

# 성장중인 쥐에서 에너지 급여 수준이 체조성 및 에너지 대사에 미치는 영향

梁 良 漢\*

## The Effects of Different Levels of Energy Intake on Body Composition and Energy Metabolism in Growing Rats

*Yang Yang-Han\**

### Summary

The effects of different levels of energy intake on body composition and energy metabolism in growing rats have been investigated.

In exp. 1, forty-nine male Sprague-Dawley rats were divided into seven groups each 7 rats and fed low energy level ( $34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) for 0, 5, 10, 15, 20, 30 and 40 days respectively.

In exp. 2, fifty male rats were divided into five groups each 10 rats and fed high energy level ( $54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) for days reached body weight of 60 g, 90 g, 120 g, 150 g and 180 g respectively. Crude protein content of low and high energy level of diets 15% and 13% respectively. Daily intake of crude protein were  $5.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-0.75}$  in both experiments.

In exp. 1, daily feed intake, daily body weight gain and feed conversion did not differ from each group.

In exp. 2, daily feed intake and body weight gain were markedly increased, but feed conversion was not different in each group.

Content of body fat in exp. 2 increased 5.1% to 11.2% during the feeding period. Accumulation of total body fat in exp. 1 decreased by 3.4 g for 10 days and then increased slowly for the rest of feeding period.

Daily heat production ( $\text{kg}^{-0.75}$ ) in both experiments decreased slowly during the feeding period. Daily heat production in the low energy level was lower than the high energy level.

---

\* 자연과학대학 식품영양학과 (Dept. of Food Science & Nutrition, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

## 서 론

일정 기간 쥐를 굶거나 식이를 제한 급여 했을 때 체중이 감소하게 되는데, 그 다음 식이를 비제한 급여하면 감소한 체중을 빨리 만회한다(Fried et al, 1983; Hill et al, 1984; Harris et al, 1984; Khan 등 1979). 이 현상을 보상 성장이라 하는데, Haris 등(1984)과 Szepesi 등(1976)은 식이제한후 비제한 급여 기간중 비제한 대조군에 비해 식이 섭취량의 증가가 그 원인임을 지적하였으나, 비제한 급여 기간중 대조구와 동량의 식이를 급여하였을때도 이 현상은 나타난다고 하였다 (Fried et al, 1983; Boyle et al, 1978). 그리고 사람에게서도 식이 제한으로 감소된 체중을 쉽게 회복하였다는 보고들이 있다(Sohar et al, 1973; Mac Cuish et al, 1968). 지금까지 많은 연구가 보상 성장의 원인을 규명하기 위해 진행되어 왔으나 아직도 그 원인은 명확히 규명되지 못하고 있다. 본 실험에서는 에너지 급여량을 높은 수준과 낮은 수준으로 제한하여 식이를 급여할 때 각 실험 기간 단계 및 체중 단계별로 체조성의 변화 및 섭취한 대사 에너지의 이용에 대해서 특성을 규명하는 것은 보상 성장의 연구에 기초 자료가 될 것이라 생각하여 본 실험을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 계획

실험 1에서는 Sprague-Dawley 계 수컷 흰쥐 49 마리를 사육실에서 적응기를 둔 후 7마리씩 7개군으로 나누어 각 대사케이지에 완전 임의 배치 시켜서, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40일간 저에너지 수준 ( $34\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 식이를 급여하였다.

실험 2에서는 50마리쥐를 10마리씩 5개 실험군로 나누어 60g, 90g, 120g, 150g 및 180g이 될 때까지 고에너지 수준( $45\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 식이를 급여하였다.

두 실험에서 각 군의 실험 동물의 체중은 평균과 표준 편차를 비슷하게 조정하여 각군에 배치시켰다.

### 2. 실험 식이

실험에 사용한 식이의 조성은 Table 1과 같다.

저에너지 수준 식이 및 고에너지 수준 식이의 조단백질 함량을 각각 15% 및 11.3%가 되도록 배합하여, 조단백질 급여량은 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서 모두 대사 체중( $\text{kg}^{0.75}$ )당 1일 5.1g이 되도록 하였다.

