

녹두(*Phaseolus aureus* L.) 급여가 당뇨 유발 흰쥐의 혈당 및 지질성분 개선에 미치는 영향

박시우 · 김한수[†]

부산대학교 식품공학과, 대학원생
부산대학교 식품공학과, 교수[†]

(2020년 1월 30일 접수: 2020년 2월 20일 수정: 2020년 3월 7일 채택)

Effects of Mung Bean (*Phaseolus aureus* L.) on Blood Glucose and Lipid Composition Improvement in Streptozotocin-induced Diabetic Rats

Si-Woo Bark · Han-Soo Kim[†]

Department of Food Science and Technology, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
(Received January 30, 2020; Revised February 20, 2020; Accepted March 7, 2020)

요약 : 녹두(*Phaseolus aureus* L.)가 당뇨 유발 흰쥐에 있어서 혈당 및 지질성분, 단백질, 전해질 농도 등에 미치는 영향을 확인하기 위하여 기본 식이를 섭취시킨 BD군, 기본 식이군에 5% 녹두 급여군(BM군), 당뇨 유발 실험군(BS군)과 BS군에 5% 녹두를 섭취시킨 실험군(SM군)으로 나누어 실험을 수행하였다. 혈청 지질성분(총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, 중성지질, 인지질, 유리 콜레스테롤, 콜레스테롤 에스테르), 혈당 및 유리지방산(non esterified fatty acid, NEFA)의 농도와 동맥경화지수(atherosclerotic index, AI), 심혈관 위험지수(cardiac risk factor, CRF)는 당뇨 유발군에서 여타 실험군과 비교하였을 때 유의적인 차이를 보이며 증가를 나타내었고($p < 0.05$), 5% 녹두 급여군에서 감소되는 것으로 나타났다. 당뇨유발군인 BS군에 비해 5% 녹두를 첨가시킨 SM군에서 고밀도 지단백 콜레스테롤(high density lipoprotein-cholesterol, HDL-콜레스테롤) 및 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤의 농도 비는 유의적인 차이를 보이며 증가를 나타내었다($p < 0.05$). 혈청 단백질 농도에 있어서, 당뇨 유발군(BS군)에 5% 녹두를 급여(SM군)한 흰쥐의 혈청 알부민(albumin) 농도와 알부민/글로불린 비(albumin/globulin ratio, A/G 비)는 증가 하는 것으로 관찰되었다. 나트륨(Na) 및 염소(Cl)는 SM군에서 BS군 보다 농도가 감소된 것으로 확인하였다. 이상의 결과, 5% 녹두는 흰쥐의 혈당 및 지질대사 기능 개선에 도움이 되는 것으로 판단된다.

주제어 : 녹두, 혈당, 지질성분, 유리지방산, 알부민/글로불린 비, 전해질

[†]Corresponding author
(E-mail: kimhs777@pusan.ac.kr)

Abstract : The purpose of this study was to investigate the improvement effect of 5% mung bean (*Phaseolus aureus* L.) on the blood glucose and lipid metabolism function of streptozotocin (STZ, 45 mg/kg body weight)-induced diabetic rats. Seven-week-old male rats were divided into four groups ($n=6$), and fed experimental diets containing mung bean meal [basal diet+5% mung bean (BM), basal diet+STZ+5% mung bean (SM)], and control (BD), BS groups (basal diet+STZ). The results of this study, mung bean diet groups (BM, SM) in lipid composition evidenced the significantly reduction of serum total cholesterol, low density lipoprotein-cholesterol (LDL-cholesterol), atherosclerotic index (AI), cardiac risk factor (CRF), triglyceride (TG), phospholipid (PL), free cholesterol, cholesteryl ester, uric acid, blood glucose, non esterified fatty acid (NEFA), and elevation of high density lipoprotein-cholesterol (HDL-cholesterol). The serum albumin/globulin ratio (A/G ratio) was increased in mung bean supplementation diet than STZ-induced diabetic rats ($p<0.05$). Concentrations of sodium (Na) and chlorine (Cl) in sera were lower in the mung bean diet than diabetic group. Total calcium (T-Ca), phosphorus (Pi) and potassium (K) concentrations in sera were higher in the BM, SM and BD groups than BS group. *In vivo* experiments with Sprague-Dawley rats showed that ingestion of mung bean (*Phaseolus aureus* L.) were effective in blood glucose and lipid composition.

Keywords : Mung bean (*Phaseolus aureus* L.), Blood glucose, Lipid composition, Non esterified fatty acid, Albumin/globulin ratio, Electrolyte

1. 서론

당뇨병은 자가 면역반응에 의한 췌장 β cell의 기능 상실에 의해 발생하는 제 1형 당뇨병과 인슐린 저항성과 함께 β cell의 기능부전으로 발생하는 제 2형 당뇨병으로 분류되는데, 제 2형 당뇨병이 전체 환자의 90~95%를 차지한다[1,2]. 제 2형 당뇨병은 다양한 원인에 고혈당을 나타내는 질환으로 인슐린 저항성을 공통적 특성으로 보인다. 또한, 고혈당이 오래 지속될 경우 혈관상상으로 혈관질환 등의 합병증이 유발될 수 있으며, 특히 혈중 중성지방 및 LDL-콜레스테롤, 과산화물의 증가, HDL-콜레스테롤의 감소 등에 의하여 지질대사와 함께 모세혈관의 상피세포막이 두꺼워져 심장순환기계질환(Coronary Heart Disease, CHD)등 많은 합병증 유발이 문제시 되고 있다[3-5]. 지질 및 당질, 단백질 대사 장애와 고혈당을 특징으로 하는 당뇨병은 신체의 모든 세포에 필수적인 생화학적 과정에 영향을 주며, 심각한 합병증을 유발하는 것으로 알려져 있으며 [6], 국민건강영양조사에 의하면 당뇨병 유병률은 2005년 9.1%에서 2016년 14.4%로 증가하였다고 보고되어 있다[7]. 당뇨 합병증의 발병 및 악화 요인 중 하나로서 산화적 스트레스를 들 수 있으

