

생식의 섭취가 흰쥐의 혈당 및 혈당 관련 지표에 미치는 영향

남동훈 · 홍성길* · 장혜은** · 권영인*** · †문민선****

(주)이롬 생명과학연구원 연구원, *(주)이롬 이노파크 부원장, **(주)이롬 생명과학연구원 연구소장
한남대학교 식품영양학과 교수, *(주)이롬 생명과학연구원 팀장

Effects of *Saengshik* on Blood Glucose-Related Biomarkers in Sprague-Dawley Rats

Donghun Nam, Seong-Gil Hong*, Hey-Eun Chang**, Young-In Kwon*** and †Min-Sun Moon****

Researcher, Erom Food R&D Center, Erom Co., Ltd., Uiwang 16006, Korea

*Vice Director, Erom Inno Park, Erom Co., Ltd., Uiwang 16006, Korea

**Research Director, Erom Food R&D Center, Erom Co., Ltd., Uiwang 16006, Korea

***Professor, Dept. of Food and Nutrition, Hannam University, Daejeon 34054, Korea

****Principal Researcher, Erom Food R&D Center, Erom Co., Ltd., Uiwang 16006, Korea

Abstract

The aim of this study was to investigate the hypoglycemic effects of *saengshik* in Sprague-Dawley (SD) rats and to explore the potential of three commercially available *saengshik* products (BS, LS, WS) as an alternative diabetic meal. Blood glucose levels were measured at 30, 60, 90, 120, and 150 minutes after the ingestion of experimental materials. In experiment 1, the amount of experimental materials remained the same. We measured blood glucose-related biomarkers as the area under the blood glucose response curve (AUC), glycemic index (GI), maximum concentration (Cmax), and time to reach maximum concentration (Tmax). AUC and Cmax of the experimental group showed significant differences compared to the control group, while GI and Tmax did not show significant differences among the groups but were lower in the experimental group compared to the control group. In experiment 2, carbohydrates were adjusted to the same amount. We measured blood glucose-related biomarkers in the same manner as Experiment 1 and obtained similar results. These hypoglycemic effects appear to be attributed to phytochemicals and dietary fiber found in whole, unrefined grains. These results suggest that *saengshik* exerts hypoglycemic effects by modulation of glucose-related biomarkers.

Key words: *saengshik*, blood glucose, phytochemical, dietary fiber, glycemic index

서 론

최근 식품산업의 발달과 경제성장, 1인 가구의 증가로 인해 현대인의 식습관이 곡류, 채소, 해조류 위주의 전통적인 한식에서 육류 및 가공식품의 섭취가 높은 서구화된 식습관으로 변경되고 있고, 이로 인해 대사증후군, 고혈압 등의 만성적인 질환의 유병률도 증가하고 있다(Lee 등 2018; Lim 등 2018). 이는 서구화된 식사로 인한 높은 지방의 섭취가 주된 원인으로 알려져 왔으나, 최근에는 고 탄수화물 식사, 특히

쌀밥과 같은 정제된 곡류 식사에 의해서도 당뇨병, 심혈관질환, 비만 등과 같은 다양한 질병의 위험이 높아진다는 연구 보고들이 제기되고 있다(Song 등 2012; Sun 등 2014).

정제된 탄수화물은 대사증후군과 밀접한 연관성이 있는 제2형 당뇨병의 위험을 증가시키는 반면(Villegas 등 2007; Nanri 등 2010; Sun 등 2010), 정제되지 않는 통곡류의 경우 제2형 당뇨병의 위험을 감소시키는 것(Fung 등 2002; Sun 등 2010; Kyrø 등 2018)으로 보고되어 탄수화물 섭취 시 양적인 측면 뿐만 아니라, 질적인 측면의 중요성도 보고하였다. 특

† Corresponding author: Min-Sun Moon, Principal Researcher, Erom Food R&D Center, Erom Co., Ltd., Uiwang 16006, Korea. Tel: +82-31-5177-5131, Fax: +82-31-5177-5130, E-mail: msmoon@erom.co.kr

하나 이러한 잘못된 식습관은 인슐린 저항성을 증가시키며 β -cell의 손상과 혈당의 상승을 초래해 내당능장애를 유발한다(Park 등 2020). 내당능장애는 혈당에 내성이 생겨 인슐린이 제 기능을 하지 못하는 상태로 공복 혈당 수치가 100~125 mg/dL고 식사 2시간 후 141~199 mg/dL인 상태를 의미하며 당뇨병으로 발전할 수 있는 당뇨병 전 단계다(Alberti & Zimmet 1999). 이러한 내당능장애는 제2형 당뇨병 외에도 앞서 언급한 고혈압, 고지혈증, 동맥경화증과 같은 만성적인 질환의 원인이 되지만 명확한 증상이 없어서 환자 스스로 지각하기에는 어려움이 있다(Liu 등 2013). 이러한 제2형 당뇨병과 내당능장애는 혈당 강하제와 같은 약물 치료가 일반적이나, 앞서 언급했듯이 식습관에도 영향을 많이 받으므로(Kwon & Chung 2013; Chung HY 2016) 혈당에 도움을 주는 식품에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있고 그 중에서도 생식의 혈당 기능성에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. Kim 등(2007)은 일반인을 대상으로 생식 섭취 후, 혈당과 혈당반응면적이 유의적으로 낮아진다고 하였고, Kim 등(2004)은 Streptozotocin으로 당뇨를 유발한 쥐에 생식을 투여했을 때 혈당이 유의적으로 감소한다고 하였고, Moon MS(2023)은 내당능장애 및 제2형 당뇨병 환자를 대상으로 생식을 섭취하였을 경우, 식후 혈당과 당화혈색소가 유의적으로 낮아졌다고 하였다.

