

## 단백질 급원의 변화와 열량제한 및 식이회복이 흰쥐의 성장발달에 미치는 영향

김 화 영

이화여자대학교 식품영양학과

정 숙 현

성심여자대학교 식품영양학과

### Effects Protein Quality, Energy Restriction and Subsequent Rehabilitation on Growth in Young Rats

Wha Young Kim

*Dept. of Food and Nutrition, Ewha Womans University*

Sook Hyun Chung

*Dept. of Food and Nutrition, Sungsim College, for Women*

#### = ABSTRACT =

Effects of dietary protein quality, energy restriction, and subsequent rehabilitation were studied in the weanling rats.

Rats were divided into the six experimental diet groups. Rats in AC (casein-containing diet), AS (soyprotein-containing diet), and AG (gluten-containing diet) group consumed their diets ad libitum, and rats in PC, PS, PG groups were pair-fed in 60% of the amounts eaten by corresponding rats in the AC, AS, AG groups, respectively. After 3 weeks of nutritional restriction, all rats were switched to the AC diet for 14 days.

At the end of restriction period, body weight, weight gain, food intake, and FER were higher in casein-fed rats than other groups of rats. The differences were, however, disappeared with rehabilitation diet, except body weights which were not fully recovered until the end of experiment.

The weights of liver, gastrocnemius muscle, kidney, small intestine, spleen, and lung were

the highest in the casein group, and the lowest in gluten group at the end of restriction period. The recovery with rehabilitation diet were differ in different organs. The muscle and liver seemed to be the most affected organs by dietary protein quality and energy restriction. There were no differences in brain weights among the experimental groups during the restriction period, however, after 2 weeks of rehabilitation, rats in AC group showed lower brain weight compared to AC and AS groups, and the brain weight of PC group was lower than AC group.

Protein contents in liver and muscle showed the same trends as their weights. Gluten-fed rats showed low serum protein concentration, but recovered fully with rehabilitation diet for 3 days.

## 서 론

단백질-열량결핍 (protein-calorie malnutrition) 은 신체의 성장 발달뿐만 아니라 지적, 정신적, 사회적 성향의 발달에도 영향을 미치며<sup>1,2)</sup>, 단백질-열량결핍이 시작된 시기, 지속기간 또는 결핍 정도에 따라 성장발달에 미치는 영향과 적당한 식이를 공급한 후의 회복정도도 좌우됨이 많은 연구에서 보고되어왔다<sup>3)~5)</sup>.

성장기의 쥐에게 열량<sup>6)~6)</sup> 혹은 단백질의<sup>7)~8)</sup> 섭취량을 제한시켰다가 적당한 식이로 회복시키면 식이섭취를 제한받는 동안 체중과 간, 근육, 신장등의 무게와 단백질, DNA, RNA 함량이 표준군에 비하여 감소하며 식이 회복후에 성장이 촉진되기는 하나 완전히 정상에 달하지는 못한다. Barnes<sup>4)</sup> 등은 수유기의 단백질 결핍의 영향은 적당한 식이를 공급한 후에도 회복되지 않았으나 이유직후에 시작된 영양불량은 어느정도 회복이 가능함을 시사했고, Winick 등<sup>3)</sup> 은 출생직후 열량을 제한 섭취시켰을 때의 체중과 기관무게의 감소는 세포수의 감소로 인한 것이며 그후 정상식이를 주어도 회복이 불가능하였으나 성장후의 열량제한은 세포수보다는 세포의 크기만을 감소시키므로 적당한 식이의 공급에 따라 회복이 가능함을 발표하였다. Stewart<sup>9)</sup> 등은 10세대 동안 저단백질 식이로 사육되어온 쥐에게 임신기부터 회복식이를 공급하면 출생시 새끼의 체중이 정상이나 회복식이의 공급을 수유기 혹은 이유기에 시작하면 그 효과가 적음을 보고하여 오랜기간 후의 영양불량후에도 임신기 또는 수유기부터 충분한 영양을 공급하면 회복이 가능함을 시사하였다.

우리나라 유아의 영양섭취상태를 살펴보면 열량의 섭취는 부족되지 않으나 단백질의 섭취는 양적, 질적으로 불균형상태에 있다<sup>10)</sup>.

단백질-열량 결핍에 대한 대부분의 연구들이 열량의 제한, 혹은 식이 단백질의 양적 부족에만 중점을 두고 있고 단백질의 질적 차이에 의한 영향 및 단백질과 열량의 동시결핍 또는 이로부터의 회복효과에 대한 연구는 활발하지 않다. 그러므로 본 연구에서는 단백질의 질적 결핍과 함께 열량이 제한될 때의 영향과 그후 적당한 식이를 공급하였을때 이러한 영양불량 상태에서부터의 회복 정도를 관찰하기 위하여 성장기의 쥐에게 casein, soyprotein, 혹은 gluten 을 단백질 공급원으로 한 실험식이를 자유 또는 제한 섭취시켰다가 모두 casein 식이를 자유섭취시켜 쥐의 성장 및 발달에 미치는 영향을 살펴보았다.

## 실험재료 및 방법

### 1) 실험동물 및 식이 :

본 실험은 3단계로 나누어 제 1단계에서는 실험식이를 자유섭취시킨 쥐와 제한 섭취시킨 쥐의 성장 및 체조직내의 단백질함량을 비교·관찰하였으며, 그 후 모든 쥐에게 회복식이를 공급하여 제 2단계에서는 회복초기의 변화를 알아보고자 3일후의 결과를, 제 3단계에서는 회복식이를 공급한 2주후의 결과를 관찰하였다.

