

곡류의 혈당지수와 전분 가수분해율과의 상관관계

이정선* · 신현경

*한림대학교 자연과학연구소, 한림대학교 생명과학부

Correlation between Glycemic Index and *in vitro* Starch Hydrolysis of Cereals

Lee, Jung Sun* and Shin, Hyun Kyung

*Institute of Natural Science, Hallym University
Division of Life Sciences, Hallym University

Abstract

To see the correlation between the rate of *in vitro* starch hydrolysis and the glycemic index, an *in vitro* digestion was carried out by incubating the cereal samples for 2 hours with α -amylase in dialysis tubing. Also the levels of blood glucose were measured over 2 hours after feeding healthy volunteers with 50 g carbohydrate portions. Hydrolysis area, hydrolysis index (HI) and the dialysate content of carbohydrate throughout the digestion time for barley was significantly below those for other cereals ($p < 0.05$), and unpolished glutinous rice was significantly above ($p < 0.05$). The GI-glucose of barley ($57\% \pm 7$) to glucose as standard was significantly ($p < 0.05$) lower than those of other cereals whereas the GI-glucose of glutinous rice ($110\% \pm 8$) was significantly higher ($p < 0.05$) than other cereals. The GI-rice values to rice as standard were $122\% \pm 4$ for glutinous sorghum, $116\% \pm 13$ for job's tear, $115\% \pm 13$ for glutinous millet, $106\% \pm 6$ for unpolished glutinous rice, $102\% \pm 7$ for glutinous rice, $100\% \pm 0$ for rice, $90\% \pm 12$ for unpolished rice, $85\% \pm 6$ for foxtail millet, $79\% \pm 5$ for buckwheat and $63\% \pm 6$ for barley. The GI-rice was significantly correlated to hydrolysis area and HI ($r = 0.75$, $p < 0.01$). It suggests that the *in vitro* starch hydrolysis offers good potential to predict the *in vivo* glycemic response of starch foods.

Key words: glycemic index, hydrolysis index, starch hydrolysis, cereal

서 론

현재 우리 나라에서 이용되고 있는 당뇨병자에 대한 식이요법은 식품교환군을 기초로하여 1일 총섭취 열량을 조절하는 것이다. 이는 식품 중에 함유되어 있는 탄수화물, 지방, 단백질의 양을 근거로 한 것으로 당뇨병자의 식단을 쉽고 간편하게 계획할 수 있는 장점이 있는 반면 영양적인 분석에만 기초하고 식품의 소화·흡수에 대한 면은 고려하지 않는 문제점을 가지고 있다⁽¹⁾.

식품의 소화와 흡수율을 고려하여 인체 내 생리반응을 반영한 혈당지수(glycemic index, GI)는 치료식품을 섭취했을 때의 혈당반응과 기준식품으로 포도당 또는 흰빵을 섭취했을 때의 혈당반응을 비교하여 나

타낸 것으로 현재 국외에서 당뇨병자의 식이요법 뿐만 아니라 고지혈증 환자에게도 임상적으로 활용되고 있다⁽²⁾. 식품을 섭취했을 때 나타나는 인체 내 혈당반응은 식품에 따라 다르게 나타난다. 즉, 같은 양의 탄수화물 식품을 섭취하더라도 서로 다른 속도로 소화되고 흡수된다. 소화와 흡수가 느린 식품은 혈당반응이 느린데 비해서 소화와 흡수가 빠른 식품은 혈당반응이 급격할 뿐만 아니라 인슐린 및 다른 내분비물과의 반응도 함께 상승시킨다⁽³⁾. 따라서 탄수화물 식품의 양뿐만 아니라 탄수화물 식품의 종류와 전분 특성을 변화시킴으로써 당뇨병 환자의 혈당을 조절하고자 하는 연구들이 관심의 초점이 되고 있다.

