

ORIGINAL ARTICLE

울금(*Curcuma longa* L.) 섭취가 당뇨병 흰쥐의 혈당 및 지질대사 기능 개선에 미치는 영향

오다영 · 강동수¹⁾ · 이영근 · 김한수*

부산대학교 식품공학과, ¹⁾전남대학교 해양바이오식품학과

Effects of Turmeric (*Curcuma longa* L.) on Blood Glucose and Lipid Metabolism Functional Improvement in STZ-induced Diabetic rats

Da-Young Oh, Dong-Soo Kang¹⁾, Young-Geun Lee, Han-Soo Kim*

Department of Food Science and Technology, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

¹⁾Department of Marine Bio Food Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate the improvement effect of 5% turmeric (*Curcuma longa* 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 turmeric meal [basal diet+5% turmeric (BT), basal diet+STZ+5% turmeric (ST)], and control (BD), BS groups (basal diet+STZ). The results of this study, turmeric diet groups (BT, ST) in lipid component as evidenced from 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 and globulin contents were increased in turmeric supplementation diet than STZ-induced diabetic rats ($p<0.05$). Concentrations of sodium (Na) and chlorine (Cl) in sera were lower in the turmeric diet than diabetic group. Total calcium (T-Ca), phosphorus (Pi) and potassium (K) concentrations in sera were higher in the BT, ST and BD groups than BS group. *In vivo* experiments with Sprague-Dawley rats showed that ingestion of turmeric (*Curcuma longa* L.) were effective in the blood glucose and lipid metabolism functional improvement.

Key words : Turmeric (*Curcuma longa* L.), Blood glucose, Lipid component, Albumin, Globulin

1. 서론

생강과(Zingiberaceae)에 속하는 울금(*Curcuma longa* L.)은 다년생 초본식물로 인도와 중국을 중심으로 아시

아 등에 자생하고 있으며(Araujo and Leon, 2001), 향신료 및 민간요법에서 의약품 등으로 이용되어져 왔다 (Kim and Lee, 2014).

울금은 당뇨와 신체 장기 조직 기능의 보호작용에

Received 26 January, 2019; Revised 8 March, 2019;

Accepted 14 March, 2019

*Corresponding author: Han-Soo Kim, Department of Food Science and Technology, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
Phone : +82-55-350-5351
E-mail : kimhs777@pusan.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

효능이 있는 것으로 알려져 있고(Senan et al., 2013), 주요 생리활성물질인 curcumin은 악성종양, 백혈병, 전립선암 및 염증에 예방 및 개선 효과를 보이는 등 다양한 연구가 진행되고 있다(Saladini et al., 2009; Hewlings and Kalman, 2017; Mohebbati et al., 2017).

당뇨병은 만성질환 중 하나로 우리나라 국민건강영양조사에 의하면, 30세 이상 성인의 당뇨병 유병률은 2001년 8.9%에서 2016년 14.4%로 증가되었다고 하며, 경제 성장과 더불어 서구화된 식생활로 인해 당뇨병 및 비만과 이상지질혈증 등이 문제 시 된다고 한다(Park et al., 2004; Kim et al., 2006; Korean Diabetes Association, 2018).

당뇨병은 인슐린 저항성, 이상지질혈증, 산화적 스트레스 증가, 지질과산화 등의 복합적인 병인을 동반하는 것으로 보고되어 있으며(Cho et al., 2014), 지질대사 합병증을 유발하여 죽종 형성 및 심혈관계질환 등과 연관된 것으로 알려져 있다(Shaw et al., 2010).

당뇨 합병증은 항산화 면역 체계의 변화와 자동산화에 의한 당화 증가에 의해 진행이 촉진되어 지질과산화물을 증가시킴으로써 대사적 기능 장애(Son et al., 1992; Ha and Kim, 1999; Lee et al., 2002; Kim et al., 2010)와 모세혈관의 상피 세포막이 두꺼워져 만성 대사성 증후군이 발생하는 고혈당이 특징인 질환이다(Yoon et al., 1987; Nepom, 1990; Wolff, 1993; Kim et al., 2010).

Hamden et al.(2011)은 alloxan으로 유도된 당뇨성 흰쥐에 ω -3계 α -linolenic acid 함유량이 높은 호르파(fenugreek) 씨 정유(essential oil) 추출물 급여는 중성지질(triglyceride, TG), 총 콜레스테롤(total cholesterol), 저밀도 지단백 콜레스테롤(low density lipoprotein-cholesterol, LDL-콜레스테롤)의 농도를 감소시켰고, 고밀도 지단백 콜레스테롤(high density lipoprotein-cholesterol, HDL-콜레스테롤) 농도를 증가시켜 지질 성분을 개선시킨 것으로 보고하였다. 한편, HDL-콜레스테롤은 말초조직에서 간으로 LDL을 수송하여, 심혈관계질환 및 당뇨 등을 예방시킨다고 한다(Treguier et al., 2011).

