

## 저항전분이 인체 혈당 조절기능에 미치는 영향\*

이영희·오승호<sup>1)†</sup>

전남대학교 체육교육과, 전남대학교 식품영양학과<sup>1)</sup>

### Effect of Resistant Starch on Human Glycemic Response

Young-Hee Lee, Seung-Ho Oh<sup>1)†</sup>

Department of Physical Education, College of Education and Department of Food and Nutrition,<sup>1)</sup>  
College of Human Ecology, Chonnam National University, Gwangju, Korea

#### ABSTRACT

In order to observe the effects of resistant starches on human glycemic response, nine female university students were investigated using cellulose (CED), resistant starch 3 (RS3D) and resistant starch 4 (RS4D) diets. Each woman's blood sugar and insulin, triacylglycerol and free fatty in plasma concentration were measured at fasting state, then 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 120 minute after each test diet feeding. Glycemic indices of the Cellulose diet (CED:  $57.9 \pm 3.00$ ), the Resistant starch 3 diet (RS3D:  $52.6 \pm 7.9$ ) and the Resistant starch 4 diet (RS4D:  $52.9 \pm 10.2$ ) were similar to each other, but they were significantly lower in comparison with those of white wheat bread diet (WWBD: 100). Insulinemic indices of the CED ( $49.8 \pm 8.2$ ), RS3D ( $50.0 \pm 7.3$ ) and RS4D ( $72.4 \pm 7.7$ ) were significantly lower in comparison with the white wheat bread diet (WWBD: 100), but among the dietary fiber diets, the insulinemic index of RS4D was significantly higher than the CED and the RS3D. Plasma triacylglycerol contents of the CED, RS3D and RS4D including WWBD showed gradual increase in tendency after lowering in early stage of each test diet feeding, but not significantly different in each dietary fiber added diet. Plasma free fatty acid contents of the CED, RS3D and RS4D including WWBD showed gradual decrease in tendency after each test diet feeding, but not significantly different by each dietary fiber added diet. In above results, we speculate that resistant starch 3 controls rapid elevation of blood sugar by delaying intestinal digestion and absorption of cellulose, but the result appears to be different from RS4 in comparison. Thus, RS3 intakes may contribute to the diet therapy of diabetic humans, but more studies on RS4 is needed in the future. (*Korean J Community Nutrition* 9(4) : 528~535, 2004)

**KEY WORDS** : glycemic index · insulinemic index · resistant starch 3 · resistant starch 4 · cellulose

## 서론

근래 우리나라 식생활 양상의 변화는 에너지 밀도가 높으며 상대적으로 저섬유식을 섭취( '98 National nutrition survey report) 함으로써 비만, 심장순환기계 질환의

이환율 및 당뇨 등의 발병율을 과거에 비하여 증가시키는 요인으로 지적되고 있다(Lee 1997). 특히 당뇨 질환 사망자는 1980년대에 비하여 2002년 보고에 따르면 거의 7배 이상 증가하였다(Korea National Statistical Office 2003). 식이섬유는 인간의 소화효소에 의하여 가수분해되지 않는 식물세포의 잔여물로 정의(Trowell 등 1976)되며 종류에 따라 소화관 내에서 나타내는 생리효과와 그 대사적 기능도 달라진다(Helena 등 1999; Dennis 1992; Lee 등 1996). 식이섬유의 섭취증가가 내당 능력과 혈청지질의 농도를 개선하며(Jue 등 2003) 당뇨병 환자의 인슐린 요구량을 감소시켜(Vuksan 등 1997) 혈당조절을 개선한다고 보고한 바 있다. Krashenitsa 등(1994)은 인슐린 비의존형 당뇨병(NIDDM) 환자들에서 1일 55 g의 고섬유식을 투여하여

채택일 : 2004년 7월 28일

\*이 논문은 2001년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

†Corresponding author: Seung-Ho Oh, Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, Chonnam National University, 300 Yongbong-dong, Puk-gu, Gwangju 500-757, Korea  
Tel: (062) 530-1331, Fax: (062) 530-1339

E-mail: ohsh@chonnam.ac.kr

당뇨병상태의 조절이 현저히 개선됨을 보고하였다. 비만 당뇨병 환자들에서 고섬유식은 높은 포만감으로 인해 체중감소를 촉진하며 특별한 당뇨병 치료약물을 사용하지 않고도 적절히 혈당을 조절해 주는 이점이 있으며 혈중 중성지방 및 콜레스테롤 수준을 낮추는 것으로도 보고되었다(O' Dea 등 1989).

한편 근래 인체내에서 소화, 흡수되지 않는 전분(Cummings & Englyst 1995)으로 생리활성 물질, 기능성 물질로서 불용성 식이섬유로 분류되는 저항전분(resistant starch: RS)에 대한 관심이 높아지고 있다. 저항전분은 분변을 통한 콜레스테롤 배설을 증가(Levrat 등 1996)시키고, 대장에서 미생물에 의해 발효되어 단쇄지방산을 생성(Muir 등 1994; Phillips 등 1995)하여 대장암의 예방(Munster 등 1994; Hylla 등 1998)에 효과가 있다고 하였다. 또한 저항전분은 혈장 콜레스테롤과 중성지방 농도를 감소(Deckere 등 1993; Younes 등 1995; Rannotra 등 1996)시켜 심맥관계질환의 예방 및 치료에 대한 가능성이 보고되고 있다. 그중 저항전분이혈액 중의 포도당 함량과 인슐린농도를 감소(Byrnes 등 1994)시키며, 당질의 흡수율 혹은 당질분해효소의 활성을 저하시킨다는 연구보고(Muir 등 1994)는 인슐린 비의존형 당뇨병 치료식에 대한 가능성을 제시해 주는 연구라 생각된다.

