

함초 보충시 당뇨유발 흰쥐의 지질과산화와 무기질 함량에 미치는 영향*

김 명 화[§]

덕성여자대학교 식품영양학과

Effects of *Salicornia herbacea* L. Supplementation on Lipid Peroxidation and Mineral Levels in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats*

Kim, Myung Wha[§]

Department of Food and Nutrition, Duksung Women's University, Seoul 132-714, Korea

ABSTRACT

This study was designed to examine the effects of *Salicornia herbacea* L. (glasswort: GW) on the lipid peroxidation and mineral levels in diabetic rats. Diabetes mellitus was induced in male Sprague-Dawley rats weighing 200–220 g by an injection of streptozotocin (STZ) dissolved in a citrate buffer into the tail vein at a dose of 45 mg/kg of body weight. Sprague-Dawley rats were fed an AIN-93 recommended diet and the experimental groups were fed a modified diet containing 10% and 20% of glasswort powder for 4 weeks. The experimental groups were divided into 6 groups which consisted of normal (N)-control group, N-GW 10% and N-GW 20% treated groups, STZ-control, STZ-GW 10% and STZ-GW 20% treated groups. The rats' liver and muscle glycogen, liver and kidney protein, cholesterol and triglyceride (TG) in liver, malondialdehyde (MDA) in liver and kidney values were measured, along with the hepatic of chromium (Cr), iron (Fe), and zinc (Zn) content. The liver glycogen levels was significantly affected in N-GW 20% group among all the experimental groups. The liver MDA levels of the STZ-GW 10% and STZ-GW 20% groups were significantly lower than for the STZ-control group. There were significant differences between the N-control group and the STZ-control group in the hepatic of Zn levels. The hepatic of Cr levels in the N-GW 20% and STZ-GW 10% and STZ-GW 20% groups were significantly higher than for the each control groups. These results exhibited dose related effect of glasswort and it may have favorable influence on lipid peroxidation in the liver. (*Korean J Nutr* 2007; 40(5): 403~412)

KEY WORDS : *Salicornia herbacea* L., streptozotocin, lipid peroxidation, mineral levels.

서 론

식생활의 서구화와 활동량의 감소 등으로 인하여 만성 대사성 질환의 유병률이 증가하고 있으며 대표적인 만성 대사성 질환의 하나인 당뇨병 또한 발병이 증가하여 당뇨병이 이환된 환자수가 2010년에는 2000년의 1억 5천만 명보다 약 46% 증가된 2억 2천만 명에 이를 것으로 추정되고 있다.¹⁾ 세계보건기구는 세계적으로 당뇨병의 유병률이 2000년도에 2.8%에서 2030년에 4.4%로 예측하고 있으

며²⁾ 당뇨병은 주요한 이환과 사망의 원인이 되는 성인병으로 최근에는 암 및 순환기계 질환과 더불어 3대 질환의 하나로 지목되고 있다.¹⁾

최근 우리나라도 다른 개발도상국처럼 급격한 경제성장과 의학의 발전으로 국민들의 평균수명이 증가했으며 그로 인해 노인 인구가 급증하고 당뇨병을 포함한 만성질환이 증가하고 있다. 현재 당뇨병 인구는 전체인구의 10%로 30년 전에 비해 10배 이상 증가하였고,³⁾ 당뇨병으로 인한 사망률도 2003년 통계청의 보고⁴⁾에 따르면 암, 뇌혈관질환 및 심장질환에 이어 4위를 차지하였다.

당뇨병은 당대사 이상, 단백질과 지질대사 및 전해질 대사의 이상을 초래하여 여러 기관에 영향을 주므로 신장병, 고지혈증 및 심장질환 등 혈관성 합병증의 유발 가능성이 매우 높다.⁵⁻⁷⁾ 당뇨병 합병증의 발병은 인슐린 부족 및 당내성 저하로 나타나는 지질대사 이상, 지질과산화의 급격한

접수일 : 2007년 5월 30일

채택일 : 2007년 7월 16일

*This research was supported by Duksung Women's University Research Grants 2006.

[§]To whom correspondence should be addressed.

E-mail : kmw7@duksung.ac.kr

증가 및 항산화방어계의 변화로 인한 조직의 손상이라고 볼 수 있다.⁸⁾ 따라서 당뇨병시 엄격한 혈당조절로 콜레스테롤과 중성지방을 낮추며⁹⁾ 반응성 산소유리기 등의 산화적 스트레스를 감소시키고¹⁰⁾ 조직의 항산화 방어체계를 강화하여 당뇨병성 미세혈관 등의 합병증의 위험을 감소시키는 것이 중요하다.

당뇨병은 만성적인 관리를 필요로 하는 질환으로 치료를 위한 비용뿐 아니라 치료시 발생하는 내성문제로 인해 당뇨관리에 식이치료는 매우 중요한 요인이다. 식이치료를 위해 자연식용식품은 영양학적 및 생리활성 측면에서 높은 가치가 인식되어지고 있으며, 민간요법으로 효과가 있는 것으로 알려진 천연식품은 약 400여종이 보고¹¹⁾되고 있지만 당뇨치료를 위해서 당뇨환자들은 쉽게 혈당을 조절할 수 있다는 생각으로 당뇨에 좋다고 선전되고 있는 민간요법 소재들을 충분한 과학적인 검토가 이루어지지 않았음에도 불구하고 일반적으로 상용화하고 있는 실정이다.

2000년 Kim 등¹²⁾의 연구에 의하면 대체의학을 경험한 비율은 70.8%로 매우 높았고 총 종류는 132종으로 일인당 평균 경험한 종류는 7.6종이었다. 대체의학을 경험하게 된 동기는 주위의 권유 (64.7%)가 가장 많았으며 2004년에 설문 조사된 Lee 등¹³⁾의 연구에 의하면 대체의학의 종류는 총 93종이었고, 당뇨병환자들이 가장 많이 이용한 대체의학은 35.4%의 환자에서 주로 경험한 것은 약초류였다. 당뇨환자들의 위한 건강기능성식품에 대한 효과가 아직 확실히 입증되지 않은 식품의 무분별한 이용은 당뇨를 악화시키고 당뇨 합병증을 증가시키는 부작용을 초래할 수 있으므로 건강식품의 오용과 남용을 막는 과학적 근거를 토대로 한 바람직한 건강식품의 정보제공이 매우 중요하리라 생각된다.

본 연구에서는 구전이나 민간요법으로 이용되어 온 자연식품의 효과적인 검색과 과학적인 근거자료를 확립하기 위한 일환으로 함초를 사용하였다. 함초 (*Salicornia herbacea* L.)는 명아주과 (Chenopodiaceae)에 속하는 일년생 초본 식물로 라틴명으로는 *Salicornia europea*, 영식으로는 Jointed glasswort, 우리말로는 통통하고 마디마다 튀어나온 풀이라 하여 '통통마디'라고 부른다. 일본, 프랑스 및 지중해에서는 함초를 샐러드로 먹거나 식재료로 이용하였고¹⁴⁾ 멕시코, 이집트 및 아랍에미리트연방에서는 식용이나 채종류와 같은 기름으로, 혹은 가축의 먹이로 사용하였다.¹⁵⁾ 우리나라에서는 바닷가에 사는 사람들이 드물게 나물로 무쳐 먹고 봄철 몸이 나른하고 밥맛이 없을 때 함초나물을 먹으면 눈이 맑아지고 밥맛이 좋아진다는 얘기가 전해지며, 황해도 지방에서는 함초를 소화불량, 위장병, 간염, 및 신장

병 등의 약으로 사용하였다.¹⁶⁾

함초에 관한 연구로는 함초의 뿌리, 잎 및 줄기마디의 성분함량,¹⁷⁾ 생리활성기능 탐색¹⁸⁾ 및 고콜레스테롤식사에서 항산화방어계에 미치는 영향,¹⁹⁾ 항산화효과²⁰⁾에 관한 연구가 보고되었다. 또한 함초가루의 혼합비율 최적화 연구를 통한 식품개발,²¹⁾ 함추추출물 발효액의 기능성에 관한 연구,²²⁾ 간독성 개선,²³⁾ 심혈관계질환 예방효능²⁴⁾ 및 함초의 약리효과에 관한 연구¹⁶⁾가 이루어졌고, 최근에는 함초의 면역증강제로의 활용가능성에 관한 연구²⁵⁾ 등이 보고되었다.

