

# 가금사료에서의 칼슘과 인(I)

제공: 미국대두협회 한국사무소

**모**든 척추동물사료는 약 4%의 무기물을 포함한다. 이 무기물의 반이상이 칼슘과 인으로 구성되어 있다. 닭과 돼지에게는 12종의 필수무기물이 알려져 있으나, 상대적 양과 비용 그리고 요구량에 맞지 않게 급여하였을 때 발생하는 문제점을 생각할 때 칼슘과 인의 요구량이 가장 큰 관심거리다.

## 1. 칼슘과 인의 역할

칼슘은 가축의 체내에서 가장 풍부한 무기물로 골격구조의 99%를 차지한다.

칼슘은 대사의 여러가지 필요한 기능에서 중요한 역할을 한다. 칼슘의 중요한 기능을 열거하면 다음과 같다.

① 뼈의 형성과 유지에 필수적이다, ② 효

과적인 성장과 사료이용에 필요하다, ③ 난각형성에 필수적이다, ④ 혈액 응고에 필요하다, ⑤ 근육의 수축에 필요하다, ⑥ 신경전달에 필요하다, ⑦ 심장박동의 조절에 관여한다, ⑧ 효소의 안정제나 활성제 역할을 한다, ⑨ 여러가지 호르몬의 분비에 관여한다.

인은 체내에서 들쭉로 가장 풍부한 무기물이다. 체내에 존재하는 양의 80%는 골격조직에서 발견되고 나머지는 몸 전체에 고루 분포되어 있다.

사실상 인은 체내의 모든 대사에 관여하기 때문에 무기물중에서 가장 용도가 많은 무기물로 간주된다. 인의 중요한 기능을 열거하면 다음과 같다.

① 뼈의 형성과 유지에 필수적이다, ② 근육조직의 형성 및 난형성에 필요하다, ③ 효과적인 성장과 사료이용에 필요하다, ④ 세포대사를 조절하고 유전물질 전달에 중요한 역할을 하는 핵산의 구성성분이다, ⑤ 삼투압 유지 및 산-염기 균형에 도움을 준다, ⑥ 에너지대사에 관련된 여러가지 작용에서 중요한 역할을 한다. 대부분의 대사체계에서 에너지 전달은 ATP같은 인산결합체가 관여한다, ⑦ 지방산의 체내 이동에 중요한 역할을 하는 인지질을 형성한다, ⑧ 아미노산의 대사 및 단백질의 형성에 관여한다, ⑨ 여러 종류의 효소체계에서 구성성분이나 활성제 역할을 한다.

## 2. 칼슘과 인의 대사

칼슘과 인의 대사 및 이용에는 많은 인자가 작용한다. 중요한 인자로는 사료내 칼슘과 인의 비율, 비타민D의 함량, 사료에 첨가되는 칼

슽 및 인 공급원의 생체이용성, 동물의 연령과 생리상태 등이다.

골격구조가 빠르게 발달하는 어린 동물은 늙은 동물에 비하여 무기물을 보다 효과적으로 이용하는 경향이 있다. 난생산 중인 암탉은 난생산을 하지 않는 암탉보다 무기물의 이용효율이 좋다. 칼슽은 장에서 능동수송기전을 통해 흡수되는데, 이 능동수송기전은 비타민D의 영향을 받는다. 칼슽 흡수에서 비타민D의 역할은 특이성을 지닌 “칼슽결합 단백질” 또는 “calbindin”을 통해 이루어진다고 알려졌다.

칼슽은 또한 적은 양이지만 수동이온분산에 의해 흡수되는데, 칼슽의 요구량이 매우 적은 동물에게는 이 방식에 의해 흡수되는 칼슽의 양만으로도 충분할 것이다.

가금산업에 사용되는 여러 종류의 상업용 비타민D<sub>3</sub>의 생물학적 역할은 화학적으로 결정할 역할과는 본질적으로 다르다는 사실을 주지해야 한다(Yang 등, 1973).

결과적으로, 오늘날 많은 회사는 비타민 permix에 두개의 다른 비타민D 공급원을 사용한다.

인은 주로 소장 및 십이지장 부위에서 흡수된다. 다른 모든 영양소와 마찬가지로 요구가 많을수록 더욱 효과적으로 흡수된다.