며, 자유라디칼(free radical)이 인체세포의 항산화 능력보다 과다 생성되어 일어나게 되거나, 항산화 방어체계의 활성 저하로 인해 산화적 스트레스가 발생하게 된다고 보고된 바 있다[8]. 식물 유래 생리활성 물질로 널리 알려져 있는 페놀화합물(phenolic compounds) 및 플라보노이드(flavonoids) 등은 신체 내에서 산화적 스트레스와 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)의 생성을 억제하여 당뇨 및 심혈관계질환 등 생활습관병(lifestyle related disease) 예방에 도움이 되는 것으로 알려져 있다[9,10]. 천연물에 존재하는 유용한 성분들의 항산화 활성을 통한 대사질환 조절에 효과적인 기능성 소재를 발굴하고자 천연물에 생리활성 평가 및 기전에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[11].

녹두(*Phaseolus aureus* L.)는 콩과(Leguminosae)에 속하는 1년생 작물로서 인도와 미얀마가 원산지로서 주로 아열대 기후에서 생육하며[12,13], 당질 45~62%, 조단백질 20~28%, 조지방이 1~3% 함유되어 있고, 아미노산 중 arginine, glutamic acid, asparagine 은 풍부하며 methionine, tyrosine, isoleucine 등은 소량 존재하고 있다고 보고되어 있다[14]. 또한, 녹두는 대두나 강낭콩 등에 비하여 무기질, 비타민, 아미노산, 플라보노

이드, 페놀성 화합물 등 기능성 성분이 다량 함유 되어 있는 것으로 알려져 있다[15].

녹두의 선행연구로는 이소플라본(isoflavone)과 항산화 및 혈전용해 활성[16], 항염증 및 항비만 활성[17,18], 녹두 껍질에 함유된 vitexin과 isovitexin 항산화 활성[19,20] 등의 기능성 연구가 진행되고 있지만, 당뇨에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 5% 녹두 급여가 streptozotocin (STZ)으로 유도된 Sprague-Dawley계 당뇨성 흰쥐의 혈당 저하와 지질성분 개선에 미치는 영향을 확인한 후, 기능성 소재로서의 활용 방안을 제공하기 위하여 실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

녹두(*Phaseolus aureus* L.)는 콩과(Leguminosae)에 속하는 녹두종으로 청소두를 부산광역시 수영구 소재 재래시장에서 구입하였다. 진공동결건조(EYELA, FDU-2000, Rikakikai Co., Tokyo, Japan)시킨 후, 분쇄기(HMF-3250S, Han-I1 Co., Seoul, Korea)로 마쇄하여 -80°C 초저온 냉동고(DF-8514, I1-Shin BioBase Co., Yangju, Korea)에 보관하며, 실험에 사용하였다.

2.2. 실험 동물

7주령된 평균 체중이 200 ± 10 g인 Sprague Dawley (SD)계 수컷 흰쥐(Daehan Biolink Co., LTD, Eumseong, Korea)를 구입하여, 5% 콩기름(Ottogi, soybean oil, Anyang, Korea)을 함유하는 기초식으로 1주일간 예비사육하였으며, 난괴법(randomized complete block design)에 의하여 각 실험 당 6마리씩 4군으로 metabolic cage (JD-C-71, Jeongdo, Korea)에 나누어 5주간 실험하였다. 실험 사육실의 온도는 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 $50 \pm 10\%$ 로 일정하게 유지시켰으며, 명암은 12시간(07:00~19:00) 주기로 조명하였다[21]. 예비사육 및 실험사육 등 동물 실험은 부산대학교 동물실험윤리위원회의 승인(PNU-2017-1422)과 관리 감독하에 수행되었다.

2.3. 식이조성 및 실험군

당뇨를 유발하기 위해 SD계 수컷 흰쥐에 0.01 M citrate buffer (pH 4.6)로 용해시킨

streptozotocin (STZ, Sigma, USA, 45 mg/kg body weight)을 복강 내 주사(IP injection)하여 당뇨를 유발시켰다. 기본식을 섭취시킨 대조군(control)인 정상군(normal-nondiabetic)은 BD군, 정상 실험군에 5% 녹두 급여군(BM군), 당뇨 유발 실험군(BS군)인 질환 모델 대조군(control-diabetic)과 질환 실험군(diabetic)에 5% 녹두를 급여시킨 실험군(SM군)으로 나누었다. 식이조성 및 실험군은 Table 1과 같다.

2.4. 실험 동물의 처치

실험 사육 최종일에 7시간 절식시킨 후, 가스 마취기(animal inhalation narcosis control, SK-INC-100A, Daejong, Seoul, Korea)를 사용하여 CO_2 gas 마취하에 심장채혈법으로 채혈하였으며, 혈액을 취하여 4°C 에서 약 1시간 방치한 후, 분당 3,000 rpm으로 20분간 원심분리 후 혈청을 취해 실험에 사용하였다[21].

2.5. 생화학적 성분 분석

흰쥐의 혈청 중 혈당 농도는 효소법에 의해 조제된 시약(Eiken, Tokyo, Japan)을 이용하여 자동분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)로 분석하였다. 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 중성지질의 농도는 효소법(enzymatic)에 의해 조제된 시약(Eiken, Tokyo, Japan)을 이용하였으며, 인지질 농도의 측정은 효소법으로 조제된 측정용 시약(SICDIA PL, Eiken, Tokyo, Japan)을 사용하여 생화학분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)로 정량하였다. 측정되어진 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤을 이용하여 동맥경화지수(atherosclerotic index, AI), 심혈관 위험지수(cardiac risk factor, CRF)를 계산하였다. 유리 콜레스테롤은 효소법에 의해 조제된 시약(Free cholesterol, Eiken, Tokyo, Japan)을 사용하여 생화학분석기(Modular Analytics P, Mannheim, Germany)로 측정하였다. 콜레스테롤 에스테르는 총 콜레스테롤 및 유리 콜레스테롤을 이용하여 계산하였다. 계산된 콜레스테롤 에스테르 및 총 콜레스테롤을 이용하여 콜레스테롤 에스테르 비를 나타내었으며, 유리 지방산(non esterified fatty acid, NEFA) 농도는 효소법에 의해 조제된 시약(SICDIANFAZYME, Eiken, Tokyo, Japan)을 사용하여 생화학분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 요산 농도의 정량은 효소법에 의해 조제된 시약(Eiken, Tokyo,

