

흰쥐의 성별, 체중 및 실험사료의 첨가 방법이 대사 에너지 이용성에 미치는 영향

김은미* · 우순자** · 지규만

고려대학교 자연자원대학 응용동물과학과

The Effects of Feed Supplementation Method, Sex and Weight of Experimental Animal on Metabolizable Energy Value

Eun-Mi Kim* · Soon-Ja Woo** · Kew-Mahn Chee

Department of Animalscience, College of Natural Resorce, Korea University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was to investigate the validity of energy measurement system by using different body size and sex of rats and feed supplementation methods. There appeared no statistical differences in energy(AME, AMEn) utilization between male and female rats with average 200g body weight, and between male rat of 200g and 300g body weight. Glucose replacing corn in the basal diet or replacing diet itself at a level of 30% by weight appeared to have the same metabolizable energy value, suggesting that either methods to supplement test ingredient brought about the same result.

Consequently, following suggestions could be made from the results of present study : First, Sprague-Dawley rats of either sex weighing 200 - 300g may be used as an animal model to obtain in vivo metabolizable energy from dietary carbo-hydrates or sea foods. Second, the testing ingredients may be added at the expence of corn in the basal diet at 30% level.

KEY WORDS : apparent metabolizable energy(AME) · nitrogen corrected apparent metabolizable energy(AMEn) · feed supplementation method.

서 론

Metabolizable energy(ME)는 동물이 섭취한 식품의 gross energy에서 분 에너지(fecal energy)와 뇨 에너지(urinary energy)로 배설되는 양을 제거한것으로

채택일:1995년 6월 16일

*Korea Food Research Institute, Songnam

**Department of Food Technology, College of Natural Research, University

apparent metabolizable energy(AME) 라고도 한다. Atwater의 생리적 연소열가는 위와 같은 원리를 이용하여 만들어진 것으로 현재 사용하고 있는 식품 분석표의 에너지 함량은 대부분이 Atwater의 생리적 연소열가를 기초하여, 식품군별로 소화율을 달리하여 구해진 계수를 적용하여 계산된 것이다¹⁾.

실제로 이러한 계수치는 평균적인 값이기 때문에 큰 무리 없이 적용할 수 있으며 사용에 편리하다는 장점을

갖고 있다. 그러나 국내에서 사용하고 있는 식품성분표의 계수는 동양권에서 만들어 진것이 아니어서 그것을 우리 식품에 적용하기에는 적지않은 문제가 있을 수 있으며, 그 대표적인 예로서 쌀의 에너지 함량이 보리쌀에 비해 더적거나 비슷한 수준인 것을 들 수 있다²⁾. 이런 문제가 생기는 이유는 계수의 산정에 사용된 식품의 종류가 우리가 일상적으로 섭취하는 식품과 상당히 다를 수 있으며, 또한 같은 이름의 식품이라 할 지라도 식품의 원료인 농산물 품종이 다르고, 특히 가공 식품의 경우 지역간에 가공 방법에 큰 차이가 있기 때문이다³⁾. 이런 차이들이 식품의 에너지 함량에 미치는 영향이 지대하기 때문에 우리 식품의 에너지 함량을 별도로 측정하여 기존 식품 성분표의 수치와 비교 확인하여 그 타당성을 검증할 필요가 있다고 판단된다.

식품의 에너지 함량은 인체를 대상으로 측정하는 것이 가장 바람직하나 여건의 제약상 실험동물로 대체하는 것이 불가피한 경우가 많다. 인체와 실험동물에서 측정된 에너지 함량의 절대치가 일치하지 않을 수 있으나, 그래도 동물에서 소화(이용)율을 고려한 측정방법이 계수만을 적용한 계산 방식에 비해 에너지값의 정확성이 더 높다고 생각된다.

한편, 물론 실험동물로서는 수컷 흰쥐가 관행적으로 많이 사용되고 있는데 이는 암컷을 사용할때 발생할 수 있는 생리적 장애를 피할 수 있다는 이유 때문이라고 보여진다. 그러나 사료의 에너지 이용성에서 암컷이 특별히 달라야할 이유가 없으며 또한 실험동물을 쉽게 확보할 수 있다는 관점에서도 암컷의 사용도 검토해볼 필요가 있다. 그러나 이러한 관점에서 연구된 논문이 별로 없는 것 같다.

대사에너지를 측정코자하는 원료 사료를 실험동물에게 급여하는 방법도 여러 가지가 있을 수 있다. 배합된 사료를 급여할 경우 별문제가 없으나 단일 원료사료(원료식품) 장기간 급여할때 경우에 따라 영양소의 불균형으로 인해 에너지 대사에 문제가 초래될 수 있다. 이 경우 원료식품을 기초사료에 첨가하여 영양균형을 개선해서 급여할 필요가 있다⁴⁾⁵⁾.

