

저항전분이 인체내 영양생리 효과에 미치는 영향*

오승호[§] · 신말식 · 최인선

전남대학교 식품영양학과

The Effect of Resistant Starch on Physio-Nutrition Availability in Human*

Oh, Seung-Ho[§] · Shin, Mal-Shick · Choi, In-Seon

Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

ABSTRACT

In order to observe the effects of resistant starches on the physio-nutrition in women, nine female university students were investigated using cellulose (CED), resistant starch 3 (RS3D) and resistant starch 4 (RS4D) diets. Each woman's daily intake and excretions of energy, protein and lipid were measured together with the apparent digestibility and the amounts of total cholesterol and HDL-cholesterol were measured. The results obtained from this research are as follows. The daily energy intake were significantly higher in the RS4D (Resistant starch 4 diet) compared with the CED (Cellulose) and the RS3D (Resistant starch 3 diet). The metabolic energy in those periods with RS added to their diets were significantly higher whereas the metabolic energy in the period CED was significantly low. The daily protein intake was significantly higher in the RS4D compared with the CED and the RS3D. The apparent digestibility of protein was significantly higher in the RS4D compared with the CED and the RS3D. The daily lipid intake was significantly higher in the CED compared with the RS3D and the RS4D. The apparent digestibility of lipid was not significant in that period. The concentration of total cholesterol, HDL-cholesterol, % of HDL-cholesterol and atherogenic index (A. I.) were not significant in those period. As the above results indicate, while RS3 appear to have similar effect on energy consumption rate, apparent protein digestibility and content of cholesterol in plasma, compared with the CED, but energy consumption rate and apparent digestibility of protein are significantly higher in the RS4D compared with the CED. Thus, it appears that cellulose and RS 3 share similar effects on physio-nutrition in human, while RS4 does not have the similar effects. (*Korean J Nutrition* 35(9) : 932~942, 2002)

KEY WORDS: resistant starch 3, resistant starch 4, cellulose, digestibility, metabolizable energy, plasma cholesterol.

서 론

근래 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 과거에는 생리적 욕구의 충족을 위한 식생활이었으나 점차 건강과 장수를 위해 식품을 선택하는 질적인 식생활로 변천되고 있다. 그러나 이러한 식생활 양상의 변화는 에너지 밀도가 높으며 상대적으로 저섬유식을 섭취¹⁾ 함으로써 주요 사망원인에도 영향을 미쳐서 비만, 심장순환기계 질환의 이환을 및 당뇨병 등 소위 성인병 발병율을 과거에 비하여 증가시키는^{2,3)} 요인으로 지적되고 있다.

식이섬유는 인간의 소화효소에 의하여 가수분해되지 않

접수일: 2002년 8월 8일

채택일: 2002년 11월 18일

*This study was financially supported by chonnam national university in the program, 2000.

[§]To whom correspondence should be addressed.

는 식물세포의 잔여물로 정의⁴⁾되며 종류에 따라 소화관에서 나타내는 생리효과와 그 대사적 기능도 달라진다. 일반적으로 수용성 식이섬유는 불용성 식이섬유에 비하여 보수력이 커서 겔을 형성하여 점성이 더 커지므로⁴⁾ 식후 만족감을 지속시키고 에너지 섭취량을 감소시켜 체중감소를 더 용이⁵⁾하게 하며 내당능력을 개선⁶⁾시킨다. 불용성 식이섬유는 배설물의 부피를 늘려 배변량 및 그 횟수를 증가⁷⁾시켜 정장작용을 돕는다. 섬유소와 같은 불용성 식이섬유를 식이중에 5% 첨가시 혈중 콜레스테롤 농도에 영향을 미치지 않거나 오히려 콜레스테롤 농도를 높인다는 보고^{8,9)}가 있는데 반하여 펙틴,¹⁰⁾ guar gum 등¹¹⁾ 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.

한편 근래 인체내에서 소화, 흡수되지 않는 전분¹⁴⁾으로 생리활성 물질, 기능성 물질로서 불용성 식이섬유로 분류되는 저항전분에 대한 관심이 높아지고 있다. 저항전분은 분변을 통해 콜레스테롤 배설을 증가¹⁵⁾시키고, 대장에서 미생물에 의하여 발효되어 단쇄지방산을 생성^{16,17)} 시킴으로써 대장암의 예방^{18,19)} 및 혈장 콜레스테롤과 중성지방 농도를 감소^{20,21)} 시키므로 심맥관계질환의 예방 및 치료에 대한 가능성이 보고되고 있다. 또한 저항전분 Type II 와 III는 분변내 질소 배설을 증가시킨다는 보고²²⁾와 저항전분 Type II²³⁾ (50 g의 생감자 전분) 급여시 대사에너지량이 유의적으로 감소하였다는 보고에 반하여 옥수수 전분 및 밀 전분내에 있는 저항전분 Type I 을 급여시킨 결과 대사에너지량이 유의적인 영향을 주지 않았다는 보고^{24,25)}도 있다.

이상에서와 같이 실험에 사용된 식이섬유 종류에 따라서 서로 다른 생리효과를 나타낼 뿐만 아니라 함유된 식품에 따라 일부 상반된 영양효과들이 주장되고 있고, 더욱이 지금까지 저항전분의 체내 이용에 대한 연구는 실험동물에 대상으로 자연식품내에 있는 저항전분의 형태별 연구가 주로 되고 있는 실정이다.

근래 본 실험실에서는 옥수수 전분을 이용하여 고압 가열-냉각과정을 반복하는 방법으로 RS 3 및 가교결합을 증가시키는 방법으로 RS 4²⁶⁾를 개발한 바 있는데 Englyst 등²⁷⁾의 분류에 의하면 전분의 노화에 의해 형성된 것을 RS 3, 전분분자의 결합모양이 다르게 형성되어 효소에 저항성을 갖는 것을 RS 4로 구분하였다. 이 중 저항전분 Type III에 대하여 오 등²⁸⁾은 흰쥐를 대상으로 에너지 영양소 이용효율에 미치는 영향을 밝힌 보고와 인체를 대상으로 김 등²⁹⁾이 저항전분 Type III 첨가 급식으로 변 중 담즙산 배설량이 증가한다는 일부 보고가 있을 뿐이다.