그러나 Truswell (1992)은 여러 가지 식품의 혈당지수와 그들의 저항전분 함량과는 아무관계가 없었다고 하였다. 또한 혈당 수준은 식사를 구성하는 식품의 상대적인 구성비(Heijnen 등 1995) 및 식품의 물리-화학적 조성의 조건에 따라 달라진다는 보고도 있다(Amelsvoort & Westrate 1992a, 1993b). 이들의 연구들은 저항전분의 혈당 조절기능에 대한 더 많은 연구의 필요성을 제시한다.

이상에서와 같이 실험에 사용된 식이섬유 종류에 따라 서로 다른 생리효과를 나타낼 뿐만 아니라 구성하는 식품의 조성에 따라 일부 상반된 영양효과들이 주장되고 있다. 더욱이 지금까지 저항전분의 체내 이용에 대한 연구는 실험동물을 대상으로 자연 식품 내에 있는 저항전분의 형태별 연구가 주로 되고 있을 뿐이다. 근래 인체를 대상으로 한 Oh 등(2000) 및 Kim 등(2000)의 일부 보고가 있을 뿐 이 분야 연구는 매우 적고, 더욱이 본 실험실에서 개발한 저항전분의 인체 혈당 반응성에 미치는 효과에 대하여 밝힌 연구는 아직 없다.

이에 본 연구에서는 저항전분을 사람에게 첨가 급식시켰을 때 혈액 중 포도당, 지질 및 인슐린 함량변동을 관찰함으로써 저항전분이 인체 혈당 조절기능에 미치는 영향에 대하여 밝히고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 저항전분의 제조 및 함량 측정

저항전분의 제조는 Mun (2001)의 방법에 의하였다. 즉 RS3형 전분은 amylo maize VII (AMS)를 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 횟수를 2회까지 반복한 다음, 냉동건조기(Freeze dryer, I1-Sin Engineering Co, Korea)에서 건조시킨 후 100 메쉬 체를 통해 얻었다. RS4형 전분은 amylo maize VII (AMS) 50 g과 증류수 70 ml를 비커에 넣고 45°C 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 결합체와 염을 제거하기 위하여 원심분리기를 이용하여 4번 이상 씻은 후 40°C 오븐에서 건조시켰다. 건조된 시료는 마쇄기로 마쇄하고, 100 메쉬 체를 통해 얻었다. 냉동 건조한 amylo maize VII 중 저항전분의 함량은 pancreatin-gravimetric method (American Association of Official Analytical Chemical Change in Method 1985)를 이용하여 측정하였으며 RS3형 전분 및 RS4형 전분의 함량은 각각 33% 및 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 선정하였다. 즉 각각의 대상자들은 Hemoglobin (Hb) 농도, Hematocrit (Hct)치, 임상증상의 이상유무와 신장, 체중 및 신체질량지수(BMI) 등 혈액학적 소견과 신체 측정치를 통하여 실험 대상자의 선정여부를 결정하였다. 각 대상자들의 신체 상황은 Table 1

Table 1. Subjects characteristics and laboratory findings of blood

Age (year)	21.6 ± 0.1
Height (cm)	159.7 ± 2.4
Weight (kg)	54.6 ± 1.0
BMI <sup>1)</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	21.0 ± 0.5
Hemoglobin (g/dl)	13.9 ± 0.4
Hematocrit (%)	39.1 ± 0.4

<sup>1)</sup> Body Mass Index = Weight (kg)/(Height (m))<sup>2</sup>  
Values are mean ± standard error

**Table 2.** Composition of the test diets

Diets	Total carbohydrate (%)	Total protein (%)	Total fat (%)	Total dietary fiber (%)	Total energy (kcal/100 g)
WWBD <sup>1)</sup>	79.6	13.3	7.1	0.1	435
CED	58.6	13.6	17.8	10.1	449
RS3D	61.5	11.6	16.9	10.1	445
RS4D	60.5	12.4	17.1	10.1	446

1) Diets are WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet

과 같다.

## 2) 실험식사 및 급식관리

흰밀가루빵을 대조식(White wheat bread diet: WWBD)으로 하여 셀룰로오스를 함유하는 셀룰로오스식(Cellulose diet: CED), 저항전분 3 및 4를 각각 함유하는 RS3식(Resistant starch 3 diet: RS3D) 및 RS4식(Resistant starch 4 diet: RS4D) 등 4종을 사용하였으며 그 한끼 조성은 Table 2와 같다.

한끼 당 흰밀가루빵식은 가급적 식이섬유소 함량이 낮은 흰밀가루 만으로 만든 것을 섭취하도록 하였다. 셀룰로오스, RS3 및 RS4식은 흰밀가루에 셀룰로오스, RS3 및 RS4가 각각 한끼 당 10 g 이 되도록 조리하여 급식시켰다. 식단 작성 시 본 실험에 사용한 열량은 저항전분(RS3형 전분: 33%, RS4형 전분: 45%)을 제외한 나머지 것을 옥수수 전분으로 간주하여 그것의 열량을 참조하였다.

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 하였으며 실험식사 이외 식품섭취는 엄격히 통제하였다.

## 3) 실험기간

실험식사에의 적응을 위하여 6일간 동일한 실험식사를 급식시킨 후 마지막 7일째 아침에 혈액 시료를 채취하였다. 처음 1주간은 CED, 2주 째는 RS3D 그리고 3주 째는 RS4D를 급식시켰으며, 마지막 4주 째에 대조식으로 WWBD를 급식시켰다.

