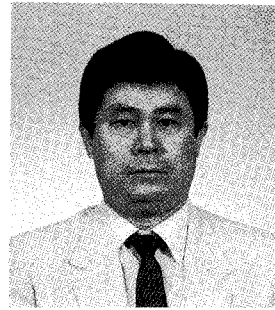


3. 에너지(II)

—에너지 측정법—



최진호
최진호 연구소

앞에서 언급한 바와 같이 어떤 물질에 함유되어 있는 에너지의 중량은 측정할 수가 없다. 단지 그 물질에 물리적 또는 화학적 변화가 가해졌을 때 그로 인하여 발생된 에너지 수준의 변화를 상대적으로 측정할 수 있을 뿐이다.

어떤 화학 반응에서 일어나는 에너지의 변화는 직접 측정할 수도 있지만 직접 측정하기가 매우 어려운 경우가 많으므로 대개의 경우에 상대적인 방법으로 측정한다. 즉, 예를 들어 물질 A가 물질 B로 변화하는 반응(A→B)

에서의 에너지 변화를 직접 측정하는 대신 물질 A가 제 3의 물질 C로 변화하는 반응(A→C)의 에너지 변화(a)와 물질 B가 C로 변화하는 반응(B→C)의 에너지 변화(b)를 알고 있다면 반응(A→B)의 에너지 변화는 상대적으로 계산하여 a-b가 될 것이다 (그림 1).

1. 사료 에너지의 측정

사료의 에너지 함량을 측정할 때에는 완전 산화된 상태를 기준으로 삼고 그 사료의 상대적인

에너지 수준을 측정한다. 예를 들어 포도당 1mole이 완전 산화될 때 탄산가스(CO₂)와 물(H₂O)을 생성하면서 686kcal의 에너지를 발생한다. 이것은 포도당 1mole은 CO₂와 H₂O에 비하여 686kcal만큼 높은 에너지의 수준을 함유하고 있기 때문이며 이것을 포도당의 에너지 함량이라고 한다.

실제로 사료는 포도당처럼 단일 성분으로 구성되어 있는 것이 아니고 여러 가지 성분의 혼합물로 되어 있다. 그러나 역시 사료의 에너지 함량은 완전 산화시켰

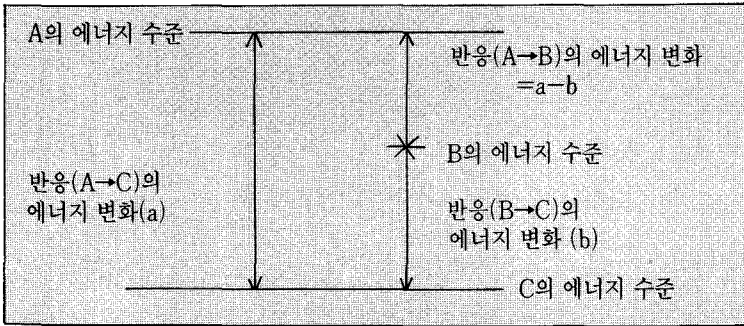


그림 1. 화학 반응에서 일어나는 에너지 변화의 상대적인 관계

을 때 발생하는 에너지로 측정하며 이것을 사료의 총에너지(總에너지, Gross energy)라고 한다. 사료의 총 에너지는 봄 칼로리 미터(Bomb calorimeter)라고 하는 기구를 사용하여 측정하는데 일정량의 시료를 고압 산소의 존재하에 완전 연소시켜서 발생하는 에너지를 열로써 측정하도록 되어 있다.

2. 유효 에너지

실제로는 닭이 섭취한 사료의 총 에너지가 전부 체내에서 이용되는 것이 아니다. 섭취한 사료의 총 에너지중 일부는 소화되지 않고 분(糞)으로 배설된다. 또한 일단 소화된 에너지라 하더라도 대사 과정 중에 여러 단계에서 손실이 일어난다. 그리고 그 손실되는 정도는 사료에 따라 많은 차이가 있다. 따라서 사료를 통해서 섭취한 총에너지 중에서 닭이 실제로 이용하는 정도는 사료의 특성에 따라 다르다. 예를 들

어 어느사료는 총에너지 함량은 높아도 소화율이 낮아서 닭의 체내에서 실제로 이용되는 에너지는 적을 수도 있으며 반대로 어떤 사료는 총에너지 함량은 비교적 낮아도 이용율이 높을 수도 있다. 그러므로 사료의 에너지 함량을 비교할 때에는 실제로 체내에서 이용되는 효율을 고려하

여야 하며 총에너지에서 발생하는 손실을 공제하여 닭이 실제로 이용할 수 있는 에너지를 넓은 의미에서 유효 에너지라 한다.

