

단백질과 에너지 수준이 흰쥐의 질소와 에너지 이용에 미치는 영향

장유경, 권순형*, 한인규**

한양대학교 가정대학 식품영양학과, *상주농업전문대학 가정과, **서울대학교 농과대학 축산학과
(1983년 7월 28일 수리)

Effect of Dietary Protein and Energy on the Nitrogen and Energy Utilization in Growing Rats.

Yu Kyung Chang, *Soon Hyung Kwon, **In Kyu Han

Dept. of Food and Nutrition, College of Home Economics, Hanyang University

** Dept. of Home Economics, SangJu Agriculture Junior College*

*** Dept. of Animal Science, College of Agriculture, Seoul National University*

(Received July, 28, 1983)

Abstract

In order to investigate the effect of dietary protein and energy on growing female and male rats, Sprague-Dawley 90 female rats and 54 male rats of 3 weeks old weighing approximately 70-80g and 65-75g, respectively, were subjected to feeding trials for 8 weeks and then subsequently to metabolic trials for 2 weeks. Three dietary energy levels(3,200, 3,600, 4,000 kcal/kg) were employed and each energy level contained three protein levels(15, 25, 35% of 3,600 kcal ME/kg) and three fat levels (10, 20, 40% of 3,600 kcal ME/kg) by addition of an appropriate amount of carbohydrate and the following results were obtained.

As the protein level was increasing, digestibilities of dry matter and carbohydrate tended to decrease whereas that of protein was slightly increasing. On the other hand, digestibility of fat was always very high regardless of the level of protein but that tended to be slightly improved as the level of energy or fat increased. The digestibilities of female and male rats tended to be same. The digestibilities of dry matter, crude protein, crude fat and carbohydrate were 83%, 90%, 96% and 93%, respectively, and they were neither affected by protein and energy levels nor observed differently depending upon the sex.

Nitrogen retention of female and male rats were best for LPHE ration. In other words, both nitrogen retention was improved as the level of energy increased and the level of protein decreased.

The gross energy intake was high at low protein level in female rats and at medium protein level in male rats. That tended to decrease as the level of energy increased in female rats whereas that was not affected by the level of energy in male rats. The metabolic energy efficiency was highest for LPHE ration in female rats and for LPME ration in male rats.

서 론

식이에 포함된 탄수화물, 지방 및 단백질의 구성 비율과 섭취된 총열량은 어린이 성장 뿐 아니라 성인과 노인의 건강 유지에도 상당한 영향을 미친다. 단백질은 체 구성 물질로서 양과 질 모두 중요하고

다른 영양소와의 상호관계에 대하여 생리적·생화학적 면에서도 역시 중요하다.^{1,2,3)}

성장에 알맞은 양의 단백질과 에너지를 포함하면서 지방함량을 달리한 식이를 성장하는 쥐에게 급여하였을 경우 에너지 이용이나 질소 평형에 아무런 영향을 주지 않았다고 했다.^{4,5,6)} 에너지 수준은

일정하게 하면서 단백질의 섭취량을 증가 시켜주면 단백질의 이용율이 저하된다고 했다.^{7,8)}

차이를 구명하고자 실시했다.

이제까지 보고 되어 온 연구결과는 각 영양소의 상호관계를 뚜렷하게 알기 위해서 각 열량 영양소의 배합비율에 상당한 차이를 두어 실험한 것이므로 우리 식생활에 직접 적용시키기가 매우 어렵다고 생각되었다. 실험동물의 암수 성별에 따라 비교한 실험결과는 거의 없었다.

재료 및 방법

따라서 본 연구는 우리들의 식생활에 직접 적용시키기 위하여 NRC 사양표준치⁹⁾를 기준으로 식이의 단백질 지방 및 에너지의 배합비율에 근소한 차이를 두어 흰쥐의 성장, 영양소 이용율, 그리고 단백질과 에너지 이용율에 대한 흰쥐의 성별에 따른

1. 실험동물 및 실험설계

생후 3 주된 Sprague-Dawley계의 albino rat 암수 각각 100마리에게 표준사료를 5 일동안 급여하여 적응시켰다. 실험 1 에서는 평균 체중이 70~80g 되는 암쥐를 90마리 선택하여 9 처리로 처리당 5 반분, 반복당 2 마리씩 완전 임의 배치했다. 실험 2 에서는 평균체중이 65~75g 되는 숫쥐를 54마리 선택하여 9 처리, 처리당 6 반분, 반복당 1 마리씩 완전 임의 배치했다. 실험 1,2의 식이 내용은 Table 1에서 보는 바와 같다.¹⁰⁾

Table 1. Experimental design

Treatment*	LPLE	LPME	LPHE	MPLE	MPME	MPHE	HPLE	HPME	HPHE
Protein(%/3600kcal)	15	15	15	25	25	25	35	35	35
ME (kcal/kg)	3200	3600	4000	3200	3600	4000	3200	3600	4000
Fat (%/3600kcal)	10	20	40	10	20	40	10	20	40

