가금사료에서의 칼슘과 인(Ⅱ)

제공 : 미국대두협회한국사무소

7. 식물성사료원의 인 생체이용률

식물성사료원에 함유된 인의 일반형태는 피틴태인이다. 피틴산은 칼슘, 인, 마스네슘, 아연, 망간같은 원소들과 결합하여 이들 원소를 불소화성으로 만든다. 피틴태 인의 이용률은 가축의 축종과 연령에 따라 다양하지만 일반적으로 매우 낮고 특히, 어린 가축에게는 더욱 낮다.

몇몇 연구보고는 피틴태 인의 이용률을 높게 제시하지만, 이것은 화학적으로 분리한 피틴태 인으로 자연계에 존재하는 피틴태 인과는 전혀 다르다.

대충 어림잡아 식물성사료원에 존재하는 인의 70%는 피틴태 인이므로 약 30%의 인만이 이용 가능하다. 하지만, 사료원에 함유된 피틴태 인을 실제로 측정해 보면 전체 인 중에서 티핀태 형태로 존재하는 인의 함량은 천차만별이다(Nelson, 1967; Nelson 등, 1968a). 배합비 작성시 추측값인 70:30 비율보다는 실제로 측정된 값을 사용해야 한다.

무기물 영양에서 소홀히 취급되는 사항 중의 하나는 피틴태 인에 대한 칼슘 수준의 조정이다.

표5. 일반 식물 사료의 인의 함량

사료 원료	인의 함량		
	Total	Nonphytate	%nonphytate
Alfalfa meal, 17% CP	.22	.22	100 0
Barley	.36	.17	47 2
Buckwheat	.32	.12	37 5
Canola meal, 38% CP	1.17	.30	25 6
Distillers dried grains	.40	.39	97 5
Distillers dried solubles	1.27	1.17	92 1
Corn, grain	28	08	28 5
Cottonseed meal, 41% CP	.97	.22	22 6
Pearl millet	32	12	37 5
Oats, grain	27	05	18 5
Peanut meal	.63	.13	20.6
Rice bran	1 50	22	14 7
Rice polishings	1 31	14	10 7
Rye, grain	32	06	18 8
Safflower meal, 43% CP	1 29	39	30.2
Sesame meal, 43% CP	1 37	.34	24.8
Soybean meal, 44% CP	65	.27	41.5
Soybean meal, 48% CP	.62	22	35 4
Sunflower meal, 45% CP	1 00	.16	16.0
Wheat bran	1 15	.20	17.4
Wheat middlings	.85	30	35 3
Wheat, hard winter	.37	13	32 0

이것은 피틴태 인의 많이 함유된 사료원 예를 들면, 미강, 소맥피, 캐놀라박, 해바라기박 등을 사용할 경우에는 더욱 중요하다.

이같은 상황에서 칼슘의 최소량을 잘못 조종하면 칼슘결핍을 유발한다(Nelson 등, 1968b). Nelson(1984)은 피틴내 인의 존재시 칼슘의 수

준을 조정하기 위한 공식을 아래와 같이 제시했다.

> 예를 들면, 옥수수-대두박 위주의 사료에 최소량 0.45%의 유효인을 공급하기 위해서는 총인의 함량은 0.70% 정도이어야 하며 이중 0.25%은 피틴태 인으로 공급된다. 상기의 공식을 이용하면, 최소 칼슘수준 0.6+(.25×1.1)=.88%이 요구된다. 그러나, 옥수수-미강-소맥피에 캐놀라박이나 해바라기박을 첨가하여 배합한 경우에는 최소량 0.45%의 유효인을 공급하기 위해서는 총인의 함량은 1.5%이어야 한다. 이 형태의 사료는 1.05%의 피틴태인을 함유하고 있으므로 최소 칼슘수준은 0.6+(1.05×1.1)=1.75%이다.

사료내 칼슘(%)=0.6+(피틴태 인×1.1)

가금사료에 피타아제 효소의 첨가는 병아리에서 피틴태 인의 이용성을 향상시킨다고 오랫동안 알려져 왔다(Nelson 등, 1968c, 1971).

이같은 효소는 현재 상업적 제품으로 판매되고 있으며 가축분뇨에 의한 환경오염문제가 심각한 지역에서는 유용하다.

사료에 사용하는 미강이나 소맥피의 피틴태 인 함량이 높은 지역에서는 피타아제 효소를 사용함으로써 인요구량을 공급하는데 드는 비용을 줄일 수 있다.