체중이 60~80g 되는 Sprague - Dawley 종의 숫쥐를 고휘사료(제일사료주식회사)로 3일간 환경에 적응시킨 후 체중에 따라 난퍼법 (randomized complete block design)에 의해 6군으로 나누었다. 이 중 AC (ad libitum, casein), AS (ad libitum, soyprotein), AG (ad libitum, gluten) 등의 3군은 각 실험식이를 자유섭취 시켰고 나머지 PC (pair feeding, casein), PS (pair feeding, soyprotein), PG (pair feeding, gluten) 등의 3군은 식이섭취량을 제한하였다(제 1 단

제). 즉 PC군은 AC군이 섭취한 양의 50%를 첫 주 동안, 그후 2주동안은 65%를 pair-feeding 하였으며, PS군은 AS군의 식이를, PG군은 AG군의 식이를 같은 방법으로 제한섭취시켰다. 이와같이 3주간 사육한 후 각군에서 일부를 희생하고, 나머지는 모두 회복식이 즉 AC군의 식이를 자유섭취시켜 받은 3일후에 (제 2 단계), 나머지는 2주후에 (제 3 단계) 희생하였다.

실험식은 Table 1과 같이 AC군은 Casein을 A S군은 soyprotein을, AG군은 gluten을 단백질급원으로 하였으며 전체열량의 65%를 탄수화물에서, 20%를 지방에서, 15%를 단백질에서 공급하였다. 각 단백질급원에는 순수단백질외에 탄수화물, 지방, 섬유소도 포함되어 있으므로 이것을 고려하여 실험식이중의 순수단백질 함량을 계산하였으며 각 단백질 급원이 함유하는 섬유소의 양은 methyl cellulose로 조절하

여 각군이 모두 2%의 섬유소를 함유하도록 하였고 나머지의 차이는 탄수화물로 계산하여 식이내 탄수화물에서 감해 주었다.

취는 개별적인 사육장에서 사육하였으며 사육장의 온도는 20℃ 내의였고 물은 항상 공급하였다.

2) Sample 채취와 생화학적 분석 :

본 실험에서는 쥐를 각각 6시간 굶긴뒤 각군에서 5~6마리씩 단두하여 희생시켜 혈청은 분리하여 냉동보관하였고 간, 신장, 소장, 뇌, 비장과 허파의 무게를 잔후 냉동보관 하였다. 냉동한 쥐를 24시간 동안 냉장실에서 녹인 후 왼쪽 뒷다리에서 gastrocnemius근육을 채취하여 무게를 잔후 냉동보관 하였다.

혈청 단백질은 Biuret 방법<sup>11)</sup>으로, 간과 근육의 총 단백질의 양은 Peterson<sup>12)</sup>법으로 측정하였다.

실험결과는 각군의 평균과 표준오차를 계산하였고, Scheffe' 방법<sup>13)</sup>에 의해  $P \leq 0.05$ 일때 각군의 평균간

Table 1. The composition of experimentol diets(g/100g)

Ingredient	AC	AS	AG
Vitamin mix <sup>1)</sup>	1	1	1
Mineral mix <sup>2)</sup>	4	4	4
Choline · Cl	0.3	0.3	0.3
Shortening	5	5	5
Corn oil	5	5	5
Methyl cellulose	2	1.1	2
Starch	65	53.8	63.7
Casein <sup>3)</sup>	17.7		
Soyprotein meal <sup>4)</sup>		29.8	
Gluten <sup>5)</sup>			19

1) The vitamin mix. was composed of thiamine. HCl, 10g ; pyridoxine, 10g ; calcium pantotheate, 30g ; P-aminobenjoic acid, 55g ; menadione, 25g ; inositol, 50g ; ascorbic acid, 100g ; niacin, 50g ; vitamin B<sub>12</sub>, 15mg ; biotine, 0.3g ; folic acid, 2g ; retinol acetate,  $1 \times 10^7$ , IU ;  $\alpha$ -tocopherol, 50,000 IU ; vitamin D<sub>3</sub>,  $1 \times 10^6$  IU ; and starch to 5kg.

2) The mineral mix. was composed of calcium acetate · H<sub>2</sub>O, 6.293g ; calcium pyrophosphate · 2H<sub>2</sub>O, 28.525g ; dipotassium phosphate, 28.443g ; ferric citrate · 5 H<sub>2</sub>O, 2.44g ; magnesium sulfate · 7H<sub>2</sub>O, 10.053g ; potassium iodide, 0.65g ; sodium diphosphate · 12 H<sub>2</sub>O, 14.63g ; sodium chloride, 9.546g ; zinc chloride, 0.025g ; copper sulfate · 5H<sub>2</sub>O, 0.03g ; manganese sulfate · H<sub>2</sub>O, 0.5g.

3) Casein ; lactic casein (New Zealand Fernleaf. composed of 85.0% protein, 0.5% fat)

4) Soy protein meal ; Dong Bang oil co. (Composed of 50.3% protein, 1.2% fat 3.0% crude fiber)

5) Gluten ; vital wheat gluten (Canada. composed of 78.9% protein, 1.0% fat, 6.8% crude fiber)

에 통계적으로 유의차가 있다고 보고한다.

**실 험 결 과**

1) 체중, 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율 :

각 실험기간의 체중, 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율은 Table 2에 수록하였다. 실험식이를 3주간 자유 또는 제한 섭취시켰던 제 1 단계의 체중과 체중증가량은 각군 사이에 크게 차이가 났다. Gluten 식이를 자유섭취한 AG 군의 체중과 체중증가량은 casein과 soyprotein을 단백질 급원으로 했던 AC군 및 AS군

보다 유의적으로 낮았으며 AS군도 AC군보다 유의적으로 낮았다. 회복식이를 섭취한 제 2 단계, 제 3 단계에서는 AC, AS, AG 각 군간의 체중 증가량은 차이가 없었으나 AG군의 체중은 제 2 단계에서 AC군과 AS군보다 여전히 낮았으며 AG군과 AC군의 차이는 제 3 단계까지 계속되었다. 또한 AS군의 체중도 회복식이를 공급한 후 AC군의 체중에는 달하지 못하였다. 식이를 제한섭취 시켰던 군 사이에서도 제 1 단계에서 gluten 식이를 섭취했던 PG군의 체중과 체중증가량이 PC군과 PS군 보다 유의적으로 낮았으나 PC군과 PS군 사이에는 차이가 없었다. PC군과 PG군의 차이는

