

## Alloxan 및 Streptozotocin 유도 당뇨모델 동물에서 손바닥 선인장의 혈당강하 효과

신지은 · 한명주 · 이인경<sup>1</sup> · 문영인<sup>2</sup> · 김동현<sup>3,\*</sup>

경희대학교 식품영양학과, <sup>1</sup>서귀포대신중학교, <sup>2</sup>북제주군 농업기술센터, <sup>3</sup>경희대학교 약학과

## Hypoglycemic Activity of *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* on Alloxan- or Streptozotocin-Induced Diabetic Mice

Jieun Shin, Myung Joo Han, In-Kyung Lee<sup>1</sup>, Young In Moon<sup>2</sup>, and Dong-Hyun Kim<sup>3,\*</sup>

Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 130-70, Korea

<sup>1</sup>Korea Seogwipodasin Middle School, Seogwipo-city, Jeju-do 590-420, Korea

<sup>2</sup>Bukjeju County Rural Community Guidance Center, Bukjeju 695-905, Korea

<sup>3</sup>College of Pharmacy, Kyung Hee University

**Abstract** – Hypoglycemic activity of *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* on alloxan or streptozotocin-induced diabetic mice was investigated. Fructus and folium of *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* inhibited intestinal  $\alpha$ -glucosidase of rats as well as glucose elevation in blood of normal mice, *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* exhibited inhibitory activities on streptozotocin-induced diabetic mice rather than on alloxan-induced diabetic mice loaded with maltose and sucrose. Its folium was more effective than its fructus. These results suggest that *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* might be effective on diabetic mellitus.

**Key words** – *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan*,  $\alpha$ -glucosidase inhibition, hypoglycemic activity, diabetic mice.

### 서 론

선인장은 건조한 기후에 적응력이 뛰어난 식물로 오랫동안 탄수화물과 비타민의 공급원으로 이용되어 왔고 식수난과 식량난을 겪고있는 사막 여러 국가에서는 기초 식품으로서의 가치를 인정받고 있어 재배가 권장되고 있다. 특히 멕시코나 일본에서는 선인장을 이용한 잼, 젤리, 주스와 같은 가공 식품개발이 활발히 이루어지고 있다.<sup>1,2)</sup> 제주도에 재배되고 있는 손바닥 선인장 (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)은 중심자목 선인장과에 속하는 식물로 다년생 초본이다. 노화방지와 항암효과 및 항돌연변이 효과가 있는 페놀성물질과 플라보노이드가 5%정도 함유되어 있고, 소량의 비타민C가 함유되어 있다. 또한 변비완화와 장운동 활성화에 관여하는 식이 섬유가 30%이상 함유되어 있다. 잎의 경우 총식이섬유 함량은 46.1%로 그중 수용성식이섬유는 4.3%, 수불용성식이섬유는 35.9%로 주로 불용성 식이섬유로 구성되어 있으며, 열매의 경우 총식이섬유는 36.6%로

그중 수용성식이섬유는 17.1%, 수불용성식이섬유는 16.6%로 구성되어 있다.<sup>3,4)</sup> 선인장 잎과 열매는 예전부터 민간요법으로 타박상, 변비, 화상치료에 이용되었으며 이뇨 효과, 장운동 활성화를 돕는다고 알려져 있다. 중앙대사전 및 영남체약록, 본진민간초약, 본초강목등의 기록에 의하면 기관지 천식, 폐질환, 위염, 변비, 장염, 고혈압, 당뇨, 신장염, 관절염 등에 효능이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup>

따라서 본 연구의 목적은 *db/db* 당뇨모델 생쥐에서 항당뇨 효과가 있었던 손바닥 선인장에 대해,<sup>6)</sup> 인슐린 의존형 당뇨모델 생쥐인 alloxan 유도 생쥐와 streptozotocin 유도 모델을 이용하여 항당뇨 효과를 살펴 보고자 하였다.

### 실험재료 및 방법

#### 실험재료

Glucose oxidase, alloxan, streptozotocin, bovine serum albumin은 Sigma Chem. Co. (U.S.A.)에서 각각 구입하였다. *o*-Phenylene diamine, peroxidase, maltose는 Wako Co. (Japan)에서 구입하였고 sucrose, starch는 Yakuri Co. (Japan)

\*교신저자(E-mail) : dhkim@khu.ac.kr  
(FAX) : +82-2-957-5030

에서 구입하였고, blood glucose test strip은 LXN Corp. (U.S.A.)에서 구입하였고, total glucose assay kit는 Asan Co. (Korea)에서 구입하였으며, Acarbose는 Bayer Co. (U.S.A.)에서 구입하였다. Bio-protein assay kit는 Bio-Rad Co.에서 구입하여 사용하였고, 기타 시약은 특급시약을 사용하였다.