본 실험은 식품의 대사 에너지 함량을 조사키 위한 기초 실험으로 실험동물의 체중과 성별이 대사 에너지이용에 미치는 영향을 알아봄과 동시에 원료 식품을 기초 사

료에 혼합하는 방법간의 비교를 통해 사용이 편리하고 합리적인 대사에너지 조사 방법을 찾아보고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험 1 : 흰쥐의 성별 및 체중 차이에 의한 영향

암수의 성별차이가 사료에너지 이용성에 미치는 영향을 조사하기 위해 Sprague Dawley 계통 흰쥐로 평균 체중이 212.5 ± 12.0 g인 암컷과 215.1 ± 5.6 g인 수컷을 이용하였으며, 동시에 체중 차이의 영향을 조사하기 위해 평균 체중 333.9 ± 11.9 g인 수컷을 사용하였다. 총실험군은 체중과 성별간의 비교를 위한 3군, 단일사료급여군 2군과 방법간의 비교를 위한 2군으로 총 7군으로 각 동물군별로 6마리씩 사용하였고, 실험사료 급여기간은 7일로서 3일간 적응 시킨다음, 나머지 4일간 사료 섭취량과 분뇨 배설량을 정확하게 수집하였다. 실험동물은 $30 \times 30 \times 30$ cm의 대사 cage(대조기기, 서울)에 개체별로 수용하였고, 사육실의 실내 온도는 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 으로 유지하였다. 물과 사료는 자유로이 먹을수 있도록 하였다.

사료 배합표는 Table 1에서와 같이 옥수수, 대두박, 밀기울, 옥수수유 등을 사용하여 배합하였으며, 단일 사료로는 옥수수와 포도당만을 급여하였다. 사료 단백질 함량은 이 나이의 쥐에서 유지 요구량을 충족 시킬 수 있는 수준인 10%를 기준으로 하였다. 그외 영양소는 NRC 요구량을 기준하여 부족하지 않도록 하였다⁶⁾⁷⁾.

채취한 분은 황산 용액(0.5N)을 분무하여 질소 성분의 휘발을 방지한 상태에서 75°C 에서 48시간 건조, 분쇄한 다음 -10°C 에 냉동 저장하였고, 매일 채취한 뇨에 염산용액(0.1N) 2ml씩을 첨가하여 4°C 냉장고에 보관하였다.

실험사료와 채취한 분의 조단백질과 조지방 및 조섬유소의 함량은 A.O.A.C.(1990)방법에 준하여 각각 Kjeldahl 방식과 Ether 추출법에 의해 분석하였으며 사용한 분석 기기들은 조단백질은 AutokjelTech(Tecator Co. No 1010), 조지방은 SoxTech(Tecator Co. No 1040), 조섬유소는 FiberTech(Tecator Co. No 1030)을 사용하여 분석하였다.

뇨의 질소함량은 Muljibhai⁸⁾의 분석방법으로 분석하

Table 1. Formulation of experimental diets

Ingredients	Experiment 1		Experiment 2	
	Basal	Glucose/Corn ¹⁾	Glucose/Corn ¹⁾	Glucose/BD ²⁾
	----- % -----			
Corn	76.4	46.4	46.4	53.0
Glucose	-	30.0	30.0	30.0
Soybean meal	7.0	7.0	7.0	4.9
Wheat bran	4.0	4.0	4.0	2.8
Corn oil ³⁾	10.0	10.0	10.0	7.0
Limestone	0.2	0.2	0.2	0.1
Dicalcium phosphate	1.7	1.7	1.7	1.2
NaCl	0.1	0.1	0.1	0.1
Premix ⁴⁾	0.6	0.6	0.6	0.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
	----- Analytical values -----			
AME ⁵⁾ , kcal/kg	3729	3879	3879	3750
Crude protein, %	11.33	8.41	8.41	5.88
Crude fat, %	14.56*	11.72	11.72	8.20
Crude fiber, %	3.05	3.03	3.03	2.12

- 1) Glucose(30%) was added by replacing corn on a weight basis.
- 2) Glucose(30%) was added by replacing basal diet on a weight basis. The percentages of the ingredients were recalculated proportionately.
- 3) Stabilized by adding BHT(99.9%, Chungang Chem. Co. Ltd., Seoul) at a level of 0.0125% of the oil.
- 4) Vitamin and mineral premix supplied followings per kg diet : Vitamin A 40 I.U., Vitamin D₃ 10 I.U., Vitamin E 60 I.U., Vitamin K₃ 8mg, Vitamin B₂ 1mg, Panthothenic Acid 1.2mg, Niacin 3.2mg, Fe 6mg, Mn 10mg, Cu 1mg, I 120µg, Zn 4mg.
- 5) Calculated apparent metabolizable energy.

였다. 이 방법은 H₂SO₄로 시료를 분해하여 수거한 암모니아를 acetylaceton-formaldehyde reagent와 반응시켜 412nm에서 특징적인 흡광도를 나타내는 노란색의 3, 5-diacetyl-1, 4-dihydrolutidine을 생성케 하는 것을 기본 원리로 한 방법이다.

실험 시료와 분변, 오줌의 총에너지(gross energy) 함량은 ballistic bomb calorimeter(Gallenkemp Co. England)를 사용하여 측정하였으며, 표준물질로 benzoic acid(6307.9cal/g, Fisher Scientific Co., Moline)를 이용하였다. 사료의 대사에너지함량은 일반 대사 에너지(apparent metabolizable energy, AME), 질소 보정한 일반 대사 에너지(nitrogen corrected apparent metabolizable energy, AMEn)를 측정하여 비교하였다. AME와 AMEn의 계산은 지규만과 박종호⁹⁾가 보고한 공식을 사용하였고, 다만 AMEn의 계산에서 질소 보정 계수는 urea-N에 사용되는 7.82kcal/g을

사용하였다¹⁰⁾.

