

녹차가루 식이가 당뇨쥐의 혈당 및 혈중 지질 농도에 미치는 영향

최 미 자[†] · 김 선 화

계명대학교 식품영양학과

Effects of Green Tea Powder Supplementation on Blood Glucose and Lipid Concentrations in Rats with Streptozotocin-induced Diabetes

Mi-Ja Choi[†] and Sun-Hwa Kim

Dept. of Food and Nutrition, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

The study examined the effects of dietary green tea powder supplementation on blood glucose, and plasma and liver lipid concentrations in diabetic rats. Twenty-five male Sprague-Dawley rats (body weight 200±5 g) were divided into two groups (diabetic and non-diabetic), which were each randomly divided into two subgroups that were fed a control and 1% green tea powder-supplemented diet. Serum and liver lipid concentrations were measured by established techniques. Low density lipoprotein-cholesterol (LDL-C) was calculated from an established equation. Body weight gain and feed efficiency ratio were lower in diabetic rats than in non-diabetic rats regardless of diet. There were no differences in weight gain in diabetic and non-diabetic rats consuming the control and green tea powder-supplemented diets. The levels of fasting plasma glucose, serum total cholesterol, triglyceride, LDL-C and atherogenic index of diabetic rats were significantly higher than that of non-diabetic rats. Conversely, the levels of high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) of diabetic rats was significantly lower than that of non-diabetic rats. Fasting plasma glucose, serum total cholesterol, triglyceride, LDL-C and atherogenic index were significantly lower in diabetic rats fed the green tea powder diet than in rats fed the control diet, and HDL-C was significantly higher in rats fed the green tea powder diet than in rats fed the control diet. The content of liver total cholesterol and triglyceride of diabetic rats were significantly higher than that of non-diabetic rats. Liver total cholesterol and triglyceride were significantly lower in diabetic rats fed green tea powder-supplemented diet than in rats fed the control diet. It is concluded that green tea powder supplementation positively influences blood glucose and lipid metabolism in diabetic rats. The present study, although not directly applicable to humans, may have some implications for individuals who habitually consume green tea powder.

Key words : Green tea powder, diabetic rats, blood glucose, total cholesterol, triglyceride.

서 론

우리나라는 식생활의 변화로 당뇨병의 유병율이 점점 증가하여 2007년 30세 이상 성인의 경우 유병율이 9.5%로 보고되었고(Ministry of Health and Welfare 2009), 미국의 경우도 당뇨병은 꾸준히 증가하여 1935년에 비하여 1996년에 765% 증가하였다고 보고하였으며(Centers for Disease Control and Prevention 1997), 1980년에 560만 명이던 것이 2006년에 1,680만 명으로 보고하여(Centers for Disease Control and Prevention 2008) 25년 만에 약 300%의 증가를 보였다.

이처럼 당뇨병은 우리나라와 서구에서 가장 흔한 만성 질병 중 하나이며, 정제식품, 고열량 식이, 비만 등 식이와 관련

이 높아 식사요법이 강조되는 질병이다(Halton *et al* 2008). 특히 당뇨병은 지질대사 이상으로 심혈관계 질환의 위험률이 정상인에 비하여 높다(Steinberg *et al* 1989). 지질 대사 이상의 경우 주로 약물을 이용하여 조절하는데, 이것은 부작용이 있으므로 부작용이 적은 천연물로부터 생리활성 물질을 찾으려는 연구들이 활발하게 이루어지고 있다.

차나무(*Camellia sinensis*)의 잎으로 만들어지는 차는 세계적으로 널리 소비되는 음료의 하나로 크게 녹차(green tea), 홍차(black tea), 우롱차(oolong tea)로 3가지 형태로 구분된다. 그 중 녹차는 잎을 발효시키지 않은 형태로 주로 아시아 지역에서 많이 소비되는데, 녹차 잎은 폴리페놀 화합물을 다량 함유하고 있으며, 그 중 카테킨(catechin)은 녹차의 무게(dry weight)당 30%를 차지하며(Harbowy & Balentine 1997), 항산화 기능을 가져 여러 가지 퇴행성 질병에 유리한 물질로 알려져 있다. 카테킨이 퇴행성 질병에 유리하다고 한 *in vitro*

[†] Corresponding author : Mi-Ja Choi, Tel : +82-53-580-5874, Fax : +82-53-580-5885, E-mail : choimj@kmu.ac.kr

연구(Nakagawa *et al* 2002, Adcocks *et al* 2002)를 보면 사용한 카테킨 양이 매우 높은 농도여서 일상적인 차 소비 형태로 그 양을 섭취하기는 어렵다. 그리고 동물 실험에서 STZ-유도 당뇨쥐에서 카테킨을 0.5%와 1%를 4주간 투여한 결과, 혈청 중성 지질과 콜레스테롤이 감소되어 혈중 지질 개선에 유리하다고 보고하였다(Rhee & Park 1997). 일반적으로 녹차의 카테킨 함량은 120.3~153.7 mg/g이고(Choe *et al* 1999), 녹차로 음용하는 경우 녹차 1잔에 평균 100 mg으로 보고되었다(Peterson *et al* 2005). 차의 섭취와 허혈성 심질환의 유병율과는 역의 상관관계가 있었으나, 차의 섭취는 뇌졸중에는 영향을 미치지 않아 심장질환의 종류에 따라 다르게 영향을 미치는 것으로 나타났다(Arts *et al* 2001). 따라서 녹차의 잔의 크기도 다르고 또한 사람은 다른 식품으로부터 폴리페놀을 섭취하여 카테킨 외 다른 성분이 미치는 효과는 통제되지 않아 순수 카테킨이 미치는 효과를 입증하는데 제한이 있다.