이에, 본 연구는 5% 울금이 streptozotocin (STZ)으로 유발된 Sprague-Dawley계 당뇨성 흰쥐의 혈당 저하와 지질대사 개선에 미치는 영향을 확인한 후, 기능성 소

재로서 활용 방안을 제공하기 위하여 실험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

전남 진도영농조합법인(Jindo, Jeonnam, Korea)에서 구입한 울금(*Curcuma longa* L.)은 진공동결건조(EYELA, FDU-2000, Rikakikai Co., Tokyo, Japan)시킨 후, 분쇄기(HMF-3250S, Han-Il Co., Seoul, Korea)로 마쇄하였고, -80°C (DF-8514, I1-Shin BioBase Co., Daegu, Korea)에 저장하여 본 실험에 사용하였다.

2.2. 실험 동물

7주령된 평균 체중이 200 ± 10 g인 Sprague Dawley계 수컷 흰쥐(Daehan Biolink Co., LTD, Eumseong, Korea)를 구입하여, 5% 콩기름(Ottogi, soybean oil, Anyang, Korea)을 함유하는 기초식이로 1주일간 예비 사육하여 적응시킨 후 난괴법(Randomized Complete Block Design)에 의해 나누었다. 각 실험 당 6마리씩 4군으로 metabolic cage (JD-C-71, Jeongdo, Korea)에 나누어 5주간 실험사육하였다. 실험사육실의 온도는 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 $50 \pm 10\%$ 로 일정하게 유지시켰으며, 명암 12시간(07:00~19:00)을 주기로 실험종료 시까지 조명하였다(Jin et al., 2018). 예비사육 및 동물실험은 부산대학교 동물실험윤리위원회의 승인(PNU-2017-1422)과 관리 감독하에 실시되었다.

2.3. 식이조성 및 실험군

당뇨를 유발하기 위해 Sprague Dawley계 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. 기본식이를 섭취시킨 대조군(control)인 정상군(normal-nondiabetic)은 BD군, 정상 실험군에 5% 울금 급여군(BT군), 당뇨 유발 실험군(BS군)인 질환 모델 대조군(control-diabetic)과 질환 실험군(diabetic)에 5% 울금을 급여시킨 실험군(ST군)으로 나누었다. 식이조성 및 실험군은 Table 1과 같다.

2.4. 실험 동물의 처치

실험사육 최종일에 7시간 절식시킨 뒤, 가스마취기

Table 1. Compositions of experimental diet and groups

Ingredient	Group ¹⁾				
	BD	BT	BS (IP) ²⁾	ST (IP)	(%)
Casein (C3400) (Sigma, St. Louis, USA)	22.0	21.7	22.0	21.7	
Corn starch (S4126) (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)	48.0	43.3	48.0	43.3	
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	
Turmeric (<i>Curcuma longa</i> L.)	-	5.0	-	5.0	
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	

¹⁾BD : basal diet (control group). BT : basal diet+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). BS : basal diet+ streptozotocin (STZ). ST : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% turmeric (*Curcuma longa* 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).

(animal inhalation narcosis control, SK-INC-100A, Daejong, Seoul, Korea)를 사용하여 CO₂ gas 마취하에 심장채혈법으로 채혈하였으며, 혈액을 취하여 4℃에서 약 1시간 방치한 후 분당 3,000 rpm으로 20분간 원심분리하여 혈청을 취해 실험에 사용하였다(Jin et al., 2018).

2.5. 혈청의 생화학적 지표성분 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 이용하였고, 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 나타내었고, 유리 지방산(non esterified fatty acid, NEFA) 농도는 효소법에 의해 조제된 시약(SICDIA NEFAZYME, Eiken, Tokyo, Japan)을 사용하여 생화학분석기(Hitachi 7150, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 요산 농도의 정량은 효소법에 의해 조제된 시약(Eiken,

Tokyo, 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 분석하였고, 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 분석하였고 나트륨, 칼륨 및 염소는 ion selective electrode 방법에 준하여 electrolyte analyzer (Easylyte- Plus, USA)를 이용하여 분석하였다.

2.8. 통계 처리

통계처리는 실험군 당 평균값과 표준편차로 나타내었다. 유의성검정은 one-way ANOVA로 분석 후 $p < 0.05$ 수준에서 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

5% 올금 급여가 streptozotocin으로 유발된 당뇨병 흰쥐의 혈당 농도는 Table 2와 같다. 질환 모델 실험군(diabetic)에 5% 올금을 섭취시킨 실험군(ST군)에서 194.8 ± 11.8 mg/dL로 나타나, 당뇨 유발 실험군(BS군)인 질환 모델 대조군(control-diabetic)의 218.8 ± 10.2 mg/dL에 비해 유의적인 감소를 나타내었다($p < 0.05$). 기본식을 섭취시킨 대조군(control)인 BD군 및 기본식에 5% 올금을 급여시킨 군(BT군)에서 각각 93.1 ± 3.5 및 90.8 ± 3.3 mg/dL로 나타났으며, 올금의 급여에 의해 유의적인 차이는 없었으나 감소되는 것으로 확인되었다($p < 0.05$). 올금의 주요 성분인 curcumin, demethoxycurcumin, bis-demethoxycurcumin 등 curcuminoid는 혈당과 지질성분을 조절하고(Sukandar

et al., 2010; Kim et al., 2013), α -glucosidase 및 α -amylase 저해 활성을 나타내어 당뇨에 효과가 있다고 보고하였다(Lekshmi et al., 2014; Chahdoura et al., 2017). 따라서 본 실험 결과, 올금의 급여로 혈당 농도를 감소시키는 것으로 나타났다.

