

김 다당류 porphyran의 급이가 흰쥐의 혈청과 간의 효소활성 및 마우스의 면역에 미치는 영향

정규진 · 정복미^{1*} · 김선봉²

남도대학 해양식품산업과, ¹여수대학교 식품영양학과, ²부경대학교 식품공학과

Effect of Porphyran isolated from Laver, *Porphyra yezoensis*, on Liver Lipid Peroxidation in Hyperlipidemic Rats and on Immunological Functions in Mice

Kyoo-Jin Jung, Bok-Mi Jung^{1*} and Seon-Bong Kim²

Department of Marine Food Industry, Provincial College of Namdo

¹Department of Food Science and Nutrition, Yosu National University

²Department of Food and Biotechnology, Pukyong National University

This study was carried out to investigate the effect of porphyran on enzyme activity in rats and immunity in mice. Animals were divided into 5 groups, and were given porphyran diet for 4 weeks. Porphyran was extracted from *Porphyra yezoensis*: Diet groups were normal diet, control diet fed high fat, cholesterol and sodium cholate, control and 1% porphyran diet (1% PD), control and 5% porphyran diet (5% PD), control and 10% porphyran diet (10% PD). Also Balb/c female mouse were injected i.p. with porphyran extract every other day for 20 days at levels of 1%, 2% and 5%. Alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), alkaline phosphatase (ALP) and lactate dehydrogenase (LDH) activities were lower in the porphyran diet group than those in control group. Superoxide dismutase and catalase activities in liver homogenates were reduced in porphyran diet group compared to those of control group. Also, the level of liver thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) was lower in porphyran group than that of control group. Porphyran increased IL-1 production in a dose-dependent manner; however, interleukine-2 production was reduced as the amount of porphyran increases. These results showed that supplementation of porphyran lowered antioxidant enzyme activities and has possibility of modulating immunological function.

Key words: porphyran, antioxidation, immunological function

서 론

해조류는 총 생산량 487천톤⁽¹⁾이고, 그 중 김은 206천톤 (42.3%)이 생산되어 미역, 다시마 및 톳 등과 함께 우리나라 주요 해조류 중의 하나를 차지하고 있다. 마른 김은 총 해조 제품 생산량 101천톤 중에서 50천톤(49.5%)이 생산되어 해조류 중 가장 많은 가공품을 생산하고 있으며, 주로 서남해안에서 생산 및 가공되고 있다. 이들 해조류는 70년대 이후 양식기술의 발달로 생산량은 꾸준히 증가하고 있지만⁽²⁾, 소비둔화, 가격하락 등이 해조산업의 장애요인으로 대두되고

있으며, 김의 활용도를 높이기 위해서는 각종 유용성분의 응용을 위한 연구가 필요한 실정이다. Porphyran 등의 해조다당류는 식이 섬유로서 섭취시 장의 활동을 원활하게 하고 배변을 잘되게 하여, 유독 성분이 장내에 머무는 시간을 줄이고, 배변량을 늘림으로써 유독 성분의 독성을 희석시켜 대장암의 발병률을 낮출 수 있다⁽³⁾. 또한 김 추출물은 항산화 효과^(4,5)를 비롯하여, 항암효과 및 수명연장효과를 나타내었고^(6,7), 세포 수 및 면역관련 장기의 무게도 증가한다고 하였다⁽⁸⁾. 해조로부터 추출된 다당류에는 갈조류의 fucoidan과 홍조류의 carrageenan 같은 면역체계에 영향을 미치는 것이 많으며, 김으로부터 열수 또는 묽은 염산에서 추출되어지는 porphyran을 많이 함유한 획분에서도 쥐의 macrophage를 활성화하는 작용이 알려져 있다. 또한 김에 함유되어 있는 porphyran은 산성 다당류로서 1,4위치에 결합하는 α -L-galactose-황산 잔기가 면역부활 물질로서의 생물학적 활성기능을 갖는다고 보고하였다⁽⁹⁾.

