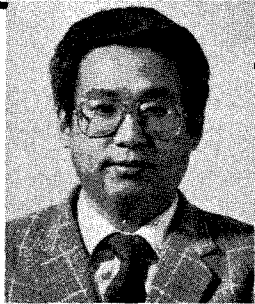


채란계 전해질 공급이 산란 및 난각질에 미치는 영향



최윤재 교수 / 서울대학교 농과대학

1. 서론

전해질이란 어떤 물질과 융합하거나 용액에 녹을 때 이온으로 분해되는 물질로서 전하를 전달할 수 있는 물질을 말한다. 이온에는 양이온과 음이온이 있는데 혈액과 세포액의 주된 양이온 전해질에는 나트륨(Na^+), 칼륨(K^+), 마그네슘(Mg^{2+}), 칼슘(Ca^{2+}) 등이 있고, 주된 음이온에는 염소(Cl^-), 중탄산이온(HCO_3^-), 인산이온(H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}), 황산이온(SO_4^{2-}), 그리고 단백질과 유기산 등이 있다(표1).

전해질의 기능은 삼투압을 조절하고 수분의 균형, 신경자극전달, 근육수축, 산소 및 탄소수송, 산과 염기균형 및 요소 반응에 관여한다. 체내에서 산염기 균형이 망가지면 대사적 조절작용에 앞서 산염기 균형을 조절하려 하기 때문에 산 기균형이 깨지면 여러가지 대사상 문제가 발생한다.

채란계에 있어 난각의 질은 채란계 농장이나 부

화업체 뿐만 아니라 계란 유통업자에게도 수송 및

표1. 혈장과 세포내의 주요 양이온과 음이온

조성성분	혈 장 mEq/l	세포간질액 mEq/l
양이온		
나트륨	142	10
칼륨	5	141
마그네슘	5	3
칼슘	3	31
총계	155	185
음이온		
염소	103	5
중탄산이온	27	10
인산이온	2	64
황산이온	1	17
단백질(protinate)	16	88
유기산	6	1
총계	155	185

저장시 파손문제로 매우 중요시되는 문제이다. 난각질에 가장 큰 문제는 난각이 얇아지는 연란으로 이것들은 취급시 파란이 쉽게 되어 경제적 손실이 크다. 난각질은 여러가지 요인에 의해 영향을 받지만, 가장 중요한 요인은 사양조건, 계절적 사양온도와 칼슘과 인 등의 전해질의 영양적 요인으로 대별할 수 있다.

본고에서는 칼슘과 인, 나트륨, 칼륨 등의 전해질과 이들의 균형이 난각질에 미치는 영향에 대해 살펴보기로 하겠다.

2. 전해질 균형의 이론

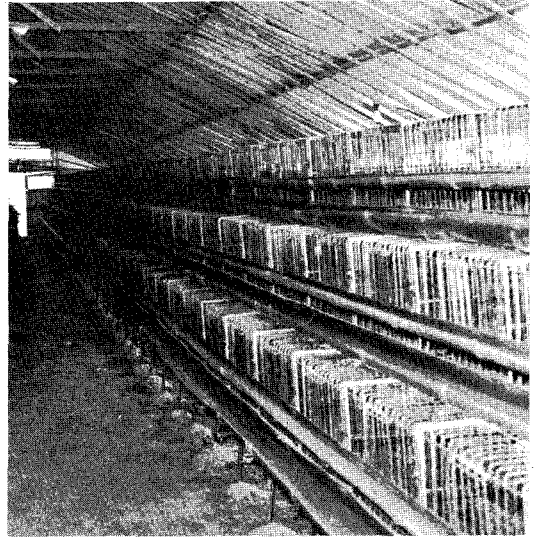
사료로 섭취된 전해질(electrolyte)과 신장(kidney)에서 배설되는 전해질이 체액의 산염기 균형에 관계한다. 여기서 먼저 산염기 균형에 대해 살펴보자. 산염기 균형이라함은 혈액 및 체액의 pH를 일정하게 유지시키기 위해 생체에서 여러가지 조절을 발하는 것으로 브로일러 및 산란계의 생산성이나 대사작용에 영향을 미치므로 실제적인 사료 배합작성이나 연구시험에서 매우 중요한 자리를 차지하고 있다. 산염기 균형의 생체내 조절을 보면 ① 화학적 조절로서 혈액 및 체액의 완충작용이 있고 ② 생리적 조절작용으로 호흡에 의한 조절작용과 ③ 신장배설에 의한 조절작용이 있다.