**Table 2.** Body weight, weight gain, food intake and food efficiency ratio <sup>1)2)</sup>

Expt. 3 period	Group <sup>4</sup>	Body weight (g)	Weight gain (g/day)	Food intake (g/day)	FER
I	AC	190.9 ± 4.4 <sup>a</sup>	5.34 ± 0.22 <sup>a</sup>	14.26 ± 0.37 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.01 <sup>a</sup>
	AS	157.3 ± 5.8 <sup>b</sup>	3.83 ± 0.18 <sup>b</sup>	12.43 ± 0.66 <sup>ab</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>ab</sup>
	AG	97.5 ± 4.7 <sup>cd</sup>	1.33 ± 0.10 <sup>de</sup>	10.53 ± 0.45 <sup>bc</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>c</sup>
	PC	121.8 ± 4.3 <sup>bc</sup>	2.55 ± 0.27 <sup>c</sup>	8.50 ± 0.22 <sup>cd</sup>	0.30 ± 0.03 <sup>ab</sup>
	PS	103.8 ± 3.2 <sup>c</sup>	1.85 ± 0.13 <sup>cd</sup>	7.58 ± 0.21 <sup>d</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>b</sup>
	PG	78.2 ± 5.9 <sup>d</sup>	0.91 ± 0.08 <sup>e</sup>	6.71 ± 0.31 <sup>d</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>c</sup>
II	AC	218.6 ± 3.3 <sup>a</sup>	6.67 ± 0.34 <sup>a</sup>	16.73 ± 0.95 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.03 <sup>ab</sup>
	AS	178.5 ± 8.1 <sup>a</sup>	6.83 ± 0.38 <sup>a</sup>	15.33 ± 2.12 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.11 <sup>a</sup>
	AG	117.2 ± 7.3 <sup>bc</sup>	6.33 ± 0.77 <sup>ab</sup>	13.00 ± 1.24 <sup>ab</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>a</sup>
	PC	131.0 ± 11.8 <sup>b</sup>	5.33 ± 0.61 <sup>bc</sup>	12.47 ± 1.70 <sup>ab</sup>	0.41 ± 0.05 <sup>ab</sup>
	PS	116.7 ± 6.7 <sup>bc</sup>	3.33 ± 0.50 <sup>cd</sup>	11.81 ± 1.28 <sup>ab</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>b</sup>
	PG	85.7 ± 4.0 <sup>c</sup>	2.20 ± 0.35 <sup>d</sup>	8.33 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.04 <sup>b</sup>
III	AC	274.5 ± 5.8 <sup>a</sup>	5.23 ± 0.17 <sup>N.S.</sup>	17.79 ± 0.63 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>N.S.</sup>
	AS	220.0 ± 9.4 <sup>b</sup>	5.76 ± 0.58	15.05 ± 0.60 <sup>ab</sup>	0.38 ± 0.02
	AG	182.0 ± 5.8 <sup>bc</sup>	5.73 ± 0.47	14.43 ± 0.60 <sup>abc</sup>	0.40 ± 0.04
	PC	195.6 ± 11.6 <sup>bc</sup>	5.40 ± 0.31	13.22 ± 0.76 <sup>bc</sup>	0.41 ± 0.02
	PS	177.2 ± 6.9 <sup>c</sup>	5.52 ± 0.63	12.54 ± 0.72 <sup>bc</sup>	0.43 ± 0.03
	PG	158.0 ± 7.8 <sup>c</sup>	4.73 ± 0.55	11.04 ± 0.86 <sup>c</sup>	0.42 ± 0.02

1) Values for each group represent mean ± SEM

2) Column means bearing different superscripts are significantly different (P ≤ 0.05)

3) I ; 1st 3 weeks of restriction period

II ; 3 day period of rehalilitation following 1st expt. period

III ; 2 weeks of rehalilitation period

4) AS ; ad libitum, casein

AS ; ad libitum, soyprotein

AG ; ad libitum, gluten

N.S. : not significant

PS ; pairfeeding, casein

PS ; pair feeding, soyprotein

PG ; pair feeding, gluten

제 2 단계까지 계속되다가 회복식이를 2주간 공급한 제 3 단계에서는 없어졌으며 PS군과 PG군의 차이는 제 2 단계에서 없어졌다. 또한 식이를 자유섭취했던 군의 체중과 체중증가량이 제한섭취한 군보다 높아, 제 1 단계에서 AC군은 PC군보다, AS군은 PS군보다 높았으며, AC군과 PC군의 체중증가량의 차이는 제 2 단계에서, AS군과 PS군의 차이는 제 3 단계에서 없어졌으나, 체중의 차이는 실험 종료까지 계속되었다. 그러나 AG군과 PG군 사이에는 전 실험기간을 통하여 체중에는 차이가 없었고 체중증가량만이 회복식이를 공급한 제 2 단계에서만 AG군이 PG군보다 유의적으로 높았을 뿐이다.

식이섭취량은 제 1 단계에서 식이를 자유섭취한 군 중에서 AG군이 가장 낮아 AC군에 비해 낮은 값을 보였으나, 식이를 제한섭취한 PC, PS, PG 군 사이에는 유의적인 차이가 없었다. 제 2 단계에서는 각군 사이의 식이섭취량에 차이가 없었으나 제 3 단계에서는 제 1 단계

동안 식이를 제한섭취했던 PC, PS, PG군이 자유섭취했던 AC, AS, AG 군보다 식이를 적게 섭취하는 경향이었으며 AC군과 PC군 사이에는 유의적인 차이가 있었다.