*Corresponding author : Bok Mi Jung, Department of Food Science and Nutrition, San 96-1 Dunduckdong, Yosu, Chonnam, 550-749, Korea

Tel: 82-61-659-3414

Fax: 82-61-659-3410

E-mail: jbm@yosu.ac.kr

그러므로 본 연구에서는 김으로부터 분리한 porphyrin을 이용하여 흰쥐의 간 기능의 효소 활성, 항산화 효소 활성 및 마우스에서 세포의 면역 부활능에 대한 조사를 실험적 접근을 통하여 porphyrin의 생리 기능적 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

시료

실험에 사용한 김(*Porphyra yezoensis*)은 전남 장흥 연안에 위치한 김 양식장에서 1999년 12월부터 2000년 3월까지 매월 5일에 채취한 양식 김을 김 가공공장에서 마른 김으로 가공하여 냉장실에 보관하여 두고 실험에 사용하였다. Porphyrin 추출용 김은 당질함량이 가장 높은 3월에 채취한 김을 이용하였으며, 마른 김을 방수포장지로 내 포장한 다음 카톤 박스에 넣어 최대한 공기의 접촉이 없도록 밀봉하여 보관하면서 porphyrin을 추출하는데 사용하였다.

Porphyrin의 추출

Porphyrin의 제조는 Nishide 등^(10,11)의 방법을 약간 수정하여 전보⁽¹²⁾와 같이 제조하였다.

실험식이 및 시약

실험 식이와 방법은 전보⁽¹²⁾와 같으며, 실험동물 식이 중 casein, choline bitartrate, methionine, sodium cholate, sucrose, mineral mixture, vitamin mixture, cellulose 및 cholesterol은 Sigma사 제품, corn starch는 미원 제품, lard, corn oil은 해표 제품을 사용하였다. 효소 측정에 필요한 malondialdehyde(1,1,3,3-tetramethoxy propane), superoxide dismutase, bovine serum albumin(BSA), thiobarbituric acid(TBA), phosphate buffered saline(Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ free), pyrogallol, diethylenetriaminepentaacetic acid, triton X-100 등은 Sigma사의 특급 제품을 사용하였다.

동물 실험

Sprague Dawley계 3주령된 수컷 흰쥐를 동물의 체중에 따라 각 군의 평균 체중이 비슷해지도록, 1군에 9마리씩 5군으로 나누어 4주간 사육하였다. 실험기간 종료 후, 12시간 동안 절식시킨 뒤 diethyl ether로 마취시켜 cardiac puncture로 채혈하였다. 채혈된 혈액은 원심 분리관에 넣어, 실온에서 30분간 방치시킨 후 원심분리(600×g, 15 min)하여 혈청을 분리한 즉시 효소활성 분석에 사용하였고, 혈액채취 후 바로 간을 적출하여 탈혈한 다음, 여과지로 물기를 제거한 후 무게를 측정하였다. 한편 면역에 사용된 실험동물은 Balb/c female mouse 6주령에 속하는 것을 구입(효창 사이언스, 대구)하였으며, 동물실험실에서 1주일간 적응시킨 후 3마리씩 4군으로 나누어 12마리를 20일간 실험하였다.

혈청중의 효소활성 측정

혈청중의 alanine aminotransferase(ALT)와 aspartate aminotransferase(AST) 활성은 Reitman-Frankel법⁽¹³⁾에 따라 조제된 kit시액(영동제약)을 사용하여 측정하였다.

간 조직의 전처리 및 효소활성도

분리한 간 조직을 각각 냉장 보관한 phosphate buffered saline(PBS, pH 7.3)으로 관류 세척 후 0.5 g씩 취하여 각 조직을 homogenize tube에 넣고 5배량의 potassium phosphate buffer(pH 7.3)로 채워 homogenizer로 5분간 균질화 시킨 후 초음파 세포막 분쇄기(Ultrasonic cell membrane disrupter, Sonics & Materials Co., Danbury, USA)로 세포막을 파괴하여 원심 분리(1,500×g, 10 min)하였으며, 그 상등액을 시료로 사용하였다. Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)는 Shah 등⁽¹⁴⁾의 방법을 응용하여 측정된 TBARS 함량으로 세포막 지질의 과산화 정도를 산출하였다. Superoxide-dismutase(SOD) 활성도는 시료 1 mL을 23,000 rpm으로 초고속원심분리(Beckman L8-80M Ultracentrifuge, SW60Ti Rotor)하여 얻은 상등액을 pyrogallol을 이용한 Stefan 등⁽¹⁵⁾의 방법을 응용하여 측정하였으며, Catalase활성도는 KMnO₄ 적정을 이용한 Cohen 등의 방법⁽¹⁶⁾으로 480 nm에서 그 흡광도를 측정하여 catalase 활성을 산출하였다.