Table 1. Composition of experimental diets(g/kg)

Ingredients	Exp. 1	Exp. 2
	LEL <sup>1)</sup>	HEL <sup>2)</sup>
Casein	148	111
DL-Methionine	8	6
Corn starch	574	613
Sucrose	100	100
Cellulose	40	40
Corn oil	50	50
Vitamin-Mix. <sup>3)</sup>	20	20
Mineral-Mix. <sup>4)</sup>	60	60

1) LEL : low energy level ( $34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ )

2) HEL : high energy level ( $45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ )

3) Vitamin mix. (20 g/kg diet) contained : Vit. A, 5000 IU; vit. D<sub>3</sub>, 500 IU; vit. E, 50 mg; vit. K<sub>3</sub>, 1 mg; vit. B<sub>1</sub> · HCl, 20 mg; vit. B<sub>2</sub>, 20 mg; vit. B<sub>6</sub> · HCl, 10 mg; calcium pantothenate, 50 mg; nicotinic acid 50 mg; cholin chloride, 1000 mg; folic acid, 2 mg; inositol, 100 mg; p-aminobenzoic acid, 100 mg; vit. B<sub>12</sub>, 30 µg; biotin, 200 µg; sucrose powdered to make 20 g

4) Mineral mix. (60 g/kg diet) contained : CaCO<sub>3</sub>, 15 g; Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 14 g; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (sicc.), 10 g; NaCl, 8 g; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (sicc.), 7 g; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 5 g; Fe-citrate, 0.48 g; MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 0.45 g; ZnCO<sub>3</sub>, 0.04 g; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 0.0195 g; KJ, 0.0005 g; NaF, 0.010 g

### 3. 실험 동물의 사육

실험 동물은 Plexy glass로 된 대사 케이지에 한 마리씩 사육하였으며, 체중은 2일 마다 오전 8:00 시에 동물 저울을 이용해 측정하였고, 동물의 움직

임으로 인한 체중의 오차를 보정하기 위해 20번 반복하여 자동으로 측정된 후 평균을 기록하게 하였다.

2일마다 측정된 체중을 기준으로 대사 체중당 1일 실험 1에서는 34g의 LEL 식이물, 실험 2에서는 HEL 식이물 45g의 HEL 식이물 계산하여 식이통에 넣어 오후 4:00시에 급여하였고, 아침 8:00시에 식이통을 제거하여 섭취량을 측정하였다.

실험기간 동안 사육실 온도는  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 로, 상대 습도는 50-70%로 유지하였고 물은 임의로 섭취할 수 있도록 하였다.

명암 주기는 12시간 간격 (점등시간 06:00-18:00, 소등시간 18:00-06:00)으로 조절하였다.

실험이 끝난 쥐는 장 내용물을 최소화하기 위해 식이섭취 후 약 16시간 경과 후 오후 2시에 chloroform으로 희생시켰다.

#### 4. 시료 준비

실험이 끝난후  $-18^\circ\text{C}$  냉동 보관한 쥐를 1L의 밀폐 용기에 넣어서 Autoclave에서  $121^\circ\text{C}$ , 1bar로 3시간 처리한 후 상온에서 식힌 다음 균질기로 잘게 분쇄하여, 냉동건조후 분석할 때까지  $-18^\circ\text{C}$ 의 냉동실에서 보관하였다. 분쇄한 생시료에서 10-15g씩 2개 시료를 취하여 고형물 함량을 측정하였다.

#### 5. 시료의 화학적 성분분석

시료의 고형물 함량은 2g-4g의 시료를  $105^\circ\text{C}$ 로 고정된 drying oven에서 함량이 될 때까지 수분을 증발시킨 후 잔유물의 백분율로 구하였다. 균질기에서 분쇄한 쥐시료는 10g-15g을 취하여 48-72시간 동안 건조시켜 구하였다.

식이 및 시료의 조단백질, 조회분, 조지방 함량

Table 2. Initial and final weights, final empty-body-weight (EBW) and ME intake<sup>1)</sup>

N <sup>2)</sup>		Feeding period (d)	ME intake <sup>3)</sup> (kJ · kg <sup>-0.75</sup> d <sup>-1</sup> )	Initial weight (g)	Final weight (g)	Final EBW (g)
Exp. 1 <sup>4)</sup>						
Group						
0	9	0		102.0 ± 5.1		96.6 ± 5.0
I	9	5	579	101.5 ± 5.3	98.3 ± 6.1	94.6 ± 5.5
II	9	10	572	101.6 ± 5.1	102.8 ± 6.2	99.5 ± 5.6
III	9	15	574	101.6 ± 4.9	105.5 ± 4.0	102.2 ± 4.3
IV	9	20	574	101.5 ± 4.9	111.5 ± 5.3	107.7 ± 5.1
V	9	30	579	101.5 ± 4.9	131.4 ± 5.5	126.8 ± 5.4
VI	9	40	579	101.6 ± 4.7	145.0 ± 8.5	140.6 ± 8.8
Exp. 2 <sup>5)</sup>						
Group						
0	10	0	765	62.5 ± 5.9		59.6 ± 5.5
I	10	12	764	62.4 ± 4.8	93.4 ± 8.5	89.5 ± 8.1
II	10	22	764	62.5 ± 4.6	123.6 ± 4.9	119.6 ± 5.4
III	10	30	764	62.5 ± 4.8	151.2 ± 12.3	146.0 ± 11.9
IV	10	38	765	62.5 ± 5.0	181.6 ± 14.4	176.9 ± 14.2

1) Values are mean ± SD

2) N, number of animals

3) ME, metabolizable energy

4) Low energy level (34g · kg<sup>-0.75</sup> d<sup>-1</sup>)

5) High energy level (45g · kg<sup>-0.75</sup> d<sup>-1</sup>)

은 AOAC 방법에 따라서 측정하였다. 조단백질 함량은 Kjeldahl 방법에 의해 N 함량을 구한 후 6.25를 곱하여 계산하였다.