Table 1. Compositions of experimental diet and groups

Ingredient	Group ¹⁾			
	BD	BM	BS (IP) ²⁾	SM (IP)
Casein (C3400) (Sigma, St. Louis, USA)	22.0	20.7	22.0	20.7
Corn starch (S4126) (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)	48.0	44.3	48.0	44.3
Sucrose (Cheiljedang, Incheon, Korea)	15.0	15.0	15.0	15.0
Cellulose (C8002) (Sigma, St. Louis, USA)	5.0	5.0	5.0	5.0
Mineral mix ³⁾ (960400) (MP Biomedicals, California, USA)	3.5	3.5	3.5	3.5
Vitamin mix ⁴⁾ (960402) (MP Biomedicals, California, USA)	1.0	1.0	1.0	1.0
Soybean oil (Ottogi, Gyeonggi-do, Korea)	5.0	5.0	5.0	5.0
L-Cystine (34430-0310) (Junsei, Tokyo, Japan)	0.3	0.3	0.3	0.3
Choline bitartrate (C1629) (Sigma, St. Louis, USA)	0.2	0.2	0.2	0.2
Mung bean (<i>phaseolus aureus</i> L.)	-	5.0	-	5.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

¹⁾BD : basal diet (control group). BM : basal diet+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). SM : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.).

²⁾IP : intraperitoneal injection (streptozotocin 45 mg/kg body weight ; 0.01 M citrate buffer sol'n (pH 4.6)). ³⁾AIN-93G-MX mineral mix.

⁴⁾AIN-93-VX vitamin mix (MP Biomedicals, Illkirch, France).

Japan)을 사용하여 생화학분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

2.6. 총 단백질, 알부민 및 글로불린 농도의 정량

흰쥐의 혈청 총 단백질, 알부민 및 글로불린의 농도는 효소법에 의해 조제된 측정용 시약(Eiken, Tokyo, Japan)을 이용하여 자동분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)를 사용하여 분석하였으며, 측정된 알부민 및 글로불린을 이용하여 알부민/글로불린 비(albumin/globulin ratio, A/G 비)를 나타내었다.

2.7. 전해질 농도의 정량

혈청 중의 총 칼슘 및 인은 효소법에 의해 조제된 시약(Eiken, Tokyo, Japan)을 사용하여 자동분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)로 분석하였다. 나트륨, 칼륨 및 염소는 ion selective electrode 방법에 준하여 electrolyte analyzer (Easylyte- Plus, USA)를 이용하여 분석하였다.

2.8. 통계 처리

실험 데이터의 통계 처리는 실험군 당 평균값과 표준편차로 나타내었다. 결과값 간의 유의성검정은 one-way ANOVA로 분석 후 $p < 0.05$ 수준

에서 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군 간의 유의적인 차이를 알아보았다. 통계처리 프로그램은 IBM SPSS statistic ver. 22를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 혈당 농도

흰쥐의 혈당 농도는 Table 2와 같다. 당뇨 유발 실험군에 5% 녹두를 섭취시킨 실험군(SM군)에서 200.3 ± 7.7 mg/dL로 나타났으며, 당뇨 유발 실험군(BS군)에서 216.9 ± 8.8 mg/dL와 비교하여 유의적인 감소를 확인하였다($p < 0.05$). 기본 식이를 섭취시킨 대조군인 BD군 및 기본식이에 5% 녹두 섭취군(BM군)에서 각각 91.5 ± 2.7 및 89.8 ± 3.1 mg/dL로 나타났으며, 녹두의 섭취로 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 당뇨 유발된 동물에서 혈당이 증가하는 것은 투여한 streptozotocin (STZ)이 생체 내에서 생성된 nitric oxide (NO)가 superoxide anion과 반응하여 생성된 peroxynitrite anion에 의한 것으로 알려져 있으며[22], peroxynitrite anion은 β -세포를 파괴하여 인슐린 결핍을 초래하므로 포도당에 대한 β -세포의 예민도를 저하시키는 역할을 한다. Peroxynitrite anion에 의한 인슐린 생성의 저하는 세포내 포도당 이용률을 저하시키고 당신생을 촉진시켜 고혈당을 초래하게 된다[23]. 본 실험에서 당뇨 유발 흰쥐에서 5% 녹두 급여는 혈당을 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

3.2. 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 농도와 AI 및 CRF

혈청 중의 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 농도, 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 농도 비, 동맥경화지수(atherosclerotic index, AI) 및 심혈관 위험지수(cardiac risk factor, CRF)를 Table 2에 나타내었다. 총 콜레스테롤 농도는 SM군 121.8 ± 8.2 mg/dL로 BS군 143.2 ± 10.4 mg/dL에 비하여 유의적인 감소를 나타내었다($p < 0.05$). BD군 및 BM군에서 109.1 ± 9.2 및 103.8 ± 6.7 mg/dL로 나타났으며 BD군에 비하여 BM군에서 감소하였다. HDL-콜레스테롤 농도는 SM군에서 26.3 ± 1.5 mg/dL로 BS군 22.3 ± 1.6 mg/dL에 비하여 유의적인 농도의 증가를 확인하였다($p < 0.05$). BD군 및 BM군에서는 32.8 ± 1.6

및 33.9 ± 2.1 mg/dL로 나타났으며 유의적인 차이를 보이지 않았다. 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 농도 비는 BD, BM, BS 및 SM군에서 각각 30.1 ± 1.4 mg/dL, 32.7 ± 2.0 mg/dL, 15.6 ± 1.1 mg/dL 및 21.6 ± 1.2 mg/dL로 관찰되었다. AI는 SM군에서 3.63 ± 0.26 에서 BS군 5.42 ± 0.40 에 비하여 유의적인 감소를 나타내었고($p < 0.05$), BD군 및 BM군에서 2.33 ± 0.23 및 2.06 ± 0.14 로 관찰되었으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. CRF는 SM군 4.63 ± 0.31 으로 BS군 6.42 ± 0.47 에 비하여 유의적인 감소를 나타내었다($p < 0.05$). BD군 및 BM군에서 각각 3.33 ± 0.28 및 3.06 ± 0.20 으로 확인되었으며, 유의적인 차이는 보이지 않았다.