## 3. 시료수집

### 1) 혈액채취

각 실험식사 섭취 마지막날에 실험식을 급식시키기 직전 14시간 공복 상태 및 급식 후 15, 30, 45, 60, 75, 90 및 120분에 각각 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액 일부는 EDTA로 항 응고 처리된 시험관에 담고, 일부는 즉시 3000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 얻은 혈장을 분석 시까지 -70℃ 냉동고에 보관하였다.

### 4. 혈액의 과 성분 함량 측정

혈액의 헤모글로빈 함량은 cyanomethemoglobin법으로, 헤마토크리트치는 원심분리법(Lee & Chong 1982)으로 측정하였다. 혈당은 glucose oxidase법(Rabbo & Terkildsen 1960)에 의한 glucose kit (아산제약)를 이용하였으며, 중성지방은 Bucolo와 David의 방법(1973)에 준한 효소법에 의한 kit (아산제약)를, 유리지방산 농도는 ACS-ACO 효소법에 의한 kit (극동제약, Japan)로 측정하였다. 인슐린의 함량측정은 Desbuquois와 Aurbach방법(1971)에 준한 radioimmunoassay법을 사용하였다.

### 5. 통계처리

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

## 결과 및 고찰

### 1. 대상자의 일반상황

대상자들의 신장은 평균 159.7 cm이었으며 체중은 평균 54.6 kg이었고 신장과 체중에 의한 BMI는  $21.0 \pm 0.5$  kg/m<sup>2</sup>로 정상범위(Recommended dietary allowances for Koreans 7th revision 2000)에 속하였다(Table 1). 혈액학적 상황으로 헤모글로빈 농도는  $13.9 \pm 0.4$  g/dl로 정상범위였으며 헤마토크리트치는  $39.1 \pm 0.4\%$ 로 정상범위(Lee & Chong 1982)에 속하였다.

### 2. 혈당과 혈당지수

각 실험식사 급식 후 시간별 혈당증가량은 Table 3과 같다. 본 실험에서 실험식을 급식시키기 직전 공복 시 혈당 함량은  $76.7 \pm 2.6$  mg/dl이었다.

흰밀가루빵(WWBD)을 대조식으로 하였을 때 CED와 RS3D 및 RS4D 모두 식후 30분까지 혈당증가량에서 별 차이가 없었다. 식후 45분 이후에는 대조식에 비하여 각

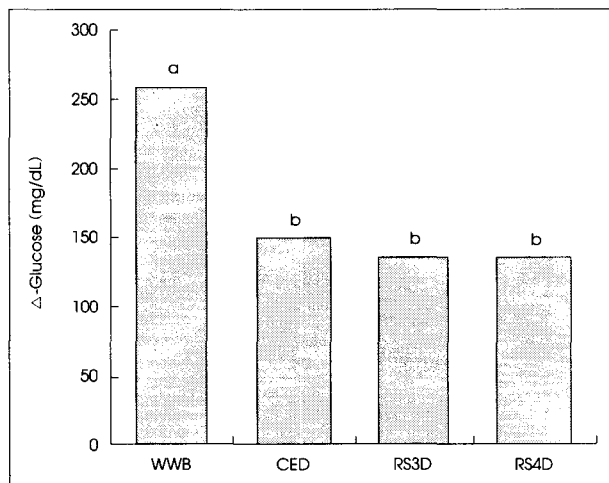
**Table 3.** Incremental blood glucose concentrations after consuming different test diets

Time	Incremental glucose response (mg/dl)			
	WWBD <sup>1)</sup>	CED	RS3D	RS4D
15 min	11.9 ± 4.1 <sup>a</sup>	13.5 ± 4.7 <sup>a</sup>	14.3 ± 2.9 <sup>a</sup>	12.7 ± 5.1 <sup>a</sup>
30 min	39.5 ± 4.9 <sup>a</sup>	32.1 ± 2.6 <sup>a</sup>	29.1 ± 3.9 <sup>a</sup>	35.1 ± 7.3 <sup>a</sup>
45 min	51.1 ± 8.9 <sup>a</sup>	26.3 ± 5.2 <sup>b</sup>	21.4 ± 4.2 <sup>b</sup>	25.5 ± 5.3 <sup>b</sup>
60 min	44.8 ± 11.7 <sup>a</sup>	20.2 ± 3.7 <sup>b</sup>	21.6 ± 5.7 <sup>b</sup>	24.1 ± 12.9 <sup>b</sup>
75 min	44.8 ± 13.8 <sup>a</sup>	17.9 ± 2.2 <sup>b</sup>	20.4 ± 5.9 <sup>b</sup>	22.3 ± 3.9 <sup>b</sup>
90 min	37.2 ± 11.7 <sup>a</sup>	21.6 ± 2.5 <sup>ab</sup>	18.7 ± 3.1 <sup>b</sup>	10.6 ± 3.8 <sup>b</sup>
120 min	29.8 ± 7.9 <sup>a</sup>	18.4 ± 4.4 <sup>ab</sup>	10.8 ± 5.5 <sup>b</sup>	6.8 ± 3.7 <sup>b</sup>
△AUC	258.9 ± 38.8 <sup>a</sup>	149.9 ± 7.9 <sup>b</sup>	136.3 ± 20.5 <sup>b</sup>	137.1 ± 26.4 <sup>b</sup>

1) WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet

Values are mean ± standard error

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



**Fig. 1.** Total incremental plasma glucose concentrations after consuming different test meals over 120 min. WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet.

식이섬유 첨가식 모두 혈당 증가량이 현저하게 (p < 0.05) 낮아졌으나 각 식이섬유 첨가식 간의 혈당증가량에서는 별 차이 없었다.

