase의 조효소로 작용하여 당신생, 지방산 합성, leucine의 대사, 반추동물의 경우 회발성 지방산의 일종인 propionate의 이용에 관여한다. 돼지에서는 피부염, 탈색증, 탈모증 등의 결핍증상을 보이며, 닭에서는 피부염, 비결증(perosis) 및 지방간 신장증후군 (fatty liver and kidney syndrome)의 결핍증을 보인다. pH9.0이하에서는 안정하며 열에 의하여 쉽게 파괴되지 않는다.

Choline : 생체내에서 methionine으로부터 합

성된다. 지방 함량이 적으면서 methionine이 부족한 곡류 위주로 사육한 단위동물에서 결핍증을 보인다. 닭에서는 Mn결핍증과 합병될 때 비절증이 야기되며 지방간, 경측근골 관절의 부종 및 변형에 의하여 보행장애 등의 결핍증을 보인다. 돼지에서는 번식장애가 주증상이다. choline은 신경전달물질인 acetylcholine과 인지질에 속하는 lecithin의 구성성분이다. 번식장애와 지방간은 lecithin부족에 의한 인지질대사 이상에 의하여 일어나는 결핍증상이다.

기타 수용성 비타민 : riboflavin (B₂)는 FMN 및 FAD의 구성 성분으로서 산화·환원계 효소의 조효소이다. 이것은 강한 형광성이 있고, 알카리 햇빛 및 열에 약하다. diethylflavin, isoriboflavin 및 dichlorflavin은 riboflavin의 길항물질이며, 햇빛에 의하여 파괴된 것도 길항물질로 작용하여 결핍증의 원인이 된다. 결핍시 닭에서는 curled-toe-disease, 설사, 산란을 저하, 돼지에서는 다리가 뒤틀리고, 피부각화, 경련, 번식장애 등의 증상을 보인다. 그리고 모든 동물에서 성장이 지연되고 사료효율이 감소된다. 쥐에서는 비타민 과다증을 보인다.

pyridoxine (B₆)은 아미노산 대사에 관하여는 효소의 조효소이다. 즉, tryptophan에서 niacin이 합성될 때 그리고 methionine에서 cysteine이 합성될 때 pyridoxine이 필요하다. 이것은 산용액중에서는 열에 안정하며, 햇빛에 의하여 조금씩만 파괴된다. 결핍증은 잘 일어나지 않으나 돼지에서 빈혈증을 보인다.

pantothenic acid는 coenzyme A구성 성분으로서 여러 대사과정에 관여한다. 결핍증은 쉽게 일어나지 않으나, 돼지와 닭에서 피부, 모발 혹은 깃털, 간장, 위장, 번식 등의 기능 이상을 초래한다. 산, 알카리 및 열에 매우 안정하다.

cobalamin은 반추동물의 항빈혈인자중 extrinsic factor로서 간장에 저장이 가능한 유일한 B군 비타민이다. cyanocobalamin은 매우 안정하며 Co를 함유하고 있다. homocysteine 으로부터 methionine을 합성하는 반응과 propionate

로부터 생성된 methylmalonyl-CoA에서 succinyl-CoA를 합성하는 반응에 조효소로 작용한다. 결핍시는 methylmalonyl-CoA가 축적되어 malonyl-CoA와 길항작용을 하기 때문에 지방산합성이 억제되어 신경증상(demyelination)을 보이며 헴합성의 기질인 succinyl-CoA합성이 억제되어 빈혈증상을 보인다.

folic acid는 식물체와 미생물에 의하여 합성되는 조혈인자이다. 세균은 PABA로부터 엽산을 합성하는데 설파제는 이 과정을 억제한다. 그리고 trimethoprin은 엽산이 활성형인 tetrahydrofolate로 전환되는 것을 억제하여 항균작용을 나타낸다. 따라서 이 두 항균제를 동시에 사용하면 상승효과가 있다. 반추동물에 이 항균물질을 투입하면 엽산결핍증을 일으킬 수 있다. 엽산은 많은 대사과정에 관여하지만 결핍시 헴합산의 기질인 purine염기의 합성이 억제되어 조혈기능이 감소된다. 닭 이외의 동물에서는 문제되지 않는다.