이에 본 연구에서는 RS 3 및 RS 4를 식이에 첨가 급식시켰을 때 인체에 대한 대사에너지 섭취량, 단백질 및 지방의 외견적 소화율과 혈장 총콜레스테롤 및 HDL-cholesterol 함량에 미치는 영향을 섬유소 첨가급식 때와 비교 검토하고자 한다.

재료 및 방법

1. 저항전분의 제조 및 함량 측정

문²⁶⁾의 방법에 의해 RS3형 전분은 amylo maize를 물과 1:3.5의 비율로 조절하여 멸균병에 넣고 121℃ autoclave (Vision Co LTD., Korea)에서 1시간 동안 호화시켰다. 호화액을 실온에서 냉각시킨 후 4℃에서 1일간 저장하였고, 가열-냉각 횟수를 2회 까지 반복한 다음, 냉동건조기

(Freeze dryer, I 1-Sin Engineering Co, Korea)에서 건조시킨 후 100 메쉬 체를 통해 얻었다. 냉동건조한 amylo maizeVII 중 저항전분의 함량은 pancreatin-gravimetric method³⁰⁾를 이용하여 측정하였으며 그 함량은 33%였다.

RS4의 제조는 amylo maizeVII (AMS) 50 g과 증류수 70 ml를 비이커에 넣고 45℃ 항온수조에서 10분간 교반한 후 황산 나트륨 5 g, 30분 후 sodium trimetaphosphate/sodium tripolyphosphate (STMP, 99.0~99.9%/STPP, 0.1~1%) 6 g, 1시간 후 1M HCl로 pH 6.0으로 중화시킨 후, 전분과 반응이 되지 않은 가교 결합제와 염을 제거하기 위하여 원심분리기를 이용하여 4번 이상 씻은 후 40℃ 오븐에서 건조시켰다. 건조된 시료는 마쇄기로 마쇄하고, 100 메쉬 체를 통해 얻었다. 제조된 amylo maizeVII (RAMS) 중 저항전분의 함량은 pancreatin-gravimetric method³⁰⁾를 이용하여 측정하였는데 45% 이었다.

2. 실험대상자와 실험식사

1) 실험대상자

실험대상자는 외견상 특기할 만한 이상이 없는 21~22세의 건강한 여대생으로 본 연구의 취지와 내용을 충분히 이해하고 협조할 수 있는 9명을 선정하였으며, 각각의 대상자에게 단계별 실험 첫날과 마지막날의 신체상황을 측정하였다. 모든 실험대상자들은 단계별 실험 첫날과 마지막날 혈액을 채취하여 Hemoglobin (Hb) 농도 및 Hematocrit (Hct)치를 측정³¹⁾ 하였으며 임상증상의 이상유무를 토대로 실험기간 중 각 대상자들의 건강상태를 관찰하였다.

2) 실험기간

셀룰로오스, RS3 및 RS4를 첨가한 식사별로 나누어 처음 1주간은 셀룰로오스식사 (Cellulose diet : CED), 2주째는 RS3형 전분식사 (Resistant starch 3 diet : RS3D) 그리고 3주째는 RS4형 전분식사 (Resistant starch 4 diet : RS4D)를 급식시켰다.

3) 실험식사

본 실험에 사용한 식사는 섬유소를 함유하는 셀룰로오스 식사 (Cellulose diet : CED) 및 저항전분 3 및 4를 각각 함유하는 RS3 식사 (Resistant starch 3 diet : RS3D) 및 RS4 식사 (Resistant starch 4 diet : RS4D)를 급식하였으며 각 실험식은 한국인 성인여성 1일 1인당 열량 권장량³²⁾ 37 kcal/kg 및 단백질 권장량 1.0 g/kg을 공급할 수 있는 식단을 작성하였다. 셀룰로오스, RS3 및 RS4는 1일 1인당 27 g과 일반식품을 통한 섬유소 함량이 3 g이 되도록 조리하여 섭취하도록 하였으며, 식단 작성 시 본 실험

Table 1. The menu of diet used

Periods ¹⁾	Breakfast	Lunch	Supper	
CED	1st day	· bread (cellulose) · milk · rice gruel	· boiled noodles (cellulose) with seatangle soup · kimchi · strawberry	· ddokgug · jabche · watery plain kimchi · candy · bread (cellulose)
	2nd day	· sponge cake (cellulose) · milk · Japanese vinegared rice delicacies	· pan cake (cellulose) with honey · broiled rice · broiled rice cake with red pepper paste · watery plain kimchi	· cooked-rice · pork cuttlet with worceter sauce · soy bean sprout soup · sponge cake (cellulose) · jelly fish with venegar sauce
	3rd day	· white bread · cream soup (cellulose)	· bread (cellulose) · curried rice · laver soup · kimchi	· coffee · cooked-rice · beef-roasted · clam soup · acorn-starch jelly paste with soy bean sauce · kimchi · bread (cellulose)
RS3D	1st day	· bread (RS3) · milk · dasik (RS3)	· boiled noodles (RS3) with red pepper paste · Japanese vinegared rice delicacies · watery plain kimchi	· cooked rice · fried chicken (RS3) · soy bean sprout soup · dasik (RS3) · kimchi · roasted fish paste
	2nd day	· sponge cake (RS3) · orange juice · coffee	· pan cake (RS3) with vegetables · broiled rice · cucumber pickle · cola	· cooked-rice · beef-roasted · clam soup · jelly fish with vinegar sauce · kyongdan (RS3) · kimchi · melon
	3rd day	· white bread · cream soup (RS3)	· mejakgwa (RS3) · hashed rice · laver soup · kimchi	· ddokgug · jabche · sponge cake (RS3) · watery plain kimchi
RS4D	1st day	· bread (RS4) · milk · dasik (RS4)	· boiled noodles (RS4) with red pepper paste · Japanese vinegared rice delicacies · watery plain kimchi · orange juice	· cooked rice · fried chicken (RS4) · soy sprout soup · dasik (RS4) · kimchi · roasted fish paste cola
	2nd day	· sponge cake (RS4) · orange juice	· pan cake (RS4) with vegetables · broiled rice · cucumber pickle · cola	· cooked-rice · beef-roasted · clam soup · jelly-fish with vinegar sauce · kyongdan (RS4) · kimchi · melon
	3rd day	· white bread · cream soup (RS4)	· mejakga (RS4) · hashed rice · laver soup · kimchi · coffee	· ddokgug · jabche · sponge cake (RS4) · watery plain kimchi

1) Periods are CED = cellulose diet, RS3D = resistant starch 3 diet and RS4D = resistant starch 4 diet

에 사용한 열량은 저항전분 (RS3형 전분: 33%, RS4형 전분: 45%)을 제외한 나머지 것을 옥수수 전분으로 간주하여 그것의 열량을 참조하였다.