한편 탄수화물 식품에 함유되어 있는 전분은 식품의 종류마다 서로 다른 전분 가수분해율을 나타내는데 이러한 차이는 인체 내에서의 혈당반응에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁾. 따라서 본 실험에서는 주식으로 섭취되고 있는 몇 가지 주요 곡류를 현재 섭

Corresponding author: Hyun-Kyung Shin, Division of Life Sciences, Hallym University, Ockchon 1-dong, Chuncheon, Gangwon-do 200-702, Korea

취하는 상태로 조리하여 섭취시켜 인체 내 혈당반응을 측정하고 혈당지수를 구하였으며, 또한 이 값을 *in vitro*에서 실시한 전분 가수분해율과 비교하여 이 둘 방법간의 상관관계를 구하여 *in vitro* 실험방법으로 *in vivo*의 결과를 예측할 수 있는지 검토해 보고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 실험 대상자

시료: 본 실험에서 사용한 시료의 수분, 전분함량 및 전분 가수분해율을 측정하기 위해 각 재료는 정선한 뒤 분쇄기로 분쇄(0.8 mm mesh)하고 폴리에틸렌병에 담아 parafilm으로 밀봉하여 실험 전까지 -20°C에서 냉동보관 하면서 시료로 사용하였다.

시료의 수분함량은 105°C dry oven에서 측정하였고¹⁾, 전분함량은 전보²⁾에서와 같이 효소적 방법을 이용한 전분측정용 kit (Boehringer Mannheim, Germany)를 이용하여 측정하였으며, 시료의 수분과 전분함량은 Table 1과 같다.

정상성인을 대상으로 혈당지수를 구할 시료는 다음과 같이 처리하였다. 즉 시료곡류를 30분간 물에 불린 후 일정량의 물을 가하고 전기밥솥에서 일반 취반 조건과 같이 조리하였으며 조리한 시료는 완전히 식힌 뒤 1인당 1회에 섭취되는 전분함량이 50 g이 되도록 용기에 나누어 담은 후 무작위로 섭취시켰다.

혈당 측정 대상자: 본 실험은 전보²⁾에서와 같은 방법으로 선정한 건강한 성인 22명(남자 8명, 여자 14명)을 대상으로 하였으며, 실험군별 대상자수, 연령, 체질량지수, 공복시 혈당 및 포도당섭취 후 혈당반응면적은 Table 2와 같았다. 혈당반응에 영향을 미칠 수 있는 실험 대상자들의 체질량지수, 공복시 혈당 그리고 포

도당섭취 후 혈당반응면적은 실험군 별로 유의적인 차이를 보이지 않았다.

In vitro 전분 가수분해율측정

시료의 전분 가수분해율측정은 Tovar 등의 방법⁷⁾을 이용하였다. 즉 약 0.25 g의 전분을 함유한 시료를 cap tube에 넣고 0.02 M HCl 용액 9 mL를 가한 후 뚜껑을 닫고 100°C에서 15분간 호화시켰다. 호화된 시료액을 실온까지 식힌 후 10 mL로 정용하고, 이 시료 용액 5 mL와 0.01 g의 α -amylase (28 Unit/mg, type VI-B, porcine pancrease, Sigma)를 dialysis bag (M.W. 12,000 cut off)에 넣었다.

37°C로 맞추어진 130 mL의 0.05 M phosphate buffer (pH 6.9)가 담긴 비이커에 dialysis bag을 넣고 2시간 동안 37°C를 유지하면서 가수분해된 glucose가 dialysis bag 밖의 phosphate buffer로 유리되도록 일정한 속도로 저어주면서 전분을 가수분해시켰다. 전분 가수분해율을 시간별로 측정하기 위해 가수분해 시작 후 15, 30, 60, 90 및 120분에 각각 phosphate buffer 용액 1 mL을 취하여 유리된 glucose를 DNS 방법⁸⁾으로 측정하였다. 표준곡선은 glucose를 기준으로 하였으며 대조군으로 옥수수전분을 이용하였다. 시료의 전분 가수분해율은 시료의 총전분 함량에 대한 가수분해된 전분의 %로 나타내었으며, 전분 가수분해곡선의 면적은 산술적으로 계산하였다. 2시간 동안 측정된 시료와 옥수수전분의 가수분해곡선 아래 면적을 비교하여 백분율로 나타낸 전분 가수분해 지수(hydrolysis index, HI)를 다음과 같이 구하였다⁹⁾.

$$HI(\%) =$$

$$\frac{\text{Area of the sample starch hydrolysis curve}}{\text{Area of the corn starch hydrolysis curve}} \times 100$$