비타민C는 대사과정에서 생성되는 각종 산화성 물질을 비타민E, glutathione peroxidase 다음으로 제거해 주는 작용이 있다. proline의 hydroxylation과정에서 관여하여 collagen 합성을 유도함으로써 결체조직의 창상치유를 돕는다

부신피질에는 비타민C의 농도가 높는데 이는 corticoid호르몬의 산화를 막기 위한 생체의 방어기전인 것으로 짐작된다. 하절기에는 닭에서 고온 스트레스에 의하여 비타민C의 소모량이 많다.

4. 칼슘과 인

비타민 D의 작용에서 언급한 바와 같이 칼슘과 인은 비타민D 및 호르몬에 의하여 대사조절을 받는다. 사료중의 칼슘과 인은 사료의 종류에 따라서 생체 이용율이 다르다(표 5). 곡류사료에 많이 함유되어 있는 phytic acid나 그 염은 Ca, Zn, Mg과 결합하여 불용성 물질을 형성하기 때문에 생체 이용율이 감소되고(표 6), 목초중의 oxalate나 기타 유산기에 의하여도 칼

습, 인 및 기타 무기질의 이용율이 감소될 수 있다. 반추동물의 경우 위장내 미생물에 의하여 이들 흡수방해물질이 다소간 파괴된다.

칼슘과 인은 골의 주성분으로서 2 : 1의 비율로 들어있다. 칼슘은 근육수축, 근신경흥분은 신경전도막을 통한 물질이동, 혈액응고 및 내분비 물질의 분비 등에 관여한다. 생체내에서 존재하는 인은 80% 이상이 뼈에 있다. 가장 중요한 인의 작용은 ATP / ADP cycle에서와 같은 생물학적 에너지 전이이며 그외 혈액 및 신장에서의 완충작용이다. 칼슘과 인은 소장에서 흡수되나, 말에서만은 결장에서 흡수된다. 칼슘의 함량이 많은 사료로 사육하면 흡수율과 신장에서의 재흡수율이 낮아지고 또한 뼈에로의 칼슘이동이 증가한다. 그리고 칼슘함량이 낮은 사료로 사육하면 흡수율과 신장에서의 재흡수율이 높아지고 또한 뼈로부터의 칼슘동원이 증가된다. 그러나 인의 경우, 사료중의 함량에 따라서 혈

중의 인 농도가 증가 혹은 감소한다. 칼슘은 생체의 요구에 의하여 어느 정도 혈중농도가 조절되나, 인의 혈중농도는 사료중의 함량에 의하여 좌우되고 또한 뼈에로의 칼슘이동 및 동원시 인이 수반되어 이동되기 때문에 칼슘과 인의 대사는 서로 밀접한 연관이 있다. 따라서 칼슘과 인은 적정비율로 투여하여야 한다. 혈중 칼슘과 인의 비율이 높으면 비타민D의 요구량도 증가한다. 칼슘과 인의 요구량은 비유기에 가장 많고 성장기, 임신기 및 성숙의 순으로 낮다. 그리고 동물별로는 산란계에서 요구량이 가장 많고 개, 돼지, 말, 소의 순으로 낮다(표 6).

단위동물의 경우 칼슘과 인이 비율이 3 : 1 이상이면 부작용을 보이나, 반추동물의 경우 7 : 1까지도 이상이 없다. 전자의 경우 그 비율이 1 : 1 정도까지도 별 이상이 없으나 후자의 경우 병적증상을 보인다.

칼슘과 인의 만성적 불균형에 의하여 성장기

표 5. 단미사료중의 칼슘 및 인 함량과 소화율

Source	Calcium (g/kg)	Digestibility (%)	Phosphorus (g/kg)	Digestibility (%)	Ca:p ratio
Alfalfa hay	12.0	77	2.0	44	10.5 +
Clover hay	11.5	77	2.2	44	9.1 +
Timothy hay	3.6	70	1.6	46	3.4 +
Corn silage	3.5	...	2.1	...	1.7
Barley	0.7	...	4.0	40	0.18
Corn	0.2	...	3.1	40	0.13
Wheat	0.5	...	4.0	40	0.16
Soybean seed	3.2	...	6.7	...	0.42
Sugar beet pulp	7.5	60	1.1	...	6.8
Citrus pulp	21.8	...	1.3	...	16.8
Dicalcium phosphate	231.8	74	186.5	58	1.6 +
Monocalcium phosphate	170.0	...	210.0	58	0.8
Defluorinated phosphate	330.0	...	180.4	...	1.8
Bone meal	290.0	71	140.0	58	2.5 +
Diammonium phosphate	0	...	200.0
Monosodium phosphate	0	...	220.0
Lime stone (CaCO ₃)	340.0	69	0
Oyster shells	350.0	...	0