손바닥 선인장(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)의 열매와 잎의 동결건조 분말은 복제주근 농협에서 제공받아 사용하였다.

## 실험방법

### 시료의 준비

동결건조한 손바닥 선인장(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)의 열매와 잎의 분말을 5 배의 증류수로 현탁하여 사용하거나 또는 원심분리하여 상층액을 제거하는 과정을 3회 반복하여 얻은 침전부분을 수불용성 분획으로 사용하였다.

### In vitro에서 손바닥 선인장의 $\alpha$ -glucosidase 저해 활성 측정

$\alpha$ -Glucosidase 효소저해 활성의 측정은 2 mM p-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside 250  $\mu$ l, 검체 100  $\mu$ l, 0.1 M phosphate buffer (pH 7.0) 200  $\mu$ l 및 효소액을 가하여 37°C water bath에서 30분간 반응 시킨 후, 1 M Glycine-NaOH (pH 9.0) 500  $\mu$ l를 가해 반응을 정지시켰다. 3000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 취해 405 nm에서 흡광도를 측정하였다.

효소액은 흰쥐 (male SD, 250–300 g)를 ether로 마취사 시킨 후 소장을 분리하였다. 분리한 소장을 생리식염수에 세척하여 소장 점막을 긁어낸 후 생리식염수와 0.1 M sodium phosphate buffer(pH 7.0)에 현탁하여 15초간 3회 초음파 처리하고, 4°C, 15000 rpm에서 1시간동안 원심 분리 한 후 상층액을 효소액으로 사용하였다.

### 실험동물

ICR계 생쥐 수컷 (체중  $25 \pm 5$  g)는 삼육 실험동물에서 분양 받아 사용하였으며 사료로는 삼양(주) pellet형 곡물 사료를 공급하고, 온도는  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도는  $50 \pm 5\%$ 에서 사육하였다.

### Alloxan 및 Streptozotocin 유도 고혈당 생쥐의 제작

Alloxan 유도 고혈당 동물의 제작은 ICR계 생쥐에 alloxan 70 mg/kg를 멸균된 증류수에 녹여 꼬리 정맥에 주사 한 다음, 이틀 후 혈당을 측정하여 200–450 mg/dl 범위의 생쥐를 선별하여 16시간동안 절식시킨 후 실험에 사용하였고, streptozotocin 유도 고혈당 동물의 제작은 streptozotocin 300 mg/kg를 0.05 M citrate buffer (pH 4.5)에 녹여 복강주사한 다음, 24시간 후 혈당을 측정하여 200–450 mg/dl 범위의 생쥐를 선별하여 16시간 절식시킨 후 실험에 사용하였다.

한 군을 6 마리 씩으로 maltose, sucrose 및 starch 부하 실험은 먼저 16시간 동안 절식 시킨 정상 및 당뇨 모델 생쥐를 꼬리 정맥으로부터 채혈하여 혈당을 측정하고 이어서 maltose, sucrose 또는 starch 2 g/kg와 손바닥 선인장 열매 또는 잎 1 g/kg을 동시에 경구투여하고 30분 후 혈당을 측정하였다. 단 starch를 부하한 경우에는 투여 1시간 후에 혈당을 측정하였다.

## 결 과

### In vitro에서 손바닥 선인장의 $\alpha$ -glucosidase 저해 활성

손바닥 선인장에 대해  $\alpha$ -glucosidase 저해 효과를 측정하였다(Table I). 손바닥 선인장 잎보다 열매가 더 우수한 저해활성을 보였다.

### 정상 마우스에서 혈당강하 효과

In vitro에서  $\alpha$ -glucosidase 저해 활성을 갖는 손바닥 선인장 열매와 잎을 정상 마우스에서 혈당강하 효과를 측정하였다. 손바닥 선인장 열매를 투여한 군과 손바닥 선인장의 잎을 투여한 군 모두 혈당 상승이 억제 되었고, 손바닥 선인장 잎 보다는 열매가 혈당 상승 억제 작용이 강했으며, 특히 sucrose에 대해 혈당 상승 억제효과가 가장 우수했다(Table II).