2. 실험 2 : 원료사료 첨가 방식간의 비교

측정코자하는 원료로는 식용 포도당(함수결정포도당, (주)선일포도당, 서울)을 선택하였다. 이 원료사료를 기초사료에 첨가하는 방식에 따라 측정 에너지 함량이 달라질 수 있는지 여부를 조사하기 위해 두가지 첨가 방식을 비교하였다. 한가지 방식은 기초 사료의 30%를 무게 기준으로 포도당으로 대체하여 첨가하였으며(Glucose/Basal), 다른 방식은 기초 사료에 들어있는 옥수수의 30% 만을 역시 무게 기준으로 포도당으로 대체(Glucose/Corn)하였다(Table 1). 이외에 각각의 원료사료 즉, 옥수수(Corn)과 포도당(Glucose) 만을 급여한 군을 따로 배치하여 전부 네개의 처리구를 두었다.

각 처리구에 각각 Sprague Dawley 계통의 수컷 흰 쥐 6마리씩을 배치하였으며 이들의 평균 체중은 Table

대사 에너지 조사 방법

3에서 보는 바와 같다. 첨가방식군에서는 평균 225~264g의 쥐를 사용하였고 단일 원료의 비교군에서는 평균 체중 340~350g의 쥐를 사용하였다. 실험기간중 처음 3일은 실험사료에 대한 적응기간으로 두고 다음 4일 동안에 분뇨를 수집하였다. 분뇨의 채취방법과 사료의 성분 분석방법은 실험 1에서와 같다.

Glucose/Corn과 Glucose/Basal의 경우 포도당의 일반 대사에너지(AME) 값을 측정하기 위해 사용된 공식들은 각각 아래 공식 1 및 2와 같다¹¹⁾¹²⁾. 질소 보정 대사에너지(AMEn) 값은 각 AME를 AMEn값으로 대치하여 구했다. 여기서 0.3은 실험사료의 대치비율(30%)를 반영한 것이다. 단일원료의 대사에너지는 실험 1에서와 같은 방법으로 계산하였다.

$$\text{AME per gram Glucose} = \text{AME per gram Corn} + \frac{\text{AME per gram Test diet} - \text{AME per gram Basal diet}}{0.3} \quad (\text{공식 1})$$

$$\text{AME per gram Glucose} = \text{AME per gram Basal Diet} + \frac{\text{AME per gram Test diet} - \text{AME per gram Basal diet}}{0.3} \quad (\text{공식 2})$$

3. 실험결과의 통계처리

본 실험의 모든 data는 one way analysis of variance에 의해 분산 분석 되었으며, 각 평균간의 유의성 검정은 statistical analysis system(SAS Institute, 1986)의 t-test로 검정하였고, 모든 유의성은 유의수준 5% 수준에서 비교하였다. 실험 1에서는 체중이 다른 수컷쥐 끼리, 그리고 같은 체중 범위의 암수쥐끼리를 구별하여 분석하였고, 실험 2에서는 단일 원료 처리구와 첨가 사료구를 구분하여 분석하였다.

실험결과 및 고찰

1. 실험 1 : 흰쥐의 성별 및 체중 차이의 영향

성별 및 체중의 차이가 기초 사료의 에너지 이용성에 미치는 영향은 Table 2에서와 같다. 본실험 4일간에 수컷 체중 300g과 암컷 체중 200g 쥐들은 기대했던 대로 체중의 유지 현상이 나타났으나 수컷 체중 200g의 쥐는

전반적으로 체중이 크게 증가하였다. 이들은 같은 체중의 암컷에 비해 사료 섭취량, gross energy 및 단백질 섭취량도 50% 정도 크게 증가하였다. 따라서 수컷은 분뇨 배설에 의한 에너지 손실량은 암컷에 비해 두배 정도 더 많았으나 분뇨에 의한 질소 배설량은 암수 간의 차이가 없었다. 분질소 손실량은 수컷에서 1.8배 정도 더 많았으나 뇨질소 손실량은 암컷이 수컷에 비해 32%나 더 많았다. 축적된 에너지와 질소 함량도 암컷보다 수컷이 각각 50% 및 2.5배나 많았고, 섭취한 것중 축적된 비율(%)은 에너지는 암컷이, 질소는 수컷에서 더 높았다.

