

# 소맥엽의 섭취가 Streptozotocin 유발 당뇨 흰쥐에서 혈중 포도당 및 지질에 미치는 영향

이선희 · 임성원 · 이영미<sup>1</sup> · 강천식<sup>2</sup> · 정연근<sup>2</sup> · 박철수<sup>2</sup> · 송봉준<sup>3</sup> · 김대기\*

전북대학교 의과대학 및 의과학연구소, 1: 원광대학교 약학대학 한약학과,  
2: 농촌진흥청 국립식량과학원, 3: 중근당 건강(주)

## Effects of *Triticum aestivum* sprout on Blood Glucose and Lipid Levels in the Streptozotocin-Induced Diabetic Mice

Sun Hee Lee, Sung Won Lim, Young Mi Lee<sup>1</sup>, Chun Sik Kang<sup>2</sup>, Young Keun Cheong<sup>2</sup>,  
Chul Soo Park<sup>2</sup>, Bong Joon Song<sup>3</sup>, Dae Ki Kim\*

Department of Immunology and Institute of Medical Science, Chonbuk National University Medical School,  
1: Department of Oriental Pharmacy, College of Pharmacy, Wonkwang University,  
2: Department of Rice and Winter Cereal Crop, NICS, RDA, 3: Chong Kun Dang Healthcare Corp. Research Center, Dangjin-gun

This study investigated the functional effect by diets of *Triticum aestivum* sprout (TA) on the levels of blood glucose and lipid profiles in streptozotocin(STZ)-induced diabetic mice. Diabetes mellitus were induced by STZ intraperitoneal injection (50 mg/kg) into the male Balb/c mice. All mice fed AIN-93 diet for 3 weeks. Mice were divided to 4 groups: normal, diabetic control and two experimental groups (TA 5.0, diet with *Triticum aestivum* sprout 5.0% w/w; TA 2.5, diet with *Triticum aestivum* 2.5% w/w). The blood glucose level was decreased by TA intake in diabetic mice in the dose-dependant manner; 21.34% and 35.77% in TA 2.5 and TA 5.0 groups. The weight gain and feed efficiency ratio also were improved by TA intake compared with DM group. The weight gain was increased 1.28 and 1.09 folds in TA 5.0 and TA 2.5 groups, respectively. The weight of organs, including liver and kidney, was reduced but that of spleen and abdominal fat was increased by TA intake. Moreover, TA treatment increased the level of HDL but decreased the level of total cholesterol and triglycerides in the blood of diabetic mice. The blood of HbA1c also was significantly decreased without changing hematocrit by TA treatment compared with DM group. These results indicate the TA intake has the functional effects attenuating blood glucose and plasma lipid levels in insulin-dependent diabetes.

Key words : *Triticum aestivum* sprout, diabetes mellitus, blood glucose, plasma lipid, streptozotocin

### 서 론

전 세계적으로 성인의 당뇨병 발생률은 꾸준히 증가하는 추세이며 WHO에서 조사한 자료에 의하면 2030년에는 약 3억 6천 명 이상의 당뇨병환자가 발생할 것으로 예상하고 있다<sup>1)</sup>. 뿐만 아니라 우리나라에서도 당뇨병의 유병율이 1970년 인구의 1% 미만이었다던 것이 1980년대 말에는 약 3%, 1990년대에는 5~8%로 보고

\* 교신저자 : 김대기, 전주시 덕진구 금암동, 전북대학교 의학전문대학원

· E-mail : daekim@jbnu.ac.kr, · Tel : 063-270-3080

· 접수 : 2010/09/10 · 수정 : 2010/10/25 · 채택 : 2010/11/02

되고 있으며, 인구 10만명당 17.2명이 당뇨병에 의해 사망하고 있다<sup>2)</sup>. 당뇨병은 췌장 β-세포에서 분비되는 인슐린의 분비장애와 말초조직에 대한 인슐린 저항으로 야기된 고혈당증(hyperglycemia)으로 당대사는 물론 단백질, 지질 및 전해질 대사 등과 관련된 대사성 질환<sup>3)</sup>이다. 혈중에 과잉의 당이 존재하게 되면 산화스트레스로 인한 조직의 손상이 만성합병증 유발을 초래하는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 당뇨에서의 특징적인 비정상적 지질대사는 당뇨병의 형태, 상태, 연령에 따라 다양하지만 대부분의 당뇨병환자들은 정상인들에 비해 비정상적 지질대사로 인한 혈관계질환 위험이 높은 것으로 보고되었다<sup>5)</sup>. 외국통계에 의하

면 당뇨병 환자의 3/4이 지질대사 이상으로 인한 심근경색증과 뇌졸중 등의 심혈관질환에 대한관(macrovascular) 합병증을 앓고 있으며 이로 인한 사망 위험도가 일반인에 비하여 훨씬 높다. 따라서 당뇨병환자에게서의 지질대사 이상은 심혈관질환 발생의 가장 위험한 인자라고 알려져 있다<sup>6)</sup>. 당뇨병 환자의 20~70%가 수반하고 있는 고지혈<sup>7)</sup>등과 동맥경화증을 비롯한 혈관성 장애는 발병 빈도 및 정도가 혈당 조절과 지질대사의 개선을 통해 어느 정도 감소 될 수 있다. 현재 당뇨병 치료에 기존의 인슐린이나 경구혈당강화제의 투여로는 근원적으로 치료하는 데는 한계가 있고 경제적 부담과 더불어 부작용의 위험도 수반하고 있다. 이러한 이유로 WHO에서는 부작용이 적은 천연물의 이용을 추천하고 있으며, 실제로 천연물을 이용한 치료법에 대한 관심이 증대되어, 미국과 호주의 경우 조사자의 약 34.5% 및 48.5% 정도가 약물 치료와 함께 한 가지 이상의 민간요법을 실시하고 있다는 보고가 있다<sup>8)</sup>. 특히, 천연물에 함유된 물질은 독성 및 알레르기 반응으로 인한 부작용이 합성 의약품에 비해 적기 때문에 이를 이용한 기능성 식품 및 신약개발의 소재로 많은 관심의 대상이 되고 있다<sup>9)</sup>.