Table 1. Starch and moisture contents of cereals used in this study

(%)

Sample	Scientific name	Moisture	Starch	
			WB ¹⁾	DB ²⁾
Barley	Hordeum vulgare	9.25	60.30	66.45
Buckwheat	Fagopyrum esculentum	12.34	59.52	67.90
Foxtail millet	Setaria italica	13.23	61.54	70.92
Glutinous millet	Setaria italica	10.53	61.30	68.51
Glutinous rice	Oryza glutinosa	12.52	70.78	80.91
Glutinous rice, unpolished	Oryza glutinosa	12.03	59.91	68.10
Glutinous sorghum	Sorghum bicolor	13.65	62.98	72.94
Job's tear	Coix lacrymajob	11.03	58.69	65.97
Rice	Oryza sativa	13.74	70.75	82.03
Rice, unpolished	Oryza sativa	13.56	63.09	72.99

¹⁾Wet basis, ²⁾Dry basis

Table 2. The characteristics of normal subject, the level of fasting blood glucose and the area under the blood glucose curve

Group	No. of Subjects	Sex		Age (year)	BMI (kg/m ²)	Fasting blood glucose (mg/dL)	Area under blood ¹⁾ glucose curve (mg · min/dL)
		M	F				
Glucose	22	8	14	22	21.0±0.5 ^{NS}	75±1 ^{NS}	2603±133 ^{NS}
Barley	8	3	5	23	22.5±1.0	76±1	2714±144
Buckwheat	6	4	2	21	21.6±1.3	73±2	2560±233
Foxtail millet	8	4	4	24	21.7±1.0	74±2	2245±128
Glutinous millet	8	3	5	21	21.8±1.0	74±2	2533±336
Glutinous rice	9	1	8	24	21.1±1.0	76±1	2458±89
Glutinous rice, unpolished	9	2	7	22	21.3±1.0	74±2	2425±104
Glutinous sorghum	8	1	8	21	21.0±1.1	75±2	2203±151
Job's tear	7	3	4	24	21.9±0.6	76±1	2370±156
Rice	20	7	13	22	21.1±0.5	75±1	2568±138
Rice, unpolished	6	2	4	24	21.0±0.7	73±2	2314±153

Values of number of subject, sex and age are mean while values of others are mean±SE.
¹⁾50 g glucose tolerance test.

혈당측정 및 glycemc index

정상인을 대상으로 한 시료의 혈당측정 방법은 전보⁽⁶⁾에서와 같았으며 혈당반응면적은 Wolever 등⁽¹⁰⁾의 방법에서와 같이 공복시 혈당값을 기준으로 하여 그 아래의 면적은 무시하고 실험식이의 섭취 후 증가된 혈당 면적만을 계산하였다.

혈당지수는 Jenkins 등⁽¹¹⁾의 방법에서와 같이 전분합량 50 g의 실험식을 섭취시킨 후 2시간 동안의 혈당 반응면적과 50 g 포도당 또는 전분합량 50 g의 멥쌀을 섭취시킨 후 2시간 동안의 혈당반응면적을 각각 비교하여 백분율로 나타낸 것을 glycemc index-glucose (GI-glucose) 또는 glycemc index-rice (GI-rice)라고 표기하였다.

GI-glucose (%) =

$$\frac{\text{Blood glucose area after taking sample}}{\text{Blood glucose area after taking glucose}} \times 100$$

GI-rice (%) =

$$\frac{\text{Blood glucose area after taking sample}}{\text{Blood glucose area after taking rice}} \times 100$$

통계처리

본 실험에서 얻어진 결과의 통계적 유의성은 SAS computer program⁽¹²⁾을 이용하여 분석하였다. 시료의 수분과 전분 함량은 각각 평균치로 나타냈으며, *in vitro* 전분 가수분해면적, 전분 가수분해지수 및 혈당지수는 평균과 표준오차를 구하였다. 곡류의 전분 가수분해면적, 전분 가수분해지수, GI-glucose 및 GI-rice는 p<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test를 행하여

실험군들 사이의 통계적 유의성을 검증하였다. 또한 *in vitro* 전분 가수분해 결과와 GI-glucose 및 GI-rice와의 상관관계는 Pearson's correlation coefficient를 구하고 이에 대한 유의성을 검증하였으며, *in vitro* 전분 가수분해 관련요인중 통계적으로 유의적인 관련성을 보이는 독립변수를 취하여 이 변수들의 회귀방정식을 구하였다.