닭이 사료를 섭취한 후 그 사료의 에너지를 다 이용하지 못하여 발생하는 손실은 여러 가지 단계에서 일어나며 이것을 어느 정도까지 정밀하게 공제하느냐에 따라 유효에너지를 측정하는 척도도 여러 가지가 있다. 사료 에너지의 손실 계보는 그림 2에 서 보는 바와 같다.

3. 가소화 에너지와 대사 에너지

섭취한 사료의 총 에너지에서 소화되지 못하여 분으로 배설되

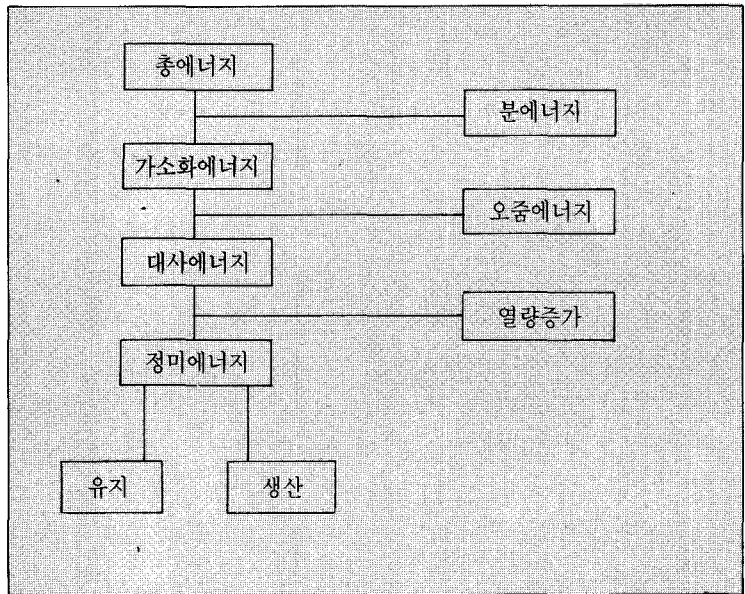


그림 2. 에너지의 손실계보

는 에너지를 제외하면 소화 흡수된 에너지로 이것을 가소화 에너지(可消化 에너지, Digestible energy, DE)라 한다.

가소화 에너지의 측정을 위해서는 측정하고자 하는 사료를 며칠간 급여하면서 같은 기간에 분을 채취한다. 사료의 총에너지 함량을 측정하고 사료 섭취량을 곱하여 총에너지 섭취량을 산출한다. 배설된 분의 총에너지를 측정하고 분 배설량을 곱하여 에너지 배설량을 산출한 후 에너지 섭취량에서 에너지 배설량을 빼면 나머지가 가소화 에너지이다. 일단 체내로 흡수된 에너지라 하더라도 그 중 일부는 체내 대사에 이용되지 못하고 오줌으로 배설된다. 가소화 에너지에서 오줌으로 배설된 에너지를 제외한 부분이 대사 에너지(代謝 에너지, Metabolizable energy, ME)로 이것이 닭의 체내 대사에 이용되는 것이다.

포유 동물에서는 가소화 에너지를 측정하기 위해서는 사료의 총에너지에서 분으로 배설된 에너지만을 공제하면 되지만 대사 에너지를 측정하려면 오줌으로 배설된 에너지까지 측정해서 공제해야 하므로 추가 작업이 필요하다. 그러나 닭에서는 분과 오줌이 같이 배설되므로 닭에 있어서 가소화 에너지를 측정하려면 분과 오줌을 분리 수거해야 하는 어려움이 따르며 분과 오줌으로

배설된 에너지를 한꺼번에 측정해서 동시에 공제하는 것이 오히려 편리하므로 닭에서는 가소화 에너지보다 대사 에너지가 일찍부터 많이 이용되어 왔다.

대사 에너지 중 또 일부는 체내 대사 과정에 열 발생(열량 증가)으로 손실이 일어나는데 이 부분을 제외한 것을 정미 에너지(正味 에너지, Net energy, NE)라 하며 이것이 실제로 닭에게 유지와 생산에 이용되는 에너지이다. 양계 사료 배합에 이용되는 에너지의 척도로 정미 에너지는 실제로 측정하기가 어렵고 실용성이 없으므로 보통은 대사 에너지를 많이 이용한다.

4. 진정 대사 에너지

분과 오줌으로 배설되는 에너지가 전부 사료에 기인하는 것은 아니다. 실제로 닭을 굶기거나 에너지가 전혀 없는 물질을 먹었을 때에도 분과 오줌으로 어느 정도의 에너지가 배설된다. 이때 배설되는 에너지는 사료에 기인하는 것이 아니고 소화 기관에서 분비되는 소화효소와 소화 기관의 상피세포(上皮細胞)들이 떨어져 나와서 분으로 배설되거나 체성분(體成分)이 분해되어 생성되는 물질들이 오줌으로 배설되는 것인데 이를 내생(內生) 에너지라고 한다. 이 내생 에너지는 물론 궁극적으로는 과거에

섭취한 사료에서부터 유래되었지만 현재의 사료와는 무관한 것이다.