그리고 녹차가 혈중 지질에 미치는 연구를 보면 혈중 cholesterol은 낮추고(Potenza *et al* 2007), HDL-콜레스테롤을 높이고(Kao YH *et al* 1994) 혈당은 낮춘다(Matsumoto N *et al* 1993)고 보고되었다.

이처럼 *in vitro* 연구나 실험 동물 연구에서는 순수 카테킨을 이용하였고, 사람을 대상으로 한 역학 연구는 주로 녹차의 음용을 조사하여 녹차에 포함된 카테킨 양을 추정하여 보고한 연구(Stensvold I, Tverdal A *et al* 1992)가 대부분이다.

또한 최근 싱가포르 성인 남, 여 모두에서 차와 커피를 규칙적으로 섭취하는 경우 당뇨병의 위험도에 미치는 효과를 본 결과, 커피와 홍차를 마신 경우는 당뇨병 유병율을 낮추었으나 녹차의 경우는 차이가 없다고 하였는데, 이것은 커피의 카페인 외 chlorogenic acid, phenolic 물질, 강한 황산화 물질이 자유 라디칼 생성을 저해하고 나아가 pancreatic β -cells의 산화 스트레스를 줄여 인슐린의 민감도를 높이기 때문이며, 홍차도 항산화 물질이 이와 같이 작용하기 때문으로 추론하였다(Odegaard *et al* 2008). 일반적으로 녹차에는 카테킨이 건무게당 30%이나, 홍차는 약 9%로 줄고 대신에 항산화 폴리페놀물질이 많다(Arts *et al* 2001).

당뇨병 환자의 경우, 식이 섭취는 매우 중요하여 일반적으로 이상 체중 유지와 식이는 탄수화물 55%, 단백질 12~16%, 지방 30% 미만, 그리고 식이 섬유는 25~50 g/day(15~25 g/1,000 kcal)로 일반인의 약 2배로 추천하고 있다. 최근 전곡류, 식이섬유소, 마그네슘의 섭취량(Song *et al* 2004)과 당뇨병의 유병율과 음의 상관성이 있었다고 보고하였고, 식이의 칼슘과 마그네슘의 섭취량과 당뇨병의 유병율과 음의 상관성을 보고(Villegas *et al* 2009)하였다. 따라서 당뇨병 환자의 경우 녹차를 식품에 첨가하여 섭취할 경우 녹차를 음용하는 것보다 수용성 물질 외 여러 성분도 동시에 섭취할 수 있어 영양소간의 상호작용 혹은 상승 작용을 기대할 수 있으며, 특

히 섬유소의 섭취를 높일 수 있어 생리적 기능성 측면에서 바람직하다고 판단되나 녹차가루를 섭취한 경우에 대한 연구 보고는 적다. 따라서 본 연구는 당뇨쥐에서 1% 녹차가루 첨가 식이가 혈중 지질 및 간 지질에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 하였다.

연구 방법

1. 실험 동물

평균 체중이 약 200 g인 Sprague-Dawley 수컷 흰쥐 25마리를 오리엔트 바이오사(서울, Korea)로부터 분양 받아 1주 일간의 적응기간 후 평균 체중이 약 220 g이 되었을 때 streptozotocin(50 mg/kg of body weight)을 신선한 0.25 M citrate buffer(pH 4.5)에 용해하여 대퇴부 근육에 주사하여 당뇨를 유발하였고, 대조군은 동량의 citrate buffer 용액을 주사하였다. 당뇨 유발 확인은 streptozotocin 주사 4일 후 꼬리정맥에서 채혈하여 혈당량이 300 mg/dL 이상인 경우 당뇨가 유발된 것으로 간주하였다. 당뇨 상태와 실험 식이에 따라 비당뇨 대조군, 비당뇨 녹차군, 당뇨 대조군, 당뇨 녹차군으로 나누어 4주간 stainless-steel wire cage에서 한 마리씩 분리하여 사육하였으며, 사육실 온도는 22±2°C, 습도는 63±5%로 유지하며, 매일 광주기·암주기를 12시간(6:00~18:00) 간격으로 자동 조절 장치를 이용하여 조절하였다. 실험 기간 동안 식이와 물은 자유롭게 섭취(*ad libitum*)하게 하였다.

2. 실험 식이

실험에 사용한 식이 중 카제인은 매일유업(Seoul, Korea), 무기질과 비타민은 Teklad사(Medison, Wisconsin, USA). 셀룰로즈, L-cysteine, choline bitartrate, tert-butyl hydroquinone은 시그마 화학(Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 녹차가루는 국내 D회사의 상업용 녹차가루를 구입하였고, 녹차가루는 1g에 100 mg의 카테킨을 함유하고 있으며, 실험 식이는 AIN-93G의 기본 조성에 기준하였으며 녹차가루 1%를 첨가하였다. 실험 기간 동안 식이 섭취량은 이틀에 한 번씩, 체중은 일주일에 한 번씩 일정한 시간에 나누어 측정하였다. 식이 효율은 실험 기간 동안 체중 증가량에 식이 섭취량으로 나누어 구하였다. 본 실험에 사용한 식이의 구성은 Table 1과 같다.