한편, 사료 대사에너지의 함량은 일반 대사에너지가 암컷에서 3833.4kcal/kg, 수컷에서 3848.4kcal/kg로 암수간의 차이가 15kcal/kg 정도였다. 섭취한 질소의 축적이 전혀 없는 조건으로 환산하여 비교한 AMEn의 값은 암컷에서 3793.4kcal/kg, 수컷에서 3793.8kcal/kg로 암수간의 차이가 0.4kcal/kg였다. 즉, 본실험의 결과에서는 대사에너지에 성별간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 여기서 일반대사에너지에 비해 질소를 보정한 AMEn에서 암수 간에 사료의 함량 차이가 적게 나타났는데 대사에너지에 성별간의 차이가 없다고 간주하면 AMEn 방식의 에너지 표현 방식이 AME 방식에 비해 에너지 함량을 더 정확하게 표현할 수 있다고 볼 수 있다. 이는 지규만과 박종호의⁹⁾연구 결과와 Jabba와 Slinger¹³⁾의 연구결과를 다시 입증하는 것이라고 볼 수 있다. 체중간의 비교에서, 체중증가량은 수컷 200g이 21.4g으로 나타난 반면, 수컷 300g은 -2.5g으로 나타났다. 성별간의 비교에서는 수컷 200g이 암컷 200g보다 통계적 유의성을 나타낼 정도로 체중증가량이 컸는데 ($p < 0.05$) 이는 성별간의 차이로 여겨진다. 그러나, 본 실험은 단기간(총 7일)에 걸친 대사실험이므로 체중간의 변이는 식이에 의한 영향보다는 개체간의 차이가 더 큰 영향을 주었으리라 생각된다.

식이섭취량은 체중이 다른 수컷쥐간의 비교에서 체중 300g의 쥐는 같은 사료를 섭취한 체중이 적은 쥐(200g)에 비해 사료를 10% 정도 적게 섭취함에 따라, gross energy 및 단백질 섭취량도 적었다. 그러나 분뇨를 통한 에너지와 질소의 손실량은 후자보다 더 적어 결과적으로 축적된 에너지와 질소량은 두 처리구의 쥐에서 비슷한 수준으로 나타났다.

Table 2. Effect of body weight differences and sex of rats on dietary energy measurement(experiment 1)¹⁾

Items	Rat(body weight)		
	Male 300g	Male 200g	Female 200g
Body weight, g/rat			
Initial	333.9 ± 11.9	215.1 ± 5.6	212.5 ± 12.0
Gain	- 2.5 ± 1.3 ^{b2)}	21.4 ± 5.7 ^{aA}	- 2.6 ± 0.7 ^B
Intake, /rat/4days			
Feed, g/rat/4days	52.42 ± 4.86	57.78 ± 6.84 ^A	38.71 ± 10.46 ^B
Gross energy, kcal	257.37 ± 23.84	293.73 ± 34.75 ^A	190.04 ± 51.39 ^B
Nitogen, mg	1064 ± 99	1181 ± 140 ^A	739 ± 237 ^B
Loss, /rat/4days			
Fecal energy, kcal	28.9 ± 2.9 ^b	43.8 ± 6.3 ^{aA}	21.8 ± 7.7 ^B
Urinary energy, kcal	1.7 ± 0.4 ^b	5.3 ± 1.9 ^{aA}	2.2 ± 1.5 ^B
Fecal N, mg	226 ± 9	264 ± 38 ^A	150 ± 46 ^B
Urinary N, mg	92 ± 76 ^b	297 ± 158 ^a	392 ± 188
Retention, /rat/4days			
Energy, Kcal	226.8 ± 22.2	244.6 ± 30.6 ^A	166.0 ± 42.7 ^B
Energy, %	88.08 ± 1.11	83.22 ± 0.98	87.64 ± 1.47
Nitrogen, mg	747 ± 60	620 ± 139 ^A	252 ± 154 ^B
Nitrogen, %	70.5 ± 5.3 ^a	52.9 ± 5.7 ^{aA}	32.7 ± 22.5 ^B
Dietary energy determined, kcal/kg			
AME ³⁾	4324.1 ± 54.5	4231.6 ± 49.6	4302.4 ± 72.3
AMEn ⁴⁾	4212.3 ± 59.7	4148.6 ± 39.9	4267.4 ± 50.0
Single ingredients, kca/kg			
AME	3848.4 ± 181.5	3848.4 ± 165.3	3833.4 ± 240.9
AMEn	3793.4 ± 198.6	3793.8 ± 133.0	3793.4 ± 199.0

1) Values are Means ± SD, n = 6.

2) Within a row, values for body weight or sex with different superscripts significantly different (p < 0.05) by t-test.

3) Apparent metabolizable energy.

4) Nitrogen-corrected AME.

사료의 AME 함량은 체중 300g 수컷쥐에서 3848.4kcal/kg, 200g 암컷쥐에서 3848.4kcal/kg으로 차이가 없는 것으로 나타났으며, 섭취한 질소의 축적이 전혀 없는 조건으로 환산하여 비교한 AMEn값은 300g 수컷쥐에서 3793.4kcal/kg, 200g 수컷쥐에서 3793.8kcal/kg으로 두군간의 차이가 없는 것으로 나타났다(p < 0.05).

사료 섭취량과 체중증가는 암쥐가 수컷쥐에 비해 높게 나타났는데 이는 성장기의 수컷쥐의 체중증가율이 암쥐에 비해 높기 때문으로 생각된다. 이 체중의 쥐에서 유지를 위한 에너지 요구량은 3800kcal/kg으로 본 실험에서 섭취한 량과 비슷하며, 본 실험에서 섭취한 질소량은 288mg으로 질소 요구량인 134mg보다 많이 섭취한 것

으로 나타났다⁶⁾. 수컷쥐(300g)와 암컷쥐(200g)의 체중이 증가하지 않은 것은 섭취한 사료의 단백질 함량이 유지 요구량 수준이었음을 반영해 주는 결과라고 볼 수 있다. 암수간에 체중 증가속도에 어떤 차이가 있던간에 본 실험의 결과는 성별이 사료의 대사 에너지 함량 측정에 영향을 주지 않는다는 것을 보여 주고 있다.

