

“사료의 대사 에너지 측정 및 대사 에너지가에 영향을 미치는 요인”

I. 서론
II. 대사에너지의 개념
III. 대사에너지의 측정 방법
IV. 산란계에 대한 대사에너지 측정
V. 화학적 성분분석에 의한 대사에너지의 추정
V. 대사에너지가에 영향을 미치는 요인(문제점)
VII. 요약
VIII. 참고문헌

최진호
<서울대 농대 영양학 교실>

I. 서론

사료에 포함된 총에너지는 이것이 그대로 동물에게 전량 이용되는 것은 아니다. 따라서 사료의 가치를 평가함에 있어서 동물에게 실제로 이용되는 유효에너지價를 따지게 되는 것이다. 가금에 있어서 사료의 유효에너지를 평가하는 방법으로 흔히 세가지의 개념이 사용되고 있다. 즉, 가소화 에너지(DE), 대사 에너지(ME), 그리고 생산 에너지(PE)가 그것이다.

Fraps(12)는 사료의 정미에너지(NE)價를 추정하는 방법으로 성장중인 병아리의 도체분석을 통하여 PE를 산출한바 있으며, DE는 Olsson(23)과 Fraps(11)에 의하여 광범위하게 조사되어 단백질, 지방, 조섬유, 가용무질소물에 대한 각각의 소화율계수가 계산되었다.

그러나 DE價는 그 사료를 먹는 동물에 따라서 크게 다르기 때문에 포유동물로부터 얻어진 자료를 가금에 적용할 수 없으며 총배설강을 통해서 糞과 尿가 같이 배설되는 가금에 대해서 직접적인 측정은 糞과 尿를 분리채취해야 한다는 점에서 정확을 기하기도 어려울 뿐 아니라 수술을 요하므로 실용성이 적다. 또한 PE측정

은 도체분석을 요하므로 어려운 일이며 NE측정은 많은 시간과 특별한 장비를 필요로 하기 때문에 역시 어렵다. Axelsson(12)과 Halnan(13)은 NE價의 약점을 강력히 주장한 바 있으며 Titus(41), Davidson 등(10) 그리고 Hill과 Anderson(1)은 PE역시 만족스럽지 못하다고 하였다. 이에 비하여 ME가는 구하기가 비교적 쉽고 동물에게 이용될 수 있는 사료의 유효에너지의 척도가 될 수 있으므로 근간에는 가금영양에 있어서 사료의 유효에너지가의 척도로써 ME를 사용하는 경향이 점차 높아 가고 있다.

그러나 ME의 개념에도 몇가지 본질적인 오류는 존재한다. Matterson 등(20)은 옥수수 ME는 그것 단독으로 쓰일때와 다른 사료에 섞여서 쓰일때 그 ME 가는 달랐다고 하며 심지어 Wilder 등(44)은 어떤 종류의 지방에서 총에너지(gross energy) 보다도 높은 ME가를 얻었다. 한편 Sibbald 등(33, 34)은 옥수수의 ME가는 기초사료의 구성에 따라서 변이를 보였다고 보고 하였다. 이 밖에도 ME가에 영향을 미치는 많은 요인이 있는바, 여기서는 과거에 연구발표된 문헌을 토대로 하여 ME가를 측정하는 방법과 문제점들을 고찰하고자 한다.

II. 대사 에너지의 개념

대사 에너지란 동물이 섭취한 사료의 총 에너지(GE)로부터糞과 尿로 배설된 에너지 및 반추동물에 대해서는 가연성 가스로 배출된 에너지의 손실량을 공제한, 실제로 동물의 체내에서 대사에 이용된 에너지를 말하는데 일반적으로

대사에너지 = 총에너지 - 糞에너지 - 尿에너지 - 가연성가스에너지로 표시할 수 있다. 가끔에서는 가스로 배출되는 에너지의 손실이 0에 가까우므로 실제로는 糞과 尿로 배설된 에너지의 손실량만을 공제함으로써 산출된다.

대사에너지 = 총에너지 - 배설물에너지

여기에서 NRC의 가축영양위원회에서 인정된 에너지의 손실제보를 보면 다음과 같다.