당뇨병은 인슐린의 상대적인 결핍으로 인해 탄수화물이 에너지원으로 이용되지 못하고 유리지방산이 에너지원으로 이용되면서 acetyl-CoA를 이용한 콜레스테롤 합성 증가로 혈중 총 콜레스테롤 농도가 증가한다고 하였으며[24], 당뇨쥐는 지질분해효소 활성이 저하되어 중성지방이 풍부한 지단백 분해를 감소시켜 HDL-콜레스테롤 생성을 억제한다고 알려져 있다[25].

본 실험에서 5% 녹두의 급여는 당뇨 유발 흰쥐의 총 콜레스테롤은 감소시키고 HDL-콜레스테롤은 증가시켜 AI 및 CRF 개선에 유효한 것으로 판단된다.

3.3. LDL-콜레스테롤, 중성지질 및 인지질 농도

혈청 중의 LDL-콜레스테롤, 중성지질 및 인지질 농도는 Table 2에 표시하였다. LDL-콜레스테롤 농도는 BD군 및 BM군에서 64.8 ± 5.2 및 62.1 ± 4.8 mg/dL로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. SM군은 82.5 ± 4.1 mg/dL로 BS군 91.8 ± 3.9 mg/dL에 비하여 유의적인 감소를 나타내었다($p < 0.05$). 당뇨성 흰쥐의 혈청 중성지질 농도는 SM군에서 80.9 ± 4.6 mg/dL로 BS군 90.0 ± 4.3 mg/dL에 비하여 유의적으로 감소함을 확인하였다($p < 0.05$). BD군 및 BM군에서 73.1 ± 3.8 및 70.8 ± 4.1 mg/dL로 나타났으며, BM군의 농도 감소를 확인하였다. 인지질의 농도는 SM군에서 105.8 ± 4.9 mg/dL로 BS군 116.5 ± 5.2 mg/dL에 비하여 유의적으로 감소함을 확인하였다($p < 0.05$). BD군 및 BM군에서 88.8 ± 5.8 및 85.7 ± 4.9 mg/dL로 나타났으며 유의적인 차이를 보이지 않았다. STZ에 의한 당뇨 유발시 혈장의 중성지방 등의 수준이 높아진다고

Table 2. Effects of mung bean (*phaseolus aureus* L.) on serum lipid profile contents of STZ-induced diabetic rats (mg/dL)

Group ¹⁾	BD	BM	BS	SM
Total cholesterol	109.1±9.2 ^{ab7)}	103.8±6.7 ^a	143.2±10.4 ^c	121.8±8.2 ^b
HDL-cholesterol ²⁾	32.8±1.6 ^c	33.9±2.1 ^c	22.3±1.6 ^a	26.3±1.5 ^b
HDL-C/Total cholesterol (%)	30.1±1.4 ^c	32.7±2.0 ^c	15.6±1.1 ^a	21.6±1.2 ^b
AI ³⁾	2.3±0.2 ^a	2.1±0.1 ^a	5.4±0.4 ^c	3.6±0.3 ^b
CRF ⁴⁾	3.3±0.3 ^a	3.1±0.2 ^a	6.4±0.5 ^c	4.6±0.3 ^b
LDL-cholesterol ⁵⁾	64.8±5.2 ^a	62.1±4.8 ^a	91.8±3.9 ^c	82.5±4.1 ^b
Triglyceride	73.1±3.8 ^{ab}	70.8±4.1 ^a	90.0±4.3 ^c	80.9±4.6 ^b
Phospholipid	88.8±5.8 ^a	85.7±4.9 ^a	116.5±5.2 ^c	105.8±4.9 ^b
Free cholesterol	14.8±1.6 ^a	13.2±1.7 ^a	25.3±1.5 ^c	21.0±1.7 ^b
Cholesteryl ester	94.3±5.4 ^{ab}	90.6±4.2 ^a	117.9±6.0 ^c	100.8±5.0 ^b
Cholesteryl ester ratio (%) ⁶⁾	86.4±5.0 ^a	87.3±4.0 ^a	82.3±4.2 ^a	82.8±4.1 ^a
Blood glucose	91.5±2.7 ^a	89.8±3.1 ^a	216.9±8.8 ^c	200.3±7.7 ^b

¹⁾BD : basal diet (control group). BM : basal diet+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). SM : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.).

²⁾HDL-cholesterol : high density lipoprotein-cholesterol.

³⁾Atherosclerotic index : (total cholesterol - HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol.

⁴⁾Cardiac risk factor : total cholesterol/HDL-cholesterol.

⁵⁾LDL-cholesterol : low density lipoprotein-cholesterol.

⁶⁾Cholesteryl ester ratio (%) : cholesteryl ester/total cholesterol×100.

⁷⁾The data are presented as mean±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range tests.

하였는데, 이것은 인슐린에 민감하게 작용하는 리파아제 작용이 증가하여 지방분해가 활발히 이루어진 것이라고 보고되어 있다[26]. 또한, LDL-콜레스테롤은 콜레스테롤의 주된 운반형으로 동맥벽이나 말초조직에 콜레스테롤을 운반, 축적시킴으로써 동맥경화를 촉진시킨다[27]. 본 실험의 결과, 5% 녹두 급여는 당뇨병성 흰쥐에서 LDL-콜레스테롤, 중성지방 및 인지질의 농도를 감소시키는 것을 확인하였다. 따라서, 녹두의 급여는 혈중 지질 성분의 조절에 효과가 있을 것으로 사료된다.