식후 2시간 동안의 혈당 증가량(Fig. 1)도 각 식이섬유 첨가식 별로 각각 대조식에 비하여 현저하게 (p < 0.05) 낮은 결과를 보였으나, 각 식이섬유 첨가식 간에는 별 차이 없었다.

한편 WWBD의 혈당 지수를 100으로 하였을 때(Table 4) CED와 RS3D 및 RS4D에서 각각 57.9 ± 3.0, 52.6 ± 7.9, 52.9 ± 10.2로 현저하게 낮았으나 각 식이섬유 첨가식 간에 유의적인 차이는 없었다.

식이섬유소가 혈당치를 낮추는 기전으로 전분소화율의 저하, 소화된 음식물의 십이지장으로의 이동속도 감소, 소장으로 확산되는 당류의 속도 감소 등이 있다(Rosado & Diaz 1995). 수용성 식이섬유는 점성의 젤을 형성하여 위

**Table 4.** Glycemic and Insulinemic indexes after consuming different test meals

Diets <sup>1)</sup>	Glycemic index <sup>2)</sup>	Insulinemic index <sup>2)</sup>
WWBD	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
CED	57.9 ± 3.0 <sup>b</sup>	49.8 ± 8.2 <sup>c</sup>
RS3D	52.6 ± 7.9 <sup>b</sup>	50.0 ± 7.3 <sup>c</sup>
RS4D	52.9 ± 10.2 <sup>b</sup>	72.4 ± 7.7 <sup>b</sup>

1) Diets are WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet

Values are mean ± standard error

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

2) The glycemic and insulinemic indexes were calculated from the 120-min incremental postprandial blood glucose and insulin areas by using WWB as a reference (glycemic and insulinemic indexes = 100)

배출시간을 지연시킴으로써 혈당을 개선시킨다고 하였으며(Torsdottir 등 1991) 점도에 따라 그 영향이 다르다고 하였다(Kim 등 1996).

한편 Lee와 Shin (2002)은 식이섬유 함량이 다른 쌀을 이용한 연구에서, Zhong 등(2000), McIntosh와 Miller (2001)은 식이섬유 함유량이 높은 경우에서 혈당지수가 낮았다고 보고하였다. 또한 Lee 등(1996)은 인슐린 비의존성 당뇨병환자에게 불용성 식이섬유를 1일 20 g을 급식하여 당질대사가 개선되었다고 하였다. 이들 식이섬유의 유익한 효과들로 인하여 당뇨병환자에 대한 식이섬유 섭취권장량을 1일 40 g이 제안(American Diabetes Association 1986)되고 있다. 그러나 식이섬유 함량 증가에 따라 혈당 조절 효과가 상승되는지에 대한 연구 결과는 일치하고 있지 않다(Jennifer 등 2002; Katri 등 2003).

근래 Brenda 등(2002)은 오토와 밀을 이용하여 식이섬유소의 함량을 30 g 수준으로 급여시켰을 때 혈당과 인슐린 결과의 차이가 없음을 보고하였다. Katri 등(2003)도 각기 다른 식품에서 유래한 식이섬유 급식이 혈당에 미치

**Table 5.** Incremental blood insulin concentrations after consuming different test diets

Time	Incremental insulin response ( $\mu\text{U}/\text{ml}$ )			
	WWBD <sup>1)</sup>	CED	RS3D	RS4D
15 min	17.9 $\pm$ 3.3 <sup>a</sup>	17.5 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	9.0 $\pm$ 2.4 <sup>b</sup>	19.9 $\pm$ 3.5 <sup>a</sup>
30 min	41.6 $\pm$ 6.3 <sup>b</sup>	26.6 $\pm$ 2.9 <sup>b</sup>	39.2 $\pm$ 6.2 <sup>b</sup>	61.7 $\pm$ 7.4 <sup>a</sup>
45 min	53.8 $\pm$ 7.2 <sup>ab</sup>	32.0 $\pm$ 2.2 <sup>c</sup>	42.1 $\pm$ 7.3 <sup>bc</sup>	65.2 $\pm$ 8.5 <sup>a</sup>
60 min	60.6 $\pm$ 8.8 <sup>a</sup>	29.6 $\pm$ 4.7 <sup>b</sup>	35.3 $\pm$ 6.5 <sup>b</sup>	57.2 $\pm$ 8.5 <sup>a</sup>
75 min	66.1 $\pm$ 8.8 <sup>a</sup>	34.4 $\pm$ 3.6 <sup>b</sup>	31.7 $\pm$ 5.5 <sup>b</sup>	38.0 $\pm$ 5.6 <sup>b</sup>
90 min	61.8 $\pm$ 6.7 <sup>a</sup>	25.9 $\pm$ 2.1 <sup>b</sup>	24.5 $\pm$ 4.8 <sup>b</sup>	22.1 $\pm$ 3.2 <sup>b</sup>
120 min	70.9 $\pm$ 8.4 <sup>a</sup>	19.6 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	4.5 $\pm$ 2.0 <sup>c</sup>	5.6 $\pm$ 1.8 <sup>c</sup>
$\Delta\text{AUC}$	372.6 $\pm$ 27.0 <sup>a</sup>	185.6 $\pm$ 10.3 <sup>c</sup>	186.3 $\pm$ 27.2 <sup>c</sup>	269.8 $\pm$ 28.7 <sup>b</sup>

1) WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet

Values are mean  $\pm$  standard error

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

는 영향의 정도가 다르지 않다고 하였으나, Roel 등(2000)은 2형저항전분과 3형저항전분을 이용하여 이들간의 혈당 지수가 유의하게 차이가 있음을 보고하는 등 식이섬유의 종류별 혈당 조절효과에도 다소 의견을 달리하고 있다.