LPLE : Low Protein Low Energy

MPHE : Medium Protein High Energy

LPME : Low Protein Medium Energy

HPLE : High Protein Low Energy

LPHE : Low Protein High Energy

HPME : High Protein Medium Energy

MPLE : Medium Protein Low Energy

HPHE : High Protein High Energy

MPME : Medium Protein Medium Energy

2. 실험식이의 재료 및 구성성분

전분, 포도당, 카제인, 콩기름, α-cellulose, 비타민, 무기질을 사용하였으며 각 실험식이의 배합비율은 Table 2에서 보는 바와 같다.

본 실험에 사용된 사료의 재료는 시판되고 있는

Table 2. Formula of experimental diets

Ingredients (%)	Low protein			Medium protein			High protein		
	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE
Casein	13.33	13.33	13.33	22.22	22.22	22.22	31.10	31.10	31.10
Soybean oil	3.90	7.80	15.60	3.90	7.80	15.60	3.90	7.80	15.60
Starch	53.00	54.09	45.30	43.14	44.23	35.44	33.28	34.36	25.58
Glucose	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Methionine	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Lysine	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Cellulose	15.07	10.08	11.07	16.04	11.05	12.04	17.02	12.04	13.02
Vitamin Mix.	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Mineral Mix.	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
ME (kcal/kg)	3200.0	3600.0	4000.0	3200.0	3600.0	4000.0	3200.0	3600.0	4000.0

1) Energy value used: corn starch:3650kcal/kg

casein:4051kcal/kg. NRC-NAS (1971)

soybean oil:9240kcal/kg. Renner and Hill,¹¹⁾ Young¹²⁾

2) Cellulose:alpha cellulose, Sigma chemical company.

3) Vitamin Mixture(in IU or milligrams per gram of mixture)

Vitamin A, 500IU; Vitamin D₃, 400IU; Thiamin HCl, 5; Riboflavin, 5; Pyridoxine HCl, 0.5 ; Cyanocobalamin, 5meg; Vitamin K, 0.2; Ascorbic acid, 50;

4) Mineral Mixture(%)10.64; K₂C₂H₃O₇ · H₂O, 23.28; K₂HPO₄, 7.61; CaHPO₄ · 2H₂O, 34.19;

CaCO₃, 16.10; Mg(OH)₂ · 5H₂O, 5.56; FeC₂H₃O₇, 1.58; CH₃COOZn · 2H₂O, 0.049;

3. 사양실험

실험 1에서는 albino rat 암쥐를 2 마리씩 한 cage에 넣어서 5 단계 철제 cage에서 사육하였으며 실험 2에서는 albino rat 숫쥐를 1 마리씩 한 cage에 넣어 3 단 스텐레스 cage에서 사육하였으며, 실내 온도 및 습도는 일정하게 조절했다. 사양실험의 기간은 암수 각각 8주간에 걸쳐 실시했다. 전 실험 기간 식이와 물은 자유급식 시켰고 주 1회 일정한 시간에 체중과 사료 섭취량을 조사했다¹⁰⁾

4. 대사실험

사양실험 후 각 처리당 처리구의 평균 체중에 가장 가까운 쥐를 선택했다. 암쥐의 경우 185~196g 되는 암쥐를 4 마리씩 선택하여 대사 cage 하나에 2 마리씩 넣어, 숫쥐의 경우 227~277g 되는 숫쥐를 2 마리씩 선택하여 대사 cage 하나에 1 마리씩 넣어 처리당 2 반복으로 실시했으며, 예비기간을 1 주로 하여 적응시킨 후 5 일동안을 분과 뇨의 수집 기간으로 하여 전분채취법에 의해서 실시했다. 매일 수집된 분은 80°C로 조절된 열풍건조기에서 24 시간 건조시킨 후 수집기간 동안 건조한 곳에 두었다가 분쇄 하여 뚜껑있는 병에 담아 분석할 때까지 냉장고에 보관했으며, 묽은 황산(0.15N)을 10ml

같은 병에 받은 뇨는 일정한 시간에 수집하여 냉장고에 보관해 두었다가 수집이 완료된 후 분석했다.

5. 일반성분의 분석 및 에너지 측정

사료, 분, 뇨의 일반성분은 AOAC 법¹³⁾에 의해서 분석하였고 에너지 측정은 일본 Shimadzu 회사의 Automatic Bomb Calorimeter (modelCA-3)를 사용했으며, 뇨 에너지는 韓¹⁴⁾에 의해서 제안된 회귀식을 이용하여 간접적으로 산출했다.