장에서 흡수된 인은 몸전체를 순환하다가 곧 혈액에서 빠져나와 골격형성에 사용된다. 인은 뼈에서 빠져나와 혈액내 정상적인 인수준을 유



지하는데 사용될 수 있다. 혈액내 칼슽과 인의 수준은 부갑상선 호르몬에 의해 조절된다.

### 3. 칼슽과 인의 결핍증상

어린 동물에서 칼슽과 인의 의해 나타나는 증상은 구루병(rickets)이다.

뼈의 석화 또는 이상대사로 특징되는 구루병은 칼슽, 인, 또는 비타민D의 결핍에 의해 발생할 수 있다. 충분한 양의 칼슽과 인이 뼈의 유기연골기질에 축적되지 않아서 튼튼하고 밀도 높은 뼈를 형성하지 못한다. 구루병의 전반적인 증상은 관절의 약화와 부종, 뼈 말단부의 확대, 가금류의 경우에는 부리의 연화 등이다.

골연화증(osteomalacia)은 늙은 동물에서 칼슽이나 인의 결핍을 암시한다.

뼈가 다 자라서 성장이 멈춘후라도 칼슽과 인의 대사가 계속적으로 진행되고 뼈의 구조가 재조직 되어 골격이 약해지는 것을 방지해야 한다. 지속적인 무기물의 결핍은 약골을 유도

표1. 일반적으로 공급되어지는 칼슘과 인의 공급원

공급원	%Ca	%P
석회석	38	
굴껍질	38	
I. Calcium phosphates		
A. Natural or unprocessed		
Low fluorine rock phosphates	32-35	12-15
Colloidal phosphate (Soft phosphate)	18-20	9-10
Curacao phosphate	36	13-15
Bone meal, steamed	23-26	8-18
B. Chemically processed		
1. Dicalcium phosphates		
Dicalcium-monocalcium phosphate	15-23	18-23
Monocalcium-dicalcium phosphate	15-18	20-21
Precipitated dicalcium phosphate	24-26	18-22
2. Defluorinated phosphates	30-36	14-18
II. Sodium phosphate		
Monoammonium phosphate		25
Disodium phosphate		21
Sodium tripolyphosphate		25
III. Ammonium phosphate		
Monoammonium phosphate		24
Diammonium phosphate		20
IV. Phosphoric acid		23-24
Fish meals	2-14	2-7
Meat and bone meals	4-14	2-10
Poultry by product meals	2-10	2-8

하는데 약골은 강한 압력하에서 부러지기 쉽다.

얇거나 약한 난각은 산란중인 암탉에서는 칼슘의 결핍증상 중에 우선으로 꼽힌다.

심한 칼슘결핍은 난생산을 중단시킬 수 있다.

#### 4. 가금사료를 위한 칼슘과 인의 공급원

가금사료에 칼슘과 인을 공급하기 위해서 세계적으로 수많은 종류의 공급원을 사용하는데, 일반적으로 많이 사용되는 공급원을 표1에 나타냈다.

칼슘의 주공급원은 석회석과 굴껍질같은 해양성 공급원이다.

마그네슘의 함량이 높은 석회석은 설사나 성장저해를 유발하므로 사용하지 말아야한다.

사료에는 다양한 종류의 인공급원이 사용되는데, 천연산 인공급원에는 저불소함유 인광석, 조분석, 교질인산, 증기처리한 골분등이 있다.

골분은 통상적으로 높은 생물학적 가치를 가진 반면에, 다른 공급원은 인의 함량이나 생체 이용성이 낮고 가공된 인공급원에 비해 품질이 일정하지 않다.

하지만, 가격이나 공급면에서 볼 때 몇몇 지역에서는 천연산 공급원이 경제적이다.

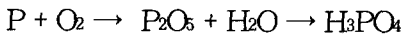
가금사료에 사용되는 인의 주공급원은 화학적으로 가공된 물질이다.

그 중에 하나는 "인산칼슘"이라고 불리는 류로 아래와 같이 인산과 석회석을 반응시켜 제이인산칼슘과 제일인산칼슘의 혼합물을 생산한다.