물로 세척하여 얻은 분획물의 경우에도 열매 투여군과 잎 투여군 모두 혈당 상승이 억제 되었고, 잎투여군은 starch에 대해, 열매투여군은 sucrose에 대해 혈당강하 효과가 좋았다(Table III).

**Table I.** Inhibitory effect of  $\alpha$ -glucosidase activity

Herbal Food	Korean name	Conc. (mg/ml)	Inhibition (%)
<i>Opuntia ficus-indica</i> fructus	손바닥 선인장 열매	10	52.1
<i>Opuntia ficus-indica</i> folium	손바닥 선인장 잎	10	27.5
Acarbose		1	83.5

**Table II.** Inhibitory effect of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* on blood glucose elevation in normal mice loaded maltose, sucrose and starch

Group	Blood glucose elevation (mg/dl)		
	Maltose	Sucrose	Starch
Nontreated	243.25±64.96	33.80±21.43	22.50±5.97
Fructus	163.00±18.51*	16.00±4.83*	16.50±5.00
Folium	171.75±21.56*	23.75±3.50	18.25±2.50
Acarbose	82.50±9.15*	11.50±2.12*	13.00±3.37*

Each group had five animals and each *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder and saccharide were simultaneously injected by p.o. at the dose of 1 g/kg (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder), 2 g/kg (saccharide) and 0.05 g/kg (acarbose) of body weight.

All values were expressed as subtraction of blood glucose level between before and after loading of maltose, sucrose and starch, and as mean±SD.

\*Statistically significant compared with nontreated group (p<0.05).

**Table III.** Inhibitory effect of water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* on blood glucose elevation in normal mice loaded maltose, sucrose and starch

Group	Blood glucose elevation (mg/dl)		
	Maltose	Sucrose	Starch
Nontreated	112.50±15.07	72.00±14.98	15.00±6.96
Fructus	99.00±16.97	38.00±4.58*	13.00±6.40
Folium	79.50±14.62*	52.00±2.94*	7.00±3.00*
Acarbose	41.75±16.34*	8.60±15.04*	1.00±0.71*

Each group had five animals and each water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder and saccharide were simultaneously injected by p.o. at the dose of 1 g/kg (water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder), 2 g/kg (saccharide) and 0.05 g/kg (acarbose) of body weight.

All values were expressed as subtraction of blood glucose level between before and after loading of maltose, sucrose and starch, and as mean±SD.

\*Statistically significant compared with nontreated group (p<0.05).

**Streptozotocin 유도 고혈당 마우스에서 혈당강하 활성**

Streptozotocin은 당뇨병 모델 동물에서 손바닥 선인장 열매와 잎의 항당뇨효과를 측정하였다. Streptozotocin 유도 고혈당 마우스에서 손바닥 선인장 열매를 투여한 군과, 손바닥 선인장 잎을 투여한 군 모두 혈당 상승 억제 효과가 있었다. 특히, 열매 투여군과 잎투여군 모두 sucrose를 부하한 실험에 대해 유의적인 혈당 상승 억제 작용이 있었으며, 잎 투여군은 maltose를 부하한 실험에서도 혈당 상승을 억제 하였다(Table IV).

수불용성 분획의 경우에도 열매투여군과 잎투여군 모두 혈당 상승 억제 효과가 나타났으며, 열매투여군은 maltose을 부하한 경우에 잎투여군은 maltose, starch를 부하한 실험에서 유의적인 혈당 강하 활성을 나타내었다(Table V).

**Table IV.** Inhibitory effect of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* on blood glucose elevation in streptozotocin induced diabetic mice loaded maltose, sucrose and starch

Group	Blood glucose elevation (mg/dl)		
	Maltose	Sucrose	Starch
Nontreated	53.00±37.40	109.00±23.64	36.67±11.06
Fructus	39.75±14.86	49.33±5.77*	33.67±10.41
Folium	18.33±5.50*	54.33±17.79*	37.33±6.66
Acarbose	47.00±22.71	31.00±19.38*	1.00±1.00*

Each group had five animals and each *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder and saccharide were simultaneously injected by p.o. at the dose of 1 g/kg (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder), 2 g/kg (saccharide) and 0.05 g/kg (acarbose) of body weight.

All values were expressed as subtraction of blood glucose level between before and after loading of maltose, sucrose and starch, and as mean±SD.

\*Statistically significant compared with nontreated group (p<0.05).