생식은 제조업체와 제품에 따라서 원료의 구성이 달라지는데, 대부분의 생식이 정제되지 않은 곡류, 채소류, 버섯류 및 해조류와 같은 식물성 원료에 유산균, 슈퍼자미, 산삼배양근과 같은 기능성 원료를 포함하여 30~70여 가지의 매우 다양한 원료로 구성되어 있다. 생식은 일반적인 가공식품과 비교하여 가장 큰 차이점은 바로 가공 방식인데, 대부분의 가공식품은 가열 공정과 같이 영양소 파괴가 일어나는 가공 방식을 사용하는 반면, 생식은 동결건조를 통해 원료의 영양소 파괴를 최소화하는 공정을 사용하여 영양소 섭취의 질을 높였다(Kim JH 2016).

앞서 언급했듯이 생식은 다양한 원료를 사용하고 있고, 그로 인해 다양한 기능성을 가지고 있다. Flores 등(2013)은 블루베리 추출물이 α -glucosidase 억제를 통해 식후 혈당 상승을 완화시켰다고 하였고, Wang & Lin(2000)은 딸기의 pelargonidin-3-O-glucoside이 과체중 성인의 인슐린 감수성을 향상시켰다고 하였다. 생식에 함유되어 있는 파이토케미컬의 혈당 기능성은 혈당 조절의 가능성을 보여준 것으로 사료된다. 그 외에도 생식의 기능성은 다양한 연구를 통해 확인되었고, 주요한 기능성은 다음과 같다. Kim 등(2005)은 비만 여성을 대상으로 생식 섭취 후, 체중과 체지방률이 유의적으로 감소하는 것을 확인하였으며, Kang 등(2003)은 고지혈증을 유도한 흰쥐가 생식을 섭취하였을 때 혈중 콜레스테롤을 감소하는 것을 확인하였다. Song 등(2003)은 지방간 환자를 대상으로

생식을 섭취하였을 경우, 체지방과 체중의 감소, 간손상의 지표인 AST, ALT, r-GTP 및 ALP의 활성이 유의적으로 감소하는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 생식의 혈당 강하 기능성에 영향을 주는 파이토케미컬과 정제되지 않은 곡류와 같은 탄수화물 급원이 혈당에 미치는 영향을 탐구하기 위해서 흰쥐를 이용하여 2가지 실험을 진행하였다. 실험 1에서는 생식의 파이토케미컬 기능성을 확인하기 위해서 동일한 양으로 제조한 시료로 실험을 진행하였고, 실험 2에서는 정제되지 않은 곡류와 같은 탄수화물 급원이 혈당에 미치는 영향을 확인하기 위해서 각 시료별 탄수화물 함량을 보정하여 실험을 진행해 생식의 탄수화물 급원이 쥐의 혈당에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 시험물질

본 실험에 사용된 시험물질은 시판되고 있는 제품인 BS, LS, WS로 총 3종(Erom, Seoul, Korea)을 이용하였으며, 각 샘플의 조성 및 영양성분의 분석결과는 Table 1 및 Table 2와 같다. 대조군으로 사용된 포도당은 시그마 알드리치(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)의 것을 사용하였다.

2. 실험동물의 사육

생후 4주령의 Sprague Dawley(SD)종 흰쥐(Joongang Experimental Animal Co., Seoul, Korea)를 구입하였다. 실험조건은 온도 22°C, 습도 50%를 유지하였고, 사육공간(SPF zone)의 모든 공기는 HEPA필터를 통한 공기를 사용하였으며, 깔짚은 3일에 한번씩 교체하여 주었다. 사육실의 점등 및 소등 시간은 12시간을 기준으로 실시하였다. 물과 일반 고형 사료(Teklad global 14% protein, Raon Bio Co., Yongin, Korea)를 제한없이 먹이면서 일주일간 환경에 적응시켰다. 적응기간 후, 체중에 따른 난괴법으로 각 군당 5마리씩 총 4그룹(대조군, BS, LS, WS 섭취군)으로 나누었다.

실험은 2번에 걸쳐서 진행하였으며, 실험 1에서는 시료를 동일한 양(2.0 g/kg-body weight)으로 공급하여 실험을 진행하였고 3일의 휴지기를 가진 뒤, 시료의 탄수화물 함량(BS: 2.805 g/kg, LS: 3.110 g/kg, WS: 2.509 g/kg)이 50 g이 되도록 보정한 실험 2를 진행하였다(Table 3).

본 실험은 한남대학교 동물실험운영위원회의 심의를 통과하여 동물실험승인 후, 수행하였다(승인번호: H2023-1).

3. 경구당부하 검사 및 혈당 측정

혈당 측정 시, 모든 군은 24시간 절식 후 공복혈당으로 측정하였다. 24시간 절식 시 수분의 공급은 자유롭게 하였다.