함초는 Na, Ca 및 K 그리고 Fe과 Zn가 다른 식물에 비해 풍부하고 필수지방산인 리놀렌산이 다량 함유하며 필수 아미노산의 함량이 총 아미노산 함량 대비 약 40%를 함유하고 있어 성인병 예방 및 치료를 위한 천연식품으로 식재료화하기에 좋은 식품이다.²⁶⁾ 최근에는 기호식품으로 음료와 인터넷 등으로 많이 시판되고 있으나 함초의 당뇨와 지질대사에 미치는 과학적이고 체계적인 영양학적인 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 1차적으로 함초분말을 식이에 첨가하여 혈당과 에너지대사물에 관한 연구²⁷⁾를 실시하였으며 이의 후속 연구로 다른 식품과 달리 무기질을 다량 함유하는 내염생 식물인 함초가 정상과 당뇨시 지질과산화와 무기질 수준에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서 시료로 사용한 함초 (glasswort: GW)는 경상북도 청도군에서 수확하여 자연건조시킨 것을 구입하여 분말화하였다. 함초의 분말시료는 냉장보관하면서 실험하였다.

실험동물 사육 및 당뇨유발

실험동물은 체중 220 g 내외의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 샘타코 (주식회사 샘타코 Biokorea, 오산, 경기도)로부터 구입하여 stainless steel cage에 한 마리씩 넣고 온도 22 ± 2°C에서 고형사료 (주식회사 샘타코)로 1주일간 예비사육한 후 난괴법에 의해 6개 군으로 나누어 사용하였다.

실험군은 정상과 당뇨시 각각 3개군으로 나누어 정상실험군에는 함초를 첨가하지 않은 정상대조군 (Normal)과 정상대조군에 함초를 각각 10% (Normal-GW 10%)와 20% (Normal-GW 20%)를 AIN-93 기본식이²⁸⁾에 첨가하였고, 당뇨실험군에는 함초를 첨가하지 않은 당뇨대조군 (STZ-

control)과 당뇨대조군에 함초를 각각 10% (STZ-GW 10%)와 20% (STZ-GW 20%)를 AIN-93 기본식이에 첨가하여 실험하였다. 정상대조군과 당뇨대조군 모두 AIN-93 기본식으로 공급하였고 함초 첨가 실험군의 식이는 AIN-93 기본식이를 변형하여 실험동물에게 분말화한 함초를 각각 10%와 20%씩 보충정도를 달리하여²⁹⁾ 각각의 해당식으로 4주간 공급하였고 실험식이와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다 (Table 1). 실험동물은 처음 실험을 시작할 때 정상 실험군의 경우 10마리로 실시하였고 당뇨시에는 14마리로 실험을 실시하여 사육하였다. 최종 결과에서 sample size가 9에서 14까지 다른 이유는 정상시는 동물이 특별한 경우를 제외하고는 잘 죽는 경우가 많지 않았지만 당뇨시에는 실험과정 중에 STZ으로 인한 당뇨유발과 treatment를 적용하지 않은 이유 등으로 동물이 죽는 경우가 발생하였다.

당뇨유발은 실험동물을 16시간 절식시킨 후 췌장의 β -세포에만 특이적으로 작용하여 다른 기관에 영향을 미치지

않는다고 알려진³⁰⁻³³⁾ streptozotocin (STZ, Sigma Chemical Co.)을 pH 4.5의 0.01 M citrate buffer에 45 mg/kg B.W. 농도로 녹여 꼬리정맥에 주사하였다. 당뇨병의 유발 확인은 24시간 후 안구정맥총에서 채혈하여 혈장 중의 포도당 농도가 300 mg/dl 이상인 것을 당뇨가 유발된 것으로 확인하였다. 정상실험군에는 0.01 M citrate buffer를 당뇨실험군과 같은 방법으로 주사하였다.

생화학적 분석

실험 4주의 마지막 날에는 실험동물을 에테르로 마취시켜서 단두로 희생시킨 후 즉시 개복하여 간장을 적출하였고 근육은 뒷다리 상단부에서 적출하여 분석시까지 -70℃에서 급속 냉동시켜 실험에 이용하였다. 간과 근육의 글리코겐 함량은 Hassid와 Abraham의 방법³⁴⁾으로 간장과 신장의 단백질 함량은 Biuret법³⁵⁾으로 흡광도를 측정하여 정량하였다. 간장 중성지방은 Trinder법³⁶⁾으로, 콜레스테롤은 효소법³⁷⁾에 의해 제조된 kit (영동제약)를 사용하여 측정하였다. 간장과 신장 중에 함유되어 있는 지질과산화물 (malondialdehyde: MDA)의 수준은 Mihara와 Uchiyama의 방법³⁸⁾을 이용하여 분석하였다. 간장에서 MDA 생성량을 계산하고 Lowry 등³⁹⁾의 방법에 따라 단백 함량을 정량한 후 이를 nmol/mg protein으로 나타내었다. 간장의 chromium (Cr), iron (Fe) 및 zinc (Zn) 함량을 원자흡광분석 광도계 (atomic absorption spectrophotometer, AAS, Sunil 3100A)로 분석하였다.

통계처리

모든 자료의 통계분석은 SAS (statistical analysis system) package를 사용하여 실시하였고 분석수치는 평균과 표준편차 (standard deviation, SD)로 표시하였다. 실험군 간의 차이는 one way analysis of variance (ANOVA)를 실시하여 검증하였고 p < 0.05 수준에서 유의성이 관찰된 경우 각 실험군 간의 평균값의 차이에 대한 유의성은 Duncan's multiple range test를 이용하여 평가하였다.