소맥 (*Triticum aestivum* Lamarck)은 주로 온대지방에서 재배되는 세계 제 1위의 생산량을 유지하는 곡물이다. 일반적으로 줄기는 멩쳐서 골게 자라며, 잎 표면은 밧밧하고 마디가 길고, 넓은 바소 모양으로 자라면서 끝이 점점 좁아지고 뒤로 처진다. 우리나라는 예로부터 소맥을 귀한음식에 사용하였으며, 동의보감에서 소맥은 성질이 약간 차고, 밧이 달며 무독하여 변열을 제거하고, 갈증을 줄이며, 이노작용 및 간기를 보양한다고 하였다. 소맥, 특히 소맥엽에는 다양한 영양성분과 생리활성물질에 함유되어 있음이 알려져 있다. 발아소맥을 포함한 소맥엽에는 단백질, 탄수화물뿐만 아니라 유리아미노산, 비타민 및 클로로필 등을 다량을 포함하고 있으며<sup>10)</sup> 다수 무기물 및 항산화물질을 함유하고 있다<sup>11)</sup>. 소맥엽의 약리학적 효능으로는 소맥엽 주스가 중증성 지중해 빈혈 (Thakassemia Major) 환자에서 수혈요구를 줄이는 효과가 있으며<sup>12)</sup>, 말초성 궤양성 대장염을 개선한다고 보고<sup>13)</sup>되었다. 또한 유방암환자의 항암제 투여에 대한 부작용을 감소하는데 도움을 줄 수 있으며<sup>14)</sup>, 녹색식물에 다량 함유된 클로로필은 발암을 억제하는 인자로 보고<sup>15)</sup>되었다. 최근 건강기능성 식품으로 발아 소맥, 통소맥 등을 이용하려는 추세이며, 그 효능에 많은 관심을 보이고 있다. 오래전부터 외국에서는 주요 건강기능성 소재로 알려진 소맥엽에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 반면 우리나라에서는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 금강 소맥엽 (*Triticum aestivum* sprout; TA)의 섭취가 당뇨 유발 흰쥐의 혈당 및 지질대사에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 실험에서는 국립식량과학원에서 수확한 금강 우리밀 품종을 온실에서 평균 온도 20±1℃, 상대 습도 60~70%를 유지하며

무균 유기농 발아용 피트머스 위에서 발아시킨 후 10일 동안 키운 소맥엽을 수확하였으며, 동결건조하여 잘게 분쇄하여 분말화하였다. 소맥엽 동결분말시료(TA)는 실험식이에 각각 2.5%와 5.0%가 되도록 조제하여 투여직전까지 냉장보관 하였다.

### 2. 실험동물 및 식이

실험동물은 Balb/c 계의 수컷 흰쥐를 샘타코(주식회사 샘타코 Biokorea, 오산, 경기도)로부터 구입하여 본 동물사육시설 환경에 1주일 이상 적응시켰다. 평균체중 25 g 내외의 마우스를 대상으로 고휘사료(중앙실험동물, 서울)로 예비 사육한 후 그룹당 5 마리씩 4그룹으로 분류하여 실험을 실시하였다. 실험군은 정상대조군(Normal)과 당뇨유발군으로 분리하였으며 당뇨유발군은 당뇨대조군(DM), 소맥엽 2.5% 섭취군(TA 2.5) 및 소맥엽 5.0%(TA 5.0)섭취군의 당뇨 실험군으로 분리 하였다. 정상군과 당뇨대조군은 AIN-93 조제식이를 당뇨실험군의 식이는 AIN-93 조제식이를 변형하여 동물 사료로 사용하였다(Table 1). 즉, 분말화한 소맥엽을 각각 2.5%(w/w)와 5.0%(w/w)씩 AIN-93 사료에 배합하여 각각의 해당식이를 3주간 공급하였다. 실험식이와 물을 자유롭게 섭취하도록 하였고, 동물사육실의 사육조건은 12시간 명암주기, 온도 22±2℃, 상대습도 50±10%가 되도록 하였다. 본 동물 실험은 동물실험 윤리준칙에 준수하여 실험을 진행하였다.

