

저항전분이 흰쥐의 에너지 영양소 이용효율에 미치는 영향

오지연 · 최인선 · 박소앙 · 이성숙 · 오승호[§]

전남대학교 가정대학 식품영양학과

Effects of Resistant Starch on Availability of Energy Nutrients in Rats

Oh, Ji-Yeon · Choi, In-Seon · Park, So-Ang

Lee, Sung-Suk · Oh, Seung-Ho[§]

Department of Food and Nutrition, College of Home Economics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the nutritional effects of resistant starch, cellulose and pectin on growth rate, metabolic energy and apparent digestibility in rats. Forty eight male Sprague-Dawley rats were randomly assigned to six dietary treatments. Rats were fed, ad libitum one of six experimental diets: 5% of resistant starch(RS), 5% of cellulose(CE), 5% of pectin(PT), 2.5% resistant starch and 2.5% cellulose(RS + CE), 2.5% resistant starch and 2.5% pectin(RS + PT), and 2.5% cellulose and 2.5% pectin (CE + PT) during 4 weeks. The results obtained were as follows: body weight gain were higher in groups RS and CE, compared with that in the group PT, where other groups such as RS + CE, RS + PT and CE + PT showed no significant differences to the RS group. Food intake and food efficiency ratio showed the same patterns. Metabolic energy were similar in the RS and CE, and was the lowest in the PT among all the groups. The metabolic energy in those groups with RS added to their diets was significantly higher whereas the metabolic energy in the group CE + PT was significantly low. Apparent digestibility of protein was significantly higher in the group RS, compared with the groups CE and PT. Apparent digestibility of mixed dietary fiber groups such as the RS + CE, RS + PT and CE+PT group were also higher compared with the group PT. Apparent digestibility of lipid were significantly higher in the groups RS, CE and PT. Apparent digestibility of lipid in the mixed pectin groups such as the RS + PT and CE + PT recorded the lowest, while that of the group RS + CE was significantly high. From above results, following was concluded: The growth rate, metabolic energy and apparent digestibility of protein and lipid of group RS were significantly higher in comparison with the group PT, while availability of energy nutrients of group CE was similar to that of the group RS. Also resistant starch fed with pectin(RS + PT) seemed to have increased the growth rate and the apparent digestibility of protein compared with those of the group PT fed with pectin(PT) alone, however RS + PT seemed to have the apparent digestibility of lipid. (*Korean J Nutrition* 33 (4) : 365~373, 2000)

KEY WORDS: resistant starch, cellulose, pectin, digestibility, energy nutrients, metabolic energy.

서론

우리나라의 경제성장과 국민소득의 향상으로 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 과거에는 생리적 욕구의 충족을 위한 양적인 식생활이었으나 최근에는 건강과 장수를 위해 식품을 선택하는 질적인 식생활로 변천되고 있다. 그러나 이러한 식생활 양상의 변화는식이섬유 섭취량은 줄어들고 지방의 섭취가 꾸준히 증가함으로써 주요 사망원인에도 영향을 미쳐서 비만, 심장순환기계 질환의 이환율 및 대장암의 발병율을

채택일 : 2000년 6월 1일

[§]To whom correspondence should be addressed.

과거에 비하여 증가시키는 요인으로 지적되고 있다.

식이섬유는 인간의 소화효소에 의하여 가수분해되지 않는 식물세포의 잔여물로 정의되며 종류에 따라 소화관에 서 나타내는 생리효과와 그 대사적 기능도 다르다. 일반적으로 수용성 식이섬유는 불용성 식이섬유에 비하여 보수력이 커서, 겔을 형성하여 점성이 더 높아 식후 반복감을 지속시키고 에너지 섭취량을 감소시켜 체중감소를 더 용이하게 하며 내당능력을 개선시킨다. 불용성 식이섬유는 배설물의 부피를 늘려 배변량 및 그 횟수를 증가시켜 정상작용을 돕는다. 섬유소와 같은 불용성 식이섬유를 식이중에 5% 첨가시 혈중 콜레스테롤 농도에 영향을 미치지 않거나 오히려 낮아진다는 보고¹⁾가 있는데 반하여 베타²⁾ 구아검³⁾

등 수용성 식이섬유는 5%와 7% 첨가시킬 때 콜레스테롤 농도를 낮춘다고 보고된 바 있다. Zhang 등¹²⁾은 귀리의 식이섬유가 단백질과 지방의 배설을 증가시킴으로써 외견적 소화율을 감소시킨다고 한 바 있으나, Wisker 등¹³⁾은 보리의 식이섬유는 단백질과 지방의 소화율에는 유의적인 영향을 미치지 않는다고 하였다.

이상에서와 같이 실험에 사용된 식이섬유 종류에 따라서 서로 다른 생리효과를 나타낼 뿐만 아니라 함유된 식품에 따라 일부 상반된 영양효과들이 주장되고 있는 바, 정제된 식이섬유 및 이들 식이섬유의 혼합별 영양효과를 밝히는 것은 큰 의미가 있다고 본다.

한편 근래 인체내에서 소화, 흡수되지 않는 전분¹⁴⁾으로 생리활성 물질, 기능성 물질로서 불용성 식이섬유로 분류되는 저항전분에 대한 관심이 높아지고 있다. 저항전분은 분변을 통한 콜레스테롤 배설을 증가¹⁵⁾시키고, 대장에서 미생물에 의하여 발효되어 단쇄지방산을 생성¹⁶⁾¹⁷⁾시킴으로써 대장암의 예방¹⁸⁾¹⁹⁾ 및 혈장 콜레스테롤과 중성지방 농도를 감소²⁰⁾²¹⁾시킴으로 심혈관계질환의 예방 및 치료에 대한 가능성이 보고되고 있다. 또한 저항전분 Type II와 III는 분변내 질소 배설을 증가시킨다는 보고²²⁾와 저항전분 Type II²³⁾ (50g의 생감자 전분) 급여시 대사에너지량이 유의적으로 감소하였다는 보고에 반하여 옥수수 전분 및 밀 전분내에 있는 저항전분 Type I을 급여시킨 결과 대사에너지량에 유의적인 영향을 주지 않았다는 보고²⁴⁾²⁵⁾도 있다.

그러나 지금까지 저항전분의 체내 이용에 대한 연구는 자연식품내에 있는 저항전분의 형태별 연구가 주로 되고 있으며, 저항전분을 제조하여 이를 첨가급식 시켰을 때 또는 다른 식이섬유를 혼합했을 때 성장률, 대사에너지량과 단백질 및 지방의 외견적 소화율에 미치는 영향에 대하여 연구한 보고는 매우 드문 실정이므로 이 부분에 대한 연구가 필요하다고 본다.

이에 본 연구는 수컷 흰쥐를 대상으로 4주간 amylo-maize VII로부터 제조한 저항전분(Type III)과 섬유소 및 펙틴을 총 식이의 5%로 단독 혹은 2.5%씩 상호 혼합 급여 시켰을 때 성장률, 대사에너지량과 단백질 및 지방의 소화, 흡수율을 측정함으로써 저항전분(Type III)의 첨가급식이 체내 에너지 영양소 이용효율에 미치는 영향을 조사하였다.