Table 1. Raw materials of saengshik (BS, LS, WS)

Classification	Materials
BS	Brwon rice, Soy protein, Barley, Oat, Palatinose, Oat fiber, Wild grass, Erythritol, Roasted brown rice, Kale, Citrus fiber, Sorghum, Pumpkin, Cabbage, Broccoli, Tomato, Calcuim, Soybean, Black bean, Monkfruit, Roasted salt, Brwon rice glutinous rice, Purple rice, Glutinous foxtail millet, Proso millet, Adlay, Red bean, Black sesame, Rice, Radish leaves, Red yeast rice, Fermented turmeric, Jerusalem artichoke, Balsam pear, Guava leaves, Herb extract, Spirulina, Mushroom, Lactic acid extract, Yeast, Apple, Pear, Yuzu, Angelica keiskei, Carrot, Burdock, Deodeok, Chives, Radish, laver, Sea mustard, Kelp, Green laver, Dropwort, Young barley leaf, Korean wormwood
LS	Oat, Soybean protein, Brown rice, Purple rice, Oat fiber, Fructooligosaccharide, Wild grass, Xylitol, Pumpkin, Jujube, Citrus fiber, Sea weed, Lactic acid extract, Broccoli, Cabbage, Tomato, Black bean, Dong quai, Apple, Pear, Wild ginseng, Roasted salt, Herb mix, Chives, Fermented turmeric, Red yeast rice, Ginger, Mistletoe extract, Fucoidan, Spirulina, Angelica keiskei, Carrot, Deodeok, Burdock, Fermented rice bran
WS	Brown rice, Purple rice, Oligosaccharide, Barley, Potato, Wild grass, Agave, Carrot, Soybean protein, Wild ginseng, Fermented rice bran, Glutinous foxtail millet, Sorghum, Proso millet, Brwon rice glutinous rice, Adlay, Soybean, Black bean, Red bean, Broccoli, Cabbage, Spinach, Kale, Angelica keiskei, Radish leaves, Chives, Leaf beet, Crown Daisy, Curled mallow, Young barley leaf, Dropwort, Pak Choi, Bell pepper, Pumpkin, Yuzu, Tomato, Apple, Pear, Black sesame, Perilla, Sweet potato, Burdock, Lotus root, Deodeok, Radish, Mushroom, Vege protein, Red yeast rice, Lactic acid extract, Yeast extract, Green tea extract, Herb, Korean wormwood, Monk fruit, Vitamin B, Magnesium

Table 2. Nutrient composition of saengshik

Nutrient	Control	BS	LS	WS
Energy (kcal/100 g)	400.0	393.8	397.3	388.5
Carbohydrate (%)	100.0	71.3	64.3	79.7
Protein (%)	0	20.4	23.4	11.4
Fat (%)	0	3.0	5.2	2.7
Crude fiber (%)	0	6.3	16.9	1.9

Table 3. Served quantity of saengshik containing 50 g carbohydrate

Saengshik	Total carbohydrate (%)	The quantity of saengshik containing 50 g carbohydrate (g)
Control	100.0	50
BS	70.15	71.3
LS	59.66	83.8
WS	80.16	62.4

총 실험군은 포도당을 이용하는 대조군과 시험물질을 섭취하는 3개의 시험군으로 구성하였으며, 각 군별로 시료를 제조하여 1 mL씩 경구 투여하였다. 실험 당일 쥐들의 공복 혈당을 미리 측정하였고, 각 시험물질을 쥐에게 경구투여 한 뒤 30분, 60분, 90분, 120분, 150분에 각각 쥐의 꼬리에서 채혈하여 혈당을 측정하였다. 혈당 측정은 쥐의 꼬리에서 취한 혈액을 혈당 스트립에 흡수시켜 혈당 측정기 Caresens II(I-SENS, Anyang, Korea)로 2회 반복하여 측정하였다. 또한 최고 혈당 농도(Cmax)와 식후 최고 혈당까지 도달시간(Tmax)은 실험동

물 각 개체의 실제 측정치를 기반으로 계산하였다.

4. 혈당지수(glycemic index) 평가

혈당지수(GI)의 계산은 incremental area under the curve (IAUC) 방법을 사용하였다. IAUC 방법은 반응곡선의 기준선 위 영역만을 이용하는 방법으로 GI의 표준편차 값이 가장 낮아 높은 정확도를 가지고 있으며, 0분대의 혈당수치를 기준선으로 기준선 위의 면적만을 계산하여 합산하였다(Wolever 등 1991). 대조군(포도당)과 시험군(생식)의 혈당 변화곡선에서 각각의 IAUC를 계산하여 비교하였다.

Glycemic index (GI)=

$$\frac{\text{Blood glucose area after ingestion of sample (saengshik)}}{\text{Blood glucose area after ingestion of the glucose}} \times 100$$

5. 통계분석

모든 실험 결과는 SPSS 18(Statistical Package for Social Science, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)프로그램을 이용하여 분

석하였으며, 평균±표준편차(standard deviation, SD)로 나타내었다. 분석 항목별 차이는 Student's *t*-test를 사용하여 대조군과의 유의성을 검정하였고, 유의성은 $p<0.05$, $p<0.01$, $p<0.001$ 로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 실험 1: 동일한 양으로 제조한 시료의 혈당 및 혈당 관련 지표

공복혈당의 경우, 대조군은 113.8±11.8 mg/dL, BS군은 117.7±8.7 mg/dL, LF군은 116.5±9.9 mg/dL, WS군은 116.5±9.5 mg/dL로 모든 실험군에서 비슷한 수준을 나타내 유의적인 차이가 없었다(Fig. 1). 일반적으로 시험물질 공급 후 30분까지 혈당이 상승하는데, 본 연구에서는 시험물질 공급 30분 후 혈당을 비교하였다. 대조군은 262.2±38.6 mg/dL이었고, 시험군의 경우 BS군이 186.3±11.7 mg/dL, LS군이 175.8±6.8 mg/dL, WS군이 192.5±19.9 mg/dL로 대조군에 비해서 모든 시험군에서 유의적으로 낮아졌다($p<0.001$)(Fig. 1).

시험 물질 공급 후, 대조군은 30분 후에, 시험군은 1시간 후에 가장 높은 혈당 상승을 나타내었으며, 이후 서서히 감소하여 3시간 후가 되면 공복 혈당과 유사한 값을 나타냈다.