8. 동물성단백질원의 인 생체이용률

육골분, 가금부산물 같은 동물성단백질원은 이 사료원이 함유되고 있는 단백질품질의 우수성과 고함량의 인 때문에 오래전부터 사용되어 왔다. Waldroup 등 (1965), Spandorf와 Leong (1965)의 연구에서는 육골분, 가금부산물, 어분 등으로 공급되는 인은 가금에 의해 잘 이용되는 것으로 나타났다. 최근에 가축의 뼈에서 공급되는 인의 생체이용률을 재검토했다.(Orban과 Roland, 1992);

그런데 이 실험에 사용된 뼈는 가축에 급여전에 멸균기에서 증기고열 처리됐고 시료에 많은 양의 뼈조각이 있었다고 보고했다.

최근의 연구에서, Waldroup와 Adams (1994)는 가금부산물과 육골분에서 인의 생체이용률이 높다는 것을 확인했다.

9. 화학분석에 의한 생체이용률의 추정

병아리를 이용한 생물학적 분석이 인의 생체이용율(BV) 측정방법으로는 가장 신뢰성이 있다.

그러나, 이같은 분석은 비용과 시간이 많이 소요된다. 오랜기간 영양학자들은 실험실적인 (in vitro)인의 용해도와 동물실험에서 얻은 생물학적 가치의 상관관계 개발에 노력했다.

Gillis 등, (1948)은 인의 BV를 0.4% 염산용액에서 용해도와 비교했다.

이 방법은 불용성물질의 확인과 제거에만 유용하다고 보고했다.

Holloran(1972)은 4종의 사료용 인산염시료의 BV와 수용액에서 용해도를 비교했다.

시약용 제일인산칼슘을 표준인으로 사용했다.

인산염간에는 수용액 용해도에서 현저한 차이를 찾아냈으나 BV와는 상관관계가 없었다.

Day 등, (1973)은 동물실험에서 측정한 7종의 사료용 인산염의 BV를 .4% 염산 용해도, 2% 구연산 용해도, 중성구연산암모늄 용해도에 비교했다. 동물 실험에서 구한 BV값과 용해도 사이에는 상관관계가 성립되지 않는다는

결과를 얻고, 약산성에서 인의 용해도는 BV를 추정하는 방법으로는 신뢰성이 없는 것으로 보고했다.

표6. 사료 등급별 인의 화학적 용해대 닭 생체에서 이용율 분석

구분	Defluorinated Phoshates Mono-dical Dicalcium						
	1	2	3	4	5	Pho-shate	Pho-shate
Total P,%	18.1	180	183	183	182	21.4	190
Chick BV[1]	80	85	88	92	83	101	85
Solubility in							
NAC[2]	81.2	772	601	426	776	95.3	989
2% CA[3]	796	811	667	74.3	81.4	939	995
4% HCl	93.9	978	967	995	973	94.4	995

[1]Relative bioavailability compared to monosodium phosphate using bone ash.
[2]NAC=Neutral ammonium citrate.
[3]CA=구연산

Pensack(1976)은 여러종류 사료용 인산염의 BV를 수용액 용해도와 비교했다. "인산칼슘"류에 속하는 인산염간에는 BV와 용해도의 상관관계가 성립됐으나 "불소제거된 인산"류에 속하는 인산염간에는 상관관계가 없었다.

Caswell(1984)은 화학적으로 가공된 인산염(제이인산칼슘과 제일인산칼슘)과 열화학적으로 가공된 인산염(불소제거된 인산염)의 소화율에는 분명한 차이가 있음을 지적했다. 화학적으로 제조된 인산염은 산성으로 소장의 상부에서 잘 용해되지 않지만, 열화학적으로 제조된 인산염은 중성에서 약알칼리성으로 약산성인 소장의 상부에서 잘 용해된다.

Sullivan 등, (1992)은 사료용 인산염 평가를 위해 집중적인 실험을 실시했다. 칠면조 실험에서 측정한 BV값을 다양한 조건으로 실시한 용해도와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

가) 수용성 용해도와 상대적 BV와의 상관관계는 매우 적다. 용해도는 불소제거된 인산염(인 18%)과 인산칼슘(인 18.5%)의 BV와 거의 상관관계를 보이지 않았다;

나) .4% 염산 용해도, 2% 구연산 용해도, 중성구연산암모늄 용해도와 BV사이에는 양의 상관관계가 성립됐다. 2% 구연산 용해도나 중성구연산암모늄 용해도는 실험실적 분석법이나 BV값을 추정하기 위한 적격심사에 합당하다;

다) 인공급원의 상대적 BV를 측정하는 방법으로는 14~21일간의 동물실험이 가장 신뢰성이 높은 방법이다.