3.4. 유리 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르 농도와 콜레스테롤 에스테르 비

혈청 유리 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르 농도와 콜레스테롤 에스테르 비는 Table 2에 표

시하였다. 유리 콜레스테롤 농도는 SM군에서 21.0±1.7 mg/dL로 BS군 25.3±1.5 mg/dL에 비하여 유의적인 감소를 확인하였다($p<0.05$). BD군 및 BM군에서 14.8±1.6 및 13.2±1.7 mg/dL로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. 콜레스테롤 에스테르 농도는 SM군에서 100.8±5.0 mg/dL로 BS군 117.9±6.0 mg/dL에 비하여 유의적인 감소를 나타내었다($p<0.05$). BD군 및 BM군에서는 각각 94.3±5.4 및 90.6±4.2 mg/dL로 나타났으며 유의적인 차이를 보이지 않았다. 콜레스테롤 에스테르 비는 BD, BM, BS 및 SM군에서 각각 86.4±5.0, 87.3±4.0, 82.3±4.2 및 82.8±4.1%로 나타났으며 유의적인 차이는 없는 것으로 확인하였다. 당뇨병에서 유리콜레스테롤 농도의 증가는 심혈관 질환을 야기할 수 있

으며, 콜레스테롤 에스테르 비는 고지혈증과 당뇨와 같은 합병증일 때 증가하며, 간질환 진단의 지표로 이용될 수 있다[28].

3.5. 유리 지방산 농도

흰쥐의 혈청 유리 지방산(non esterified fatty acid, NEFA) 농도는 Fig. 1과 같이, 유리 지방산 농도는 SM군에서 $619.8 \pm 24.8 \mu\text{Eq/L}$ 로 BS군 $670.9 \pm 25.5 \mu\text{Eq/L}$ 에 비하여 유의적으로 감소하는 것을 확인하였다($p < 0.05$). BD군 및 BM군은 각각 580.3 ± 25.4 및 $555.3 \pm 24.8 \mu\text{Eq/L}$ 로 나타났으며 BM군에서 감소시키는 것으로 관찰되었다. 유리지방산은 인슐린 저항에 매우 중요한 역할을 하며, 유리지방산의 증가는 인슐린 분비작용을 저하시킨다고 알려져 있다[29]. 당뇨성 흰쥐에서 5% 녹두 급여는 유리지방산 농도를 감소시켜 인슐린 분비작용 개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

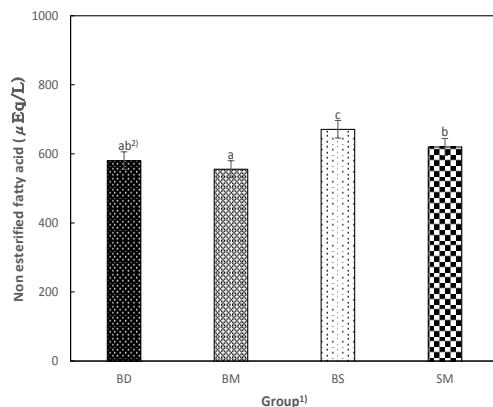


Fig. 1. Effects of mung bean (*phaseolus aureus* L.) on serum non esterified fatty acid (NEFA) concentrations of STZ-induced diabetic rats.

¹⁾BD : basal diet (control group). BM : basal diet+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). SM : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.).

²⁾The data are presented as mean±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range tests.

3.6. 요산 농도

혈청 중의 요산 농도는 Fig. 2와 같다. SM군에서 $1.98 \pm 0.04 \text{ mg/dL}$ 로 BS군 $2.10 \pm 0.06 \text{ mg/dL}$ 에 비하여 유의적인 감소를 확인하였다($p < 0.05$). BD군 및 BM군에서 각각 1.69 ± 0.04 및 $1.66 \pm 0.04 \text{ mg/dL}$ 로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. 요산은 통풍, 고혈압, 뇌졸중, 뇌심혈관계질환 및 신장질환과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되어 있다[30]. 본 실험의 결과, 5% 녹두 급여는 당뇨 유발 흰쥐에서 요산의 농도를 감소시키는 것을 확인하였다.

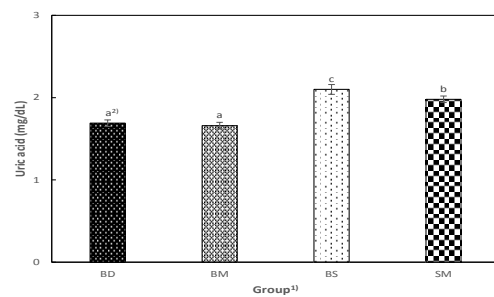


Fig. 2. Effects of mung bean (*phaseolus aureus* L.) on serum uric acid concentrations of STZ-induced diabetic rats.

¹⁾BD : basal diet (control group). BM : basal diet+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). SM : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.).

²⁾The data are presented as mean±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range tests.

3.7. 총 단백질, 알부민 및 글로불린 농도와 A/G 비

혈청 중의 총 단백질, 알부민 및 글로불린 농도와 알부민/글로불린 비(albumin/globulin ratio, A/G 비)는 Table. 3에 나타내었다. SM군에서 총 단백질 농도는 $6.65 \pm 0.08 \text{ g/dL}$ 로 BS군 $6.43 \pm 0.09 \text{ g/dL}$ 와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. BD군 및 BM군에서 각각 7.61 ± 0.28 및 $7.33 \pm 0.29 \text{ g/dL}$ 로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. 알부민의 농도는 SM군에서 $3.06 \pm 0.05 \text{ g/dL}$ 로 BS군 $2.78 \pm 0.05 \text{ g/dL}$ 와 비교하여 유의적인 증가를 확인하였다