결과 및 고찰

1. 영양소의 소화율

각 실험식이에 대한 영양소의 소화율은 암쥐의 결과 Table 3, 4, 숫쥐의 결과 Table 5, 6에서 보는 바와 같다.

(1) 고형물의 소화율

암쥐의 고형물 소화율은 Table 3에서와 같이 대체로 약 80~86% 정도였다. 저단백질군에서는 저에너지 수준에서 낮았고, 중·고에너지 수준에서는 거의 같게 높았으며, 중·고단백질군에서도 저에너지 수준에서 낮았으나, 에너지 수준이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보였다.

Table 3. Digestibility of nutrients in experimental diets of female rats.

Digestibility	Low protein			Medium protein			High protein			Overall average
	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	
Dry matter (%)	82.88	85.25	85.29	79.52	84.29	83.09	79.52	82.86	85.98	83.19
Crude protein(%)	87.73	89.01	88.17	90.61	88.17	90.19	91.28	93.75	93.38	90.25
Crude fat (%)	30.74	96.61	98.30	94.50	97.99	97.97	92.41	95.78	98.25	95.84
NFE (%)	92.93	93.89	94.38	91.65	95.41	91.84	88.96	89.45	91.46	92.22

Table 4. Digestibility of nutrients in experimental diets of female rats within protein and energy levels

Digestibility	within protein level			within energy level		
	LP	MP	HP	LE	ME	HE
Dry matter (%)	84.47	82.30	82.79	80.64	84.13	84.79
Crude protein (%)	88.30	89.66	92.80	89.87	90.31	90.58
Crude fat (%)	95.22	96.82	95.48	92.55	96.76	98.17
NFE (%)	93.73	92.97	89.96	91.18	92.92	92.56

식이의 단백질과 에너지 수준에 따른 암쥐의 단백질과 에너지 수준에 따른 암쥐의 소화율은 Table 4에서 같이 저단백질 수준에서 가장 높았고, 중·고단백질 수준에서 비슷하게 낮았으며, 저에너지 수준에서 가장 낮았으나, 중·고에너지 수준에서 거의 비슷하게 높았다. 이상의 결과로 암쥐의 식이 고형물의 소화율은 저단백질, 고에너지 수준에서 가장

높았으며 고단백질, 저에너지 수준에서 가장 낮았다. 숫쥐의 식이 고형물 소화율은 Table 5, 6에서와 같이 약 73~87% 정도였다. 같은 단백질 수준에서는 중에너지 수준에서 가장 높았으며, 같은 에너지 수준에서는 식이 중 단백질이 증가할수록 고형물의 소화율은 뚜렷하게 감소되었다. 즉 식이 고형물 소화율은 LPME 구에서 가장 높았고, HPLE 구에서

Table 5. Digestibility of nutrients in experimental diets of male rats.

Digestibility	Low protein			Medium protein			High protein			Overall average
	LE	ME	HF	LE	ME	HE	LE	ME	HE	
Dry matter (%)	82.26	87.19	85.72	81.11	86.00	84.70	73.41	84.25	83.57	83.13
Crude protein (%)	89.59	88.62	86.77	93.10	91.59	87.20	91.25	93.80	93.52	90.60
Crude fat (%)	96.45	97.32	97.56	94.45	96.98	97.29	92.32	97.57	98.04	96.44
NFE (%)	94.10	96.43	94.77	90.81	96.23	96.25	88.55	92.86	92.95	93.66

Table 6. Digestibility of nutrients in experimental diets of male rats within protein and energy levels.

Digestibility	within protein level			within energy level		
	LP	MP	HP	LE	ME	HE
Dry matter (%)	85.06	83.94	80.41	78.93	85.81	84.66
Crude protein (%)	88.33	90.63	92.86	91.31	91.34	89.16
Crude fat (%)	97.11	96.24	95.98	94.41	97.29	97.63
NFE (%)	95.10	94.43	91.45	91.15	95.17	94.66

가장 낮았다. 식이의 에너지 수준이 같을 때 단백질 함량이 증가함에 따라 고형물 소화율이 감소하는 경향을 보이는 것은 張과 韓¹⁵⁾의 연구결과와도 일치했다.

고형물 소화율에 대하여 암·수 성별에 따라 비교해 보면 저단백질 수준에서 암수 모두 가장 높았으나 암쥐는 고에너지 수준에서, 수쥐는 중에너지 수준에서 각각 식이중 고형물의 소화율이 가장 높았다.

(2) 조단백질 소화율

암쥐의 조단백질 소화율은 Table 3에서와 같이 약 87~94%였다. 저단백질군에서는 중에너지 수준에서 가장 높았고 고에너지 수준에서 약간 감소되었으며, 중단백질군에서는 중에너지 수준에서 약간 감소되었고, 고단백질군에서는 저에너지 수준에서 낮았으나 중·고에너지 수준에서 비슷하게 높았다.