결 과

간장 및 근육의 글리코겐 함량

정상과 당뇨시 함초 보충에 따른 당질대사물인 글리코겐 저장 상태를 알아보기 위해 간장과 근육의 글리코겐 수준을 측정하였다 (Table 2). 간장 글리코겐 함량은 정상시에 비하여 당뇨시 유의적인 차이가 없었고, 정상일 때 함초 20% 첨가시 (23.63 ± 3.92 mg/g) 정상대조군에 비해 유의적으로 낮아 전 실험군 중 가장 낮은 수준이었다. 근육 글리

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

Components	Control diet ¹⁾	Experimental diet ²⁾	
		10%	20%
Cornstarch	465.692	404.792	343.892
Casein	140.0	129.4	118.8
Dextrinized cornstarch	155.0	155.0	155.0
Sucrose	100.0	100.0	100.0
Soybean oil	40.0	36.5	33.0
Fiber	50.0	25.0	0.0
Mineral mix ³⁾	35.0	35.0	35.0
Vitamin mix ⁴⁾	10.0	10.0	10.0
L-Cystine	1.8	1.8	1.8
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5
Tert-butylhydroquinone	0.008	0.008	0.008
Glasswort	-	100.0	200.0

1) Control diet: AIN-93 diet

2) Experimental diet: control diet + glasswort powder

3) AIN-93 Mineral mixture (g/kg): Calcium carbohante anhydrous 357.0, Potassium phosphate monobasic 250.0, Potassium citrate (tripotassium monohydrate) 28.0, sodium chloride 74.0, Potassium sulfate 46.6, Magnesium oxide 24.0, Ferric citrate 6.06, Zinc carbonate 1.65, Sodium meta-silicate · 9 H₂O 1.45, Manganous carbonate 0.63, Cupric carbonate 0.30, Chromium potassium sulfate · 12 H₂O 0.275, Boric acid (mg) 81.5, Sodium fluoride (mg) 63.5, Nickel carbonate (mg) 31.8, Lithium chloride (mg) 17.4, Sodium selenate anhydrous (mg) 10.25, Potassium iodate (mg) 10.0, Ammonium paramolybdate · 4 H₂O 7.95, Ammonium vanadate (mg) 6.6, Powdered sucrose 209.806

4) AIN-93 Vitamin mixture (g/kg): Nicotinic acid 3.0, Ca pantothenate 1.6, Pyridoxine-HCl 0.7, Thiamin-HCl 0.6, Riboflavin 0.6, Folic acid 0.2, Biotin 0.02, Vitamin B₁₂ (cyanocobalamin) 2.5, Vitamin E (all-rac- α -tocopheryl acetate) 15.0, Vitamin A (all-trans-retinyl palmitate) 0.8, Vitamin D₃ (cholecalciferol) 0.25, Vitamin K₁ (phyloquinone) 0.075, Powdered sucrose 974.655

Table 2. Effect of glasswort of glycogen levels in liver and muscle on normal and diabetic rats (mg/g)¹⁾

Group	Liver	Muscle
Normal (10)	27.01 ± 3.76 ^{b2)}	2.07 ± 0.05 ^d
N-GW10% (10)	28.81 ± 2.26 ^{ab}	2.15 ± 0.06 ^c
N-GW20% (9)	23.63 ± 3.92 ^c	2.32 ± 0.02 ^d
STZ-control (9)	29.46 ± 3.86 ^{ab}	2.00 ± 0.04 ^e
STZ-GW10% (12)	30.13 ± 1.41 ^a	2.19 ± 0.08 ^c
STZ-GW20% (14)	29.08 ± 2.15 ^{ab}	2.25 ± 0.07 ^b

1) Values are mean ± S.D.

2) Values with different superscript within the same column are significantly different at the p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Normal: normal control, N-GW 10%: normal-glasswort 10%, N-GW 20%: normal-glasswort 20%, STZ-control: diabetic control, STZ-GW 10%: diabetic-glasswort 10%, STZ-GW 20%: diabetic-glasswort 20%

코겐의 함량은 당뇨시에 비해 정상시에 유의적으로 높았으며, 정상시에는 정상대조군에 비해 함초 10%와 20% 첨가시 유의적으로 높은 수준이었고 함초 20% 첨가시 (2.32 ± 0.02 mg/g) 실험군 중 가장 높은 수준이었다. 당뇨시 근육의 글리코겐 수준은 함초 첨가시 보다 당뇨대조군에서 유의적으로 낮은 수준이었고, 함초 10% 보다 20% 첨가시 높은 유의적인 수준으로 간장 보다 근육에서 장기별로 글리코겐 함량 차이가 뚜렷하였다.

간장의 글리코겐 함량은 정상과 당뇨시 뚜렷한 차이를 보이지 않았고, 근육의 글리코겐 수준에서는 정상과 당뇨시 대조군과 실험군간에 유의적인 차이를 보여주었으며 근육에 남아있는 글리코겐 함량이 모두 함초 보충에 의해 증가하는 변화를 볼 수 있었다.

간장 및 신장 단백질 함량

정상과 당뇨시 단백질 수준 (Table 3)을 보면 간장 단백질 수준은 정상시에 비해 당뇨시 증가하였고, 정상시에는 함초 20% 첨가시 정상대조군에 비해 유의적으로 높은 수준이었다. 당뇨시 군 간에는 차이를 보이지 않으나 함초 20% 첨가시 보다는 10% 첨가시 당뇨대조군에 비해 유의적인 차이를 보였다. 신장 단백질의 수준은 정상시에는 정상대조군에 비해 함초 보충시 유의적으로 높은 수준이었고 당뇨시 당뇨군 간에는 차이가 없으나 당뇨대조군에 비해 함초 20% 첨가시 유의적으로 낮은 수준을 보였다. 본 연구에서는 정상시 함초 보충수준이 높을수록 간장과 신장 단백질 수준이 높아졌고 함초 보충에 의해 신장의 단백질 함량이 뚜렷하게 수준 차이를 보였다. 당뇨시에는 간장과 신장의 단백질 수준이 함초 보충수준이 높을수록 낮아지는 경향을 보였다.

Table 3. Effect of glasswort liver and kidney protein levels on normal and diabetic rats (mg/g)¹⁾

Group	Liver protein	Kidney protein
Normal (10)	153.19 ± 20.58 ^{c2)}	150.94 ± 7.65 ^b
N-GW10% (10)	164.11 ± 37.59 ^c	180.05 ± 27.36 ^a
N-GW20% (9)	179.94 ± 35.97 ^{bc}	185.00 ± 52.10 ^a
STZ-control (9)	179.97 ± 38.94 ^{bc}	160.85 ± 27.02 ^{ab}
STZ-GW10% (12)	231.47 ± 70.76 ^a	169.87 ± 28.35 ^{ab}
STZ-GW20% (14)	215.13 ± 44.49 ^{ab}	143.42 ± 33.06 ^b

1) Values are mean ± S.D.

2) Values with different superscript within the same column are significantly different at the p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Normal: normal control, N-GW 10%: normal-glasswort 10%, N-GW 20%: normal-glasswort 20%, STZ-control: diabetic control, STZ-GW 10%: diabetic-glasswort 10%, STZ-GW 20%: diabetic-glasswort 20%

Table 4. Effect of glasswort cholesterol and triglyceride (TG) levels in liver on normal and diabetic rats (mg/g)¹⁾

Group	Cholesterol	TG
Normal (10)	2.72 ± 0.33 ^{c2)}	9.27 ± 1.41 ^d
N-GW10% (10)	4.29 ± 0.56 ^b	11.80 ± 1.88 ^c
N-GW20% (9)	4.18 ± 1.22 ^b	15.10 ± 1.49 ^b
STZ-control (9)	5.29 ± 0.98 ^a	12.74 ± 1.66 ^c
STZ-GW10% (12)	5.79 ± 0.87 ^a	13.84 ± 3.20 ^{bc}
STZ-GW20% (14)	5.08 ± 1.02 ^a	17.55 ± 2.69 ^a

1) Values are mean ± S.D.