3.2. 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 농도와 AI 및 CRF

혈청 중의 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 농도와 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 당뇨를 유발시킨 BS군에서 141.8 ± 13.2 mg/dL로 여타 실험군에 비하여 증가하였으나, 올금 급여군인 ST군에서 114.2 ± 12.5 mg/dL로 유의적인 차이를 보이며 감소되었다($p < 0.05$). 또한, BD군 및 BT군은 107.5 ± 11.9 및 100.8 ± 11.8 mg/dL로, BD군에 비해 BT군에서 감소된 것으로 나타났다. HDL-콜레스테롤의 농도는 BD군 및 BT군에 각각 34.0 ± 1.7 및 35.1 ± 1.5 mg/dL로 확인되었고, BS군 및 ST군에서 24.3 ± 1.9 및 28.5 ± 1.7 mg/dL로 BS군에 비해 ST군에서 유의적인 농도의 증가를 보였다($p < 0.05$). 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 농도 비는 BD, BT, BS 및 ST군에서 각각 31.6 ± 1.6 , 34.8 ± 1.5 , 17.1 ± 1.4 및 25.0 ± 1.4 로 관찰되었다. AI 및 CRF는 유사한 경향이었으며, AI는 ST군(3.01 ± 0.38)에서 BS군(4.84 ± 0.46)에 비해 유의적인 감소를 나타내었고($p < 0.05$), BD군 및 BT군에서 2.16 ± 0.30 및 1.87 ± 0.30 로 관찰되었다. CRF는 BD군 및 BT군에서 각각 3.16 ± 0.35 및 2.87 ± 0.34 로 확인되었으며, ST(4.01 ± 0.44)군은 BS군(5.84 ± 0.54)에 비하여 유의적인 차이로 감소를 나타내었다($p < 0.05$). 당뇨병은 고혈당이 특징인 대사성 질환으로, 올금의 급여가 총 콜레스테롤 농도를 감소시키며, HDL-콜레스테롤 농도를 유의적으로 증가시키고(Babu and Srinivasan, 1997), 동맥경화지수 및 심혈관 위험지수를 줄여 준다고 보고하였다(Aissaoui et al., 2011). 본 실험 결과, 당뇨 유발군에 5% 올금의 급여는 총 콜레스테롤 농도의 감소, HDL-콜레스테롤 농도 및 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 농도 비의 증가와 AI 및 CRF의 저하로 당질 대사 장애에 따른 심장순환기계 질환의 위험을 감소시켜

Table 2. Effects of turmeric (*Curcuma longa* L.) on serum lipid profile contents of STZ-induced diabetic rats

Group ¹⁾	BD	BT	BS	ST
Total cholesterol (mg/dL)	107.5±11.9 ^{a7)}	100.8±11.8 ^a	141.8±13.2 ^b	114.2±12.5 ^a
HDL-cholesterol ²⁾ (mg/dL)	34.0±1.7 ^c	35.1±1.5 ^c	24.3±1.9 ^a	28.5±1.7 ^b
HDL-C/Total cholesterol (%)	31.6±1.6 ^c	34.8±1.5 ^d	17.1±1.4 ^a	25.0±1.4 ^b
AI ³⁾	2.16±0.30 ^a	1.87±0.30 ^a	4.84±0.46 ^c	3.01±0.38 ^b
CRF ⁴⁾	3.16±0.35 ^a	2.87±0.34 ^a	5.84±0.54 ^c	4.01±0.44 ^b
LDL-cholesterol ⁵⁾ (mg/dL)	65.7±7.9 ^a	66.3±5.5 ^a	96.3±6.8 ^c	81.9±7.1 ^b
Triglyceride (mg/dL)	71.0±6.1 ^{ab}	68.3±5.9 ^a	93.5±6.8 ^c	80.8±5.7 ^b
Phospholipid (mg/dL)	87.7±6.2 ^a	86.8±5.9 ^a	113.1±5.7 ^c	100.8±6.2 ^b
Free cholesterol (mg/dL)	15.0±1.9 ^a	14.2±2.3 ^a	27.5±2.8 ^c	20.6±2.7 ^b
Cholesteryl ester (mg/dL)	92.5±6.9 ^a	86.6±7.1 ^a	114.3±8.0 ^b	93.6±7.6 ^a
Cholesteryl ester ratio (%) ⁶⁾	86.0±6.5 ^a	85.9±7.1 ^a	80.6±5.6 ^a	82.0±6.6 ^a
Blood glucose (mg/dL)	93.1±3.5 ^a	90.8±3.3 ^a	218.8±10.2 ^c	194.8±11.8 ^b

¹⁾BD : basal diet (control group). BT : basal diet+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). BS : basal diet+ streptozotocin (STZ). ST : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% turmeric (*Curcuma longa* 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 means±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range tests.

줄 것으로 판단된다.