작용기전을 보면, 수소 생산이 과다한 경우(acidosis)에는 신장에 의한 glutamine의 흡수가 일어나서 결과적으로 암모니아(NH_3)가 생성되고 암모니아는 암모늄 이온(NH_4^+)으로 배설되므로 과다한 수소를 제거할 수 있다.

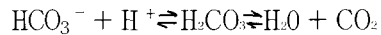
한편 alkalosis인 상태에서는 간에서 glutamine의 이용이 증가하게 되어 요소의 생산이 증가하게 된다. 결과적으로 glutamine 분해로 생성된 암모니아가 요소로 변화할 때는 내생수소가 발생한다.



Carbonic acid-bicarbonate system은 폐와 신장

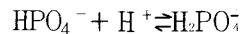


에서 다음과 같은 기작에 의해 산염기 균형조절에 관계한다.



즉 acidosis인 경우에는 작용의 방향이 우측으로 가서 H^+ 의 농도를 낮추고 alkalosis인 상태에서는 작용이 좌측으로 가서 H^+ 의 생성을 증가시킨다.

Phosphate system도 신장에서 아래와 같이 산염기 조절기능에 관계한다.



Phosphate system은 pH가 6.8이므로 이상적인 buffer system이다. 그러나 체액의 Phosphate 농도가 낮기 때문에 체액에서 보다 Phosphate 농도가 높은 세포내의 산염기 균형에 중요한 역할을 한다.

이와 같이 여러가지 buffer system을 통하여 체내의 pH를 일정하게 유지하려는 가장 큰 목적은 효소나 세포구성 단백질의 고유한 특성을 유지하기 위함이다.

사료내 전해질의 공급은 병아리의 성장 및 산란계의 생산활동에 영향을 미친다. 더욱이 사료내 Na, K와 Cl 간의 상호작용은 체내 산염기 균형에 작용하며, 산란율과 난각의 질 및 비중, 육계의

성장과 골격대사 등에 영향을 미친다. 가축사료 내 양이온과 음이온의 균형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{양이온} - \text{음이온} = \text{mEq}(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - \text{mEq}(\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{H}_2\text{PO}_4 + \text{HPO}_4)$$

여기서 가축이 섭취하는 순산도(intake net acidity)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{intake net acidity} = \text{사료의 meq}(\text{Anions-Cations}) + \text{내생수소이온}$$

한편 오줌에 있어서의 전해질 관계를 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{meq}(\text{TA} + \text{NH}_4 + \text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{U} \\ \text{AH} + \text{OBH})^+ \\ = \text{meq}(\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HPO}_4 + \text{UA} + \text{OA} + \text{HCO}_3) \end{aligned}$$

여기서 T. A = titrable acidity

UAH = 요산, UA = Urate ion

OBH = Organic base, OA = 유기산

여기서, 오줌으로 배설되는 순산도(Excreted net acidity)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Excreted net acidity = mEq anion-meg Cation
여기서 다시 base excess(B.E.)라는 개념에 대해 알아보자. B. E.는 excreted net acidity와 intake net acidity가 다르기 때문에 생긴다. 이것은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{B. E.} = (\text{Cat}-\text{An})_{\text{in}} - (\text{Cat}-\text{An})_{\text{out}} - \text{내생수소}$$

정상적인 조건하에서는 (Cat - An)은 양(Positive)이다. 가축들은 산염기 균형을 위해 B.E.를 영(0)에 가깝게 맞추기 위해 homeostatic regulation에 관련된 대사경로를 거치기 때문에 부분적으로 성장과 같은 다른 대사과정은 우회하게 된다.