식이효율은 제 1 단계에는 AG군이 AC군과 AS군보다, PG군이 PC군과 PS군보다 낮았다. 회복식이를 공급한 3일후인 제 2 단계에는 이런 경향들이 모두 없어졌으나, 제 1 단계에서 차이를 보이지 않았던 AG군과 AS군의 식이효율이 PG군과 PS군보다 유의적으로 높았다. 그러나 제 3 단계에서는 이런 차이들도 모두 없어져 각군 사이에 차이가 없었다.

2) 각 기관들의 무게

간, gastrocnemius 근육, 신장, 소장, 뇌, 비장과 허파의 무게는 Table 3에 수록하였다.

제 1 단계에서 식이를 자유섭취했던 군들의 기관무게를 비교해 보면 gluten 식이로 사육된 쥐의 기관무게가

Table 3. The organ weights (g) <sup>1)2)</sup>

Expt. period	Group	Liver	Gastrocnemius muscle	Kidney	Small intestine	Brain	Spleen	Lung
I	AC	8.7±0.71 <sup>a</sup>	0.8±0.05 <sup>a</sup>	1.6±0.10 <sup>a</sup>	8.8±0.60 <sup>ab</sup>	1.6±0.07 <sup>N S</sup>	0.5±0.10 <sup>a</sup>	1.1±0.10 <sup>a</sup>
	AS	8.3±0.09 <sup>ab</sup>	0.6±0.08 <sup>ab</sup>	1.4±0.04 <sup>ab</sup>	10.3±0.93 <sup>a</sup>	1.6±0.07	0.6±0.13 <sup>a</sup>	1.0±0.05 <sup>ab</sup>
	AG	4.3±0.45 <sup>c</sup>	0.4±0.04 <sup>cd</sup>	1.0±0.07 <sup>c</sup>	5.7±0.84 <sup>bc</sup>	1.6±0.03	0.2±0.02 <sup>b</sup>	0.7±0.06 <sup>bc</sup>
	PC	6.4±0.58 <sup>abc</sup>	0.5±0.03 <sup>bc</sup>	1.1±0.04 <sup>bc</sup>	6.1±0.29 <sup>bc</sup>	1.6±0.03	0.4±0.04 <sup>ab</sup>	0.9±0.04 <sup>abc</sup>
	PS	4.4±0.46 <sup>bc</sup>	0.4±0.03 <sup>cd</sup>	0.9±0.04 <sup>c</sup>	5.5±0.69 <sup>c</sup>	1.6±0.03	0.2±0.02 <sup>b</sup>	0.6±0.05 <sup>c</sup>
	PG	3.2±0.26 <sup>c</sup>	0.3±0.04 <sup>d</sup>	0.8±0.03 <sup>c</sup>	4.0±0.38 <sup>c</sup>	1.5±0.02	0.2±0.01 <sup>b</sup>	0.6±0.03 <sup>c</sup>
II	AC	10.4±0.34 <sup>a</sup>	1.0±0.01 <sup>a</sup>	1.9±0.05 <sup>a</sup>	9.4±0.56 <sup>a</sup>	1.7±0.02	0.6±0.05 <sup>a</sup>	1.3±0.07 <sup>a</sup>
	AS	9.2±0.56 <sup>a</sup>	0.7±0.07 <sup>b</sup>	1.4±0.17 <sup>b</sup>	9.6±1.07 <sup>a</sup>	1.6±0.04	0.7±0.10 <sup>a</sup>	1.0±0.04 <sup>ab</sup>
	AG	5.7±0.43 <sup>b</sup>	0.4±0.04 <sup>d</sup>	1.1±0.03 <sup>bc</sup>	7.5±0.60 <sup>ab</sup>	1.5±0.03	0.3±0.03 <sup>b</sup>	0.9±0.11 <sup>ab</sup>
	PC	6.2±0.16 <sup>b</sup>	0.6±0.01 <sup>bc</sup>	1.1±0.07 <sup>bc</sup>	7.3±0.35 <sup>ab</sup>	1.6±0.06	0.2±0.04 <sup>b</sup>	0.9±0.09 <sup>b</sup>
	PS	5.5±0.40 <sup>b</sup>	0.5±0.04 <sup>cd</sup>	1.1±0.04 <sup>bc</sup>	5.9±0.39 <sup>b</sup>	1.6±0.04	0.3±0.02 <sup>b</sup>	0.8±0.04 <sup>b</sup>
	PG	3.5±0.15 <sup>c</sup>	0.3±0.02 <sup>d</sup>	0.8±0.04 <sup>c</sup>	5.3±0.28 <sup>b</sup>	1.5±0.05	0.2±0.02 <sup>b</sup>	0.6±0.04 <sup>b</sup>
III	AC	11.4±0.39 <sup>a</sup>	1.3±0.02 <sup>a</sup>	2.1±0.05 <sup>a</sup>	8.9±0.27 <sup>N S</sup>	1.8±0.03 <sup>a</sup>	0.6±0.04 <sup>NS</sup>	1.5±0.14 <sup>NS</sup>
	AS	9.8±0.52 <sup>ab</sup>	1.0±0.07 <sup>ab</sup>	1.7±0.05 <sup>ab</sup>	8.8±0.98	1.8±0.01 <sup>a</sup>	0.5±0.04	1.2±0.09
	AG	8.3±0.28 <sup>b</sup>	0.7±0.04 <sup>c</sup>	1.4±0.03 <sup>b</sup>	6.2±0.25	1.6±0.02 <sup>b</sup>	0.4±0.03	1.5±0.32
	PC	8.2±0.64 <sup>b</sup>	0.8±0.07 <sup>bc</sup>	1.5±0.07 <sup>b</sup>	7.3±0.68	1.7±0.02 <sup>b</sup>	0.4±0.01	1.2±0.16
	PS	7.8±0.26 <sup>b</sup>	0.8±0.03 <sup>bc</sup>	1.5±0.09 <sup>b</sup>	7.0±0.51	1.7±0.03 <sup>ab</sup>	0.5±0.07	1.2±0.06
	PG	7.6±0.32 <sup>b</sup>	0.7±0.04 <sup>c</sup>	1.4±0.07 <sup>b</sup>	5.7±0.25	1.7±0.02 <sup>b</sup>	0.3±0.05	0.9±0.03