##### 1) 인산칼슘의 생산

###### 전기화로

천연인광석 + 규소자갈 + 코르크 → 인(P)



###### 습식가공

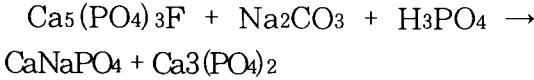
천연인광석 + 황산 → H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 석고

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 석회석 → 제이인산칼슘 + 제일인산칼슘

이 혼합물의 조성은 인산과 반응하는 석회석의 양에 의해 결정된다. 인산암모늄도 인산과 무수암모늄을 반응시켜 생산한다. 인산암모늄은 생물적가치는 높으나 가금사료에는 좀처럼 사용되지 않는다. 두번째로 많이 쓰이는 인의

공급원은 “불소 제거된 인산염”이다. 이 물질은 아래와 같이 인광석을 인산과 탄산나트륨에 반응시킨 후, 고온에서 구워서 생산한다.

2) 불소제거된 인산의 생산



이방식은 공정이나 최종생산물의 품질을 조절하기가 다른 화학적으로 가공된 공급원에 비해 어려운 것으로 알려졌다. 그러므로, 생물적 가치비교에서 불소 제거된 인산염은 인산칼슘에 비해 변이가 클것으로 보는 경향이 있다.

인산염의 원소조성에 의한 비교를 하면 인산칼슘은 불소 제거된 인산염에 비해 인의 함량은 약간 높고 칼슘의 함량은 현저히 낮다는 것을 알 수 있다. 불소 제거된 인산염은 통상적으로 4~6%의 나트륨을 함유하고 있는데 이 나트륨의 생체이용률은 매우 양호하다. (Nott와 Comb. 1969; Damron 등 1985). 고농도의 육계 및 돼지사료 배합시에 비용이 많이 소요되는 인자 중의 하나는 “배합비내의 공간적 여유”이다. 그러므로, 생물적 가치가 동일하다면 “영양소의 농도가 높은” 사료공급원이 최소비용배합비(least-cost formulation)에서는 환영을 받는다.

5. 생물적 이용률의 개념

생물적 이용률의 개념이란 여러종류의 공급원에서 제공되는 영양소의 이용률은 각기 다를 것이고, 이 차이점은 측정할 수 있으며, 이렇게 함으로 공급원을 비교할 수 있다라는 것을 뜻한다.

일반적으로 인에 적용되지만 칼슘원의 비교

표2. 육계에 대한 인의 생체이용률

공급원	%Ca	%P%	Na	인의 생체이용률(%)	
				예1	예2
Monocalcium phosphate A	16.9	23.06	.28	98	-
Monocalcium phosphate B	16.8	23.15	.07	89	97
Hydated dicalcium phosphate A	25.65	17.93	.01	99	103
Hydated dicalcium phosphate B	27.32	20.48	.04	90	95
Anhydrous dicalcium phosphate A	29.17	21.38	.03	86	-
Anhydrous dicalcium phosphate B	29.73	21.16	.03	85	86
Defluorinated phosphate A	31.81	18.50	5.62	96	-
Defluorinated phosphate B	31.81	18.11	4.94	96	94
Ca-Mg-Na Phosphate	9.93	17.34	11.55	101	104
Sodium phosphate	-	21.26	28.74	100	100
Meat and bone meal	12.09	5.80	-	90	-
Monosodium phosphate	-	19.8	14.7	96	-
Ca-Al-Fe phosphate	7.5	14.5	.6	-	15

에도 같은 개념이 적용될 수 있다.

칼슘에 비해 인이 비용이 많이 드는 이유로 대부분 인에 많은 관심이 쏠려 있었다.

생물적 이용률(생체이용률 : BV)은 인공급원이 동물의 생리적 작용을 지원할 수 있는 정도를 측정하는 것이다.

좀처럼 거론되진 않지만 생체이용률이란 “상대적” 생체이용률을 의미한다. 어떤 인공급원이라도 완전히 이용되지는 않는다. 어느 정도는 정상적인 소화나 대사과정 중에서 유실된다. 나아가서, 많은 인자가 인의 흡수에 영향을 미친다. 어떤 공급원에서든지 “진정” 또는 “절대” 이용률이 추구하는 목표지만, 수많은 인자가 관여되어 있기 때문에 이목표를 달성하기는 어렵다.