예를 들면 대사성 alkalosis인 경우에는 신장에서 H⁺를 흡수하는 대신 K⁺의 부족현상이 유발된다. 또한 산염기 균형을 유지하기 위해 암모니아나 요소를 생성해야 하는데 이때 필요한 gl.

utamine이나 아미노산 중간대사 물질을 공급하기 위해서는 단백질의 낭비가 초래된다.

3. 사료배합시 고려되는 전해질

앞에서 살펴본 바와 같이 가축사료내 양이온과 음이온의 균형을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{양이온} - \text{음이온} = \text{mEq}(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - \text{mEq}(\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{H}_2\text{PO}_4 + \text{HPO}_4)$$

여기서 2가지 인산이온들은 여러형태로 존재하기 때문에 사료내 총 인함량만 가지고 전해질 균형을 규명하는데 도움이 되지 못한다. Ca와 Mg같은 2가 이온들은 주로 소화흡수과정에서 조절되므로 전해질 균형에 크게 중요하지 않다. 그러므로 위의 전해질중 신장(kidney)에 의해 직접 조절되는 Na, K, Cl 등이 전해질 균형에 중요한 역할을 담당한다. 사료내 전해질 함량은 사료kg당 milliequivalents(mEq/kg)로 흔히 표시되는데 다음 계산식을 이용하여 구한다.

$$\text{mEq/kg} = (\text{무게} \times \text{전자가}) / \text{원자량}$$

이런 과정에서 앞에서 정의했던 B. E.는 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

B. E. = (Na + K - Cl)_{in} - (Cat - An)_{out} - 내생수소
가축은 생체내에서 다른 대사경로에 우선하여 B. E.를 0(영)으로 맞추려고 하기 때문에 사료배합시 사료의 광물질을 조정하여 B. E.가 0(영)이 되도록 (Na + K - Cl)를 조정해 주는 것이 전해질 균형을 맞춰주는 요점이 되는 것이다.

일반적으로 가금은 Na와 Cl이 제한된 상황하에서는 meq(Na + K - Cl) / kg diet가 250에서 최대의 성장율을 보이며 Na와 Cl의 함량이 충분할 때에는 100 meq 이상에서 최대의 성장을 보인다. 일반적으로 옥수수-대두박 사료의 경우 (Na + K - Cl)은 사료kg당 100~180 meq이므로 별 문제가 없을 것이나 정상범위를 벗어나는 특수한 경우에는 전해질 균형을 충분히 고려해야 한다.

한편 아미노산과 전해질과의 관계에 있어 라이신-아지닌 길항작용시는 전해질 균형이 가금의 능력에 큰 영향을 미친다. 길항작용시 meq가 100 meq 이하에서는 성장율이 크게 저하된다.

4. 전해질 수준이 산란계에 미치는 영향

(1) 난각 형성과 전해질

난각은 94%의 탄산칼슘(CaCO₃)과 단백질, 인 등으로 구성되어 있으며 이중 40%는 칼슘(Ca²⁺)으로, 60%는 탄산기(CO₃²⁻)로 되어 있다. 또한 난각은 주로 하루 24시간중 밤중에 난각선(Egg shell gland)에서 만들어지며, 난각선에 칼슘(Ca²⁺)과 탄산기(CO₃²⁻)를 공급하는 공급원은 혈장이다.

따라서 정상적인 난각형성을 위해서는 혈장(Plasma)의 산염기 균형이 난각형성에 필요한 칼슘과 중탄산기를 공급하는데 매우 중요한 역할을 수행한다.

산염기 균형도 난각질의 강도에 영향을 미치는 주요 인자이다. 난각형성 동안에 자궁액(Uterine fluid)의 pH가 감소하고, 혈액의 pH도 감소한다. 이런 산혈증(acidemia)은 난각선에서 탄산기의 형성에 의해 생기는 것으로 추정된다. 이런 산독증은 과도호흡(hyperventilation)과 산성뇨의 형성에 의해 일부 보상된다.