## 5. 통계 분석

본 연구의 자료는 SPSS(Schubö and Uehlinger, 1984) program을 이용하여 통계 처리하였다. 모든 연속성 자료에 대해 Kolmogrov-Smirnov Goodness of Fit Test로 정규 분포 여부를 검정 하였으며, 정규 분포를 이루지 않은 자료에 대해서는 Dixon 극한치 제외 검정(Sachs, 1968)으로 극한치를 제외한 후 정규 분포 검정을 다시 실시하였다. 각군간의 유의성은 유의 수준  $p < 0.05$ 에서 분산 분석한 후 각군의 평균치간의 유의성 검정은 Scheffe'-test로 하였다.

## 결과 및 고찰

Table 3. Feed intake, body weight gain and feed conversion of growing rats fed with different level of energy intake<sup>1,2)</sup>

	Feed intake (g/d)	Weight gain (g/d)	Feed/Weight gain (g/d)
Exp. 1			
Group			
I	5.70±0.30	1.57±0.52 <sup>a</sup>	3.96±1.23 <sup>a</sup>
II	5.80±0.19	1.28±0.31 <sup>a</sup>	4.84±1.64 <sup>a</sup>
III	5.82±0.18	0.98±0.32 <sup>a</sup>	6.54±2.16 <sup>b</sup>
IV	5.96±0.25	0.92±0.13 <sup>a</sup>	6.59±0.88 <sup>b</sup>
V	6.34±0.23	1.31±0.19 <sup>a</sup>	4.92±0.62 <sup>ab</sup>
VI	6.50±0.26	1.33±0.13 <sup>a</sup>	4.93±0.37 <sup>ab</sup>
Exp. 2			
Group			
O	4.90±0.27	1.60±0.23 <sup>a</sup>	3.11±0.37 <sup>a</sup>
I	6.41±0.37	2.64±0.30 <sup>b</sup>	2.46±0.22 <sup>b</sup>
II	8.33±0.42	2.83±0.24 <sup>b</sup>	2.95±0.21 <sup>a</sup>
III	9.83±0.56	3.54±0.48 <sup>c</sup>	2.82±0.38 <sup>a</sup>
IV	11.47±0.68	3.99±0.49 <sup>d</sup>	2.91±0.27 <sup>a</sup>

1) Mean ± SD

2) Values with different alphabet within the column were significant different at  $p < 0.05$

## 1. 실험 경과

실험 1과 실험 2의 실험개시 체중, 종료시 체중 및 공복시 체중, 대사 체중당 대사 에너지 섭취량은 Table 2에 나타내었다.

실험 1의 모든 실험군에서 실험 개시 2일 후 체중은 실험 개시 체중 보다 낮게 나타났다. 이 결과는 사육실에서 자유 급이로 4일간 적응 시킨 후 각 실험구로 배치시켜 저에너지 수준으로 식이물 급여하는 과정에서 체중 감소를 초래하였다. Mohan 등(1983)은 에너지 제한 초기에는 기초 대사량을 감소시키지 않고 성장 지연이나 제한 정도가 클 경우는 체중 감소를 동반할 수 있다고 한다. 한편 식이 섭취량의 감소로 인한 장내용물의 감소도 부분적인 원인이라고 볼 수 있다.

실험 2에서는 사육실에서 고에너지 수준으로 표준 체중이 60g이 될 때까지 급여한 후 쥐는 실험구에 배치하고 계속 동일한 수준으로 식이물 급여했

기 때문에 실험1과 같은 체중 감소는 없었다.

실험 종료 체중은 오전 8시에, 공복 체중은 오후 2시에 측정하였는데 이 체중의 차이는 물 섭취와 분과 오줌의 배설에 의한 것으로 설명할 수 있다.

두 실험에서 실험 동물의 손실 없이 실험이 진행 되었고, 실험 2에서 실험 개시 체중과 종료 체중은 실험 계획에 가깝게 경과 하였음을 보여 주고 있다.

## 2. 식이 섭취량, 일 증체량 및 g증체당 식이 요구량

실험 1과 실험 2의 식이 섭취량, 일 증체량 및 g 증체당 식이 요구량은 Table 3에 제시된 바와 같다.

실험 1에서는 모든 군에서 저에너지 수준으로 급여량을 제한했을때 2일간 체중 감소를 나타냈기 때문에 이 기간을 제외시켜서 자료를 계산했다.