Table 1. Composition of control diet and experimental diets (g/kg)

Components	Control <sup>1)</sup>	Experimental diet <sup>2)</sup>	
		5%	2.5%
Cornstarch	465.69	465.69	465.69
Casein	140.0	140.0	140.0
Dextrinized cornstarch	155.0	155.0	155.0
Sucrose	100.0	100.0	100.0
Soybean oil	40.0	40.0	40.0
Fiber	50.0	0.0	25.0
Mineral Mix <sup>3)</sup>	35.0	35.0	35.0
Vitamin mix <sup>4)</sup>	10.0	10.0	10.0
L-cystine	1.8	1.8	1.8
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5
tert-butylhydroquinone (mg)	8.0	8	8
TA	-	50.0	25.0

1) Control diet: AIN-93 diet, 2) Control diet + TA (*Triticum aestivum* sprout), 3) AIN-93 Mineral mixture (kg): Calcium carbohante anhydros 357 g, potassium phosphate monobasic 250 g, Potassium citrate (tripotassium monohydrate) 28 g, Sodium chloride 74 g, Potassium sulfate 46.6 g, Magnesium oxide 24 g, ferric citrate 6.06 g, Zinc carbonate 1.65 g, Sodium meta-silicate 9H<sub>2</sub>O 1.45 g, Manganous carbonate 0.63 g, Cupric carbonate 0.3 g, Chromium potassium sulfate 12H<sub>2</sub>O 175 mg, Boric acid 81.5 mg, Sodium fluoride 63.5 mg, Nickel carbonate 31.8 mg, Lithium chloride 17.4 mg, Sodium selenate anhydrous 10.25 mg, Potassium iodate 10 mg, Ammonium paramolybdate-4H<sub>2</sub>O 7.95 mg, Ammonium vanadate 6.6 mg, 4) AIN-93 Vitamin mixture (kg): Nicotin acid 3 g, Ca pantothenate 1.6 g, Pyridoxine-HCl 0.7 g, Thiamin-HCl 0.6 g, Riboflavin 0.6 g, Folic acid 0.2 g, Biotin 0.02 g, Vitamin B12(cyanocobalamin) 2.5 g, Vitamin E (all-rac- $\alpha$ -tocopheryl acetate) 15 g, Vitamin A (all trans-retinyl palmitate) 0.8 g, Vitamin D3 (cholecalciferol) 0.25 g, Vitamin K1(phyloquinone) 75 mg, Powdered sucrose 974.655 g

### 3. 당뇨 유발

실험동물에게 Streptozotocin(STZ)를 0.1M sodium citrate buffer(pH 4.3)에 녹여 체중 kg당 50 mg을 24시간 간격으로 2회 복강주사하고 48시간 후 공복시 혈중 포도당 농도가 250 mg/dL 이상인 것을 당뇨로 인정하여 본 실험에 사용하였다.

### 4. 혈중 포도당 농도 및 당화혈색소 측정

3일 간격으로 실험동물의 미정맥으로부터 소량의 혈액을 채취하여 혈당 측정기기 ACCU-CHECK(Roche Diagnostics GmbH, Germany)를 이용하여 혈중 포도당 농도를 측정하였다. 당화혈색소 농도 (HbA1C)는 시료를 3주간 투여하고, 실험 종료일에 마우스로부터 얻은 혈액을 Helena laboratories kit(Helena laboratory, Texas)를 사용하여 microcolumn chromatography로 측정하였다.

#### 5. 체중, 식이섭취량, 식이이용효율 측정

체중 증가량은 3일 간격으로 일정시간에 전 실험기간동안 측정하였으며, 식이섭취량은 사료 감소량을 1주일간격으로 측정하고 1일 평균 식이섭취량을 산출하였다. 그리고 식이이용효율은 실험 기간 동안 체중증가량을 같은 기간에 섭취한 식이량으로 나누어 계산하였다.

#### 6. 혈액 분리 및 장기 채취

혈액은 3주간 실험식이를 급여 한 후, 에테르로 흡입마취하고 경추탈골로 희생시켜 혈액을 채취하였다. 이후 조직들은 즉시 적출하여 생리식염수로 헹구고 거즈로 수분을 제거하여 무게를 측정하였다. 채취한 혈액은 실온에서 10분간 방치한 후 4℃에서 3,000 rpm으로 20분간 원심분리하여 혈장을 분리하였다. 분리한 혈장은 실험에 사용하기 전까지 -80℃에 보관하였다.

#### 7. 혈중 중성지방(TG), 총콜레스테롤(TC) 및 HDL 측정

실험 3주 후 실험동물을 희생시켜 얻은 혈장을 취하여 혈중 TG, TC 및 HDL함량을 측정하였다. TG의 함량은 표준 효소법에 의해 kit(Asan Co., Korea)를 사용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다. TC 함량은 표준 효소법에 의해 kit(Asan Co., Korea)를 사용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다. HDL함량을 측정하기 위해 혈장에 2% dextran sulfate 용액과 1M의 MgCl<sub>2</sub> 용액 (1:1, v/v)을 가하여 침전시킨 후 상층액을 시료로 표준효소법에 의해 kit(Asan., Korea)를 사용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

#### 8. 심혈관 동맥경화지수(AI) 측정

심혈관계 질환의 위험도를 보여주는 지표로서 심혈관 동맥경화지수(Atherogenic index, AI), TG/HDL 및 TC/HDL의 비율을 분석하였다. AI는 혈액 중 TC 농도에서 HDL을 뺀 값에 대한 HDL 농도의 비로 다음과 같은 식에 의해서 산출한다. 비율이 4.0을 초과하면 위험성이 더욱 증가하며, 고위험군으로 판단하였다.

$$\text{Atherogenic Index (AI)} = (\text{TC}-\text{HDL})/\text{HDL}$$

#### 9. 통계처리

실험을 통하여 얻어진 결과치는 통계 처리하여 평균치와 표준오차(mean±SE)를 계산하였고, 각 당뇨 대조군과 실험군간의 유의성 검정을 위하여 Student t-test를 사용하였다.