여러가지 첨가제가 산란계에 있어 난각의 강도를 증가시키기 위해, 산독증을 막거나 줄이기 위해 사용된다.

난각의 질에 영향을 주는 전해질들은 Cl, Na, P, Ca, bicarbonate 들이고 이들은 서로 상호작용 관계를 가지고 있는 것으로 알려졌다(그림1). 사료내에 과다한 Cl이 함유될 경우에는 난각의 질이 떨어지는데 이는 혈중인의 함량을 높임으로써 간접적으로 계란의 비중을 떨어뜨리는 결과를 초래한다고 보여진다.

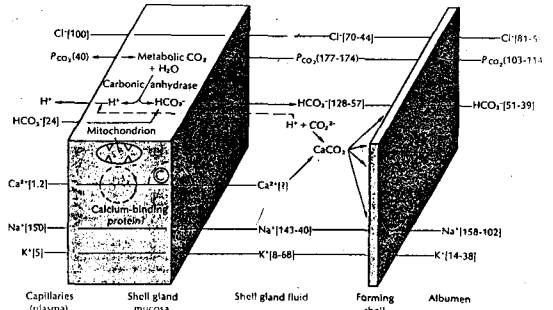
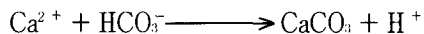


그림1. 난각형성동안의 이온의 이동을 나타내는 모형. 괄호 속에 있는 숫자는 1ℓ 당 millimole 이고 PCO₂는 mmHg 이다.

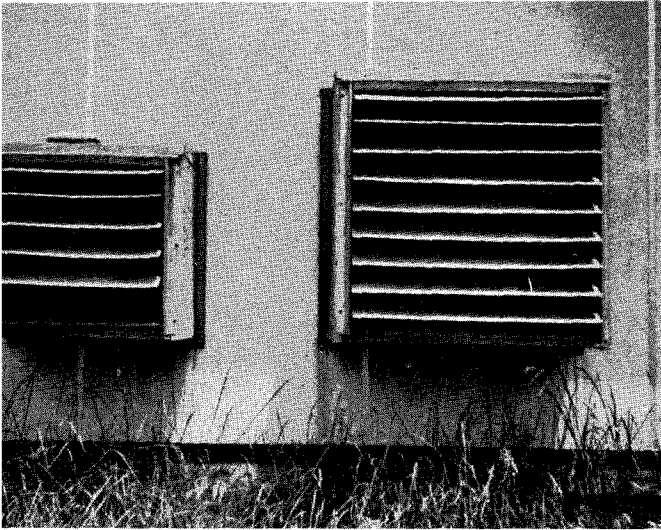
특히 사료중의 인의 함량은 난각의 질에 중요한 영향을 미치는데 이는 혈중의 인의 함량이 난각의 질에 중요한 영향을 미치기 때문이다. 즉, 사료내 인의 함량이 너무 낮거나 너무 높으면 난각의 질이 저하한다. 즉 인의 섭취가 과다하면 혈액의 산도를 높게 되고 acidosis는 비타민 D의 활성화 특히 25-hydroxycholesterol의 hydroxylation을 억제하여 난각형성에 필요한 Ca의 공급을 억제하게 된다.

한편 난각의 형성에 필요한 bicarbonate가 탄산가스로부터 생성되는데, 이때 수소 한 분자가 생성되어지고 다시 bicarbonate가 Ca와 결합할 때 한 분자의 수소가 발생한다.



따라서 여기서 발생하는 수소를 완충시킬 능력이 저하되면 난각의 질이 영향을 받게 된다.