3. 시료 분석

1) 혈당 분석

혈중 포도당 농도는 oxidase법을 이용한 glucose kit(Daiichi, Japan)을 사용하여 auto analyser(Hitachi 7170, Japan)로 분석하였다.

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

Ingredients	Control	Green tea powder
Casein ¹⁾	200	200
Corn starch	529.5	519.5
Sucrose	100	100
Soybean oil	70	70
α -Cellulose ²⁾	50	50
Min-mixture ³⁾	35	35
Vit-mixture ⁴⁾	10	10
L-cysteine ⁵⁾	3	3
Choline ⁶⁾	2.5	2.5
Tert-butylhydroquinone ⁷⁾	0.014	0.014
Green tea powder ⁸⁾	-	10

¹⁾ Casein, Maeil Dairy Industry Co. Ltd. 480 Gagok-Ri, Jinwi-Myun, Pyungtaek-City, Kyunggi-Do.

²⁾ α -Cellulose, supplied by SIGMA Chemical Company.

³⁾ Mineral-Mix, AIN-93G-MX, Teklad Test Diets, Medison, Wisconsin, USA.

⁴⁾ Vitamine-Mix, AIN-93-VX, Teklad Test Diets, Medison, Wisconsin, USA.

⁵⁾ L-Cysteine, Sigma Chemical Co., ST. Louis, MO, USA.

⁶⁾ Choline bitartate, Sigma Chemical Co., ST. Louis, MO, USA.

⁷⁾ Tert-bulyl Hydroquinone, Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, MO. USA.

⁸⁾ Green tea powder. Dongsuh, Co. Ltd. 546 Dohoa-Dong, Ma-Fo, Seoul.

2) 혈중 지질 분석

혈청 콜레스테롤, 중성지방, HDL-cholesterol 농도는 kit(아산제약)를 사용하여 측정하였다. 즉, 혈청 총 콜레스테롤 농도는 에스테르형의 콜레스테롤을 cholesterol esterase에 의해 유리형 콜레스테롤로 만든 다음 이에 cholesterol oxidase를 반응시켜 생성된 4 δ -cholestenon을 peroxidase와 4-aminoantipyrene과 반응시킴으로써 형성된 퀴논형 적색 색소를 spectrophotometer(Uvikon 930, Switzerland)를 이용하여 흡광도 500 nm에서 측정하여 비색정량하였다. 혈청 중성지방 농도는 triglyceride와 lipoprotein lipase가 반응해서 유리된 글리세롤을 glycerol kinase와 반응시켜 생성된 L- α -glycerophosphoric acid를 glycerophosphooxidase, 4-amino antipyrene과 반응시켜 얻은 퀴논형 색소를 550 nm에서 흡광도를 측정하여 비색정량하였다. 혈청 HDL-cholesterol 농도는 혈청 콜레스테롤과 같은 방법으로 spectrophotometer를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하여 비색정량하였다. 혈청 LDL-cholesterol은 Friedwald 등(Friedwald *et al* 1972)의 방법을 이용하여 계산하였고, 동맥경화지수(atherogenic index) 동맥경화의 위험률을 예

측할 수 있는 변인으로 혈장의 지질 상태를 나타내며, 산출 방법은 다음과 같다.

$$\text{Atherogenic index} = \frac{\text{Total cholesterol} - \text{HDL-cholesterol}}{\text{HDL-cholesterol}}$$

3) 간 지질 분석

간 조직의 중성지방과 콜레스테롤의 추출은 Folch법(Folch *et al* 1957)을 응용하였다. 간 시료 0.5 g을 취해 5 mL의 chloroform : metanol(2 : 1, v/v) 혼합액을 첨가하여 homogenize를 한 후 깔대기에 여과하여 여액을 테스트 튜브에 담아 질소 건조기(OTU-2C, TAITEC, Japan)로 건조하였다. 여기에 chloroform : metanol(2 : 1, v/v) 1 mL 가하여 vortex하여 녹인 후 100 μ L씩 테스트 튜브에 옮겨 질소 건조기로 건조하였다. 그 후 에탄올 5 mL를 가하여 지질을 녹인 후 혈청 중성지방과 콜레스테롤 분석과 동일한 방법으로 분석하였다.

4. 통계처리

본 연구에서 실험 결과는 SAS package(ver 9.12 : Institute Inc. Cary, NC, USA)를 이용하여 분석하였다. ANOVA test를 하여 각 실험군의 평균과 표준편차를 구하였으며, 각 군간의 통계적 유의성은 $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 검증하였다.

결 과

1. 체중 증가량 및 식이효율(FER)

실험 시작 시 체중은 실험군 간에 유의적인 차이가 없었으나 실험 기간 후 당뇨군은 비당뇨군에 비하여 유의적으로 감소하였으며, 당뇨군과 비당뇨군내에서 대조군과 녹차군 간에 체중의 차이는 없었다(Table 2).

식이 섭취량은 비당뇨군에 비하여 당뇨군이 유의적으로 높았고, 녹차가루 첨가가 식이섭취량에 영향을 미치지 않았다(Table 3).