인공급원의 생체이용률은 일반적으로 시험공급원을 표준공급원에 비교하는 방법으로 측정됐는데, 여기서 표준공급원에는 임의의 생체이용률값을 설정했다. (통상적으로 100). 그래서, 몇몇 연구결과에서 특정 공급원은 BV값이 100보다 높게 측정되는 경우도 있다. 상대적 비교방법은 “진정” 이용률의 측정에 관련된 문

제를 극복할 수 있다. 비교방법의 측정에 관련된 문제를 극복할 수 있다. 비교방법의 가장 큰 장점은 다양하게 응용할 수 있다는 점이다. 이 방법에 의한 연구에서 나온 값은 비록 상대치이지만, 일반적으로 “좋은”인은 “좋은” 공급원이고 “나쁜”인은 “나쁜” 공급원으로 해석된다.

인의 생체이용 분석법간에는 수많은 변이가 존재하지만, 기본 절차는 거의 동일하다. 몇몇 연구자는 인결핍을 두드러지게 나타내기 위하여 반순수사료의 사용을 추천하지만, 식물성 사료원료만을 사용하여 실험에 필요한 인결핍 사료를 개발할 수 있다. 육계나 산란계의 어린 병아리를 실험동물로 사용하여 표준인과 실험하고자 하는 인공급원을 수준별로 첨가한 실험 사료를 급여하면 된다.

첨가 수준은 반응(증체량, 대퇴부 회분함량, 발톱회분함량)이 반응곡선의 직선부분에 나타

표3. 체중과 발톱크기에 따른 인의 생체이용률

공급원	%Ca	%P	%Na	생체이용률		
				체중	발톱크기	혼합
Monocalcium phosphate						
1	17.96	20.52	-	93.8	93.3	93.5
2	15.44	20.49	-	85.8	97.4	91.6
3	15.53	20.78	-	89.5	95.6	92.6
평균				89.7	95.4	92.6
Dicalcium phosphate						
1	22.96	18.83	-	75.6	85.4	80.5
2	20.32	18.45	-	75.6	78.6	77.1
3	30.34	18.26	4.28	70.9	72.8	71.8
평균				68.1	71.3	69.6
Defluorinated phosphate						
1	31.78	18.52	4.33	77.6	76.5	77.0
2	31.78	18.63	4.63	76.3	73.9	75.0
3	31.16	18.60	4.70	72.6	77.3	75.0
4	31.42	18.77	5.03	73.2	76.6	74.9
평균				74.9	76.1	75.5

날 정도로 정해야 한다. 대퇴부 회분함량이 BV값 측정을 위한 반응지표에 가장 널리 사용되었으나 많은 연구자는 발톱 회분함량을 반응지표에 사용하여 유사한 BV값을 얻었다. 발톱 회분함량 분석은 대퇴부 회분함량 분석에 비해 실험상 훨씬 용이하다. 시험기간(14~21일) 종료시 시험동물을 도계하고, 대퇴부회분함량이나 발톱 회분함량을 측정한다. 표준공급원에 대한 시험공급원의 상대적인 BV값은 slope-ratio방법으로 결정한다.

BV값을 위한 참고자료의 선택은 인공급원 평가의 지속성을 유지하기 위해 중요하다. 수많은 공급원이 여태까지 성공적으로 사용되어 왔다. 자연계에 존재하는 모든 인산형태인 베타-제삼인산칼슘이 표준인으로 추천되어 왔는데, 베타-제삼인산칼슘은 안정적이고, 조성이 균일하며, 생물적 가치가 좋다. 시약용의 제일인산칼슘도 시약용의 제일인산나트륨만큼 표준인으로 자주 사용되었다. 만약 상기에서 언급한 표준인을 쉽게 구하지 못할 경우에는, 생물적 가치가 높은 것으로 알고있는 사료용의 인을 표준인으로 사용할 수 있다. 몇몇 연구에서는 인산을 사용한 경우도 있다. 하지만, 인산은 표준인으로 사용하는 데는 문제가 있다. 인산은 가끔 사료내에서 다른 무기물과 반응하여 여러형태의 인을 형성한다. Sullivan Douglas (1990)는 인의 생물적 이용성 측정방법의 역사적 발달을 훌륭하게 검토했다.