이상과 같은 이유로 NaHCO₃를 첨가하여 난각의 질을 향상시키는 시험이 많이 실시되었는데 그 결과는 일정치 않았다. NaHCO₃를 사료내에 0.2~0.4%첨가했을 때는 난각의 질을 향상시켰으나 0.8~1.65%첨가하는 오히려 난각의 질을 떨어뜨렸고, 또 어떤 실험에서는 1.6%첨가시 사망율을 유의하게 증가시켰다.



**산란계는 고온에서 체온유지를
위해 호흡횟수가 증가하여
생리적으로 호흡성 알칼리성
상태가 되어 난각질은
심하게 영향을 받게 되어
난각이 얇아지게 된다.**

난각형성에 쓰이는 bicarbonate의 대부분(97~98%)이 난관에서 생성되는 것으로 생각되기 때문에 NaHCO_3 의 효과는 bicarbonate의 영향보다는 Na 자체가 난각의 질에 영향을 주는 것으로 생각된다.

$\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}$ 의 값이 난각의 질에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 전해질의 급여효과는 일반상태에서보다 고온 스트레스 상태에서 크게 나타났다.

(2) 고온 스트레스시 난각과 전해질 균형

고온하에서 산란계는 체온유지를 위해 호흡횟수를 평상시 때분당 약23회에서 수백회로 증가하며, 생리적으로 호흡성 알칼리성(Respiratory alkalosis)상태가 되어 결과적으로 난각질은 심하게 영향을 받게 된다.

실제로 실내온도가 35°C 까지 높아졌을 경우, 첫째날부터 난각비중이 떨어지는 난각질 저하현상이 나타나며 난각두께가 12%정도 얇아지는 난각질 저하현상이 발생한다. 이와같이 고온이 난각질 저하현상을 일으키는 이유는, 호흡성 알칼리증(Respiratory alkalosis)을 개선키 위한 신장

(Kidney)의 생리적 대사작용 때문이다. 즉, 낮아진 혈중 탄산농도를 정상적으로 회복시키기 위해 신장(Kidney)을 통해 나트륨(Na^+), 칼슘(Ca^{2+}), 마그네슘(Mg^{2+})과 중탄산기(HCO_3^-) 같은 전해질을 배출하기 때문이다. 그 결과 산란계는 난각형성에 필요한 칼슘(Ca^{2+})과 중탄산기(HCO_3^-)의 혈중농도의 저하로 필요한 주성분을 충분히 공급받지 못하게 된다. 이와같이 칼슘(Ca^{2+})과 중탄산기(HCO_3^-)의 신장(kidney)을 통한 손실은 하절기중 난각질의 저하요인이다.

이외에도 고온하에서는 혈압과 혈액순환 능력이 떨어져 난각선에 공급되는 혈액의 양을 줄이는 결과를 초래하게 되므로 결과적으로 난각선에 공급되는 칼슘(Ca^{2+})과 중탄산기(HCO_3^-)의 양도 감소하게 된다.

(3) 전해질 급여의 일반적 효과

앞에서 언급한 바와 같이 체란계에서 전해질의 급여효과는 일반적인 상태보다 호흡성 알칼리증 상태에 있는 고온시에 효과가 크다.

이와같이 하절기 난각질 저하현상은 난각선에 공급되는 칼슘(Ca^{2+})과 중탄산기(HCO_3^-)의 공

급부족 현상이 가장 큰 원인이 밝혀졌기 때문에 많은 과학자들은 이 문제점을 해결하기 위해 탄산칼슘의 추가공급과 중탄산나트륨과 같은 전해질제제를 사료에 첨가하여 줌으로써 효과가 있음을 입증하였다. 또 계사내 탄산가스의 농도를 높임으로써 신장(kidney)에서 중탄산기(HCO_3^-)의 재흡수를 촉진시켜, 혈중 중탄산기(HCO_3^-)의 증가로 난각질로 개선할 수 있다는 보고가 있다.