실험 1에서 저에너지 수준으로 식이물 급여했을

때 식이 섭취량, 일증체량 및 g증체당 식이 요구량은 실험군간에 차이는 없었으나, 실험 2에서는 고에너지 수준으로 식이물 급여했을때 일 증체량은 두렷하게 증가하고 있으나 g증체당 식이 요구량은 실험군간에 차이가 없다. 이것은 체중이 증가함에 따라 식이 급여량 증가가 높은 일증체량을 야기시켰으나( $p < 0.05$ ), g증체당 식이 요구량은 변화시키지 못했음을 의미한다. 실험 1과 비슷한 체중 범위를 실험 2의 실험군 II와 III과 비교하여 보면, 에너지 섭취량의 감소는 일 증체량의 감소와 g증체당 식이 요구량을 증가시켰다( $p < 0.05$ ).

## 3. 체조성의 변화

저에너지 수준 및 고에너지 수준으로 급여한 실험 1과 실험 2의 도체의 화학적 조성은 Table 4와 같다.

체수분 함량은 실험 1에서는 연령이 증가함에 따라 감소하였고( $p < 0.05$ ), 실험 2에서는 연령과 체중

Table 4. Change of chemical composition in growing rat fed with different level of energy intake<sup>1,2)</sup>

	Moisture (%)	Crude ash (%)	Crude fat (%)	Crude protein (%)
Exp. 1				
Group				
O	72.3 ± 0.95 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.1 ± 0.93 <sup>a</sup>	16.7 ± 0.18 <sup>a</sup>
I	71.4 ± 0.28 <sup>a</sup>	3.8 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.2 ± 0.44 <sup>d</sup>	19.3 ± 0.34 <sup>b</sup>
II	71.9 ± 0.49 <sup>a</sup>	4.0 ± 0.15 <sup>ab</sup>	2.6 ± 0.61 <sup>b</sup>	20.6 ± 0.49 <sup>c</sup>
III	70.8 ± 0.47 <sup>a</sup>	4.1 ± 0.33 <sup>bc</sup>	2.5 ± 0.59 <sup>bc</sup>	21.1 ± 0.46 <sup>c</sup>
IV	69.8 ± 0.55 <sup>ab</sup>	4.3 ± 0.13 <sup>cd</sup>	3.5 ± 0.56 <sup>bcd</sup>	21.6 ± 0.32 <sup>d</sup>
V	68.5 ± 0.87 <sup>bc</sup>	4.4 ± 0.23 <sup>cd</sup>	5.0 ± 1.19 <sup>a</sup>	21.1 ± 0.22 <sup>c</sup>
VI	67.7 ± 0.45 <sup>cd</sup>	4.3 ± 0.12 <sup>cd</sup>	6.3 ± 0.48 <sup>a</sup>	20.6 ± 0.31 <sup>c</sup>
Exp. 2				
Group				
O	70.6 ± 0.42 <sup>a</sup>	3.9 ± 0.13 <sup>a</sup>	5.1 ± 0.43 <sup>a</sup>	19.1 ± 0.36 <sup>a</sup>
I	69.9 ± 0.78 <sup>a</sup>	3.9 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.3 ± 0.94 <sup>a</sup>	19.1 ± 0.24 <sup>a</sup>
II	67.9 ± 0.85 <sup>b</sup>	3.8 ± 0.09 <sup>ab</sup>	7.8 ± 0.46 <sup>b</sup>	19.3 ± 0.19 <sup>a</sup>
III	67.3 ± 0.87 <sup>b</sup>	3.6 ± 0.16 <sup>b</sup>	8.9 ± 0.99 <sup>b</sup>	19.3 ± 0.37 <sup>a</sup>
IV	65.4 ± 1.17 <sup>c</sup>	3.6 ± 0.09 <sup>b</sup>	11.2 ± 1.24 <sup>c</sup>	19.2 ± 0.25 <sup>a</sup>

1) Mean ± SD

2) Values with different alphabet within the column were significant different at  $p < 0.05$

이 증가함에 따라 감소하였다 ( $p < 0.05$ ).

조회분 함량은 연령이 증가함에 따라 실험1에서 3.1%에서 4.3%로 증가하였고, 연령과 체중이 증가함에 따라 실험2에서 3.9%에서 3.6%로 감소하였다 ( $p < 0.05$ ).

체지방 함량은 고에너지 수준에서 연령과 체중이 증가함에 따라 5.1%에서 11.2%로 현저히 증가하는 반면, 저에너지 수준으로 식이를 급여한 실험1에서는 10일까지는 체지방 함량이 감소하였으나, 그 이후는 낮은 증가를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

고에너지 수준으로 식이를 급여한 실험 2에서 연령과 체중이 증가함에 따라 체지방 함량이 증가하는 만큼 체수분 함량이 감소하였다 ( $p < 0.05$ ).