1) Values for each group represent mean ± SEM

2) Column means bearing different superscripts are significantly different (P < 0.05)

N.S. not significant

casein과 soyprotein을 섭취한 쥐들보다 낮은 경향을 보여 AG군의 간, 근육, 신장과 비장의 무게는 AC군과 AS군보다 유의적으로 낮았고, 허파의 무게는 AC군에 비해, 소장 무게는 AS군에 비해 낮은 값을 보였다. AC군과 AG군의 간, 근육, 신장의 무게차이는 회복식을 2주간 공급한 제 3 단계까지도 계속되었고, 비장의 무게는 제 3 단계에서, 허파의 무게는 제 2 단계에서 그 차이가 없어졌다. 또한 AS군과 AG군의 신장과 소장의 무게차이는 제 2 단계가 되면서 없어졌으나 간과 비장의 무게차이는 제 2 단계까지 계속되다가 제 3 단계에는 없어졌다. 근육의 무게는 회복식을 2주간 공급한 제 3 단계까지도 AG군이 AS군보다 낮았다. AC군과 AS군 사이에는 근육과 신장무게만이 차이를 보였는데 제 1 단계에서는 차이가 없다가 제 2 단계에 AC군이 AS군보다 높은 값을 보였으며 제 3 단계에서는 다시 차이가 없어졌다. 식이섭취량을 제한하였던 군들에서는 간과 근육을 제외한 신장, 소장, 비장, 허

파의 무게는 전 실험기간을 통하여 PC, PS, PG 각 군 사이에 차이가 없었다. 제 1 단계에서 PC군의 근육무게는 PG군보다 높아 제 2 단계까지 그 차이가 계속되었으나 제 3 단계에서는 없어졌다. PG군의 간 무게는 PC군, PS군과 비교할때 제 1 단계에서는 차이가 없었으나, 제 2 단계에서 낮은 값을 보이다가 제 3 단계에서는 이 차이가 없어졌다.

또한 뇌를 제외한 각 기관의 무게는 식이를 자유섭취한 군이 제한섭취한 군보다 대체로 무거운 경향을 보여, 제 1 단계에서 PC군의 근육과 신장의 무게는 AC군보다 유의적으로 낮아 제 2 단계, 제 3 단계까지 그 차이가 계속되었으며, 간의 무게는 제 1 단계에서는 차이가 없다가 제 2 단계부터 PC군과 AC군간에 차이를 보이기 시작하여 제 3 단계까지 계속되었다. 비장과 허파의 무게도 제 2 단계에서 AC군이 PC군보다 높은 값을 보였으나 제 3 단계에서는 그 차이가 없어졌다. AS군과 PS군 사이에는 제 1 단계에서 AS군의 신장, 소

Table 4. Serum, liver and muscle protein contents<sup>1)2)</sup>

Expt. period	Group	Serum (g/100ml)	Liver (mg/g liver)	Gastrocnemius muscle (mg/g muscle)
I	AC	6.1 ± 0.12 <sup>a</sup>	57.6 ± 3.5 <sup>a</sup>	89.9 ± 3.4 <sup>a</sup>
	AS	5.3 ± 0.15 <sup>abc</sup>	47.5 ± 4.0 <sup>ab</sup>	80.3 ± 3.0 <sup>ab</sup>
	AG	4.7 ± 0.15 <sup>bc</sup>	39.5 ± 4.2 <sup>bc</sup>	48.8 ± 4.9 <sup>cd</sup>
	PC	5.7 ± 0.45 <sup>ab</sup>	37.4 ± 3.9 <sup>cd</sup>	56.2 ± 5.1 <sup>bc</sup>
	PS	4.8 ± 0.16 <sup>bc</sup>	27.7 ± 2.7 <sup>cd</sup>	33.9 ± 1.2 <sup>d</sup>
	PG	4.2 ± 0.01 <sup>c</sup>	22.5 ± 2.5 <sup>d</sup>	34.7 ± 3.4 <sup>d</sup>
II	AC	5.3 ± 0.10 N.S.	60.3 ± 1.2 <sup>a</sup>	104.7 ± 5.1 <sup>a</sup>
	AS	5.5 ± 0.26	50.8 ± 4.3 <sup>ab</sup>	95.0 ± 4.5 <sup>ab</sup>
	AG	6.2 ± 0.16	42.3 ± 5.7 <sup>b</sup>	50.2 ± 4.9 <sup>c</sup>
	PC	5.3 ± 0.26	31.6 ± 2.4 <sup>c</sup>	73.7 ± 7.0 <sup>b</sup>
	PS	5.4 ± 0.14	30.4 ± 2.3 <sup>c</sup>	34.9 ± 2.5 <sup>c</sup>
	PG	5.4 ± 0.22	20.2 ± 2.3 <sup>c</sup>	30.1 ± 1.5 <sup>c</sup>
III	AC	5.2 ± 0.21 N.S.	70.0 ± 3.4 <sup>a</sup>	117.8 ± 3.4 <sup>a</sup>
	AS	5.3 ± 0.11	62.3 ± 6.5 <sup>ab</sup>	103.7 ± 10.6 <sup>ab</sup>
	AG	5.0 ± 0.20	48.8 ± 5.7 <sup>b</sup>	83.6 ± 5.3 <sup>bcd</sup>
	PC	5.8 ± 0.09	51.3 ± 2.4 <sup>ab</sup>	95.6 ± 1.3 <sup>abc</sup>
	PS	5.3 ± 0.16	40.7 ± 1.4 <sup>bc</sup>	69.8 ± 4.0 <sup>cd</sup>
	PG	5.4 ± 0.19	26.2 ± 3.8 <sup>c</sup>	67.3 ± 4.4 <sup>d</sup>