본 실험 기간 동안 바나나, 감자 및 그 제품 일체, 찬밥 및 콩류 등 저항전분 함량이 비교적 많은 식품들은 제한하였다. 실험 기간 동안의 식사 내용은 Table 1과 같았다.

실험식사의 조리 및 급식은 영양사 및 연구원의 엄격한 관리감독 하에 실시하였으며 음식은 주어진 장소에서 비교적 일정한 시간 (아침 08 : 30, 점심 12 : 30, 저녁 18 : 00)에 섭취토록 하였다.

3. 시료수집

1) 식사 및 대변의 채취

음식물 및 배설물 시료의 채취는 각 단계별 실험기간 중 마지막 3일 동안 대상자들이 섭취하는 모든 음식물과 그리고 배설물로서 대변 및 소변의 전량을 수거하였고, 각각의 총량을 측정 후 그 일부를 분석용 시료로 사용하였다. 즉 음식물은 각 대상자들이 섭취하는 양을 측정하고, 이를 토대로 여분의 음식물에서 동량을 평취하였으며 대변은 1일 1회 기상직후 미리 칭량된 용기에 수집하여 음식물 및 대변의 양과 대략 동량의 증류수와 함께 균질기에서 곱게 균질화 시킨 후 그 일부를 밀폐된 용기에 넣어 -20℃냉동고에 보관하였다. 소변은 24시간 동안 배설된 양을 toluene 3~4방울이 들어 있는 3L 물량의 용기에 수집하여 총량을 측정 후 그 일부를 밀폐된 용기에 넣어 -20℃ 냉동고에 보관하였다.

2) 혈액채취

각 실험식사 섭취 마지막날에 혈액을 채취하여 일부는 EDTA로 항 응고 처리된 시험관에 담고, 일부는 즉시 3000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 얻은 혈장을 분석 시까지 -70℃ 냉동고에 보관하였다.

4. 시료분석

1) 에너지, 단백질 및 지방 섭취량 측정

각 식이 기간별 식이 및 대변시료의 일정량을 냉동 건조법으로 분말 처리한 시료를 대상으로 bomb-calorimeter (Yoshia Seisakusho, Nenken type, Japan)를 이용하여 에너지량을 측정하였다.³⁹⁾ 뇨 중 에너지 손실량은 micro Kjeldahl법으로 측정된 뇨의 질소 배설량으로부터 환산하였다.³⁹⁾ 식이로부터 측정된 총 에너지 섭취량 (gross energy: GE)에서 변 (fecal energy: FE)과 뇨를 통한 에너지 (urinary energy: UE) 손실량을 감하여 대사에너지

(metabolizable energy: ME)를 산출하였다.

즉, 대사에너지 (metabolizable energy)

= 총 에너지 섭취량 - (변 에너지 + 뇨 에너지)

단백질 섭취량은 각 식이중 질소를 micro Kjeldahl법으로 측정하고 질소계수 6.25배하여 단백질량으로 환산하였으며 지방 섭취량은 Soxhlet법으로 측정하였다. 단 식이 섬유소 섭취량은 식품분석표³⁹⁾의 자료를 이용 환산하였다.

2) 혈액의 일반 성분 및 혈장 콜레스테롤 함량 측정

혈액의 헤모글로빈 및 헤마토크리치와 혈장 총 콜레스테롤 및 HDL-cholesterol 함량 측정은 혈액 자동분석기 (Fuji Dri-Chem 3000, Japan)로 측정하였다.

5. 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 SAS (Statistical Analysis System) 통계모델을 이용하여 각 실험군 별로 평균치와 표준오차를 구하였고, 실험군간의 비교는 ANOVA로 분석 후 Duncan's test를 이용하여 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 대상자의 일반상황

각 실험대상자들의 모든 실험 대상자들은 전 실험기간 동안 실험환경 및 주어진 식단에 잘 적응하였으며, 실험기간 동안 대상자들의 신체상황은 Table 2와 같았다.

본 실험 대상자의 신장은 평균 162.3 cm이었으며, 체중은 평균 55.1 kg이었다. 신장과 체중에 의한 BMI는 $21.0 \pm 0.8 \text{ kg/m}^2$ 로 정상범위에 속하였다. 혈액학적 상황으로 헤모글로빈 농도는 $13.9 \pm 0.5 \text{ g/dl}$ 로 정상범위³¹⁾에 속하였으며, 헤마토크리치는 $38.8 \pm 0.5\%$ 로 정상범위³¹⁾에 속하였다.

2. 식이섬유소 섭취량

본 실험 대상자의 실험식이 기간에 따른 셀룰로오스와 저항전분 이외 함유된 식이섬유의 계산치는 CED 기간이 $1.9 \pm 0.0 \text{ g}$, RS3D 기간이 $2.5 \pm 0.1 \text{ g}$, RS4D 기간이 $2.2 \pm 0.0 \text{ g}$ 로 RS3D, RS4D 및 CED 순으로 유의적인 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$).

저항전분식사 기간에는 섬유소 함량이 낮은 식품으로 식단을 구성하였으므로 섬유소 섭취량은 낮게 나타났으나 저항전분을 1인 1일당 27 g을 첨가 급식하였으므로 1일 권장량 20~25 g 섬유소 섭취량을 고려할 때 1일 1인당 총 식이 섬유 섭취량은 매우 높은 식사라 할 수 있다.