**Table V.** Inhibitory effect of water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* on blood glucose elevation in streptozotocin induced diabetic mice loaded maltose, sucrose and starch

Group	Blood glucose elevation (mg/dl)		
	Maltose	Sucrose	Starch
Nontreated	153.33±32.25	61.75±23.41	57.33±25.54
Fructus	46.33±23.86*	51.50±17.31	75.00±47.44
Folium	85.00±23.39*	59.50±17.71	31.67±17.21*
Acarbose	49.33±27.47*	8.00±10.46*	30.67±14.29*

Each group had five animals and each water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder and saccharide were simultaneously injected by p.o. at the dose of 1 g/kg (water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder), 2 g/kg (saccharide) and 0.05 g/kg (acarbose) of body weight.

All values were expressed as subtraction of blood glucose level between before and after loading of maltose, sucrose and starch, and as mean±SD.

\*Statistically significant compared with nontreated group (p<0.05).

**Alloxan 유도 고혈당 마우스에서 혈당강하 활성**

Alloxan 유도 당뇨병 모델 동물에서 손바닥 선인장이 혈당강하 효과가 있는지 조사하였다. 손바닥 선인장 열매를 투여한 군의 경우 혈당 상승을 억제하였으며, starch를 부하한 경우에 가장 강하게 혈당 강하 활성을 나타내었다. 손바닥 선인장의 잎 투여군에서는 starch를 부하한 경우를 제외하고는 혈당강하 활성이 없었다(Table VI).

수불용성 분획의 경우에도 손바닥 선인장 열매를 투여한 군이 혈당 상승이 억제 되었고, sucrose를 부하한 경우에 혈당상승 억제 작용이 있었다. 그러나, 손바닥 선인장의 잎을 투여한 군에서 유의한 혈당 상승 억제 효과가 없었다(Table VII).

**Table VI.** Inhibitory effect of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* on blood glucose elevation in alloxan induced diabetic mice loaded maltose, sucrose and starch

Group	Blood glucose elevation (mg/dl)		
	Maltose	Sucrose	Starch
Nontreated	289.00±28.62	170.50±30.77	130.75±7.54
Fructus	276.67±3.21	121.75±5.91*	45.25±30.49*
Folium	310.33±17.67	215.00±58.51	54.67±33.56*
Acarbose	76.75±34.39*	29.00±12.73*	7.75±1.71*

Each group had five animals and each *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder and saccharide were simultaneously injected by p.o. at the dose of 1 g/kg (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder), 2 g/kg (saccharide) and 0.05 g/kg (Acarbose) of body weight.

All values were expressed as subtraction of blood glucose level between before and after loading of maltose, sucrose and starch. and as mean±SD.

\*Statistically significant compared with nontreated data (p<0.05).

**Table VII.** Inhibitory effect of water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* on blood glucose elevation in alloxan induced diabetic mice loaded maltose, sucrose and starch

Group	Blood glucose elevation (mg/dl)		
	Maltose	Sucrose	Starch
Nontreated	244.50±2.12	201.00±23.71	85.00±45.84
Fructus	223.66±17.67	131.33±29.55*	67.25±35.78
Folium	246.66±57.65	162.16±44.04	96.00±61.40
Acarbose	129.67±48.56*	42.25±15.81*	11.75±25.34*

Each group had five animals and each water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder and saccharide were simultaneously injected by p.o. at the dose of 1 g/kg (water insoluble fraction of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* powder), 2 g/kg (saccharide) and 0.05 g/kg (Acarbose) of body weight.

All values were expressed as subtraction of blood glucose level between before and after loading of maltose, sucrose and starch. and as mean±SD.

\*Statistically significant compared with nontreated data (p<0.05).

## 고찰

손바닥 선인장에 대해 비만과 비만에 의해 발생 가능한 당뇨병, 지질대사이상, 심혈관계질환과 같은 질병을 예방하거나 개선 할 수 있는 식품 소재인지를 검색하기 위해  $\alpha$ -glucosidase 저해 활성을 측정하고 손바닥 선인장의 열매 및 잎이 높은 저해 활성이 있었으며 농도 의존적이었다. 지금까지 당뇨병 치료에 효과가 있다고 보고된 약용식물은 세계적으로 약 400여종 이상으로 추정되며, 우리나라에서 민간요법으로 당뇨병 치료에 쓰이는 재료는 풀잎, 나무뿌리, 버섯류, 채소류, 곤충류, 어육류 등 약 80여종에 이른다.<sup>7)</sup> 그 중 *Mori Cortex Radicis* (상백피), *Mori Folium*