3.3. LDL-콜레스테롤, 중성지질 및 인지질 농도

혈청 중의 LDL-콜레스테롤, 중성지질 및 인지질 농도는 Table 2에 표시하였다. LDL-콜레스테롤 농도는 BD 군 및 BT군에서 65.7±7.9 및 66.3±5.5 mg/dL으로 나타났으며, ST군은 81.9±7.1 mg/dL로 BS군(96.3±6.8 mg/dL)에 비하여 유의적인 감소를 나타내었다($p<0.05$). 당뇨병 흰쥐의 혈청 중성지질 농도는 ST군에서 80.8±5.7 mg/dL로 BS군(93.5±6.8 mg/dL)과 비교하여 유의적으로 감소된 것으로 관찰되었다($p<0.05$). BD군 및 BT군에서 각각 71.0±6.1 및 68.3±5.9 mg/dL로 BT군의 농도 감소를 확인하였다. 인지질의 농도는 ST군(100.8±6.2 mg/dL)은 BS군(113.1±5.7 mg/dL)에 비해 유의적인 감소를 보였다($p<0.05$). 또한, BD군(87.7±6.2 mg/dL) 보다 BT군(86.8±5.9 mg/dL)에서 농도의 감소를 나타내었지만 유의적인 차이는 없는 것으로 관찰되었다($p<0.05$). 당뇨병은 혈중 LDL-콜레스테롤 농도가 증가하는 등 지질성분과 관련이 있으며(Krauss, 2004), 이상지질혈증을 야기시킨다고 한다(Kim and Seong, 2008). 본 실험에서, 당뇨병 흰쥐에 울금의 급여는 LDL-

콜레스테롤, 중성지질 및 인지질 농도를 유의하게 감소시켰다($p<0.05$). 따라서 울금은 지질성분의 조절과 당질대사 개선에 효과가 있을 것으로 생각된다.

3.4. 유리 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르 농도와 콜레스테롤 에스테르 비

혈청 유리 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르 농도와 콜레스테롤 에스테르 비는 Table 2에 나타내었다. 유리 콜레스테롤 농도는 ST군(20.6±2.7 mg/dL)이 BS군(27.5±2.8 mg/dL)에 비해 유의적인 감소를 나타냈다($p<0.05$). BD군(15.0±1.9 mg/dL) 보다 BT군(14.2±2.3 mg/dL)에서 농도의 감소를 보였으나, 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다($p<0.05$). 콜레스테롤 에스테르 농도는 ST군(93.6±7.6 mg/dL)이 BS군(114.3±8.0 mg/dL)에 비하여 유의적인 감소를 확인하였다($p<0.05$). BD군(92.5±6.9 mg/dL)에 비해 BT군(86.6±7.1 mg/dL)에서 농도의 감소를 확인하였지만 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다($p<0.05$). 콜레스테롤 에스테르 비는 BD, BT, BS 및 ST군에서 각각 86.0±6.5, 85.9±7.1, 80.6±5.6 및 82.0±6.6%로 나타났으며, 유의성 있는 차이는 없는 것으로 확인하였다

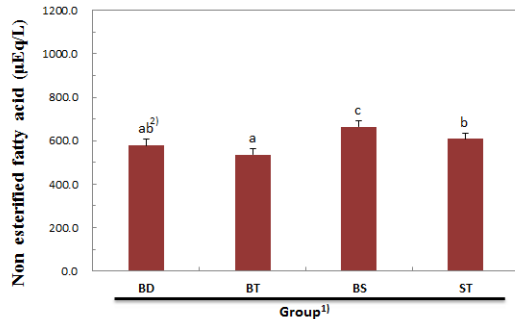


Fig. 1. Effects of turmeric (*Curcuma longa* L.) on serum non esterified fatty acid (NEFA) concentrations of STZ-induced diabetic rats.

¹⁾BD : basal diet (control group). BT : basal diet+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). ST : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% turmeric (*Curcuma longa* L.).

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

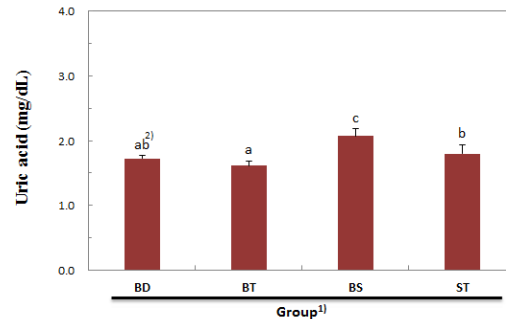


Fig. 2. Effects of turmeric (*Curcuma longa* L.) on serum uric acid concentrations of STZ-induced diabetic rats.

¹⁾BD : basal diet (control group). BT : basal diet+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). BS : basal diet+streptozotocin (STZ). ST : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% turmeric (*Curcuma longa* L.).

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

($p<0.05$). 당뇨병은 지단백의 변화와 유리 콜레스테롤 농도의 증가로 심혈관계질환을 유발시키는 것으로 보고 되어 있으며(Howard, 1987; Dullaart et al., 1989), 콜레스테롤 에스테르 비는 간질환의 지표로 이용된다고 한다(Kim and Seong, 2008).