3. 에너지 섭취량, 배설량 및 대사에너지량
에너지 섭취량, 배설량 및 대사에너지량은 Table 3과 같았다.

각 실험기간 중 섭취한 음식물을 수거하여 분석한 결과 에너지 섭취량은 CED 기간에는 1일 평균 섭취량은 1843 ± 31 kcal이었으며, RS3D 기간의 경우 1803 ± 20 kcal

Table 2. Physical characteristics and laboratory findings of blood in each subject

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI ¹⁾ (kg/m ²)	Hemoglobin (g/dl)	Hematocrit (%)
1	22	156.9	54.7	22.22	13.1	38.2
2	22	156.7	54.8	20.68	13.5	39.0
3	22	158.5	54.7	21.77	14.5	39.5
4	21	169.0	56.0	19.59	14.5	39.0
5	22	159.0	64.9	25.67	16.1	37.0
6	22	160.6	58.0	22.49	12.9	38.3
7	21	170.0	49.5	17.19	12.1	40.7
8	22	164.6	52.5	19.38	15.9	39.3
9	22	165.0	54.9	20.17	12.7	38.1
Mean ± SE	21.89 ± 0.1	162.3 ± 1.7	55.1 ± 1.5	21.0 ± 0.8	13.9 ± 0.5	38.8 ± 0.5

1) Body Mass Index = Weight(kg)/(Height(m))²

Mean value is mean ± standard error

Table 3. Energy intake, fecal energy, urinary energy and metabolizable energy (kcal/day)

Periods ¹⁾	Subject No.	Energy intake	Fecal energy	Urinary energy	Metabolizable energy
CED	1	1776	246	67	1463
	2	1793	314	66	1413
	3	1818	312	65	1441
	4	1882	271	55	1556
	5	1976	260	64	1652
	6	1891	280	56	1555
	7	1980	260	59	1661
	8	1743	225	65	1453
	9	1731	251	59	1421
RS3D	1	1776	148	39	1589
	2	1897	112	55	1730
	3	1802	125	58	1619
	4	1881	119	63	1699
	5	1799	121	56	1622
	6	1831	114	56	1661
	7	1774	111	53	1610
	8	1761	115	70	1576
	9	1703	128	53	1522
RS4D	1	1836	118	60	1658
	2	1868	109	69	1690
	3	1865	136	70	1659
	4	1991	128	62	1801
	5	2046	146	84	1816
	6	1925	108	70	1747
	7	1938	112	70	1756
	8	1959	121	67	1771
	9	1925	115	73	1737
Mean ± SE for CED		1843 ± 31 ^b	269 ± 10 ^a	62 ± 2 ^b	1513 ± 32 ^c
Mean ± SE for RS3D		1803 ± 20 ^b	121 ± 4 ^b	56 ± 3 ^b	1625 ± 21 ^b
Mean ± SE for RS4D		1928 ± 22 ^a	121 ± 4 ^b	69 ± 2 ^a	1737 ± 19 ^a

1) See the legend of Table 1

Mean value is mean ± standard error

Values with the different letter are significantly different among experimental periods (p < 0.05)

이었으며, RS4D 기간에서는 1928 ± 22 kcal로 RS4D 기간이 CED와 RS3D 기간보다 에너지 섭취량이 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$).

에너지 섭취량은 한국인 에너지권장량³¹⁾과 비교하여 CED 기간에는 90%, RS3D 기간에는 90%, RS4D 기간에는 96%를 섭취로 각각 다소 낮았으나 이들 대상자들이 가벼운 노동에 속하는 여자 대학생임을 감안할 때 세 기간 모두 권장량과 거의 비슷하게 섭취하였다고 생각된다.

변중 에너지 배설량은 CED 기간에 269 ± 10 kcal/day, RS3D 기간에 121 ± 4 kcal/day 및 RS4D 기간에 121 ± 4 kcal/day로 RS3D 기간과 RS4D 기간은 유사하였으며 CED 기간이 유의적으로 2.2배 더 높았다 ($p < 0.05$).

뇨중 에너지 배설량은 CED 기간에는 62 ± 2 kcal/day, RS3D 기간에는 56 ± 3 kcal/day, RS4D 기간에는 69 ± 2 kcal/day로 RS4D 기간은 CED 기간과 RS3D 기간에 비해 유의적으로 더 높았다 ($p < 0.05$).

본 실험에서 대사에너지량 (metabolizable energy: ME)은 RS4D 기간에 1737 ± 19 kcal/day로 가장 높았으며, RS3D 기간에 1625 ± 21 kcal/day, CED 기간에 1513 ± 32 kcal/day 순으로 유의적인 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$).

Southgate³⁵⁾는 식이섬유가 영양소 이용에 관계하는 작용으로 식이섬유가 장관에서 식품의 통과 시간에 영향을 주어서 소화, 흡수되는 시간을 짧게 할뿐만 아니라 식이섬유의 용적 (bulking) 증가 효과와 수분 보유력 (water-holding capacity)이 흡수를 하기 위해 장점막 표면쪽에서 소화속도를 떨어뜨린다고 제시하였다. 저항전분 Type II를 5% 급여시 대사에너지량이 감소하였다는 보고²³⁾와 밀전분을 열 처리한 저항전분의 소화율을 측정된 실험에서 식이에 저항전분의 양이 증가함에 따라 에너지 이용률 (energy utilization)이 감소하였고 결과적으로 열 처리하는 동안 형성된 저항전분은 쉽게 발효되는 식이섬유와 유사하였다고 보고 하였다. 또한 선행 보고에 의하면 섬유소³⁶⁾를 식이에 첨가시켰을 때 대사에너지량이 유의적으로 감소한다고 하였으며 식이섬유의 첨가는 대변 에너지 배설량을 증가시키는 주요 원인³⁷⁾이고, 발효를 통해 얻어지는 에너지보다 대변 에너지 손실이 더 커서 대사에너지량을 감소시킨다는 보고³⁷⁾가 있다.