## 6. 인공급원의 생체이용률

수많은 논문에서 가끔에 사용되는 인공급원의 생체이용률이 비교됐다. 이 연구들은 실험적

으로나 상업적으로 가금산업에 사용되는 인공 급원의 이용률을 조사했다. 사료용 인산염의 생산기술이 꾸준한 향상을 하므로 근래에 실시된 실험자료가 더 신빙성이 있다고 할 수 있다. 이 자료들을 표2, 3, 4에 나타냈다. 물론 예외는 있지만, 일반적으로 제일 인산칼슘의 생체이용률이 가장 좋은 것으로 받아지고 있고, 상대적으로 제이인산칼슘은 5% 낮게, 불소제거된 인산염은 10% 낮게 인정되고 있다. 몇몇 연구는 사료공장에서 수집한 인공급원을 검토했는데 이례적으로 아주 낮은 생체이용률도 관찰됐다. 이 같은 관찰로, 단백질원을 꾸준히 평가하듯이, 인공급원도 꾸준한 평가가 필요하다는 것을 알 수 있다.

사료용 인산염의 공급이 용이치 않고 가격도 높은 몇몇 국가에서는 가금사료의 인공급원으로 사용되는 천연산 인광석이나 비료용 인산염에 대한 의문이 제기되고 있다. 많은 연구에서 상기와 같은 인공급원을 사용해도 된다고 증명됐으나 문제점 또한 지적되고 있다. 오래전인 1945년에 Matterson 천연산 인산염의 이용률은 가공된 인산염과 유사하다고 증명했으나 불소의 함량에 따라 천연산 인산염의 사용량이 제한된다는 점을 강조했다.

표4. 체중과 발톱크기에 따른 인의 생체이용률

공급원	%Ca	%P	%Na	생체이용률		
				체중	발톱크기	혼합
Lucaphos-48	29.0	20.9	.03	89.8±5.6	88.0±5.6	88.4
Lucaphos-40	26.7	18.9	.005	92.9±5.9	101.3±5.8	95.1
Rukuna	31.6	18.2	6.4	85.7±5.3	81.7±4.6	83.7
Ceftaphos-NI	17.4	22.9	.07	103.8±6.8	105.8±6.0	104.8
Phosphoric acid	-	15.9	.02	89.8±5.6	97.0±5.6	93.0
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	15.9	24.5	-	112.9±7.6	110.7±6.3	111.8
Biophos	16.5	21.0	-	94.3±6.1	89.6±5.1	92.0
CaHPO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	23.3	18.0	-	100	100	100

Gerry 등 (1947, 1949)은 병아리와 산란중인 암탉에서 불소의 함량이 다른 인광석의 이용성을 조사했다. 불소의 함량이 낮은 인광석은 괜찮았으나 불소의 함량이 높은 경우에는 성장에 좋지 않은 영향을 미쳤다. Sstrue 등(1976)은 비료용 인산염의 인 이용률은 높으나 불소의 함량이 높은(2.8%) 경우에는 칠면조의 성장을 저해했다고 보고했다. Said 등(1979)은 산란중인 암탉을 이용한 실험에서 천연산 인광석을 사용시 성숙숙 지연 및 산란률 저하를 관찰했다. Rojas 등(1980)은 인광석의 생체이용률을 65.5%로 보고했다.

산란계에서 인산칼슘을 대체했을 때, 산란율은 감소하고 사료효율은 증가했다. Osirio와 Jensen(1986) 천연산 인광석의 생체 이용률이 65~68%고 확인했다; 이어지는 육계실험에서 인공급원으로 인광석만을 사용했는데 성장율이나 뼈회분함량에 차이가 없었다. 사용된 인광석의 불소함량은 1.36%로 많이 첨가한 경우에는 사료의 불소함량이 473ppm이었다. 인광석-천연산 인광석 또는 약간 가공된 비료용 인산염-은 생체이용률 및 불소와 바나듐의 함량만 주의하면 가금사료에 사용해도 된다고 인식되고 있다. (Berg, 1963; Sullivan 등, 1994).

상기 인공급원의 이용률은 변이가 크므로 각각의 공급원은 이용률 평가를 해야하고 평가에 의해 얻어진 이용률값에 의해 배합비를 작성해야 한다. 상기 인공급원은 단독으로 사용하지 말고 가공된 인산염이나 골분, 육분같은 동물성단백질과 함께 사용하는 것이 바람직하다. 상기 인공급원의 불소함량도 중요하다는 것을 강조한다. 사료내 불소함량 50ppm을 초과하면 안된다(NRC, 1994). (다음호에 계속) **양계**