

## 불용성 함초 식이섬유의 섭취가 흰쥐 장기능에 미치는 효과

김수환<sup>1</sup> · 김숙자<sup>2</sup> · 이형선\*

중원대학교 의료보건대학 임상병리학과, <sup>1</sup>고려대학교 일반대학원 의생명융합과학과, <sup>2</sup>인제대학교 임상병리학과

### Effect of Insoluble Dietary Fiber Extracted from *Salicornia herbacea* L. on Large Intestinal Function in Rats

Soo-Hwan Kim<sup>1</sup>, Sook-Ja Kim<sup>2</sup>, and Hyeong-Seon Lee\*

Department of Biomedical Laboratory Science, Jungwon University

<sup>1</sup>Department of Integrated Biomedical and Life Science, Graduated School, Korea University

<sup>2</sup>Department of Biomedical Laboratory Science, Inje University

**Abstract** This study investigated the effect of insoluble dietary fibers extracted from *Salicornia herbacea* L. (*S. herbacea*) on the improvement of intestinal function in rats. Sprague-Dawley rats were fed on diet containing 5% and 10% *S. herbacea* dietary fiber (SHDF) for four weeks. Rats receiving the SHDF diet showed a significant decrease in their triglyceride levels and an increase in HDL-cholesterol levels. In addition, compared with the control group, the SHDF group showed a significant increase in the total quantity of the feces and its moisture content. The intestinal transit time of the feces was also shorter in this group. The pH of the feces decreased in all the other experimental groups. Particularly, the bile acid content of the feces and the thicknesses of the mucus layers showed significant recovery on SHDF intake. These results suggest that dietary fiber isolated from *S. herbacea* has a marked effect on the improvement of bowel function in rats with loperamide (2 mg/kg)-induced constipation.

**Keywords:** insoluble dietary fiber, *Salicornia herbacea* L., constipation, bowel function

## 서 론

서구화 되어가는 식습관과 영양섭취의 과다로 인하여 식이섬유 섭취량이 감소하고 있다. 이러한 식이 변화는 과체중과 함께 각종 성인병의 원인이 되어 결과적으로 국민건강 및 복지에 심각한 위협이 되고 있다(1). 국민 1인당 하루 평균 식이섬유 추정 섭취량은 조사자에 따라 다소 차이가 있으나 20 g 미만이고, 다른 나라의 권장량과 비교할 때 한국인의 식이섬유 섭취상태는 잠정적 권장량에 미달하고 있다(2). 식이섬유는 크게 두 가지 종류로 물에 녹는 수용성 식이섬유와 녹지 않는 불용성 식이섬유로 구분한다. 수용성 식이섬유는 pectin이 주성분이며 위에서 젤을 형성하여 포만감을 주고 장을 거치면서 지방성분을 흡착시켜 체외로 배출시킨다. 불용성 식이섬유의 종류는 lignin과 cellulose 등이 대표적이다. 불용성 식이섬유는 지방을 포함한 소화관내 많은 물질을 흡착하여 빠르게 장을 통과하여 체외로 배설시키도록 도와준다(3,4).

식이섬유의 생리작용으로는 장기능에 대한 생리적 효과, 혈중 콜레스테롤 저하효과, 혈장 포도당과 인슐린 조절효과 등이 있다

(5). 식이섬유는 배변 습관과 장관의 운동에 영향을 미치고 식이섬유의 섭취량이 증가할수록 대변은 부드러워지고 배변 횟수도 증가하며, 대장통과시간이 짧아지고 소장 운동에는 식이섬유의 성분 때문에 따라 다양한 영향을 미친다고 알려져 있다(6-8).

함초(*Salicornia herbacea* L.)는 명아주과(Chenopodiaceae)에 속하는 일년생 초본식물로 우리말로는 통통마디라고 불린다(9). 우리나라 서해안이나 남해안, 제주도, 울릉도 및 백령도 같은 섬지방의 바닷물이 닿은 해안이나 갯벌과 염전 주위에 무리지어 자라며 육상식물 보다 다량의 유익한 염분을 흡수하여 생명체에 필요한 미네랄을 저장 및 축적하고 있는 식물로 아무리 많이 먹어도 갈증이 나지 않는 식품으로 알려져 있다(10). 다년간 함초의 성분 및 생리활성에 관한 연구로는 함초의 뿌리, 잎 및 줄기마디의 성분함량, 생리 활성 기능 탐색 및 항산화 효과에 관하여 보고되었다(11,12-14). 특히 건조 함초에는 식물에는 거의 존재하지 않는 타우린이 함초 100 g 당 29 mg 함유되어 있으며 이 외에도 aspartic acid (227.3 mg), glutamic acid (305.3 mg), lysine (390.0 mg), valine, leucine, prolin 등이 풍부하게 함유되어 있다(15). 또한 다양한 미네랄을 풍부하게 함유하고 있으며 60.66%의 높은 식이섬유를 포함하고 있다(16).

함초는 식이섬유 함유량이 매우 높아, 변비, 장기능에 영향을 미칠 것으로 생각되나 현재까지 함초로부터 식이섬유를 추출 분리하여 변비, 장기능 개선에 미치는 효과에 대한 연구보고는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구자는 함초로부터 여러 단계의 식이섬유소를 분리하여 그 특성을 확인하고, 추출된 식이섬유소를 loperamide로 장 기능장애가 유발된 흰쥐에 식이하여 장 기능에 대한 개선효과를 확인하고자 하였다.