3.5. 유리 지방산 농도

흰쥐의 혈청 유리 지방산(Non Esterified Fatty Acid, NEFA) 농도는 Fig. 1과 같이, ST군에서 $609.3 \pm 23.5 \mu\text{Eq/L}$ 로 BS군($662.8 \pm 26.8 \mu\text{Eq/L}$)과 비교하였을 때 유의적인 차이를 보이며 감소되었으며($p<0.05$), BD군 및 BT군에서 각각 578.5 ± 29.8 및 $534.8 \pm 30.3 \mu\text{Eq/L}$ 로 BT군에서 감소시킨 것으로 관찰되었다. NEFA 증가는 당뇨병의 위험을 높이는 것(Paolisso et al., 1995)으로, 본 실험 결과, 당뇨 유발군에 5% 울금을 급여함으로써 NEFA 농도를 감소시켜 대사증후군의 개선에 도움을 줄 것으로 추정된다.

3.6. 요산 농도

혈청 중의 요산 농도는 Fig. 2와 같다. BS군에서 $2.07 \pm 0.11 \text{ mg/dL}$ 로 여타 실험군에 비해 유의적인 차이를 나타내며 높은 농도를 확인하였고($p<0.05$), ST군은

$1.80 \pm 0.13 \text{ mg/dL}$ 로 BS군에 비해 유의적으로 감소시켰다($p<0.05$). 대조군(BD군) 및 기본식에 5% 울금 급여군인 BT군에서 1.72 ± 0.05 및 $1.61 \pm 0.07 \text{ mg/dL}$ 로, 5% 울금 급여가 요산 농도의 감소를 나타내었으나, 유의적인 차이는 없는 것으로 측정되었다($p<0.05$). 요산 농도의 증가는 통풍, 산화적 스트레스, 고혈압, 뇌졸중, 심혈관계질환 등을 유발하며, 당뇨병 발병 위험과 밀접한 관계가 있다고 한다(Dehghan et al., 2008). 본 실험 결과, 당뇨 유발군에서 높은 요산 농도를 확인하였으나, 울금의 급여로 인하여 유의적인 감소를 확인할 수가 있었다.

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. ST군에서 총 단백질 농도는 $6.94 \pm 0.06 \text{ g/dL}$ 로 BS군에서 나타난 $6.52 \pm 0.08 \text{ g/dL}$ 과 비교하였을 때 유의적인 농도의 증가를 나타내었다($p<0.05$). BD군 및 BT군에서 각각 7.70 ± 0.31 및 $7.39 \pm 0.29 \text{ g/dL}$ 로 확인되었다. 알부민의 농도는 ST군에서 $3.21 \pm 0.06 \text{ g/dL}$ 로 BS군($2.83 \pm 0.09 \text{ g/dL}$)에 비해 유의적인 증가를 확인하였다($p<0.05$). BD군 및 BT군에서

Table 3. Effects of turmeric (*Curcuma longa* L.) on serum total protein, albumin and globulin concentrations and ratio of A/G of STZ-induced diabetic rats

Group ¹⁾	Total protein (g/dL)	Albumin (g/dL)	Globulin (g/dL)	A/G ratio ²⁾
BD	7.70±0.31 ^{c3)}	3.68±0.08 ^d	4.02±0.09 ^c	0.92±0.02 ^c
BT	7.39±0.29 ^c	3.50±0.10 ^c	3.89±0.08 ^{bc}	0.90±0.03 ^{bc}
BS	6.52±0.08 ^a	2.83±0.09 ^a	3.70±0.11 ^a	0.76±0.03 ^a
ST	6.94±0.06 ^b	3.21±0.06 ^b	3.73±0.09 ^{ab}	0.86±0.02 ^b

¹⁾BD : basal diet (control group). BT : basal diet+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). BS : basal diet+ streptozotocin (STZ). ST : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). ²⁾A/G ratio : albumin/globulin ratio. ³⁾The data are presented as means±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 turmeric (*Curcuma longa* L.) on serum electrolyte concentrations of STZ-induced diabetic rats

Group ¹⁾	BD	BT	BS	ST
T-Ca (mEq/L)	14.3±1.1 ^{bc2)}	15.8±1.4 ^c	11.7±1.3 ^a	12.8±1.2 ^{ab}
Pi (mEq/L)	12.5±0.5 ^c	12.7±0.4 ^c	10.4±0.3 ^a	11.2±0.4 ^b
Na (mEq/L)	142.9±7.1 ^a	141.5±6.8 ^a	167.5±7.5 ^b	158.3±6.9 ^b
K (mEq/L)	6.9±0.3 ^c	7.2±0.2 ^c	5.7±0.1 ^a	6.1±0.2 ^b
Cl (mEq/L)	92.1±2.5 ^a	91.8±2.3 ^a	104.5±2.9 ^b	100.8±2.7 ^b

¹⁾BD : basal diet (control group). BT : basal diet+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). BS : basal diet+ streptozotocin (STZ). ST : basal diet+streptozotocin (STZ)+5% turmeric (*Curcuma longa* L.). ²⁾The data are presented as means±SD of 6 independent rats. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range tests.