실험 1의 혈당 관련 지표 확인 결과는 Table 4와 같다. 혈당 관련 지표는 혈당반응 면적(AUC), 혈당지수(GI), 혈당 최고 농도(Cmax), 혈당 최고 농도 도달 시간(Tmax)으로 총 4가지 지표를 확인하였다. AUC의 경우, 대조군은 477.4±61.1 hr·mg/dL, BS군은 420.6±17.9 hr·mg/dL, LS군은 407.5±17.0 hr·mg/dL, WS군은 436.5±44.8 hr·mg/dL가 나왔으며, 대조군과 비교하여 모든 실험군에서 낮아지는 경향이 있었으며, LS군에서는 유의하게 감소하는 것을 확인하였고($p<0.05$), GI의 경우, WS군 93.2±18.6 > BS군 89.4±13.0 > LS군 86.4±10.6 순으

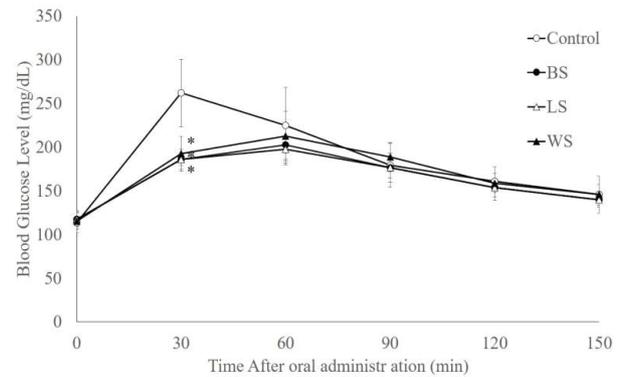


Fig. 1. Change in blood glucose tolerance of the SD rats fed saengshik. The results were expressed as the mean±S.D. Different letters statistically significant differences between groups by student's *t*-test of $*p<0.001$.

로 낮아지는 것을 확인하였다. Cmax의 경우, 대조군은 264.6±39.4 mg/dL, BS군은 208.1±17.9 mg/dL($p<0.05$), LS군은 197.8±11.9 mg/dL($p<0.01$), WS군은 214.4±26.3 mg/dL($p<0.05$)가 나왔으며, 대조군과 비교하여 모든 시험군에서 유의적으로 낮아졌다(Table 4). Tmax도 대조군과 비교하여 모든 시험군에서 지연되는 것을 확인하였다(Table 4). AUC은 식품을 섭취했을 때 나타나는 혈당 반응을 비례식을 이용하여 계산한 수치로 공복 혈당을 반영하지 않고 식품 섭취 시 증가된 혈당 면적만을 계산해 시료의 실질적인 혈당 상승 수치를 확인할 수 있는 지표이고, GI는 식품을 섭취했을 때 나타나는 혈당 반응과 포도당 섭취했을 때 혈당반응을 비교해 계산한 수치로 각 식품별로 혈당에 미치는 영향을 표현하는 수치이다 (Jenkins 등 1981). Cmax는 시료 섭취 후 최고 혈당을 의미하는 것으로 최대 노출과 안전성을 나타내는데 유효한 지표로 사용되고 있으며, Tmax는 시료 섭취 후 최고 혈당에 도달하

Table 4. Pharmacodynamic (PD) parameters in control and after administration of saengshik¹⁾²⁾

	PD parameters			
	Cmax (mg/dL) ³⁾	Tmax (hr) ⁴⁾	AUC (hr·mg/dL) ⁵⁾	GI (%) ⁶⁾
Control	264.6±39.4	0.7±0.3	477.4±61.1	100.0
BS	208.1±17.9*	0.7±0.3	420.6±17.9	89.4±13.0
LS	197.8±11.9**	1.0±0.2	407.5±17.0*	86.4±10.6
WS	214.4±26.3*	1.0±0.3*	436.5±44.8	93.2±18.6

¹⁾ Values are mean±S.D. (n=5).

²⁾ Values with different letters statistically significant differences between groups by student's *t*-test of $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$.

³⁾ Maximum blood glucose levels.

⁴⁾ Time when glucose peak.

⁵⁾ Area under the curve.

⁶⁾ Glycemic index.

는 시간을 의미하는 것으로 흡수 및 배출에 대한 대표적인 간단한 지표로 사용되어 오고 있다(Tothfalusi & Endrenyi 2003).

혈당은 혈액 속에 함유되어 있는 포도당의 농도로, 인체는 항상 일정한 범위 내에서 유지하고 있다. 혈당은 운동, 식이 요소, 혈중 지질 농도와 같은 다양한 요인에 영향을 받는데 그 중에서 식이 요인이 혈당에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Russell 등 2016).

생식은 정제되지 않은 곡류, 채소 및 과일류, 해조류와 같은 원료들을 배합해서 만든 식품으로 파이토케미컬과 식이 섬유와 같은 영양소의 영향으로 혈당 조절에 효과가 있을 것으로 예상되고, 실험을 통해 생식의 혈당조절식의 가능성을 확인하고자 하였다. 본 연구 결과에서도 대조군인 포도당에 비해 시험군인 생식 섭취군이 혈당농도, 혈당증가치, 혈당반응 면적 모두 감소하였고, 이러한 결과는 생식이 혈당 조절에 대한 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 혈당은 탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 및 미네랄 등 다양한 식이 요인에 직간접적으로 영향을 받는데, 일반적으로 정제되지 않고, 가공되지 않을수록 혈당 감소에 영향을 미치는 것으로 보고 있다(Musa-Veloso 등 2018). 특히 파이토케미컬과 식이섬유가 다량 함유되어 있는 정제되지 않은 곡류와 채소, 과일류, 해조류가 혈당에 특히 효과적이라고 알려져 있다(Brasnyó 등 2011; Higgins JA 2012; Fuller 등 2016).