이상의 선행연구를 참고로 하고, 본 연구에서 CED 기간에 대변으로의 에너지 배설량이 RS3D 및 RS4D보다 2.2배나 높으며 대사에너지량이 CED, RS3D 및 RS4D 기간 순으로 낮아지는 결과로 보아 저항전분이 에너지 이용율을 감소시키는 것은 하나 섬유소보다는 에너지 이용률이 높고, 특

히 RS4가 이용률이 더 높다고 하겠다.

4. 단백질의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율

단백질의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율은 Table 4와 같았다.

단백질 섭취량은 CED 기간에 58.77 ± 0.94 g/day 및 RS3D 기간에 60.09 ± 1.39 g/day로 두 기간의 단백질 섭취량은 유사하였는데, RS4D 기간에는 66.45 ± 0.76 g/day로 CED 및 RS3D 기간에 비해 유의적으로 더 높았다 ($p < 0.05$).

단백질 섭취량은 한국인 영양권장량³²⁾에 비해 CED 기간이 106%, RS3D 기간이 109% 및 RS4D 기간이 120%로 권장량을 상회하였다.

단백질의 변중 배설량은 CED 기간이 10.21 ± 0.34 g/day, RS3D 기간이 10.04 ± 0.13 g/day, RS4D 기간이 9.82 ± 0.35 g/day로 각 식이 기간에 따라 유사하였다.

단백질의 외견적 소화율 (apparent protein digestibility)은 CED 기간이 $82.61 \pm 0.57\%$, RS3D 기간이 $83.21 \pm 0.48\%$ 및 RS4D 기간이 $85.22 \pm 0.51\%$ 로 CED 기간에 비하여 RS3D 기간은 유사하였으나 RS4D 기간은 다소 높았다 ($p < 0.05$).

저항전분 Type II와 저항전분 Type III가 변중으로 단백질 배설을 증가시켰다고 보고^{22,39)}하였는데 이러한 증가는 분변량의 증가와 관련이 되어진다고 하였다. Wisker 등⁴⁰⁾은 식이섬유가 장내 박테리아 합성을 자극시켜 분변에 박테리아로부터 유래한 질소 성분의 분비를 높게하고, 이것이 단백질의 외견적 소화율을 저하시키는 원인이라고 하였다.

본 연구의 각 식사별 외견적 단백질 흡수율 성적은 황 등⁴¹⁾ 및 오 등⁴²⁾이 한국식이 에 대한 단백질의 외견적 소화율을 밝히는 연구에서 각각 88.1% 및 89.6%이었다는 보고에 비하여 낮은 흡수율로, 이는 섬유소, RS3 및 RS4 첨가에 의한 단백질 흡수율 저하효과로 생각된다. 그러나 단백질 흡수율이 CED 및 RS3D와는 큰 차이 없으나 RS4D에 다소 높아지는 결과로 보아 RS3는 섬유소와 유사한 단백질 흡수 저하효과를 보이거나 RS4는 이들보다 흡수 저하 효과 면에서 다소 약한 것으로 생각된다.

5. 지방의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율

지방의 섭취량, 배설량 및 외견적 소화율은 Table 5과 같았다.

지방 섭취량은 CED 기간에 39.81 ± 1.95 g/day, RS3D 기간에 31.35 ± 0.79 g/day 및 RS4D 기간에 33.31 ± 1.11 g/day로 CED는 RS3D 및 RS4D에 비하여 현저하게 높았다 ($p < 0.05$).

Table 4. Dietary intake, fecal loss and apparent digestibility of protein.

Periods ¹⁾	Subject No.	Protein intake (g/day)	Fecal protein (g/day)	Apparent ²⁾ digestibility (%)
CED	1	56.97	8.99	84.22
	2	58.84	10.55	82.08
	3	54.32	10.21	81.21
	4	56.74	8.54	84.94
	5	62.62	10.87	82.64
	6	58.35	12.09	79.29
	7	61.69	10.21	83.45
	8	57.34	10.21	82.19
	9	62.00	10.21	83.54
RS3D	1	57.98	10.66	81.61
	2	60.83	10.04	83.49
	3	60.94	9.17	84.96
	4	65.89	10.19	84.54
	5	60.02	10.15	83.09
	6	63.60	10.04	84.22
	7	62.89	10.04	84.04
	8	51.81	10.04	80.63
	9	56.85	10.04	82.34
RS4D	1	66.72	8.48	87.28
	2	63.52	9.81	84.55
	3	65.14	9.83	84.92
	4	67.82	9.82	85.53
	5	68.51	12.31	82.03
	6	69.30	8.93	87.11
	7	65.33	9.82	84.97
	8	68.57	9.82	85.68
	9	63.11	9.54	84.89
Mean \pm SE for CED		58.77 \pm 0.94 ^b	10.21 \pm 0.34 ^a	82.61 \pm 0.57 ^b
Mean \pm SE for RS3D		60.09 \pm 1.39 ^b	10.04 \pm 0.13 ^a	83.21 \pm 0.48 ^b
Mean \pm SE for RS4D		66.45 \pm 0.76 ^a	9.82 \pm 0.35 ^a	85.22 \pm 0.51 ^a

1) See the legend of Table 1

2) Apparent digestibility = ((Intake-Feces)/Intake) \times 100Mean value is mean \pm standard errorValues with the different letter are significantly different among experimental periods ($p < 0.05$)

지방 섭취량은 한국인 영양권장량³²⁾에서 총 열량의 20% 정도를 지방으로 섭취할 것을 권장하고 있는데 본 실험식에서는 CED 식사 기간에서 19%, RS3D와 RS4D 기간에서는 16% 정도 섭취하였으며, 이는 한국인 1일 섭취량¹⁾에 비하여 CED 기간은 비슷하였으나 RS3D와 RS4D기간에는 다소 낮은 편이었다.

지방의 변중 배설량은 CED기간에 3.81 ± 0.22 g/day, RS3D 기간에 3.22 ± 0.18 g/day 및 RS4D 기간에 2.89 ± 0.19 g/day로 CED는 RS3D 및 RS4D에 비하여 다소 높았다 ($p < 0.05$).