식이 단백질과 에너지 수준에 따른 조단백질 소화율은 Table 4에서와 같이 단백질 수준이 증가할수록 조단백질의 소화율이 향상되었는데 이것은 張과 韓¹⁰⁾의 보고와 일치했으나 지방 수준이 증가할수록 조단백질의 소화율이 감소된다는 점에서는 일치하지 않았다. 그러나 식이중 지방 수준이 증가할수록 단백질의 소화율은 증가된다고 보고한 Forbes¹⁶⁾의 결과와 일치했다. 에너지 수준에 따른 조단백질 소화율은 큰 차이가 없었다.

수쥐의 조단백질 소화율은 Table 5와 같이 87~94%였으며, 저·중단백질군에서 에너지 수준이 증가함에 따라 감소되었는데 이것은 식이중 지방함량도 따라 높기 때문이라 생각되었다. 고단백질군에서는 저에너지 수준에서 보다 중·고에너지 수준에

서 조단백질 소화율이 높았는데 같은 단백질군에서 특히 저에너지 수준에서 낮았던 것은 사료에 포함된 섬유소 함량이 높을때 조단백질의 소화율을 떨어뜨린다고 한 柳와 金¹⁷⁾의 보고와 일치했다.

식이 단백질과 에너지 수준에 따른 수쥐의 조단백질 소화율은 Table 6과 같이 단백질 수준이 증가할수록 소화율은 증가되었으며, 저·중에너지 수준에서 비슷하게 높았으나 고에너지 수준에서 약간 낮았다. 수쥐의 조단백질 소화율은 단백질 수준이 증가함에 따라 높았으나 에너지 수준에 의해서는 별로 차이가 없었다.

조단백질 소화율에 대하여 암수 비교하여 보면 암수 모두 단백질 수준이 증가할수록 높았다. 암쥐의 경우 고에너지 수준에서 수쥐의 경우 중에너지 수준에서 식이중 조단백질 소화율이 각각 가장 높았다.

(3) 조지방 소화율

암쥐의 조지방 소화율은 Table 3,4에서와 같이 91~98%로서 식이중 다른 영양소의 소화율보다 상당히 높았다. 같은 단백질군에서 에너지 수준이 증가할수록 식이의 조지방 소화율은 향상되었으나 단백질 수준에 따른 조지방 소화율은 거의 차이가 없었다. 이것은 식이중 단백질 수준보다는 에너지 수준 또는 지방 함량에 의해서 영향을 받는다고 생각되었다. 특히 저에너지 수준에서 지방 소화율이 낮았던 것은 식이에 포함된 섬유소의 함량이 증가함에 따라 조지방의 소화율을 저하시킨다고 보고한 柳와 金¹⁷⁾의 결과와도 일치했다.

수쥐의 조지방 소화율은 Table 5에서와 같이 92~98%였다. 같은 단백질군에서는 에너지 수준이

증가될수록 조지방 소화율이 높았으며, 저에너지 군에서 단백질 수준이 증가될수록 현저하게 저하 되었으나, 중·고에너지군에서는 단백질 수준에 영향을 받지 않았다.

식이중 단백질과 에너지 수준에 따른 숫쥐의 조지방 소화율은 Table 6에서와 같이 식이 단백질 수준이 증가할수록 약간 감소하는 경향이였다. 특히 저에너지 수준에서 조지방 소화율이 낮았는데 이것은 식이중 섬유소의 함량이 많았기 때문이라 생각된다.

암쥐와 숫쥐의 조지방 소화율은 거의 같은 경향을 보였다.

(4) 탄수화물의 소화율

암쥐의 탄수화물 소화율은 Table 3,4에서와 같이 89~95%로서 식이의 단백질과 에너지 수준에 따라 크게 차이가 없었다.

숫쥐의 탄수화물 소화율은 Table 5에서와 같이 89~96%로서 암쥐의 결과와 거의 같았으며, 저단백질 군에서는 중에너지 수준에서 약간 높았고 고에너지 수준에서 다시 낮아졌다. 중·고단백질군에서는 저에너지 수준에서 약간 감소하였으나 중·고에너지 수준에서 비슷하게 높았다.

식이중 단백질과 에너지 수준에 따른 숫쥐의 탄수화물 소화율은 Table 6에서와 같이 단백질 수준

이 증가될수록 감소하였으며 저에너지에서 약간 감소했으나 중·고 에너지에서 비슷하게 높았다. 본 실험식이의 각 영양소에 대한 소화율의 전체 평균은 암수 모두 같은 경향이였다.

이상의 결과에서 각 영양소의 소화율을 보면 고형물 83%, 조단백질 90%, 조지방 96%, 탄수화물 93%로서 단백질 및 에너지 수준에 따라서 큰 차이가 없었으며 암수간에도 차이가 없었다.