사료의 총에너지	$\left\{ \begin{array}{l} \text{가소화에너지} \\ \text{지(DE)} \\ \text{糞에너지} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{대사에너지} \\ \text{(ME)} \\ \text{가연성가스} \\ \text{尿에너지} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{정미에너지} \\ \text{지(NE)} \\ \text{열량증가} \\ \text{지} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{생산에너지} \\ \text{지(PE)} \\ \text{유지에너지} \end{array} \right.$

앞에서 언급한 바와 같이 ME值가 PE나 NE보다 구하기가 쉽고 이용하기 편리한 利點이 있는 대신 이의 커다란 약점은 열량증가(Specific dynamic action; SDA)로 손실되는 에너지의 양을 고려치 않았다는 점이다. 따라서 동물에게 실제로 이용되는 정미 에너지(NE)의 척도로서 PE가 ME보다 더 잘 표현한다는 것은 사실이다. 실제로 脂肪에 있어서는 다른 영양소보다 SDA로서의 에너지 손실이 적다는 것이 알려져 있다. 따라서 지방의 에너지를 ME기준으로 계산하여 동수준의 에너지를 유지하도록 단백질이나 탄수화물을 대치하였을 때 지방의 첨가는 기대 이상으로 사료 효율을 개선하였다는 것이 Washington 주립대학의 Jensen 등(16)에 의하여 보고 되었다. 이와 같은 현상은 이미 Sibbald 등(40)에 의해서도 관찰된 바 있으며 그들은 이것을 지방의 "extra caloric effect"라고 불렀다.

일반적으로 ME와 PE의 차이는 약 30% 정도로 측정되며 Hill과 Anderson(14)은 반정제사료에 대하여 ME와 PE를 측정된 결과 PE는 ME의 약 77%에 해당했다고 보고 하였다.

ME를 측정하는 가장 간단한 방법으로는 ME를 알고자 하는 공시물을 동물에게 급여함으로써 직접 그 ME가를 구할 수 있으나 이때 그 공시물이 모든 영양소를 동물의 요구량에 맞게 함유한 배합사료인 경우는 문제 없으나 단미사료의 경우에는 여러가지 영양소의 결핍으로 인하여 영양소의 이용이 비정상적일 것이며 이러한 상태에서 얻어진 ME值 또한 신빙성이 적어 질 것이다(3, 4, 34). 이에 대해서 Anderson 등(1)은 다음과 같은 방법을 제안하였다. 이미 ME가를 알고 있는 어떤 표준 원료를 포함하는 기초사료와, 이 기초사료와 비슷하지만 그 표준 원료의 일부를 공시물로 대치한 두가지의 사료를 각각 급여하여 각각의 ME가를 구한 다음, 두가지 ME치의 차이로부터 공시물의 ME함량을 계산하는 것이다. 이때 표준원료는 비교적 순수하고 그 조성이 일정한 것을 택해야 할 것이다.

이외에도 여러 학자들에 의해서 ME를 측정하는데 있어서 서로의 결함을 보완하기 위한 여러가지 방법이 고안되었으며 이렇게 하여 얻어진 ME가를 실제로 사료의 배합에 적용하기 위해서는 다음 두가지의 기본적인 가정이 확립되어야 하는 것이다.

- 1) 어느 한 원료의 ME가는 다른 사료구성물에 대해서 독립적이다.
- 2) ME가는 동물의 연령이나 상태에 관계없이 비교적 일정하다.

이 문제에 대해서는 Sibbald 등(33, 34)에 의해서 연구되었으며 앞으로도 더욱 규명되어야 할 과제이다.

III. 대사 에너지의 측정방법

Hill과 Anderson(14)은 반정제사료의 성장중인 병아리에 대한 ME를 측정하기 위하여 9~10일령의 병아리를 사용하여 14일간 실시한 시험에서 표시제료써 0.2% 수준의 산화크롬(Cr_2O_3)을 사용하였으며 다음과 같이 ME를 계산하였다.

Ediet=사료 고형물 gm. 당 가연성 에너지 (Kcal);
 보통 칼로리미터로 직접 측정하였다.

Eexcreta=사료 고형물 gm. 당 배설물의 가연성 에너지 (Kcal)
 =배설물 gm. 당 Kcal ×

$$\frac{\text{사 료 gm. 당 } Cr_2O_3 \text{의 gm. 수}}{\text{배설물 gm. 당 } Cr_2O_3 \text{의 gm. 수}}$$

N=사료 고형물 gm당 질소축적량
 =사료 gm. 당 함유된 질소량-배설물 gm. 당

$$\text{질소량} \times \frac{\text{사 료 gm. 당 } Cr_2O_3 \text{의 gm 수}}{\text{배설물 gm. 당 } Cr_2O_3 \text{의 gm. 수}}$$