정제되지 않은 곡류 중 현미는 항산화 활성, 혈당 강하 효과 등이 보고되었고, Lee 등(2014)은 Streptozotocin(STZ)로 당뇨병을 유도한 쥐를 대상으로 현미울무밥, 백미밥을 체중당 2 g씩 섭취시켰을 때 현미울무밥이 혈당, 혈당 증가치, 혈당반응면적을 감소시킨다고 하였다. Takahashi 등(2012)은 일본 65세 이상 당뇨병 환자를 대상으로 채소를 하루에 150 g 이상 섭취할 경우, HbA1c 수치가 유의적으로 감소한다고 하였다. 특히 녹색 채소의 섭취가 증가할수록 HbA1c와 중성지방 수치가 감소한다고 하였는데, 이는 생식의 주된 구성요소인 녹색 채소의 혈당에 대한 기능성을 보여주는 연구라고 사료된다. 본 연구 결과에서도 대조군인 포도당에 비해서 생식 섭취군이 혈당 조절에 도움을 주는 것으로 확인할 수 있었고, 이러한 결과는 생식에 함유되어 있는 여러가지 원료에서 기인한 것으로 사료된다.

2. 실험 2: 탄수화물 함량을 보정한 시료의 혈당 및 혈당 관련 지표 평가

실험 2에서 공복혈당의 경우, 대조군은 112.6±11.9 mg/dL, BS군은 110.7±10.9 mg/dL, LS군은 115.0±10.7 mg/dL, WS군은 110.5±5.4 mg/dL로 실험 1의 결과와 유사하게 모든 군에 차이가 없었다(Fig. 2). 시험물질 공급 30분 후, 대조군의 혈당

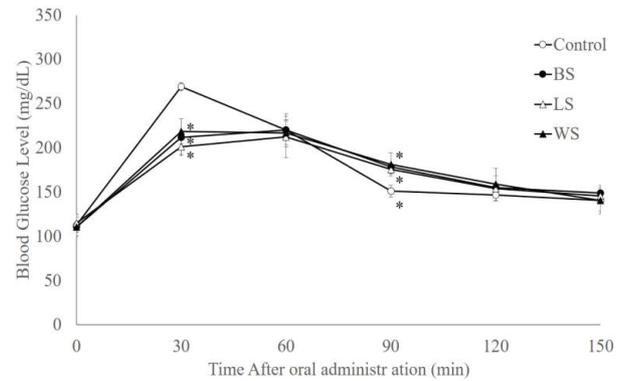


Fig. 2. Change in blood glucose tolerance of the SD rats fed saengshik containing 50 g of carbohydrate. The results were expressed as the mean±S.D. Different letters statistically significant differences between groups by student's *t*-test of **p*<0.001.

은 268.9±4.5 mg/dL이 되었고, BS군은 211.9±20.9 mg/dL, LS군은 200.9±8.4 mg/dL, WS군은 218.5±14.3 mg/dL로 대조군과 비교하여 모든 시험군이 유의적으로 낮았다(*p*<0.001)(Fig. 2). 대조군에서는 실험 1과 유사하게 시험물질 섭취 30분까지 급격한 혈당 상승이 일어났고, 시험군에서는 시험물질 섭취 1시간까지 혈당이 상승하다가 서서히 감소하였다. 혈당 관련 지표는 앞선 실험 1과 동일하게 AUC, GI, Cmax, Tmax로 4가지 측정하였다(Table 5).

AUC의 경우, 대조군(465.3±14.4 hr·mg/dL)과 비교하여 LS군과 WS군은 각각 436.4±22.4 hr·mg/dL과 438.1±15.8 hr·mg/dL로 유의적으로 낮아졌으며(*p*<0.05), BS군은 447.4±13.9 hr·mg/dL로 유의적인 차이는 없었지만 대조군과 비교하여 낮아지는 경향이 있었다. GI의 경우, 실험 1과 유사한 패턴으로 BS군 96.2±4.8 > WS군 94.3±5.6 > LS군 93.9±5.8 순으로 낮아지는 것을 확인하였다. Cmax의 경우, 대조군에서는 268.9±4.5 mg/dL가 나왔고, BS군은 229.8±14.7mg/dL(*p*<0.001), LS군은 213.5±22.5 mg/dL(*p*<0.01), WS군은 226.2±8.7 mg/dL(*p*<0.001)로 대조군과 비교하여 유의적으로 낮아지는 것을 확인하였다. Tmax의 경우, 실험 1과 유사하게 대조군과 비교하여 모든 시험군이 늦어지는 결과가 나타났다.

최근 식습관의 변화로 제2형 당뇨병, 고혈압과 같은 만성적인 질병의 유병률도 높아지고 있고(Lee 등 2018; Lim 등 2018), 최근에는 이러한 만성적인 질환의 원인이 고지방 식사가 아닌 고탄수화물 식사가 더 큰 영향을 주는 것으로 확인되었다(Song 등 2012; Sun 등 2014). 특히 정제된 곡류의 경우 정제되지 않은 곡류에 비해서 더 영향을 준다는 다수의 연구 결과들이 있으며(Fung 등 2002; Sun 등 2010; Kyro 등 2018), 탄수화물의 섭취량뿐만 아니라 탄수화물의 질적인 측

Table 5. Pharmacodynamic (PD) parameters in control and after administration *Saengshik* containing 50 g of carbohydrate¹⁾²⁾

	PD parameters			
	Cmax (mg/dL) ³⁾	Tmax (hr) ⁴⁾	AUC (hr · mg/dL) ⁵⁾	GI (%) ⁶⁾
Control	268.9±4.5	0.5±0.0	465.3±14.4	100.0
BS	229.8±14.7***	0.8±0.3	447.4±13.9	96.2±4.8
LS	213.5±22.5**	0.8±0.3	436.4±22.4*	93.9±5.8
WS	226.2±8.7***	0.7±0.3	438.1±15.8*	94.3±5.6

1) Values are mean±S.D. (n=5).