면역 실험

Interleukin-1(IL-1) 및 Interleukin-2(IL-2) 분비량을 비교해보기 위해, porphyrin 1%(10 mg/mL), 2%(20 mg/mL) 및 5%(50 mg/mL)군은 조제된 시료를 실험동물에게 2일에 1회 1 mL씩 복강 주사를 연속적으로 20일간 투여하였으며, 대조군은 같은 양의 phosphate buffer액(pH 7.3)을 사용하였다.

최종 시료투여 일로부터 24시간 후 마우스를 마취시켜 심장으로부터 혈액을 채취한 다음, 원심 분리(600×g, 10 min)하여 혈액으로부터 혈청을 분리한 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 assay에 이용하였다. 혈청중의 IL-1 및 IL-2는 R&D사의 시판용 kit시약을 사용하여 enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA)에 의해 450 nm에서 측정하였다.

통계처리

동물실험 결과는 실험군 당 평균치와 표준편차로 표시하였으며, 각 실험군의 평균치간 유의성을 통계 package SAS program을 이용하여, Duncan's Multiple Range Test로 검증하여 P value가 0.05이하인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

혈청중의 ALT, AST, ALP 및 LDH 활성

실험 식이를 4주간 급여한 후 흰쥐의 혈청 중의 alanine aminotransferase(ALT), aspartate aminotransferase(AST), alkaline phosphatase(ALP) 및 lactate dehydrogenase(LDH)의 효소 활성도를 측정된 결과는 Table 1과 같다. 혈청중 ALT의 활성은 정상군이 고지혈증 유발군인 대조군 보다 높은 활성을 나타냈으나, porphyrin 급여 수준이 증가할수록 ALT활성이 현저하게 감소하였다. AST 활성 역시 정상군에 비해 대조군에서 훨씬 증가하였으며, porphyrin 1%, 5% 및 10% 급여군의 경우 정상군에는 미치지 못하였으나, 대조군 보다는 유의적으로 낮은 수치를 나타내었다. ALP의 활성 또한 유사

Table 1. Enzyme activities of serum from rats fed the experimental diets

Group	ALT (IU/mL)	AST (IU/mL)	ALP (mU/mL)	LDH (Wroblewski unit/mL)
Normal	20.85±3.68 ^{1)d2)}	33.00± 6.88 ^c	42.77±6.20 ^d	1173.87± 81.26 ^d
Control	83.67±9.36 ^a	105.61±12.08 ^a	72.40±5.61 ^a	2742.69± 99.06 ^a
1% PD	75.48±7.64 ^a	92.60± 4.82 ^b	69.44±4.59 ^a	2613.32±136.31 ^a
5% PD	62.28±7.20 ^b	79.19± 5.51 ^c	61.54±2.42 ^b	2400.70±206.86 ^b
10% PD	48.18±7.95 ^c	65.59± 4.80 ^d	53.38±4.64 ^c	2167.98± 78.38 ^c

¹⁾Mean±S.D. (n=9).

²⁾Means in the same column not sharing the same superscript letters are significantly different (p<0.05).

한 결과를 나타냈다. LDH의 활성은 정상군보다 대조군에서 훨씬 증가하였고, porphyran 급이군에서는 급이 수준이 증가함에 따라 대조군에 비해 유의적으로 낮은 활성치를 나타내었다. 본 실험에서 고지혈증 유발군인 대조군에서 모든 효소가 유의적으로 증가하였다는 것은 간세포가 상당부분 손상된 것을 의미하며, 여기에 porphyran을 급이 함으로써 모든 효소 활성이 유의적으로 감소한 것은, 김 성분이 간 기능보호에 유의하게 작용하고 있는 것으로 사료된다.