## 결 과

### 1. 혈당에 미치는 영향

정상군, 당뇨대조군 및 당뇨실험군의 혈당변화를 3일 간격으로 채혈하여 혈중 포도당 수준을 분석하였다(Fig. 1). 전 실험기간 동안 당뇨 실험군의 혈당은 정상 대조군의 혈당에 비하여 유의적으로 높은 수준을 유지하였다. 실험 3주후 혈당치는 정상 대조군이 113±13 mg/dl, 당뇨대조군 506±21 mg/dl, TA 5.0투여군 398±19 mg/dl, TA 2.5투여군에서는 325±17 mg/dl이었다. TA 5.0 투여군에서는 투여 시작 1주일 후부터 혈당이 지속적으로 감소하였으며, 실험종료일인 3주째에는 당뇨대조군에 대비해 약 35.77% 감소하였고, TA 2.5투여 군에서는 약 21.34% 혈당이 감소하였다. 반면 당뇨 대조군은 실험기간 동안 평균 혈당 450 mg/dl 이상의 고혈당을 유지하면서 전형적인 당뇨 증상을 나타냈다. 한편 실험종료일의 혈당치를 초기혈당치와 비교하면 당뇨대조군은 4.76% 증가한 반면, TA 5.0 투여군에서의 혈당은 32.16% 감소, TA 2.5투여군에서는 17.26% 감소함을 보였다. 본 결과는TA 5.0투여군에서 효과적인 혈당저하 효과를 보였다 (p<0.05).

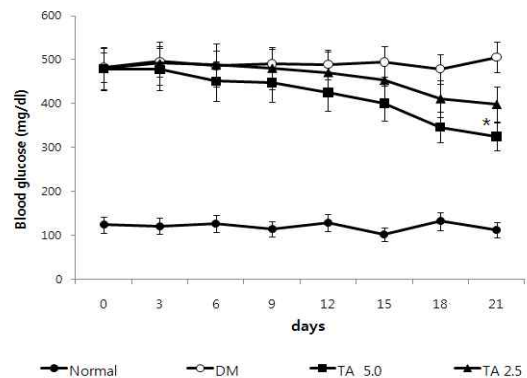


Fig. 1. The blood glucose levels in TA treated diabetic mice. The blood glucose levels of all groups were measured at intervals of 3 days for 21 days. 1) Normal: non diabetic control group, DM: diabetic control group, TA 5.0: 5.0% Triticum aestivum sprout supplemented group, TA 2.5: 2.5% Triticum aestivum sprout supplemented group, 2) All values are given as means±SE(n=5). 3) Values with asterisk are significantly different at p<0.05 the diabetic groups received with/without Triticum aestivum sprout.

### 2. 체중변화와 식이섭취량에 미치는 영향

소맥엽을 3주간 섭취하게 하고 체중변화에 미치는 영향을 측정하였다(Table 2). 정상대조군의 체중은 초기체중에 비하여 21일동안 17.23% 증가하였고, 당뇨대조군의 체중은 16.11% 감소하였다. 3주동안 TA 2.5 투여군은 초기체중에 비해 7.76% 감소하였으며, TA 5.0 투여군은 7.84% 증가하였다. 이들 결과는 TA섭취가 당뇨대조군에서의 체중 감소율을 유의적으로 억제함을 보였으며, 비록 정상대조군에 비해 체중감소를 보였지만 TA 5.0 투여군에서 효과적인 당뇨유발 체중저하를 개선함을 보였다. 당뇨 실험동물에서 식이섭취량의 증가는 일반적인 증상이다. 당뇨 실험군에서 식이섭취량과 식이이용효율(FER)은 1주간 섭취한 1일 평균값으로 3주간 측정하였다(Table 3). 모든 당뇨실험군에서 식

이 섭취량은 정상군에 비하여 높은 수치를 나타냈고, 반면에 식이 이용효율은 정상대조군이 당뇨실험군에 비해 높았다. TA 5.0투여군에서는 당뇨대조군에 비하여 유의적으로 식이섭취량이 감소하였고, 식이이용효율이 증가함을 보였다.

**Table 2. Comparison of initial and final body weights (BW) in TA treated diabetic mice**

Groups	Initial B.W (g)	Final B.W (g)	Weight gain (g)
Normal	24.89±0.29	29.18±0.37	4.29 ± 0.25
DM	25.01±0.41	20.98±0.46	-4.03 ± 0.51
TA 5.0	24.97±0.58	26.93±0.87	1.96 ± 0.81
TA 2.5	24.87±0.52	22.94±0.67	-1.93 ± 0.61

1) Values are expressed as mean ± SE(n=5). 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Students t-test. 3) Normal: non diabetic control group, DM: diabetic control group, TA 5.0: 5.0% Triticum aestivum sprout supplemented group, TA 2.5: 2.5% Triticum aestivum sprout supplemented group

**Table 3. Diet intake (g/day) and feed efficiency ratio (FER) in TA treated diabetic mice**

	Normal	DM	TA 5.0	TA 2.5
1 week	3.56 ± 0.21	4.56 ± 1.82	3.97 ± 0.81	4.31 ± 0.96
2 week	3.76 ± 0.18	5.14 ± 1.41	4.54 ± 0.76	4.86 ± 0.87
3 week	3.87 ± 0.20	5.97 ± 1.74	4.85 ± 0.67	5.19 ± 0.84
Mean	3.73 ± 0.19	5.22 ± 1.66	4.45 ± 0.61	4.78 ± 0.72
FER	1.15 ± 0.09	-0.77 ± 0.02	0.44 ± 0.51	-0.40 ± 0.63

1) Values are expressed as mean ± SE(n=5). 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Students t-test. 3) Abbreviations are the same as those of Table 2.