2) Values with different letters statistically significant differences between groups by student's *t*-test of **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.001.

3) Maximum blood glucose levels.

4) Time when glucose peak.

5) Area under the curve.

6) Glycemic index.

면도 중요해졌다. 탄수화물은 크게 단당류, 다당류, 식이섬유 등으로 구분이 되는데, 각 탄수화물 급원별로 혈당에 미치는 영향이 다르다. Luo 등(2021)은 심혈관계 질환, 당뇨병, 설사, 발열 등에 기능성을 가지고 있는 칩뿌리를 사용하여 혈당에 대한 기능성 연구를 진행하였다. 당뇨병 쥐를 대상으로 칩뿌리 추출물을 체중당 200 mg 섭취시켰을 때 공복 혈당, 인슐린 수치가 감소하는 것을 확인하였고, Kim 등(2012)은 당뇨병 쥐를 대상으로 fucoidan을 체중당 10 mg 섭취시켰을 때, 혈당이 감소하는 것을 확인하였다. Garcia 등(2007)은 사람을 대상으로 아라비노글루칸을 15 g씩 섭취시켰을 때 혈당과 인슐린 및 혈중 중성지방이 감소하는 것을 확인하였다. 앞선 연구 결과들을 종합하여 보면, 다당류 및 식이섬유가 혈당 및 혈당 관련 지표들을 개선하는 것을 확인할 수 있었다. Ahmed 등(2011)은 포도당 흡수 및 지연 정도를 반영하는 포도당 투석 지연 지수(glucose dialysis retardation index)로 탄수화물 급원별 실제 위장관 내 흡수를 예측하였고, 일반적인 탄수화물 급원에 비해서 식이섬유 급원이 더 늦어져, 포도당 흡수 지연에 따른 혈당 강하 효과를 보고하였다. 이처럼 식이섬유가 풍부한 정제되지 않은 곡류를 사용하는 생식도 이와 같은 기전으로 혈당에 대한 기능성을 나타낸 것으로 사료된다. 본 실험에서도 대조군에 비해서 시험군에서 혈당 변화 및 혈당 관련 지표가 개선되는 것을 확인하였으므로 생식의 혈당 관련 기능성을 다시 한번 확인하였다.

본 실험은 흰쥐를 대상으로 생식의 섭취 후, 혈당에 미치는 영향을 확인하고자 했지만 인체를 대상으로 진행한 실험이 아니라 쥐를 대상으로 진행한 실험으로 실질적인 혈당에 미치는 영향을 확인하기에는 어렵다는 한계점과 일반적인 생식의 섭취와 다른 단회 투여로만 평가했다는 한계점을 가지고 있다. 하지만 본 실험 이전에 진행된 사전 연구에서 당

료를 유발한 흰쥐와 제2형 당뇨병 및 내당능장애를 가진 환자를 대상으로 반복 섭취를 통한 혈당의 기능성을 확인하였고, 생식이라는 제품의 특성상 혈당 관리가 필요한 환자가 아닌 정상 혈당을 가진 사람들이 주로 섭취하므로 본 실험에서도 생식의 파이토케미컬과 정제되지 않은 곡류와 같은 탄수화물 급원이 정상적인 흰쥐의 혈당에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 추후에 진행될 연구에서는 흰쥐를 대상으로 생식의 반복섭취를 진행해 혈당에 미치는 영향을 확인하고 혈당과 관련된 당화혈색소(HbA1c), α-glucosidase, α-amylase, 공복 혈장 C-펩티드, 세포 및 조직 인슐린 함유도, glucose-6-phosphatase와 같은 바이오마커 측정을 통해 기전 연구를 진행하여 생식이 실질적으로 혈당에 미치는 영향과 혈당 강하 기능성을 확인하는 과정이 필요할 것으로 사료된다. 끝으로 정상 혈당을 가진 사람을 대상으로 인체적용시험을 진행해 일반적인 섭취 조건에서도 혈당 강하 기능성을 확인하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 생식이 혈당에 미치는 영향을 확인하고자, SD rat에 대조군인 포도당과 시험군인 생식 3종(BS, LS, WS)을 섭취 전과 섭취 후 150분 동안 30분 간격으로 채혈하여 혈당을 측정하였다. 실험은 2번에 걸쳐 진행되었고, 실험 1은 모든 시료의 양을 동일하게 맞춰서 실험을 진행하였고, 실험 2는 각 시료의 탄수화물 함량을 보정하여 시료 양을 조절한 뒤 실험을 진행하였다. 각 실험의 혈당 변화와 혈당반응 면적(AUC), 혈당지수(GI), 최고 혈당 농도(Cmax), 최고 혈당까지 도달시간(Tmax)와 같은 혈당 관련 지표로 생식이 혈당에 미치는 영향을 확인했다. 실험 1의 혈당 관련 지표는

