

## 해양오염의 진단을 위한 생화학적 오염지표에 관한 연구 VIII. 남해산 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 산소라디칼 및 제거효소의 변화

최진호 · 김동우 · 김정화 · 김대익 · 박청길\* · 양동범\*\*  
부경대학교 식품생명과학과 생화학교실, \*부경대학교 공과대학 환경공학과, \*\*한국해양연구소 해양화학연구부

### Study on Biochemical Pollutant Markers for Diagnosis of Marine Pollution

#### VIII. Changes in Oxygen Radicals and Their Scavenger Enzymes of the Flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the South Sea

Jin-Ho CHOI, Dong-Woo KIM, Jung-Hwa KIM, Dae-Ik KIM, Chung-Kil PARK\* and Dong Beom YANG\*\*

Department of Food and Life Science, Pukyong National University \*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University \*\*Korea Ocean Research and Development Institute

This study was designed as a part of efforts to investigate the biochemical pollutant markers for diagnosis of marine pollutions by changes in oxygen radicals and their scavenger enzymes of the flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the South Sea of Korea. Protein contents in brain and muscle of cultured flounder in the South Sea were remarkably lower (19~42% and 25~41%, respectively) than those of wild flounder in Pohang of the East Sea as a control group. Lipid peroxide (LPO) levels in serum of cultured in the South Sea were considerably higher (5~33%) than those of wild flounder in Pohang. Hydroxyl radical formations in serum of cultured flounders in the South Sea were lower (4~25%) than those of wild flounders in Pohang. Superoxide dismutase (SOD) activities in serum of cultured flounders in South Sea were also significantly lower (7~31%) than those of wild flounders in Pohang. It is believed that significant decrease of protein contents in brain and muscle, and remarkable increases of LPO in serum of cultured flounders may be used as a biochemical pollutant markers for diagnosis of marine pollutions. These results suggest that near-coastal water as well as neritic water of the South Sea might be affected by pollutant input as well as the Yellow Sea of Korea.

**Key words:** Flounder (*Paralichthys olivaceus*), oxygen radcials, hydroxyl radical ( $\cdot\text{OH}$ ), superoxide dismutase (SOD), scavenger enzymes.

### 서 론

우리 국민은 동물성 단백질의 거의 50%를 수산물에 의존하고 있기 때문에 삼면이 바다인 우리나라의 해양환경은 매우 중요한 의미를 갖는다. 최근 내분비계 교란물질로서 환경호르몬을 유발하는 것으로 밝혀지고 있는 농약이나 중금속 등에 의한 해양 생태계의 파괴는 인간의 삶의 질을 낮아갈 뿐만 아니라 생존과도 직결되는 심각한 문제가 아닐 수 없다. 정화되지 않고 바다로 유입되는 공장폐수나 가정오수, 그리고 농약 등 육상의 오염물질들은 해양생태계에 심각한 피해를 초래한다. 해양의 수많은 생물종들이 다양한 오염물질에 의해 어떠한 피해를 받는가를 모두 조사한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 세계적으로 오염물질에 민감하게 반응하는 생물들을

중심으로 생화학적, 생리학적 지표를 개발하는 연구가 많이 진전되고 있을 뿐만 아니라 해양환경의 영향평가에 실제 적용되기 시작하고 있다 (Ellman et al., 1961; Holland et al., 1967; Grzebyk and Galgani, 1991; Galgani et al., 1992; Bocqu ne and Galgani, 1991; Collier et al., 1992; McCain et al., 1996).

저자 등은 이미 황해안의 자연 및 양식산 넙치 (Choi et al., 1997a; Moon et al., 1997; Choi et al., 1997b) 및 도다리 (Choi et al., 1997c,d,e)를 시료로 한 해양오염의 진단을 위한 생화학적 오염지표 연구를 실시하여 도다리 혈액의 생화학분석을 이용한 오염의 측정법 (최와 양, 1997a) 및 넙치의 생화학적 분석기법을 이용한 해양오염의 측정법 (최와 양, 1997b)을 특허출원한 바 있다. 본 연구에서는 전보 (Choi et al., 1998)에 관련된 연구로서,

본 연구는 환경부 과학기술처의 선도기술개발사업인 "해양환경 감시 및 평가기술 (9-4-1)"의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