간장의 SOD, catalase 및 TBARS의 변화

Porphyran이 고지혈증을 유발한 흰쥐의 SOD, catalase 활성과 TBARS 함량에 미치는 영향을 측정한 결과는 Table 2와 같다.

Superoxide dismutase(SOD)는 정상군에 비해 대조군에서 효소활성이 증가하였으나, porphyran 1%, 5% 및 10% 급이군에서는 거의 정상군과 비슷한 경향을 나타내어, porphyran 급이가 체내 SOD 활성을 감소시킴을 확인하였다. Catalase는 산화적 대사에 의해 생성되는 hydrogen peroxide의 제거를 위해 체내 생성되는 항산화효소로, 본 실험에서 catalase 활성도는 정상군에 비해 대조군이 유의적으로 높게 나타났으며, 1% 및 5% porphyran 급이군에서는 대조군보다 약간 감소하였고, 10% porphyran 급이군에서는 대조군에 비해서 유의적인 감소를 나타내었다. Thiobarbituric acid reactive substances(TBARS)는 산화적 기작에 의해 생성된 지질이 과산화물인 MDA 일정량과 thiobarbituric acid 를 반응시켜 동일 파장에서의 흡수강도와 비교함으로써 산출된다. 본 실험에서 TBARS 함량은 대조군이 정상군에 비해서 증가하였으나, porphyran 급이군에서는 감소되었는데, 특히 porphyran 첨가 수준이 증가할수록 유의적으로 감소되었다. 이와 같이 본 실험에서 나타난 porphyran 투여후의 항산화 효소활성 감소는 radical 생성량의 감소에 의한 것으로 사료된다.

Table 2. Antioxidative enzyme activities of the liver from rats fed the experimental diets

Group	SOD (unit/mg protein)	Catalase (mM/min/mg protein)	TBARS (mg MDA/L)
Normal	1.34±0.30 ^{1)b2)}	4.82±0.63 ^c	18.41±2.01 ^b
Control	1.89±0.26 ^a	6.63±0.95 ^a	21.79±2.07 ^a
1% PD	1.49±0.22 ^{ab}	5.79±0.79 ^{ab}	15.53±2.41 ^c
5% PD	1.46±0.56 ^{ab}	6.00±0.36 ^{ab}	11.55±1.91 ^d
10% PD	1.31±0.35 ^b	5.11±0.88 ^{bc}	9.83±1.42 ^d

¹⁾Mean±S.D. (n=9).

²⁾Means in the same column not sharing the same superscript letters are significantly different (p<0.05).

해조류를 급이하여 체내 항산화 효소활성을 측정한 연구는 거의 드물며, 해조류에서 항산화 물질을 추출한 연구에서 Park 등⁶⁾은 12가지 식용해조류에서 메탄올을 사용하여 항산화제를 추출한 결과 김>미역>다시마>파래 등의 순으로 활성이 강하다고 보고하였으며, Lee 등¹⁷⁾은 김, 미역, 다시마, 모자반, 청각, 톳, 홀 파래 등에서 추출된 물질로부터 항산화 활성이 확인되었다고 보고하였다. 이들 결과로 볼 때 우리나라 근해에 서식하는 일부 해조류들에서 항산화활성이 있음을 알 수 있으며, 특히 본 연구결과에서 김에서 추출한 porphyran의 급이가 체내 항산화 효소활성을 감소시킴을 알 수 있었다.

면역능

Porphyran의 면역능 실험은 충분한 예비실험을 하여 2차에 걸쳐 실시되었으며, 동물 마리수는 표준편차가 거의 없는 관계로 3마리로 결정하였다. Porphyran이 마우스의 면역능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대조군 및 porphyran 1%, 2% 및 5% 군에 복강 주사 후 IL-1의 변화량을 나타낸 결과는 Table 3과 같다. 대조군에 비해서 porphyran 1% 투여군(10 mg/mL)에서 유의적인 감소를 나타냈으나, 2% porphyran 투여군(20 mg/mL)에서는 대조군에 비해 26.81%, 5% porphyran 투여군(50 mg/mL)에서는 77.95%의 증가를 나타내었다. IL-1은 주로 대식세포에서 합성되고 IL-1 α , IL-1 β 형태를 가지며 주요 작용은 T cell과 B cell의 발달 및 활성화, 다른 cytokines의 유도, cytokines receptor합성 등이다^{18,19)}.