3. 장기무게에 미치는 영향

실험동물의 소맥엽 섭취가 장기무게에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험종료일에 장기 무게를 측정하고 체중에서 오는 장기무게 차이 오차를 최소화하기 위해 각 장기를 체중 100 g당 무게로 환산하였다(Table 4). 정상군에 비하여 당뇨대조군에서 간 무게는 16%, 신장의 무게는 2.8%증가하였고, 비장 무게는 16%, 복부지방은 82%이상 감소하는 경향을 보였다. TA투여 실험군에서는 당뇨대조군에 비하여 소맥엽 섭취 의존적으로 신장 및 간의 무게가 감소하였고, 비장 무게는 유의적으로 증가함을 보였다. 그러나 복부지방은 당뇨대조군 보다 더 낮아졌다.

**Table 4. The changes in organ weight in TA-treated diabetic mice**

Group	Weight of organs(g/100 g BW)			
	Liver	Kidney	Spleen	Abdominal fat
Normal	4.93 ± 0.31	0.905 ± 0.09	0.422 ± 0.04	0.559 ± 0.03
DM	5.87 ± 0.17	0.930 ± 0.07	0.353 ± 0.03	0.099 ± 0.05
TA 5.0	5.12 ± 0.22	0.917 ± 0.12	0.391 ± 0.04	0.061 ± 0.04
TA 2.5	5.54 ± 0.20	0.927 ± 0.08	0.373 ± 0.05	0.030 ± 0.04

1) Values are expressed as mean ± SE(n=5). 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Students t-test. 3) Abbreviations are the same as those of Table 2.

4. 혈중 지질에 미치는 영향

소맥엽이 혈중지질에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험 종료일에 혈중 지질 농도를 측정하였다(Table 5). 혈중 콜레스테롤(TC)농도는 정상 대조군에 비하여 모든 실험군에서 높은 수치를 보였다. 정상 대조군에 비하여 당뇨대조군은 77.99% 증가하였다. 반면에 TA 5.0투여군은 36.25% 증가, TA 2.5투여군은 55.59% 증가를 보였다. 또한 혈중 중성지질(TG)의 증가율은 당뇨대조군

에서 115.44%, TA 5.0투여군에서 66.83%, TA 2.5투여군에서 79.58% 를 보였다. 이와 같이 TA투여 실험군에서 TC와 TG 혈중 농도가 당뇨대조군에 비해 유의적으로 감소하였다. 또한 소맥엽이 동맥경화지수(AI)에 미치는 영향을 비교한 결과를 Table 6에 나타내었다. 정상대조군은 2.30±0.24, 당뇨대조군은 4.04±0.65, TA 2.5와 TA 5.0투여군은 각각 3.65±0.52, 2.99±0.32으로 당뇨대조군에 비하여 감소 경향을 보였다. AI, TC/HDL 및 TG/HDL 비율 또한 소맥엽 섭취에 의해 개선되었음을 확인하였다.

**Table 5. The levels of total cholesterol (TC), High-density Lipoprotein (HDL) and triglycerides (TG) in the serum of TA treated diabetic mice**

Groups	TC (mg/dl)	HDL (mg/dl)	TG (mg/dl)
Normal	157.29 ± 14.20	47.66 ± 2.3	95.57 ± 3.76
DM	279.69 ± 21.33	55.47 ± 14.7	205.9 ± 7.22
TA 5.0	214.31 ± 12.29	53.74 ± 4.1	159.44 ± 5.87
TA 2.5	244.73 ± 8.29	52.61 ± 6.3	171.63 ± 6.31

1) Values are expressed as mean ± SE(n=5). 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Students t-test. 3) Abbreviations are the same as those of Table 2.

**Table 6. The comparison of atherogenic indices, TC/HDL and TG/HDL ratio in TA treated diabetic mice**

Groups	TC/HDL	TG/HDL	AI
Normal	3.30 ± 0.29	2.01 ± 0.64	2.30 ± 0.24
DM	5.04 ± 0.66	3.71 ± 0.97	4.04 ± 0.65
TA 5.0	3.99 ± 0.57	2.97 ± 0.44	2.99 ± 0.32
TA 2.5	4.35 ± 0.41	3.26 ± 0.32	3.65 ± 0.52

1) Values are expressed as mean ± SE(n=5). 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Students t-test. 3) Abbreviations are the same as those of Table 2.

5. 혈중 HbA1C 와 헤마토크릿치에 미치는 영향

소맥엽이 혈중 HbA1C 와 헤마토크릿치(혈구용적율)에 미치는 영향을 확인하였다. 실험종료일에 혈액을 취하여 혈중 HbA1C와 헤마토크릿치를 측정하였다(Table 7). 정상 HbA1C 범위는 3.9-6.1% 로써 고혈당이 지속되는 상태에서 HbA1C가 증가하게 된다. 당뇨대조군의 HbA1C는 정상대조군에 비하여 2.21배 증가 하였다. 당뇨환자의 경우 정상인에 비해 HbA1C 함량이 2-3 배 증가되는 것으로 알려져 있다<sup>39)</sup>. TA 2.5와 TA 5.0 투여군의 경우 각각 1.73배, 1.54배 감소되었다. 결과적으로 소맥엽의 투여가 HbA1C의 증가를 감소시킴을 보였다. 실험 3주 후 헤마토크릿치를 분석한 결과 당뇨대조군에서 가장 높은 헤마토크릿치를 나타냈다. 그러나 헤마토크릿치는 소맥엽 투여에 의해 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다.