우리나라 남해안의 양식산 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)를 사용하여 활성산소 (oxygen free radical)로 알려진 히드록시 라디칼 (hydroxyl radical), 수퍼옥시드 라디칼 (superoxide radical) 등의 활성산소 (oxygen radicals)의 생성을 평가하고, 아울러 이들 활성산소의 제거효소 (scavenger enzyme)로서 수퍼옥시드 디스무타아제 (superoxide dismutase: SOD), 글루타치온 퍼옥시다아제 (glutathione peroxidase: GSHPx) 등의 활성을 분석 비교하여 생화학적 오염지표의 설정 가능성을 평가하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조직의 분획 및 단백질의 측정

전보 (Choi et al., 1998)와 마찬가지로 넙치 시료 (*Paralichthys olivaceus*)는 시험군으로서 남해안의 마산 (Masan), 통영 (Tongyeong), 한산도 (Hansando), 고성 (Goseong), 삼천포 (Samchunpo)에서 채집한 양식산 넙치 (체장 22.5~31.0 cm, 체중 350~550 g)를, 대조군으로서는 오염도가 비교적 적은 동해안의 포항 (Pohang)에서 채집한 자연산 넙치 (체장 24.5~32.0 cm, 체중 370~650 g)를 각각 1997년 9월~10월 사이에 7마리씩 구입하여 사용하였다. 전보 (Choi et al., 1998)에 따라 혈청의 분리, 그리고 뇌 및 근육의 조직 획분은 Galgani 등 (1992)의 방법에 따랐다. 혈청 및 조직획분의 단백질 함량은 Lowry et al. (1951)의 방법에 따라 표준 단백질로서 BSA (bovine serum albumin)를 사용하여 분광광도계를 정량하였다.

### 2. 과산화지질 함량의 측정

조직 세포내의 지질성분이 활성산소의 공격을 받아 생성되는 혈청중의 과산화지질 (lipid peroxide: LPO)의 함량은 저자 등 (1997d)의 방법에 따라 TBA법으로 말론디알데히드 (malondialdehyde: MDA)의 함량을 측정하여 정량하였다.

### 3. 히드록시 라디칼의 측정

활성산소 (oxygen radicals)중에서 가장 활성이 강한 혈청중의 히드록시 라디칼 (hydroxyl radical)은 저자 등 (1997d)의 방법에 따라 분광광도계를 사용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하여 표준 검량선에 의해 실험군과 대조군의 흡광도의 차이를 이용하여 생성량 (nmole/mg protein /min)을 정량하였다.

### 4. 활성산소의 제거효소의 활성 측정

활성산소의 제거효소로서 가장 중요한 생체 방어효소인 SOD 활성은 Oyanagui (1984)의 방법을 응용한 저자 등 (1997d)의 방법에 따라 분광광도계를 사용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하여 표준검량선에 의거 활성을 정량하였다. 한편 또다른 제거효소로서 GSHPx의 활성의 측정은 Lawrence and Burk (1978)의 방법을 응용한 저자 등 (1997d)의 방법에 따라 분광광도계를 사용하여 340 nm에서 흡광도를 15초 간격으로 2분간 측정하여 표준검량선에 의해 정량하였다.

### 5. 분석결과의 통계처리

모든 실험결과는 통계 처리하여 평균치와 표준편차를 계산하였고, 각 군간의 유의성 검정은 Student's t-test (Steel and Torrie, 1960)로 실시하였다.

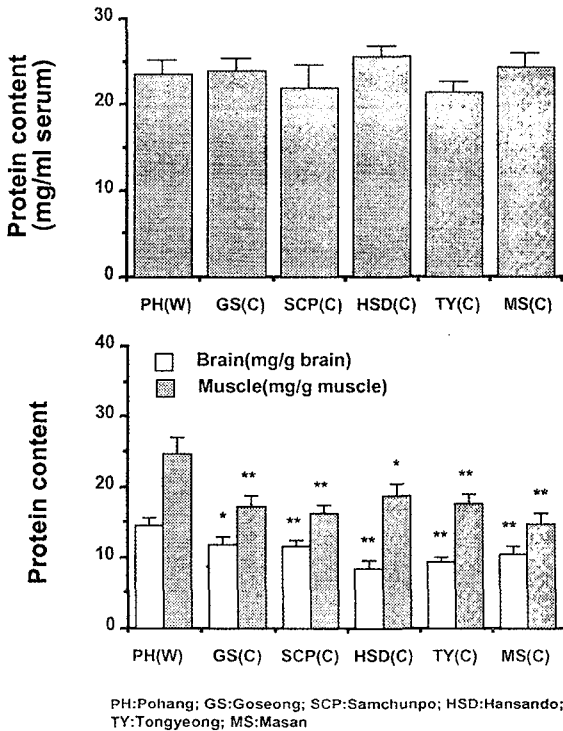
## 결과 및 고찰

### 1. 단백질 함량 비교

실험군으로서 남해안의 고성, 삼천포, 한산도, 통영, 마산의 양식산 넙치의 혈청, 뇌 및 근육중의 단백질의 함량을 측정 평가하기 위하여 오염이 비교적 적은 동해안 포항의 자연산 넙치의 혈청, 뇌 및 근육중의 단백질의 함량을 대조군으로 하여 측정 비교하여 보면 Fig. 1과 같다.