한편 비제한 식이 급여에서 저에너지 수준으로 전환한 후 실험1에서 처음 10일간은 체수분 함량과 체지방 함량이 감소하였다. 그 이후 체수분 함량은 서서히 감소하였으나 체지방 함량은 서서히 증가하는 경향을 보였다.

실험 1에서 저에너지 수준으로 식이를 급여한 후 체단백질 함량은 10일후 16.7%에서 20.6%로 증가하였으며 ( $p < 0.05$ ) 그 이후는 변화를 보이지 않았으나, 실험 2에서 체단백질 함량은 연령과 체중이 증가해도 차이를 보이지 않았다.

#### 4. 체성분 축적

저에너지 수준 및 고에너지 수준으로 급여한 실험 1과 실험 2의 체성분 축적을 각각 Table 5와 Table 6에 나타내었다.

실험 1에서의 총체성분 축적량은 대조군과 실험군의 체성분 총량의 차이로 구했다. 각 체성분의 1일 축적량은 체성분의 총축적량을 각각 실험 일수로 나누어 계산하였다. 실험1에서 총체지방 축적량은 저에너지 수준으로 식이를 급여할 때 5일 후에는 2.0g, 10일 후에는 3.4g 각각 감소하였으나, 실험 기간이 지속됨에 따라 체지방 총량은 더 이상 감소하지 않고 서서히 증가함을 보여주고 있다. 그리고 체수분 총량도 체지방과 함께 5일까지 감소하였다. 이것은 비제한 식이 급여에서 저에너지 수준으로 제한급이 하는 과정에서 체중 감소와 함께 체지방을 분해하면서 유지 및 체단백질 축적에 열량을 소모했다고 추정된다. 조회분 축적량은 저에너지 수준으로 급이하는 동안 0.5g에서 3.0g까지, 체단백질 축적량은 2.2g에서 12.9g으로 증가하였다 ( $p < 0.05$ ). 실험 2에서는 각 체중 범위에서 체수분, 회분 및 체단백질의 일축적량을 서서히 증가하는 경향을 보이나 통계적으로 유의성은 없었다. 그러나 체지방의 일 축적량은 연령과 체중이 증가함에 따라 220 mg에서 830 mg으로 약 3.5배 증가하였다. 이는 연령이 적고 체중이 낮은 동물에서는 일일 체단백질 축적량과 체지방 축적량의 각각 475

Table 5. Deposition of chemical components of rats fed with low level of energy intake<sup>1,2)</sup>

Group		I	II	III	IV	V	VI
Feeding period	(d)	5	10	15	20	30	40
Deposition of							
moisture	(g)	-2.2	1.9	2.6	5.4	17.1	25.4
	(mg/d)	-437 <sup>a</sup>	185 <sup>ab</sup>	176 <sup>ab</sup>	271 <sup>ab</sup>	569 <sup>c</sup>	634 <sup>c</sup>
crude ash	(g)	0.5	0.9	1.2	1.6	2.5	3.0
	(mg/d)	105 <sup>a</sup>	93 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	82 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>	76 <sup>a</sup>
crude fat	(g)	-2.0	-3.4	-3.3	-2.2	0.4	3.0
	(mg/d)	-393 <sup>a</sup>	-341 <sup>ab</sup>	-223 <sup>bc</sup>	-109 <sup>cd</sup>	14 <sup>de</sup>	75 <sup>de</sup>
crude protein	(g)	2.2	4.4	5.5	7.2	10.6	12.9
	(mg/d)	440 <sup>a</sup>	435 <sup>a</sup>	365 <sup>a</sup>	360 <sup>a</sup>	354 <sup>a</sup>	322 <sup>a</sup>

1) Mean  $\pm$  SD

2) Values with different alphabet within the row were significant different at  $p < 0.05$

Table 6. Deposition of chemical components of growing rats fed with high level of energy intake<sup>1,2)</sup>

Group		II	III	IV	V
Range of body weight	(g)	60~90	90~120	120~150	150~180
Feeding priod	(d)	12	10	8	8
Deposition of					
moisture	(g)	20.49	18.62	16.89	17.51
	(mg/d)	1708 <sup>a</sup>	1862 <sup>a</sup>	2111 <sup>a</sup>	2189 <sup>a</sup>
crude ash	(g)	1.51	1.03	0.76	1.16
	(mg/d)	96 <sup>a</sup>	103 <sup>a</sup>	95 <sup>a</sup>	145 <sup>a</sup>
crude fat	(g)	2.64	3.56	3.89	6.64
	(mg/d)	220 <sup>a</sup>	356 <sup>a</sup>	486 <sup>a</sup>	830 <sup>b</sup>
crude protein	(g)	5.71	6.11	5.01	5.82
	(mg/d)	475 <sup>a</sup>	611 <sup>a</sup>	626 <sup>a</sup>	728 <sup>a</sup>

1) Mean ± SD

2) Values with different alphabet within the row were significant different at p<0.05

mg 및 220 mg으로서 일 체단백질 축적량이 체지방 축적량보다 약 2.2배 높았으나, 연령이 많고 체중이 높은 V군에서는 일 체단백질 축적량 및 체지방 축적량은 각각 728 mg 및 830 mg으로서 일일 체지방 축적량이 체단백질 축적량보다 높았다.