2) Values with different superscript within the same column are significantly different at the p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Normal: normal control, N-GW 10%: normal-glasswort 10%, N-GW 20%: normal-glasswort 20%, STZ-control: diabetic control, STZ-GW 10%: diabetic-glasswort 10%, STZ-GW 20%: diabetic-glasswort 20%

간장 콜레스테롤 및 중성지방 함량

정상과 당뇨시 지질 대사물의 수준 (Table 4)을 살펴보면 간장 내 콜레스테롤 함량은 정상일 때 함초 보충시 콜레스테롤 수준이 정상대조군에 비해 유의적으로 높은 수준이었다. 정상시에 비해 당뇨시에 콜레스테롤 수준이 유의적으로 높았고, 당뇨시에는 함초 20% 첨가시 10% 보다 낮았으나 당뇨대조군에 비해 유의적인 차이를 보이지 않았으므로 정상이나 당뇨쥐에서 모두 함초 보충에 따라 콜레스테롤 저하효과는 입증되지 않았다.

간장 중성지방 수준은 콜레스테롤 수준과 같이 정상시에 당뇨일 때 보다 유의적으로 낮은 수준이었고 정상대조군에서 전 실험군 중 가장 낮은 수준이었다. 정상시에는 함초 보충에 따라 정상대조군에 비해 유의적으로 높은 수준이었고 함초 20% 첨가 보다는 함초 10% 첨가시에 다소 낮은 경향이었다. 당뇨시에는 당뇨대조군에 비해 함초 20% 첨

Table 5. Effect of glasswort malondialdehyde (MDA) in liver and kidney on normal and diabetic rats (nmol/mg protein)¹⁾

Group	Liver MDA	Kidney MDA
Normal (10)	0.11 ± 0.01 ^{ab2)}	0.43 ± 0.11 ^b
N-GW10% (10)	0.11 ± 0.02 ^{ab}	0.73 ± 0.43 ^a
N-GW20% (9)	0.08 ± 0.02 ^b	0.55 ± 0.19 ^{ab}
STZ-control (9)	0.12 ± 0.03 ^a	0.37 ± 0.16 ^b
STZ-GW10% (12)	0.09 ± 0.02 ^b	0.52 ± 0.21 ^{ab}
STZ-GW20% (14)	0.08 ± 0.02 ^b	0.37 ± 0.18 ^b

1) Values are mean ± S.D.

2) Values with different superscript within the same column are significantly different at the p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Normal: normal control, N-GW 10%: normal-glasswort 10%, N-GW 20%: normal-glasswort 20%, STZ-control: diabetic control, STZ-GW 10%: diabetic-glasswort 10%, STZ-GW 20%: diabetic-glasswort 20%

가시 중성지방 수준은 유의적으로 높게 나타났다.

간장 및 신장 지질과산화물 함량

조직에서 지질과산화에 미치는 영향을 조사하기 위해 과산화과정의 2차 단계에서 생성되는 MDA 수준을 간장과 신장에서 분석하여 정상과 당뇨시의 식이에 함초분말 첨가에 따른 수준의 변화를 Table 5에 제시하였다.

간장의 MDA 수준은 정상일 때 보다는 당뇨시에 높은 수준이었고 정상시에는 함초 20% 첨가시 정상대조군에 비하여 간장의 MDA 수준이 낮은 결과였으나 유의적인 수준은 아니었다. 당뇨시에는 함초 10%와 20% 첨가시 당뇨대조군에 비해 유의적으로 간장의 MDA 수준이 감소되었다.

신장에서의 MDA 수준은 정상일 때 실험군 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았으나 정상대조군 비해 함초 20% 보다는 10% 보충시 유의적으로 높은 수준이었다. 당뇨시에는 함초 10% 첨가시 당뇨대조군 보다 높았으나 유의적인 차이는 보이지 않았고 간장에서와 다르게 신장의 MDA 수준을 낮추는 효과는 검증되지 않았다.

간장의 무기질 함량변화

간장의 무기질 함량은 Table 6에 제시하였다. 인슐린 작용에 관여한다고 알려진 Cr 수준을 정상과 당뇨시 비교하여 보면 유의적인 차이는 없었으나 당뇨시에는 정상보다 낮은 Cr 수준이었다. 정상시 Cr 수준은 함초 20% 첨가에서 정상대조군이나 함초 10% 첨가군 보다 유의적으로 높은 수준을 보였다. 당뇨시 Cr 수준은 함초 보충시 당뇨대조군보다 유의적으로 높은 수준이었고 함초 20% 첨가시 함초 10% 첨가 보다는 Cr의 높은 수준 차이를 보였다.

간장에서 측정된 Fe 수준은 정상시에 비해 당뇨시에 유의적으로 높은 수준이었고 정상대조군의 Fe 수준 (84.74

Table 6. Effect of glasswort the hepatic mineral concentrations on normal and diabetic rats (ppm/g)¹⁾

Group	Cr	Fe	Zn
Normal (10)	2.78 ± 0.54 ^{cd2)}	84.74 ± 8.92 ^d	18.38 ± 3.81 ^b
N-GW10% (10)	2.45 ± 0.29 ^{cd}	94.17 ± 14.96 ^{cd}	17.59 ± 1.41 ^b
N-GW20% (9)	4.12 ± 0.67 ^b	108.31 ± 22.68 ^{abc}	18.48 ± 1.97 ^b
STZ-control (9)	2.58 ± 0.31 ^d	102.11 ± 22.94 ^b	23.82 ± 4.14 ^a
STZ-GW10% (12)	3.07 ± 0.59 ^c	110.71 ± 17.98 ^a	23.00 ± 3.03 ^a
STZ-GW20% (14)	5.61 ± 0.86 ^a	123.18 ± 10.89 ^{ab}	22.21 ± 2.96 ^a

1) Values are mean ± S.D.

2) Values with different superscript within the same column are significantly different at the p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Normal: normal control, N-GW 10%: normal-glasswort 10%, N-GW 20%: normal-glasswort 20%, STZ-control: diabetic control, STZ-GW 10%: diabetic-glasswort 10%, STZ-GW 20%: diabetic-glasswort 20%

± 8.92 ppm/g)은 전 실험군 중 가장 낮은 수준이었다. 정상시 함초 20% 첨가군에서는 정상대조군에 비해 유의적으로 Fe 수준이 높았다. 당뇨시에는 당뇨대조군에 비해 함초 10% 첨가시 유의적으로 높은 수준이었으나 함초 20% 첨가군과의 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Zn 수준은 정상시에 비해 당뇨시 유의적인 증가가 뚜렷하였으나, 정상시나 당뇨시 모두 함초 보충에 따른 유의적인 수준 차이를 보이지 않았다.

고 찰

간장 및 근육의 글리코겐 함량에 미치는 영향은 정상일 때 함초 20% 보충시 간장 글리코겐 수준이 정상대조군에 비해 유의적으로 낮았는데 이는 당질 대사시 함초의 성분 중 식이섬유소⁴⁰⁾가 소화 흡수에 작용한 것으로 보여지나 정상시 근육의 글리코겐의 수준이 함초 첨가시 정상대조군 보다 높은 수준으로 유의적인 차이를 보여 더 연구가 필요 하리라 보여진다. STZ 유발에 따른 근육과 간장의 글리코겐 함량 감소에 대한 영향이 다르게 나타난 것은 간장 글리코겐 함량은 실험동물과 인체가 유사하나 근육 글리코겐 함량은 실험동물이 인체보다 매우 적기 때문으로 보여진다.⁴¹⁾

STZ에 의해 당뇨가 유발된 쥐에서는 간장과 골격근 모두 글리코겐 대사에 영향을 받아 글리코겐 합성을 촉진하는 glycogen synthase의 활성이 낮으나,⁴²⁾ 인슐린 저항이 간장은 STZ 투여 후 3일 이내에 일어나고 골격근의 경우 그 기간 이상이 필요하다고 하였으며 간장은 당뇨시 현저히 영향을 받아 간장의 글리코겐 수준이 낮아진다.⁴³⁾ Kamalakkannan 등⁴⁴⁾의 연구에서도 STZ으로 당뇨를 유발하였을 때 간장의 글리코겐 수준이 낮아지는데 본 연구에서

는 당뇨시 간장의 글리코겐 수준에서는 정상시와 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 근육의 글리코겐은 함초 첨가시 유의적으로 높아서 정상시와 비슷한 수준으로 당뇨대조군과 차이를 보였는데 이는 근육의 글리코겐이 완전 분해상태 보다는 다소 저장이 가능한 상태로 생각된다. 당뇨시 췌장의 β -cell에 파괴에 의한 인슐린 부족으로 glycogen phosphorylase가 활성화되고 글리코겐의 분해가 증대되어 간의 글리코겐 함량이 감소되는데⁴⁵⁾ 본 연구에서는 다른 결과를 보였다.