혈청중에서의 단백질의 함량은 동해안의 자연산이나 남해안의 양식산 넙치사이에는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다. 이러한 사실은 전보 (Choi et al., 1997d)의 연구결과와 거의 일치하는 경향을 나타내고 있었다. 그렇지만, Fig. 1에서 보는 바와 같이 남해안의 양식산 넙치의 뇌조직중의 단백질의 함량 ( $8.40 \pm 1.06 \sim 11.76 \pm 1.01$  mg/g brain) 및 근육중의 단백질의 함량 ( $14.50 \pm 1.63 \sim 18.55 \pm 1.75$  mg/g muscle)이 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 뇌조직 및 근육중의 단백질 함량 ( $14.45 \pm 1.09$  mg/g brain;  $24.48 \pm 2.45$  mg/g muscle: 100%) 대비 뇌조직은 19~42%, 근육은 25~41%나 현저히 감소하였다. 이러한 결과는 저자 등 (Moon et al., 1997)이 발표한 서해안의 단백질 함량의 감소율인 뇌조직의 30~45% 및 근육의 25~45%보다는 상당히 낮은 경향을 나타내고 있었다. 따라서 남해안 시료채취해역의 오염도가 서해안 시료채취해역의 오염도보다 상당히 낮았다는 사실을 알 수 있다.

남해안의 양식산 넙치 조직중의 단백질 함량이 대조

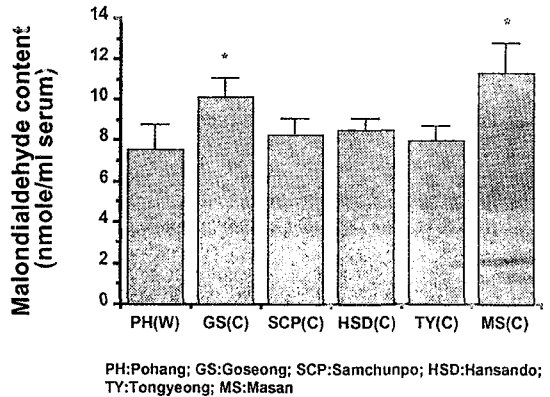


**Fig. 1. Protein contents in brain and muscle of cultured flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the South Sea of Korea.**  
\*p<0.01; \*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang.

군으로 사용한 동해안의 자연산 넙치 조직중의 단백질 함량에 비해 현저히 감소한다는 사실은 매우 흥미있는 사실로서, 서식환경의 오염도에 따라 단백질의 함량이 감소하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 사실은 이미 Galgani et al. (1992)의 보고에서 오염에 따라 아세틸콜린에스테라아제 (AChE) 활성의 감소와 함께 단백질의 함량도 감소한다는 사실과 잘 일치하고 있었다. 따라서 남해안 시료채취해역의 오염정도가 서해안 시료채취해역의 오염정도에 비해 아직 낮긴 하지만, 대조군으로 사용한 동해안 시료채취해역 (포항)에 비해서는 높다는 사실을 알 수 있다.

**2. 과산화지질 (LPO)의 함량 비교**

남해안의 양식산 넙치의 LPO의 함량을 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치를 대조군으로 하여 비교해본 결과는 Fig. 2와 같다. 마산 연근해의 양식장을 제외하고 남해안의 양식산 넙치의 혈청중의 LPO의 함량은  $7.94 \pm 0.74 \sim 10.08 \pm 0.97$  nmole/ml serum으로서 포항의 자연산 넙치의 혈청중의 LPO의 함량 ( $7.54 \pm$



**Fig. 2. Lipid peroxide (LPO) contents in serum of cultured flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the South Sea of Korea.**  
\*p<0.01 compared with wild flounder in Pohang.