+ 소화율 기준

동물에서는 각기병이, 성숙한 동물에서는 골연화증이 생긴다. 급성 불균형에 의하여는 유열(parturient paresis)이 유발된다. 유열은 저칼슘혈증 및 저인혈증이 주 증상이다. 즉 칼슘의 흡수량은 증가함에도 뼈에서의 칼슘동원이 억제되어 우유중으로 배출된 칼슘량을 보충하지 못하기때문에 유열이 발병된다. 이를 예방하기 위하여는 분만 2주전 부터 칼슘수준이 낮은 사료로 사육함으로써 뼈로부터의 칼슘동원능력을 향상시켜야 한다. 그러나 분만후에는 다량의 칼슘을 투여하여야 한다. 고단위의 비타민 D를 분만전 3~8일 동안 경구투여한 후 분만기부터 칼슘함량이 높은 사료를 공급하는 것도 유열예방의 한 방법이다. 비타민D를 고단위로 오래동안 투여하면 식욕감퇴, 장운동감퇴, 다

뇨, 심맥관계의 무기질침착 등의 과다증을 보인다. 일단 유열이 발병되었을 때에는 칼슘제제를 투여한다. calcium borogluconate은 칼슘의 용해도와 안정성이 높은 제제이며, calcium gluconate는 조직자극이 적은 것이 특징이다. 칼슘주사에 따른 부작용을 줄이기 위하여 유기물질에 칼슘을 결합시켜 천천히 칼슘이 유리되게 만든 제제도 개발되어 있다. 칼슘과 인의 대사에 있어서 두가지 물질의 비율과 함량이 모두 중요한 역할을 한다.

5. 미량 광물질

미량 광물질은 흡수, 작용 및 배설과정에서 상호작용을 보이기 때문에 이들의 상호관계를 한마디로 설명하기는 어렵다. 예를 들면 Cu와

표 6. 동물별 칼슘과 인 요구량

Animal	Calcium ration (g/kg)	Phosphorus ration (g/kg)	Ca : P ratio
Cattle			
Growing	3.9	3.1	1.26
Lactating beef	2.4	2.0	1.20
Lactating dairy (20-30kgmilk/day)	4.7	3.5	1.34
Horses			
Growing	4.4	3.0	1.47
Lactating	4.7	3.9	1.21
Adult, light work	2.5	2.0	1.25
Sheep			
Growing	2.0	1.8	1.11
Lactating	2.7	2.0	1.35
Swine			
Growing	6.5	5.0	1.30
Lactating	7.5	5.0	1.50
Dogs			
Growing	11.0	9.0	1.22
Lactating	11.0	9.0	1.22
Chickens			
Growing	10.0	7.0	1.43
Laying	27.5	6.0	4.58

Mo은 서로의 흡수와 작용을 억제한다. Mo농도가 낮은 사료에 Cu가 함유되어 있으면 더욱 쉽게 Mo결핍증을 보인다. Mo중독증에 Cu를 치료제로 사용한다.

대부분의 미량 광물질은 섭취가 부족하면 결핍증을 그리고 과량 섭취하면 중독증을 일으킨다 표 7. 에서는 몇 종류의 미량 광물질에 대한 최소 요구량과 최대허용량을 보여주고 있다. 그리고 미량 광물질은 제제의 종류에 따라서 생체이용율이 다르다(표 8). 미량 광물질의 생체에서의 작용은 잘 밝혀져 있는 것도 있으나, 어떤 것은 잘 알려져 있지 않다. Al은 동·식물체에서 공히 발견되나 그 기능을 아직 잘 모른다. Ni은 urease의 활성을 높임으로써 저단백사료로 사육하는 반추동물의 능력을 향상시키는 것으로 알려져 있다.