ME(사료 고형물 1gm. 중)
 = **Ediet** - **Eexcreta** - 8.22 × **N**

그들은 질소의 양균형(Positive balance)인 상태에서 얻어진 데이터를 질소 평형상태의 것으로 환산하기 위하여 8.22라는 계수를 사용하여 체내에 축적된 질소량에 대해서 보정을 하였다. 즉 조직에 축적된 단백질은 언젠가는 이것이 에너지를 발생시킬 목적으로 산화될 때 요산(Uricacid)을 합성할 것이며 이 요산은 질소 gm 당 8.22Kcal의 가연성 에너지를 함유하므로 앞으로 있을 잠재적인 에너지의 손실까지도 고려한 점에서 합리적이라 할 수 있다. 여기에서 그들이 가정한 질소 gm당 8.22Kcal라는 수치가 반드시 정확한 것은 아니다. 정상적인 닭의 오줌에 함유된 질소중에는 60~80%만이 요산으로 존재하는 것이다(9.17). 그러나 Coulson과 Hughes(9)는 닭의 뇨(尿)의 에너지가는 질소 gm당 8.7Kcal라고 계산한 바 있으며 Titus(42)와 Titus등(43)은 요(尿) 중 질소 gm. 당 8.73Kcal를 보정하였다. 하지만 이에 의한 오차는 매우 작은 것에 불과하므로 길게 논할 필요는 없을 것 같다.

한편 Sibbald등(34)은 전량채취법과 표시제(Cr₂O₃) 사용방법의 두가지 방법으로 사료의 대사를 계산하였다.

전량채취법

사료 고형물의 대사율
 = $\frac{\text{(섭취한 사료의 고형물무게 - 배설물의 고형물 무게)}}{\text{섭취한 사료의 고형물 무게}} \times 100$

표시제 사용법

사료 고형물의 대사율
 = $\left[1 - \left(\frac{\text{사료 고형물 1gm. 중 } Cr_2O_3}{\text{배설물의 고형물 1gm. 중 } Cr_2O_3} \right) \right] \times 100$

결과, 표시제를 사용한 방법에서 결과의 표준오차(Standard error)가 전량채취법에 의한 것보다 현저히(P<0.01) 작아서 표시제를 사용하는 방법이 전량 채취법보다 정밀하다고 보고하였다.

그리고 측정된 질소량에 대해서 보정하는 방법(Corrected)과 보정하지 않는 방법(Classical)으로서의 사료 gm당 ME를 다음과 같이 계산하여 비교하였다.

1) Classical

사료 gm당 ME
 = 사료 gm당 총에너지 -
 $\left(\frac{\text{사 료 gm. 당 } Cr_2O_3}{\text{배설물 gm. 당 } Cr_2O_3} \times \text{배설물 gm당 총에너지} \right)$

2) Corrected

사료 gm당 ME
 = Classical ME - $\left[\text{사료 gm당 질소량} - \left(\frac{\text{사 료 gm. 당 } Cr_2O_3}{\text{배설물 gm. 당 } Cr_2O_3} \times \text{배설물 gm. 당 질소량} \right) \right] \times 8.22$

위의 공식에서 두번째 방법은 Hill과 Anderson(14)이 계산한 방법과 동일한 것이다. 위의 두가지 계산방법을 비교한 결과 역시 Corrected ME가 Classical ME보다 변이가 적었다 한다.

한편 어떤 한 공시물의 ME를 측정하기 위해서 기초사료와 기초사료에 공시물을 일정비율로 혼합한 시험사료의 ME를 계산한 후 다음 공식에 의하여 공시물의 ME를 산출하였다. 이 공식은 이후 대부분의 학자들에 의하여 단미사료의 ME를 계산하는데 기본 공식으로 쓰이고 있으며 Sibbald의 공식이라고 불리운다.

공시물 gm당 ME

$$= \frac{\left[\text{시험사료 gm당 ME} - \left(\text{기초사료 gm당 ME} \times \frac{\text{시험사료 중 기초사료의 \%}}{100} \right) \right]}{\text{시험사료 중 공시물의 \%}} \times 100$$

α-Cellulose는 병아리에 있어서 완전 불소화물

이므로 그의 ME 혹은 PE는 0이라는 가정하에 Potter 등(24)은 α -cellulose를 함유한 기초사료를 사용하였다. 만일 위의 가정이 옳다면 α -cellulose를 공시물로써 대치할 때 시험사료의 ME나 PE는 증가할 것이며 이 증가분은 오로지 공시물에 의한 것이라고 생각할 수 있는 것이다. 그들은 이가정을 뒷받침하기 위해 셀룰로스의 ME가를 측정하고 또한 사료의 형태(정제사료, 반정제사료, 실제사료)와 사료섭취량(무제한 급여, 제한급여, 제한급여의 50%)의 차이가 ME가에 미치는 영향을 다음과 같이 요약하였다.