($p<0.05$). BD군 및 BM군에서는 각각 3.64 ± 0.05 및 3.47 ± 0.08 g/dL로 나타났다. 글로불린의 농도는 SM군에서 3.59 ± 0.05 g/dL로 BS군 3.65 ± 0.06 g/dL와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. BD군 및 BM군에서 각각 3.97 ± 0.07 및 3.86 ± 0.07 g/dL의 농도로 측정되었다. A/G 비는 BD군이 0.92 ± 0.01 , BM군 0.90 ± 0.02 로 나타났으며, SM군 0.85 ± 0.02 로 BS군 0.76 ± 0.02 에 비하여 유의적인 차이를 보이며 증가한 것으로 나타났다. 당뇨병에서는 단백질이 glucose 신생합성(gluconeogenesis)을 거쳐 에너지원으로 이용되며, 당뇨쥐에서 혈당이 에너지원으로 이용되지 못하고 지방이나 단백질이 이용되기 때문에 단백질이 감소된다는 보고가 있다 [31]. 또한, 알부민은 당뇨 신증후군의 임상인자로 단백 이화작용을 촉진하는 요소로 알려져 있으며, 혈청 중 알부민 및 글로불린 농도는 간 기능 검사의 만성 질환시 유효한 지표로 알려져 있다 [32]. 본 실험의 결과, 당뇨 유발 흰쥐에서 총 단백질, 알부민, 글로불린, A/G 비가 감소하는 것을 확인하였다.

3.8. 전해질 농도

흰쥐의 혈청 전해질의 농도는 Table. 4와 같다. 혈청 총 칼슘(T-Ca) 농도는 SM군에서 13.4 ± 0.8 mEq/L로 BS군 11.8 ± 0.7 mEq/L에 비하여 유의적인 농도의 증가를 확인하였다($p<0.05$). 기본식이(BD군) 및 5% 녹두 급여군(BM군)에서 각각 14.8 ± 0.9 및 15.0 ± 1.0 mEq/L로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. 인(Pi) 농도는 SM

군에서 10.6 ± 0.3 mEq/L로 BS군 9.9 ± 0.2 mEq/L에 비하여 유의적인 차이를 나타내며 농도의 증가를 관찰하였다($p<0.05$). BD군 및 BM군에서는 각각 12.7 ± 0.3 및 12.8 ± 0.2 mEq/L로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다. 나트륨(Na)의 농도는 당뇨 유발군(BS군)인 159.9 ± 6.2 mEq/L에 비하여 5% 녹두를 급여한 SM군 (146.8 ± 5.8 mEq/L)이 유의적인 농도의 감소를 확인하였다($p<0.05$). BD군 및 BM군에서 140.8 ± 6.5 및 139.9 ± 5.7 mEq/L로 나타났으며, 군 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 칼륨(K)의 농도는 SM군에서 6.2 ± 0.2 mEq/L로 BS군 5.6 ± 0.2 mEq/L에 비교하여 유의적인 농도의 증가를 확인하였다($p<0.05$). BD군 및 BM군에서 각각 6.7 ± 0.2 및 7.1 ± 0.1 mEq/L로 나타났으며, BM군에서 유의적인 증가를 확인하였다($p<0.05$). 염소(Cl) 농도는 SM군에서 99.8 ± 2.8 mEq/L로 BS군 105.8 ± 2.7 mEq/L에 비하여 유의적인 농도의 감소를 관찰하였다($p<0.05$). BD군 및 BM군에서 각각 91.8 ± 2.2 및 90.6 ± 2.4 mEq/L로 나타났으며 유의적인 차이는 보이지 않았다.

Streptozotocin으로 당뇨 유도된 흰쥐는 혈당 농도의 증가에 따라 전해질의 불균형을 초래하는 것으로 보고된 바 있다 [33]. 본 실험에서, 당뇨 유발 흰쥐에서 총 칼슘, 인, 칼륨 농도는 감소하고, 나트륨, 염소 농도가 증가하였는데, 5% 녹두 급여를 통하여 총 칼슘, 인, 칼륨 농도가 증가하고, 나트륨, 염소 농도가 감소하여 전해질 농도가 조절되는 것을 확인할 수가 있었다.

Table 3. Effects of mung bean (*phaseolus aureus* L.) on serum total protein, albumin and globulin concentrations and A/G ratio of STZ-induced diabetic rats (g/dL)

Group ¹⁾	BD	BM	BS	SM
Total Protein	$7.61\pm 0.28^{b3)}$	7.33 ± 0.19^b	6.43 ± 0.09^a	6.65 ± 0.08^a
Albumin	3.64 ± 0.05^d	3.47 ± 0.08^c	2.78 ± 0.05^a	3.06 ± 0.05^b
Globulin	3.97 ± 0.07^b	3.86 ± 0.07^b	3.65 ± 0.06^a	3.59 ± 0.05^a
A/G ²⁾	0.92 ± 0.01^c	0.90 ± 0.02^c	0.76 ± 0.02^a	0.85 ± 0.02^b

¹⁾BD : basal diet (control group). BM : basal diet+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). SM : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). ²⁾A/G ratio : albumin/globulin ratio.

³⁾The data are presented as mean±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range tests.

Table 4. Effects of mung bean (*phaseolus aureus* L.) on serum electrolyte concentrations of STZ-induced diabetic rats (mEq/L)

Group ¹⁾	BD	BM	BS	SM
T-Ca	14.8±0.9 ^{b2)}	15.0±1.0 ^b	11.8±0.7 ^a	13.4±0.8 ^{ab}
Pi	12.7±0.3 ^c	12.8±0.2 ^c	9.9±0.2 ^a	10.6±0.3 ^b
Na	140.8±6.5 ^a	139.9±5.7 ^a	159.9±6.2 ^b	146.8±5.8 ^a
K	6.7±0.2 ^c	7.1±0.1 ^d	5.6±0.2 ^a	6.2±0.2 ^b
Cl	91.8±2.2 ^a	90.6±2.4 ^a	105.8±2.7 ^c	99.8±2.8 ^b

¹⁾BD : basal diet (control group). BM : basal diet+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). SM : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% mung bean (*phaseolus aureus* L.).