Cr: Insulin의 그 수용기에 대한 작용을 높여 주기 때문에 당내성 인자(GTF)로 알려져 있다. RNA와 핵단백질과 결합되어 있는데 그 작용은 잘 모른다. 사람에서는 당뇨병 치료제로 사용된다.

Co: 반추동물에서는 장내 미생물에 의하여 생성된 비타민B₁₂를 이용하기 때문에 B₁₂의 기질로서 Co를 첨가해 준다. 비타민B₁₂는 간장에 저장될 수 있기 때문에 결핍증은 드무나 Co결핍시 어린 반추동물에서는 성장이 지연되고 증체율이 감소되며 빈혈증상을 보인다. cobalt oxide를 pellet형태로 1, 2위내에 넣어주면 약 3년간

지속적으로 Co를 유리해 낸다. 이것은 독성은 약한 편이나 과량투여시 식욕감퇴, 증체율저하, 빈혈 등의 증상을 보인다.

Cu: 조혈, 결체조직의 대사, 신생가축에서의 myelin합성, 피부 및 피모의 착색, 골형성 등에 필요한 미량 광물질이다. cytochrome oxidase와 방향족 아미노산의 대사에 관여하는 효소의 조효소로 작용한다. 장에서는 많이 흡수되지 않으나, 간장에 저장되어 되고, 혈중에서는 ceruloplasmin의 형태로 운반된다. Mo, Zn, Fe 및 Ca은 서로의 흡수를 방해하며, Cu는 Mo과 Zn의 흡수를 방해한다. Cu를 함유하는 효소가 Fe의 흡수를 돕기 때문에 Cu는 Fe의 흡수를 용이하게 한다. 농후사료중에는 Cu함량이 비교적 높기 때문에 닭 및 돼지에는 따로이 공급할 필요가 없다. 경구투여용으로는 Cu과립이 있고, Cu - CaEDTA나 Cu methionate는 근육주사제로 개발되어 있다. 일회주사로 수개월간분의 Cu가 간장에 저장된다.

F: 결핍증은 거의 일어나지 않으나 과량투여시 중독증이 유발된다.

I: 갑상선호르몬의 구성성분으로서 결핍시 어린 가축의 경우 갑상선종이 유발된다. 비유기의 가축에는 유즙중으로 배출되기 때문에 요구량이 많다. 결핍시 여러 종류의 육도염을 이용할 수 있으나 특히 EDDI는 생체이용율과 조직잔유율이 높다.

Mg: 체내Mg의 약 30%는 뼈에 존재하며, 나

표 7. 미량광물질의 최소요구량과 최대허용량(유우)

Element	Minimum	Maximum
	requirement	safe level
	(ppm)	(ppm)
Cobalt	0.1	20
Copper	10.0	80
Iodine	0.5	50
Iron	50.0	1000
Manganese	40.0	1000
Selenium	0.1	5
Zinc	40.0	1000

Source : Adapted from Miller 1978

머지는 세포내에 고루 분포되어 있다. 이것은 high energy phosphate를 생성하는 효소의 조효소로 작용하며, 결핍시 과도한 흥분 그리고 중독시는 근마비증상을 보인다. 소화관에서는 쉽게 흡수되지 않으며 특히 K과 질소함량이 높은 사료는 Mg의 이용율을 낮춘다. Mg 결핍증, 즉 목초 tetany는 반추동물에서 흔히 볼 수 있는데 결핍증을 일으키는 인자는 표 9에서와 같다. 결핍증을 예방하기 위하여 금속 Mg alloy bullet (8×2.5cm, 100g)을 사용하면 효과적이다. 경구투여용으로는 MgO가 가장 좋으며, 피하주사체로는 MgSO₄제제 그리고 정맥주사용으로는 Ca-Mg borogluconate제제가 있다.

Fe: 혈액소의 구성 성분이며, 많은 종류의 산화계 효소의 조효소이다. 어린 돼지를 제외한 나머지 동물에서는 쉽게 결핍증이 일어나지 않는다. 계란중의 Fe함량은 상당히 높으나 산란계에서도 쉽게 결핍증이 생기지 않는다.