암수쥐의 에너지 대사에 대한 차이를 보인경우는 Rivest등¹⁴⁾의 stress를 받은 암컷쥐에 관한 연구로 암컷쥐가 수컷 쥐보다 stress에 더 강한 내성이 있어서 stress 성 환경에서는 암컷이 수컷보다 stress등에 의한 에너지의 소모율이 적다고 하였다. 한편, 어린쥐와 성숙 쥐를 대상으로 palatable cafeteria 방식으로 식이를 자유 급여 했을때의 에너지 대사율을 조사한 Nancy등¹⁵⁾

대사 에너지 조사 방법

Table 3. Effect of feeding ingredients singly or as a mixture on metabolizable energy measurement(experiment 2)¹⁾

Items	Between single ingredients		As a mixture	
	Glucose	Corn	Glu/Corn	Glu/Basal
Body weight, g/rat				
Initial	349.8 ± 17.0	336.5 ± 13.4	264.8 ± 10.4	225.1 ± 3.8
Gain	-13.9 ± 2.1 ^{b2)}	2.4 ± 3.7 ^a	0.7 ± 0.6 ^{a2)}	5.4 ± 1.3 ^b
Intake, /rat/4days				
Feed, g	32.5 ± 9.1	55.1 ± 6.2	49.4 ± 5.1	56.9 ± 6.0
Gross energy, kcal	118.3 ± 30.0 ^b	262.3 ± 29.6 ^a	248.5 ± 25.5	282.3 ± 28.6
N, mg	11 ± 3	1085 ± 122	743 ± 76	731 ± 75
Loss, /rat/4days				
Fecal energy, kcal	4.97 ± 0.38 ^a	39.30 ± 5.89 ^b	30.50 ± 3.21 ^a	21.10 ± 3.35 ^b
Urinary energy, kcal	2.51 ± 1.16	3.56 ± 1.15	2.98 ± 0.74	2.97 ± 0.05
Fecal N, mg	- ³⁾	226 ± 46	169 ± 10	167 ± 18
Urinary N, mg	-	456 ± 175	184 ± 25	166 ± 32
Retention				
Energy, kcal	110.78 ± 32.76 ^b	219.48 ± 26.00	215.10 ± 24.10	258.13 ± 26.47
Energy, %	93.9 ± 3.0	83.6 ± 1.8	86.5 ± 1.4 ^a	91.47 ± 0.79 ^b
N, mg	-	403 ± 192	391 ± 64	430 ± 3
N, %	-	37.1 ± 18.2	52.3 ± 3.9	55.6 ± 4.4
Dietary energy determined, kcal/kg				
AME ⁴⁾	3286.3 ± 98.5 ^b	3817.6 ± 80.1 ^a	4322.1 ± 69.6	4501.3 ± 60.8
AMEn ⁵⁾	-	3763.0 ± 58.0	4260.9 ± 66.4	4067.3 ± 71.5
Glucose, kcal/kg				
AME	-	-	4177.3 ± 231.9	4118.3 ± 145.1
AMEn	-	-	4152.5 ± 221.3	4190.6 ± 264.7

1) Values are Means ± SD, n = 6.

2) Within a row, values for either single ingredient or mixture with different superscripts significantly different(p < 0.05) by t-test.

3) The values were not measured due to limitation of sample volume.

4) Apparent metabolizable energy.

5) Nitrogen-corrected AME.

은 연령에 따른 기호 및 대사적 차이에 의해 성숙쥐에서는 지방과 에너지 축적을 증가시켜 체중의 증가를 나타내었으나 어린쥐에게서는 체중의 증가를 나타내지 않았다고 하였다. 그러나 체에너지 축적률은 어린쥐가 77%로 성숙쥐의 55%보다 높은것으로 나타났다. 또한, energy balance와 체중과의 유전적 요인에 대해 조사한 Nancy^등¹⁶⁾은 계통간의 대사효율의 차이에 의하여 지방 축적과 체중증가에 변이가 존재하고 대사효율의 차이는 "cafeteria feeding" 방식에 의해 가속화 된다고 하였다.

한편, 닭같은 조류의 경우 나이가 사료 에너지 이용성

에 영향을 미치지 않으며, 따라서 극단적인 경우를 제외하고는 나이는 조류에서 측정된 대사 에너지가를 성장중인 동물의 사료배합율을 작성할때 사용할 수 있다는 보고가 있다¹⁷⁾¹⁸⁾. Schemmel^등¹⁹⁾도 식이의 체에너지(body energy) 전환률은 Osborne-Mendel rat의 경우 암컷과 수컷 모두 약 70% 정도이나 이는 쥐의 계통과 식이급여량에 따라 다르다고 하였다. 이상의 연구결과를 종합해 보면 stress를 받을때 암수쥐 간의 에너지 이용성에서 차이가 있을 수 있고, 또 쥐의 계통이 다를때 에너지 이용성이 달라질 수 있다는 것이다.