2. 혈당

당뇨쥐에서 녹차가루 첨가 식이가 혈당에 미치는 효과를 Table 4에 나타내었다. 공복 시 혈당은 예상대로 당뇨군이 345.0 mg/dL로 비당뇨군의 129.0 mg/dL에 비하여 유의적으로 높았으나 녹차군의 286.7 mg/dL로 감소하였다. 비당뇨군에서 대조군과 녹차군의 혈당이 각각 129.0 mg/dL, 93.2 mg/dL로 녹차가루 식이 섭취 시 낮은 경향을 보였으나 통계적 유의성이 없었다.

3. 혈중 지질 농도

녹차가루 식이 섭취가 혈중 총 콜레스테롤 농도, 중성지

Table 2. The effect of green tea powder on body weight and weight gain in rats

Group	Non-diabetic rats		Diabetic rats	
	Control	Green tea	Control	Green tea
Initial weight(g)	220.3± 3.0 ^{1)a2)}	222.5± 3.1 ^a	227.3±4.3 ^a	222.2± 6.0 ^a
Final weight(g)	411.4±12.2 ^a	408.2±29.7 ^a	237.0±4.7 ^b	243.6±15.1 ^b
Weight gain(g)	191.0±13.0 ^a	189.2±23.3 ^a	14.4±8.2 ^b	21.5±13.5 ^b

¹⁾ Mean±S.D.

²⁾ Values with different superscripts within the row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

방 농도, HDL-cholesterol 농도, LDL-cholesterol 농도, 동맥경화지수(athrogenic index)에 미치는 영향을 Table 5에 나타내

Table 3. The effect of green tea powder on food intake and food efficiency ratio (FER) in rats

Group	Non-diabetic rats		Diabetic rats	
	Control	Green tea	Control	Green tea
Food intake(g)	20.9±0.3 ^{1)a2)}	21.3±1.6 ^a	28.5±0.2 ^b	28.6±0.6 ^b
FER ³⁾	0.30±0.02 ^a	0.29±0.03 ^a	0.02±0.01 ^b	0.02±0.01 ^b

¹⁾ Mean±S.D.

²⁾ Values with different superscripts within the row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

³⁾ FER(food efficiency ratio)= weight gain(g) / food intake(g).

었다. 혈중 총콜레스테롤 농도의 경우 비당뇨군과 당뇨군에서 대조군이 각각 96.5 mg/dL와 105.7 mg/dL, 녹차군이 각각 88.8 mg/dL와 88.2 mg/dL로 녹차가루 첨가 식이 섭취 시 혈중 총 콜레스테롤 농도가 유의적으로 낮았다.

혈중 중성지방 농도의 경우 비당뇨군 내에서 녹차가루의 섭취는 중성지방의 농도에 유의적인 영향을 미치지 않았으나 당뇨군 내에서는 녹차군이 64.1 mg/dL로 대조군 76.3 mg/dL에 비하여 유의적으로 낮았다.

혈중 HDL-cholesterol 농도는 비당뇨군 내에서 대조군에 비하여 녹차군이 약간 높은 경향을 보였으나 유의적인 차이가 없었고, 당뇨군 내에서는 녹차군이 16.5 mg/dL로 대조군의 14.3 mg/dL에 비하여 유의적으로 증가하였다. 혈중 LDL-cholesterol 농도도 대조군에 비하여 녹차군이 비당뇨군 (65.9 mg/dL와 74.3 mg/dL)과 당뇨군(84.3 mg/dL와 66.9

Table 4. The effect of green tea powder on plasma glucose concentrations in diabetic rats

Group	Non-diabetic rats		Diabetic rats	
	Control	Green tea	Control	Green tea
Blood glucose(mg/dL)	129.0±12.0 ^{1)a2)}	93.2±14.5 ^a	345.0±19.9 ^b	286.7±25.5 ^c

¹⁾ Mean±S.D.

²⁾ Values with different superscripts within the row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 5. The effect of green tea powder on serum lipid concentrations and atherogenic index in diabetic rats

Group	Non-diabetic rats		Diabetic rats	
	Control	Green tea	Control	Green tea
Total cholesterol(mg/dL)	96.5±2.3 ^{1)b2)}	88.88±1.1 ^c	105.7±5.1 ^a	88.2±2.2 ^c
Triglyceride(mg/dL)	68.1±2.2 ^b	64.8±3.1 ^b	76.3±3.9 ^a	64.1±4.6 ^b
HDL-cholesterol(mg/dL)	17.4±1.3 ^{ab}	18.5±1.0 ^a	14.3±1.4 ^c	16.5±0.6 ^b
LDL-cholesterol(mg/dL)	74.3±1.9 ^b	65.9±1.1 ^c	84.3±5.8 ^a	66.9±1.6 ^c
Atherogenic index	4.6±0.4 ^b	3.8±0.2 ^b	6.5±0.9 ^a	4.3±0.1 ^b

¹⁾ Mean±S.D.

²⁾ Values with different superscripts within the row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

mg/dL) 모두에서 유의적으로 낮게 나타났다.

동맥경화지수는 당뇨군이 비당뇨군보다 유의적으로 높았으며, 당뇨군내에서는 녹차군이 대조군보다 유의적으로 낮았으나, 비당뇨군의 대조군과 녹차군보다 높았다.