본 연구는 각 식이섬유 첨가식 간의 식이섬유 함량을 동일하게 조절하였고, 또한 동일한 실험대상자를 대상으로 반복 실험한 연구 결과에서 각 실험군 간의 혈당반응결과가 유의적인 차이를 보이지 않는 결과로 보아 저항전분 3형과 4형 모두가 셀룰로오스와 유사한 혈당조절 효과를 갖는 것으로 생각된다.

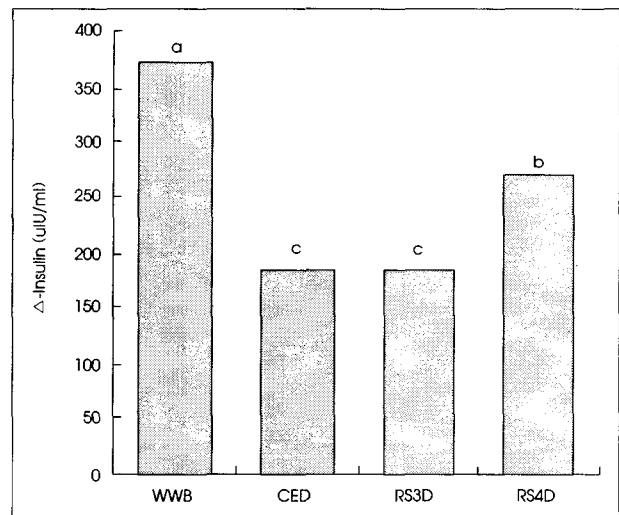
### 3. 인슐린과 인슐린지수

각 실험식사 급식 후 시간별 인슐린 증가량은 Table 5와 같다.

본 실험에서 실험식을 급식시키기 직전 공복 시 인슐린 함량은  $3.5 \pm 0.5 \mu\text{IU}/\text{ml}$ 이었다.

흰밀가루빵(WWBD)은 급식 후 계속 증가하여 2시간까지 계속 높은 수준을 유지하는 양상을 보였는데, CED 및 RS3D 모두 실험식이 급식 후 인슐린 함량은 다소 증가하나 WWBD에 비하여 낮았으며 식후 30~45분에는 오히려 점차 감소하였다. 그러나 RS4D는 식 후 30분에서 45분까지 WWBD 보다도 높은 수준이었다가 이후 점차 낮아지는 양상을 보였다. 한편 WWBD의 인슐린지수를 100으로 하였을 때(Table 4) CED와 RS3D 및 RS4D에서 각각  $49.8 \pm 8.2$ ,  $50.0 \pm 7.3$ ,  $72.4 \pm 7.7$ 로 CED와 RS3D에 비하여 RS4D는 현저하게 높았으나, WWBD에 비하여는 현저히 낮았다.

Leinonen 등(1999)은 건강한 성인을 대상으로 하여 흰빵과 호밀빵을 급식시켰을 때, 식후 혈당에서 차이가 없었음에도 불구하고 호밀빵을 섭취한 군에서 인슐린의 수준이 현저하게 낮았다고 보고하였다. Katri 등(2003)은 섬



**Fig. 2.** Total incremental plasma insulin concentrations after consuming different test diets over 120 min. WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet.

유소의 종류에 따라 유사한 혈당수준을 나타낼지라도 각 식품이 갖는 고유의 구조적 특성에 따라 인슐린 반응은 다르게 나타날 수 있다고 하였다.

본 연구에서 WWBD를 포함하여 CED와 RS3D의 경우 인슐린의 반응이 혈당반응과 유사하였으나(Fig. 2), RS4D는 식후 60분까지 WWBD 보다도 높은 인슐린 수준을 유지하다가 이후 WWBD보다 낮아지는 양상을 보였다. RS3 및 RS4는 그 분자의 결정구조가 현저하게 차이가 난다는 점(Shin 등 2001; Mun 2001)에서 RS4D가 CED 및 RS3D와는 달리 급식 초기에 보다 빨리 당의 소화흡수가 진행되기 때문에 혈당 조절을 위해 인슐린 함량이 증가한 것으로 생각된다. 이와 같은 혈당 조절 기전을 참고로 한다면 RS4D는 당뇨병자에 대한 식사요법의 재료로 적합하지 못할 것으로 생각되나, 이점에 대하여는 추후 당뇨병자를 대상으로

**Table 6.** Incremental blood triacylglycerol concentrations after consuming different test diets

Time	Incremental TG response (mg/dl)			
	WWBD <sup>1)</sup>	CED	RS3D	RS4D
15 min	-8.5 ± 5.3 <sup>a</sup>	-11.1 ± 1.6 <sup>a</sup>	-2.2 ± 7.2 <sup>a</sup>	-7.8 ± 4.8 <sup>a</sup>
30 min	-13.8 ± 3.3 <sup>b</sup>	-8.9 ± 1.2 <sup>ab</sup>	6.2 ± 8.8 <sup>a</sup>	-2.4 ± 4.5 <sup>ab</sup>
45 min	-8.1 ± 5.5 <sup>a</sup>	-9.0 ± 2.5 <sup>a</sup>	5.5 ± 9.2 <sup>a</sup>	3.4 ± 2.9 <sup>a</sup>
60 min	0.2 ± 3.2 <sup>a</sup>	-8.7 ± 1.9 <sup>a</sup>	9.2 ± 13.2 <sup>a</sup>	3.7 ± 3.9 <sup>a</sup>
75 min	7.1 ± 9.8 <sup>a</sup>	-3.5 ± 3.4 <sup>a</sup>	16.9 ± 10.5 <sup>a</sup>	13.1 ± 4.5 <sup>a</sup>
90 min	-16.3 ± 3.4 <sup>b</sup>	0.6 ± 2.7 <sup>ab</sup>	25.4 ± 14.1 <sup>a</sup>	7.8 ± 5.9 <sup>ab</sup>
120 min	-5.1 ± 6.6 <sup>a</sup>	3.2 ± 3.7 <sup>a</sup>	18.0 ± 13.1 <sup>a</sup>	2.5 ± 2.9 <sup>a</sup>

1) WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet

Values are mean ± standard error

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

**Table 7.** Incremental blood free fatty acid concentrations after consuming different test diets

Time	Incremental FFA response ( $\mu\text{Eq}/\ell$ )			
	WWBD <sup>1)</sup>	CED	RS3D	RS4D
15 min	-171.9 ± 57.7 <sup>a</sup>	-77.3 ± 39.6 <sup>a</sup>	-62.4 ± 41.2 <sup>a</sup>	-116.1 ± 39.6 <sup>a</sup>
30 min	-204.4 ± 38.9 <sup>ab</sup>	-120.5 ± 64.4 <sup>a</sup>	-238.4 ± 25.3 <sup>ab</sup>	-255.1 ± 33.3 <sup>b</sup>
60 min	-449.1 ± 35.5 <sup>b</sup>	-336.3 ± 84.4 <sup>a</sup>	-386.3 ± 34.1 <sup>ab</sup>	-403.3 ± 26.6 <sup>ab</sup>
120 min	-468.7 ± 50.6 <sup>b</sup>	-389.9 ± 25.4 <sup>b</sup>	-405.4 ± 16.5 <sup>b</sup>	-279.7 ± 21.0 <sup>a</sup>

1) WWBD: white wheat bread diet, CED: cellulose diet, RS3D: resistant starch 3 diet and RS4D: resistant starch 4 diet

Values are mean ± standard error

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

더 연구되어야 할 것이다.

#### 4. 중성지방 및 유리지방산

식후 혈중 중성지방과 유리지방산의 증가수준은 Table 6 및 7과 같다.

혈장 내 중성지방 및 유리지방산의 함량은 공복 시  $47.0 \pm 3.8$  mg/dl 및  $576 \pm 79$   $\mu\text{Eq}/\ell$  이었다.

WWBD를 포함하여 CED, RS3D 및 RS4D 별로 급식 직후 잠시 감소되었다가 이후 회복되는 양상으로 각 식사별 뚜렷한 차별성이 없었다. 혈장 내 유리지방산 함량도 WWBD를 포함하여 CED, RS3D 및 RS4D 별로 급식 후 2시간까지 지속적으로 감소하는 양상으로 각 식사별 현저한 차이 없이 유사한 경향이였다.

Lee와 Shin (2002)은 단기간의 연구에서 식이섬유 함량이 다른 쌀을 급식시켰을 때 혈중 중성지방 함량에 별 차이가 없다고 하였고, Arturo 등(2004)는 식이섬유를 많이 급식시킨 경우에도 고지혈증 개선에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 더욱이 Brenda 등(2002)은 식이섬유의 함량을 30 g 수준으로 급여시킨 장기간의 연구에서도 혈중 중성지방의 수준이 현저한 차이를 보이지 않는다고 하였다. 이는 본 연구에서 각 실험 식사별 혈액 중 중성지방 및 지방산 함량변동에 큰 차이를 보이지 않는다는 성적과 유사한 결과들로서, 본 실험에 사용한 셀룰로스, RS3 및 RS4

는 각각 혈중 지질함량 변동에 유사하게 작용하며, 또한 이들의 단기간 사용으로는 별 효과가 없는 것으로 생각된다.

그러나 Jue 등(2003)은 보리, 쌀 및 옥수수 전분을 이용한 장기간의 서로 다른 식이섬유소원에 관한 연구에서, Song 등(2001)은 표고와 보리에서 추출한  $\beta$ -glucan이 혈중 중성지방에 미치는 영향이 각각 현저하게 다르다고 보고하였고, Park과 Lee (2003) 및 Thomas와 Christine (2003)도 섬유소원에 따라 혈중 중성지방과 유리지방산의 결과가 다를 수 있음을 보고하는 등 식이섬유소에 의한 혈중 지질상태의 개선을 주장하고 있는 바, 이러한 서로 상이한 연구 결과들에 대하여는 앞으로 식이섬유의 종류 및 급여 기간뿐 아니라 실험 대상자 등을 달리하는, 보다 광범위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 요약 및 결론

본 연구는 저항전분이 인체 혈당 조절기능에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 건강한 여자 대학생을 대상으로 하여 흰밀가루빵식을 대조식으로 하여 흰밀가루빵에 셀룰로스, RS3 및 RS4 전분을 첨가한 실험식을 급식시키기 직전 및 급식 후 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120분에 각각 혈액을 채취하여 포도당, 인슐린, 중성지방 및 유리지방산의

함량변동을 측정된 결과 다음과 같은 성적을 얻었다.

WWBD의 혈당 지수를 100으로 하였을 때 CED와 RS-3D 및 RS4D의 혈당 지수는 각각  $57.9 \pm 3.0$ ,  $52.6 \pm 7.9$  및  $52.9 \pm 10.2$ 로 흰밀가루빵식에 비하여 현저하게 낮았으나 각 식이섬유 첨가군 간에 현저한 차이는 없었다.