²⁾The data are presented as mean±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range tests.

4. 결론

당뇨 유발 흰쥐에 있어서 5% 녹두 급여가 혈당, 혈청 중 지질성분, 유리지방산, 요산, 단백질 및 전해질 농도에 미치는 영향을 관찰하였다. 혈당은 당뇨 유발 실험군에 5% 녹두를 섭취시킨 실험군(SM군)에서 200.3 ± 7.7 mg/dL로 나타났으며, 당뇨 유발 실험군(BS군)에서 216.9 ± 8.8 mg/dL와 비교하여 유의적인 감소를 확인하였다($p<0.05$). 총 콜레스테롤 농도는 SM군이 BS군에 비하여 유의적인 감소를 나타내었으며($p<0.05$), HDL-콜레스테롤 농도는 SM군에서 BS군에 비하여 유의적인 농도의 증가를 확인하였다($p<0.05$). 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 농도 비는 기본식이(BD군), 5% 녹두 급여군(BM군), BS 및 SM군에서 각각 30.1 ± 1.4 , 32.7 ± 2.0 , 15.6 ± 1.1 및 21.6 ± 1.2 mg/dL로 관찰되었다.

동맥경화지수(atherosclerotic index, AI) 및 심혈관 위험지수(cardiac risk factor, CRF)는 SM군이 BS군에 비하여 유의적인 차이로 감소되는 것을 확인하였다($p<0.05$). LDL-콜레스테롤, 혈청 중성지방, 인지질, 유리 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르 농도는 SM군이 BS군에 비하여 유의적인 감소를 보였으며($p<0.05$), 콜레스테롤 에스테르 비는 BD, BM, BS 및 SM군에서 각 군간의 유의적인 차이는 없는 것으로 확인되었다. 혈청 중의 유리 지방산 및 요산 농도는 SM군이 BS군

에 비하여 유의적으로 감소되는 것으로 나타났다($p<0.05$). 총 단백질 농도는 SM군과 BS군 간에 유의적인 차이는 없는 것으로 관찰되었다. 알부민 농도는 SM군이 BS군에 비하여 유의적으로 증가하는 것으로 확인되었으며($p<0.05$), 글로불린의 농도는 SM군과 BS군은 군 간의 차이를 보이지 않았다. 알부민/글로불린 비(A/G ratio)는 BD군이 0.92 ± 0.01 , BM군 0.90 ± 0.02 로 나타났고, SM군 0.85 ± 0.02 로 BS군 0.76 ± 0.02 에 비하여 유의적인 차이를 보이며 증가되는 것으로 확인되었다. 혈청 중 총 칼슘(T-Ca), 인(Pi) 및 칼륨(K) 농도는 SM군이 BS군에 비하여 유의적인 농도의 증가를 보였다($p<0.05$). 한편, 나트륨(Na) 및 염소(Cl) 농도는 당뇨 유발군(BS군)에 비하여 5% 녹두를 급여한 SM군에서 유의적인 차이로 농도가 감소되는 것으로 나타났다($p<0.05$).

따라서, 녹두의 섭취는 당뇨 유발 흰쥐에서 혈당 강하 및 지질성분 개선에 효과가 있을 것으로 판단되며 기능성 식품 소재로서 이용 가능할 것으로 사료된다.

References

1. M. A. Connelly, J. D. Otvos, Q. Zhang, S. Zhang, C. J. Antalis, A. M. Chang, B. J. Hoogwerf, "Effects of hepato preferential

- basal peglispro on nuclear magnetic resonance biomarkers lipoprotein insulin resistance index and GlycA in patients with diabetes", *Biomark. Med.*, Vol.11, No.11 pp. 991–1001, (2017).
2. S. M. Kim, D. K. Yoon, J. S. Lee, J. Lee, J. K. Na, J. H. Han, S. H. Baik, D. S. Choi, K. M. Choi, "Prevalence of diabetes and impaired fasting glucose in Korea", *Diabetes Care.*, Vol.29, No.2 pp. 226–231, (2006).
 3. A. V. Tol, "Hyperglyceride in the diabetic rats effective removal of serum very low density lipoprotein", *Atherosclerosis Diabetes Care*, Vol.26, No.1 pp. 117–128, (1977).
 4. A. E. Butler, J. Janson, S. Bonner-Weir, R. Ritzel, R. A. Rizza, P. C. Butler, " β -cell deficit and increased β -cell apoptosis in humans with type 2 diabetes", *Diabetes*, Vol.52, No.1 pp. 102–110, (2003).
 5. E. Selvin, S. Marinopoulos, G. Berkenblit, T. Rami, F. L. Brancati, N. R. Powe, S. H. Golden, "Meta-analysis: glycosylated hemoglobin and cardiovascular disease in diabetes mellitus", *Ann. Intern. Med.*, Vol.141, No.6 pp. 421–431, (2004).
 6. S. Ramachandran, A. Rajasekaran, N. Adhirajan, "*In vivo* and *in vitro* antidiabetic activity of *Terminalia paniculata* bark : an evaluation of possible phytoconstituents and mechanisms for blood glucose control in diabetes", *ISRN. Pharmacol.*, Vol.2013, No. pp. 1–10, (2013).
 7. Korean Diabetes Association, "Diabetes fact sheet in Korea 2018", Korean diabetes association, Seoul, Korea, (2018).
 8. R. J. Pickering, C. J. Rosado, A. Sharma, S. Buksh, M. Tate, J. B. Haan, "Recent novel approaches to limit oxidative stress and inflammation in diabetic complications", *Clin. transl. Immunology.*, Vol.7, No.4 pp. 1–20, (2018).
 9. D. H. Kang, E. M. Park, J. H. Kim, J. W. Yang, J. H. Kim, M. Y. Kim, "Bioactive compounds and antioxidant activity of jeju camellia mistletoe (*Karhalsella japonica* Engl.)", *J. Life Sci.*, Vol.26, No.9 pp. 1074–1081, (2016).
 10. E. J. Kim, J. Y. Choi, M. R. Yu, M. Y. Kim, S. H. Lee, B. H. Lee, "Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of korean natural and medicinal plants", *Korean J. Food Sci. Technol.*, Vol.44, No.3 pp. 337–342, (2012).
 11. J. L. Rios, F. Francini, G. R. Schinella, "Natural products for the treatment of type 2 diabetes mellitus", *Planta. Med.*, Vol.81, No.12–13 pp. 975–994, (2015).
 12. Y. A. Gu, S. Y. Jang, N. Y. Park, C. R. Mun, O. M. Kim, Y. J. Jeong, "Property changes of mung bean depending on hydrolysis conditions", *Korean J. Food Preserv.*, Vol.13, No.5 pp. 563–568, (2006).
 13. D. K. Kim, S. U. Chon, K. D. Lee, K. H. Kim, Y. S. Rim, "Effect of seeding times on yield and flavonoid contents of mungbean", *Korean J. Crop Sci.*, Vol.53, No.3 pp. 273–278, (2008).
 14. Y. G. Lee, S. W. Bark, H. S. Kim, "Physicochemical properties of the mung bean (*Phaseolus aureus* L.) as biohealth functional substance", *J. Korean Appl. Sci. Technol.*, Vol.36, No.4 pp. 1096–1107, (2019).
 15. F. Lai, Q. Wen, L. Li, H. Wu, X. Li, "Antioxidant activities of water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (*Vigna radiata* L.) hull with ultrasonic assisted treatment", *Carbohydr. Polym.*, Vol.81, No.2 pp. 323–329, (2010).
 16. H. S. Oh, J. H. Kim, M. H. Lee, "Isoflavone content, antioxidative, and fibrinolytic activities of red bean and mung bean". *Korean J. Food Cook Sci.*, Vol.19, No.3 pp. 263–271, (2003).
 17. J. Y. Imm, S. J. Kim, "Anti-cancer and anti-inflammatory effects of mung bean and soybean extracts", *Korean J. Food Sci.*