지방의 외견적 소화율 (apparent lipid digestibility: ALD)은 CED 기간이 $90.30 \pm 0.63\%$, RS3D 기간이 $89.82 \pm 0.58\%$ 및 RS4D 기간이 $91.24 \pm 0.66\%$ 로 각 식사 기간 별 큰 차이를 보이지 않았다.

식이섭취의 섭취증가가 장내에서 지방의 흡수에 변화를

일으켜서 대변 내로 지방배출을 증가시켜 지방의 외견적 소화율을 감소시킬 수 있다는 가능성이 보고^{43,44)}되고 있다. 한편 일찍이 황 등⁴⁰⁾은 한국식에서 지방의 외견적 소화율은 백반식, 일반혼합식 및 고동물성 단백질식 별로 각각 71.3%, 86.4% 및 82.4%로 식사 구성에 따라 지방의 외견적 흡수율이 다르다고 보고한바 있다.

본 연구의 각 식사별 외견적 지방 흡수율이 선행 연구결과보다 보다 높고 각 식사 기간별 흡수율이 비슷한 점으로 보아 본 연구에 사용한 식사에서 섬유소, RS3 및 RS4 첨가에 의한 지방 흡수율 저하효과는 크지 않은 것으로 생각되며, CED, RS3D 및 RS4D식사 별 지방 흡수율에 미치는 영향은 유사한 것으로 생각된다.

6. 혈장 중 콜레스테롤 및 HDL-cholesterol 함량

혈장 총 콜레스테롤 및 HDL-cholesterol 함량은 Table

Table 5. Dietary intake, fecal loss and apparent digestibility of lipids

Periods ¹⁾	Subject No.	Lipid Intake (g/day)	Fecal Lipid (g/day)	Apparent ²⁾ digestibility (%)
CED	1	34.37	3.12	90.93
	2	37.94	3.08	91.89
	3	44.49	3.57	91.97
	4	34.59	3.68	89.35
	5	35.14	3.79	89.22
	6	39.89	5.28	86.76
	7	36.19	4.11	88.66
	8	44.14	3.61	91.81
	9	51.53	4.04	92.16
RS3D	1	33.85	3.15	90.70
	2	31.15	3.51	88.74
	3	30.28	3.32	89.03
	4	29.30	2.63	91.03
	5	34.55	3.83	88.90
	6	27.77	3.45	87.58
	7	29.96	3.57	88.08
	8	31.23	2.32	92.59
	9	34.12	2.82	91.75
RS4D	1	31.55	1.92	93.92
	2	29.61	2.73	90.79
	3	30.45	3.16	89.61
	4	32.09	3.96	87.68
	5	39.39	2.42	93.87
	6	32.11	2.70	91.60
	7	32.98	3.19	90.34
	8	33.44	2.74	91.81
	9	38.20	3.23	91.54
Mean ± SE for CED		39.81 ± 1.95 ^a	3.81 ± 0.22 ^a	90.30 ± 0.63 ^a
Mean ± SE for RS3D		31.35 ± 0.79 ^b	3.22 ± 0.18 ^b	89.82 ± 0.58 ^a
Mean ± SE for RS4D		33.31 ± 1.11 ^b	2.89 ± 0.19 ^b	91.24 ± 0.66 ^a

1) See the legend of Table 1

2) Apparent digestibility = ((Intake-Feces)/Intake) × 100

Mean value is mean ± standard error

Values with the different letter are significantly different among experimental periods (p < 0.05)

6과 같았다.

총 콜레스테롤 함량은 CED 기간에서 144.33 ± 19.05 mg/dl, RS3D 기간에서 155.44 ± 18.25 mg/dl이었으며 RS4D 기간에서는 160.22 ± 26.60 mg/dl로 기간별 유의적 차이는 없었다.

HDL-cholesterol 함량은 CED 기간에서 52.11 ± 14.32 mg/dl, RS3D 기간에서 55.00 ± 7.42 mg/dl이었으며 RS4D 기간에서는 50.44 ± 10.07 mg/dl로 기간별 유의적 차이는 없었다.

%HDL-cholesterol 함량은 CED 기간에서 36.29 ± 9.37%, RS3D 기간에서 35.70 ± 5.77%이었으며 RS4D 기간에서는 31.89 ± 6.89%로 기간별 유의적 차이는 없었다.

동맥경화지수는 CED 기간에서 1.96 ± 0.99, RS3D 기간에서 1.87 ± 0.52 이었으며 RS4D 기간에서는 2.26 ±

0.67로 기간별 유의적 차이는 없었다.

지금까지 이들 비소화성 물질들의 혈장 콜레스테롤의 저하 효과를 몇 가지 기전으로 설명하고 있는데 1) 섬모벽에 콜레스테롤 및 담즙산의 확산을 방해하는 것, 2) 소장에서 스테로이드-결합 능력을 저해하는 것, 3) 담즙산의 용해도를 저하시켜 대장에서의 재흡수를 방해하는 것 및 4) 간에서의 콜레스테롤 합성을 방해하는 것 등이 있다.⁴⁵⁻⁴⁷⁾ 그러므로 본 연구에서 실험식사 급식 직전 혈장 총 콜레스테롤 함량 160.78 ± 17.65 mg/dl (자료 제시 없음)에 비하여 통계적 유의성은 없지만 CED 및 RS3D 기간에 다소 낮아지는 경향은, 김지현 등이 일반식사에 비하여 RS3 첨가 급식시 혈장 콜레스테롤 함량이 현저하게 감소되었다는 보고와 같은 경향으로 섬유소 및 RS3가 담즙산의 용해도를 저하시켜 대장에서의 재흡수가 방해되는 기전이 작용하였을 가능성

Table 6. Concentrations of plasma total-cholesterol and HDL-cholesterol of the subjects