2. 질소 축적율

암쥐의 질소섭취, 배설 및 체내 축적율은 Table 7과 같이 같은 단백질군에서 에너지 수준이 증가할수록 질소섭취량, 분과 뇨로 배설되는 질소의 양은 감소되는 경향을 보였으며 같은 에너지 군에서는 단백질이 증가함에 따라 질소 섭취량, 분과 뇨로 배설되는 질소량이 증가하는 경향을 보였다. 암쥐의 질소 보유율은 중단백질군까지는 저에너지에서보다 고에너지에서 현저하게 높았으며 고단백질군에서는 에너지수준의 증가에 따라 차이가 없었다. 같은 에너지군에서 보면 LPME구를 제외하고는 단백질 수준이 증가할수록 질소 축적율은 감소하는 경향을 보였다. 질소 축적율이 가장 높은 처리는 저단백질, 고에너지(LPHE)였다.

식이의 단백질과 에너지 수준에 따른 암쥐의 질소 축적율은 Table 8과 같이 단백질 수준이 증가할

Table 7. Effect of dietary protein and energy levels on nitrogen balance and nitrogen retention of female rats.

Items	Protein and energy level									
	Low protein			Medium protein			High protein			Overall average
	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	
Nitrogen intake (mg/day)	589.4	518.6	507.2	906.8	798.8	692.6	1091.2	1194.1	998.3	810.8
Fecal nitrogen (")	72.2	57.0	59.9	85.5	86.2	61.6	96.0	75.0	66.1	73.3
Digested nitrogen (")	517.2	461.6	447.3	821.3	712.6	631.0	995.2	1119.1	932.2	737.5
% of Nitrogen intake (%)	87.75	89.01	88.19	90.57	89.21	91.11	91.20	93.72	93.38	90.46
Urinary nitrogen (mg/day)	391.6	403.1	318.9	716.4	570.4	449.4	830.5	927.8	766.6	597.2
Nitrogen balance (")	125.6	58.5	128.4	104.9	142.2	131.6	164.7	191.3	165.6	134.8
Nitrogen retention (%)	21.30	11.28	25.32	11.57	17.80	19.00	15.09	16.02	16.59	17.11

Table 8. Nitrogen balance and nitrogen retention of female rats within protein and energy levels.

Items	within protein level			within energy level		
	LP	MP	HP	LE	ME	HE
Nitrogen intake (mg/day)	538.4	799.4	1094.5	862.5	837.2	732.7
Fecal nitrogen (")	63.0	77.8	79.0	84.6	72.7	62.5
Digested nitrogen (")	475.4	721.6	1015.5	777.9	764.5	670.2
% of Nitrogen intake (%)	88.30	90.27	92.78	90.19	91.32	91.47
Urinary nitrogen (mg/day)	371.2	578.7	841.6	646.2	633.8	511.6
Nitrogen balance (")	104.2	142.9	173.9	131.7	130.7	158.6
Nitrogen retention (%)	19.35	17.88	15.89	15.27	15.61	21.65

수목 감소하는 경향을 보였으며, 중에너지 수준까지는 차이가 없었으나 고에너지 수준에서 현저하게 증가되었다. 이상을 요약하면 암쥐의 체내 질소 이용율은 단백질의 경우 NRC사양표준치에서 가장 높았고, 에너지의 경우 NRC사양표준치 이상에서 현저하게 높았다.

숫쥐의 질소 섭취, 배설 및 체내 축적율은 Table 9에서와 같다. 질소 섭취량은 암쥐의 경우와 같이, 중단백질군에서는 에너지 수준이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 저·고단백질군에서는 에너지 수준이 증가함에 따라 차이가 없었다. 그러나 뇨질소의 배설량은 에너지 수준이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 숫쥐의 질소 축적율은 같은 단백질 수준에서 에너지 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 저·중에너지군에서는 단백질 수준이 증가 할수록 질소 축적율이 감소하는 경향이였다. 고에너지군에서는 저단백질 수준에서 가장 높았으나 중·고 단백질수준에서는 차이가 없었다.

식이 단백질과 에너지 수준에 따른 숫쥐의 질소 축적율은 Table 10에서와 같이 단백질 수준에서 보면 저단백질군에서 가장 높았으며, 중·고단백질수준에서 차이가 없었다. 에너지 수준에서 보면 저·중에너지 수준에서는 차이가 없었고 고에너지 수준에서 높은 체내 질소 축적율을 보였다. 그러므로

숫쥐의 질소 축적율은 단백질의 경우 NRC사양표준치에서 가장 높았고 에너지의 경우 NRC사양표준치 이상에서 더욱 높았다. 질소 축적율에 관하여 암수를 비교해 보면 같은 경향을 보였다.