본 실험에서와 같은 조건에서는 체중 330g 정도와

200g 수준의 쥐에서 사료의 대사에너지 이용능력에 차이가 없는 것으로 나타났으며 실험 식이의 AME intake, AMEn intake는 식이 섭취량과 같이 수컷 300g, 수컷 200g이 암컷 200g보다 높게 나타났는데 이는 앞서 설명한 식이섭취량과 같이 성별간의 차이로 나타난 결과로 여겨 진다. 그러나, 실험식이 및 단일성분의 AME와 AMEn은 세군 모두 통계적 유의성을 나타내지 않아 성별과 체중 200~300g에서 체중 차이가 대사에너지에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

2. 실험 2 : 사료 첨가 방법간의 비교

실험 2에서 포도당과 옥수수를 단독으로 쥐에게 급여한 것은 단독으로 급여하여 구한 사료의 에너지 함량과 기초사료중 일부를 대체하여 구한 에너지 함량과 비교하기 위한 것이었다. 사료로 포도당이나 옥수수만을 급여한 실험군과 기초사료에 포도당이나 옥수수를 일부 대체 급여한 실험군에서 사료의 대사 에너지 함량을 측정할 결과는 Table 3에서와 같다. 먼저 단일 급여만을 급여한 경우 즉, Glucose군과 Corn군에서 체중은 옥수수군은 7일간의 급여로 약간 증가하였으나 포도당군은 통계적 유의성이 인정될 정도로 감소하였다($p < 0.05$).

식이 섭취량은 옥수수군이 포도당군보다 약 2배 정도 더 섭취한 것으로 나타났다. 이것은 포도당의 경우 입자가 미세한 가루상태여서 섭취하기 어렵다는 점과 순수한 당질원으로 단지 energy 만을 공급하지만 옥수수의 경우 energy 이외에 약 9%의 단백질과 다른 미량원소를 함께 함유하고 있기 때문에 단시간내 단일 공급되어도 영양소의 심한 불균형과 식욕부진을 어느정도 완화시킬 수 있기 때문이라 사료된다.

총에너지 섭취량(Gross energy intake)은 두군이 모두 식이섭취량과 같은 경향으로 유의적 차이를 보였으며 옥수수군이 포도당군보다 총에너지 섭취량과 분뇨의 총에너지 손실량이 많았다. 축적된 에너지량은 옥수수군이 포도당군보다 2배 가량 많았으나 축적된 비율은 포도당군이 옥수수군보다 약 12% 정도 높게 나타났다. 질소의 축적량 및 축적률은 포도당의 경우 시료량의 부족으로 분석하지 못하였으며 옥수수의 경우 각각 $403 \pm 192\text{mg}$, 37.1%로 Table 2의 수컷 200g, 300g보다는 낮게 암컷 200g보다는 높게 나타났다.

AME 가는 포도당군이 옥수수군보다 유의적으로 낮게 나타났다. 이는 단일 영양소원이 편중된 단일식이만을 급여했을때 발생하는 미량영양소의 부족에 따른 체내 대사 불균형으로 7일정도의 실험기간도 단일식이를 급여할 경우 너무 긴것으로 생각된다. 그러나 옥수수의 경우 간접적인 방법으로 구한 AME와 AMEn(Table 2의 Male 300g, 200g과 Female 200g의 Dietary AME, AMEn)과 유의적 차이를 보이지 않아 단일성분으로서의 옥수수는 전체 실험 기간인 7일을 단일 급여 했어도 대사에너지가에 문제를 발생시키지 않는 것으로 나타났다. 그래서 본실험에서는 Glucose/Corn의 기준물질로 옥수수의 대사에너지가(AME, AMEn)를 사용하였다. 한편, 포도당군의 AMEn 가는 분석 시료량의 부족으로 nitrogen balance를 조사하지 못해 산출하지 못하였다.

사료첨가방법간에 비교한 결과는 Table 3에서 Glucose/Corn군과 Glucose/Basal군에서와 같다. 증체량은 기초식이내 들어있는 Corn의 30%를 glucose로 대체한 Glucose/Corn 방법이 기초식이의 30%를 glucose로 대체한 Glucose/Basal보다 통계적 유의성이 인정될 정도로 낮게 나타났는데, 이는 Glucose/Corn 방법과 Glucose/Basal 방법 간의 차이라기 보다는 초기 체중과 말기 체중에 따른 개체간의 변이에 의한 것이라 생각된다.

식이섭취량은 비교되는 두방법(Glucose/Corn, Glucose/Basal) 간에는 차이가 없는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 이것은 gross energy intake 간의 비교로 확실히 알 수 있으며 질소 섭취량은 Glucose/Corn이 Glucose/Basal 보다 많이 섭취한 것으로 나타났다. 한편, 실험쥐에게 palatable 급여방식으로 식이를 급여하여 대사 에너지와 체지방간의 관계를 조사한 Arimtage등²⁰⁾의 연구에 의하면, palatable 급여방식으로 식이 섭취량은 증가하고 이에따라 metabolizable energy도 증가하였다고 하며, 이러한 식이 섭취량의 변화는 체지방의 통제력에 영향을 주므로 체지방의 축적률에 비례 한다고 하였다. 또, 탄수화물 급원으로 sucrose 대신 dextrine을 사용하여 에너지 대사에 관하여 조사한 Romberg등²¹⁾의 연구에 의하면, 탄수화물 급원의 변화는 식품섭취기전에 변화를 가져와 투여된 열량에 대한 이용과 대사도 함께 변화 시킨다고 하였다. Sibbald등²²⁾

대사 에너지 조사 방법

은 TME(true metabolizable energy) 조사를 위한 사료량을 조사하였을 때, 가장 적당한 사료 섭취수준은 구토를 일으키지 않으면서 최대로 섭취할 수 있는 양으로, 단관 백색 Leghorn 계통의 rooster의 경우는 40g 정도가 가장 적당하다고 주장하였다.