Yoshizawa 등²⁰⁾은 *Porphyra yezoensis*로부터 추출한 다당류가 대식세포에 강한 활성을 갖는다고 보고하였는데, 이는 porphyran에 3, 6-anhydrogalactose와 sulfate가 함유되어 있기 때문이라고 하였다. 생체의 면역 체계에는 T세포와 식세포(phagocytic cell)가 주 역할을 하여, 세포성 면역과 B세포와 T세포에 항원을 나타내는 macrophage 등에 의해 형성되는

Table 3. Serum interleukin-1 level of mice injected I.P. with porphyran for 20 days

Group	Concentration of IL-1 (pg/mL)	% Control
Control	146.37±0.0141 ^{1)d2)}	100.00
1%	138.12±0.0049 ^c	94.36
2%	185.61±0.0495 ^b	126.81
5%	260.47±0.0283 ^a	177.95

¹⁾Values are means±S.D. (n=3).

²⁾Values with different superscript within the column are significantly different at p<0.05.

Table 4. Serum interleukin-2 level of mice injected I.P. with porphyran for 20 days

Group	Concentration of IL-2 (pg/mL)	% Control
Control	33.69±0.0021 ^{1)a2)}	100.00
1%	27.40±0.0014 ^b	81.33
2%	24.75±0.0028 ^c	73.46
5%	18.75±0.0014 ^d	55.50

¹⁾Values are means±S.D. (n=3).

²⁾Values with different superscript within the column are significantly different at p<0.05.

항체생산 등이 있다. 해조로부터 추출된 다당류에는 갈조류의 fucoidan과 홍조류의 carrageenan 같은 면역체계에 영향을 미치는 것이 많으며, 김으로부터 열수 또는 묽은 염산에서 추출되어지는 porphyran을 많이 함유한 획분에서도 쥐의 macrophage를 활성화하는 작용이 알려졌다⁶⁾.

Yoshizawa 등²¹⁾은 쥐 식세포계의 *in vivo* 활성 평가법(carbon clearance test)에 의해 활성을 연구한 결과, 김의 porphyran을 주성분으로 하는 획분에 carbon clearance 항진활성이 보여지며, 묽은 염산 추출 획분의 활성의 경우가 열수 추출 획분보다 높은 수치를 나타냈었고, 또한 묽은 염산추출 획분의 polystylen latexbeads를 이용한 평가법에서도 phagocytosis를 항진시켰다고 보고하였다.

대조군 및 porphyran 1%, 2% 및 5% 농도별 투여에 따른 IL-2의 변화량은 Table 4와 같으나, IL-1과는 달리 porphyran 투여에 의한 IL-2의 함량은 대조군에 비하여 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.

IL-2(T-cell growth factor)는 T 세포에서 분비되는 glycosylated protein으로 helper T cell의 합성에 결정적인 역할을 하는데, 활성화된 T 세포는 IL-2를 분비하며 표면에 IL-2 receptor와 transferrin receptor가 나타나고, 이것이 T 세포의 지속적인 증식을 일으킨다²²⁾. 그러므로 IL-2의 분비가 적으면 림프구 증식이 억제되는데²³⁾, 나이증가와 함께 나타나는 T 세포 기능감소가 IL-2 생산감소와 관련이 있는 것 같다²⁴⁾. 그 외에 natural killer(NK) 세포 증식 및 B 세포의 항체합성을 증가시키며, 동물에서 antimetastatic 작용을 한다²⁵⁾.