각각 3.68±0.08 및 3.50±0.10 g/dL로 나타났다. 글로불린의 농도는 BS군에서 3.70±0.11 g/dL로 나타났고, ST군에서 3.73±0.09 g/dL로 확인되었으며, BD군 및 BT군은 4.02±0.09 g/dL 및 3.89±0.08 g/dL의 농도로 측정되었다. A/G 비는 BD군이 0.92±0.02, BT군은 0.90±0.03로 나타났으며, ST군은 0.86±0.02로 BS군(0.76±0.03)에 비하여 유의적인 차이를 보이며 증가된 것으로 나타났다. 따라서 당뇨 유발에 의하여 알부민 및 글로불린 농도와 A/G 비는 감소되었으나, 울금의 급여로 증가시켜 단백질의 농도 개선에 효과가 있는 것으로 나타났다. 총 단백질 및 알부민, 글로불린 농도는 간 기능 검사의 급성질환 지표로는 한계가 있으나, 만성질환시 유효한 것으로 알려져 있다(Kim, 2008; Kim, 2009).

3.8. 전해질 농도

흰쥐의 혈청 전해질의 농도는 Table 4와 같다. 혈청 총 칼슘 농도는 울금 5%를 첨가 급여한 ST군(12.8±1.2 mEq/L)이 당뇨 유발 BS군(11.7±1.3 mEq/L)에 비하여

농도의 증가를 확인하였다($p<0.05$). BD군 및 BT군에서 각각 14.3±1.1 및 15.8±1.4 mEq/L로 BT군에서 증가된 것으로 나타났다. 인(Pi) 농도는 ST군(11.2±0.4 mEq/L)에서 BS군(10.4±0.3 mEq/L)에 비해 유의적인 차이를 나타내며 농도의 증가를 관찰하였다($p<0.05$). BD군(12.5±0.5 mEq/L)에 비해 BT군(12.7±0.4 mEq/L)에서 농도의 증가를 나타내었지만 유의적인 차이는 없었다($p<0.05$). 나트륨(Na)의 농도는 BS군(167.5±7.5 mEq/L)에 비하여 ST군(158.3±6.9 mEq/L)에서 농도의 감소를 확인하였다. BD군 및 BT군에서 142.9±7.1, 141.5±6.8 mEq/L로 낮아진 농도를 확인하였다. 칼륨(K)의 농도는 ST군에서 6.1±0.2 mEq/L로 BS군(5.7±0.1 mEq/L)과 비교하였을 때 유의적인 농도의 증가를 보였다($p<0.05$). BD군 및 BT군에서 각각 6.9±0.3 및 7.2±0.2 mEq/L로 나타났다. BD 및 BT군, BS, ST의 염소(Cl) 농도는 각각 92.1±2.5 및 91.8±2.3 mEq/L, 104.5±2.9, 100.8±2.7로 확인되었다. Streptozotocin으로 유도된 당뇨병 흰쥐는 세포막의 Ca²⁺-ATPase를 억제

하며(Babu et al., 2006), 혈당 농도의 증가에 따라 전해질 불균형을 초래하는 것으로 알려져 있다(Palmer and Clegg, 2015). 본 실험 결과, 당뇨 유발군에 5% 울금의 급여가 총 칼슘, 인 및 칼륨의 농도 증가를 나타내었고, 나트륨 및 염소 농도는 감소된 것으로 확인되어 울금의 섭취는 전해질 불균형을 조절 시키는 것으로 판단된다.

4. 결론

Streptozotocin (STZ)을 복강 주사하여 당뇨를 유발시켜 질환 모델 대조군으로 설정하고, 5% 울금 급여가 당뇨성 흰쥐에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 혈당 농도는 울금 급여군인 ST군에서 194.8 ± 11.8 mg/dL로 당뇨 유발군(BS군, 218.8 ± 10.2 mg/dL)에 비해 유의적인 차이를 보이며 농도가 감소된 것으로 나타났고, BT군에서 90.8 ± 3.3 mg/dL으로 대조군인 BD군(93.1 ± 3.5 mg/dL)과 비교하였을 때 농도의 감소를 확인하였다. 혈청 총 콜레스테롤 농도는 당뇨 유발 실험군에 5% 울금을 급여함으로써 유의적인 차이를 보이며 농도의 감소를 보였다($p < 0.05$). 또한, 5% 울금 급여(BT군)가 대조군(BD군)과 비교하였을 때 농도의 감소를 나타내었으나 유의적인 차이는 없는 것으로 관찰되었다. LDL-콜레스테롤 농도는 ST군에서 BS군에 비하여 유의적인 감소를 나타내었으나, HDL-콜레스테롤의 농도는 증가하였다. 동맥 경화지수(AI) 및 심혈관 위험지수(CRF)는 유사한 경향으로 BS군에서 유의적으로 높은 것으로 확인되었으나, 울금 급여로 인해 저하시킨 것으로 나타났다. 중성지방의 농도는 BS군에 비해 ST군에서 유의적인 감소를 보였다. BD군(71.0 ± 6.1 mg/dL)에 비해 BT군(68.3 ± 5.9 mg/dL)에서 감소된 농도를 확인하였다. 혈청 중의 인지질 농도는 울금 급여군인 ST군에서 유의적인 감소를 보였으며, 유리 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르의 농도 또한, 유사한 경향을 나타내었다. 유리 지방산(Non Esterified Fatty Acid, NEFA) 및 요산 농도는 5% 울금 급여가 감소된 것으로 확인되었다. 당뇨 유발에 의하여 알부민 및 글로불린 농도와 A/G 비는 감소되었으나, 울금의 급여로 증가되는 것으로 나타났다. 5% 울금의 급여가 당뇨 유발군에 비해 나트륨 및 염소의 농도를 감소시켰고 총 칼슘, 인 및 칼륨의 농도는 증가시킨 것으로 확인되었다. 본 연구를 통해 울금의 섭취는 당뇨성 흰쥐

의 당질대사 장애와 심혈관계질환 및 전해질 불균형 개선에 효능이 있을 것으로 추정된다.