\*Corresponding author: Hyeong-Seon Lee, Department of Biomedical Laboratory Science, Jungwon University, Goesan, Chungbuk 367-700, Korea

Tel: 82-43-830-8861

Fax: 82-43-830-8679

E-mail: biohslee@jwu.ac.kr

Received June 16, 2014; revised September 30 2014;

accepted October 8, 2014

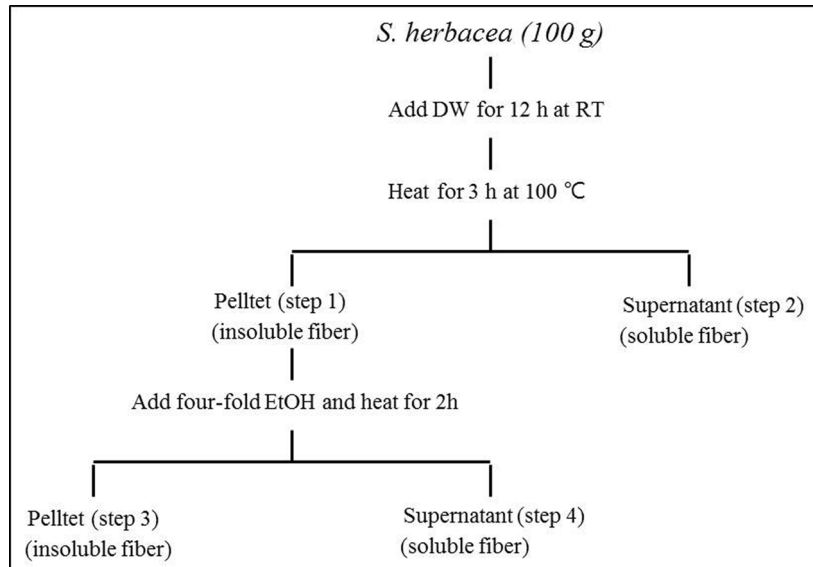


Fig. 1. Extraction of insoluble fiber compound from *Salicornia herbacea*

### 재료 및 방법

#### 함초의 식이섬유 추출

함초는 전라남도 해남군에서 채취되어 자연 건조시켜 100-150 mesh로 분쇄된 것을 사용하였다.

함초 dietary fiber 추출 용매는 물과 에탄올을 사용하였고, 추출방법과 조건은 다수의 연구자들에 의하여 소개된 방법들이 있으나 연구자에 따라서 차이가 있으며, 본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 Prosky, Maes 등의 방법을 변형하여 실시하였다(17-19). 각 단계별 과정을 거쳐 얻어진 함초 dietary fiber의 분획을 모아 본 실험의 시료로 사용하였다.

#### 함초에 포함된 식이성분과 일반성분 분석

일반성분 분석은 AOAC법에 준하여 조단백질은 Kjeldahl Auto 1030 Analyzer (Tecator Co., Hoeganaes, Sweden)를 사용하여 Micro-Kjeldahl 법으로, 회분은 건식회화법으로 분석하였으며 조지방은 soxhlet 법을 이용하여 분석하였다. 탄수화물 함량은 starch-gluco-amylase 방법으로 측정하였다(20). 함초에 포함된 식이성분

은 Prosky 등에 의한 불용성, 수용성 및 총 식이섬유 분석법을 사용하여 측정하였다

#### 실험동물의 사육 및 식이조성

생후 5주령의 체중 230-250 g의 Sprague-Dawley계의 수컷 흰쥐 (Hyochang Science, Daegu, Korea)를 구입하여 사육실에서 온도 23±3°C, 12시간 명암, 습도 60% 등의 조건으로 인체대학교 동물윤리 위원회의 규칙을 준수하여 사용하였다. 실험군은 무처리군 (Normal군), 기본식이에서 α-cellulose (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 제외하고 loperamide (Sigma-Aldrich)를 처치한 대조군(Control), 기본식이에 loperamide 를 처치한 군(α-cellulose 5%), 기본식이에 α-cellulose 대신 함초의 불용성 식이섬유를 각각 5, 10% 첨가한 군(*Salicornia herbacea* dietary fiber; SHDF 5%, SHDF 10%)으로 구성되었다. 6마리를 한 그룹으로 분배하고 4주 동안 식이공급은 자유로이 제공하였으며 실험시작 3주 후에 loperamide (2 mg/kg) 를 3일간 매일 근육주사하고 3일후 희생시켰다. 실험동물에 공급된 식이의 구성은 AIN-93에 근거하여 구성하였고 그 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Composition of experimental diets

(g/kg diet)

Ingredients	Group	Normal	Loperamide treated (2 mg/kg)			
			Control	α-cellulose 5%	SHDF 5%	SHDF 10%
Corn starch		529	579	529	529	479
Casein		200	200	200	200	200
Sucrose		100	100	100	100	100
Soybean oil		70	70	70	70	70
Cellulose		50	0	50	0	0
SHDF <sup>1)</sup>		0	0	0	50	100
Mineral mix		35	35	35	35	35
Vitamin mix		10	10	10	10	10
L-cystine		3	3	3	3	3
Choline bitartrate		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
T-butylhydroquinone		0.014	0.014	0.014	0.014	0.014