그러나 탄산칼슘만의 추가공급도 하절기 고온스트레스하에서는 소장내 칼슘흡수 능력저하와 난각형성이 일어나는 시간이 사료를 먹지 않는 야간이므로 이 시간중에는 난각형성에 필요한 칼슘(Ca^{2+})은 골격의 용출에 의해 공급되어지기 때문에 이를 촉진시키기 위해서는 혈중 전해질 균형을 유지시켜 줄 수 있는 전해질의 추가공급이 반드시 필요하다. 우수한 난각질을 유지하기 위해서는 최소한 0.1%이상의 나트륨(Na^+)의 공급이 필요하며 실질 요구량보다 많은 사료내 단백질 수준은 요산(uric acid)의 체내 생성을 증가시키기 때문에 요산을 신속히 배출시키기 위해서는 칼륨(K^+)이 필요하므로 이와같은 칼륨(K^+) 이온의 손실은 혈중 산독증(Acidosis)을 유발시켜 난각의 질을 떨어뜨리는 요인이 되므로 반드시 칼륨(K^+)의 추가공급이 필요하다.

그리고 전해질의 공급을 위해 소금(NaCl)만을 사용할 경우, 나트륨(Na^+)의 공급면에서는 만족스러우나 염소(Cl^-)의 공급도 많아져서 염소이온(Cl^-)이 혈중의 음이온으로 이용되기 때문에 염소이온이 높은 수준일 경우, 난각형성에 필수적인(HCO_3^-)의 수준이 증가되지 않으므로 소금만으로는 난각질의 개선을 기대할 수 없다. 그러므로 사료내의 염소(Cl^-)를 최소한의 요구량까지 감소시키면 신장(kidney)에 의해 중탄산기(HCO_3^-)의 재흡수가 촉진되어 혈중 중탄산기(HCO_3^-)의 농도증가로 난각질을 향상시킬 수 있다.

5. 결론

채란계의 성공은 산란을 뿐만 아니라 난각질도 중요한 영향을 미친다. 이 난각질은 수송 및 저장시 파손문제로 매우 중요시되는 문제이다.

난각질에 가장 큰 문제는 난각이 얇아지는 연란으로 취급시 파란이 쉽게 되어 경제적 손실이 크다. ① 칼슘과 인 등 전해질의 영양적 요인 ② 산란율, 연령, 체질 등 생리적 요인 ③ 사양환경과 주위온도 등 환경 요인 ④ 병리적 요인 ⑤ 품종 등 유전적 요인 등에 영향받는다. 이중 가장 중요한 요인은 사양조건과 계절적 사양온도와 칼슘, 인 등 전해질의 영양적 요인으로 대별할 수 있다.

보통 난각의 두께는 0.2~0.35 mm로서 난중의 12.3%, 즉 55g 계란의 경우 6.5g 정도가 난각의 무게이며 난각의 약 94%는 탄산칼슘(CaCO_3)으로 구성되어 있으며, 탄산칼슘의 칼슘(Ca)성분은 매우 저렴한 사료원료의 하나이므로 석회석이나 패분, 인산칼슘 등으로 누구나 요구량 이상으로 충분히 공급되고 있다고 생각하나, 실제로 사양시 연·파란의 문제가 생기는 경우가 많다.

일반적인 조건하에서는 크게 문제가 없으나, 산란율이 최고로 도달하는 계군이나 하절기에 기온이 30~33°C 이상이 계속되는 고온다습한 기후 조건하에서는 칼슘의 흡수가 저하되고 생리적으로 난각형성에 필요한 칼슘공급 능력이 떨어지기 때문에 연·파란율이 증가한다.

앞에서 보았듯이 이런 연·파란 문제의 해결을 위해서는 난각을 이루고 있는 CaCO_3 의 충분한 공급 뿐만 아니라, 체액의 산염기 균형이 유지되어야 이들의 적당한 흡수가 일어날 수 있기 때문에 나트륨(Na^+)과 칼륨(K^+)같은 전해질의 균형이 중요하다.

그러므로 채란계, 특히 하절기 사양에 있어 이들의 적당한 공급이 연란의 방지를 위해 중요하다. **양계**