결과 및 고찰

***In vitro* 전분 가수분해율**

각 시간별로 α-amylase에 의한 시료의 전분 가수분해율은 Table 3과 같다.

시료의 전분 가수분해는 시간이 경과될수록 증가되었으며 15분의 전분 가수분해율은 곡류 시료 중 울무가 10.67%로 가장 높았고 메조의 전분 가수분해율이 7.79%로 가장 낮았다. 30분에는 차조의 전분 가수분해율이 21.61%로 가장 높았으며, 보리의 전분 가수분해율이 15.90%로 가장 낮았다. 30분에 현미찹쌀과 울무는 비교적 높은 전분 가수분해율을 보였고 차수수, 메조, 멥쌀, 메밀, 찹쌀과 현미멥쌀은 비교적 낮은 전분 가수분해율을 보였다. 60분에서의 전분 가수분해율은 보리가 가장 낮아서 26.38%이었고, 그 외에는 현미찹쌀 > 차조 > 울무 > 메밀 > 차수수 > 찹쌀 > 현미멥쌀 > 멥쌀 > 메조의 순으로 낮았다. 90분의 전분 가수분해율은 60분과 마찬가지로 현미찹쌀이 46.07%로 가장 높았고 메조, 보리가 각각 36.69, 33.81%로 60분과 비슷한 경향을 보였다. 초기부터 전분 가수분해율이 높았던 현미찹쌀의 전분 가수분해율은 120분에서

Table 3. *In vitro* starch hydrolysis of cereals used in this study

(%)

Sample	Starch hydrolysis at time (min)				
	15	30	60	90	120
Corn starch	9.39±0.35 ^{abcd}	19.42±0.57 ^{abcd}	31.94±1.64 ^{bcd}	40.15±1.54 ^{bcd}	47.87±1.25 ^{abc}
Barley	8.87±0.62 ^{cd}	15.90±0.21 ^f	26.38±0.37 ^e	33.81±1.33 ^f	37.85±1.49 ^e
Buckwheat	8.70±0.27 ^{cd}	17.88±0.38 ^{def}	33.48±0.55 ^{abc}	42.36±0.76 ^{bc}	48.38±0.76 ^{ab}
Foxtail millet	7.79±0.77 ^d	18.71±0.45 ^{bcd}	29.37±1.93 ^{de}	36.69±2.03 ^{cd}	43.23±1.50 ^d
Glutinous millet	9.90±0.29 ^{abc}	21.61±0.84 ^a	35.00±0.83 ^{ab}	41.73±0.79 ^{bcd}	46.94±0.84 ^{abcd}
Glutinous rice	8.74±0.37 ^{cd}	17.03±0.72 ^{def}	32.02±1.26 ^{bcd}	39.46±1.39 ^{cd}	44.60±1.10 ^{bcd}
Glutinous rice, unpolished	10.59±0.51 ^{ab}	21.14±0.76 ^{ab}	36.88±0.55 ^a	46.07±0.42 ^a	50.64±1.09 ^a
Glutinous sorghum	10.12±0.46 ^{abc}	18.86±0.95 ^{bcd}	32.93±1.23 ^{bcd}	42.99±0.44 ^{abc}	48.14±0.34 ^{ab}
Jop's tear	10.67±0.27 ^a	20.59±0.53 ^{abc}	34.91±0.42 ^{ab}	43.67±0.32 ^{ab}	47.23±1.11 ^{abcd}
Rice	8.90±0.47 ^{cd}	18.22±0.73 ^{def}	30.48±0.90 ^{cd}	38.56±1.10 ^{de}	43.91±1.33 ^{cd}
Rice, unpolished	9.01±0.32 ^{bcd}	16.59±0.24 ^{ef}	31.37±0.66 ^{bcd}	39.93±0.56 ^{cd}	45.54±0.61 ^{bcd}

Values within the same column with different letter superscripts are significantly different each other at $p < 0.05$.