(상엽) 등의  $\alpha$ -glucosidase 저해 및 혈당 강하 효과는 이미 널리 알려져 있으며, 많이 연구되어 왔다.<sup>8,9)</sup> 또한  $\alpha$ -Glucosidase 저해 효과를 가지는 식물 유래의 성분은 *Terminalia Fructus* (가자), *Galla Rhois* (오배자) 등에 많이 함유된 tannin임이 발표되기도 했다.<sup>10)</sup> 그러나, 손바닥 선인장에 관한 연구는 그 성분 규명<sup>3)</sup>과 색소<sup>11-13)</sup>에 대한 것이 대부분이며, 항당뇨 효과에 관해서는 보고된 바가 거의 없다. 그래서 저자 등이 손바닥 선인장에 대해 db/db 당뇨모델 생쥐에서 항당뇨 효과를 살펴본 결과 혈당강하 효과가 있었다.<sup>6)</sup> 따라서 본 연구에서는 손바닥 선인장을 이용하여 alloxan 및 streptozotocin 유도 당뇨모델에서도 효과를 나타낼 수 있는지 확인해 보고자 하였다.

Alloxan은 췌장의  $\beta$ -cell을 파괴 시켜 인슐린의 분비를 막아 고혈당을 유도하여 인슐린 의존형 당뇨병 모델 동물 제작에 많이 사용된다.<sup>14)</sup> 이에 인슐린 의존형 당뇨병에 대해 손바닥 선인장의 항당뇨 활성을 조사하였다. 손바닥 선인장 열매와 잎을 투여한 경우에 혈당 상승이 억제되었으며, starch를 부하한 경우에 혈당 강하 활성을 나타내었지만 streptozotocin 모델 동물에서의 결과보다는 낮았다.

또한 소장내 분획별 소장의 무게, 총단백질을 측정하고 결과 약물을 투여하지 않은 군의 소장무게와 총단백질에서 손바닥 선인장의 투여군과 큰 차이가 없었다.

소장내 분획별 효소의 활성을 측정하고 결과는 손바닥 선인장의 잎과 열매를 투여한 군 모두 maltase, sucrase 활성이 유의적으로 낮아졌다. 이러한 결과는 alloxan이나 streptozotocin으로 고혈당을 유도한 마우스에서 이들 소장내 효소의 활성이 증가 함으로써 단당류의 흡수가 급격히 증가한다는 연구 결과와 일치 하였다.<sup>15)</sup>

Streptozotocin 유도 고혈당 생쥐를 이용하여 실험한 결과, 손바닥 선인장 열매를 투여한 군과, 손바닥 선인장 잎을 투여한 군 모두 혈당 상승 억제 효과가 있었다. 특히, 열매 투여군과 잎투여군 모두 maltose 또는 sucrose를 부하한 실험에 대해 혈당 상승 억제 작용이 있었으며, 수불용성 분획의 경우에도 비슷한 혈당 강하 활성을 나타내었다.

더욱이 각각의 약물 투여군에 대해 소장내 분획별 소장의 무게, 총단백질을 측정하고 결과 약물을 투여하지 않은 군의 소장무게는 손바닥 선인장의 열매 투여군 보다 무거웠으나 총단백질에는 큰 차이가 없었다 (결과생략). 소장내 분획별 maltase, sucrase activity 효소 활성을 측정하였을 때 maltose를 투여한 경우, 약물을 투여하지 않은 군에서 소장의 distal, middle, proximal 세 부분간의 큰 차이가 없었으며, 손바닥 선인장의 열매 잎, acarbose 투여군에 비해 활성이 증가하였다.

Alloxan이나 streptozotocin으로 당뇨를 유도한 생쥐에서

손바닥 선인장 열매와 잎은 proximal, middle 소장의 maltase 나 sucrase 같은  $\alpha$ -glucosidase 활성을 저해하여 maltose나 sucrose 등이 가수분해가 저해되어 혈당 강하 효과를 나타내는 것으로 생각된다. 또한 alloxan 또는 streptozotocin에 의한 유도 고혈당 마우스에서 장벽이 얇아지는 현상이 흔히 관찰되었으나, 손바닥 선인장을 투여군에서 장벽이 얇아지는 현상이 적고, 소장의 무게도 정상군과 비슷하게 유지되었으며, acarbose를 투여한 군의 경우 장내에 가스가 차는 것이 흔히 관찰되었던 것에 비해 손바닥 선인장 열매와 잎 투여군은 가스가 차는 현상이 나타나지 않은 것으로 보아 항당뇨 효과를 가지는 식품소재로서의 이용 가능성이 있다고 생각된다.