연구방법

1. 저항전분의 제조 및 함량 측정

문세훈²⁶⁾의 방법에 amylo-maize VII을 물과 1 : 3.5의 비율로 조절하여 멸균병에 넣고 121°C autoclave(Vision

Co LTD., Korea)에서 1시간 동안 호화시켰다. 호화액을 실온에서 냉각시킨 후 4°C에서 1일간 저장하였고, 가열-냉각 헹수를 4회까지 반복한 다음, 냉동건조기(Freeze dryer, Il-Sin Engineering Co, Korea)에서 냉동건조 시킨 후 40 mesh 체를 통해 얻었다. 냉동건조한 amylo-maize VII중 저항전분의 함량은 효소-중량법²⁷⁾을 변형하여 측정하였으며 그 함량은 30%였다.

2. 실험군과 실험식이

본 실험에서는 카제인(Junsei Chemical Co., Ltd)을 단백질 급원으로 사용하였고, 탄수화물 급원으로는 수용성 전분(Ducksan Pure Chemicals Co., Ltd)을, 지방 급원으로는 옥수수 기름(corn oil)과 돈지(lard)를 사용하였다. 식이 조성은 Table 1과 같았다.

본 실험에서 실험군은 저항전분과 섬유소 또는 펙틴만을 첨가한 단일식이 3개군 즉, 저항전분 식이군(RS), 섬유소 식이군(CE) 및 펙틴 식이군(PT)과 3종의 혼합식이군 즉, 저항전분 + 섬유소 혼합식이군(RS + CE), 저항전분 + 펙틴 혼합식이군(RS + PT) 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군(CE + PT)등 모두 6개군으로 설정하였다.

3. 실험동물의 사육

실험동물은 생후 6주령의 Sprague-Dawley 수컷 흰쥐를 각 군당 8마리씩 총 48마리를 사용하였으며 본 실험 전에 앞서 1주간의 적응기간을 거친 후 4주 동안 식이를 급여하였다.

사육실의 온도는 20 ± 2°C 전후를 유지시켰으며 명암은 12시간 주기(07 : 00~19 : 00)로 조절하였고 식이와 물은 제한없이 공급하였다.

4. 식이섭취량 및 체중의 측정

실험기간 동안의 식이는 매일 아침 일정한 시간에 급여하였고 이틀에 한번씩 식이 섭취량을 측정하였다. 식이 섭취량에 대한 오차를 최소화하기 위해 손실량을 측정하여 보정하였다. 체중은 3일에 한번씩 일정한 시간에 측정하였다. 식이효율(food efficiency ratio; PER)은 다음과 같이 실험 전 기간의 체중증가량을 같은 기간 동안에 섭취한 식이량으로 나누어 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{식이효율(food efficiency ratio; PER)} = \frac{\text{체중증가량(g)}}{\text{식이 섭취량(g)}}$$

5. 시료의 수집

1) 변과 뇨의 수거

각 실험동물의 변은 실험동물 사육 마지막주에 3일간 수

Table 1. Composition of the experimental diets(%)

Groups ¹⁾ ingredients	RS	CE	PT	RS + CE	RS + PT	CE + PT
Soluble starch	67	67	67	67	67	67
Casein	12	12	12	12	12	12
Corn oil	4	4	4	4	4	4
Lard	8	8	8	8	8	8
Salt mixture ²⁾	3	3	3	3	3	3
Vitamin mixture ³⁾	1	1	1	1	1	1
Resistant starch	5	-	-	2.5	2.5	-
Cellulose	-	5	-	2.5	-	2.5
Pectin	-	-	5	-	2.5	2.5

1) Groups are RS = Resistant starch group, CE = Cellulose group, PT = Pectin group, RS + CE = Resistant starch + cellulose group, RS + PT = Resistant starch + Pectin group, CE + PT = Cellulose + Pectin group

2) Composition of salt mixtures: Ca lactate 35.15mg, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 14.60mg, K₂HPO₄ 25.78mg, NaH₂PO₄·H₂O 9.38mg, NaCl 4.67mg, MgSO₄(anhydrous) 7.19mg, Fe citrate 3.19mg

3) Composition of vitamin mixtures: Thiamin HCl 600mg, Riboflavin 600mg, Pyridoxine HCl 700mg, Nicotinic acid 3g, D-Calcium pantothenate 1.6g, D-Biotin 20mg, Cyanocobalamin 1mg, Retinyl palmitate or acetate 400,000IU, 1-α-Tocopheryl acetate 5,000IU, Cholecalciferol 2.5mg, Menadione 5.0mg, Sucrose finely powdered to make 1,000g

거하여 이물질을 제거하고 24시간 풍건시켜 건중량을 칭량하였고 그 후 분석 시까지 -20℃에 보관하였다. 그리고 수거한 뇨는 부패를 방지하기 위해 1ml의 톨루엔(toluene)을 넣은 후 3,000rpm에서 5분간 원심분리하여 상등액을 취해 분석 시까지 -20℃에 보관하였다.

2) 혈액의 채취

실험기간 종료일에 14시간 절식시킨 후 ethyl-ether로 마취시키고 심장 천자법으로 혈액을 채취하여 EDTA로 항응고 처리된 시험관에 받았다.

3) 장기의 채취

채혈 후 실험동물로부터 간과 신장을 적출하여 생리 식염수로 세척하고 blotting한 후 무게를 측정하였다.

6. 시료의 분석

1) 식이와 변의 에너지 측정

각 군별 식이 및 변 시료의 일정량을 분말처리하여 에너지를 bomb calorimeter(Yoshia Seisakusho, Nenken type, Japan)를 이용하여 측정하였다. 식이로부터 측정된 총 에너지 섭취량(gross energy: GE)에서 변(fecal energy: FE)과 뇨를 통한 에너지(urinary energy: UE) 손실량을 감하여 대사에너지량(metabolizable energy: ME)를 산출하였다.

즉, 대사에너지(metabolizable energy) = 총 에너지 섭취량 - (변 에너지 + 뇨 에너지)

뇨 에너지값은 한(1996)에 의하여 제안된 다음과 같은 회귀식에 따른 계산치를 사용하였다.

Y = 8.924X + 0.182(X: urinary nitrogen, Y: urinary energy)

2) 변과 뇨의 조단백질 측정

변과 뇨중의 질소함량은 micro-Kjeldahl법²⁶⁾에 의하여 측정하였다. 일정량의 변과 뇨를 취하여 분해병에 분해촉매제와 진한황산을 넣은 후 가열분해 하였다. 이를 냉각시켜 50ml로 정량한 후 이중 3ml을 취해 Kjeldahl 증류장치에 넣고 30% NaOH 3ml을 가한 다음 4% boric acid를 넣은 수기에 증류하였다. 이 증류액을 0.02N H₂SO₄로 당량점까지 적정하여 질소함량을 측정하여 6.25를 곱하여 조단백질량으로 환산하였다. 외견적 단백질 소화율(apparent protein digestibility)은 총 단백질 섭취량에 대한 변으로 배설되는 단백질의 백분율로 구하였다.