4. 간 지질 함량

간의 중성지방과 콜레스테롤 함량을 Table 6에 나타내었다. 간의 중성지방은 대조군 식이를 한 경우 비교를 하면 당뇨군이 35.1 mg/g으로 비당뇨군의 23.6 mg/g에 비해 유의적으로 높았으며, 당뇨군내에서는 녹차군이 23.8 mg/g으로 대조군 35.1 mg/g에 비하여 유의적으로 낮아서 비당뇨군의 대조군 수준과 비슷하게 되었다. 간의 콜레스테롤 함량은 대조군 식이를 한 경우 비교를 하면 당뇨군이 48.5 mg/g으로 비당뇨군의 37.3 mg/g에 비해 유의적으로 높았으며, 당뇨군내에서는 녹차군이 36.7 mg/g으로 대조군의 48.5 mg/g보다 유의적으로 낮았으며, 비당뇨군의 대조군 수준까지 낮아졌다.

고찰

최근 카테킨의 기능에 대하여 *in vitro*나 실험 동물에서 보고되고 있으나(Crespy & Williamson 2004, Seigo *et al* 2001, Frank *et al* 2003) 식품의 카테킨 함량을 평가할 수 있는 카테킨 함량 분석표의 기본 자료가 부족하기 때문에 카테킨의 생리적 기능을 역학적으로 정확하게 평가하기는 어려운 실정이다. 최근에 채소의 페놀 항산화 량과 질에 대한 보고에 이어(Vinson *et al* 1998) 최근 미국 USDA에서 폴리페놀의 플라보노이드의 식품 성분표가 발표되어 플라보노이드 섭취와 건강과의 관계 규명을 위한 역학 연구는 더 정확하게 이루어질 수 있다고 판단된다(Holden *et al* 2005). 네델란드의 코호트(cohort) 연구에서 노인 남성의 평균 카테킨 섭취량은 72±47.8 mg이었고, 주급된 식품은 홍차(black tea), 사과, 초콜릿(chocolate)이라고 보고하였다(Arts *et al* 2001). 카테킨은 특히 콩류, 흑포도, 딸기와 apricots에 많은데, 여기에는 특히 epicatechin이 많고, gallates와 galocatechins은 거의 차에서만 특히 녹차에서만 많이 발견된다. 최근 일본인을 대상으로 한

역학 연구에서 녹차의 섭취는 심장병의 유병율을 낮추어 주었다고 하였다(Kuriyama *et al* 2006). 우리나라의 차 소비 형태는 중국과 일본에 이어 녹차가 주를 이룬다. 녹차 1 g에 120.3~153.7 mg의 카테킨이 함유되어 있으며(Choe *et al* 1999), 카테킨의 기능성은 혈압 강하 작용 및 항암 작용(Ebeler *et al* 2002), 항산화 작용(Frei & Higdon 2003), 혈당(Venables MC *et al* 2008)이나 혈중 지질 개선 기능(Hooper L *et al* 2008) 등이 알려져 있다. 녹차는 주로 음용함으로 섭취하는데 녹차를 식품에 첨가하여 섭취할 경우 녹차의 카테킨 성분 외 불용성 성분과 다른 영양소도 섭취할 수 있는 이점과 여러 식품에 응용이 가능하여 녹차 소비를 늘릴 수 있어 국내 차 산업 발전에도 유리할 것으로 판단된다. 그러나 녹차의 생리적 기능에 대한 연구 보고는 주로 순수 정제된 카테킨을 *in vitro*나 실험동물을 중심으로 한 연구가 많고(Crespy & Williamson 2004, Seigo *et al* 2001, Frank *et al* 2003), 녹차를 식품에 첨가하여 섭취하였을 때 미치는 효과에 대한 연구는 부족하다.

따라서 본 연구는 녹차 한 잔에 100 mg의 카테킨이 함유되어 있다는 보고(Peterson *et al* 2005)를 근거로 하여 실험동물 STZ-유도 당뇨쥐에 체중 100 g 당 약 6.3~8.3 mg의 카테킨이 함유된 1% 녹차가루 식이를 섭취하게 하여 그 효과를 측정하였다. 그 결과 식이 섭취량은 당뇨군이 비당뇨군에 비하여 유의적으로 높았으나, 체중 증가량과 식이효율은 유의적으로 낮아 선행 연구 결과(Goodman & Shihabi 1990, Cameron-Smith *et al* 1997, Chang 1999)와 일치하였다. 당뇨군내에서 녹차군이 대조군보다 혈당이 유의적으로 낮아 이는 Wolfram *et al*(2006)의 2형 당뇨병 모델 쥐에 녹차 추출물을 경구 투여한 결과 혈당이 감소되었다는 보고와 Janle *et al*(2005)의 Zucker 당뇨쥐에서 녹차 추출물이 혈당이 감소되었다는 보고와 일치하였다. 당뇨군은 비당뇨군에 비하여 혈중 총 콜레스테롤과 LDL-cholesterol 농도가 높았는데, 이것은 STZ-유도 당뇨쥐는 혈중 콜레스테롤 함량이 증가되었다고 보고(Choi *et al* 1991)한 연구 결과와 일치하였다. Sin *et al*(1997)은 성장기 수컷 SD(165~200 g)를 대상으로 4주간 1% 녹차 추출물 음용이 고지방 혹은 고콜레스테롤 식이 시 혈중 지질에 미치는 영향을 연구한 결과, 고지방식이 시 총 콜레스테롤, HDL-cho-