당뇨가 잘 치료되지 않으면 단백질을 에너지원으로 사용하기 위하여 branched chain keto acid dehydrogenase의 활성이 증가되어 단백질의 이화작용이 증가되는데 이러한 단백질의 소모는 당뇨가 오래가면 더 명확하게 나타난다.⁴⁶⁾ 본 연구에서는 당뇨시 함초를 보충하였을 때 간장의 단백질 수준의 차이를 보여 단백질의 이화작용을 다소 늦출 수 있을 것으로 생각된다. STZ로 당뇨가 유발된 쥐는 간장과 신장에 손상을 받는데 과량의 포도당이 요탄당인산 회로에 의해 glucose flux를 증가시키고 또한 RNA와 DNA의 합성의 증가된 결과로 신장의 비대를 가져 온다.⁴⁷⁾ 또한 인슐린에 크게 의존하는 골격근의 경우 당뇨시 단백질의 계속적인 분해로 인한 위축현상을 보여 결국 당뇨시 신장이 커지게 된다.⁴⁸⁾ 본 연구결과에서는 정상시에는 함초 보충에 따라 단백질의 소모보다는 합성이 촉진된 것으로 보여지며 당뇨시에는 선행연구결과²⁷⁾에서 신장의 무게가 함초 10% 첨가 보다는 함초 20% 첨가시 유의적으로 낮아졌는데 이는 당뇨시 단백질 합성이 느려져 신장의 비대를 다소 낮출 뿐 아니라 단백질 교체율도 낮아져서 특히 미토콘드리아, 핵, 세포질 혹은 마이크로솜 단백질에 영향을 주어 단백질 결합력을 유지하는데⁴⁶⁾ 함초 보충시 단백질 대사에 영향을 주는 것으로 보여진다.

간장 내 콜레스테롤 함량의 축적은 STZ 투여로 인하여 인슐린 분비가 저하되면 정상적으로 당대사가 원활이 일어나지 않아 acetyl-CoA 축적으로 인한 지방합성이 증가하여 간장 내 지질이 축적되고 지방변성이 일어나게 된다.⁴⁹⁾ 또한 STZ 투여로 간조직 내에 지질성분이 축적되고 혈액 내 지방이 중성지방으로 전환되는 속도가 빨라져 간조직 내 중성지방의 함량 증가를 볼 수 있다.⁵⁰⁾ 본 연구에서는 정상시에 비해 당뇨시 간장의 콜레스테롤 수준이 유의적으로 높은 수준으로 이 결과는 당뇨가 잘 조절되지 않으면서 간장의 hydroxyl methyl glutaryl CoA (HMG-CoA) reductase 효소 활성 감소와 장의 HMG-CoA reductase 효소 활성 증가로 콜레스테롤이 순환혈액으로 이동되어 에너지원으로 이용되기 위한 적응현상으로 보여진다.⁵¹⁾

함초에 관한 다른 연구에서는 함초가 고농도 수준의 betaine를 함유하여 homocysteine 수준을 낮출 뿐 아니라 콜레스테롤과 지질 함량을 낮추었다^{16,24,26)}고 하였는데 본 연구에서는 정상시에 함초 보충에 따라 콜레스테롤과 중성지방의 수준이 낮아지지 않았다.

본 연구에서 당뇨시 중성지방은 Goswamy 등⁵²⁾의 연구에서 정상쥐의 수준보다 높다고 보고한 결과와 일치하며 이것은 혈중의 포도당이 효과적으로 유입되어 그로 인하여 조직 중의 중성지방이 에너지원으로써 보다 많이 이용된 결과로 당뇨시 함초 10% 첨가 보다는 20% 첨가시 중성지방이 에너지원으로 작용이 활발한 것으로 보여진다. 함초의 식이섬유소 및 flavonoids 등의 작용은 지방배설 증진 및 합성억제로 중성지방을 분해시켜 지질수준 저하에 작용한다^{53,54)}고 하였으나 본 연구에서는 4주 동안의 함초 식이 섭취에 의해서는 중성지방을 분해시키는 효과가 있는 것으로 보이지는 않는다. 또한 당뇨시 간장의 콜레스테롤 수준에서 유의적인 차이는 보이지 않았으나 MDA 수준 (Table 5)을 보면 함초의 높은 cellulose 함유는 간에서의 HMG-CoA reductase의 활성을 증가시켜 담즙합성의 촉진과 콜레스테롤 소장내 흡수지연은 생체의 항상성을 유도할 수 있어서⁵⁵⁾ 조직내 세포의 산화적 스트레스 감소와 생체내 항산화 방어력을 증가시킬 수 있으리라 추정은 되나 본 연구에서는 당뇨시 함초 보충에 따른 간지방에 대한 영향은 보여지지 않았다.

지질과산화물 함량은 반응성이 높은 유리기에 의해 세포막지질의 불포화지방산들이 산화적 분해를 일으켜 산화적 스트레스의 지표가 되는 MDA 수준은 기관별 장기별로 민감도가 다른 것으로 보여진다.⁵⁶⁾

본 연구에서는 간장의 MDA 함량은 정상시 보다 당뇨시에 유의적으로 높은 수준이었고 정상시에는 함초 20% 첨가시 정상대조군보다 낮아졌고 당뇨시 함초 보충에 따라 간장의 MDA 수준이 유의적으로 낮아져서 정상시의 함초 20% 첨가시와 유사한 MDA 함량 수준이었다. 정상시 신장의 MDA 수준은 함초 10% 첨가시 높아지는 경향으로 함초 보충에 따른 영향 (Table 5)을 보면 신장에서 보다 간장에서 민감한 영향을 받는 것으로 보여진다. 당뇨병과 같은 상태에서는 유리기 생성계의 하나인 mixed function oxidase계가 활성화됨으로써 O_2^- 와 H_2O_2 가 발생되어 지질과산화 증가되며 당뇨 유발쥐의 신장에서 MDA의 수준이 높아진다 보고하였다.^{57,58)} 본 연구에서도 간장의 MDA 수준보다 신장의 MDA 수준이 높는데 이는 신장이 간장이나 다른 조직에 비해 지질과산화에 저항성이 낮은 것으로 생각된다. 또한 당뇨시 지속적인 고혈당은 자동 산화와 비효

소적인 단백질이 당화를 통해 산소유리기의 생성을 증가시키고 산소유리기가 막 인지질의 지질과산화물을 초래하여 지질산화 생성물인 MDA 함량을 증가시키는데⁵⁹⁾ 당뇨시 합초 보충에 따라 혈당 수준²⁷⁾을 저하시켰으므로 합초가 산소유리기의 생성을 억제시켜 간장의 MDA 수준을 낮추는데 작용하였을 것으로 생각되어진다.