따라서 사료의 에너지 중에서 실제로 대사에 이용되는 에너지를 보다 정밀하게 계산하기 위해서는 총배설된 에너지에서 내생 에너지를 공제해줌으로써 실제로 이용되지 못한 사료의 에너지를 알아야 한다. 내생 에너지를 보정한 대사 에너지를 진정 대사 에너지(True metabolizable energy, TME)라 하며 다음 공식으로 표현할 수 있다.

진정 대사 에너지 = 사료의 총 에너지 - 분과 오줌 에너지 + 내생 에너지

5. 질소 보정한 진정 대사 에너지

사료를 통해서 섭취한 에너지의 상당 부분은 체내에 축적된다. 일단 체내에 축적된 에너지라 하더라도 나중에 그것이 에너지원으로 산화될 때에는 결국 같은 양의 에너지를 발생한다고 가정하면 사료를 통해서 섭취한 에너지가 지금 당장 산화되든지 아니면 일단 체내에 축적되었다가 나중에 산화되든지 상관없이 대사 에너지에 포함되기 때문에 사료의 총에너지에서 분과 오줌으로 배설된 에너지를 공제하면 나머지가 대사 에너지이다. 그런데 탄수화물이나 지방으로 축적

된 에너지는 언젠가 산화될 때 CO₂와 H₂O로 완전 산화될 것이며 이것은 봄 칼로리미터에서 산화시킬 때 일어나는 반응과 결과적으로 동일하므로 발생하는 에너지의 양도 동일하다. 그러나 질소(N)를 함유하는 단백질의 경우에는 좀 다르다. 봄 칼로리미터에서 연소시킬 때 질소는 질산(NO₃⁻)의 형태로 완전 산화되지만 체내에서는 질소는 완전 산화되지 않고 요산(尿酸)을 합성하여 오줌으로 배설되는데 이 요산은 어느 정도의 에너지를 함유하고 있기 때문에 그만큼의 에너지의 손실이 일어난다.

주어진 기간에 섭취한 질소의 전량(全量)이 배설된다면 오줌으로 배설된 요산의 에너지도 오

즘 에너지에 포함되어 사료의 총 에너지에서 공제된다. 사료의 총 에너지를 봄칼로리미터를 사용해서 완전 산화를 전제로 하여 측정하고 분과 오줌의 에너지도 같은 방법으로 완전 산화를 기준으로 측정하므로 이 두 에너지량의 차이를 대사 에너지로 간주하는데에는 문제가 없다.

그러나 사료의 단백질 중 일부가 체내에 축적되었을 때에는 배설되는 질소는 섭취한 질소보다 적게 된다. 이 때 축적된 질소로부터 합성될 수 있는 만큼의 요산의 에너지는 일단은 체내에 축적이 되었지만 이것이 언젠가 에너지원으로 산화될 때 그만큼의 에너지는 손실될 것이다. 따라서 단백질로 축적된 에너지에 대해

서는 장차 일어날 손실을 미리 보정해주는 것이 합리적이다.

실제로 사료의 대사 에너지를 측정할 때에는 대부분의 경우 자라는 병아리를 이용하므로 섭취한 질소보다 배설되는 질소가 적은(다시 말하면 질소가 체내에 축적되는) 양균형(陽均衡)의 상태에서 측정하지만 축적된 질소에 대해서 장차의 손실을 보정한(섭취한 질소와 배설되는 질소의 양이 같은, 즉 질소의 평형 상태로 보정) 것을 질소 보정한 대사 에너지(N-corrected ME, MEN)라고 한다. 한편 진정 대사 에너지에서 질소를 보정한 것을 질소 보정한 진정대사에너지(N-corrected true metabolizable energy, TMEn)라고 한다. **양계**

무허가 부화장 및 미등록 종계장 고발센터 안내

- 대 상 : ○ 무허가 부화장 경영자
○ 미등록 종계장 경영자
○ 미검정 종계 유효기간 초과 종계 보유자
○ 불량종란 또는 불량초생추 생산·유통하는자
- 방 법 : 서면 또는 전화(신분 보장)
- 조 치 : ○ 접수후 사실확인 위법사실 확인되면 당국에 고발 등 적절한 조치
○ 결과 월간양계 및 양계관련 매체에 공표
- 접 수 : 사단법인 대한양계협회
서울 서초구 서초동 1516-5
전화 : (02) 588-7651, Fax : 588-7655