본 실험에서는 porphyran이 IL-1과 IL-2에 대한 면역능에 미치는 영향이 상반되는 경향으로 나타나 결론을 도출하기가 어려웠다. 이와 같이 porphyran이 실험동물의 면역능에는 뚜렷한 결과가 나타나지 않았으나, 항산화 능력은 우수한 효과를 발휘하였으므로 김의 점질 다당류인 porphyran은 체내 지질을 감소¹²⁾시키는 물론 항산화 등 여러 가지 생리활성을 갖는 것으로 연구되었으며, 이러한 생리작용은 강하지 않으면서도 생체에 대해 완전한 효과를 발휘하는 것으로 사료되며, 김을 기능성 식품으로서 연속적으로 섭취하는 경우, 생체 조절의 유지와 질병의 예방 등에 효과가 있는 것으로 기대되어 진다.

요 약

남해안에서 다량 생산되고 있는 김(*Porphyra yezoensis*)의

생리활성 물질인 porphyran을 분리 추출한 후, 흰쥐에서 고지혈증 및 고 콜레스테롤혈증을 유발시켜 간장의 항산화 효소활성 및 면역능을 측정하였다. 간의 효소활성 측정을 위해 Sprague-Dawley계 흰쥐를 9마리씩 5군으로 나누어 1군은 정상군, 2군은 대조군(고지혈증 유발군), 3, 4 및 5군은 porphyran 급이군으로서 대조군에 porphyran을 각각 1%, 5% 및 10%의 비율로 사료에 첨가하여 4주간 사육하였다. 면역능은 Balb/c female mouse를 이용하여 3마리씩 4군으로 대조군 및 porphyran 1%, 2% 및 5%로 조제된 시료를 실험동물에게 2일에 1회 1 mL씩 복강 주사를 연속적으로 20일간 투여한 후 비교하였다. 혈청중의 alanine aminotransferase(ALT), aspartate aminotransferase(AST), alkaline phosphatase(ALP) 및 lactic dehydrogenase(LDH) 활성은 대조군에 비해 porphyran 급이군에서 낮았으며, porphyran의 급이 수준이 증가할수록 대조군에 비해 유의하게 낮은 경향을 보였다. 간장의 superoxide dismutase와 catalase활성은 정상군에 비하여 대조군이 유의하게 높았으나, 대조군에 비해 porphyran 급이군에서는 낮았으며, 특히 10% porphyran 급이군에서는 정상군 수준으로 유의하게 감소되었다. TBARS 역시 대조군에 비해 porphyran 급이군 모두 유의하게 감소하였으며, 정상군 수준이하로 감소되었다. Interleukin-1농도는 porphyran 2% 및 5%를 투여한 흰쥐의 혈청에서 정상군보다 각각 26.81%, 77.95%의 증가를 나타내었으나, Interleukin-2는 감소하였다. 본 연구 결과에서 porphyran 급이는 고지혈증을 유발한 흰쥐에서 과산화물 농도를 저하시켜 항산화 효소활성을 낮추었으며, 면역능에서 일정한 현상은 나타나지 않았다.

문 헌

1. Ministry of Maritime Affairs & Fisheries. Statistical year book of maritime affairs and fisheries, pp. 1169-1171 (2000)
2. Jo, K.S., Do, J.R. and Koo, J.G. Pretreatment conditions of *Porphyra yezoensis*, *Undaria pinnatifida* for functional algae-tea. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 27: 275-280 (1998)
3. 什啓介, 森文平. 食物纖維の科學, pp. 60-73. 高分子水溶性食物纖維. 朝倉書店. 日本(1997)
4. Kaneda, T. and Ando, H. Component lipids of purple laver and their antioxygenic activity. Proc. Int. Seaweed Symp. 7: 553-559 (1971)
5. Park, J.H., Kang, K.C., Baek, S.B., Lee, Y.H. and Rhee, K.S. Separation of antioxidant compounds from edible marine algae. Korean J. Food Sci. Technol. 23: 256-261 (1991)
6. Park, Y.B., Kim, I.S., Yoo, S.J., Ahn, J.K., Lee, T.G., Park, D.C. and Kim, S.B. Elucidation of anti-tumor initiator and promoter derived from seaweed-2: Investigation of seaweed extracts suppressing mutagenic activity of PhIP and MeIQx. J. Korean Fish. Soc. 31: 581-586 (1998)
7. Noda, H., Amano, K. Arashima. Antitumor activity of polysaccharides and lipids from marine algae. Nippon Suisan Gakkaishi, 55(7): 1265-1271 (1989b)
8. Cho, K.J., Lee, Y.S. and Ryu, B.H. Antitumor effect and immunological activity of seaweeds toward sarcoma-180. Bull. Korean Fish. Soc. 23: 345-352 (1990)
9. 吉澤康子, 野村和代. 紅藻由来免疫賦活多糖に関する研究. 食品工業 37: 25-30 (1994)
10. Nishide, E., Ohno, M., Anzai, H. and Uchida, N. Extraction of porphyran from *Porphyra yezoensis* ueda F. narawaensis miura. Nippon Suisan Gakkaishi 54: 2189-2194 (1988)
11. Koo, J.G. and Park, J.H. Chemical and gelling properties of