합초에는 항산화성 페놀화합물이 존재하며 Han과 Kim²⁰⁾의 연구에 의하면 시료에 합초 10% 첨가한 것이 천연항산화제인 α -tocopherol을 1% 첨가한 것과 비슷한 항산화 효과를 나타냈고, 합초는 높은 전자공여능^{18,60)}을 가지고 있어서 지방의 산화를 막는데 기여할 수 있으리라 생각되어진다. Kim 등¹⁹⁾의 연구에서도 간조직의 항산화계를 강화시켜 조직의 산화적 손상을 감소시키는 결과를 보였는데 본 실험에서도 정상과 당뇨시 합초를 보충하여 간장에서 지질과산화로 축적된 과산화지질 수준을 낮추었는데 이것은 합초의 항산화 체계가 작용한 것으로 보여진다.

간장의 무기질 함량 변화를 살펴보면 Cr은 "glucose tolerance factor"라는 작은 유기 화합물의 활성성분으로서 인슐린의 cofactor로 작용하여 인슐린 수용체 수를 증가시키고 인슐린 수용체의 인산화를 증가시켜⁶¹⁾ 정상적인 포도당 대사에 관여하는 필수 무기질이다. Cr이 인슐린작용시 조효소로 작용하여 혈당 수준에 영향을 주므로 당뇨시 간장의 Cr 수준은 정상보다 낮아진다.⁶²⁾ 합초 보충에 따른 혈장포도당수준은 정상시와 당뇨시에 현저하게 유의적인 차이를 보였고 정상대조군 22%, 합초 10% 첨가시 17.0%, 합초 20% 첨가시 18.6%의 혈당증가를 보였으나 정상시에는 합초 첨가에 따라 혈당의 유의적인 차이를 보이지 않았다. 당뇨시에는 혈당증가율이 당뇨대조군에 비해 합초 10% 첨가시 57.9%, 합초 20% 첨가시 26.9%여서 합초 보충에 따른 혈당수준이 유의적으로 낮은 수준을 보여주었다.²⁷⁾ Ahn 등⁶³⁾의 연구에 의하면 간장 내의 Cr 함량과 혈당과는 연관성이 적은 결과였으나, Cr과 포도당 당내성 사이에 상관성을 보여 성인 당뇨환자의 Cr 보충시 포도당 이용율을 증가시킨다고 하였는데⁶⁴⁾ 본 실험에서도 간장 내의 높은 Cr 함량은 합초 첨가에 따라 정상시 보다는 당뇨시 혈당수준과 뚜렷한 연관성이 검색되었다. 본 연구에서는 당뇨시와 정상시 모두에서 합초 20% 보충시 합초의 Cr 함량이 포도당의 이용율을 증가시켜 포도당 대사에 영향을 준 것으로 여겨진다.

당뇨시 합초 첨가에 따른 Fe함량은 당뇨대조군 보다 높았는데 이는 당뇨 유발로 인한 체장과 부신피호르몬 수준의 급격한 변화에 의해 간장에서 Fe 함량이 증가⁶⁵⁾된 것으로 사료된다. 당뇨시 생체변화나 스트레스에 의한 반응으로

간장의 미량 원소의 함량이 증가되는데 본 연구에서도 간장의 Fe 함량이 높아 합초 보충시 당뇨에 의한 스트레스를 감소시키거나 호전시킬 수 있는 수준은 아닌 듯하다.

Masataka와 Keiko⁶⁶⁾ 연구에서는 폴리페놀물질이 Fe과 킬레이트 작용을 함으로써 안정한 물질을 형성하여 활성산소의 제거제로 작용한다고 보고되었고 합초에는 Na성분 뿐 아니라 Ca, Mg, Fe 및 Zn 성분들이 합초에 고농도로 존재하기 때문에 정상시에는 철분의 함량이 높아 간장 내에서의 항산화 체계에 긍정적인 영향을 줄 것으로 보여진다.

STZ으로 당뇨가 유발된 쥐의 간장에서 Zn 함량이 증가하는데 본 연구에서는 Zn의 함량이 높은 수준으로 정상시 보다는 당뇨시 당뇨유발로 인하여 스트레스를 받은 것으로 보여진다. Zn의 결핍시에는 지질과산화도 증가되는데⁶⁴⁾ 당뇨시 군 간의 Zn 수준에 유의적인 차이는 보이지 않았지만 합초 20% 보충시에는 Zn 함량이 증가되는 않았고 간장의 지질과산화수준도 높아지지는 않아서 (Table 5) 당뇨시 스트레스를 호전시키는 정도는 아니지만 대사 변화에는 적응이 가능한 것으로 보인다. 정상시에도 합초 보충에 따른 Zn 수준이 변화를 보이지 않아 본 실험은 4주 동안의 합초보충 연구로 Zn 수준은 민감하게 영향을 받지 않는 것으로 보여진다.

요약 및 결론

본 실험은 정상과 당뇨시 합초 분말 첨가에 따른 에너지 대사물 수준과 무기질 수준을 검색하기 위한 연구로 실험군은 정상실험군과 당뇨실험군으로 나누어 정상대조군 (Normal)과 당뇨대조군 (STZ-control)에 각각 합초 (glasswort: GW)분말 10%와 20%를 첨가하여 6개 군으로 실험하였다. 실험동물은 체중 220 g 내외의 Sprague-Dawley계 수컷으로 STZ로 당뇨를 유발한 흰쥐에게 4주간 각각의 해당식을 공급하여 글리코겐 함량, 단백질함량, 콜레스테롤 함량과 중성지방 함량 및 malondialdehyde (MDA) 함량과 Cr, Fe 및 Zn의 무기질 함량을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 간장의 글리코겐 함량은 정상과 당뇨시 뚜렷한 차이를 보이지 않았고 정상일 때 합초 20% 첨가시 정상대조군에 비해 유의적으로 낮았으며 전 실험군 중 가장 낮은 수준이었다. 근육의 글리코겐은 정상시 보다 당뇨시 유의적으로 낮았고 정상과 당뇨일 때 모두 합초 보충에 의해 유의적으로 증가하는 변화를 볼 수 있었다.

2) 간장 단백질 함량은 당뇨시 합초 10%와 20% 첨가시 당뇨대조군 보다는 높은 수준이었고, 신장 단백질의 수

준은 함초 첨가시 정상대조군에 비해 유의적으로 높았고 당뇨병시에는 함초 20% 첨가시 낮은 신장 단백질 수준이었다.

3) 간장의 콜레스테롤 함량은 정상시 정상대조군에 비해 함초 10%와 20% 첨가시 유의적으로 높은 수준이었고 당뇨병시에는 함초 첨가에 따른 콜레스테롤 수준에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 간장의 중성지방 함량은 정상시에는 함초 첨가에 따라 정상대조군에 비해 유의적으로 높은 수준이었고 당뇨병시에는 함초 20% 첨가시 당뇨병대조군에 비해 유의적으로 높은 수준이었다.