**Table 7. The levels of HbA1C and hematocrit(Ht) in TA treated diabetic mice**

Groups	HbA1C (%)	Ht (%)
Normal	3.34 ± 0.22	44.61 ± 2.63
DM	7.41 ± 0.30	46.14 ± 2.42
TA 5.0	5.17 ± 0.31	45.53 ± 1.94
TA 2.5	5.98 ± 0.26	45.97 ± 2.17

1) Values are expressed as mean ± SE(n=5). 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Students t-test. 3) Abbreviations are the same as those of Table 2.

## 고 찰

STZ를 투여하여 췌장의  $\beta$ -세포를 선택적으로 파괴시킨 쥐에서는 점차적으로 인슐린 분비가 감소하고 이로 인해 혈액 내에 당이 각 조직으로 유입되지 못하게 되며, 간에서의 당 신생작용에 의해 혈액내로 배출되는 당이 증가하게 된다<sup>16)</sup>. 고혈당은 당질 및 기타 대사이상으로 인해 발생<sup>17)</sup>한다고 알려져 있다. 당뇨대조군은 초기혈당에 비해 4.7% 증가한 반면, TA 5.0 투여군에서의 혈당은 32.16% 감소, TA 2.5투여군에서는 17.26% 감소한 것으로 나타났으므로, 본 실험에서의 소맥엽 투여가 STZ 유발 당뇨실험동물의 고혈당을 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다. 또한 일반적으로 당뇨로 인해 체중이 감소하는 경향을 보인다<sup>18)</sup>. STZ으로 당뇨를 유발할 경우 alloxan으로 당뇨를 유발한 경우보다 체중감소가 심하며, 체중 회복 또한 쉽지 않다고 보고되어 있다. 인슐린은 단백질 대사에 관여하여 골격근으로의 아미노산 유입을 촉진시켜 단백질 합성을 증가시키는 역할을 하는데, STZ 투여에 따른 인슐린생성의 부족과 작용의 저하로 당대사에 의한 에너지 생산부족을 초래하여 체중이 감소하게 된다고 알려져 있다<sup>19)</sup>.

본 실험의 결과에서도 당뇨 대조군이 정상군에 비해 유의적인 체중 감소를 보이고, 소맥엽 투여군에서는 당뇨대조군에 비해 낮은 체중 감소가 보였다. 특히 TA 5.0투여군에서는 체중 증가를 보였다는 점에서 소맥엽 섭취는 당뇨로 인한 체중 감소를 억제하는 효과를 가진 것으로 사료된다. 식이섭취량과 식이이용효율은 Table 3에 나타났다. 식이섭취량은 당뇨대조군과 당뇨실험군이 정상군에 비하여 높은 수치를 나타냈고, 식이이용효율은 정상대조군이 당뇨대조군 및 당뇨실험군에 비해 높은 것으로 나타났다. TA 5.0투여군은 당뇨대조군에 비하여 식이섭취량 감소와 식이이용효율 증가를 보였다. 당뇨쥐의 식이섭취량이 정상쥐보다 높은 이유는 인슐린이 결핍된 쥐의 neuropeptide Y (NPY) mRNA의 증가와 시상하부의 랩틴 수용체의 작용저하로 보고하면서 이는 인슐린 투여로 식이섭취량이 개선되며<sup>20)</sup>, 당뇨쥐에서의 낮은 식이이용효율은 당뇨에 의한 퇴행성 대사로 인한 것으로 알려져 있다. 이는 당뇨유발에 의하여 간의 비대, 복부지방 감소 등 장기 무게에 영향을 미치는 것으로 여겨진다<sup>21)</sup>.

당뇨가 잘 조절되지 않은 상태에서는 간장의 hydroxymethylglutaryl-CoA(HMG-CoA) reductase의 활성이 감소되고, 간의 HMG-CoA reductase의 활성이 증가되는데, 이로 인해 장내의 콜레스테롤 이동이 증가되어 고콜레스테롤 혈증이 나타게 된다. 당뇨에 수반되는 합병증으로는 혈장내 높은 수준의 콜레스테롤과 중성지방 농도를 특징으로 하는 고지혈증이 있다고 보고되었다<sup>22)</sup>. 당뇨병의 주된 합병증은 죽상경화증과 고지혈증이 관련되는데 고지혈증의 경우 정상보다 혈장 내 지방산이 TG으로 전환되는 속도가 증가하여 혈장 내 TG 농도가 높아진다고 알려져 있다<sup>23)</sup>. 본 실험에서도 당뇨유발시 혈중 TG 농도가 증가되었으며, 소맥엽 투여에 의해 당뇨대조군에 비하여 혈중 TG 농도가 감소하였다. 이는 Yoon<sup>24)</sup>등의 연구 및 Lim<sup>25)</sup>등의 연구 결과에서도 혈중 TG 함량이 줄어드는 유사한 경향을 보였다. 당뇨시 혈중