### 5. 에너지 급여 수준 및 에너지 대사

Table 7과 8은 대사 에너지 섭취량, 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지, 그리고 열발생량을 대사 체중 기준으로 나타내고 있다. 두 실험에서 체단백질 및 체지방의 에너지 함량은 Brower (1965)가 측정된 각각 23.9kJ/g 및 39.8kJ/g을 이용하여 계산하였다. Table 7은 실험 1에서의 대사에너지 섭취량은 각 실험군에서 대사 체중당 1일 평균 566kJ로서 실험 기간이 경과함에 따라서 대사 체중당 체단백질로 축적된 에너지는 감소하는 경향을 보였다. 그러나 체지방으로 축적된 에너지는 실험 개시후 10일까지 감소했으나, 그 이후는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 실험 1에서 에너지 섭취량을 감소 시켰을 때 성장중인 쥐에서 체지방으로 축적된 에너지를 감소하였으나 체단백질로 축적된 에너지는 증가하였음을 의미한다. 섭취한 대사 에너지 중에서 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지의 나머지 부분으로 열발생량을 산출하였는데, 실험 기간이 경과할수록 열발생량이 감소하는 경향을 보

였다. Table 8에 나타낸 바와 같이 고에너지 수준으로 급여한 실험 2의 대사에너지 섭취량은 평균 1일 대사체중당 764kJ이었다. 체지방으로 축적된 에너지는 체중 범위 60-90g과 150-180g에서 각각 61kJ, 128kJ로서 연령과 체중이 증가함에 따라 2.1배로 증가했다. 그러나 체단백질로 축적된 에너지는 차이를 나타내지 않았다. 체중 범위 60-90g에서는 체지방 및 체단백질로 축적된 에너지는 각각 61kJ 및 79kJ로 비슷했으나, 체중 범위 150-180g에서는 체지방으로 축적된 에너지가 128kJ로서 체단백질로 축적된 에너지 67kJ보다 1.9배나 높았다. 실험 1과 2에서 대사 체중 기준으로 같은 양의 조단백질을 급여하면서 에너지 섭취량을 30% 감소시킨 저에너지 수준에서 고에너지 수준에 비해 체단백질로 축적된 에너지량은 차이가 없었으나, 고에너지 수준으로 급여한 실험 2에서는 실험 1에 비해 체지방으로 축적된 에너지는 높았다. 고에너지 수준에서는 저에너지 수준에서 보다 열발생량도 높게 나타났다. Jäger(1985)의 실험 결과에 의하면 보상 성장 과정에서 대조군에 비해 식이물 같은량 섭취한 경우에도, 10.6-16.4% 많은 에너지가 체성분으로 축적되었는데, 대조군에 비해 유지에너지가 감소한 만큼의 에너지가 체성분을 축적하는데 소모했다고 했으며, 일 열발생량도 감소하였다고 하였다. 이런 현상은 실험 1에서 저에너지 수준으로 식이물

Table 7. Energy deposition of body fat and body protein and heat production in growing rats fed low of energy intake

Group	I	II	III	IV	V	VI
Feeding priod (d)	5	10	15	20	30	40
Mean of body weight (g)	97	100	101	104	112	116
ME intake (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	579	572	574	574	579	579
Energy deposition of body fat (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	-90	-76	-50	-24	3	15
body protein (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	60	58	49	47	44	39
Heat production (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	608	590	575	551	533	526

Table 8. Energy deposition of body fat and body protein and heat production in growing rats fed high of energy intake

Range of body weight (g)	60~90	90~120	120~150	150~180
Feeding priod (d)	12	10	8	8
Mean of body weight (g)	74.5	106.5	132.2	161.7
ME intake (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	764	764	764	765
Energy deposition of body fat (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	61	76	86	128
body protein (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	79	78	67	67
Heat production (kJ · kg <sup>-0.75</sup> · d <sup>-1</sup> )	624	610	611	570

급여하는 동안 실험일수가 경과함에 따라 열발생량이 감소하는 경향을 보였고, 실험2의 고에너지 수준에서도 연령과 체중이 증가함에 따라 대사 체중당 일 열발생량도 같은 감소 경향을 보였는데, 이결과를 보상 성장 과정에만 나타나는 현상은 아니라 추

정된다. 그밖의 많은 연구들이 실험 동물에서 에너지 제한후 비제한했을 때 비제한 대조군에서보다 실험군에서 많은 에너지가 체지방으로 축적되었다고 보고하였다(Meyer and Clawson, 1964; Szepesi and Epstein, 1976; Harris and



Widdowsdn, 1978; Ozlci et al, 1978; Okasaki et al, 1981; Jäger, 1985).