4) 간장의 MDA 함량은 당뇨병시 함초 10%와 20% 첨가시 당뇨병대조군에 비해 유의적으로 낮은 수준이었다. 신장의 MDA 함량은 정상시 함초 10% 첨가시에 신장 단백질 수준이 유의적으로 높았으나 실험군간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

5) 간장에서 무기질 함량을 측정한 결과 정상시 Cr 수준은 함초 20% 첨가시 정상대조군에 비해 유의적으로 높은 수준이었고 당뇨병시에는 함초 10%와 20% 첨가시 당뇨병대조군에 비해 유의적으로 높은 Cr 수준이었다. Fe 수준은 정상시 함초 20% 첨가군에서는 정상대조군에 비해 유의적으로 높았다. 당뇨병시에 간장 내의 Fe 수준은 당뇨병대조군에 비해 함초 10% 첨가시 유의적으로 높은 수준이었으나 함초 20% 첨가군과의 유의적인 차이를 보이지 않았다. Fe 수준은 당뇨와 정상시 모두 각각의 실험대조군에 비해 높은 수준차이는 보였으나 당뇨와 정상시 각각의 실험군간에는 뚜렷하게 유의성이 검증되지는 않았다. 당뇨병시 Zn 수준은 정상시에 비해 유의적으로 뚜렷하게 높은 수준 차이를 보였으나 함초보충에 의한 영향을 보이지 않았다.

이상의 연구결과 간장보다는 근육에서 함초 보충시 글리코겐 수준에 더 영향을 주었고 간지방 수준의 변화에서 콜레스테롤 수준을 낮추는데 정상과 당뇨병시 모두에서 함초의 영향이 나타나지 않았으나 간장의 MDA 수준을 낮추는데는 뚜렷한 효과를 보였다. Cr 수준은 당뇨와 정상시 모두 함초 보충에 의해 효과적이었으며 정상시에는 함초 20% 첨가시에, 당뇨병시에는 함초 10%와 20% 첨가시 모두 높은 Cr 수준으로 양적인 상관성을 보였으므로 함초 식품은 지질과산화를 낮추는데 효과적인 식품으로 생각된다.

Literature cited

- Zimmet P, Alberti KGMM, Shaw J. Global and societal implications of the diabetes epidemic. *Nature* 2001; 414(6865) : 782-787
- Wild S, Roglic G, Green A, Sicree R, King H. Global prevalence of diabetes: Estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care* 2004; 27(5): 1047-1053
- Park YM, Sohn CM, Jang HC. A study on subjective recognition of functional foods among diabetic patients. *J Korean Dietetic Assoc* 2005; 11(2): 216-222
- Korea statistical information system, Korea statistical year book, Seoul; 2005
- Abrams JJ, Ginsberg H, Grundy SM. Metabolism of cholesterol and plasma triglycerides in non-ketotic diabetes mellitus. *Diabetes* 1982; 31(10): 903-910
- Behrens WA, Madere R. Vitamin C and vitamin E status in the spontaneously diabetes BB rat before the onset of diabetes. *Metabolism* 1991; 40(1): 72-76
- Kannel WB, McGee DL. Diabetes and cardiovascular disease. *JAMA* 1979; 241(19): 2035-2038
- Mullarkey CJ, Edelstein D, Brownlee M. Free radical generation by early glycation products: a mechanism for accelerated atherogenesis in diabetes. *Biochem Biophys Res Commun* 1990; 173(3): 932-939
- Tamborlane WV, Sherwin RS, Genel M, Felig P. Restoration of normal lipid and aminoacid metabolism in diabetic patients treated with a portable insulin-infusion pump. *Lancet* 1979; 1(8129): 1258-1261
- West KM, Ahuja MM, Bennett PH, Czyzik A, Acostea OMD, Fuller JH, Grab B, Grabauskas V, Jarrett RJ, Kosaka K, et al. The role of circulating glucose and triglyceride concentrations and their interactions with other risk factors as determinants of arterial disease in nine diabetic population samples from WHO multinational study. *Diabetes Care* 1983; 6(4): 361-369
- Bailey CJ, Day C. Traditional plant medicines as treatments for diabetes. *Diabetes Care* 1989; 12(8): 553-564
- Kim YS, Chun JH, Park JH, Kang CI. Status and associating factors of complementary and alternative medicine among Korean diabetic patients. *J Kor Diabetes Assoc* 2000; 24(1): 78-89
- Lee KW, Hong SB, Min KY, Lee SY, Nam MS, Kim YS, Ahn CW, Cha BS, Kim KR, Lee HC, Lee KW, Park TS. Resurvey of alternative medicine in Korean type 2 diabetes mellitus after 10 years. *J Kor Diabetes Assoc* 2005; 29(3): 231-238
- El SN, Karakaya S. Radical scavenging and iron-chelating activities of some greens used as traditional dishes in Mediterranean diet. *Int J Food Sci Nutr* 2004; 55(1): 67-74
- Shay G. Saline agriculture: Salt-tolerant plants for developing countries. Washington: National academy press; 1990. p.143
- Jo YC, Ahn JH, Chon SM, Lee KS, Bae TJ, Kang SK. Studies of pharmacological effects of glasswort (*Salicornia herbacea* L.). *Korean J Medicinal Crop Sci* 2002; 10(2): 93-99
- Min JG, Lee DS, Kim TJ, Park JH. Chemical composition of *Salicornia herbacea* L.. *J Food Sci Nutr* 2002; 7(1): 105-107
- Lee JT, An BJ. Detection of physical activity of *Salicornia herbacea*. *Kor J Herbology* 2002; 17(2): 61-69
- Kim KR, Choi JH, Lee SK, Woo MH, Choi SW. Effect of enzymatic hydrolysate of Hamcho (*Salicornia herbacea*) on antioxidative defense system in rats fed high cholesterol diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2006; 35(10): 1356-1362
- Han SK, Kim SM. Antioxidative effect of *Salicornia herbacea* L. grown in closed sea beach. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2003; 32(2): 207-210
- Jang MS, Park JE. Optimization of ingredient mixing ratio for