## 요 약

Alloxan 및 streptozotocin 유도 당뇨모델 동물에서 손바닥 선인장 (*Opuntia ficus-indica fructus*)의 혈당강하효과를 조사하였다. 손바닥 선인장의 열매와 잎은 *in vitro*에서 흰쥐의 소장  $\alpha$ -glucosidase를 농도의존적으로 저해하였다. 손바닥 선인장의 열매와 잎으로 정상 생쥐와 streptozotocin으로 유도한 당뇨 모델 생쥐에서 *Opuntia ficus-indica*의 혈당강하 효과를 조사한 결과 maltose, sucrose 부하에 의한 혈당 상승을 농도 의존적으로 유의하게 억제하였다. 그러나 alloxan 유도 당뇨모델 동물에서는 혈당강하효과가 약하였다. 아울러 이 손바닥 선인장 잎과 열매는 정상 생쥐에서도 혈당강하효과를 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때 손바닥 선인장은 인슐린 의존형인 제 1형 당뇨에 효과가 있을 것으로 사료된다.

## 인용문헌

- Noel, D.V. (1986) Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. *Science*. **232**: 1379.
- Sawaya, W.N. and Khatchandourian, H.A. (1983) Chemical characterization of prickly pear, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. Presented at the 68th Annual meeting of the international of milk, food & environment sanitarians, Inc. Spokane, WA, Aug. 9012.
- Lee, Y.C., Hwang, K.H., Han, D.H. and Kim, S.D. (1997) Compositions of *Opuntia ficus-indica*. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **29**(5): 847-853.
- <http://www.bukjeju.agri.chēju.kr/total/good/001.htm>.
- <http://members.tripod.co.kr/orange72/sub-2>.
- Shin, J.E., Han, M.J., Lee, Y.C., Moon, Y.I. and Kim, D.H. (2002) Antidiabetic activity of *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* on *db/db* mice. *Kor. J. Pharmacol.*, **33**(4): 332-336.
- Nam, M.S., Kim, K.R., Cho, J.H., Lee, K.M., Park, H.Y., Lee, E.J., Lim, S.K., Lee, H.C. and Huh, K.B. (1994) A study on the folk remedies by the questionnaires in Korean diabetic patients. *Diabetes*. **18**(3): 242-248.
- Hikino, H., Mizuno, T., Oshima, Y. and Konno, C. (1985) Isolation and hypoglycemic activity of Moran A, a glycoprotein of *Morus Alba* Root Barks. *Planta Medica*. 159-162
- Kimura, M., Chen, F.J., Nakashima, N., Kimura, I., Asano, N. and Koya, S. (1995) Antihyperglycemic effects of N-containing sugars derived from Mulberry leaves in streptozotocin-induced diabetic mice. *J. Traditional Medicines*. **12**: 214-219.
- Ahmed, A.E., Smithard, R. and Ellis, M. (1991) Activities of enzymes of the pancreas, and the lumen and mucosa of the small intestine in growing broiler cockerels fed on tannin-containing diets. *Br. J. Nutr.* **65**: 189-197.
- Lee, S.P., Whang, K. and Ha, Y.D. (1998) Functional properties of mucilage and pigment extracted from *Opuntia Ficus-indica*. *Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **7**: 822-826.
- Kim, I.H., Kim, M.H., Kim, H.M. and Kim, Y.E. (1995) Effect of antioxidants on the thermostability of red pigment in prickly pear. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **27**: 1013-1016.
- Chung, M.S. and Kim, K.H. (1996) Stability of betanine extracted from *Opuntia Ficus-indica* var. *Saboten*. *Kor. J. Soc. Food Sci.* **12**: 506-510.
- Malaisse, W. J., Malaisse-Lagae, F., Sener, A. and Pipeleers, D.G. (1982) Determinants of the selective toxicity of alloxan on the pancreatic  $\beta$ -cell. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **79**: 927-930.
- Axelrad, A.D., Lawrence, A.L. and Hazelwood, R.L. (1970) Fasting and alloxan diabetes effects on intestinal transport of monosaccharides. *Am J. Physiol.* **219**: 860-864.

(2002년 12월 18일 접수)