도 50.64%로 가장 높았고, 보리는 37.85%로 가장 낮은 전분 가수분해율을 보였다. 120분에 메밀, 차수수, 전분, 울무, 차조는 높은 전분 가수분해율을 보였고, 현미엿쌀, 찹쌀, 멥쌀, 메조의 전분 가수분해율은 낮았다.

2시간동안 시료의 전분 가수분해율은 시간대마다 약간씩 차이가 있어 비교하기 어려운 점이 있었다. 따라서 시료들간의 전분 가수분해율을 명확하게 비교하기 위해 가수분해 곡선 아래 면적을 구해 전분 가수분해지수를 구하였으며 이 결과는 Table 4와 같다.

시료의 전분 가수분해 면적은 현미엿쌀이 3883으로 유의적으로 가장 컸으며($p < 0.05$), 울무, 차조, 차수수, 메밀이 높은 경향을 보였다. 그 다음으로 옥수수전분, 현미엿쌀, 찹쌀, 멥쌀, 메조로 나타났으며, 보리의 전분 가수분해 면적은 2864로 가장 적었다($p < 0.05$).

시료의 전분 가수분해지수는 가수분해면적으로부터 계산한 것이기 때문에 가수분해면적과 동일한 비

율을 나타내었는데 옥수수전분을 100%로 했을 때 현미엿쌀이 112%로 가장 높고, 보리가 83%로 가장 낮아 다른 실험군들과 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$).

In vitro 실험에서 각종 곡류의 전분 가수분해율이 차이를 나타내는 것은 곡립의 물리적 구조 및 각 전분의 화학적 구성이 다르기 때문이며, 이러한 *in vitro* 전분 가수분해율은 혈당반응과 유의적인 상관관계를 나타내므로⁽¹³⁾ 식품 섭취후의 혈당반응을 예측하는데 이용될 수 있는 것으로 보고되고 있다^(4,14). 이러한 것을 고려해 볼 때 보리는 다른 곡류보다 전분 가수분해율이 낮아 인체 내에서의 혈당반응도 낮을 것으로 예측된다.

곡류의 혈당지수

포도당을 기준으로 한 곡류의 혈당지수 GI-glucose와 쌀밥을 기준으로 한 혈당지수 GI-rice를 조사한 결과는 Table 5와 같다.

GI-glucose는 찹쌀군의 경우 110%로 가장 높았고, 보리군은 57%로 가장 낮게 나타났다. 차수수군과 차조군의 GI-glucose는 각각 105, 100%로 비교적 높았으며 멥쌀군, 울무군, 현미엿쌀군, 현미찹쌀군의 GI-glucose는 각각 92, 90, 90, 86%이었다. 메조군과 메밀군의 GI-glucose는 각각 84%와 80%로 비교적 낮은 편으로 찹쌀군과 차수수군과는 유의적인($p < 0.05$) 차이를 보였다.

본 실험에서는 실험식이 섭취시 섭취시간을 15분으로 제한시켰는데 보리의 경우 다른 곡류와는 달리 씹기가 어려워 저작작용이 충분하지 못했으며 이 때문에 혈당이 낮게 나타났을 가능성을 배제할 수 없다. Granfeldt 등⁽⁹⁾은 저작의 정도가 혈당반응에 직접적인 영향을 미친다고 하였으며, Read 등⁽¹⁵⁾에 따르면 식품

Table 4. Area under the hydrolysis curve and hydrolysis index

Sample	Area under the curve	Hydrolysis Index (%)
Barley	2864± 69 ^f	83±2 ^f
Foxtail millet	3168± 107 ^e	92±3 ^e
Rice	3273± 69 ^{de}	95±2 ^{de}
Glutinous rice	3328± 83 ^{de}	96±2 ^{de}
Rice, unpolished	3331± 27 ^{bcd}	96±1 ^{bcd}
Corn starch	3459± 71 ^{cd}	100±0 ^{cd}
Buckwheat	3534± 39 ^{bc}	102±1 ^{bc}
Glutinous sorghum	3576± 32 ^{bc}	103±1 ^{bc}
Glutinous millet	3641± 52 ^{bc}	105±2 ^{bc}
Job's tear	3689± 34 ^b	107±1 ^b
Glutinous rice, unpolished	3883± 37 ^a	112±1 ^a

Values within the same column with different letter superscripts are significantly different each other at $p < 0.05$.