Corbett 등(1986)은 쥐를 고에너지 식이를 급여했을 때 실험 종료시 체중은 26%, 지방 세포의 크기는 61% 그리고 지방 세포수는 48%가 저에너지 식이를 급여한 쥐에서보다 증가하였으나, 에너지 제한 후는 지방 세포의 크기만 적었다고 하였다. 여러 실험동물에서 연령과 체중이 증가함에 따라 대사 체중당 유지 에너지가 낮아진다고 보고하였으나 (Verstegen, 1970; Fuller and Boyne, 1972; Hoffmann et al, 1979; Gädeken et al, 1985; Barrows and Snook, 1987), Walker 와 Garret (1970)은 저에너지수준으로 급이한 동물에서 유지를 위한 에너지 요구량이 고에너지 수준으로 급이한 경우보다 낮았는데 (Forsum et al, 1981), 이 감소한 유지 에너지 요구량의 일부가 보상 성장 과정에서 나타났을 것이라 추정했다.

한편 Hoffmann과 Schiemann(1982)의 쥐체중 65-180g에서 연구 발표에 의하면 성장중인 쥐의 유지 에너지 요구량 및 에너지 대사에서 대사 체중 ( $kg^{0.75}$ )의 지수 0.75보다는 0.67이 더 적합하다고 보고하였다.

그리고 많은 연구들이 에너지 제한이 기초 대사량, 유지 에너지 및 특이동적활동이 대조군에 비해 감소했다고 보고하고 있으나, 에너지 제한 이후 어느 연령 단계 또는 체중 단계까지 영향을 미쳤는지에 대한 연구도 필요하다고 여겨진다.

## 적 요

실험 1에서는 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 49마리를 7마리씩 7개군으로 나누어 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 일간 저에너지 수준 ( $34g \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$ ) 식이를 급여하였다.

실험2에서는 50마리 쥐를 10마리씩 5개 실험군로 나누어 60g, 90g, 120g, 150g 및 180g이 될 때까지 고에너지 수준( $45g \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$ ) 식이를 급여하였다. 저에너지 수준 식이 및 고에너지 수준 식이의 조단백질 함량은 각각 15% 및 11.3%가 되도록 배합하여 조단백질 급여량은 에너지 수준에 관계없이 저에너지 수준 및 고에너지 수준에서 모두 대사체중 ( $kg^{0.75}$ )당 1일 5.1g이 되도록 하였다. 실험 1에서 식이 섭취량, 일 증체량 및 g중체당 식이 요구량은 실험군간에 차이는 없었으나, 실험 2에서 연령과 체중이 증가함에 따라 일 증체량은 뚜렷하게 증가하고 있으나, g중체당 식이 요구량은 실험군간에 차이가 없다. 그리고 에너지 섭취량의 감소는 일 증체량을 감소시켰으나 g중체당 식이 요구량을 증가시켰다. 체지방 함량은 고에너지 수준에서 연령과 체중이 증가함에 따라 5.1%에서 11.2%로 현저히 증가하는 반면 저에너지 수준으로 식이를 급여한 실험 1에서는 10일까지는 체지방 함량이 감소하였으나, 그 이후는 낮은 증가를 보였다. 고에너지 수준으로 식이를 급여한 실험 2에서 연령과 체중이 증가함에 따라 체지방 함량이 증가하는 만큼 체수분 함량이 감소하였는데, 실험 1의 경우 총체지방 축적량은 비제한 식이 급여에서 저에너지 수준으로 식이를 급여할 때 5일 후에는 2.0g, 10일 후에는 3.4g 각각 감소하였으나, 실험 기간이 지속됨에 따라 체지방 총량은 더 이상 감소하지 않고, 서서히 증가하였다. 그러나 체지방의 일 축적량은 연령과 체중이 증가함에 따라 220mg에서 830mg으로 약 3.5배 증가하였다. 대사 체중당 열발생량은 실험1과 실험2에서 실험 기간이 경과 할수록 감소하는 경향을 보였다. 고에너지 수준에서는 저에너지 수준에서보다 대사 체중당 일 열발생량도 높게 나타났다.

## 참 고 문 헌

Barrow, K. & J. J. Snook, 1987. Effect of high-protein, very low-calorie diet on resting metabolism, thyroid hormones, and expenditure of obese middle-aged women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 45: 391-398.