WWBD의 인슐린지수를 100으로 하였을 때 CED와 RS3D 및 RS4D의 인슐린 지수는 각각  $49.8 \pm 8.2$ ,  $50.0 \pm 7.3$  및  $72.4 \pm 7.7$ 로 CED와 RS3D에 비하여 RS4D는 현저하게 높았으나, WWBD에 비하여는 현저히 낮았다.

혈장 내 중성지방의 함량은 WWBD를 포함하여 CED, RS3D 및 RS4D 별로 급식 직후 잠시 감소되었다가 이후 회복되는 양상으로 각 식사별 뚜렷한 차별성이 없었으며, 혈장 내 유리지방산 함량도 WWBD를 포함하여 CED, RS3D 및 RS4D 별로 급식 후 2시간까지 지속적으로 감소하는 양상으로 각 식사별 현저한 차이 없이 유사한 경향이였다.

이상의 성적으로 보아 셀룰로오스 및 RS3의 혈당반응에 대한 역할은 소화흡수율을 지연시켜 빠른 혈당 상승을 조절하는 것으로 사료되나, RS4는 급식 초기에 인슐린 함량이 높아지는 경향으로 보아, 혈당반응에 대한 기전은 셀룰로오스 및 RS3와 다른 것으로 생각되며, 이점에 대하여는 추후 더 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- Amelvoort JM, Westrate JA (1992): Amylose-amylopectin ratio in a meal affects postprandial variables in male volunteers. *Am J Clin Nutr* 55: 712-718
- American Association of Official Analytical Chemical Change in Method (1985): Total dietary fiber in foods, enzymatic gravimetric method, First action. *J Assoc Anal Chem* 68: 399-400
- American Diabetes Association (1986): Nutritional recommendations and principles for individuals with diabetes mellitus. *Diabetes Care* 10: 126-132
- Arturo JC, Wilfred H, Turnbull WH, Montserrat BG, Perla RG (2004): A high-fiber, moderate-glycemic-index, Mexican style diet improves dyslipidemia in individuals with type 2 diabetes. *Nutrition Research* 24: 19-27
- Brenda MD, Kevin PD, Richard CH, Stacy DB, Linda RD, Christopher LM (2002): High-fiber oat cereal compared with wheat cereal consumption favorably alters LDL-cholesterol subclass and particle numbers in middle-aged and older men. *Am J Clin Nutr* 76: 351-358
- Bucolo G, David H (1973): Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. *Clin Chem* 19: 476-482
- Byrnes S, Denyer G, Brand-Miller J (1994): Development of insulin resistance in rats after low amylose vs high amylose diets. *Proc Nutr Soc Aust* 18: 117
- Cummings JH, Englyst HN (1995): Gastrointestinal effects of food carbohydrate. *Am J Clin Nutr* 61: 938S-945
- Deckere EM, Willem JK, Amelvoort JMM (1993): Resistant starch decrease serum total cholesterol and triglycerol concentrations in rats. *J Nutr* 123(12): 2142-2151
- Dennis T (1992): The importance of total dietary fiber in human nutrition and health. *Korean J Nutr* 25(1): 75-76
- Desbuquois B, Aurbach GB (1971): Use of polyethylene glycol separate free and antibody-bound peptide hormones radioimmunoassays. *J Clin Endocrinol Metab* 33: 732-738
- Heijnen ML, van Amelvoort JM, Westrate JA (1995): Interaction between physical structure and amylose: amylopectin ratio of foods on postprandial glucose and insulin responses in healthy subjects. *Eur J Clin Nutr* 49(6): 446-457
- Helena GML, Anna KEA, Inger MEB (1999): Effect of the glycemic index and content of indigestible carbohydrate of cereal-based breakfast meals on glucose tolerance at lunch in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 69: 647-655
- Hylla S, Gostner A, Dusel G, Anger H, Bartram HP, Christl SU, Kasper H, Scheppach W (1998): Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers: possible implications for cancer prevention. *Am J Clin Nutr* 67: 136-142
- Jennifer CL, Marlene MM, Michael L, Frank LG, Jennifer CR (2002): Effect of diets enriched in almonds on insulin action and serum lipids in adults with normal glucose tolerance or type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 76: 1000-1006
- Jue L, Takashi K, Li-Qiang Q, Jing W, Yuan W, Akio S (2003): Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: Comparison among barley, rice, and cornstarch. *Metabolism* 52(9): 1206-1210
- Katri SJ, David EL, Karin A, Leo KN, Jens JH, Kari ES, Kirs-Helena L, Kaisa SP, Hannu MM (2003): Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *Am J Clin Nutr* 78: 957-964
- Kim EH, Vuksan V, Wong E (1996): The relationship between viscosity of soluble dietary fiber and their hypoglycemic effects. *Korean J Nutr* 29(6): 615-621
- Kim JH, Choi IS, Park SA, Shin MS, Oh SH (2000): Effects of resistant starch on metabolism of bile acids in college women. *Korean J Nutr* 33(8): 802-812
- Korea National Statistical Office (2003): Statistical annual of mortality cause
- Krashenitsa GM, Botvineva LA, Mogila AV (1994): Effectiveness of increased contents of dietary fiber in early stages of non-insulin dependent diabetes mellitus. *Vopr Pitan* 4: 35-37
- Lee C, Shin JS (2002): Effects of different fiber content of rice on blood glucose and triglyceride levels in normal subject. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31(6): 1048-1051
- Lee HS (1997): Dietary fiber intake of Korean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26(2): 540-548
- Lee HS, Choi MS, Lee YK, Park SH, Kim YJ (1996): A study on the development of high-fiber supplements for the diabetic patients (I) - Effect of seaweed supplementation on the gastrointestinal function and diabetic symptom control in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 29(3): 286-295
- Lee SU, Chong YS (1982): Laboratory methods in clinical pathology, pp.75-79, Yunsei University Press, Seoul