질소 축적율에 대한 실험결과는 같은 단백질수준이라도 에너지 수준이 증가함에 따라 질소축적율이 높았는데 그 이유는 뇨로 배설되는 질소의 양이 감소하기 때문이며 또한 고에너지 식이에서는 함께 섭취된 단백질이 에너지로 쓰이기 보다 체구성원으로 쓰이기 때문이다. 같은 에너지수준에서 식이중 단백질함량이 증가할때 체내 질소 축적율은 감소하는데 그 이유는 질소 섭취량이 증가함에 따라 뇨로 배설되는 질소량이 증가되기 때문이다. 이것은 Nakano등¹⁸⁾ Muramatsu등¹⁹⁾이 고단백질 식이를 섭취하게 되면 간에서 아미노산 분해효소 활성이 증가되므로 뇨 질소 배설이 증가된다는 보고에 의해서 설명될 수 있다고 본다. 암수 공히 단백질수준이 13% 일때 체내 질소 축적율이 가장 높았으나, Ozelci등²⁰⁾은 같은 에너지 수준에서 식이 단백질 함량용 10, 20, 30%로 달리하여 숫쥐에게 급여했을 때 단백질 20%에서 질소 축적율이 가장 높았으며, 그 이상으로 더 증가하더라도 감소된다고 했다. Hartsook²¹⁾은 식이 단백질을 8, 25, 41, 57% 수준으로 급여했을 때, 단백질 25%에서 가장 높았다고 보고하여 본 실험결과와는 일치되지 않았다.

Table 9. Effect of dietary protein and energy levels on nitrogen balance and nitrogen retention of male rats.

Protein and energy level Items	Low protein			Medium protein			High protein			Overall average
	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	
Nitrogen intake (mg/day)	489.3	417.2	486.6	1010.1	772.1	728.8	970.1	1036.8	1021.9	770.3
Fecal nitrogen (")	52.5	47.5	63.8	71.5	59.2	90.4	72.8	65.4	46.2	63.3
Digested nitrogen (")	436.8	369.7	422.8	938.6	712.9	638.4	897.3	971.4	975.7	707.1
% of Nitrogen intake (%)	89.27	86.61	86.89	92.92	92.33	87.60	92.50	93.69	95.48	91.0
Urinary nitrogen (mg/day)	341.0	312.1	300.7	809.2	587.4	522.8	794.8	847.6	807.7	591.5
Nitrogen balance (")	95.8	57.6	122.1	129.4	125.5	115.6	102.5	123.8	168.0	115.6
Nitrogen retention (%)	19.58	13.81	25.09	12.81	16.25	15.86	10.57	11.94	16.44	15.8

Table 10. Nitrogen balance and nitrogen retention of male rats within protein and energy levels.

Items	within protein level			within energy level		
	LP	MP	HP	LE	ME	HE
Nitrogen intake (mg/day)	464.4	837.0	1009.6	823.2	742.0	745.8
Fecal nitrogen (")	54.6	73.7	61.5	65.6	57.4	66.8
Digested nitrogen (")	409.8	763.3	948.1	757.6	684.7	679.0
% of Nitrogen intake (%)	88.24	91.19	93.91	92.03	92.28	91.04
Urinary nitrogen (mg/day)	317.9	639.8	816.7	648.3	582.4	543.7
Nitrogen balance (")	91.9	123.5	131.4	109.3	102.3	135.3
Nitrogen retention (%)	19.79	14.76	13.02	13.28	13.79	18.14

3. 에너지 이용률

암쥐의 에너지 이용률은 Table 11에서 보는 바와 같이 암쥐의 총에너지 섭취량은 저단백질군에서 에너지 수준이 증가함에 따라 차이가 없었고, 중·고단백질군에서는 중에너지 수준까지는 증가하는 경

향이었으나 고에너지 수준에서 감소하는 경향을 보였다. 이때 체내 에너지 이용률은 같은 단백질군에서는 저에너지 수준에서 낮았고, 중·고에너지 수준에서 차이가 없었다. 같은 에너지군에서는 단백질 수준이 증가함에 따라 에너지 이용률은 감소하였다.

Table 11. Distribution of food energy of female rats fed different level of protein and energy.

Items	Protein and energy level			Low Protein			Medium Protein			High Protein			Overall average
	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	
Gross energy intake (kcal/day)	128.31	120.7	123.2	133.1	122.2	105.6	114.6	130.8	114.6	121.5			
Fecal energy (")	18.08	13.27	13.15	20.19	13.71	12.13	17.68	16.3	14.26	15.42			
Digested energy (")	110.24	107.45	110.06	112.89	108.48	93.49	96.85	114.49	100.32	106.03			
% of GE (%)	85.92	89.02	89.33	84.82	88.77	88.53	84.51	87.53	87.54	87.33			
Urinary energy (kcal/day)	3.53	3.63	2.88	6.43	6.27	5.45	7.45	8.32	6.95	5.66			
Metabolizable energy (")	106.71	103.82	107.18	106.46	102.21	88.04	89.4	106.17	93.37	100.37			
% of GE (%)	83.17	86.01	87.00	79.98	83.64	83.34	78.01	81.17	81.47	82.64			