<sup>1)</sup>SHDF; *Salicornia herbacea* dietary fiber

**Table 2. Chemical composition on *S. herbacea***

(unit: %, 100 g dry basis)

Step	Carbohydrate	Protein	Fat	Ash	Moisture
1	55.78	7.34±0.14	6.60±0.53	24.37±0.11	5.90±0.13
2	49.18	7.26±0.01	3.41±0.29	52.15±0.13	3.58±0.10
3	81.07	6.51±0.03	4.46±1.30	3.40±0.04	4.56±0.17
4	33.60	9.23±0.03	6.60±0.15	30.19±2.54	4.80±0.09

**혈액과 장 조직 채취**

실험식이 기간이 종료된 실험동물을 12시간 동안 절식시킨 후 에테르로 마취시켜 희생시켰다. 실험동물의 복강 대정맥에서 혈액을 채취하여 원심분리하여 혈청, 전혈은 냉장 보관하였다. 혈중 total cholesterol, triglyceride, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, glutamic oxaloacetic transferase (GOT), glutamic pyruvic transferase (GPT) 등을 분석하였다(Cobas Mirra plus, Roche Diagnostic, Seoul, Korea). 10% 포르말린 용액 (Sigma-Aldrich)에 고정된 대장 조직은 파라핀 블록을 제작하여 박절 후 슬라이드 글라스에 부착시켜 hematoxylin-eosin 염색 후 현미경으로 검경하였다(Microscope with Image Analysis System, Olympus, Tokyo, Japan).

**장통과시간 측정**

실험식이 섭취 3주째 대변의 장통과시간을 측정하였다(21). 장통과시간 측정 3일전부터 식이 연습을 통하여 한번에 공급된 식이를 모두 먹도록 훈련 시켰다. 실험동물을 15시간 절식시킨 후 10% Coomassie Brilliant Blue dye (Sigma-Aldrich)가 1g 첨가된 식이를 급여하여 모두 섭취시킨 후 시약에 염색된 대변이 처음 나오는 시간을 각각 측정하였다.

**분변 중 수분량과 대변량의 변화 측정**

실험기간동안 매일 그룹별로 분변을 수집하여 wet weight를 칭량하였고, 분변은 동결건조하여 완전히 건조시킨 다음 dry weight를 칭량하여 대변내 배출된 수분량을 측정하였다.

**pH와 담즙산 측정**

Loperamide로 변비를 유발시키기 전후 3일 동안 분변은 따로 모아서 담즙산과 pH 측정에 이용하였다. 일정량의 대변을 PBS에 넣고 균질액을 만들어 그 상층으로 pH를 측정하였다. 분변 중 담즙산 함량은 Miettinen 등의 방법으로 담즙을 추출한 후 Crowell과 Macdonald의 방법에 따라 효소법으로 측정하였다(22-23). 즉 동결 건조된 변 1g을 튜브에 넣고 5-cholestane 1mg과 cyclohexane 0.5 mL를 첨가하였다. 여기에 1 N NaOH 10 mL을 넣어 세계 혼든 다음 67 water bath에서 1시간 동안 두었다가 상온에서 증류수 5 mL과 cyclohexane 7 mL를 넣어 35,000 rpm에서 10 min 원심분리 하였다. 상층액을 버리고 얻어진 lower aqueous phase에 10 N NaOH 2 mL를 첨가하고 고압증기멸균기에서 15 psi로 1.5

**Table 3. Composition of structural carbohydrate on SHDF**

(unit: %, 100 g dry basis)

Step	Dietary fiber	NFE <sup>2)</sup>	Carbohydrate
1	42.89(76.9)	12.89	55.78(100)
2	24.47(49.8)	21.71	49.18(100)
3	76.76(94.7)	4.31	81.07(100)
4	0.95(2.8)	32.65	33.60(100)

<sup>2)</sup>NFE; nitrogen free extracts

시간 동안 saponification 한 후 소량의 HCl을 떨어뜨려 pH 2로 산성화시켰다.

다음 CHCl<sub>3</sub>:MetOH=2:1 혼합액 75 mL를 가하여 잘 혼합하고 3,500 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 분리하였다. Aqueous phase는 CHCl<sub>3</sub> 50 mL로 2번 이상 씻고, 그 추출액을 lower phase와 합하여 round bottom flask (250 mL)로 옮긴 후 rotary evaporator를 사용하여 dark brown residue만 남을 때까지 용매를 건조시켰다. Dark brown residue는 다시 CHCl<sub>3</sub>:MetOH=2:1 혼합액 10 mL로 용해시켜 작은 플라스크에 옮기고 소량의 동일 용매로 플라스크를 씻어 3 mL vial로 옮긴 다음 질소가스로 건조시켰다. 그 후 MetOH:H<sub>2</sub>O=5:1 1 mL에 녹여 parafilm으로 밀봉시켜 저장하였다. 이 중 0.2 mL를 담즙산 분석용 효소시약 500 L와 혼합하여 파장 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

**결과 및 고찰****함초 식이성분과 일반성분분석 결과**

함초에 포함된 식이성분과 일반성분 분석 결과는 Table 2, 3과 같다. 추출 단계별 성분 중 단백질, 지방, 수분 등의 함유량은 큰 차이를 나타내지 않았지만 회분과 탄수화물 및 식이섬유의 함유량은 많은 차이를 나타내고 있었다.