REFERENCES

- Aissaoui, A., Zizi, S., Israili, Z. H., Lyoussi, B., 2011, Hypoglycemic and hypolipidemic effects of *Coriandrum sativum* L. in *Meriones shawi* rats, J. Ethnopharmacol., 137, 652-661.
- Araujo, C. A. C., Leon, L. L., 2001, Biological activities of *Curcuma longa* L., Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 96, 723-728.
- Babu, P. S., Srinivasan, K., 1997, Hypolipidemic action of curcumin, the active principle of turmeric (*Curcuma longa*) in streptozotocin-induced diabetic rats, Mol. Cell. Biochem., 166, 169-175.
- Babu, P. V. A., Sabitha, K. E., Shyamaladevi, C. S., 2006, Green tea impedes dyslipidemia, lipid peroxidation, protein glycation and ameliorates Ca^{2+} -ATPase and Na^+/K^+ -ATPase activity in the heart of streptozotocin-diabetic rats, Chem. Biol. Interact., 162, 157-164.
- Chahdoura, H., Adouni, K., Khelifi, A., Dridi, I., Haouas, Z., Neffati, F., Achour, L., 2017, Hepatoprotective effect of *Opuntia microdasys* (Lehm.) Pfeiff flowers against diabetes type II induced in rats, Biomed. Pharmacotherapy, 94, 79-87.
- Cho, J. Y., Huang, Z., Park, S. Y., Park, K. H., Pai, T. K., Kim, S. Y., Kim, H. R., Ham, K. S., 2014, The effects of several halophytes on insulin resistance in Otsuka Long-Evans Tokushima fatty rats, Korean J. Food Sci. Technol., 46, 100-107.
- Dehghan, A., Van Hoek, M., Sijbrands, E. J., Hofman, A., Witteman, J. C., 2008, High serum uric acid as a novel risk factor for type 2 diabetes, Diabetes Care, 31, 361-362.
- Dullaart, R. P. F., Groener, J. E. M., Dikkeschei, L. D., Erkelens, D. W., Doorenbos, H., 1989, Increased cholesterylester transfer activity in complicated type 1 (insulin-dependent) diabetes mellitus its relationship with serum lipids, Diabetologia, 32, 14-19.
- Ha, A. W., Kim, H. M., 1999, The study of lipid peroxidation, antioxidant enzymes and the antioxidant vitamin in NIDDM patients with microvascular-diabetic complications, Korean J. Nutr., 31, 1139-1150.