Table 6. The effect of green tea powder on liver lipid concentrations in diabetic rats

Group	Non-diabetic rats		Diabetic rats	
	Control	Green tea	Control	Green tea
Total cholesterol(mg/g)	37.3±1.3 ^{1)b2)}	34.5±2.5 ^b	48.5±2.2 ^a	36.7±1.2 ^b
Triglyceride(mg/g)	23.6±1.9 ^b	22.3±1.7 ^b	35.1±2.2 ^a	23.8±2.3 ^b

¹⁾ Mean±S.D.

²⁾ Values with different superscripts within the row are significantly different at *p*<0.05 by Duncan's multiple range test.

lesterol, 중성지방 농도는 유의적인 차이가 없었다고 보고하였는데, 본 연구 결과는 같은 수컷 SD 당뇨쥐에서 4주간 1% 녹차가루의 형태로 섭취한 경우 총 콜레스테롤은 비당뇨군 내에서 대조군에 비하여 녹차군이 유의적으로 낮았고(8.0%), 또한 당뇨군내에서도 녹차군이 유의적인 낮았다(16.6%).

당뇨군내에서는 녹차군의 혈중 중성지방 농도는 대조군에 비해 유의적으로 낮았고, HDL-cholesterol은 유의적으로 높았다. 당뇨쥐에서 녹차가루 섭취 시 HDL-cholesterol 농도가 증가된 것은 epicatechin gallate의 경구 투여 시 혈청 HDL-콜레스테롤 수준이 증가되었다는 보고(Ikeda *et al* 1992)와 일치하였다.

LDL-cholesterol 농도는 비당뇨군과 당뇨군내에서 모두 대조군에 비하여 녹차군이 유의적으로 낮았다. 이 결과는 건강한 사람의 경우 녹차 섭취 시 혈중 LDL-cholesterol을 낮추었다는 보고(Ishikawa T *et al* 1997, Hooper L *et al* 2008)와 일치하였다.

동맥경화지수는 비당뇨군 내에서는 실험군 간에 차이가 없었으나, 당뇨군내에서는 녹차군이 유의적으로 낮았다. 동맥경화지수는 관상 심장질환의 발생빈도와 밀접한 관계가 있는데(Tavia & William 1978), STZ-유도 당뇨쥐를 대상으로 한 동물 연구(Rhee & Park 1997)에서 카테킨 투여에 의해 동맥경화 지수가 감소되었다고 보고한 것과 일치하였다.

간의 중성지방과 콜레스테롤 함량은 비당뇨군에 비해 당뇨군이 유의적으로 증가하였는데, 녹차가루 첨가 식이 시 비당뇨군에서는 유의적인 차이가 없었으나, 당뇨군에서 녹차군은 간의 중성지방과 콜레스테롤 함량이 유의적으로 감소하였다. 이 결과는 고지방 식이를 섭취한 생쥐에서 16주 동안 녹차추출물인 EGCG(3.2 g/kg 식이)를 섭취시킨 결과 체중이 줄고 체지방과 간의 중성지방이 유의적으로 감소하였는데, 이것은 EGCG가 지방산 흡수를 감소시켰기 때문으로 추론하였다(Bose *et al* 2008).

당뇨쥐에서 1% 녹차가루의 섭취는 혈당과 혈중 지질 개선에 유리한 효과를 보였다. 특히 식이 섬유 섭취의 감소는 당뇨병의 유병율과 역의 상관성이 있고(Gross *et al* 2004), 당뇨병에서 식이 섬유의 섭취를 늘일 경우 혈당 조절에 유리하다(Feinglos & Totten 2008)고 하였으므로 녹차가루를 식품에 첨가하여 섭취하면 녹차 추출물로 섭취하는 경우, 보다 카테킨 외 혈당 조절에 유리한 다양한 영양소와 항산화 물질을 섭취할 수 있다. 즉, 녹차 분말과 녹차 추출액 100 g의 성분을 비교해 보면(The Korean Nutrition Society 2009) 녹차 추출액은 에너지 1.0 kcal, 칼슘 3.0 mg, 칼륨 27.0 mg, 비타민 C 3.0 mg, 엽산 4.6 µg, 식이섬유와 베타카로틴이 없는 반면 녹차 분말은 에너지가 282 kcal, 식이섬유 38.5 g, 지방 5.8 g, 칼슘 90 mg, 칼륨 1,455 mg, 비타민 C 135 mg, 베타카로틴 21,000 µg, 엽산 103.0 µg으로 녹차 추출물에 비하여 식이섬유가 매

우 풍부하고 그 외 다양한 무기질과 항산화 영양소가 많다.

요약 및 결론

STZ를 투여한 당뇨쥐에서 녹차가루 분말 첨가 식이가 혈당, 혈중 지질 및 간 지질에 미치는 영향에 대한 요약과 결론은 다음과 같다.