함초 100 g로부터 step 1의 성분의 탄수화물 55.78% 중 식이섬유의 함유량은 42.89%를 포함하고 있다. 즉 탄수화물 100% 중 식이섬유의 비율은 76.9%를 차지한다. Step 3의 성분분석 결과는 탄수화물 81.07% 중 식이섬유 함유량이 76.76%로써 94.69%가 식이섬유이다. Step 2와 step 4의 탄수화물 중 식이섬유 함량은 각각 49.8, 2.8%를 차지하고 있다. 3단계 SHDF는 함초 자체가 가지고 있는 짠맛도 전혀 없었으며 함초 분말 100 g에서 얻

**Table 4. Body weight of rats**

(unit: mg)

Body weight	Group	Normal	Loperamide treated (2 mg/kg)			
			Control	$\alpha$ -cellulose 5%	SHDF 5%	SHDF 10%
Initial		235.00±9.19	242.33±6.38	227.50±8.34	228.75±10.81	225.50±3.08
Final		393.92±21.2	381.67±17.46	380.67±21.96	368.45±16.71 <sup>#</sup>	357.98±16.67 <sup>*#</sup>

The results are presented as a mean±SD of six animals in each group.

\*Significantly different from control at  $p<0.05$  by t-test

<sup>#</sup>Significantly different from normal at  $p<0.05$  by t-test

**Table 5. Effect of SHDF on the concentrations of serum in rats**

(unit: mg/dL)

Items	Group	Normal	Loperamide treated (2 mg/kg)			
			Control	$\alpha$ -cellulose 5%	SHDF 5%	SHDF 10%
Total cholesterol		81.25±4.79	77.75±8.73	79.80±6.38	79.00±8.86	78.00±7.39
Triglyceride		55.00±9.12	54.20±3.56	61.80±6.53	56.60±7.06	46.00±2.83*
HDL-cholesterol		14.48±1.28	14.30±1.31	15.74±1.51*	15.84±0.69*	15.77±1.19*
LDL-cholesterol		6.67±0.58	6.25±0.50	6.80±1.10	6.60±3.84	6.60±0.55
GOT <sup>3)</sup>		75.25±4.27	79.20±7.50	76.00±4.85	77.33±5.96	80.80±8.04
GPT <sup>4)</sup>		29.40±4.51	29.60±3.65	31.60±2.85	33.80±5.12	30.60±2.30

The results are presented as a mean±SD of six animals in each group.

\*Significantly different from control at  $p<0.05$  by t-test

<sup>3)</sup>GOT; Glutamic oxaloacetic transferase

<sup>4)</sup>GPT; Glutamic pyruvic transferase

**Table 6. Total fecal weight and excreted water**

(unit: mg)

Items	Group	Normal	Loperamide treated (2 mg/kg)			
			Control	$\alpha$ -cellulose 5%	SHDF 5%	SHDF 10%
Wet weight		28.68±2.24*	11.97±1.83	28.32±3.60*	27.25±3.34*	33.40±4.44**
Dry weight		21.58±1.95*	8.40±1.26	21.74±2.46*	19.78±2.34*	25.15±3.19**
Excreted water		7.10±0.85*	3.57±0.77	6.58±1.51*	7.47±1.71*	8.25±0.63**

The results are presented as a mean±SD of six animals in each group.

\*Significantly different from control at  $p<0.05$  by t-test

\*\*Significantly different from normal at  $p<0.05$  by t-test

을 수 있는 추출 효율도 25%로서 가장 높았다. 따라서 본 실험에서는 총 탄수화물 대비 식이섭유의 비율이 가장 높으며 추출 효율이 뛰어난 step 3의 시료를 사용하여 실험하였다.

**체중변화**

본 실험에서 체중변화를 관찰한 결과는 Table 4와 같다. Initial weight는 Normal군은 235.0±9.19, Control군 242.33±6.38,  $\alpha$ -cellulose 5%군 227.50±8.34, SHDF 5%군은 228.75±10.81, SHDF 10%군 225.75±3.95로서 모두 유사하였다. final weight에서는 Control군에 비해 SHDF 10%군에서 유의성 있는 체중 감소의 효과를 보였으며, Normal군에 비해 함초식이군 모두 체중 감소 효과를 보였다.

**혈청 생화학적 분석 결과**

혈청 중 total cholesterol, triglyceride, HDL-cholesterol 및 LDL-cholesterol, GOT, GPT의 함량변화는 Table 5과 같다. 혈중 triglyceride 함량은 Control군에 비해 SHDF 10%군이 유의성 있는 감소를 보여 주었고 심지어,  $\alpha$ -cellulose 5%군과 비교하여 효과적인 감소를 보여주었다. Total cholesterol 함량은 모든 실험군이 유사하였으며 Normal군은 Control군 보다는 약간 증가 하였으나 유의적인 차이는 없다. HDL-cholesterol의 함량은 Control군에 비해서  $\alpha$ -cellulose 5%군, SHDF 5%, 10%군에서 모두 유의성 있는 증가를 보여주었다. 또한, LDL-cholesterol 함량은 모든 실험군에서 변화를 확인할 수 없었다.