식이 단백질과 에너지 수준에 따른 암쥐의 에너지 이용률 보면 Table 12에서와 같이 단백질 수준이 증가함에 따라 에너지 이용률이 감소하는 경향이었고, 에너지 수준이 증가함에 따라 에너지 이용률은 증가하는 경향이였다. 암쥐의 에너지 이용률은 L

PHE구에서 가장 높았는데 이것은 암쥐의 이용률이 단백질의 경우 NRC사양 표준치에서 가장 높았고, 에너지의 경우 NRC사양 표준치 이상에서 더 높았다.

숫쥐의 에너지 이용률은 Table 13에서 보는 바와

Table 12. Distribution of food energy of female rats within protein and energy levels.

Items	within protein level			within energy level		
	LP	MP	HP	LE	ME	HE
Gross energy intake (kcal/day)	124.07	120.30	120.0	125.34	124.57	114.47
Fecal energy (")	14.83	15.34	16.08	18.65	14.43	13.18
Digested energy (")	109.24	104.96	103.92	106.69	110.14	101.29
% of GE (%)	88.05	87.25	86.60	85.12	88.42	88.86
Urinary energy (kcal/day)	3.35	6.05	7.57	5.80	6.07	5.09
Metabolizable energy (")	105.89	98.91	96.35	100.89	104.07	96.20
% of GE (%)	85.35	82.22	80.29	80.49	83.54	84.04

Table 13. Distribution of food energy of male rats fed different level of protein and energy.

Items	Protein and energy level			Low Protein			Medium Protein			High Protein			Overall average
	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	LE	ME	HE	
Gross energy intake (kcal/day)	102.35	92.71	112.45	127.37	106.27	109.19	83.19	108.32	96.45	104.26			
Fecal energy (")	15.70	10.08	13.30	21.39	12.11	12.96	17.47	13.41	12.40	14.31			
Digested energy (")	86.65	82.63	99.15	105.98	94.16	96.23	65.72	94.91	84.05	89.94			
% of GE (%)	84.66	89.13	88.17	83.21	88.60	88.13	79.00	87.62	87.14	86.18			
Urinary energy (kcal/day)	3.23	2.97	2.87	7.40	5.42	4.85	7.28	7.75	7.39	5.46			
Metabolizable energy (")	83.42	79.66	96.28	98.58	88.74	91.38	58.44	87.16	76.66	84.48			
% of GE (%)	81.50	85.92	85.62	77.39	83.50	83.68	70.24	80.46	79.48	80.87			

같이 총에너지 섭취량은 같은 단백질군에서 에너지 수준이 증가함에 따라 일정한 경향을 찾을 수 없었

다. 체내 에너지 이용률은 같은 단백질군에서 저에너지 수준에서 가장 낮았고, 중·고에너지 수준에

서 차이가 없었다. 같은 에너지군에서 에너지 이용율은 단백질 수준이 증가함에 따라 감소했다.

식이의 단백질과 에너지 수준에 따른 숫쥐의 에너지 이용율은 Table 14와 같이 단백질 수준이 증가함에 따라 에너지 이용율은 감소하는 경향을 보였으며 저에너지 수준에서 가장 낮았다. 중·고에너지 수준에서는 차이가 없었다. 숫쥐의 에너지 이용은 LPME구에서 가장 높았으며 식이의 단백질과

에너지 함량이 NRC 사양 표준치에서 가장 높았다.

암수의 에너지 이용율에 대한 식이 전체 평균을 비교해 보면 암쥐가 숫쥐보다 에너지 섭취 및 이용율이 약간 높았다. 암쥐의 경우 에너지 수준에 관계없이 식이 단백질 함량에 따라 에너지 섭취량이 일정하게 조절되고 있는 반면 숫쥐의 경우 단백질 수준에 관계없이 에너지 함량에 따라, 에너지 섭취량이 일정하게 조절되고 있다.

Table 14. Distribution of food energy of male rats within protein and energy levels.