Table 5. GI-glucose and GI-rice for cereals in normal subjects

Group	No. of Subject	GI-glucose (%)	No. of Subject	GI-rice (%)
Barley	8	57±7 ^d	9	63±6 ^d
Buckwheat	6	80±3 ^c	8	79±5 ^{cd}
Foxtail millet	8	84±6 ^{bc}	9	85±6 ^{bc}
Glutinous rice, unpolished	9	86±8 ^{bc}	8	106±6 ^{bc}
Rice, unpolished	6	90±9 ^{abc}	6	90±12 ^{abc}
Job's tear	7	90±6 ^{abc}	8	116±13 ^{abc}
Rice	20	92±5 ^{abc}	20	100±0 ^{ab}
Glutinous millet	8	100±8 ^{abc}	8	115±13 ^a
Glutinous sorghum	8	105±3 ^{ab}	8	122±4 ^a
Glutinous rice	9	110±8 ^a	11	102±7 ^a

Values within the same column with different letter superscripts are significantly different each other at p<0.05.

을 씹어서 섭취했을 때가 씹지않았을 때 보다 혈당반응이 늦추었다고 보고하였다. 이와 같이 식품 섭취후의 혈당반응은 식품자체의 성분 및 특성 뿐만아니라 씹는 정도에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 *in vitro* 실험에서 시료를 일정하게 분쇄하였음에도 불구하고 15분을 제외한 모든 시간대에서 보리의 전분 가수분해율이 가장 낮게 나타난 것을 볼때 저작작용 이외에 보리의 성분이 GI에 영향을 미친 것으로 생각된다.

곡류 시료 중 차수수군의 GI-rice는 122%로 가장 높았고 보리군은 63%로 가장 낮았다. 울무군, 차조군, 현미찹쌀군, 찹쌀군의 GI-rice는 각각 116, 115, 106, 102%로 멥쌀군의 GI-rice보다 높았고 현미멥쌀군, 메조군, 메밀군의 GI-rice는 각각 90, 85, 79%로 멥쌀군의 GI-rice보다 낮았다. 본 실험에서 곡류의 GI-glucose와 GI-rice는 약간의 차이를 보였으나 전보⁽⁶⁾의 보고에 의하면 포도당을 기준식품으로 이용한 GI-glucose 값과 멥쌀을 기준으로 한 GI-rice 값은 유의적인 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

곡류 시료 중 멥쌀군-찹쌀군, 현미멥쌀군-현미찹쌀군, 메조군-차조군의 GI-rice를 각각 비교해 보면 100~102%, 90~106%, 85~115%로 amylopectin의 함량이 많은 찹쌀군, 차조군, 현미찹쌀군의 GI-rice가 멥쌀군, 메

조군, 현미멥쌀군의 GI-rice보다 각각 2, 17, 35% 높은 것으로 나타났다. 이는 amylopectin보다 amylose를 많이 함유한 식이가 낮은 GI를 나타낸다는 여러 연구 결과와 일치하는 것이다^(9,16-18).

***In vitro* 전분 가수분해율과 혈당반응과의 상관관계**

곡류의 GI-glucose 및 GI-rice와 *in vitro* 전분 가수분해율, 가수분해곡선 면적, 전분 가수분해지수와 의 상관관계는 Table 6과 같다.

GI-glucose와 *in vitro* 전분 가수분해율, 전분 가수분해면적 및 가수분해지수와는 유의적인 상관관계가 없었던 반면에 GI-rice와 15, 30, 60, 90분 및 120분의 *in vitro* 전분 가수분해율, 가수분해곡선 면적, 가수분해지수는 모든 변수에서 유의적인 정의 상관관계를 볼 수 있었다. 특히 GI-rice와 가수분해면적 및 가수분해지수와 의 상관관계($r=0.75, p<0.01$)가 더 밀접한 것으로 나타났고 그 결과는 Fig. 1에서와 같다. GI-glucose 보다 GI-rice에서 *in vitro* 전분 가수분해의 변수들과 더 밀접한 상관관계가 나타났는데, 이는 포도당을 기준식품으로 한 GI-glucose보다는 멥쌀을 기준식품으로 한 GI-rice가 곡류의 가수분해와 그 기전이 비슷하여 GI-rice와 더 유의적인 상관관계를 보인 것으로 추정된다.