SHDF 10%군에서 triglyceride의 유의성 있는 감소는 Raiser 등에 의해 규명된 내용 중 사람에게 총 열량의 20%의 식이섭유를 섭취 시켰을 때 혈액의 중성지방량이 감소되었다는 보고와 유사하다(24). 그 기전으로는 열량 흡수를 감소시켜 지방조직의 축적을 감소시키고, 대장에서의 short chain fatty acid가 지방산합성을 조절하는 효소의 활성을 감소시키기 때문이라고 하였다(25,26). 또한 Yang의 연구결과 식이섭유의 섭취가 혈청 중성지방 수준을

저하시킨다는 결과와 유사했다(27).

다양한 요인에 의해 독성이 유발되면, 해독을 담당하는 기관인 간에 무리를 주어 간세포에 손상을 일으키고, 세포내 GOT, GPT가 혈중으로 유리되어 혈청 중 GOT, GPT의 효소 수치가 증가 된다(28). 함초로부터 추출한 불용성 식이섭유는 혈청 중 GOT, GPT의 효소 함량에 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 5). 따라서, 함초로부터 추출된 식이섭유의 장기간 섭취는 간독성을 일으키지 않는 안전한 물질임을 알 수 있었다.

**분변의 수분 함량과 장 통과시간**

실험 중 함초 식이섭유의 식이에 따른 분변의 무게에 대한 결과는 Table 6와 같다. 채집한 즉시 wet weight 함량측정 결과 Control군에 비해 모든 그룹이 2배 이상 유의성 있는 증가를 보이며 특히, SHDF10% 군은 3배 이상의 증가량을 보여주고 있었다. 분변 중 dry weight를 측정한 결과 역시 Control군에 비해 모든 그룹이 유의성 있게 증가한 것을 보여준다. 특히, Control 군과 같은 경우 정상적인 몸무게의 증가 대비 대변량이 적은 것을 Table 2를 통해 확인 할 수 있다. 그러나 SHDF 10% 군은 Normal과 Control군에 비해 유의적으로 몸무게가 감소하였으나 대변량의 증가와 그에 따른 배출된 대변의 수분양의 증가를 확인할 수 있었습니다. 결과적으로, 분변 중 수분함량은 Control군에 비해 모든 그룹이 유의성 있는 수분 증가를 보여주었고, SHDF 5%군과 SHDF 10%군은 Normal군에 비해서도 상당한 분변 양의 증가를 확인할 수 있었다.

대변의 장 통과시간은 Normal군에 비해 Control군에서 유의적으로 증가하였다(Table 7). Control군 1292.0±79.85, 5%  $\alpha$ -cellulose 777.8±80.0, SHDF 5%군 704.0±61.35, SHDF 10%군 651.6±83.25분을 나타내었다. Control군에 비교했을 때 5%  $\alpha$ -cellulose 군은 60%, SHDF 5%군은 54%, SHDF 10% 군은 50% 대변의 장 통과시간이 감소한다는 것을 알 수 있었다.

배변량은 크게 세 가지에 의해 좌우되는데 첫째는 대장점막을

Table 7. The intestinal transit time of rats fed on SHDF

(unit: min)

Items	Group	Normal	Loperamide treated (2 mg/kg)			
			Control	$\alpha$ -cellulose 5%	SHDF 5%	SHDF 10%
Time (%)		833.2 $\pm$ 49.69* (64)	1292.0 $\pm$ 89.85 (100)	777.8 $\pm$ 80.0* (60)	704.0 $\pm$ 61.35*# (54)	651.6 $\pm$ 83.25*# (50)

The results are presented as a mean $\pm$ SD of six animals in each group.

\*Significantly different from control at  $p < 0.05$  by t-tast

#Significantly different from normal at  $p < 0.05$  by t-tast

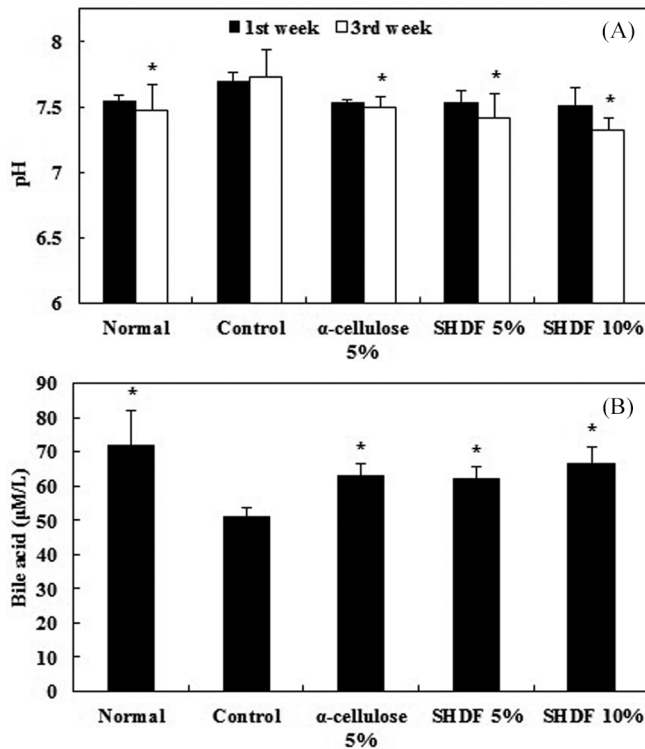


Fig. 2. Effect of SHDF on the fecal levels of pH (A) and contents of bile acid (B) in Sprague-Dawley rats. The results are presented as a mean $\pm$ SD of six animals in each group. Normal; AIN-93, Control; AIN-93- $\alpha$ -cellulose,  $\alpha$ -cellulose 5%; AIN-93+loperamide, SHDF 5% and 10%; *S. herbagea* dietary fiber+AIN-93. \*Significantly different from control at  $p < 0.05$  by t-tast