1) Values for each group represent mean ± SEM

2) Column means bearing different superscripts are significantly different (P < 0.05)

N.S. : not significant

장, 비장, 허파의 무게가 PS 군보다 유의적으로 높았으나 신장과 허파의 무게는 회복식이를 공급한 3일후인 제 2 단계에서 그 차이가 없어졌고, 소장과 비장의 무게는 제 2 단계까지 그 차이가 계속되다가 제 3 단계에서는 없어졌다. 또한 간과 근육의 무게는 제 1 단계에서는 차이가 없다가 제 2 단계에서 AS 군이 PS 군보다 높은 값을 보였으며, 제 3 단계에서는 다시 차이가 없어졌다. AG 군과 PG 군 사이에는 전 실험기간에 걸쳐 근육, 신장, 소장, 뇌, 비장, 허파의 무게의 차이를 보이지 않았으나, 간의 무게만은 제 2 단계에서만 AG 군이 PG 군보다 높았다.

뇌의 무게는 본 연구에서 조사한 다른 기관들과는 다른 경향을 보여 제 1 단계와 제 2 단계에서는 각군 사이에 차이를 보이지 않다가 회복식이를 2주간 공급한 제 3 단계에서 AG 군의 뇌의 무게가 AC 군과 AS 군보다 가벼웠으므로 또한 PC 군의 뇌의 무게도 제 3 단계에서만 AC 군보다 낮았다.

### 3) 혈청, 간 및 근육의 단백질 함량 :

Table 4에서 보는바와 같이 혈청내 단백질 농도는 본 실험의 식이내용에 따라 크게 영향을 받지 않아, 제 1 단계에 식이를 자유섭취한 군에서 AC 군이 AG 군보다 높았고, 식이섭취량을 제한받은 군에서도 PC 군이 PG 군보다 높았을 뿐 다른군 사이에는 차이가 없었다.

이러한 차이도 회복식이를 3일간 공급하였을때부터 모두 없어졌다.

간의 단백질 농도는 식이를 자유섭취한 군중에서 전 실험기간을 통하여 AC 군이 AG 군보다 높은 것외에는 AC 군과 AS 군, AS 군과 AG 군 사이에 차이가 없었다. 식이섭취량을 제한받았던 군 사이에도 각 군간에 차이가 없었으나, PC 군과 PG 군 사이에 처음에는 차이가 없다가 제 3 단계에만 PC 군이 높은 값을 보였을 뿐이다.

제 1 단계에서 식이를 자유섭취한 군은 제한섭취한군에 비해 간의 단백질 함량이 높아, AC 군은 PC 군보다, AS 군은 PS 군보다, AG 군은 PG 군보다 높은 값을 보였다. AC 군과 PC 군, AS 군과 PS 군 사이의 차이는 제 2 단계까지 계속되다가 회복식이를 2주간 공급한 제 3 단계에는 없어졌으나, gluten 식이군인 AG 군과 PG 군의 차이는 제 3 단계까지 계속되었다.

근육에 포함된 단백질 함량은 제 1 단계에서 AG 군은 AC 군과 AS 군보다 낮았고, AS 군과의 차이는 제 3 단계에서는 없어졌으나 AC 군과의 차이는 제 3 단계까지 계속되었다. 또한 식이를 제한섭취한 군 사이에서

PC 군의 근육단백질 함량은 전 실험기간을 통하여 P G 군보다 유의적으로 높았고, PS 군 보다는 제 1 단계와 제 2 단계에서 높은 값을 보이다가 제 3 단계에서는 이 차이가 없어졌다. PS 군과 PG 군 사이에는 전 실험기간을 통하여 차이가 없었다.

Casein과 soyprotein 식이를 자유섭취한 군의 근육 단백질량은 제한섭취한 군보다 높은 경향을 보였다. 즉 제 1 단계에서 AC 군이 PC 군보다, AS 군이 PS 군보다 높은 값을 보였고, AC 군과 PC 군의 차이는 제 2 단계까지, AS 군과 PS 군의 차이는 회복식이를 2주간 공급한 제 3 단계까지 계속되었다. 그러나 gluten 식이를 섭취했던 AG 군과 PG 군 사이에는 전 실험기간을 통하여 유의적인 차이가 없었다.

## 고 찰

식이내 단백질의 종류 및 함량, 아미노산 균형등이 식이섭취량 및 단백질 섭취량에 영향을 주어 질이 낮은 단백질 식이, 고단백질식이, 혹은 아미노산 불균형식이 등은 식이섭취량을 저하시키며, 이에 따라 식이효율, 단백질효율, 또는 체중증가량도 함께 감소시킨다<sup>14)~16)</sup>.

본 연구에서 체중증가량, 식이섭취량 식이효율 및 장기의 무게는 casein, soyprotein, gluten 식이의 순으로 나타나 식이 단백질의 질에 의해 영향 반응을 말해준다.

casein과 soyprotein 군들에서는 식이를 자유섭취한 군의 체중이 제한섭취한 군들보다 높았으나, AG 군과 PG 군 사이에는 체중 식이효율의 차이를 보이지 않았다.

회복식이를 2주간 공급하였을때 까지도 식이를 제한섭취했거나 gluten 식이를 자유섭취한 경험이 있는 쥐가 처음부터 질이 좋은 casein 식이로 사육된 쥐의 체중에는 달하지 못한것은 McAnulty 등<sup>6)</sup>과 Dickerson 등<sup>7)</sup>의 보고와 같이 성장기의 쥐에게 식이를 제한섭취시키거나 저단백질식이를 섭취시킨후 적당한 식이를 공급하여도 쥐의 체중 및 성장은 완전히 회복되기는 어렵다는 것을 말해준다.