단백질 효율(protein efficiency ratio: PER)은 전 기간의 체중증가량을 같은 기간 동안 섭취한 단백질량으로 나누어 다음과 같이 산출하였다.

단백질 효율(protein efficiency ratio: PER) = 체중증가량(g)/단백질 섭취량(g)

3) 변의 조지방 측정

변중의 총 지질 농도는 Soxhlet법²⁶⁾에 의해 시료 약 5g을 원통여과지에 넣고서, Soxhlet 추출기를 ethyl-ether로 순환시켜 에테르 가용물을 추출하여 수기에 모은 다음, 에테르를 수거한 후 건조하여 추출물의 중량을 칭량하고 조지방의 함량으로 하였다.

외견적 지방 소화율(apparent lipid digestibility)은 총 지방 섭취량에 대한 변으로 배설되는 지방의 백분율로 구하였다.

7. 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 SAS(Statistical Analysis System) 통계모델을 이용하여 각 실험군 별로 평균치와

Table 2. Initial and final body weight, body weight gain, food intake and food efficiency ratio of rats fed the experimental diets for 4 weeks

Groups ¹⁾	Initial body weight(g)	Final body weight(g)	Body weight gain(g/day)	Daily food intake(g/day)	Food efficiency ratio
RS	95.15 ± 1.87	202.00 ± 9.51 ^a	4.32 ± 0.39 ^a	17.81 ± 0.38 ^b	0.27 ± 0.03 ^{bc,d}
CE	95.93 ± 2.28	205.55 ± 7.34 ^a	4.43 ± 0.31 ^a	19.08 ± 0.34 ^a	0.24 ± 0.02 ^{cd}
PT	97.00 ± 2.70	162.30 ± 4.63 ^b	2.71 ± 0.27 ^b	12.98 ± 0.23 ^c	0.22 ± 0.02 ^d
RS + CE	94.85 ± 2.36	206.65 ± 7.89 ^a	4.90 ± 0.28 ^a	18.25 ± 0.48 ^{ab}	0.32 ± 0.02 ^{ab}
RS + PT	92.79 ± 1.49	201.70 ± 6.80 ^a	4.72 ± 0.20 ^a	17.53 ± 0.53 ^b	0.34 ± 0.02 ^a
CE + PT	96.13 ± 0.90	193.73 ± 7.56 ^a	4.36 ± 0.33 ^a	17.87 ± 0.42 ^b	0.29 ± 0.03 ^{ab}

1) See the legend of Table 1

Each value is mean ± standard error

Values in the same column bearing different superscripts are significantly different among the experimental groups(p < 0.05)

Table 3. Weights of liver and kidney and 24-h fecal output of rats fed the experimental diets for 4 weeks

Groups ¹⁾	Liver(g)	Liver(g/100g BW)	Kidney(g)	Kidney(g/100g BW)	Feces, dried(g/day)
RS	6.83 ± 0.30 ^a	3.40 ± 0.08	1.48 ± 0.07	0.74 ± 0.02	5.58 ± 0.32 ^b
CE	7.09 ± 0.26 ^a	3.47 ± 0.14	1.34 ± 0.05	0.65 ± 0.02	6.85 ± 0.38 ^a
PT	5.52 ± 0.29 ^b	3.40 ± 0.14	1.25 ± 0.08	0.67 ± 0.10	3.96 ± 0.29 ^c
RS + CE	7.52 ± 0.40 ^a	3.63 ± 0.12	1.38 ± 0.05	0.70 ± 0.02	7.33 ± 0.46 ^a
RS + PT	7.36 ± 0.27 ^a	3.65 ± 0.08	1.44 ± 0.03	0.72 ± 0.02	7.01 ± 0.23 ^a
CE + PT	7.07 ± 0.24 ^a	3.68 ± 0.15	1.43 ± 0.05	0.74 ± 0.02	7.75 ± 0.26 ^a

1) See the legend of Table 1

Each value is mean ± standard error

Values in the same column bearing different superscripts are significantly different among experimental groups(p < 0.05)

표준오차를 구하였고, 실험군간의 비교는 ANOVA로 분석 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율

6종의 실험식이를 4주간 급여한 결과 실험동물의 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율은 Table 2와 같다.

체중증가량은 저항전분 식이군이 4.32 ± 0.39 g/day, 섬유소 식이군이 4.43 ± 0.31 g/day, 펙틴 식이군은 2.71 ± 0.27 g/day로서 펙틴군이 현저하게 낮았다(p < 0.05). 저항전분군 + 섬유소 혼합식이군, 저항전분 + 펙틴 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군의 체중증가량은 각각 4.90 ± 0.28 g/day, 4.72 ± 0.20 g/day 및 4.36 ± 0.33 g/day로 각 혼합식이군간에 유사하였는데 펙틴은 단일 식이군보다 저항전분과 섬유소를 혼합급여 함으로써 체중증가량이 현저하게 높아졌다(p < 0.05).

식이섭취량은 저항전분 식이군이 17.81 ± 0.38 g/day로 섬유소 식이군의 19.08 ± 0.34 g/day에 비해 현저하게 적었고(p < 0.05) 펙틴 식이군은 12.98 ± 0.23 g/day로 식이섭취량이 가장 적었다(p < 0.05). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군, 저항전분 + 펙틴 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 각각 18.25 ± 0.48 g/day, 17.53 ± 0.53 g/day

및 17.87 ± 0.42 g/day로 저항전분 식이군과 유사한 경향이였다.

식이효율은 저항전분 식이군이 0.27 ± 0.03 으로 섬유소 식이군의 0.24 ± 0.02 와 유사하였으나 펙틴 식이군은 0.22 ± 0.02 로 큰 차이는 아니지만 가장 낮았다. 그리고 각 군간의 차이는 없었으나 식이섬유 혼합군들은 식이효율이 높아지는 경향이였다.

de Deckere 등²¹⁾은 저항전분의 첨가수준을 다르게 하여 급여하였을 때 식이섭취량과 체중증가량에 유의적인 차이가 없었다고 보고하였으며, Younes 등²⁰⁾은 저항전분 Type II를 2.5% 급여하여 대조군과 비교시 식이섭취량은 현저하게 높았으나 체중증가량에는 차이가 없었다고 보고하였다. 본 실험의 결과 수용성 식이섬유인 펙틴 식이군의 체중증가량이 다른 군에 비해 현저하게 낮았는데 펙틴 식이군의 낮은 체중증가량과 식이효율에 대해 펙틴이 포만감을 증대시켜 식이섭취량을 감소시키고 결과적으로 체중증가율을 감소^{20,21)}시킨다는 보고와 관련된 현상으로 사료된다. 섬유소를 총 식이에 6%를 첨가한 결과 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율이 대조군과의 차이가 없었다는 결과가 보고²¹⁾되었는데 첨가수준에 약간의 차이는 있지만 본 실험의 결과와는 일치하는 경향이였다. 그리고 저항전분과 섬유소 및 펙틴의 혼합시 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율이 유의적이지는 않았지만 단일군에 비해 증가되는 경향으로 특히 저항전분과 펙틴의 혼합군에서 펙틴 단일군에 비해 증가되

는 점에 주목할 만하다. 이는 불용성인 저항전분의 혼합으로 포만감의 감소가 식이 섭취량을 증가시켰기 때문으로 사료된다.