Mn: 연골의 구성 성분인 mucopolysaccharide chondroitin sulfate의 형성에 관여하는 glucosyltransferase의 조효소로 작용한다. 이외에

pyruvate carboxylase를 비롯한 수종의 효소의 조효소로 작용한다. 간장에는 조금 밖에 저장되지 않으나 닭을 제외한 기타 동물에서는 쉽게 결핍증을 보이지 않는다. 닭에서는 결핍시 perosis가 유발된다.

Se: 비타민E에서 언급한 바와같이 glutathione peroxidase의 조효소로서 불포화지방산의 과산화반응을 막아준다. 성장기에 요구량이 높으며, 결핍시는 어린면양 및 소에서 white muscle disease, 어린 돼지에서 hepatosis, dietetic 및 yellow fat disease 그리고 닭에서 exudative diathesis 등의 증상을 보인다. 이들 결핍증은 비타민E 혹은 Se의 투여로 치료된다(표 10). 과량 투여하면 중독증을 보이고, S는 Se의 흡수를 방해한다. 돼지와 닭을 위한 Se-비타민E제제가 있다. 경구로 투여할 경우 반추위 내에서 불용성물질로 되어 흡수가 방해된다.

Zn: carbonic anhydrase와 alkaline phosphatase의 조효소이며, RNA합성과 insulin분비에 관여한다. 근래에는 Zn결핍에 의하여 소의 thymus발육이 불완전하며 전염성질병에 대한

표 8. 경구투여용 미량광물질의 생체이용성 비교

Element	Good	Poor
Iodine	Sodium and potassium iodides,* calcium iodate, potassium iodate, diiodothymol, pentacalciumorthoperiodate	Diiodosalicylic acid
Copper	Cupric sulfate, † cupric chloride, cupric carbonate, cupric nitrate	Cupric sulfide, oxide elemental copper
Cobalt	Cobalt carbonate, † cobalt chloride, cobalt nitrate, cobalt oxide, † cobalt sulfate	
Iron	Ferric chloride, ferric sulfate, ferrous sulfate, ferrous fumarate, ferrous ammonium sulfate	Ferric oxide, ferrous carbonate, ferric orthophosphate
Manganese	Manganese sulfate, manganese chloride, manganese carbonate, manganese dioxide, manganese potassium permanganate	Manganese silicate, rhodocrosite (MnCO ₃ , ore)
Magnesium	Magnesium oxide, magnesium chloride, magnesium carbonate, magnesium citrate, magnesium acetate, magnesium lactate, magnesium phosphate	Magnesium ore, magnesium silicate
Selenium	Sodium selenite, sodium selenate, elemental selenium	
Sulfur	Sulfur amino acids, sodium sulfate, calcium sulfate, sodium sulfide	Elemental sulfur
Zinc	Zinc chloride, zinc sulfate, zinc oxide, zinc proteinate, zinc carbonate	

Source: Ammerman and Miller 1972; Peeler 1972.

* May be unstable.

† Commonly used form.

표 9. 목초로 사육하는 반추동물에 있어 목초 Tetany 유발 요인

Factors
Animal : Lactation, Pregnancy, All grass diet, Low carbohydrate intake, High nonprotein nitrogen intake, Underfeeding, Increasing age, High potassium intake
Plant : Rapid growth, All grass or cereal grain pasture, Organic acids that complex magnesium, High nitrogen in plants, High potassium in plants
Soil : High nitrogen fertilization, High potassium fertilization
Environment : Cool temperature

표 10. 비타민 E와 Se 결핍증의 치료효과 비교

Disease	Treatment effect		
	Vitamin E	Selenium	Chemical antioxidant
White muscle disease (calves, lambs)	Yes	Yes	Partioxial
Hepatitis dietetica (swine, chicks)	Yes	Yes	No
Exudative diathesis and muscular dystrophy (chicks)	Yes	Partial	No
Yellow fat disease	Yes	No	Yes

저항성이 감소되는 것으로 보아 면역형성에 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀져 있다. Fe, Cu 및 phytic acid는 Zn의 흡수를 방해하며, Cd과 Zn은 서로의 흡수를 방해한다. Ca은 Zn의 요

구량을 증가시킨다. Zn결핍시 성장이 지연되고, 상피세포의 대사장애가 일어나 돼지와 소에서 parakeratosis 증상을 보인다.