Glucose/Corn, Glucose/Basal군간에 총에너지 배설량은 Glucose/Corn군이 Glucose/Basal군보다 높게 나타났으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다. 질소량은 Glucose/Corn이 Glucose/Basal보다 많이 섭취하고 많이 배설한 것으로 나타났다. 에너지 축적량은 Glucose/Basal이 Glucose/Corn보다 높은 것으로 나타났다. 에너지 축적률(%)은 Glucose/Corn이 Glucose/Basal보다 높게 나타났다. 그러나, 통계적 유의차는 인정되지 않았다.

단일성분(Glucose)의 AME와 AMEn은 두군간에 통계적 유의차가 없는 것으로 나타나, 대사 에너지를 조사하는 두 방법, 즉 Corn의 30%를 glucose로 대치한 Glucose/Corn 방법이 기초식이의 30%를 glucose로 대치한 Glucose/Basal 간에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러므로, 위의 두 방법 중 어느 것을 선택하든 기간에 동일한 결과를 얻을 수 있다. 그러나, 한 영양소가 과량으로 함유된 단일 식품일 경우, 영양소가 고르게 분포되게 하는 Glucose/Corn의 방법이 합리적이다. 이는 기초식이내의 에너지원인 옥수수 30%를 대치하기 때문에 단백질이나 각종의 vitamin, mineral의 함량이 실험용구의 요구량과 부합되기 때문이다. 이는 Table 1의 analytical value로도 알 수 있다. 즉, Glucose/Corn 식이의 조단백질 함량과 조지방의 함량이 8.41%, 11.72% 인 반면, Glucose/Basal 식이는 이보다 낮은 5.88%, 8.20%이므로 Glucose/Corn 방법이 대사 에너지 조사 방법으로 Glucose/Basal 방법보다 더 좋을 수 있다. 한편, 이영철²³⁾²⁴⁾도 본 실험에서 사용한 Glucose/Corn 방법으로 실험을 실시하였는데, Basal 식이의 에너지와 단백질 수준이 실험식이의 AME 가에 영향을 주지 않는다고 하여 식이내 단백질 수준이 성장 쥐의 에너지 이용에 영향을 주지 않는다고 한 Mac-craken²⁵⁾의 결과와 같았다. 그러므로, 이 결과를 본 실험의 결과에 응용하면, Glucose/Corn 방법보다 조단백질의 함량이 적은 Glucose/Basal 방법도 대사 에너지 조

사 방법으로 Glucose/Corn과 혼용해서 사용할 수 있음을 보여준다. 한편, Cambell등²⁶⁾은 대사 에너지가의 계산은 분변내 섬유소와 회분을 측정하여 좀 더 정확히 수정해야 한다고 하였다.

본 실험에서 사용한 대사 에너지가를 구하는 방법은 단일 사료의 대사 에너지를 측정하는 방법으로 장기간 단일 사료만을 급여 했을 때 발생하는 영양소 결핍에 따르는 문제점을 보완하기 위한 방법이다. 따라서 실험식이내 단일 식품의 혼합률은 40% 이상을 넘지 않아야 한다는 주장도 제기 되고 있다²⁷⁾ 본 실험에 사용된 대사 에너지 조사 방법은 실험동물을 이용한 생체 balance 실험이므로 식이 섭취량과 노폐물(분뇨)량의 정확한 측정이 중요하며 Sibbald등²⁷⁾은 분뇨의 수거기간이 길수록 대사 에너지가가 정확하므로 소화기간이 긴 식품은 24시간 이상 분뇨를 수거할 것을 주장하였다. 본 실험에서는 3일의 적응 기간과 4일의 수거기간을 두었는데 3일의 적응 기간을 둔 이유는 예비실험 결과 실험전에 급여한 식이가 장내에서 완전히 제거되는 시간이 약 48시간 이상이 걸렸기 때문이다.

요 약

본 연구는 실험 동물을 통해 한국인이 선호하는 주요 곡류 및 해조류의 대사 에너지 함량을 조사하기 위한 기초 실험으로 실험동물의 성별과 크기 및 사용 방법에 따른 대사 에너지가의 신용도를 조사하기 위하여 실시하였다.

결과는 다음과 같다. 평균 체중 200g의 암컷과 수컷간의 대사 에너지 함량간에 통계적 유의성은 인정되지 않았다. Basal 식이내 옥수수 30%를 포도당으로 대치한 방법(Glucose/Corn)과 전체 basal 식이 무게의 30%를 포도당으로 대치한 방법(Glucose/Basal) 간에는 같은 대사 에너지 함량을 나타내 실험식이를 첨가하는 방법의 선택이 식품의 대사 에너지 함량에 영향을 주지 않았다. 따라서, 한국인이 상용하는 당질 식품 및 해조식품의 대사 에너지 함량은 실험동물의 체중이 200~300g 정도의 Sprague Dawley 종의 rat을 사용하고 실험 방법은 Basal 식이내 함유된 옥수수(76.4%)의 30%를 실험 시료로 대치하는 방법을 사용하는 것이 바람직

하다고 사료된다.