2. 장기의 무게

본 실험에서 채취한 장기 무게를 측정된 결과는 Table 3과 같았다.

본 실험에서 간의 무게는 저항전분 식이군의 6.83 ± 0.30g에 비하여 펙틴 식이군은 5.52 ± 0.29g으로 현저하게 낮았으나(p < 0.05) 섬유소 식이군 및 다른 혼합식이군과의 차이는 없었다. 그러나 체중으로 간의 무게를 나눈 값은 저항전분 식이군과 펙틴 식이군이 각각 100g당 3.40 ± 0.08g과 3.40 ± 0.14g으로 섬유소 식이군 및 다른 혼합식이군과의 차이는 없었다. 왕수경 등³²⁾에 의하면 텍스트린과 펙틴을 첨가 급식시켰을 때 펙틴 식이군에서 간의 무게가 낮았다고 보고 한바 있으나 식이섬유 섭취에 의해 간의 무게는 유의적인 영향을 받지 않았다는 다소 상반된 보고¹⁰⁾도 있다.

신장의 무게는 저항전분 식이군의 1.48 ± 0.07g에 비하여 각 식이군간에 차이는 없었고 체중으로 신장의 무게를 나눈 값도 저항전분 식이군의 100g당 0.74 ± 0.02g에 비하여 각 식이군간에 차이는 없었다. 이해성 등⁶⁾의 보고에서는 당뇨병쥐의 신장무게는 모든 당뇨 동물에서 대조군에 비해 약 2배 정도의 비대현상을 보였으나 다시마와 미역 투여군 및 펙틴군은 다른 당뇨군에 비해 낮은 신장 비대를 보였다.

본 실험에서는 소장과 대장의 무게를 측정하지는 않았지만 이현자와 황은희³³⁾의 보고에 의하면 알긴산과 섬유소 및 펙틴을 섭취한 흰쥐의 소장과 대장의 무게는 식이섬유 종류에 따라서는 차이가 없었고, 식이섬유 함량별 차이가 있었다고 보고하였다. 그러나 Moundras 등³⁴⁾은 발효되는 다당류(fermentable polysaccharides)가 대장의 무게를 증가시켰다고 하였고 Younes 등³⁵⁾은 저항전분이 대장의 무게를 증가시켜서 대장내 pH를 낮추고 단쇄지방산(short-

chain fatty acid; SCFA)의 생성을 증가시켰다고 보고 한 바 있다.

이상의 결과로 보아 식이섬유의 종류가 신장 장애나 소화기 장기의 증량에는 영향을 미치지나 정상상태에서 간과 신장의 무게에는 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

3. 변의 무게

본 실험에서 채취한 변의 건조 무게는 Table 3과 같다.

일반적으로 불용성 식이섬유는 용적증가 효과가 크므로 배설물의 보수성을 향상시켜 변의 용적 및 무게를 증가시키고 변량 및 그 횟수를 증가 시킴으로써 정장작용을 돕는 것으로 보고⁷⁾되고 있다. 또한 불용성으로 분류되는 저항전분은 형태에 따라 변 배설량이 달라 저항전분 Type III의 경우 더 많다는 보고^{31, 36)}가 있는가 하면, 저항전분 Type III를 10.33g과 0.86g을 각각 급여해도 변량과 그 횟수에 군간에 차이가 없었다는 보고³⁶⁾도 있다.

본 실험에서 변 배설량은 저항전분 식이군의 5.58 ± 0.32g/day에 비하여 섬유소 식이군은 6.85 ± 0.38g/day로 현저하게 많았으나, 적었다(p < 0.05). 펙틴 식이군은 3.96 ± 0.29g/day로 현저하게 낮았다(p < 0.05). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군, 저항전분 + 펙틴 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 각각 7.33 ± 0.46g/day, 7.01 ± 0.23g/day 및 7.75 ± 0.26g/day로 식이섬유를 혼합함에 의해 변 배설량은 현저하게 증가하였다(p < 0.05).

대변의 무게는 대장내 발효 후 수분 보유력에 따라 차이를 나타내는데³⁷⁾ 본 실험결과에서 수용성 식이섬유인 펙틴에 비해 저항전분과 섬유소를 첨가한 군들에서 분변배설량이 현저하게 높게 나타난 것은 펙틴이 수용성 식이섬유인데 비해 저항전분과 섬유소는 보수성이 높은 불용성 식이섬유가 상당량 함유되어 있기 때문인 것으로 사료된다.

4. 에너지 섭취량, 배설량 및 대사에너지량

에너지 섭취량, 변과 뇨를 통한 에너지 배설량 및 대사에너지량은 Table 4와 같았다.

Table 4. Energy intake, fecal energy, urinary energy and apparent energy digestibility of rats fed the experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Energy intake	Fecal energy	Urinary energy	Metabolizable energy
RS	87.89 ± 1.86 ^b	9.11 ± 0.63 ^b	0.55 ± 0.06	78.23 ± 1.81 ^b
CE	95.63 ± 1.70 ^a	11.54 ± 1.57 ^{ab}	0.51 ± 0.05	83.58 ± 1.68 ^{ab}
PT	59.36 ± 1.06 ^d	5.73 ± 1.31 ^c	0.42 ± 0.03	53.22 ± 1.14 ^d
RS + CE	98.24 ± 2.60 ^a	13.62 ± 1.16 ^a	0.60 ± 0.06	84.01 ± 2.49 ^a
RS + PT	98.58 ± 2.98 ^a	13.39 ± 0.98 ^a	0.66 ± 0.05	84.52 ± 2.96 ^a
CE + PT	76.73 ± 1.82 ^c	14.57 ± 0.71 ^a	0.57 ± 0.08	61.60 ± 1.83 ^c

1) See the legend of Table 1

Each value is mean ± standard error

Values bearing different superscripts are significantly different among experimental groups(p < 0.01)

에너지 섭취량은 저항전분 식이군의 $87.89 \pm 1.86\text{kcal/day}$ 에 비하여 섬유소 식이군은 $95.63 \pm 1.70\text{kcal/day}$ 로 현저하게 높았고($p < 0.01$) 펙틴 식이군은 $59.36 \pm 1.06\text{kcal/day}$ 로 현저하게 낮았다($p < 0.05$). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군과 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 각각 $98.24 \pm 2.60\text{kcal/day}$ 와 $98.58 \pm 2.98\text{kcal/day}$ 로 저항전분 단일군에 비해 현저하게 높았으며($p < 0.01$) 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 섬유소의 혼합으로 펙틴 단일군에 비해 현저하게 높았다($p < 0.01$).