- alkali-modified porphyran. J. Korean Fish. Soc. 32: 271-275 (1999)
12. Jung, K.J., Jung, B.M. and Kim, S.B. Effect of porphyran isolated from Laver, *porphyra yezoensis*, on lipid metabolism in hyperlipidemic and hypercholesterolemic rats. Korean J. Food Sci. Technol. 33: 633-640 (2001)
 13. Reitman, S. and Frankel, S. A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxaloacetic and glutamic pyruvic transaminase. Am. J. Clin. Pathol. 28: 56-63 (1957)
 14. Shah, S.V., Cruz, F.C., and Baricos, W.H. NADPH-induced chemiluminescence and lipid peroxidation on kidney microsomes. Kidney Int. 23: 691-698 (1983)
 15. Stefan, M. and Gudrun, M. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. Eur. J. Biochem. 47: 469-474 (1974)
 16. Cohen, G., Dembiec, D. and Marcus, J. Measurement of catalase activity in tissue extracts. Agric. Biol. Chem. 34: 30-38 (1970)
 17. Lee, B.H., Choi, B.W., Chun, J.H. and Yu, B.S. Extraction of water soluble antioxidants from seaweeds. J. of Korean Ind. & Eng. Chem. 7: 1069 - 1077 (1996)
 18. Lokesh, B.R., Sayer, T.J. and Kinsella, J.E. Interleukin-1 and tumor necrosis factor synthesis by mouse peritoneal macrophage is enhanced by dietary n-3 polyunsaturated fatty acid. Immunol. Letter 23: 281-284 (1989)
 19. Meydani, S.N. Dietary modulation of cytokine production and biological functions. Nut. Rev. 48: 361-364 (1990)
 20. Yoshizawa, Y., Ametani, A., Tsunehiro, J., Nomura, K., Itoh, M., Fukui, F. and Kaminogawa, S. Macrophage stimulation activity of the polysaccharide fraction from a marine algae (*Porphyra yezoensis*): structure-function relationships and improved solubility. Biosci. Biotechnol. Biochem. 59: 1933-1937(1995)
 21. Yoshizawa, Y., Enomoto, A., Todoh, H., Ametani, A. and Kaminogawa, S. Activation of murine macrophages by polysaccharide fractions marine algae (*Porphyra yezoensis*). Biosci. Biotechnol. Biochem. 57: 1862-1868 (1993)
 22. Yagoob, P. and Carder, P.C. The effect of fatty acids on lymphocyte functions. Int. J. Biochem. 12: 1705-1709 (1993)
 23. Calder, P.C., Bond, J.A. Bevan, S.J. and Newsholeme, E.A. Unsaturated fatty acids inhibit interleukin-2 production by concanavalin A-stimulated lymphocytes. Proc. Nutr. Soc. 50: 171-175 (1991)
 24. Meydani, S.N. Modulation of cytokine production by dietary polyunsaturated fatty acids. P.S.E.B.M. 200: 189-191 (1992)
 25. Devi, M.A. and Das, N.P. Antiproliferative effect of polyunsaturated fatty acid and interleukin-2 on normal and abnormal human lymphocytes. Res. Articles 50: 489-492 (1994)

(2001년 6월 26일 접수)