1. 식이 섭취량은 당뇨군이 비당뇨군에 비하여 유의적으로 높았으나 체중 증가량과 식이효율은 유의적으로 낮았다.
2. 당뇨군내에서 녹차군이 대조군에 비하여 혈당, 혈중 중성지방, 총 콜레스테롤, LDL-cholesterol 농도가 유의적으로 낮았다.
3. 당뇨군내에서 녹차군의 혈중 HDL-cholesterol 농도는 대조군보다 유의적으로 높았다.
4. 당뇨군내에서 동맥경화지수는 녹차군이 대조군보다 유의적으로 낮았다.
5. 당뇨군내에서 간조직의 중성지방과 콜레스테롤 함량은 녹차군이 유의적으로 낮았다.

이상의 연구 결과, 당뇨쥐에서 1% 녹차가루 첨가식이 섭취는 혈당 및 지질 대사에 유익한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구를 위하여 casein을 공급해 주신 매일유업과 녹차가루를 공급해 주신 동서식품에 감사드립니다.

문헌

- Adcocks C, Collin P, Buttle DJ (2002) Catechins from green tea (*Camellia sinensis*) inhibit bovine and human cartilage proteoglycan and type II collagen degradation *in vitro*. *J Nutr* 132: 341-346.
- Arts ICW, Hollman PC, Feskens EJ, Bueno de Mesquita HB, Kromhout D (2001) Catechin intake might explain the inverse relation between tea consumption and ischemic heart disease: The Zutphen elderly study. *Am J Clin Nutr* 74: 227-232.
- Bose M, Lambert JD, Ju J, Reuhl KR, Shapses SA, Yang CS (2008) The major green tea polyphenol, (-)-epigallocatechin-3-gallate, inhibits obesity, metabolic syndrome, and fatty liver disease in high-fat-fed mice. *J Nutr* 138: 1677-1683.
- Cameron-Smith D, Habito F, Barnett M, Collier GR (1997) Dietary guar gum improves insulin sensitivity in Streptozotocin-induced diabetic rats. *J Nutr* 127: 359-364.

- Centers for Disease Control and Prevention (Version current October 2008) National Diabetes Surveillance System: prevalence of diabetes. Internet: <http://www.cdc.gov/diabetes/statistics/prev/national/figpersons.htm>
- Centers for disease control and prevention, national center for health statistics, division of health interview statistics (1997) Census of the population and population estimates. Hyattsville, MD: Centers for Disease Control and Prevention.
- Chang KJ (1999) The effects of taurine and β -alanine on blood glucose and blood lipid concentrations in insulin-treated diabetic rats. *Korean J Community Nutrition* 4: 103-110.
- Choe WK, Park JH, Kim SH, Lee DY, Lee YC (1999) Anti-tumor effects of green tea catechin on different cancer cells. *Korean J Nutr* 32: 838-843.
- Choi JW, Sohn KH, Kim SH (1991) The effects of nicotinamide on the serum lipid composition in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Nutr* 20: 306-311.
- Crespy V, Williamson G (2004) A review of the health effects of green tea catechins in *in vivo* animal models. *J Nutr* 134: 3431S-2440S.
- Ebeler SE, Brennen CA, Kim GS, Jewell WT, Webb MR, Chacon-Rodriguez L, MacDonald EA, Cramer AC, Levi A, Ebeler JD, Islas-Trejo A, Kraus A, Hinrichs SH, Clifford AJ (2002) Dietary catechin delays tumor onset in a transgenic mouse model. *Am J Clin Nutr* 76: 865-872.
- Feinglos MN, Totten SE (2008) Are you what you eat, or how much you eat?: The case of type 2 diabetes mellitus. *Arch Intern Med* 168: 1485-1486.
- Folch J, Lees M, Sloanestanley GH (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J Biol Chem* 226: 497-509.
- Frank J, Lundh T, Parker RS, Swanson JE, Vessby B, Afaf KE (2003) Dietary (+)-catechin and BHT markedly increase α -tocopherol concentrations in rats by a tocopherol- ω -hydroxylase-independent mechanism. *J Nutr* 133: 3195-3199.
- Frei B, Higdon JV (2003) Antioxidant activity of tea polyphenols *in vivo*: Evidence from animal studies. *J Nutr* 133: 3275S-3284S.
- Friedwald WT, Levy RI, Fredricson DS (1972) Estimation of low density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem* 18: 499-502.
- Goodman HO, Shihabi ZK (1990) Supplemental taurine in diabetic rats: effects on plasma glucose and triglycerides. *Biochem Med Metab Biol* 43: 1-9.
- Gross LS, Li L, Ford ES, Liu S (2004) Increased consumption of refined carbohydrates and the epidemic of type 2 diabetes in the United States: an ecologic assessment. *Am J Clin Nutr* 79: 774-779.
- Halton TL, Liu S, Manson JAE, Hu FB (2008) Low-carbohydrate-diet score and risk of type 2 diabetes in women. *Am J Clin Nutr* 87: 339-346.
- Harbowy ME, Balentine DA (1997) Tea chemistry. *Crit Rev Plant Sci* 16: 415-480.
- Holden JM, Bhagwat SA, Beecher GR, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Eldridge AL, Dwyer J, Peterson J (2005) Development of a database of critically evaluated flavonoids data: Application of USDA's data quality evaluation. *J Food Compos Anal* 18: 829-884.
- Hooper L, Kroon PA, Rimm EB, Cohn JS, Harvey I, Le Cornu KA, Ryder JJ, Hall WL, Cassidy A (2008) Flavonoids, flavonoid-rich foods, and cardiovascular risk: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 88: 38-50.
- Ikeda I, Masato Y, Nakayama M, Takeo T, Yayabbe F, Sugano M (1992) Tea catechins decrease micellar solubility and intestinal absorption of cholesterol in rats. *Biochim-Biophys-Acta* 1127: 141-146.
- Ishikawa T, Suzukawa M, Ito T, Yoshida H, Ayaori M, Nishiwaki M, Yonemura A, Hara Y, Nakamura H (1997) Effect of tea flavonoid supplementation on the susceptibility of low-density lipoprotein to oxidative modification. *Am J Clin Nutr* 66: 261-266.
- Janle EM, Portocarrero C, Zhu Y, Zhou Q (2005) Effect of long-term oral administration of green tea extract on weight gain and glucose tolerance in Zucker diabetic (ZDF) rats. *J Herb Pharmacother* 5: 55-65.
- Kao YH, Hiipakka RA, Liao S (2000) Modulation of endocrine systems and food intake by green tea epigallocatechin gallate. *Endocrinology* 141: 980-987.
- Kuriyama S, Shimazu T, Ohmori K, Kikuchi N, Nakaya N, Nishino Y, Tsubono Y, Tsuji I (2006) Green tea consumption and mortality due to cardiovascular disease, cancer, and all causes in Japan: The Ohsaki study. *JAMA* 296: 1255-1265.
- Matsumoto N, Ishigaki F, Ishigaki A, Iwashina H, Hara Y (1993) Reduction of blood glucose levels by tea catechin. *Biosci Biotechnol Biochem* 57: 525-527.
- Ministry of Health and Welfare/Korean Health Industry Development (2009) 2007 Korean national health and nutrition examination survey. pp 256.