Boyle, P. C., L. H. Storlien & R. E. Keesey, 1978. Increased efficiency of food utilization following weight loss. *Physiol. Behav.* 21: 261-264.

Brower, E, 1965. Report of sub-committee on

- constants and factors, Energy metabolism, EAAP-publ. Nr. II: 441-443, Academic Press, London.
- Corbett, S. W., Stern, J. S. & R. E. Keesey 1986. Energy expenditure in rats with diet-induced obesity. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 173-180.
- Forsum, E., P. E. Hillmann & M. C., Neshheim, 1981. Effect of energy restriction on total heat production, basal metabolic rate, and specific dynamic action of food in rats. *J. Nutr.* 111: 1691-1697.
- Fried, S. K., J. O., Hill, M. Nickell, & M., DiGirolamo, 1983. Prolonged effects of fasting-refeeding on rat adipose tissue lipoprotein lipase activity: influence of caloric restriction during refeeding. *J. Nutr.* 113: 1861-1869.
- Fuller, M. F. & A. W. Boyne, 1972. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 2. Energy metabolism. *Br. J. Nutr.* 28: 373-384.
- Gädeken, D., H. J. Oslage, & H., Böhme, 1985. Untersuchungen zum energetischen Erhaltungsbedarf und zur Verwertung der umsetzbaren Energie für den Protein- und Fettansatz bei Ferkeln. *Arch. Tierernährg.* 35: 481-494.
- Harris, P. M. & E. M., Widdowson, 1978. Deposition of fat in the body of the rat during rehabilitation after early undernutrition. *Br. J. Nutr.* 39: 201-211.
- Harris, R. B. S. & R. J., Martin, 1984. Recovery of body weight from below "set point" in mature female rats. *J. Nutr.* 114: 1143-1150.
- Hill, J. O., S. K. Fried & M. DiGirolamo, 1984. Effects of fasting and restricted refeeding on utilization of injected energy in rats. *Am. J. Physiol.* 242: R318-R327.
- Hoffmann, L., M. Klein & R. Schiemann, 1982. Untersuchung zum Energieerhaltungsbedarf und zum Energiebedarf den Proteinansatz an wachsenden Ratten und Broilern. 1. Mitteilung: Untersuchung zum Energieerhaltungsbedarf wachsenden Ratten. *Arch. Tierernährung.* Bd. 32: 165-184.
- Hoffmann, L., R. Schiemann & W. Jentsch, 1979. Die Verwertung der Futterenergie durch wachsende Schweine. *Arch. Tierernähr.* 29: 93-109.
- Khan, M. A. & A. E. Bender, 1979. Adaptation to restricted intake of protein and energy. *Nutr. Metab.* 23: 449-457.
- MacCuish, A. C., J. F. Munro & L. P. J. Duncan, 1968. Follow-up study of refractory obesity treated by fasting. *Br. Med. J.* 1: 91-92.
- Jäger, K., 1986. Untersuchung an wachsenden Ratten zum Einfluß der Dauer einer zeitlich begrenzten Reduktion der Energiezufuhr auf den Proteinumschlag und den Stoffansatz. Diss. Uni. Bonn.
- Mohan, P. F. & N. B. S. Rao, 1983. Adaptation to underfeeding in growing rats. Effect of energy restriction at two dietary protein levels on growth, feed efficiency, basal metabolism and body composition. *J. Nutr.* 113: 79-85.
- Sachs, L., 1968. Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Okasaki, S., S. Matsueda, M. Ohnaka, & Y. Niiyama, 1981. Effects of various period of protein restriction immediately after weaning on subsequent catch-up growth in rats. *Nutr. Rep. Int.* 23, 471-484.
- Ozelci, A., D. R. Romsos & G. A. Leveille, 1978. Influence of initial food restriction on subsequent body weight gain and fat accumulation in rats. *J. Nutr.* 108: 1724-1732.

- Sohar, E. & E. Sneh, 1973. Follow-up of obese patients 14 years after a successful reducing diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 26; 845-848.
- Schubö, W. & H. M. Uehlinger, 1984. SPSS Handbuch der Programmversion 2. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. New York.
- Szepesi, B. & M. C. Epstein, 1976. Effect of severity of caloric restriction on subsequent compensatory growth. *Nutr. Rep.* 14; 567-574.
- Verstegen, M. W. A., 1970. Heat production and energy balances of growing pigs at normal and low temperature, in : Energy metabolism of farm animals (Schüch, A. & C. Wenk ed.) EAAP-Publ. Nr. 13, Juris Druck+Verlag, Zürich, 173-176.
- Walker, J. J. & W. N. Garrett, 1970. Shift in the energy metabolism of male rats during their adaptation to prolonged undernutrition and during their subsequent realimentation, in : Energy metabolism of farm animal (Schüch, A. & C. Wenk ed.) F 82; 193-196, Juris Druck+Verlag, Zurich.