변중 에너지 배설량은 저항전분 식이군의 $9.11 \pm 0.63\text{kcal/day}$ 에 비하여 섬유소 식이군은 $11.54 \pm 1.57\text{kcal/day}$ 로 유사하였는데 펙틴 식이군은 $5.73 \pm 1.31\text{kcal/day}$ 로 현저하게 낮았다($p < 0.01$). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군, 저항전분 + 펙틴 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군의 변중 에너지 배설량은 각각 $13.62 \pm 1.16\text{kcal/day}$, $13.39 \pm 0.98\text{kcal/day}$ 및 $14.57 \pm 0.71\text{kcal/day}$ 로 단일 식이섬유군에 비해 현저하게 높았다($p < 0.01$).

노중 에너지 배설량은 저항전분의 $0.55p < 0.06\text{kcal/day}$ 에 비하여 각 식이군간에 차이가 없었다.

저항전분 Type III를 5% 급여시 대사에너지량이 감소하였다는 보고²⁹⁾와 밀전분을 열 처리한 저항전분의 소화율을 측정할 실험에서 식이에 저항전분의 양이 증가함에 따라 에너지 이용율(energy utilization)이 감소하였고 결과적으로 열 처리하는 동안 형성된 저항전분은 쉽게 발효되는 식이섬유와 유사하였다고 보고 하였다. 또한 선행 보고에 의하면 펙틴³⁰⁾과 섬유소³⁰⁾를 식이에 첨가시켰을 때 대사에너지량이 유의적으로 감소한다고 하였으며 식이섬유의 첨가는 대변 에너지 배설량을 증가시키는 주요 원인³⁶⁾이고, 발효를 통해 얻어지는 에너지보다 대변 에너지 손실이 더 커서 대사에너지량을 감소시킨다는 보고³¹⁾도 있다.

본 실험에서 대사에너지량(metabolizable energy: ME)은 저항전분 식이군의 $78.23 \pm 1.81\text{kcal/day}$ 에 비하여 섬유소 식이군은 $83.58 \pm 1.68\text{kcal/day}$ 로 유사하였는데 펙틴 식이군은 $53.22 \pm 1.14\text{kcal/day}$ 로 현저하게 낮았다(p

< 0.01). 저항전분+섬유소 혼합식이군, 저항전분 + 펙틴 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군의 대사에너지량은 각각 $84.01 \pm 2.49\text{kcal/day}$, $84.52 \pm 2.96\text{kcal/day}$ 및 $61.60 \pm 1.83\text{kcal/day}$ 로 저항전분 식이군에 비하여 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 비슷하였으나 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 현저히 낮았다($p < 0.01$).

본 실험의 결과 수용성 식이섬유인 펙틴 식이군의 대사에너지량이 다른 군에 비해 현저하게 낮았는데 펙틴 식이군의 낮은 대사에너지량에 대해 펙틴이 포만감을 증대시켜 식이섭취량을 감소시키고 결과적으로 체중증가를 감소²⁹⁾³⁰⁾시킨다는 보고와 관련된 현상으로 사료된다. 그리고 저항전분과 섬유소 및 펙틴의 혼합시 대사에너지량이 유의적이지는 않았지만 단일군에 비해 증가되는 경향으로 특히 저항전분과 펙틴의 혼합군에서 펙틴 단일군에 비해 증가되는 점에 주목할 만하다. 이는 불용성인 저항전분의 혼합으로 포만감의 감소가 식이섭취량을 증가시켰기 때문으로 사료된다.

5. 단백질의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율

단백질의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율은 Table 5와 같다.

단백질 섭취량은 저항전분 식이군의 $2.29 \pm 0.13\text{g/day}$ 에 비하여 섬유소 식이군은 $2.41 \pm 0.11\text{g/day}$ 로 유사하였는데 펙틴 식이군은 $1.52 \pm 0.06\text{g/day}$ 로 현저하게 낮았다($p < 0.05$). 저항전분 + 펙틴 혼합식이군, 저항전분 + 섬유소 혼합식이군 및 저항전분 + 펙틴 혼합식이군의 단백질 섭취량은 각각 $2.65 \pm 0.07\text{g/day}$, $2.50 \pm 0.14\text{g/day}$ 및 $2.53 \pm 0.11\text{g/day}$ 로 저항전분 식이군과 유사하였다.

단백질의 변중 배설량은 저항전분 식이군의 $0.25 \pm 0.02\text{g/day}$ 에 비하여 펙틴식이군은 $0.21 \pm 0.01\text{g/day}$ 로 유사한 경향이였으나 다른 식이군들은 모두 현저하게 높았다($p < 0.05$).

단백질의 외견적 소화율(apparent protein digestibility: APD)은 저항전분 식이군의 $89.12 \pm 0.80\%$ 에 비하여 섬유소 식이군 및 펙틴 식이군은 각각 $86.75 \pm 0.58\%$ 및

Table 5. Daily protein intake, fecal protein and apparent protein digestibility of rats fed the experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Dietary protein(g/day)	Fecal protein(g/day)	Apparent digestibility(%)	Protein efficiency ratio
RS	2.29 ± 0.13^b	0.25 ± 0.02^b	89.12 ± 0.80^a	0.33 ± 0.03
CE	2.41 ± 0.11^{ab}	0.32 ± 0.01^a	86.75 ± 0.58^{bc}	0.31 ± 0.02
PT	1.52 ± 0.06^c	0.21 ± 0.01^b	85.93 ± 0.61^c	0.32 ± 0.03
RS + CE	2.50 ± 0.14^{ab}	0.30 ± 0.01^a	87.81 ± 0.36^{ab}	0.33 ± 0.02
RS + PT	2.65 ± 0.07^a	0.31 ± 0.02^a	88.23 ± 0.35^{ab}	0.30 ± 0.01
CE + PT	2.53 ± 0.11^{ab}	0.32 ± 0.01^a	87.14 ± 0.58^{bc}	0.30 ± 0.02

1) See the legend of Table 1

Each value is mean \pm standard error

Values in the same column bearing different superscripts are significantly different among experimental groups($p < 0.05$)

85.93 ± 0.61%로 현저하게 낮았다(p < 0.05). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군 및 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 87.81 ± 0.36% 및 88.23 ± 0.35%로 저항전분을 혼합함에 따라 외견적 소화율이 증가하는 경향으로 저항전분 단일군과 유사하였고 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 87.14 ± 0.58%로 섬유소 단일군과 유사하였다.