다음과 같다. AUC의 경우, 대조군은 477.4±61.1 hr · mg/dL, BS군은 420.6±17.9 hr · mg/dL, LS군은 407.5±17.0 hr · mg/dL ($p<0.05$), WS군은 436.5±44.8 hr · mg/dL가 나왔고, Cmax의 경우, 대조군은 264.6±39.4 mg/dL, BS군은 208.1±17.9 mg/dL ($p<0.05$), LS군은 197.8±11.9 mg/dL($p<0.01$), WS군은 214.4±26.3 mg/dL($p<0.05$)가 나왔고, GI와 Tmax는 대조군과 비교하여 모든 실험군에서 낮아지는 경향이 있다. 동일한 양으로 제조된 시료로 실험을 진행했을 때 생식의 혈당 관련 기능을 확인 할 수 있었다. 이러한 생식의 기능성은 생식에 함유되어 있는 파이토케미컬에 기인한 것으로 사료된다. 실험 2의 혈당 관련 지표는 다음과 같다. AUC의 경우, 대조군은 465.3±14.4 hr · mg/dL, BS군은 447.4±13.9 hr · mg/dL, LS군은 436.4±22.4 hr · mg/dL($p<0.05$), WS군은 438.1±15.8 hr · mg/dL($p<0.05$)가 나왔고, Cmax의 경우, 대조군에서는 268.9±4.5 mg/dL가 나왔고, BS군은 229.8±14.7 mg/dL($p<0.001$), LS군은 213.5±22.5 mg/dL($p<0.01$), WS군은 226.2±8.7 mg/dL($p<0.001$)가 나왔고, GI와 Tmax는 대조군 대비 유의적인 차이는 없었지만 낮아졌다. 실험 1과 유사하게 모든 혈당 관련 지표에서 대조군 대비 낮은 것을 다시 한번 확인하였고, 이러한 결과는 생식의 질 높은 탄수화물에 기인한 것으로 사료된다. 생식은 식이섬유가 풍부한 정제되지 않은 곡류를 원료로 사용되는데, 식이섬유는 포도당의 흡수를 지연시켜 혈당 강하에 대한 기능을 가지고 있다. 따라서 시료의 탄수화물 함량을 보정한 실험 2에서도 생식의 혈당에 대한 기능을 확인할 수 있었다. 위의 연구결과 생식의 파이토케미컬과 정제되지 않은 곡류와 같은 탄수화물 급원이 혈당에 대한 기능성이 있을 것으로 사료된다. 하지만 단회 섭취와 사람을 대상으로 진행된 실험이 아니기에 실질적인 혈당 강하 기능을 확인하기에 어렵다는 한계점이 존재한다. 따라서 추후에 진행될 혈당 강하 기전 연구와 인체적용시험과 같은 심화된 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Ahmed F, Sairam S, Urooj A. 2011. *In vitro* hypoglycemic effects of selected dietary fiber sources. *J Food Sci Technol* 48:285-289
- Alberti KGMM, Zimmet PZ. 1998. Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications. Part 1: Diagnosis and classification of diabetes mellitus provisional report of a WHO consultation. *Diabet Med* 15:539-553
- Brasnyó P, Molnár GA, Mohás M, Markó L, Laczy B, Cseh J, Mikolás E, Szijártó IA, Mérei A, Halmai R, Mészáros LG, Sümegi B, Wittmann I. 2011. Resveratrol improves insulin sensitivity, reduces oxidative stress and activates the Akt pathway in type 2 diabetic patients. *Br J Nutr* 106:383-389
- Chung HY. 2016. Dietary calcium intake is associated with blood lipid profile, blood pressure, inflammatory state and insulin resistance in type 2 diabetes patients. *Korean J Food Nutr* 29:290-299
- Flores FP, Singh RK, Kerr WL, Pegg RB, Kong F. 2013. Antioxidant and enzyme inhibitory activities of blueberry anthocyanins prepared using different solvents. *J Agric Food Chem* 61:4441-4447
- Fuller S, Beck E, Salman H, Tapsell L. 2016. New horizons for the study of dietary fiber and health: A review. *Plant Foods Hum Nutr* 71:1-12
- Fung TT, Hu FB, Pereira MA, Liu S, Stampfer MJ, Colditz GA, Willett WC. 2002. Whole-grain intake and the risk of type 2 diabetes: A prospective study in men. *Am J Clin Nutr* 76:535-540
- Garcia AL, Otto B, Reich SC, Weickert MO, Steiniger J, Machowetz A, Rudovich NN, Möhlig M, Katz N, Speth M, Meuser F, Doerfer J, Zunft HJF, Pfeiffer AHF, Koebnick C. 2007. Arabinoxylan consumption decreases postprandial serum glucose, serum insulin and plasma total ghrelin response in subjects with impaired glucose tolerance. *Eur J Clin Nutr* 61:334-341
- Higgins JA. 2012. Whole grains, legumes, and the subsequent meal effect: Implications for blood glucose control and the role of fermentation. *J Nutr Metab* 2012:829238
- Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV. 1981. Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34:362-366
- Kang SM, Shim JY, Hwang SJ, Hong S, Jang HE, Park MH. 2003. Effects of *saengshik* supplementation on health improvement in diet-induced hypercholesterolemic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32:906-912
- Kim HY, Hong SG, Hwang SJ, Mok C, Park MH, Lee JY. 2007. Effect of *saengshik* on blood glucose response in healthy subjects. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36:1553-1559
- Kim J, Kim S, Jung KA, Chang Y, Choi H, Choi S, Park M, Hong S, Hwang S. 2005. Effects of very low calorie diet using meal replacements on weight reduction and health in the obese adult women. *J Nutr Health* 38:739-749
- Kim JH. 2016. The present state and future prospect for *saengshik* research. *Food Ind Nutr* 21:34-40