- Technol.*, Vol.42, No.6 pp. 755-761, (2010).
18. H. R. Wi, M. J. Choi, S. L. Choi, A. J. Kim, M. S. Lee, "Effects of vitexin from mung bean on 3T3-L1 adipocyte differentiation and regulation according to adipocytokine secretion", *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, Vol.41, No.8 pp. 1079-1085, (2012).
 19. D. K. Kim, S. U. Chon, K. D. Lee, J. B. Kim, Y. S. Rim, "Variation of flavonoids contents in plant parts of mungbean", *Korean J. Crop Sci.*, Vol.53, No.3 pp. 279-284, (2008).
 20. D. K. Kim, D. M. Son, J. K. Choi, S. U. Chon, K. D. Leem Y. S. Rim, "Growth property and seed quality of mungbean cultivars appropriate for labor saving cultivation", *Korean J. Crop Sci.*, Vol.55, No.3 pp. 239-244, (2010).
 21. D. H. Jin, D. Y. Oh, D. S. Kang, H. S. Chung, D. S. Kim, Y. G. Lee, J. H. Seong, H. S. Kim, "Effects of krill (*Euphausia superba*) on free fatty acid and electrolyte concentrations in rats", *J. Korea Oil Chem. Soc.*, Vol.35, No.1 pp. 186-193, (2018).
 22. B. Matkovich, M. Kotorman, I. S. Varga, D. Q. Hai, C. Varga, "Oxidative stress in experimental diabetes induced by streptozotocin", *Acta. Physiol. Hung.*, Vol.85, No.1 pp. 29-38, (1997).
 23. C. R. Kahn, "The molecular mechanism of insulin action", *Annu. Rev. Med.*, Vol.36, No.1 pp. 429-451, (1985).
 24. S. H. Kim, J. S. Kang, S. J. Lee, Y. J. Chung, "Antidiabetic effect of Korean red ginseng by puffing process in streptozotocin-induced diabetic rats", *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, Vol.37, No.6 pp. 701-707, (2008).
 25. J. Betteridge, "Dyslipidaemia and diabetes", *Prac. Diabetes Intern.*, Vol.18, No.6 pp. 201-207, (2001).
 26. U. N. Tripathi, D. Chandra, "The plant extracts of *Momordica charantia* and *Trigonella foenum graecum* have antioxidant and antihyperglycemic properties for cardiac tissue during diabetes mellitus", *Oxid. Med. Cell Longev.*, Vol.2, No.5 pp. 290-296, (2009).
 27. E. B. Smith, "The relationship between plasma and tissue lipid in human atherosclerosis", *Adv. Lipid Res.*, Vol.11, No.0 pp. 1-7, (1974).
 28. K. H. Kim, "A translation: the clinical application of the result of the test", Komoonsa. Seoul, Korea, pp. 164-209, (1980).
 29. G. Boden, "Role of fatty acids in pathogenesis of insulin resistance and NIDDM", *Diabetes*, Vol.46, No.1 pp. 3-10, (1997).
 30. D. I. Feig, D. H. Kang, R. J. Johnson, "Uric acid and cardiovascular risk", *N. Engl. J. Med.*, Vol.359, No.17 pp. 1811-1821, (2008).
 31. M. H. Rho, M. A. Choi, J. B. Koh, "Effects of raw soy flour (yellow and black) on serum protein concentrations and enzyme activity in streptozotocin-diabetic rats", *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, Vol.27, No.4 pp. 724-730, (1998).
 32. H. A. Mansour, A. A. Newairy, M. I. Yousef, S. A. Sheeweita, "Biochemical study on the effects of some egyptian herbs in alloxan-induced diabetic rats", *Toxicol.*, Vol.170, No.3 pp. 221-228, (2002).
 33. B. F. Palmer, D. J. Clegg, "Electrolyte and acid-base disturbances in patients with diabetes mellitus", *Engl. J. Med.*, Vol.373, No.6 pp. 548-559, (2015).