- Lee YK, Lee HS, Kim BY (1996): Effect of short-term feeding of dietary fiber supplements on glucose metabolism in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *J Korean Soc Food Nutr* 25 (5): 846-854
- Leinonen K, Liukkonen K, Poutanen K, Uusitupa M, Mykkanen H (1999): Rye bread decreases postprandial insulin response but does not alter glucose response in healthy Finnish subjects. *Eur J Clin Nutr* 53: 262-267
- Levrat MA, Moundras C, Younes H, Demigne C, Remesy C (1996): Effectiveness of resistant starch, compared to guar gum in depressing plasma cholesterol and enhancing fecal steroid excretion. *Lipids* 31(10): 1069-1075
- McIntosh M, Miller C (2001): A diet containing food rich in soluble and insoluble fiber improves glycemic control and reduces hyperlipidemia among patients with type 2 diabetes mellitus. *Nutrition Reviews* 59: 52-55
- Ministry of Health and Welfare (2000): '98 National nutrition survey report
- Muir JG, Lu ZX, Young GP, Smith DC, Collier GR, O'Dea K (1994): Resistant starch in the diet increase breath hydrogen and serum acetate in human subjects. *Am J Clin Nutr* 61: 792-799
- Muir JG, Young GP, O'Dea K (1994): Resistant starch-implications for health. *Proc Nutr Soc Aust* 18: 23-32
- Mun SH (2001): Development of various resistant starches from maize starch. Chonnam National University Ph.D thesis
- O'Dea K, Traianedes K, Ireland P, Niall M, Sadler J, Hopper J, De Luise M (1989): The effects of diet differing in fat, carbohydrate, and fiber on carbohydrate and lipid metabolism in type II diabetes. *J Am Diet Assoc* 89: 1076-1086
- Oh JY, Choi IS, Park SA, Lee SS, Oh SH (2000): Effects of resistant starch on availability of energy nutrients in rats. *Korean J Nutr* 33 (4): 365-373
- Park SH, Lee HS (2003): Effects of legume supplementation on the glucose and lipid metabolism and lipid peroxidation in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 36(5): 425-436
- Phillips J, Muir JG, Birkett A, Lu ZX, Jones GP, O'Dea K, Young GP (1995): Effect of resistant starch on fecal bulk and fermentation-dependent events in humans. *Am J Clin Nutr* 62: 121-130
- Rabbo E, Terkildsen TC (1960): On the enzymatic determination of blood glucose. *Scandinav J Lab Invest* 12: 402-407
- Ranhotra GS, Gelroth JA, Glaser BK (1996): Effect of resistant starch on blood and liver lipids in hamsters. *Cereal Chem* 73(2): 176-178
- Recommended Dietary Allowances for Koreans (2000): 7th revision, The Korean Nutrition Society, Seoul
- Roel JV, Renate EH, Rynate de G, Henk E, Saskia T, Yue-Xin Y, Frans S (2000): Digestion of so-called resistant starch sources in the human small intestine. *Am J Clin Nutr* 72: 432-438
- Rosado JL, Diaz M (1995): Physicochemical properties related to gastrointestinal effects of six dietary fibers. *Rev Invest Clin* 47: 283-289
- Shimizu S, Inoue K, Tani Y, Yamada H (1979): Enzymatic microdetermination of serum free fatty acids. *Anal Biochem* 98(2): 341-345
- Shin MS, Mun SH, Woo KS (2001): Effects of Cross-linked RS 4 starches on Pasting Profiles of Wheat Starch using RVA. *Korean J Food Sci Technol* 33(1): 157-160
- Song JY, Yun GJ, Yun HG, Gu SJ (2001): Effects of  $\beta$ -glucan from *Lentinus edodes* and *Hordeum vulgare* on blood glucose and lipid composition in alloxan-induced diabetic mice. *Korean J Food Sci Technol* 33: 802-807
- Thomas MS, Christine M (2003): Long-term effect of varying the source or amount of dietary carbohydrate on postprandial plasma glucose, insulin, triacylglycerol, and free fatty acid concentrations in subjects with impaired glucose tolerance. *Am J Clin Nutr* 77: 612-621
- Torsdottir I, Alpsten M, Goran H, Sandberg AS, Tolli J (1991): A small dose of soluble Alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in human with diabetes. *J Nutr* 121: 795-799
- Trowell H, Southgate DAT, Wolever TMS, Leeds AR, Gassull MA, and Jenkin DJA (1976): Dietary fiber redefined. *Lancet* 1: 967-974
- Truswell AS (1992): Glycemic index of foods. *Eur J Clin Nutr* 46(Suppl 2): S91-101
- Van Munster IP, Tangerman A, Nagengase FM (1994): Effect of resistant starch on colonic fermentation bile acid metabolism and mucosa proliferation. *Dig Dis Sci* 39(4): 834-842
- Vuksan V, Korsic M, Posavi AA (1997): Metabolic diseases and the high-fiber diet. *Lijec Vjesn* 119: 125-127
- Westrate JA, Amelsoort JM (1993): Effects of the amylose content of breakfast and lunch on postprandial variables in male volunteers. *Am J Clin Nutr* 58: 180-186
- Younes H, Levrat MA, Demigne C, Remesy C (1995): Resistant starch is more effective than cholestyramine as a lipid-lowering agent in the rat. *Lipids* 30(9): 847-853
- Zhong XL, Walker KZ, Muir JG, Mascara T, O'Dea K (2000): Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *Am J Clin Nutr* 71: 1123-1128