TC가 증가하는데 이는 VLDL, LDL 및 HDL 증가에 따른 결과이며, 인슐린요법은 LDL을 낮출 수 있다고 알려져 있다<sup>26)</sup>. 혈중 HDL의 감소는 당뇨에서 일어나는 대사이상으로부터 유래한 현상으로 일부 연구자들에 보고된 바가 있다<sup>27)</sup>. 정상인의 경우 TC/HDL의 비율은 TC은 200 mg/dl 이하, HDL은 40 mg/dl 이상을 적정수준이라고 하였을 때, 남성의 경우 비율이 5.0을 초과하게 되면 당뇨합병증의 위험성은 더욱 증가하며<sup>28)</sup>, TG/HDL 비율이 증가할수록 심근경색<sup>29)</sup>과 심근 허혈에 노출될 가능성이 높다고 보고되었다. 결과적으로 당뇨대조군에 비하여 소맥엽 투여군에서는 그 비율이 유의적으로 감소하였다. 따라서 본 연구의 소맥엽 투여는 혈액중의 TG과 TC의 상승을 억제하고 호전시켜 심혈관 동맥경화등의 당뇨합병증을 예방하는 효과가 있을 것이라고 예측된다.

Dai와 McNeill<sup>30)</sup>은 정상쥐와 당뇨쥐의 헤마토크릿치에 큰 차이를 보이지 않는다고 보고하였다. 또한 Brooks<sup>26)</sup>등의 연구에서도 STZ로 유발시킨 당뇨모델에서 40%, 정상쥐에서는 42%로 비슷한 헤마토크릿치를 나타낸다고 보고 되어있다. 당뇨쥐의 높은 헤마토크릿치는 당뇨로 인한 혈액의 수분 손실로 인하며<sup>31)</sup>, Wannamethee<sup>32)</sup> 등의 연구에 의하면 높은 헤마토크릿치는 인슐린저항에 영향을 주어 인슐린 비의존성 당뇨병의 위험을 높인다고 하였다. HbA1c는 Hemoglobin 단백질  $\beta$ -chain의 N-terminal에 Glucose가 비가역적으로 binding 된 것으로 Hemoglobin 단백질 Sub-Types 중의 하나이다. 혈중 HbA1C는 최근 1~3개월간의 평균적인 혈당조절 상태를 반영하며 특히 최근 1개월간의 혈당 변화를 잘 반영하는 인자이다. 실험 3주 후 헤마토크릿치를 분석한 결과 정상군과 실험군들간의 유의적인 차이는 없었다.

본 연구에서 소맥엽 섭취에 의해 STZ유발된 당뇨병 환자들에 유의적으로 개선하는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 현재 소맥엽에 대한 연구는 미미한 상태이며, 밝혀지지 않은 항산화물질 및 당대사억제제등의 항당뇨인자를 함유하고 있을 것으로 사료되므로 소맥엽의 항당뇨 작용기전을 규명하기 위한 보다 체계적인 연구가 필요하다.