- Hamden, K., Keskes, H., Belhaj, S., Mnafigui, K., Allouche, N., 2011, Inhibitory potential of omega-3 fatty and fenugreek essential oil on key enzymes of carbohydrate-digestion and hypertension in diabetes rats, *Lipids Health Dis.*, 10, 226-235.
- Hewlings, S. J., Kalman, D. S., 2017, Curcumin: A review of its' effects on human health, *Foods*, 6, 92-102.
- Howard, B. V., 1987, Lipoprotein metabolism in diabetes mellitus, *J. Lipid Res.*, 28, 613-628.
- Jin, D. H., Oh, D. Y., Kang, D. S., Chung, H. S., Kim, D. S., Lee, Y. G., Seong, J. H., Kim, H. S., 2018, Effects of krill (*Euphausia superba*) on free fatty acid and electrolyte concentrations in rats, *J. Korea Oil Chem. Soc.*, 35, 186-193.
- Kim, H. S., Seong, J. H., 2008, Effects of chitosan oligosaccharide supplementation on blood glucose, lipid components and enzyme activities in hyperglycemic rats, *Korean J. Food Nutr.*, 21, 328-335.
- Kim, H. S., Seong, J. H., Lee, Y. G., Xie, C. L., Shin, J. M., Yoon, H. D., 2010, Improvements caused by silk sericin extract derived from silkworm in blood glucose and lipid concentration in diabetic rats, *Korean J. Food Nutr.*, 23, 392-398.
- Kim, K. A., 2009, Understanding and application of liver function tests, *Kor. J. Med.*, 76, 163-168.
- Kim, M. S., Chun, S. S., Choi, J. H., 2013, Effects of turmeric (*Curcuma longa* L.) on antioxidative systems and oxidative damage in rats fed a high fat and cholesterol diet, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 42, 570-576.
- Kim, S. H., Lee, H. S., 2014, Acute oral toxicity study of ethanol extract of *Curcuma longa* L. in mice, *J. Life Sci.*, 24, 1132-1136.
- Kim, S. M., Lee, J. S., Lee, J., Na, J. K., Han, J. H., Yoon, D. K., Baik, S. H., Choi, D. S., Choi, K. M., 2006, Prevalence of diabetes and impaired fasting glucose in Korea: Korean national health and nutrition survey 2001, *Diabetes Care*, 29, 226-231.
- Kim, Y. J., 2008, Interpretation of liver function tests, *Kor. J. Gastroentero.*, 51, 219-224.
- Korean Diabetes Association, 2018, Diabetes fact sheet in Korea 2018, Korean diabetes association, Seoul.
- Krauss, R. M., 2004, Lipids and lipoproteins in patients with type 2 diabetes, *Diabetes Care*, 27, 1496-1504.
- Lee, D. M., Hoffman, W. H., Carl, G. F., Cornwell, P. E., 2002, Lipid peroxidation and antioxidant vitamin prior to during and after correction of diabetic ketoacidosis, *J. Diabetes Complications*, 16, 294-300.
- Lekshmi, P. C., Arimboor, R., Nisha, V. M., Menon, A. N., Raghu, K. G., 2014, *In vitro* antidiabetic and inhibitory potential of turmeric (*Curcuma longa* L) rhizome against cellular and LDL oxidation and angiotensin converting enzyme, *J. Food Sci. Technol.*, 51, 3910-3917.
- Mohebbati, R., Anaiegoudari, A., Khazdair, M. R., 2017, The effects of *Curcuma longa* and curcumin on reproductive systems, *Endocrine Regulations*, 51, 220-228.
- Nepom, G. T., 1990, A Unified hypothesis for the complex genetics of HLA association, *Diabetes*, 39, 1153-1157.
- Palmer, B. F., Clegg, D. J., 2015, Electrolyte and acid - base disturbances in patients with diabetes mellitus, *Engl. J. Med.*, 373, 548-559.
- Paolisso, G., Tataranni, P. A., Foley, J. E., Bogardus, C., Howard, B. V., Ravussin, E., 1995, A High concentration of fasting plasma non-esterified fatty acids is a risk factor for the development of NIDDM, *Diabetologia*, 38, 1213-1217.
- Park, H. S., Oh, S. W., Cho, S. I., Choi, W. H., Kim, Y. S., 2004, The metabolic syndrome and associated lifestyle factors among South Korean adults, *Int. J. Epidemiol.*, 33, 328-336.
- Saladini, M., Lazzari, S., Pignedoli, F., Rosa, R., Spagnolo, F., Ferrari, E., 2009, New synthetic glucosyl-curcuminoids, and their 1 H and 13 C NMR characterization, from *Curcuma longa* L., *Plant Foods Hum. Nutr.*, 64, 224-229.
- Seibert, F. B., Seibert, M. V., Atno, A. J., Campbell, H. W., 1947, Variation in protein and polysaccharide content of sera in the chronic diseases, tuberculosis, sarcoidosis, and carcinoma, *J. Clin. Invest.*, 26, 90-102.
- Senan, S., Kizhakayil, D., Sheeja, T. E., Sasikumar, B., Bhat, A. I., Parthasarathy, V. A., 2013, Novel polymorphic microsatellite markers from turmeric, *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae), *Acta Bot. Croat.*, 72, 407-412.
- Shaw, J. E., Sicree, R. A., Zimmet, P. Z., 2010, Global estimates of the prevalence of diabetes for 2010 and 2030, *Diabetes Res. Clin. Pract.*, 87, 4-14.

- Son, H. Y., Hotta, N., Sukamoto, N., Natenoka, S., Ohishi, N., Yagi, N., 1992. Lipoprotein(a) and diabetes mellitus. *J. Korean Diabetes Assoc.*, 16, 275-280.
- Sukandar, E. Y., Permana, H., Adnyana, I. K., Sigit, J. I., Ilyas, R. A., Hasimun, P., Mardiyah, D., 2010, Clinical study of turmeric (*Curcuma longa* L.) and garlic (*Allium sativum* L.) extracts as antihyperglycemic and antihyperlipidemic agent in type-2 diabetes-dyslipidemia patients, *Inter. J. Pharmacology*, 6, 456-463.
- Treguier, M., Briand, F., Boubacar, A., Andre, A., Magot, T., Nguyen, P., Krempf, M., Sulpice, T., Ouguerram, K., 2011, Diet-induced dyslipidemia impairs reverse cholesterol transport in hamsters, *Eur. J. Clin. Investig.*, 41, 921-928.
- Wolff, S. P., 1993, Diabetes mellitus and free radicals, transition metals and oxidative stress in the aetiology of diabetes mellitus and complications, *Br. Med. Bull.*, 49, 642-652.
- Yoon, J. W., Kim, C. J., Park, C. Y., McArthur, R. G., 1987, Effect of environmental factors on development of insulin-dependent diabetes mellitus, *Clin. Invest. Med.*, 10, 459-464.

-
- 오다영, 부산대학교 식품공학과 대학원생
zoo2965@nate.com
 - 강동수, 전남대학교 해양바이오식품학과 교수
dskang@jnu.ac.kr
 - 이영근, 부산대학교 식품공학과 교수
lyg5354@pusan.ac.kr
 - 김한수, 부산대학교 식품공학과 교수
kimhs777@pusan.ac.kr