Coffey 등, (1994)은 불소제거된 인산염의 경우 중성구연산암모늄 용해도는 닭에서 측정한 BV와 약한 상관관계가 성립되었으나 돼지에서는 성립되지 않았다(표7). 연구자가 닭과 돼지에서 상대적 BV값에 대해서는 언급하지 않았지만 닭에서 측정한 BV값은 돼지에서 측정한 BV값과 일치하지 않은 것으로 나타났다.

표7. 사료등급별 인산염의 천연암모늄시트레이트의 용해와 생체의 이용률 분석 비교

인 소 스	평 균 NAC 용해도	생체이용률	
		닭	돼지
	(%)		
Defluorinated Phosphate 1	60	81	90
Defluorinated Phosphate 2	70	75	80
Defluorinated Phosphate 3	75	84	82
Defluorinated Phosphate 4	82	84	90
Defluorinated Phosphate 5	91	91	87

10. 칼슘공급원의 생체이용률

다양한 사료원과 칼슘/인공공급원이 총칼슘

함량에 관한 깊이 있는 정보는 충분한데, 이런 원료원의 칼슘이용률에 관한 자료는 드물다. 인과는 대조적으로, 칼슘은 가금사료에서 비용부담이 적은 영양소로서 경제적인 면에서 이용률 측정은 소홀히 여겨졌다.

가금과 돼지에 사용되는 칼슘공급원의 생체이용률을 개발하기 위한 여러 가지 직·간접 연구가 수행됐다. Waldroup 등, (1964)은 닭 실험에서 시약용 탄산칼슘과 황산칼슘을 분쇄굴껍질과 2종의 석회석분말에 비교하였다.

증체량과 대퇴부 회분함량을 반응지표로 볼 때 상기의 공급원간에는 차이가 없었다. Dilworth 등, (1964)은 닭에 사용되는 인공급원의 칼슘 생체이용률을 추정하는 실험을 실시하고, 이용율에는 커다란 차이가 있다는 결론을 내리면서, 칼슘과 인의 생체이용률 사이에 양의 상관관계가 있음을 제시했다.

McNorughton 등, (1974)은 굴껍질이나 석회석의 칼슘 이용성은 입자크기에 따라 좌우된다고 했는데, 자료를 보면 미세하거나 중간 정도의 입자(US sieve 16 이상)가 닭사료에는 바람직하게 나타났다.

Reid와 Weber(1976)는 시약용 탄산칼슘에 비교한 수종의 칼슘원의 평가에서 칼슘이용률이 73.3~109.4%인 것을 관찰했다.

입자크기 등과 같이 칼슘이용률에 영향을 미칠 조건에 관한 설명은 없었다. Hillman 등, (1976)은 칠면조 사료에 사용되는 석회석의 입자크기를 비교하였다.

저칼슘의 사료에서는 미세한 입자가 이용성이 높아 증체량 및 사료효율이 향상되는 결과를 보였다. 반대로, 고칼슘의 사료에서는 거친 입자의 사용이 증체량과 사료효율을 향상시켰다.

닭의 성장에 칼슘의 이용성이 중요하다는 것을 증명한 McNaughton(1981)은 닭의 인요구량은 사료에 사용된 석회석의 입자크기에 영향을 받는다고 보고했다. Anderson 등, (1984)은 닭은 미세한 입자에 비해 중간정도(150~1,000 micron) 크기의 잉여칼슘을 소화기관에서 쉽게 제거할 수 있다는 것을 알았다.

산란계에서 칼슘원의 생체이용률 및 입자크기의 관련성에는 많은 논란이 있다. Scott 등, (1971)은 석회석분말의 2/3를 큰입자의 굴껍질로 대체하면 난각의 강도가 개선된다고 제시했다; 이것은 굴껍질이 천천히 용해되어 근위(筋胃)에서 혈액으로 흡수되는 칼슘의 양이 일정한 것에 기인한다. Kuhl과 Sullivan(1977)은 근위에서 큰입자 석회석의 지체는 큰입자 굴껍질보다 훨씬 크다고 했다.

묽은 염산에서 실시한 용해도에서는 두공급원 사이에 차이가 없었다.