Periods ¹⁾	Subject No.	Total cholesterol (mg/dl)	HDL cholesterol (mg/dl)	%HDL cholesterol (%)	A.I.
CED	1	134	47	35	1.9
	2	180	63	35	1.9
	3	151	64	42	1.4
	4	163	33	20	3.9
	5	138	62	45	1.2
	6	114	42	37	1.7
	7	135	31	23	3.4
	8	148	30	20	3.9
	9	136	57	42	1.4
RS3D	1	149	55	37	1.7
	2	182	58	32	2.1
	3	141	59	42	1.4
	4	186	65	35	1.9
	5	132	59	45	1.2
	6	152	52	34	1.9
	7	154	38	25	3.1
	8	142	54	38	1.6
	9	161	55	34	1.9
RS4D	1	166	52	31	2.2
	2	203	59	29	2.4
	3	127	53	42	1.4
	4	169	53	31	2.2
	5	134	58	43	1.3
	6	175	41	23	3.2
	7	136	33	24	3.1
	8	143	39	27	2.7
	9	189	61	32	2.1
Mean \pm SE for CED		144.33 \pm 19.05 ^a	52.11 \pm 14.32 ^a	36.29 \pm 9.37 ^a	1.96 \pm 0.99 ^a
Mean \pm SE for RS3D		155.44 \pm 18.25 ^a	55.00 \pm 7.42 ^a	35.70 \pm 5.77 ^a	1.87 \pm 0.52 ^a
Mean \pm SE for RS4D		160.22 \pm 26.60 ^a	50.44 \pm 10.07 ^a	31.89 \pm 6.89 ^a	2.26 \pm 0.67 ^a

1) See the legend of Table 1

Mean value is mean \pm standard errorValues with the different letter are significantly different among experimental periods ($p < 0.05$)Abbreviations used: HDL-cholesterol: high density lipoprotein cholesterol, %HDL-cholesterol: HDL-cholesterol/total cholesterol \times 100, A.I.: Atherogenic Index = (total cholesterol-HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol

을 생각해 볼 수 있다. 그러나 RS4는 에너지, 단백질 및 지방질 흡수율에서와 같이 혈당 콜레스테롤 함량에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보아 섬유소나 RS3와는 다른 생리활성을 갖는 것으로 생각된다.

한편 Asp 등⁴⁰⁾은 동물실험에서 저항전분을 첨가한 실험군과 다른식이 섬유소를 첨가한 군을 비교한 결과 총 콜레스테롤은 비슷하였지만 HDL-cholesterol은 저항전분을 첨가한 군이 높은 경향을 보였다. Jenkins 등⁴⁹⁾은 저항전분의 보충과 HDL-cholesterol 함량은 정의 상관관계를 갖는다고 하였다. 본 연구에서는 HDL-cholesterol, %HDL-cholesterol 및 동맥경화지수가 각 식사 기간별 유의적 차이를 나타내지 않았는데, 이는 혈장 총 콜레스테롤 함량변동과 함께 앞으로 각 식사 조건별 보다 장기간 급식에 의한 생리활성 연구가 요망된다.

요약 및 결론

본 연구는 저항전분이 인체내 영양생리 효과에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 건강한 여자 대학생을 대상으로 섬유소와 RS 3형 전분, RS 4형 전분을 포함하는 식사를 각각 1주간씩 섭취시키며 식사조사와 변 및 혈액을 채취 측정하여 다음의 결과를 얻었다.

대상자들의 실험전 신장은 평균 162.3 \pm 1.7 cm, 체중은 55.1 \pm 1.5 kg이었으며, BMI는 평균 21.0 \pm 0.8 kg/m²이었다.

에너지 섭취량은 CED (Cellulose), RS3D (Resistant starch 3 diet) 및 RS4D (Resistant starch 4 diet) 기간에 각각 1일 평균 1843 \pm 31 kcal, 1803 \pm 20 kcal, 1928

± 22 kcal로 RS4기간이 CED와 RS3D 기간보다 에너지 섭취량이 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 변중 에너지 배설량은 CED 기간에 269 ± 10 kcal/day, RS3D 기간에 121 ± 4 kcal/day 및 RS4D 기간에 121 ± 4 kcal/day로 RS3D 기간과 RS4D 기간은 유사하였으며 CED 기간이 유의적으로 2.2배 더 높았다 ($p < 0.05$). 뇨중 에너지 배설량은 CED 기간에는 62 ± 2 kcal/day, RS3D 기간에는 56 ± 3 kcal/day, RS4D 기간에는 69 ± 2 kcal/day로 RS4D 기간은 CED 기간과 RS3D 기간에 비해 유의적으로 더 높았다 ($p < 0.05$). 대사에너지량 (metabolizable energy)은 RS4D 기간에 1737 ± 19 kcal/day로 가장 높았으며, RS3D 기간에 1625 ± 21 kcal/day, CED 기간에 1513 ± 32 kcal/day 순으로 유의적인 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$).

단백질 섭취량은 CED 기간에 58.77 ± 0.94 g/day 및 RS3D 기간에 60.09 ± 1.39 g/day로 두 기간의 단백질 섭취량은 유사하였는데, RS4D 기간에는 66.45 ± 0.76 g/day로 CED 및 RS3D 기간에 비해 유의적으로 더 높았다 ($p < 0.05$). 단백질의 변중 배설량은 CED 기간이 10.21 ± 0.34 g/day, RS3D 기간이 10.04 ± 0.13 g/day, RS4D 기간이 9.82 ± 0.35 g/day로 각 식이 기간에 따라 유사하였다. 단백질의 외견적 소화율 (apparent protein digestibility)은 CED 기간이 $82.61 \pm 0.57\%$, RS3D 기간이 $83.21 \pm 0.48\%$ 및 RS4D 기간이 $85.22 \pm 0.51\%$ 로 CED 기간에 비하여 RS3D 기간은 유사하였으나 RS4D 기간은 다소 높았다 ($p < 0.05$).