Southgate⁴⁰⁾는 식이섬유가 영양소 이용에 관계하는 작용으로 장관에서 식품의 통과 시간에 영향을 주어서 소화, 흡수되는 시간을 짧게할 뿐만 아니라 식이섬유의 용적증가 효과(bulking)와 수분보유력(water-holding capacity) 때문에 장점막 표면쪽에서 소화속도를 떨어뜨린다고 제시하였다. 저항전분 Type II와 저항전분 Type III가 변중으로 단백질 배출을 증가시켰다고 보고^{29,41)}하였는데 이러한 증가는 분변량의 증가와 관련이 되어진다고 하였다. 그리고 무식이섬유, 저항전분 Type III, 섬유소, 펙틴 및 구아검의 외견적 단백질 소화율이 수용성인 펙틴과 구아검 보다 약간 높았으나 무식이섬유와 섬유소 보다 4%가 낮았다고 보고⁴²⁾하였다. Wisker 등⁴³⁾은 식이섬유가 장내 박테리아 합성을 자극시켜 분변에 박테리아로부터 유래한 질소 성분의 분비를 증가시키고, 이것이 단백질의 외견적 소화율을 저하시키는 원인이라고 하였다.

또한 저항전분의 생리적인 영향은 펙틴보다는 섬유소에 가깝지만,⁴⁴⁾ 반면 장기간의 효과는 발효되는 식이섬유와 유사한 성질을 가지고 있으므로⁴⁵⁾ 미생물에 의한 발효가 활발하므로서 저항전분 식이군의 외견적 단백질 소화율이 다른 식이섬유군에 비하여 낮을것으로 추측되나, 본 실험에서 저항전분 식이군의 외견적 단백질 소화율이 펙틴 식이군에 비하여 높은 것은 펙틴이 에너지보다는 단백질에 부정적인 영향을 미쳐서 외견적 소화율을 감소시킨다는 보고⁴⁶⁾와 관련된 현상으로 생각된다.

한편 Wojcik & Delorme⁴⁷⁾에 의하면 섬유소는 비록 단백질의 외견적 소화율을 감소시키지만 단백질 이용에 거의 영향을 주지 않으므로 에너지 섭취를 적당하게 하면 성장에 영향을 미치지 않는다는 보고가 있는데, 본 실험에서도 단백질 효율은 저항전분 식이군의 0.33 ± 0.03과 각 식이섬유군간에 차이가 없었다. 그러나 펙틴을 식이에 5% 이상을 급여할 경우 식욕과 성장장애를 일으킨다는 보고³⁷⁾로 볼 때 단백질의 영양효과를 향상시키기 위하여는 펙틴 단독첨가보다는 저항전분 혹은 섬유소 같은 불용성 식이섬유의 혼합급여가 바람직하다고 생각된다.

6. 지방의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율

지방의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율은 Table 6과 같

Table 6. Daily lipids intake, fecal lipids and apparent lipid digestibility of rats fed the experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Dietary lipids (g/day)	Fecal lipids (g/day)	Apparent digestibility(%)
RS	2.29 ± 0.13 ^b	0.13 ± 0.01 ^c	94.34 ± 0.34 ^a
CE	2.41 ± 0.11 ^{ab}	0.15 ± 0.01 ^c	93.70 ± 0.21 ^a
PT	1.52 ± 0.06 ^c	0.09 ± 0.01 ^d	93.86 ± 0.45 ^a
RS + CE	2.50 ± 0.14 ^{ab}	0.20 ± 0.01 ^b	91.94 ± 0.29 ^b
RS + PT	2.65 ± 0.07 ^a	0.25 ± 0.01 ^a	90.45 ± 0.07 ^c
CE + PT	2.53 ± 0.11 ^{ab}	0.22 ± 0.02 ^b	91.29 ± 0.73 ^c

1) See the legend of Table 1
Each value is mean ± standard error
Values in the same column bearing different superscripts are significantly different among experimental groups(p < 0.05)

았다.

지방 섭취량은 저항전분 식이군의 2.29 ± 0.13g/day에 비하여 섬유소 식이군은 2.41 ± 0.11g/day로 유사하였으나 펙틴 식이군은 1.52 ± 0.06g/day로 현저하게 낮았다(p < 0.05). 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 2.65 ± 0.07g/day로 지방 섭취량이 가장 많았으나 저항전분 + 섬유소 혼합식이군과 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 2.65 ± 0.07g/day와 2.53 ± 0.11g/day로 섬유소 식이군과 유사하였다.

지방의 변중 배설량은 저항전분 식이군의 0.13 ± 0.01g/day에 비하여 섬유소군은 0.15 ± 0.01g/day로 유사하였으나 펙틴 식이군은 0.09 ± 0.01g/day로 현저하게 낮았다(p < 0.05). 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 0.25 ± 0.01g/day로 지방의 변중 배설량이 가장 많았고 저항전분 + 섬유소 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 각각 0.20 ± 0.01g/day 및 0.22 ± 0.02g/day로 단일 식이섬유군에 비하여 현저하게 높았다(p < 0.05).

지방의 외견적 소화율(apparent lipid digestibility: ALD)은 저항전분 식이군의 94.34 ± 0.34%에 비하여 섬유소 식이군 및 펙틴 식이군은 각각 93.70 ± 0.21% 및 93.86 ± 0.45%로 서로 유사하였으나 저항전분+펙틴 혼합식이군, 섬유소 + 펙틴 혼합식이군 및 저항전분 + 섬유소 혼합식이군은 각각 90.45 ± 0.07%, 91.29 ± 0.73% 및 91.94 ± 0.29%로 식이섬유 혼합식이군들은 모두 현저하게 낮았다(p < 0.05).

식이섬유의 섭취증가가 장내에서 지방의 흡수에 변화를 일으켜서 대변내로 지방배출을 증가시켜 지방의 외견적 소화율을 감소시킬수 있다는 가능성들이 보고^{48, 50)}되고 있다. 또한 펙틴과 같은 수용성 식이섬유는 점성이 강하므로 지방 입자를 흡착시킴으로써 지방의 흡수를 저하시켜 지방의 변중 배설량을 증가시키고 지방의 외견적 소화율을 저하시켰다는 연구 결과^{31,52)}를 참고로할 때 본 실험에서는 식이섬유의 농도 차이에 의한 영향은 알수 없으나 수용성 식이섬유

인 펙틴에 불용성 식이섬유의 혼합급여는 지방의 외견적 소화율을 더욱 감소시키는 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 인체내에서 소화, 흡수되지 않는 전분으로, 불용성 식이섬유로 분류되는 저항전분을 첨가급여 시켰을 때 또는 다른 식이섬유와 혼합 급여하였 때 에너지 영양소 이용효율에 관한 효과를 연구하기 위하여 생후 6주된 Sprague Dawley 수컷 흰쥐를 대상으로 4주간 amylo maize VII 으로부터 제조한 저항전분, 섬유소 및 펙틴을 실험식이에 5%씩 단독 또는 2.5%씩 상호 혼합급여 시켰을 때 성장률, 대사에너지량, 단백질 및 지방의 외견적 소화율을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 체중증가량은 저항전분 식이군의 $4.32 \pm 0.39\text{g/day}$ 에 비하여 섬유소 식이군은 $4.43 \pm 0.31\text{g/day}$ 로 유사하였으나 펙틴 식이군은 $2.71 \pm 0.27\text{g/day}$ 으로 현저하게 낮았다($p < 0.05$). 식이섬유 혼합식이군의 체중증가량은 저항전분 식이군 및 섬유소 식이군과 각각 차이가 없었다. 식이섭취량 및 식이효율도 체중증가량과 각각 같은 경향이였다.