- Kim KJ, Yoon KY, Lee BY. 2012. Fucoidan regulate blood glucose homeostasis in C57BL/KSJ m+/+db and C57BL/KSJ db/db mice. *Fitoterapia* 83:1105-1109
- Kim M, Kim ES, Park MH, Hwang SJ, Jeong Y. 2004. *Saengshik*, a formulated health food, decreases blood glucose and increases survival rate in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Med Food* 7:162-167
- Kwon JY, Chung HY. 2013. Study on the correlation between the nutrient intakes and clinical indices of type 2 diabetes patients. *Korean J Food Nutr* 26:909-918
- Kyrø C, Tjønneland A, Overvad K, Olsen A, Landberg R. 2018. Higher whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes among middle-aged men and women: The Danish diet, cancer, and health cohort. *J Nutr* 148:1434-1444
- Lee HS, Kong HJ, Lee EH, Hwang SJ, Jung HA, Kim ML, Choi EM, Jang JH, Yang KM. 2014. Hypoglycemic effects of boiled rice made from unpolished rice, Job' tear, and extract from medicinal herbs mixture on diabetic rat. *Korean J Herbol* 29:59-70
- Lee SE, Han K, Kang YM, Kim SO, Cho YK, Ko KS, Park JY, Lee KU, Koh EH, Taskforce Team of Diabetes Fact Sheet of the Korean Diabetes Association. 2018. Trends in the prevalence of metabolic syndrome and its components in South Korea: Findings from the Korean National Health Insurance Service Database (2009 - 2013). *PLOS ONE* 13:e0194490
- Lim J, Lee Y, Shin S, Lee HW, Kim CE, Lee JK, Lee SA, Kang D. 2018. An association between diet quality index for Koreans (DQI-K) and total mortality in Health Examinees Gem (HEXA-G) study. *Nutr Res Pract* 12:258-264
- Liu Y, Li J, Zhang Z, Tang Y, Chen Z, Wang Z. 2013. Effects of exercise intervention on vascular endothelium functions of patients with impaired glucose tolerance during prediabetes mellitus. *Exp Ther Med* 5:1559-1565
- Luo D, Dong X, Huang J, Huang C, Fang G, Huang Y. 2021. *Pueraria lobata* root polysaccharide alleviates glucose and lipid metabolic dysfunction in diabetic db/db mice. *Pharm Biol* 59:380-388
- Moon MS. 2023. Effects of *saengshik* intake on blood glucose and plasma lipid profiles in type 2 diabetic patients or subjects with impaired glucose tolerance. *Food Ind Nutr* 28:31-38
- Musa-Veloso K, Poon T, Harkness LS, O'Shea M, Chu Y. 2018. The effects of whole-grain compared with refined wheat, rice, and rye on the postprandial blood glucose response: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 108:759-774
- Nanri A, Mizoue T, Noda M, Takahashi Y, Kato M, Inoue M, Tsugane S, Japan Public Health Center-based Prospective Study Group. 2010. Rice intake and type 2 diabetes in Japanese men and women: The Japan Public Health Center - based prospective study. *Am J Clin Nutr* 92:1468-1477
- Park CH, Woo JH, Roh HT, Shin KO, Kim DY, Yoon BK. 2020. The effects of different intensity endurance and resistance exercise on diabetic-related blood profiles in impaired glucose tolerance mice. *J Korean Appl Sci Technol* 37:571-581
- Russell WR, Baka A, Björck I, Delzenne N, Gao D, Griffiths HR, Hadjilucas E, Juvonen K, Lahtinen S, Lansink M, Loon LV, Mykkänen H, Östman E, Riccardi G, Vinoy S, Weickert MO. 2016. Impact of diet composition on blood glucose regulation. *Crit Rev Food Sci Nutr* 56:541-590
- Song MK, Hong SG, Hwang SJ, Park OJ, Park MH. 2003. Improve effects of *saengshik* on patient with fatty liver and hyperlipidemia in murine. *J Nutr Health* 36:834-840
- Song SJ, Choi H, Lee S, Park J, Kim BR, Paik HY, Song YJ. 2012. Establishing a table of glycemic index values for common Korean foods and an evaluation of the dietary glycemic index among the Korean adult population. *J Nutr Health* 45:80-93
- Sun L, Ranawana DV, Leow MKSL, Henry CJ. 2014. Effect of chicken, fat and vegetable on glycaemia and insulinaemia to a white rice-based meal in healthy adults. *Eur J Nutr* 53:1719-1726
- Sun Q, Spiegelman D, van Dam RM, Holmes MD, Malik VS, Willett WC, Hu FB. 2010. White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Arch Intern Med* 170:961-969
- Takahashi K, Kamada C, Yoshimura H, Okumura R, Iimuro S, Ohashi Y, Araki A, Umegaki H, Sakurai T, Yoshimura Y, Ito H, The Japanese Elderly Diabetes Intervention Trial Study Group. 2012. Effects of total and green vegetable intakes on glycated hemoglobin A1c and triglycerides in elderly patients with type 2 diabetes mellitus: The Japanese elderly intervention trial. *Geriatr Gerontol Int* 12:50-58
- Tothfalusi L, Endrenyi L. 2003. Estimation of C_{max} and T_{max} in populations after single and multiple drug administrations. *J*

Pharmacokinetic Pharmacodyn 30:363-385

- Villegas R, Liu S, Gao YT, Yang G, Li H, Zheng W, Shu XO. 2007. Prospective study of dietary carbohydrates, glycemic index, glycemic load, and incidence of type 2 diabetes mellitus in middle-aged Chinese women. *Arch Intern Med* 167:2310-2316
- Wang SY, Lin HS. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with

cultivar and developmental stage. *J Agric Food Chem* 48:140-146

- Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins AL, Josse RG. 1991. The glycemic index: Methodology and clinical implications. *Am J Clin Nutr* 54:846-854

Received 25 September, 2023

Revised 25 October, 2023

Accepted 03 November, 2023