AG 군의 소장, 비장, 허파등의 무게는 회복식이를 공급받음에 따라 AC 군 혹은 AS 군과의 차이가 없어져 회복이 가능함을 시사해 주는 반면, 간, 근육, 신장의 무게는 회복식이를 2주간 공급한 후까지도 여전히 낮아 이들은 비교적 영양불량에 의한 영향을 많이 받고 회복이 어려운 기관들이라 하겠다. McAnulty 등<sup>6)</sup>도 쥐에게 28 일동안 고형사료를 제한섭취시켰을때 간

과 비장의 무게는 크게 감소하였으며, 그후 16 일동안 식이회복을 시키자 비장은 비교적 빨리 회복되는데 비해, 간은 식이회복후에도 정상에 훨씬 미치지 못한다고 보고하였고 Dickerson 등<sup>8)</sup>은 식이제한이 쥐의 근육 발달을 지연시키며 이러한 영향은 회복되기가 어려움을 시사하였다.

Casein 식이를 제한섭취한 PC 군의 간, 근육, 신장의 무게는 소장, 뇌, 비장, 허파와는 달리 제 1 단계에 AC 군보다 낮았고, 이 차이는 회복식이를 공급한 2 주 까지도 없어지지 않아 간, 근육, 신장은 단백질의 질 뿐만 아니라 식이섭취량의 제한에 의해서도 영향을 많이 받는 기관이라 하겠다.

반면 AS 군과 PS 군 사이에는 신장, 소장, 비장과 허파의 무게에 차이가 있었으나, 회복식이를 공급함으로써 없어졌고, gluten 식이를 자유섭취했던 AG 군의 장기무게는 체중과 마찬가지로 PG 군과는 차이가 없었다.

식이를 자유섭취했던 군과 제한섭취했던 군 사이에 간의 무게가 제 1 단계에서는 차이가 없다가 제 2 단계에서 나타난것은 제 1 단계에서도 각군 사이에 잠재적인 차이가 있었고, 이 영향이 그후에 나타난 것으로 생각된다.

Law 등<sup>17)</sup>과 유<sup>18)</sup>는 뇌의 발달이 유아기에 거의 완성된다고 하였으며 Dobbing 등<sup>19)</sup>도 이유후의 영양불량이 뇌의 크기에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

본 연구에서도 단백질과 열량이 결핍되었던 제 1 단계와 회복식이를 공급한 초기에는 뇌의 무게가 식이에 따라 영향을 받지 않았음은 위의 보고들과 일치하나, 회복식이를 공급한 2 주후 gluten 식이를 섭취했던 AG 군이 AC 군과 AS 군에 비해, PC 군이 AC 군에 비해 낮았던 것은 주목할만 하다. 이는 이유후 성장기의 영양불량이 뇌에 곧 영향을 미치지 않는으나 시간이 지난 후에는 그 영향이 나타날 수 있음을 시사해 주는 것이라 하겠다. McAnulty 등<sup>9)</sup>도 이유후의 쥐에게 28 일동안 고탄사료를 제한섭취시켰을때 뇌는 다른 장기들 보다는 비교적 영향을 적게 받기는 하였지만, 뇌의 무게가 정상쥐보다는 낮았으며 16 일간의 식이회복후에도 전뇌와 대뇌의 무게는 정상쥐보다 낮았다고 보고하였듯이, 이유후의 쥐일지라도 영양불량에 의해 뇌의 발달에 영향을 미치는 것으로 생각되며 이유후의 단백질영양이 뇌의 발달에 미치는 영향에 관하여는 장기간에 걸쳐서 연구할 필요가 있다고 본다.

간의 단백질 함량은 간무게와 같은 경향을 보여 제

1 단계에서 식이를 자유섭취하였을 때 casein 섭취군과 gluten 섭취군의 차이가 식이회복 후까지 계속되었다.

제 1 단계에서 식이를 자유섭취하였을 때와 제한섭취하였을때 간의 무게에는 차이가 없었으나 단백질 함량은 차이를 보였고 회복식이를 공급한 2 주후 AC 군과 PC 군, AS 군과 PS 군의 차이는 없어졌으나 AG 군과 PG 군 사이의 차이는 실험 종료때까지 계속되는 것으로 보아 단백질의 질이 좋을수록 좋은 식이를 공급한 후의 회복이 쉬움을 말해준다. 또한 제 1 단계에 AG 군의 근육내 단백질 함량은 AC 군의 54 %였으나 AG 군의 간의 단백질 함량은 AC 군의 68 %로, 근육은 간보다 단백질-열량 결핍식이에 의해 더 많이 영향을 받는 것으로 보인다. Young 등<sup>20)</sup>도 오랫동안 단백질-열량 결핍식이를 쥐에게 섭취시켰을때 근육 단백질의 손실의 간 단백질 보다 더 컸다고 보고하였다.

또한 casein 식이와 soyprotein 식이를 자유 섭취한 군이 제한섭취한 군보다 근육내 단백질 함량이 더 높았으며, 이러한 차이는 회복식이를 공급함에 따라 없어지는 경향을 보이고 있으나, gluten 식이를 섭취하였을 때는 자유섭취한 쥐들과 제한섭취한 쥐들 사이에 차이가 없었으며, 이는 체중과 장기무게에도 공통적으로 나타난 현상으로 gluten 식이군은 성장 및 각 기관의 발달이 이미 저조한데 여기에 식이섭취량을 제한시켜도 이에 의한 영향이 부가되지 않고 가능한한 일정한 선을 유지하려는 보호기전이 있는 것으로 생각된다.