칼슘공급원이나 입자크기에 대한 반응은 사료내 칼슘수준에 민감한 것으로 나타났기 때문에, 칼슘 수준이 낮거나 난질에 문제가 있을 상황에서는 이에 대한 관심이 매우 높다.

Roland와 Harms(1973)는 석회석분말의 2/3을 큰입자나 중간입자 석회석으로 대체하면 더운 여름철에는 난질에 향상이 있다고 보고했으나 서늘한 가을철에는 아무런 효과가 없었다. Roland 등, (1974)은 저칼슘사료에서는 미세한 입자의 석회석을 큰입자로 교체하면 난질에 괄목할 만한 향상이 관찰되는데, 고칼슘사료에서는 이 같은 향상이 없었다.

그러므로, 사료내 칼슘함량만 적당하면 석회석의 입자크기는 난질에 영향이 없다고 결론지

었다.

Muir 등, (1975, 1976), Miller와 Sunde(1975), Vogt(1975, 1976), Watkins 등, (1977)의 연구에서도 유사한 결과가 관찰되었다. 반대로, Brister 등, (1981)은 칼슘수준이 적당할 경우라도 미세한 석회석분말의 일부를 큰입자의 굴껍질로 대체하면 난질을 현저히 향상시킨다고 보고했다.

또한 굴껍질에서 제공되는 칼슘은 석회석에서 제공되는 칼슘보다 난각형성에 훨씬 이용성이 높다고 결론지었다. Kuhl 등, (1977)은 칼슘원의 입자가 클수록 난각 강도가 증가되는 경향을 관찰했다. Roland(1978)는 산란계에서 굴껍질 대 석회석 분말에 관한 자료를 종합, 분석하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

대부분의 연구논문에서 난질향상 면에서는 굴껍질과 고품질 석회석간에는 차이가 없었다. 큰입자나 중간입자 크기의 굴껍질 또는 석회석은 사료내 칼슘의 수준이 부적당할 경우에만 난질향상 효과가 있다.

칼슘원의 용해도 측정을 위한 방법들이 제안되었다(Jensen과 Ranvig, 1980; Savage, 1982; Cheng과 Coon, 1990a, 1990b). 하지만, Cheng과 Coon(1990c)은 단기간의 산란계 실험에서 석회석에서 굴껍질로 전환, 고용해성 석회석에서 저용해성 석회석으로의 전환 등은 난질이나 산란성적에 영향을 주지 않는다고 보고했다. 사료내 칼슘원의 대부분이 특정한 형태이거나 칼슘수준이 적당할 경우에는 암닭은 석회석이나 굴껍질의 공급원 형태가 다소 달라도 쉽게 적응한다. 그러므로, 칼슘공급원에 따른 "바람직한" 용해속도에 관한 특별한 제안은 할 수가 없다.

11. 요 약

칼슘과 인은 닭이나 돼지가 요구하는 무기물의 대부분을 차지하며 또한, 무기물공급에 소요되는 비용의 거의를 차지한다. 어린동물에서의 골격성장, 성장한 동물에서의 난질과 골격강도는 경제적으로 매우 중요하듯이, 수많은 연구가 인공급원 이용률의 중요성을 주지했다. 반면에 칼슘공급원의 이용률에 대한 연구는 다소 미약했다.

사료용 인산염의 생체이용률에 관한 일반적인 경향을 이끌어 낼 수 있음에도 불구하고, 상업적으로 이용가능한 인공급원에는 커다란 변이가 관찰되기 때문에 고품질의 사료제품을 유지하기 위해서는 인공급원의 꾸준한 평가제도가 요구된다.

현재로는 단위동물을 위한 인 이용률을 추정할 수 있는 실험실적 방법은 없고 동물 실험만이 유일한 방법으로 남아 있다.

인산염공급원의 칼슘 이용률은 인 이용률과 유사한 형태를 보인다. 석회석류와 굴껍질류 칼슘공급원의 칼슘 이용률은 다소의 변이가 관찰되고, 공급원의 입자크기에 크게 영향을 받는다. 사료내 칼슘수준이 적당할 경우에는 차이가 감소된다.

산란계에서 큰입자 석회석이나 굴껍질의 사용은 사료내 칼슘수준의 부적당, 사료 섭취감소 등과 같은 스트레스 상황에서는 난질 향상 효과가 있다. 산성용액에서의 용해도는 칼슘원마다 다르지만, 칼슘공급원에 따른 바람직한 용해속도에 관한 특별한 제안은 할 수가 없다. 양계