- Nakagawa T, Yokozawa T, Terasawa K, Shu S, Juneja LR (2002) Protective activity of green tea against free radical- and glucose-mediated protein damage. *J Agric Food Chem* 50: 2418-2422.
- Odegaard AO, Pereira MA, Koh WP, Arakawa K, Lee HP, Yu MC (2008) Coffee, tea, and incident type 2 diabetes: the Singapore Chinese Health Study. *Am J Clin Nutr* 88: 979-985.
- Peterson S, Dwyer J, Bahgwat S, Haytowitz D, Holden J, Eldridge A, Beecher G, Aladesanmi J (2005) Major flavonoids in dry tea. *J Food Composition and Analysis* 18: 487-501.
- Potenza MA, Marasciulo FL, Tarquinio M, Tiravanti E, Colantuono G, Federici A, Kim JA, Quon MJ, Montagnani M (2007) EGCG, a green tea polyphenol, improves endothelial function and insulin sensitivity, reduces blood pressure, and protects against myocardial I/R injury in SHR. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 292: E1378-E1387.
- Rhee SJ, Park GY (1997) Effects of green tea catechin on liver 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme a reductase activity and serum lipid levels in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 1187-1193.
- Seigo B, Naomi O, Midori N, Yuko M, Toshio T, Junji T (2001) *In vivo* comparison of the bioavailability of (+)-catechin, (-)-epicatechin and their mixture in orally administered rats. *J Nutr* 131: 2885-2891.
- Sin MK, Han SH, Han GJ (1997) The effects of green tea on the serum lipid and liver tissue of cholesterol fed rats. *Korean J Food Sci Technol* 29: 1255-1263.
- Song Y, Manson JE, Buring JE, Liu S (2004) Dietary magnesium intake in relation to plasma insulin levels and risk of type 2 diabetes in women. *Diabetes Care* 27: 59-65.
- Steinberg D, Parthasarathys, Carew TE, Khoo JC, Witztum J.L (1989) Modification of low-density-lipoprotein that increase its atherogenicity. *N Eng J Med* 320: 915-924.
- Stensvold I, Tverdal A, Solvoll K, Foss OP (1992) Tea consumption, relationship to cholesterol, blood pressure, and coronary and total mortality. *Prev Med* 21: 546-553
- Tavia G, William BK (1978) Menopause and coronary heart disease: Framingham study. *Ann Intern Med* 89: 157-161.
- The Korean Nutrition Society (2009) Food Values. pp 468-469.
- Venables MC, Hulston CJ, Cox HR, Jeukendrup AE (2008) Green tea extract ingestion, fat oxidation, and glucose tolerance in healthy humans. *Am J Clin Nutr* 87: 778-784.
- Villegas R, Gao YT, Dai Q, Yang G, Cai H, Li H, Zheng W, Shu XO (2009) Dietary calcium and magnesium intakes and the risk of type 2 diabetes: the Shanghai Women's Health Study. *Am J Clin Nutr* 89: 1059-1067.
- Vinson JA, Hao Y, Su X, Zubik L (1998) Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. *J Agric Food Chem* 46: 3630-3634.
- Wolfram S, Raederstorff D, Preller M, Wang Y, Teixeira SR, Riegger C, Weber P (2006) Epigallocatechin gallate supplementation alleviates diabetes in rodents. *J Nutr* 136: 2512-2518.

(2010년 1월 21일 접수, 2010년 2월 18일 채택)