## 결 론

본 연구에서는 이유후 성장기에 있는 쥐에게 단백질 공급원으로 casein, soyprotein, gluten 을 공급하고 또한 식이섭취량을 제한하였을 때 성장에 미치는 영향과 그후 casein 식이를 자유섭취시켜 회복되는 정도를 조사 비교하였다.

체중증가는 casein, soyprotein, gluten 식이 순위였으며 식이를 제한섭취하거나 gluten 식이를 자유섭취한 경험이 있는 쥐는 회복식이를 2 주간 공급한후까지도 여전히 체중이 낮아 회복되지 않았다. 뇌를 제외한 간 근육, 신장, 소장, 비장, 허파등의 무게도 체중과 같은 경향이였으며 뇌의 무게는 처음 제한 기간에는 각 군간에 차이를 보이지 않다가 회복식이를 2 주간 먹은 후에 gluten 식이로 사육되었던 쥐가 casein 과 soyprotein 으로 사육되었던 쥐에 비해, casein 식이를 제한섭취하였던 군이 casein 식이를 자유섭취하였던 군에 비해 낮은 값을 보였다. 이중 영양불량에 더욱 크게 영



향을 받고 회복이 어려운 기관은 간, 근육, 신장으로 보인다.

혈청단백질 농도는 식이내용에 따라 비교적 영향을 적게 받았으나 gluten 을 먹은 쥐의 혈청단백질 농도는 casein 군에 비해 낮았으나 3일간 회복식이를 공급함에 따라 없어졌다.

간과 근육의 단백질 농도는 casein 식이를 자유섭취한 군이 gluten 군과, 또한 식이를 제한섭취한 군보다 높았고 이 차이는 회복식이 공급에 따라 완전히 없어지지 않았다. 이 중 근육이 간보다 단백질-열량 결핍식에 의해 단백질 함량에 더 많이 영향을 받는다.

## REFERENCES

- 11) Caback, V., Dickerson, J.W.T. & Widdowson, E.M.: *Responses of young rats to deprivation of protein or of calories. Brit. J. Nutr. 17*; 601~616, 1963.
- 2) Champakam, S., Srikantia; S.G. & Gopalan, G.: *Kwashiorkor and mental development. Am. J. Clin. Nutr. 21* ; 844~852, 1968.
- 3) Winick, M. & Noble, A. ; *Cellular response in rats during malnutrition at various ages. J. Nutr. 89*; 300~306, 1966.
- 4) Barnes, R.H., Kwong, E., Morrissey, L., Vilhjalmsson, L. & Levitsky, P.A.; *Maternal protein deprivation during pregnancy or lactation in rats and the efficiency of food and nitrogen utilization of the progeny J Nutr. 103* ; 273~284, 1973.
- 5) Penemangalore, M., Clark, A.J. & Clark, H.E. ; *Effect of dietary energy restriction and rehabilitation on growth and tissue composition in growing rats. J. Nutr. 108* ; 1297~1305, 1978.
- 6) McAnulty, P.A. & Dickerson, J.W.T. ; *The development of the weanling rat during nutritionally-induced growth retardation and during early rehabilitation. Brit. J. Nutr. 32* ; 301~302, 1974.
- 7) Dickerson, J.W T., Hughes, P.C.R. & McAnulty, P.A. ; *The growth and development of rats given a low-protein diet. Brit. J. Nutr. 27* ; 527~536, 1972.
- 8) Dickerson, J.W.T. & McAnulty, P.A. ; *The response of hindlimb muscles of the weanling rat to undernutrition and subsequent rehabilitation. Brit. J. Nutr. 33* : 171~181, 1975.
- 9) Stewart, R.J.C., Sheppard, H., Preece, R. & Waterlow, J.C. ; *The effect of rehabilitation at different stages of development of rats marginally malnourished for ten to twelve generations. Brit. J. Nutr. 43* : 403~412, 1980.
- 10) 김해리·백정자 ; 농촌 이유기의 어린이 영양섭취 조사, 한국영양학회지. 11(1) ; 1~6, 1978.
- 11) Copper, T.G. ; *Biuret protein determination. in ; The tools of biochemistry. 51~52. John Wiley & Sons Comp. New York. U.S.A. 1977.*
- 12) Peterson, G.L. ; *A simplification of the protein assay method of Lowry et al. which is more generally applicable. Anal Biochem. 63* ; 346~356, 1977.
- 13) Gill, T.L. ; *Design and analysis of experiments in the animal and medical sciences. The Iowa State University Press, Ames, IA, 1978.*
- 14) Harper, A.E., Benevenga, N.J. & Wollheuter, R.M. ; *Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. Physiol. Rev. 50* ; 428~458, 1970.
- 15) Mayer, J. ; *Regulation of food intake. in : Nutrition: A Comprehensive treatise. 1: l. Beaton, G.H. & McHenry, E.W., eds. Academic Press Inc., New York.*
- 16) 김화영 ; 흰쥐에서 임신부의 열량 및 단백질의 변화가 태아와 유아의 성장발달에 미치는 영향. 성심여자대학논문집. 11 ; 103~111, 1980.
- 17) Law, H.C. & Ritchey, S.J. ; *Effects of energy or protein deprivation and subsequent rehabilitation on protein and DNA content of several organs in rat pups. J. Nutr. 107* : 2091~2096, 1977.
- 18) 유정열·신정래 ; 유아기의 단백질부족이 뇌 및 기타 기관의 발달에 미치는 영향, 한국영양학회지.

3(2) : 81~87, 1970.

- 19) Dobbing, J. & Widdowson, E. M. ; *The effect of undernutrition and subsequent rehabilitation on myelination of rat brain as measured by its composition. Brain.* 88 ; 357~366, 1965.
- 20) Young, V.R. ; *The role of skeletal and cardiac muscle in the regulation of protein metabolism. in : Mammalian protein metabolism. ed., Munro, H.N. Vol. 4. chap. 40. Academic Press, New York.*