Table 6. Correlations between GI-glucose and GI-rice and variable of *in vitro* starch hydrolysis

Variable	Starch hydrolysis at time (min)					Hydrolysis area	Hydrolysis index
	15	30	60	90	120		
GI-glucose	r	0.24	0.34	0.52	0.48	0.53	0.49
	p	0.50	0.34	0.12	0.16	0.11	0.15
GI-rice	r	0.70	0.71	0.72	0.71	0.67	0.75
	p	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01

r=correlation coefficient.
p=probability level.

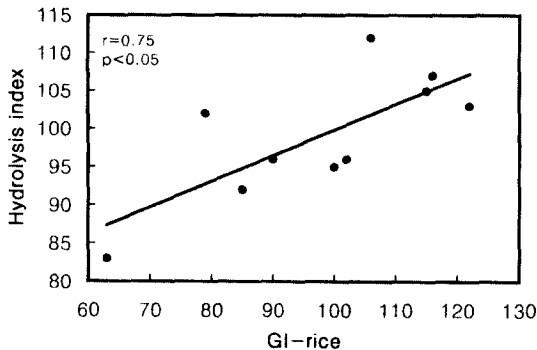


Fig. 1. Correlations between GI-rice and *in vitro* hydrolysis index.

GI-rice와 *in vitro* 전분 가수분해의 관련 요인은 단계별 회귀분석을 실시하여 통계적으로 유의적인 독립 변수만을 취하였으며, 아래와 같은 회귀방정식을 얻을 수 있었다.

$$\text{GI-rice} = -177.10 + 4.92B + 14.03\text{Area} - 483.29\text{HI}$$

$$(R^2 = 0.81, p < 0.05)$$

B : starch hydrolysis at 30 min

Area : area under the hydrolysis curve

HI : hydrolysis index

GI-rice는 30분의 전분 가수분해율, 가수분해곡선 면적 및 가수분해지수와 유의적인 정의 관련성을 보였으며 이들 변수들에 의해 81%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험의 결과에 의하면 인체 실험을 통해 혈당을 측정하지 않더라도 *in vitro*에서의 전분 가수분해율로 곡류의 혈당반응 및 GI-rice를 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

본 실험은 *in vitro*에서 곡류시료의 전분 가수분해율 및 가수분해지수를 조사하였고 아울러, *in vivo*에서 정상성인을 대상으로 곡류의 혈당지수를 포도당(GI-glucose)과 쌀밥 (GI-rice)을 기준으로 하여 각각 측정하였다. 이러한 *in vitro* 및 *in vivo* 결과의 상관성을 검토해 봄으로써 *in vitro*에서의 전분 가수분해실험이 인체의 혈당반응을 예측할 수 있는지 알아보았다. *In vitro*에서 각 시간별로 측정된 전분 가수분해율은 시간대별로 약간의 차이는 있지만 현미찰이 가장 높고 보리가 가장 낮은 경향을 나타냈다. 전분 가수분해지수는 전분 가수분해곡선 면적과 유사한 경향을 보

였으며, 보리가 83%로 가장 낮았고 현미찰이 112%로 가장 높았다. 그외는 율무, 차조, 차수수, 메밀, 현미찰, 찹쌀, 멥쌀, 메조의 순으로 전분 가수분해지수는 각각 107, 105, 103, 102, 96, 96, 95, 92이었다. 한편 곡류의 GI-glucose는 찹쌀군이 110%로 가장 높았고 보리군이 57%로 가장 낮았다. 또한 GI-rice는 차수수군 122%, 율무군 116%, 차조군 115%, 현미찰군 106%, 찹쌀군 102%, 멥쌀군 100%, 현미찰군 90%, 메조군 85%, 메밀군 79%, 보리군 63%로 나타났다. 이상의 *in vitro* 실험결과와 *in vivo* 실험결과를 통계처리하였을 때 15, 30, 60, 90 및 120분의 전분 가수분해율, 가수분해곡선 면적 및 가수분해지수는 모두 GI-rice와 유의적인($p < 0.05$) 상관관계를 볼 수 있었다. 또한 다단계 회귀분석에 의한 회귀방정식에서 GI-rice는 *in vitro* 실험결과에 변수에 의해 81%의 설명력을 가진 것으로 분석되었다. 따라서 곡류의 *in vitro* 전분 가수분해율은 곡류 섭취 후의 인체 내 혈당지수인 GI-rice를 반영해주는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1995-1998년도 보건복지부에서 지원하는 보건의료기술과제(HMP-96-F-3-0010)의 연구비와, 1996년도 한림대학교 지원 학술연구조성비에 의하여 연구되었기에 감사드립니다.