통해 수분 흡수 시간과 결합력, 둘째는 섬유질의 결합정도, 마지막으로 대장 내 세균의 양에 따라 좌우된다. 식이섬유소를 섭취할 경우 수분 흡수시간은 감소하나 결합력은 증가하며 장내 유익세균의 이용률이 증가되어 배변량을 증가시켜 전분의 가수분해를 감소시켜주는 것으로 보고되고 있다(29,30).

결과적으로, 불용성 식이섬유소가 증가에 따른 수분보유력, 장 내용물의 부피증가, 점성의 부여로 변량이 현저히 많아진다. 본 실험의 결과 loperamide 처치군에 비해 모든 함초 식이 군에서 분변 양과 대변내 수분양은 유의성 있는 증가를 가져왔으며, 대변의 장 통과시간은 현저한 감소를 보여주고 있다. 이와 같은 결과는, 함초로부터 추출한 불용성 식이섬유의 섭취가 변비로 인해 유발되는 다양한 배변 장애에 탁월한 효과가 있을 것으로 생각된다.

#### 분변 중 pH와 담즙산 측정 결과

분변의 pH는 실험시작 1주와 3주로 구분하여 측정 비교하였다(Fig. 2A). 1주차 분변의 pH 결과는 Control군과 비교하였을 때

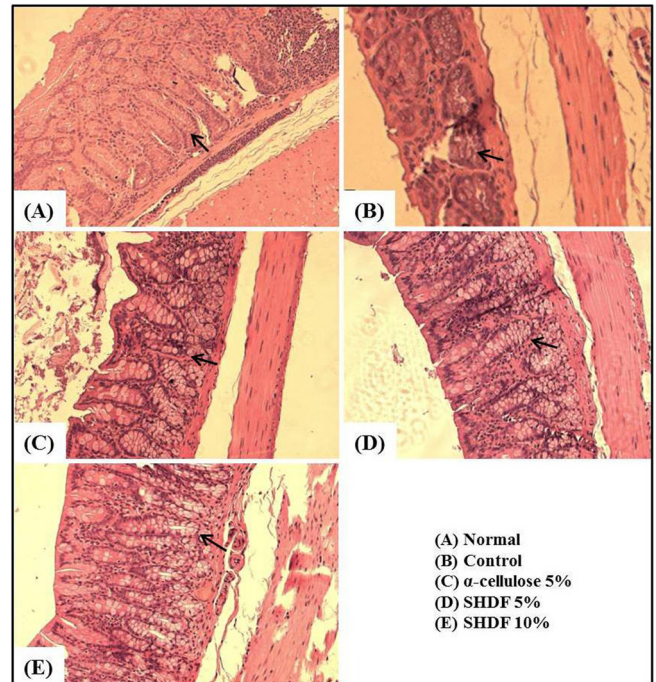


Fig. 3. The thickness of intestinal glands (microscope magnification,  $\times 100$ ).  $\rightarrow$ ; intestinal glands

SHDF 10%군에서 감소를 보인것을 제외하고는 큰 차이를 확인할 수 없었다. 그러나 3주차 분변에서는 Control군에 비하여 모든 실험군에서 유의적으로 낮은 pH값을 확인하였으며, SHDF 10%군에서는 가장 낮은 pH값을 확인할 수 있었다. 1주차 결과에서는 각 그룹간 변동 경향이 적은 반면 실험이 더 진행된 3주차에서는 각 그룹간 변동 폭이 큰 것을 알 수 있었다.

분변 중 담즙산은 Normal군을 100%로 보았을때 Control군은 70%, 5%  $\alpha$ -cellulose군은 88%, SHDF 5%군은 87%, SHDF 10%군은 93%의 결과를 보였다. 결과적으로, Control군과 비교하여 모든 처치군에서 담즙산이 유의적으로 증가하였다(Fig. 2B).

식이섬유는 대장내균총에 의한 발효를 증가시켜 저급의 휘발성 지방산을 생성하여 pH를 낮추고, 대장 내의 pH 저하는 *Bifidobacteric*의 증가에 의한 젖산 및 초산 등이 생성되어 유해균들의 생육이 억제되고, 담즙산과 지방산이 이온화되지 않은 형태로 배설된다고 보고되고 있다(31-33). 본 실험 결과에서도 함초 식이 섬유를 식이하지 않은 Control군의 pH는 식이섬유를 투여한 군보다 pH가 증가한 경향을 확인하였으며, 특히 SHDF 10% 식이 처치군의 pH가 가장 감소한 것을 확인할 수 있었다. 음식물의 장통과시간이 짧아지게 되면 담즙산의 장기순환을 억제함으로써 총 담즙산이 증가하는데 식이섬유에 의해 담즙산과의 결합정도가 다르다고 한다(34).