## 결 론

본 연구는 STZ으로 유발된 제1형 당뇨모델 흰쥐에게 소맥엽을 식이에 첨가하여 3주간 투여한 후 당뇨병과 이로 인한 합병증과 관련되는 체내 지질대사 변화에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 당뇨병에서 일반적으로 보이는 혈당증가, 체중감소, HbA1C증가, 그리고 식이섭취량 및 식이효율증가등이 소맥엽 5.0%(w/w)로 섭취에 의해 모두 유의적으로 개선됨을 확인하였다. 한편 간 장기무게, 콜레스테롤 및 중성지방의 혈중지질농도가 소맥엽의 급여로 인해 유의적으로 감소함을 보였으며, 심혈관 동맥경화지수를 완화시켜 당뇨합병증을 예방하는 효과가 있음을 확인하였다. 따라서 소맥엽의 섭취는 인슐린 의존성 당뇨병에서 당대사이상에 의한 고혈당증과 지질대사 이상으로 증가된 고지혈증을 개선하는데 효과적인 식이요법으로 유용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 전북대학교병원 기능성식품 임상시험지원센터의 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Mokdad, A.H., Ford, E.S., Bowman, B.A., Nelson, D.E., Engelgau, M.M., Victor, F., Marks, J.S. Diabetes trends in the U.S: 1990-1998. *Diabetes Care* 23: 1278-1283, 2000.
- Lim, H.S., Chyun, J.H., Kim, Y.S., Nam, M.S. Effect of Nutrition Education on Diabetic Management in Diabetic Patients. *Korean J Nutrition* 34: 69-78, 2001.
- Saudek, C.D., Eder, H.A. Lipid metabolism in diabetes mellitus. *Am J Med* 66: 843-852, 1979.
- Baynes, J.W. Role of oxidative stress in development of complications in diabetes. *Diabetes* 40: 405-412, 1991.
- Strachan, M.W.J., Deary, I.J., Ewing, F.M.E., Frier, B.M. Is type 2 (non-insulin dependent) diabetes mellitus associated with an increased risk of cognitive dysfunction?. *Diabetes Care* 20: 438-445, 1997.
- Yusuf, S., Hawken, S., Ounpuu, S., Dans, T., Avezum, A., Lanas, F., McQueen, M., Budaj, A., Pais, P., Varigos, J., Lisheng, L. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *Lancet* 364: 937-952, 2004.
- Abrams, J.J., Ginberg, H., Grundy, S.M. Metabolism of cholesterol and plasma triglycerides in non-ketotic diabetes mellitus. *Diabetes* 31: 903-910, 1982.
- MacLennan, A.H., Wilson, D.H., Taylor, A.W. Prevalence and cost of alternative medicine in Australia. *Lancet* 347: 569-573, 1996.
- Tapsell, L.C., Hemphill, I., Cobiac, L., Patch, C.S., Sullivan, D.R., Fenech, M., Roodenrys, S., Keogh, J.B., Clifton, P.M., Williams, P.G., Fazio, V.A., Inge, K.E. Health benefits of herbs and spices: the past, the present, the future. *Med J Austria* 185: S4-24, 2006.
- Nagaoka, H. Treatment of Germinated Wheat to Increase Levels of GABA and IP6 Catalyzed by Endogenous Enzymes. *Biotechnol Progr* 21: 405-410, 2005.
- Kulkarni, S.D., Tilak, J.C., Acharya, R., Rajurkar, N.S., Devasagayam, T.P., Reddy, A.V. Evaluation of the antioxidant activity of wheat grass (*Triticum aestivum* L.) as a function of growth under different conditions. *Phytotherapy Research* 203: 218-227, 2006.
- Marawaha, R.K., Bansal, D., Kaur, S., Trehan, A. Wheat grass juice reduces transfusion requirement in patients with thalassemia major: a pilot study. *Indian Pediatr* 41: 716-720, 2004.
- Ben-Arye, E., Goldin, E., Wengrower, D., Stamper, A., Kohn, R., Berry, E. Wheat grass juice in the treatment of active distal ulcerative colitis: a randomized double-blind placebo-controlled trial. *Scand J Gastroenterol* 37: 444-449, 2002.
- Bar-Sela, G., Tsalic, M., Fried, G., Goldberg, H. Wheat Grass Juice May Improve Hematological Toxicity Related to Chemotherapy in Breast Cancer Patients: A Pilot Study. *Nutrition and Cancer* 58: 43-48, 2007.
- Lai, C.N. Chlorophyll: The active factor in wheat sprout extract inhibiting the metabolic activation of carcinogens in vitro. *Nutrition and Cancer* 3: 19-21, 1979.
- Ahmed, I., Adeghate, E., Cummings, E., Sharma, A.K., Singh, J. Beneficial effects and mechanism of action of Momordica charantia juice in the treatment of streptozotocin-induced diabetes mellitus in rat. *Mol Cell Biochem* 261: 63-70, 2004.
- Kahn, C.R. The molecular mechanism of insulin action. *Ann Rev Med* 36: 249-251, 1985.
- Best, J.D., O'Neal, D.N. Diabetic dyslipidaemia-current treatment recommen-dations. *Drugs* 59: 1101-1111, 2000.
- Sexton, W.S. Skeletal muscle vascular transport capacity in diabetic rats. *Diabetes* 43: 225-231, 1994.
- Malabu, U.H., Dryden, S., Mccarthy, H.D., Kilpatrick, A., Williams, G. Effects of chronic vanadate administration in the STZ-induced diabetic rats. The antihyperglycemic action of vanadate is attributable entirely to its suppression of feeding. *Diabetes* 43: 9-15, 1994.
- Lee, J.S., Son, H.S., Maeng, Y.S., Chang, Y.K., Ju, J.S. Effect of buckwheat on organ weight, glucose and lipid metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 27: 819-827, 1994.
- O'Meara, N.M.G., Devery, R.A.M., Owens, D., Collins, P.B., Johnson, A.H., Tomkin, G.H. Cholesterol metabolism in alloxan-induced diabetic rabbit. *Diabetes* 39: 626-633, 1990.
- Nikkila, E.A., Kekki, M. Plasma triglyceride transport kinetics in diabetes mellitus. *Metabolism* 22: 1-22, 1973.
- Yoon, J.A., Son, Y.S. Effects of fruits and stems of *Opuntia ficus-indica* on blood glucose and lipid metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 146-153, 2009.
- Goldberg, R.B. Lipid disorders in diabetes. *Diabetes Care* 4: 561-572, 1981.
- Brooks, D.P., Nutting, D.F., Crofton, J.T., Share, L. Vasopressin in rats with genetic and streptozocin-induced diabetes. *Diabetes* 38: 54-57, 1989.

27. Kim, K.R., Choi, J.H., Woo, M.H., Kim, Y.H., Choi, S.W. Effects of Enzymatic Hydrolysates from Hamcho (*Salicornia herbacea* L.) on Blood Glucose and Serum Lipid Composition in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *J Korean Soc Food Sci Nutri* 37: 170-176, 2008.
28. Safeer, R.S., Ugalat, P.S. Cholesterol treatment guidelines update. *Am Fam Physician* 65: 871-880, 2002.
29. Dobiasova, M. Atherogenic index of plasma [Log(TG/HDL-C)]: Theoretical and practical implications. *Clin Chem* 50: 1113-1115, 2004.
30. Dai, S., Thompson, K.H., McNeill, J.H. One-year treatment of streptozotocin-induced diabetic rats with vanadyl sulphate. *Pharmacol Toxicol* 74: 101-109, 1994.
31. Koh, J.B., Choi, M.A., Kim, J.Y., Rho, M.H., Kim, D.J. Effects of tea fungus/kombucha beverage on serum protein levels and enzyme activity in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 1137-1143, 1999.
32. Wannamethee, S.G., Perry, I.J., Shaper, A.G. Hematocrit and risk of NIDDM. *Diabetes* 45: 576-579, 1996.
33. Rahbar, S. An abnormal hemoglobin in red cells of diabetes. *Clin Chim Acta* 22: 296-298, 1968.