지방 섭취량은 CED, RS3D 및 RS4D 기간에 각각 1일 평균 39.81 ± 1.95 g, 31.35 ± 0.79 g, 33.31 ± 1.11 g로 CED 기간이 가장 높았으며, RS3D 기간과 RS4D 기간의 지방 섭취량은 유사하였다. 지방의 변중 배설량은 CED 기간에 3.81 ± 0.22 g/day, RS3D 기간에 3.22 ± 0.18 g/day 및 RS4D 기간에 2.89 ± 0.19 g/day로 CED는 RS3D 및 RS4D에 비하여 다소 높았다 ($p < 0.05$). 지방의 외견적 소화율 (apparent lipid digestibility)은 CED 기간이 $90.30 \pm 0.63\%$, RS3D 기간이 $89.82 \pm 0.58\%$ 및 RS4D 기간이 $91.24 \pm 0.66\%$ 로 각 식사 기간 별 큰 차이를 보이지 않았다.

총 콜레스테롤 함량은 CED 기간에서 144.33 ± 19.05 mg/dl, RS3D 기간에서 155.44 ± 18.25 mg/dl이었으며 RS4D 기간에서는 160.22 ± 26.60 mg/dl로 기간별 유의적 차이는 없었다. HDL-cholesterol 함량은 CED 기간에서 52.11 ± 14.32 mg/dl, RS3D 기간에서 55.00 ± 7.42 mg/dl이었으며 RS4D 기간에서는 50.44 ± 10.07 mg/dl

로 기간별 유의적 차이는 없었다. %HDL-cholesterol 함량은 CED 기간에서 $36.29 \pm 9.37\%$, RS3D 기간에서 $35.70 \pm 5.77\%$ 이었으며 RS4D 기간에서는 $31.89 \pm 6.89\%$ 로 기간별 유의적 차이는 없었다. 동맥경화지수는 CED 기간에서 1.96 ± 0.99 , RS3D 기간에서 1.87 ± 0.52 이었으며 RS4D 기간에서는 2.26 ± 0.67 로 기간별 유의적 차이는 없었다.

이상에서와 같이 섬유소에 비하여 RS3는 에너지 이용률, 단백질 흡수 및 혈장 총 콜레스테롤에 함량에서 유사한 효과를 보이는 경향에 반하여 RS4는 에너지 이용률 및 단백질 흡수율에서 다소 높은 성적을 나타내는 것으로 보아 인체 생리활성에서 섬유소나 RS3는 상호 유사하나 RS4는 이들과는 다른 것으로 생각된다.

Literature cited

- 1) '98 National nutrition survey report, Ministry of Health and Welfare, Seoul, 2000.
- 2) Lee, HK. The related disease with obesity. *Korean J Nutr* 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): 967-974, 1976
- 5) Leeds AR, 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 Nutr* 29 (3): 286-295, 1996
- 7) Gordan TD. The importance of dietary fiber in human nutrition and health. *Korean 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, Bosaeus 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: 1315-1321, 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, 1985
- 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) Englyst HN, Kingman SM, Cunnings JH. Classification and measurement of nutritionally important resistant starch fractions. *Eur J Clin Nutr* 46(Suppl.2): S33-S50, 1992
- 28) Oh JY, Choi IS, Park SA, Lee SS, Oh SH. Effects of resistant starch on availability of energy nutrients in rats. *Korean J Nutr* 33(4): 365-373, 2000
- 29) Kim JH, Choi IS, Park SA, Shin MS, Oh SH. Effects of resistant starch on metabolism of bile acids in college women. *Korean J Nutr* 33(8): 802-812, 2000
- 30) American Association of Official Analytical Chemical Change in Method. Total dietary fiber in foods, enzymatic gravimetric method, First action. *J Assoc Anal Chem* 68: 399-400, 1985
- 31) Department of food engineering Yonsei University. Experiments in fecal science and engineering volume (I), pp.594-595, Tamgudang. Seoul, 1989
- 32) Recommended dietary allowances for Koreans, 6th revision, The Korean Nutrition Society, Seoul, 1995
- 33) Miller DS, Payne PR. A Ballistic Bomb Calorimeter. *Br J Nutr* 13: 501-508, 1959
- 34) Pike RL, Brown ML. Nutrition: an integrated approach. 3rd Ed., pp.771, John Wiley & Sons, New York, 1984
- 35) 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
- 36) Slavin JL, Marlett JA. Effect of refined cellulose on apparent energy, fat and nitrogen digestibilities. *J Nutr* 110(10): 2020-2026, 1980
- 37) Tomlin J, Read NW. The effect of resistant starch on colon function in humans. *Br J Nutr* 64(2): 589-595, 1990
- 38) 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
- 39) 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
- 40) 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
- 41) Hwang WI, Ju JS. A study on digestion and absorption rates of nutrients in Korean diets on human subjects. *Woosuk Med J* 5(2): 13-28, 1968
- 42) Oh SH, Choi IS. Intake/balance of dietary protein in Korean college women. *Korean J Comm Nutr* 2(4): 523-529, 1997
- 43) Miettinen TA. Dietary fiber and lipids. *Am J Clin Nutr* 45(5 Suppl): 1237-1242, 1987
- 44) Cummings JH. Nutritional implications of dietary fiber. *Am J Clin Nutr* 31(10 Suppl): 521-529, 1978
- 45) Eastwood MA, Morris ER. Physical properties of dietary fiber that influence physiological function: a model for polymers along the gastrointestinal tract. *Am J Clin Nutr* 55(2): 436-442, 1992
- 46) Everson GT, Daggy BP, McKinley C, Story JA. Effects of psyllium hydrophilic mucilloid on LDL-cholesterol and bile acid synthesis in hypercholesterolemic men. *J Lipid Res* 33(8): 1183-1192, 1992
- 47) Matheson HB, Story JA. Dietary psyllium hydrocolloid and pectin increase bile acid pool size and change bile acid composition in rats. *J Nutr* 124(8): 1161-1165, 1994
- 48) Asp NG, Bauer HG, Nilsson-Ehle P, Nyman M, Oste R. Wheat bran increases high-density-lipoprotein cholesterol in the rat. *Br J Nutr* 46(3): 385-393, 1981
- 49) Jenkins DJ, Vuksan V, Rao AV, Vidgen E, Kendall CW, Tariq N, Wursch P, Koellreutter B, Shiwnarain N, Jeffcoat R. Colonic bacterial activity and serum lipid risk factors for cardiovascular disease. *Metabolism: Clinical & Experimental* 48(2): 264-268, 1999