Items		within protein level			within energy level		
		LP	MP	HP	LE	ME	HE
Gross energy intake	(kcal/day)	102.50	114.28	95.99	104.30	102.43	106.63
Fecal energy	(")	13.03	15.49	14.43	18.19	11.87	12.89
Digested energy	(")	89.47	98.79	81.56	86.12	90.57	93.14
% of GE	(%)	87.30	86.45	84.97	82.57	88.42	87.84
Urinary energy	(kcal/day)	3.02	5.89	7.47	5.97	5.38	5.04
Metabolizable energy	(")	86.45	92.90	74.09	80.15	85.19	88.11
% of GE	(%)	84.34	81.13	77.19	76.85	83.17	83.10

IV. 요약

실험식이의 에너지수준은 저에너지 (3,200kcal/kg) 중에너지 (3,600kcal/kg), 고에너지 (4,000kcal/kg) 로 달리했으며, 저단백질(15%), 중단백질(25%), 고단백질(35%)의 3수준으로 하고, 지방수준은 ME 3,600kcal/kg에 대해서 저지방(10%), 중지방(20%), 고지방(40%)의 3수준으로 정하고 나머지 에너지는 전분과 포도당으로 보충한 9종의 식이에 대한 대사실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고형물 조단백질 조지방, 탄수화물의 소화율은 저에너지 수준에서 중·고에너지 수준에서보다 훨씬 낮았으며, 중·고에너지 수준 사이에 큰 차이가 없었다. 단백질 수준이 높아질수록 고형물과 탄수화물의 소화율은 약간씩 감소되는 경향이였으며, 단백질의 소화율은 증가되는 경향이였다. 조지방의 소화율은 식이 단백질의 영향을 받지 않았으나 에너지 수준이 높을 때 즉 식이에 포함된 지방함량이 높을때 증가되었으며 암수 모두 같은 경향을 보였다. 각 영양소의 소화율은 고형물 약 83%, 조단백질 90%, 조지방 96%, 탄수화물 93%로서 단백질과 에너지 수준에 따라 거의 차이가 없었으며 암수 간에는 차이가 없었다.

2. 질소 축적율은 암수 모두 식이 단백질 수준이 증가할수록 감소되는 반면 식이 에너지 수준이 증가할수록 증가되는 것을 볼 수 있었다. 따라서

단백질 수준은 NRC 사양 표준치에서, 에너지 수준은 그 이상에서 암수 모두 질소 축적율이 가장 높았다.

3. 에너지 이용율은 암쥐의 경우 식이 단백질 수준이 증가할수록 감소되었으며 식이 에너지 수준이 증가할수록 증가되었다. 숫쥐의 경우 식이 단백질 수준이 증가함에 따라 감소되었으나, 암쥐와는 달리 중에너지 수준에서 가장 높았다. 즉 단백질 수준은 암수 모두 NRC 사양 표준치에서 에너지 대수율이 가장 높았으나 에너지 수준은 암쥐의 경우 NRC 사양 표준치 이상에서, 숫쥐의 경우 NRC 사양 표준치에서 각각 가장 높았다.

V. 문헌

1. Howarth, R.E.: *J. Nutr.*, **102**, 37 (1972)
2. Leveille, G.A. and Hanson, R.W.: *J. Lip. Res.*, **7**, 46 (1966)
3. Suzuki, H., Goshi, H. and Sugisawa, H.: *J. Nutr.*, **105**, 90 (1975)
4. Nakano, K. and Ashido, K.: *J. Nutr.*, **100**, 208 (1970)
5. Nakano, K., Katsuzaki, M., Mizutani, M. and Ashida, K.: *J. Nutr.*, **102**, 283 (1972)
6. Swift, R.W., Barron, G.P., Fisher, K.H., Cowan, R.L., Hartsook, E.W., Hershberger, Y.V., Keck, E. and King, R.P.: *J. Nutr.*, **68**, 281 (1958)

7. Hegsted, D.M. and Chang, Y.O.: *J. Nutr.*, **87**, 19 (1965)
8. Hartsook, E.W. and Hershberger, T.V.: *J. Nutr.* **81**, 209 (1963)
9. NRC NAS, Atlas of nutritional data on United States and Canada feeds, National Academy of Science, (1980)
10. 장유경, 한인규 : 한국영양식량학회, **11** (1), 57 (1982)
11. Renner, R and Hill, F. A. : Proc. Cornell Nutrition Conference, Ithaca, New York, 95 (1958)
12. Young, R. J. : Proc. Cornell Nutrition Conference, Ithaca, New York, 95 (1961)
13. A.O. A. C., Official method of analysis of the association of official analytical chemists, 12ed., (1980)
14. 한인규 : 한국농화학회지, **7**, 29 (1966)
15. 장유경, 한인규 : 한국영양학회지, **9** (1), 51 (1980)
16. Forbeo, E.B., Swift, R.W., James, W.H., Bratzer, J.W. and Black, A.: *J. Nutr.*, **31**, 387 (1946)
17. 유춘희, 김숙희 : 한국영양학회지, **10** (3), 10 (1977)
18. Nakano, K. and Ashida, K.: *J. Nutr.*, **100**, 208 (1970)
19. Muramatsu, K. and Ashida, K.: *J. Nutr.*, **76**, 143 (1962)
20. Ozelci, A., Romsos, D.R. and Leveille, G.A.: *J. Nutr.*, **107**, 1768 (1977)
21. Hartsook, E.W. and Hershberger, T.V.: *J. Nutr.*, **81**, 209 (1963)