문 헌

1. Song O.K., Kim M. D. and Yoo H.J.: Food exchange system in diet therapy for the diabetics (in Korean). *Diabetes*, **10**(2), 181-186 (1986)
2. Wolever, T.M.S.: How important is prediction of glycemic response? *Diabetes Care*, **12**(8), 591-593 (1989)
3. Coulston, A.M., Hollenbeck, C.B., Liu, G.C., William, R.A., Starich, G.H., Mazzaferri, E.L. and Reaven, G.M.: Effect of source of dietary carbohydrate on plasma glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses to test meals in subjects with noninsulindependent diabetes mellitus. *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**, 965-970 (1984)
4. Bornet, F.R.J., Fontvieille, A.-M., Rizkalla, S., Colonna, P., Blayo, A., Mercier, C. and Slama, G.: Insulin and glycemic responses in healthy humans to native starches processed in different ways: correlation with *in vitro* α -amylase hydrolysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, **50**, 315-323 (1989)
5. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., p. 207 (1984)
6. Lee J.S., Lee J.S., Yang C.B. and Shin H.K.: Blood glucose response to some cereals and determination of their glycemic index to rice as the standard food (in

- Korean). *Korean J. Nutr.*, **30**, 1170-1179 (1997)
7. Tovar, J., Bjorck, I.M. and Asp, N.G.: Analytical and nutritional implications of limited enzymic availability of starch in cooked red kidney beans. *J. Agri. Food Chem.*, **38**, 488-493 (1990)
 8. Hostettler, F., Borel, E. and Deuel, Hh.: Uber die reduktion der 3,5-dinitrosalicylsaure durch zucker. *Helv. Chim. Acta.*, **34**, 3231 (1951)
 9. Granfeldt, Y., Liljeberg, H., Drews, A., Newman, R. and Bjork, I.: Glucose and insulin response to barley products: influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 1075-1082 (1994)
 10. Wolever, T.M.S., Jenkins, D.J.A. and Josse R.G.: The glycemic index : methodology and implications. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 846-854 (1991)
 11. Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Taylor, R.H., Barker, H., Feieiden, H., Baldwin, J.M., Bowling, A.C., Newman, H.C., Jenkins, A.L. and Goff, D.V.: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 362-366 (1981)
 12. 송문섭, 이영조, 조신섭, 김병천 : SAS를 이용한 통계자료분석-개정판. 자유아카데미 (1993)
 13. Snow, P. and O'Dea, K.: Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 2721-2727 (1981)
 14. Granfeldt, Y., Bjorck, I., Drews, A. and Tovar, J.: An *in vitro* procedured based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **46**, 649-660 (1992)
 15. Read, N.W., Welch, I.M., Austen, C.J., Barnish, C., Bartlett, C.E., Baxter, A.J., Brown, G., Compton, M.E., Hume, K.E., Storie, I. and Worliding, J.: Swallowing food without chewing: a simple way to reduce postprandial glycaemia. *Br. J. Nutr.*, **55**, 43-47 (1986)
 16. Goddard, M.S., Young, G. and Marcus, R.: The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 388-392 (1984)
 17. Thome, M.J., Thompson, L.U. and Jenkins, D.J.A.: Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 481-488 (1983)
 18. Panlasigui, L.N., Thompson, L.U., Juliano, B.O., Perez, C.M., Yiu, S.H. and Greenberg, G.R.: Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 871-877 (1991)

(1998년 6월 17일 접수)