- preparation of sulgidduk with saltwort (*Salicornia herbacea* L.). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2006; 35 (5): 641-648
- 22) Song TC, Lee CH, Kim YE, Kim IH, Han DS, Yang DH. The functionality of the saltwort (*Salicornia herbacea* L.) extract fermented juice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2007; 36 (4): 395-399
 - 23) Kim SK, Kim YC. The effect of repeated betaine treatment on hepatotoxicity and cytochrome P-450 dependent drug metabolism enzyme system. *Yakhak Hoeji* 1996; 40 (4): 449-455
 - 24) Lee CH, Kim IH, Kim YE, Oh SW, Lee HJ. Determination of betaine from *Salicornia herbacea* L.. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2004; 33 (9): 1584-1587
 - 25) Im JS, Lee SK, Chang IY, Ha HC, Lim Y, Kim HY, Park KH, Yoon SP. Activation of macrophage by polysaccharide isolated from *Salicornia herbacea* L.. *Korean J Phys Anthropol* 2006; 19 (2): 117-124
 - 26) Shin KS, Boo HO, Jeon MW, Ko JY. Chemical components of native plant, *Salicornia herbacea* L.. *Korean J Plant Res* 2002; 15 (3): 216-220
 - 27) Kim MW. Effects of *Salicornia herbacea* L. supplementation on blood glucose and lipid metabolites in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 2007; 40 (1): 5-13
 - 28) Reeves PG. Components of the AIN-93 diets as improvements in the AIN-76A diet. *J Nutr* 1997; 127 (5 Suppl): 838S-841S
 - 29) Choi JK. A edible Korean medicinal herbs. *J Korean Soc Plants People Environ* 2002; 5 (1): 7-19
 - 30) Junod A, Lambert AE, Stauffacher W, Renold AE. Diabetogenic action of streptozotocin: relationship of dose to metabolic response. *J Clin Invest* 1969; 48 (11): 2129-2139
 - 31) Junod A, Lambert AE, Orci L, Pictet R, Gonet AE, Renold AE. Studies of the diabetogenic action of streptozotocin. *Proc Soc Exp Biol Med* 1967; 126 (1): 201-205
 - 32) Samson M, Fehlmann M, Dolais-Kitabgi J, Freychet P. Amino acid transport in isolated hepatocytes from streptozotocin diabetic rats. *Diabetes* 1980; 29 (2): 996-1000
 - 33) Wilson GL. Mechanism of streptozotocin-induced and alloxan-induced damage in rat β -cells. *Diabetologia* 1984; 27 (6): 587-591
 - 34) Hassid WZ, Abraham X. Chemical procedures for analysis of polysaccharides in: *Methods in Enzymology* 3. Academic press; 1957. p.34-50
 - 35) Gregor A, Kostrzewska E, Godorowska W. Determination of serum proteins in the presence of dextran by means of the biuret reaction. *Infusionsther Klin Ernahr* 1977; 4 (1): 48-50
 - 36) Giegel JL, Ham AB, Clema W. Manual and semi-automated procedures for measurements of triglycerides in serum. *Clin Chem* 1975; 21 (11): 1575-1581
 - 37) Allain CC, Poon LS, Chan CS, Richmond W, Fu PC. Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clin Chem* 1974; 20 (4): 470-475
 - 38) Mihara M, Uchiyama M. Determination of malondialdehyde precursor in tissue by thiobarbituric acid test. *Anal Biochem* 1978; 86 (1): 271-278
 - 39) Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J Biol Chem* 1951; 193 (1): 265-275
 - 40) Cha JY, Jeong JJ, Kim YT, Seo WS, Yang HJ, Kim JS, Lee YS. Detection of chemical characteristics in hamcho (*Salicornia herbacea* L.) according to harvest periods. *J Life Sci* 2006; 16 (4): 683-690
 - 41) Hribal ML, Oriente F, Accili D. Mouse models of insulin resistance. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002; 282 (5): E977-E981
 - 42) Meglasson MD, Burch PT, Berner DK, Najafi H, Matschinsky FM. Identification of glucokinase as an alloxan-sensitive glucose sensor of the pancreatic beta-cell. *Diabetes* 1986; 35 (10): 1163-1173
 - 43) Wolf HP, Engel DW. Decrease of fatty acid oxidation, ketogenesis and gluconeogenesis in isolated perfused rat liver phenylalkyl oxirane carbohydrate (B 807-27) due to inhibition of CPTI (EC 2.3.1.21). *Eur J Biochem* 1985; 146 (2): 359-363
 - 44) Kamalakkanan N, Rajadurai M, Prince PS. Effect of aegle marmelos fruits on normal and streptozotocin-diabetic wistar rats. *J Medicinal Food* 2003; 6 (2): 93-98
 - 45) Rhee SJ, Choe WK, Cha BK, Yang JA, Kim KY. Effects of vitamin E and selenium on the antioxidative defense system in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 1996; 29 (1) : 22-31
 - 46) Lombardo YB, Serdikoff C, Thamocharan M, Paul HS, Adibi SA. Inverse alterations of BCKA dehydrogenase activity in cardiac and skeletal muscles of diabetic rats. *Am J Physiol* 1999; 277 (4pt1): E685-E692
 - 47) Alba-Loureiro TC, Hirabara SM, Mendonca JR, Curi R, Pithon-Curi TC. Diabetes causes marked changes in function and metabolism of rat neutrophils. *J Endocrinol* 2006; 188 (2): 295-303
 - 48) Liu SM, Barac-Nieto M. Renal protein degradation in streptozotocin diabetic mice. *Diabetes Res & Clin Pract* 1997; 34 (3): 143-148
 - 49) Choi JW, Sohn KH, Kim SH. Effects of nicotinamide on the serum lipid composition in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Nutr* 1991; 20 (4): 306-311
 - 50) Nikika EA, Kekki M. Plasma triglyceride transport kinetics in diabetes mellitus. *Metabolism* 1973; 22 (1): 1-22
 - 51) Goldberg RB. Lipid disorders in diabetes. *Diabetes Care* 1981; 4 (5): 561-572
 - 52) Goswamy S, Mani I, Mani UV. Effects of wheat bran on tissue lipids in diabetic rats. *Indian J Biochem Biophys* 1985; 22 (4): 240-243
 - 53) Park SH, Kim KS. Isolation and identification of antioxidant flavonoids from *Salicornia herbacea* L.. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 2004; 47 (1): 120-123
 - 54) Kim HJ, Bae KH, Lee HJ, Eun JB, Kim MK. Effect of hesperidin extracted from tangerine peel on Cd and lipid metabolism and antioxidant capacity in rats. *Korean J Nutr* 1999; 32 (3): 137-149
 - 55) Song YS, Yang JL, Suh MJ. Effect of sodium alginate and cellulose on gastrointestinal physiology in rats. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 1996; 25 (4): 551-559
 - 56) Lee SZ. Changes in plasma lipid pattern in streptozotocin-induced diabetic rats: A time course study. *Korean J Nutr* 1999; 32 (7): 767-774
 - 57) Pritchard KA, Patel ST, Karper CW, Newman HA, Panganamala RV. Triglyceride-lowering effects of dietary vitamin E in streptozotocin induced diabetic rats fed high vitamin E. *Diabetes* 1986; 35 (3): 278-281
 - 58) Karpen CW, Cataland S, O'Dorisio TM, Panganamala RV. Pro-

- duction of 12-hydroxyeicosatetraenoic acid vitamin E status in platelets from type 1 human diabetic subjects. *Diabetes* 1985; 34(6): 526-531
- 59) Wolff SP, Dean RT. Glucose autoxidation and protein modification. The potential role "autoxidative glycosylation" in diabetes. *Biochem J* 1987; 245(1): 243-250
- 60) Min JG, Son KT, Kim JH, Kim TJ, Park JH. Physiological and functional properties of *Salicornia herbacea* (Tungtungmadi) leaf extracts. *J Food Sci Nutr* 2002; 7(3): 261-264
- 61) Anderson RA. Chromium, glucose intolerance and diabetes. *J Am Coll Nutr* 1998; 17(6): 548-555
- 62) Morgan JM. Hepatic chromium content of diabetic subjects. *Metabolism* 1972; 21(4): 313-320
- 63) Ahn YM, Lim SJ, Han HY, Choi SS. Effects of allium vegetable intake on levels of plasma glucose, lipid and minerals in streptozotocin induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 2006; 39(5): 433-443
- 64) Anderson RA, Roussel AM, Zouari N, Mahjoub S, Matheau JM, Kerkeni A. Potential antioxidant effects of zinc and chromium supplementation in people with type 2 diabetes mellitus. *J Am Coll Nutr* 2001; 20(3): 212-218
- 65) Johnson WT, Evans GW. Effects of the interrelationship between dietary protein and minerals on tissue content of trace metals in streptozotocin-diabetic rats. *J Nutr* 1984; 114(1): 180-190
- 66) Masataka Y, Keiko M. Interaction of iron with polyphenolic compounds: application to antioxidant characterization. *Anal Biochem* 1998; 257(1): 40-44