결과적으로, 함초로부터 추출한 식이섬유는 대장내 pH 증가를 억제하고, 담즙산의 증가를 유도하여 변비가 유발된 장내 환경 개선에 기여한 것으로 생각된다.

**병리조직학적 관찰 결과**

변비 증상이 있을 경우에는 장 점막층 기능이 감소되며, loperamide를 장기간 투여하면 대장의 점액질을 손상시켜 두께가 얇아지고 결과적으로 대장 내용물의 이동에 지장을 초래하게 된다. 맹장으로부터 10 cm 상단부분의 대장조직을 염색후 이미지 분석 현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 3와 같다. 장샘의 길이는(현미경 magnification, ×100) 평균적으로 Normal군 약 45 μm, Control군 약 11 μm, 5% α-cellulose군 약 27 μm, SHDF 5%군 약 25 μm, SHDF 10% 군 약 32 μm의 결과를 보였다.

Normal군에서는 세 개의 층을 확연히 볼 수 있다. 반면, Control군은 장샘의 길이가 가장 짧으며 한 개의 층만을 관찰 할 수 있었다. α-cellulose 5%와 SHDF 5%군은 두 개의 층을 볼 수 있으며, SHDF 10%군은 두 개의 층을 보여주고 있지만 Normal군과 가장 유사한 형태의 염색상을 보여주고 있다. 이러한 결과는 loperamide 처치가 대장 점막에 손상을 유도하여 장샘에 손상을 유도한다는 것을 확인 할 수 있었다. 장샘의 손상은 mucin의 생성과 분비가 감소를 초래하여 장 기능을 저하시키는 결과를 초래함을 예측할 수 있다. 그러나 장기간의 SHDF 10% 식이군에서는 loperamide에 의한 장손상을 보호하여 장기능을 회복시킴으로써 mucin의 생성과 분비가 증가하여 변비 증상을 완화 시킬 것으로 예상된다.

**요 약**

본 실험에서는 함초에 포함 되어 있는 불용성 식이섬유를 추출 분리 하여 변비가 유발된 흰쥐에서의 다양한 장 기능 개선 효과에 대하여 알아보았다. 실험은 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 사용하였으며 Normal군, Control군, 5% α-cellulose군, SHDF 5%, SHDF 10%군으로 나누었다. AIN-93 기본식이에 다른 식이섬유를 첨가하여 4주 동안 식이하여 혈청 중 지질 성분의 생화학적 분석, 대변량과 수분 함유량의 변화, 장 통과시간 측정, 분변 중 pH와 담즙산 측정, 대장의 병리조직학적 관찰 등을 통해 결과를 얻었다. 혈중 triglyceride 함량은 Control군에 비해 SHDF 10%군이 유의성 있는 감소를 보여 주었고 심지어, 5% α-cellulose군과 비교하여 효과적인 감소를 보여주었다. HDL-cholesterol의 함량은 Control군에 비해서 모든 군에서 모두 유의성 있는 증가를 보여 주었다. 채집한 분변의 wet weight와 dry weight는 모두 Control군에 비해 유의성 있는 증가를 보였으며, 배출된 대변에서의 수분양이 유의성 있게 증가하였다. 분변의 장 통과시간이 Control군에 비해 유의적으로 단축되는 것으로 나타났다. 분변의 pH는 Control군에 비해 함초의 식이에 의해 유의성 있는 감소를 보였으며, 담즙산은 유의성 있게 증가했다. 조직의 염색상을 통해 장샘의 길이와 전체적인 형태를 확인한 결과 Control군에 비하여 함초식이군에서 조직의 손상이 회복되는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 함초의 불용성 식이섬유는 혈중 triglyceride의 감소와 HDL-cholesterol을 증가시키고, 대변량을 증가시키고 장 통과시간을 단축하여 손상된 장관내 환경을 개선시킴으로써, 장점막층의 빠른 회복을 통하여 변비 등과 같은 장기능 저하에 탁월한 효과를 가질 것으로 생각된다.

**감사의 글**

이 논문은 중원대학교 교내학술연구비 지원에 의한 것입니다.