1) 셀룰로스의 PE와 그 표준오차는 고품질 gm당 -0.112 ± 0.051 Kcal이었으며 PE는 고품질 물 gm당 -0.093 ± 0.083 Kcal이었다.

2) 기초사료가 다를 때 병아리의 평균 생체중 gm당 유지요구량은 유의차가 있었다.

Sibbald 등(28)은 단백질원인 6가지의 공시물의 사료중에 함유되는 수준에 따른 ME가의 변화를 조사하기 위하여 3가지의 사료를 사용하였다.

1) 사료 1(기초사료)

밀 40%, 옥수수 40%, 보리 20%로 구성.

2) 사료 2

사료1의 100파운드에 대해서 비타민, 광물질, 지방 첨가제 5파운드를 혼합.

3) 사료 3

사료 2와 비슷하지만 사료1의 100파운드에 첨가제 10파운드를 혼합.

사료 2를 표준사료로 보고 6가지의 공시물 각각 25, 50, 75파운드와 각각에 대해 기초사료 75, 50, 25파운드를 혼합하여 만들어진 18가지의 시험사료 각 100파운드에 첨가제 5파운드를 첨가하였다.

사료 2와 사료 3에 의해서 첨가제의 ME함량이 1.1Kcal/gm으로 계산되었으며 각 시험사료의 gm당 Kcal로 계산된 ME가에 1.05를 곱하고 다시 0.05×1.1 Kcal를 공제하여 첨가제를 제외한 각 사료의 ME를 계산하였다.

1) 첫째 방법

사료 2를 기초사료로 하여 앞에서 소개한 바

있는 Sibbald 등(34)의 공식에 의하여 공시물의 ME를 계산하였는데 각 공시물에 대해서 혼합한 수준에 따라 3개의 ME가가 산출되었는데 어떤 공시물은 수준에 따라 현저한 차이를 보였으나 어떤 다른 종류에서는 차이가 없었다고 한다.

2) 둘째 방법

Potter 등(24)이 계산한 방법과 비슷한 방법으로 최소자승법(least square method)에 의하여 회귀곡선을 만들어 이에 의하여 공시물의 ME를 얻었다. 그 결과 처음 방법의 75% 수준에서 얻어진 데이터와 상당히 비슷했는데 이에 대해서 Sibbald 등(28)은 다음과 같이 설명하고 있다.

a) 만일 시험사료에 함유된 공시물의 수준에 따른 영향이 있다면 25, 50, 75%의 세가지 수준에서 얻어진 결과의 평균보다는 75% 대치에서 얻어진 ME가 100% 대치시의 ME에 더 가까울 것이다.

b) 만일 저수준의 대치로 인한 오류가 있다면 75% 수준에서는 해당이 되지 않는다.

3) 셋째 방법

이 방법은 표준사료로 사료 2 대신 공시물을 함유하는 사료를 사용하였다는 점이 다르다. 이 경우에 한가지 공시물에 대해서 다음과 같이 3쌍의 방정식을 세울 수 있으며 3개의 ME가 나오게 된다.

$$\begin{aligned} 75\% \text{ 기초사료} + 25\% \text{ 공시물} &= X \text{ Kcal} \\ 50\% \text{ 기초사료} + 50\% \text{ 공시물} &= Y \text{ Kcal} \end{aligned} > \textcircled{1}$$

$$\begin{aligned} 75\% \text{ 기초사료} + 25\% \text{ 공시물} &= X \text{ Kcal} \\ 25\% \text{ 기초사료} + 75\% \text{ 공시물} &= Z \text{ Kcal} \end{aligned} > \textcircled{2}$$

$$\begin{aligned} 50\% \text{ 기초사료} + 50\% \text{ 공시물} &= Y \text{ Kcal} \\ 25\% \text{ 기초사료} + 75\% \text{ 공시물} &= Z \text{ Kcal} \end{aligned} > \textcircled{3}$$

이렇게 함으로써 ①의 쌍과 ③의 쌍에서는 공시물의 수준의 차가 25%, ②의 쌍에서는 50%가 되고 또한 관측치의 수를 증가시킴으로써 저수준의 함유에 의한 오류는 평준화하는 경향이 있다.

(주 설명은 다음호에)