2) 대사에너지량은 저항전분 식이군의 $78.23 \pm 1.81\text{kcal/day}$ 에 비하여 섬유소 식이군은 $83.58 \pm 1.68\text{kcal/day}$ 로 유사하였으나 펙틴 식이군은 $53.22 \pm 1.14\text{kcal/day}$ 으로 현저하게 낮았다($p < 0.01$). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군, 저항전분 + 펙틴 혼합식이군 및 섬유소 + 펙틴 혼합식이군의 대사에너지량은 각각 $84.01 \pm 2.49\text{kcal/day}$, $84.52 \pm 2.96\text{kcal/day}$ 및 $61.60 \pm 1.83\text{kcal/day}$ 로 저항전분 식이군에 비하여 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 비슷하였으나 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 현저히 낮았다($p < 0.01$).

3) 단백질의 외견적 소화율은 저항전분 식이군의 $89.12 \pm 0.80\%$ 에 비하여 섬유소 식이군 및 펙틴 식이군은 각각 $86.75 \pm 0.58\%$ 및 $85.93 \pm 0.61\%$ 로 현저하게 낮았다($p < 0.05$). 저항전분 + 섬유소 혼합식이군 및 저항전분 + 펙틴 혼합식이군은 $87.81 \pm 0.36\%$ 및 $88.23 \pm 0.35\%$ 로 저항전분을 혼합함에 따라 외견적 소화율이 증가하는 경향으로 저항전분 단일군과 유사하였고 섬유소 + 펙틴 혼합식이군은 $87.14 \pm 0.58\%$ 로 섬유소 단일군과 유사하였다.

4) 지방의 외견적 소화율은 저항전분 식이군의 $94.34 \pm 0.34\%$ 에 비하여 섬유소 식이군 및 펙틴 식이군은 각각 $93.70 \pm 0.21\%$ 및 $93.86 \pm 0.45\%$ 로 서로 유사하였으나 저항전분 + 펙틴 혼합식이군, 섬유소 + 펙틴 혼합식이군 및 저항전분 + 섬유소 혼합식이군은 각각 $90.45 \pm 0.07\%$, $91.29 \pm 0.73\%$ 및 $91.94 \pm 0.29\%$ 로 식이섬유 혼합식이군들

은 모두 현저하게 낮았다($p < 0.05$).

이상에서와 같이 저항전분 식이군의 성장률, 대사에너지량, 단백질 및 지방의 외견적 소화율의 측정 결과가 펙틴 식이군에 비하여 유의적으로 높았으나 섬유소 식이군과 비슷한 경향으로 보아 흰쥐에서 에너지 영양소에 대한 저항전분의 이용효율은 섬유소와 유사한 것 같으며, 또한 저항전분은 펙틴과의 혼합급여로 펙틴 단일 급여시에 비하여 성장률 및 단백질의 외견적 소화율은 다소 향상시키나 지방의 외견적 소화율은 오히려 저하시키는 것으로 생각된다.

Literature cited

- 1) Recommended dietary allowances for Koreans, 6th revision, The Korean Nutrition Society, Seoul, 1995
- 2) 이흥규. 비만과 관련된 질환. *Korean J Nutrition* 23(5): 341-346, 1990
- 3) Annual report on the cause of death statistics, National statistical office, seoul, 1999
- 4) Trowell H, Southgate DAT, Wolever TMS, Leeds AR, Gassull MA, Jenkins DJA. Letter:Dietary fibre redefined. *Lancet* 1: 1(7966): 967, 1976
- 5) Leeds A.R, Judd PA. Dietary fiber and weight management in dietary fiber, endocrine and metabolism effects:Lente carbohydrate. *Dietary Fiber* 69, Plenum Press, 1992
- 6) Lee HS, Choi MS, Lee YK, Park SH, Kim YJ. A study on the development of high-fiber supplements for the diabetic patients (I)-Effect of seaweed supplementation on the gastrointestinal function and diabetic rats-. *Korean J Nutrition* 29(3): 286-295, 1996
- 7) Gordan TD. The importance of dietary fiber in human nutrition and health. *Kor J Nutr* 25(1): 75-76, 1992
- 8) Park SH, Lee YK, Lee HS. The effect of dietary fiber feeding on gastrointestinal functions and lipid and glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutrition* 27(4): 311-322, 1994
- 9) Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA. Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J Nutr* 121(4): 431-437, 1991
- 10) Garcia Diez F, Garcia Mediavilla V, Bayon JE, Gonzalez Gallego J. Pectin feeding influences fecal bile acids excretion, hepatic bile acid and cholesterol synthesis and serum cholesterol in rats. *J Nutr* 126(7): 1766-1771, 1996
- 11) Ahn HS, Kwon JR, Lee SS. Effect of dietary lipids and guar gum on lipid metabolism in ovariectomized rats. *Korean J Nutrition* 30(10): 1123-1131, 1997
- 12) Zhang JX, Lundin E, Hallmans G, Adlercreutz H, Andersson H, Bosaesus I, Aman P, Stenling R, Dahlgren S. Effect of rye bran on excretion of bile acids, cholesterol, nitrogen, and fat in human subjects with ileostomies. *Am J Clin Nutr* 59(2): 389-394, 1994
- 13) Wisker E, Godan A, Daniel M, Peschutter G, Feldheim W. Contribution of barley fiber to the metabolizable energy of human diets. *Nutr Res* 12: 1315, 1992
- 14) Cummings JH, Englyst HN. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. *Am J Clin Nutr* 61(4 Suppl): 928S-945S, 1995
- 15) Levrat MA, Moundras C, Younes H, Morand C, Demigne C, Remesy C. Effectiveness of resistant starch, compared to guar gum, in depressing plasma cholesterol and enhancing fecal steroid excretion. *Lipids* 31(10): 1069-1075, 1996
- 16) Muir JG, Lu ZX, Young GP, Cameron Smith D, Collier GR, O'Dea K. Resistant starch in the diet increases breath hydrogen and serum acetate in human subjects. *Am J Clin Nutr* 61(4): 792-799, 1994