**References**

1. Yang EJ, Kim WY, Song WO. Health risks in relation to dietary changes in Korean Americans. *Korean J. Dietary Culture* 16: 515-524 (2001)
2. Lee HS. Dietary fiber intake of Korean. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 540-548 (1997)
3. Seo JS, Han IK. Influence of sources and levels of dietary fiber on lipid composition in rats. *Korean J. Nutr.* 21: 164-172 (1988)
4. Nakamura T, Hours RA, Sakai T. Enzymatic maceration of vegetables with protopectinases. *J. Food Sci.* 60: 468-472 (1995)
5. McDougall GJ, Morrison IM, Stewart D, Hillman JR. Plant cell walls as dietary fibre: Range, structure, processing and function. *J. Sci. Food Agric.* 70: 133-150 (1996)
6. Heller SN, Hackler DL, Rivers JM, Van Soest PJ, Roe DA, Lewis BA, Robertson J. Dietary fiber: the effect of particle size of wheat bran on colonic function in young adult men. *Am. J. Clin. Nutr.* 33: 1734-1744 (1980)
7. Stevens J, VanSoest PJ, Robertson JB, Levitsky DA. Comparison of the effects of psyllium and wheat bran on gastrointestinal transit time and stool characteristics. *J. Am. Diet. Assoc.* 88: 323-326 (1988)
8. Eastwood M, Kritchevsky D. Dietary fiber: how did we get where we are? *Annu. Rev. Nutr.* 25: 1-8 (2005)
9. Jo YC, Lee KS, Chon SM, Byun DS. Characteristics of growth and germination of *Salicornia herbacea* L. for the soil salinity and manure condition. *Korean J. Medicinal Crop. Sci.* 10: 100-108 (2002)
10. Ermawati N, Cha JY, Liang YS, Jung MH, Shin DJ, Lee BH, Lee KH, Son DY. Molecular cloning and characterization of outer envelope membrane protein from *Salicornia herbacea*. *Korean J. Plant Biotechnol.* 31: 273-278 (2004)
11. 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.* 55: 67-74 (2004)
12. Min JG, Lee DS, Kim TJ, Park JH, Cho TY, Park DI. Chemical composition of *Salicornia herbacea* L. *J. Food Sci. Nutr.* 7: 105-107 (2002)
13. Lee JT, An BJ. Detection of physical activity of *Salicornia herbacea*. *Korea J. Herbol.* 17: 61-69 (2002)
14. Han SK, Kim SM. Antioxidative effect of *Salicornia herbacea* L. grown in closed sea beach. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 207-210 (2003)
15. Min JG, Son KT, Kim JH, Kim TJ, Park JH. Physiological and functional properties of *Salicornia herbacea* (Tungtungmadi) leaf extracts. *Nutraceuticals Food* 7: 261-264 (2002)
16. Shin KS, Boo HO, Jeon MW, Ko JY. Chemical Components of Native Plant, *Salicornia herbacea* L. *Korean J. Plant. Res.* 15: 216-220 (2002)
17. Prosky L, Asp N, Sweizer TF, Deveries J, Furda L. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and products. Ieterla-boratory study. *JAOAC.* 71: 1017-1023 (1988)
18. Kim SH, Park HY, Park WK. Determination and physical properties of dietary fiber in seaweed products. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 17: 320-325 (1988)
19. Maes C, Deicour JA. Structural characterization of water-extractable and water-unextractable arabinoxylans in wheat bran. *J. Cereal. Sci.* 35: 315-326 (2002)
20. AOAC. Official Method of Analysis of AOAC Intl. 16<sup>th</sup> ed. Method 991.43. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA (1995)
21. Park SH, Lee YK, Lee HS. The effect of dietary fiber feeding on gastrointestinal functions and lipid and glucose metabolism in Streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J. Nutr.* 27: 311-322

- (1994)
22. Miettinen TA, Ahrens EH, Grundy SM. Quantitative isolation and gas-liquid chromatographic analysis of total dietary and fecal neutral steroids. *J. Lipid Res.* 6: 411-424 (1965)
  23. Crowell MJ, Macdald IA. Enzymatic determination of 3-, 7-, and 12-hydroxyl groups of fecal bile acids. *Clin. Chem.* 26: 1298-1300 (1980)
  24. Raiser S, Powell AS, Scholfield DJ, Panda P, Ellwood KC, Canary JJ. Blood lipids, lipoproteins, apoproteins and uric acid in men fed diets containing high fructose or high amylose cornstarch. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 832-839 (1989)
  25. Folch J, Lees M, Stanley GHS. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem.* 223: 497-509 (1957)
  26. Fernandez ML, Roy S, Vergara-Jimenez M. Resistant starch and cholestyramine have distinct effects on hepatic cholesterol metabolism in guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *Nutr. Res.* 20: 837-849 (2000)
  27. Yang JL, Suh MJ, Song YS. Effects of dietary fibers on cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. *Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 116-122 (1997)
  28. Park MH, Kwon CJ, Lim SH, Kim KH, Heo NK, Jang HK, Park IJ, Lee KJ. Effects of dietary fiber isolated from *Synurus deltoideus* on constipation in loperamide-induced rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 1715-1719 (2011)
  29. Eastwood MA. The physiological effect of dietary fiber: An update. *Annu. Rev. Nutr.* 12: 19-35 (1992)
  30. Anderson JW, Gilinsky NH, Deakins DA, Smith SF, O'Neal DS, Dillon DW, Oeltgen PR. Lipid responses of hypercholesterolemic men to oat-bran and wheat-bran intake. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 678-683 (1991)
  31. Lee HA, Lee SS, Shin HK. Effect of dietary fiber sources on the composition of intestinal microflora in rats. *Korean J. Nutr.* 27: 988-995 (1994)
  32. Lee SH, Woo SJ, Koo YJ, Shin HK. Effect of mugwort, onion and polygalae radix on the intestinal environment of rats. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 598-604 (1995)
  33. Lee HJ, Hwang EH. Effect of alginic acid, cellulose and pectin level on bowel function in rats. *J. Nutr. Health.* 30: 465-477 (1997)
  34. Willet W, Stampfer MJ, Colitz GA, Rosner BA, Speizer FE. Relation of meat, fat and fiber intake to the risk of colon cancer in a prospective study among women. *N. Engl. J. Med.* 332: 1664-1672 (1990)