Literature cited

- 1) Pennington JAT, Church HN. Food values of commonly used, Perennial Library, Haper & Row, Publishers, 1985
- 2) 식품성분표(제 4 개정판), 농촌진흥청, 농촌영양개선연구원, 1991
- 3) Carbohydrates in human nutrition, FAO Food and Nutrition Paper, FAO, 1980
- 4) Church DC, Pond WG. Basic animal nutrition and feeding, 141-160, Wiley, New York, 1982
- 5) Schneider and Flatt. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia Press, 143-160, 1975
- 6) Requirement of rats, National Research Council, 1988
- 7) 김숙희 · 지규만 · 김화영 · 성낙응 · 주진순. 한국인 영양 권장량 설정을 위한 기초 연구, 8-58, 한국인구보건연구원, 1985
- 8) Mulijibhai BD. Spectrophotometric method for microdetermination of nitrogen in Kjeldahl digest. *J Assoc Off Anal Chem* 72(6) : 953-956, 1989
- 9) 지규만 · 박종호. 병아리 사료에서 일반대사 에너지와 순대사 에너지의 이론적 정확성 비교를 위한 실험. *한국영양학회지* 25(7):543-554, 1992
- 10) Leonard AM, John KL. Animal Nutrition 7th edit, McGraw-Hill Book Company, 186-219, 1979
- 11) Matterson LD, Potter LM, Stutz MW, Singen EP. The metabolizable energy of feed ingredients for chicken agricultural experimentation, The University of Connecticut Storrs, Connecticut, Research Report 7, 1965
- 12) Milton LS, Nesheim MC, Young RJ. Nutrition of the Chicken. M.L.SCOTT & ASSOCIATES, 3rd. *Chapter* 10 : 521-549, 1982
- 13) Jabbar MA, Slinger SJ. An Evaluation of the Nitrogen Correction in the True Metabolizable Energy Assay. *Poultry Science* 60 : 835-839, 1980
- 14) Rivest S, Deshaies Y, Richard D. Effects of Corticotropin-releasing factor on energy balance in rats are sex dependent. *The American Physiological Society* R1417-R1422, 1989
- 15) Nancy JR, Michael JS. Effects of feeding a palatable 'Cafeteria' diet on energy balance in young and adult lean(+/?) Zucker rats. *Br J Nutr* 47 : 461-471, 1982
- 16) Nancy JR, Elizabeth S, Michael JS. Effects of feeding a "Cafeteria" diet on energy balance and diet-induced thermogenesis in four strains of rat. *J Nutr* 112 : 1515-1524, 1982
- 17) Sibbald IR. The effect of the duration of the excreta collection period on the true metabolizable energy values of feedingstuffs with slow rates of passage. *Poultry Science* 58 : 896-899, 1978
- 18) Shires A, Robblee AR, Hardin RT, Clandinin DR. Effects of the Age of Chickens on the True Metabolizable Energy Values of Feed Ingredients. *Poultry Science* 59 : 396-403, 1977
- 19) Schemmel RS, Olaf M, Kamal M. Conversion of dietary to body energy in rat as affected by strain, sex and ration. *J Nutr* 102 : 1187-1198, 1972
- 20) Armitage G, Hervey GR, Rolls BJ, Rowe EA, Tobin G. The effects of supplementation of the diet with highly palatable foods upon energy balance in the rat. *J Physiol* 342 : 229-251, 1983
- 21) Romberg, Benton DA. Effect of type of carbohydrate on energy metabolism and body composition of rats fed low protein diets. *J Nutrition* 86 : 289-297, 1965
- 22) Sibbald IR. The effect of the duration of the excreta collection period on the true metabolizable energy values of feedingstuffs with slow rates of passage. *Poultry Science* 58 : 896-899, 1978
- 23) 이영철. 양계 사료의 True metabolizable energy 측정에 영향을 주는 요인에 관한 실험 : V. 기초사료의 에너지 수준이 옥수수과 대두박의 Apparent metabolizable energy 및 True metabolizable energy가 에 미치는 영향. *家禽學會報* 11(2) : 109-114, 1984
- 24) 이영철. 양계사료의 True metabolizable energy 측정에 영향을 주는 요인에 관한 실험 IV. 기초사료의 단백질 수준이 옥수수와 대두박의 Corrected apparent metabolizable energy of Farrell 및 True metabolizable energy가 에 미치는 영향. *家禽學會報* 11(2) : 98-108, 1984
- 25) Mccracken KJ. Effect of feeding pattern on the

대사 에너지 조사 방법

- metabolism of rats given low-protein diets. *Br J Nutr* 33 : 277-289, 1975
- 26) Cambell GL, Salmon RE, Classen HL. Prediction of metabolizable energy of broiler diets from chemical analysis. *Poultry Sci* 65 : 2126-2134, 1986
- 27) Sibbald IR. The effect of level of feed intake on metabolizable energy values measured with adult roosters. *Poultry Science* 54 : 1990-1997, 1975