- 17) Phillips J, Muir JG, Birkett A, Lu ZX, Jones GP, O'Dea K, Young GP. Effect of resistant starch on fecal bulk and fermentation-dependent events in humans. *Am J Clin Nutr* 62(1): 121-130, 1995
- 18) van Munster IP, Tangerman A, Nagengast FM. Effect of resistant starch on colonic fermentation, bile acid metabolism, and mucosal proliferation. *Dig Dis Sci* 39(4): 834-842, 1994
- 19) Hylla S, Gostner A, Dusel G, Anger H, Bartram HP, Christl SU, Kasper H, Scheppach W. Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers: possible implications for cancer prevention. *Am J Clin Nutr* 67(1): 136-142, 1998
- 20) Younes H, Levrat MA, Demigne C, Remesy C. Resistant starch is more effective than cholestyramine as a lipid-lowering agent in the rat. *Lipids* 30(9): 847-853, 1995
- 21) de Deckere EA, Kloots WJ, van Amelsvoort JM. Resistant starch decreases serum total cholesterol and triacylglycerol concentrations in rats. *J Nutr* 123(12): 2142-2151, 1993
- 22) Heijnen ML, Beynen AC. Consumption of retrograded(RS3) but not uncooked(RS2) resistant starch shifts nitrogen excretion from urine to feces in cannulated piglets. *J Nutr* 127(9): 1828-1832, 1997
- 23) Tagliabue A, Raben A, Heijnen ML, Deurenberg P, Pasquali E, Astrup A. The effect of raw potato starch on energy expenditure and substrate oxidation. *Am J Clin Nutr* 61(5): 1070-1075, 1995
- 24) Behall KM, Howe JC. Resistant starch as energy. *J Am Clin Nutr* 15(3): 248-254, 1996
- 25) Behall KM, Howe JC. Contribution of fiber and resistant starch to metabolizable energy. *Am J Clin Nutr* 62(5 Suppl): 1158S-1160S, 1995
- 26) Mun SH. Formation and characteristics of enzyme resistant starch from maize starches with different amylose contents. Chonnam National University Master degree thesis, 1997
- 27) American Association of Official Analytical Chemical Change in Method. Total dietary fiber in foods, enzymatic gravimetric method, First action. *J Assoc Anal Chem* 68: 399, 1985
- 28) Department of food engineering Yonsei University. Experiments in fecal science and engineering volume(1), pp.594-595, Tamgudang. Seoul, 1989
- 29) Chang YK, Youn HJ. The effect of dietary fat levels and sources of dietary fiber on serum and liver lipids of rats. *Korean J Nutrition* 17(4): 253-261, 1984
- 30) Razdan A, Pettersson D, Pettersson J. Broiler chicken body weights, feed intakes, plasma lipid and small-intestinal bile acid concentrations in response to feeding of chitosan and pectin. *Br J Nutr* 78(2): 283-291, 1997
- 31) Lafont H, Lairon D, Vigne JL, Chanussot F, Chabert C, Portugal H, Pauli AM, Crotte C, Hanton JC. Effect of wheat bran, pectin and cellulose on the secretion of bile lipids in rats. *J Nutr* 115(7): 849-855, 1985
- 32) Wang SG, Yoon EY, Lim YH. Effects of indigestible dextrin on bowel function and serum lipids in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25(4): 560-567, 1996
- 33) Lee HJ, Hwang EH. Effects of alginic acid, cellulose and pectin level on bowel function in rats. *Korean J Nutrition* 30(5): 465-477, 1997
- 34) Moundras C, Behr SR, Demigne C, Mazur A, Remesy C. Fermentable polysaccharides that enhance fecal bile acid excretion lower plasma cholesterol and apolipoprotein E-rich HDL in rats. *J Nutr* 124(11): 2179-2188, 1994
- 35) Younes H, Demigne C, Remesy C. Acidic fermentation in the caecum increases absorption of calcium and magnesium in the large intestine of the rat. *Br J Nutr* 75(2): 301-314, 1996
- 36) Tomlin J, Read NW. The effect of resistant starch on colon function in humans. *Br J Nutr* 64(2): 589-595, 1990
- 37) Hillman L, Peter S, Fisher A, Pomare EW. Differing effects of pectin, cellulose and lignin on stool pH, transit time and weight. *Br J Nutr* 50(2): 189-195, 1983
- 38) Delorme CB, Gordon CI. The effect of pectin on the utilization of marginal levels of dietary protein by weanling rats. *J Nutr* 113(12): 2432-2441, 1983
- 39) Slavin JL, Marlett JA. Effect of refined cellulose on apparent energy, fat and nitrogen digestibilities. *J Nutr* 110(10): 2020-2026, 1980
- 40) Southgate DA. Fibre and the other unavailable carbohydrates and their effects on the energy value of the diet. *Pro Nutr Soc* 32(3): 131-136, 1973
- 41) Cummings JH, Beatty ER, Kingman SM, Bingham SA, Englyst HN. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br J Nutr* 75(5): 733-747, 1996
- 42) Brunsgaard G, Bach Knudsen KE, Eggum BO. The influence of the period of adaptation on the digestibility of diets containing different types of indigestible polysaccharides in rats. *Br J Nutr* 74(6): 833-848, 1995
- 43) Wisker E, Knudsen KE, Daniel M, Feldheim W, Eggum BO. Digestibilities of energy, protein, fat and nonstarch polysaccharides in a low fiber diet and diets containing coarse or fine whole meal rye are comparable in rats and humans. *J Nutr* 126(2): 481-488, 1996
- 44) Ranganathan S, Champ M, Pechard C, Blanchard P, Nguyen M, Colonna P, Krempf M. Comparative study of the acute effects of resistant starch and dietary fibers on metabolic indexes in men. *Am J Clin Nutr* 59(4): 879-883, 1994
- 45) Demigne C, Remesy C. Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. *J Nutr* 112(12): 2227-2234, 1982
- 46) Shah N, Atallah MT, Mahoney RR, Pellett PL. Effect of dietary fiber components on fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *J Nutr* 112(4): 658-666, 1982
- 47) Wojcik J, Delorme CB. The effect of dietary cellulose level on the utilization of amino acid supplemented bread protein by weanling rats. *Nutr Rep Int* 25: 709, 1982
- 48) Miettinen TA. Dietary fiber and lipids. *Am J Clin Nutr* 45(5 Suppl): 1237-1242, 1987
- 49) Baer DJ, Rumpler WV, Miles CW, Fahey GC. Dietary fiber decrease the metabolism energy content and nutrient digestibility of mixed diets fed to humans. *J Nutr* 127(4): 579-586, 1997
- 50) Cummings JH. Nutritional implications of dietary fiber. *Am J Clin Nutr* 31(10 Suppl): 521-529, 1978
- 51) Vahouny GV, Roy T, Gallo LL, Story JA, Kritchevsky D, Cassidy M. Dietary fibers. III. Effects of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in the rat. *Am J Clin Nutr* 33(10): 2182-2191, 1986
- 52) Bosaeus I, Carlsson NG, Sandberg AS, Andersson H. Effect of wheat bran and pectin on bile acid and cholesterol excretion in ileostomy patients. *Hum Nutr Clin Nutr* 40(6): 429-440, 1986