$1.21$  nmole/ml serum; 100%) 대비 5~33%로서 비교적 높게 나타났다. 그렇지만, 남해안의 양식산 넙치 혈액중의 LPO의 함량이 진보 (Moon et al., 1997)에서 조사 발표한 서해안의 양식산 넙치 혈액중의 LPO의 함량 ( $9.97 \pm 1.30 \sim 13.55 \pm 0.93$  nmole/ml serum) 대비 약 25% 정도나 낮았다. 이러한 사실은 남해안 시료채취해역이 서해안 시료채취해역에 비해 오염도가 상대적으로 낮다는 것을 시사한다.

·OH이나  $O_2^- \cdot$  등의 활성산소에 의해서 생성되는 LPO의 함량은 성인병의 발병 뿐만 아니라 노화과정을 촉진하는 것으로 알려져 있다 (Yagi, 1987; Choi and Yu, 1989, 1990, 1995; Yu, 1993). 사람을 포함한 포유동물의 체조직에서의 LPO의 함량의 축적과 마찬가지로 해양오염에 의해서도 어체 (魚體) 조직중의 LPO의 함량이 축적된다는 사실이 진보 (Choi et al., 1997d)에 이어 본 연구결과에서도 밝혀졌다. 정온동물의 생체내의 변화가 변온동물의 생체내에서도 똑같이 적용된다는 것은 놀라운 사실이다. 따라서 혈청중의 LPO의 함량이 남해안 양식장의 오염의 지표로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

**3. 활성산소의 생성량 비교**

생체내의 LPO의 생성에 직접 관계하고 있는 활성산소중에서 가장 강력한 히드록시 라디칼 ( $\cdot OH$ )의 생성량을 비교하기 위하여 남해안의 양식산 넙치의 히드록시 라디칼의 생성량을 동해안의 포항의 자연산 넙치의 히드록시 라디칼의 생성량을 대조군으로 하여 측정하여 보면 Table 1과 같다. 남해안의 양식산 넙치의 혈청중의  $\cdot OH$ 의 생성량은  $3.45 \pm 0.73 \sim 4.88 \pm 0.59$  nmole/mg

Table 1. Hydroxyl radical formations in serum of cultured flounders in the South Sea of Korea

Stations (Area)	Hydroxyl radical formation (nmole/mg protein)	Relative amount (%)
East Sea		
Pohang (W)	4.62 ± 0.95	100.0%
South Sea		
Goseong (C)	4.87 ± 0.84	105.4
Samchunpo (C)	3.45 ± 0.73**	74.7
Hansando (C)	4.12 ± 0.79*	89.2
Tongyeong (C)	4.47 ± 0.74	96.8
Masan (C)	4.88 ± 0.59	105.6

C: cultured flounder; W: wild flounder.

\*p<0.05; \*\*p<0.01 compared with wild flounder in Pohang.

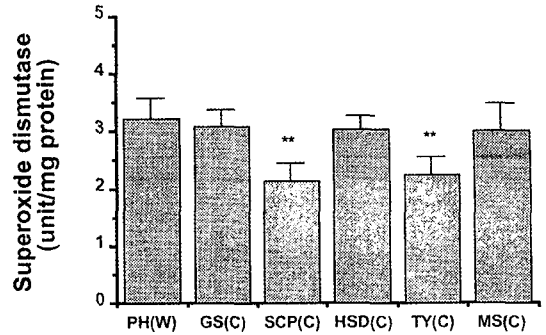
protein로서 고성과 마산을 제외하고는 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 ·OH의 생성량 (4.62 ± 0.95 nmole/mg protein) 대비 4~25% 정도 낮았다.

한편 남해안의 양식산 넙치 혈액중의 ·OH의 생성량 (3.45 ± 0.73~4.88 ± 0.59 nmole/mg protein)이 전보 (Moon et al., 1997)에서 조사 발표한 서해안의 양식산 넙치 혈액중의 ·OH의 생성량 (3.10 ± 0.57~4.00 ± 0.58 nmole/ml serum) 대비 약 10~18% 정도 높았다. 이상의 실험결과에서 볼 때 생체내에서 활성산소의 생성에 의한 과산화지질의 생성반응이라는 일반적인 상식을 벗어난 정반대의 경향으로 나타났다. 이러한 사실은 전보 (Moon et al., 1997; Choi et al., 1997d)에서 지적했듯이 해양오염이 심할수록 SOD 등의 제거효소의 활성이 감소되어 활성산소의 억제에 사용되었을 가능성을 배제할 수 없다. 일반적인 LPO의 생성반응에서 금속촉매관련 Harber-Weiss 반응 (Black, 1987)에 의한 ·OH의 생성 반응에서  $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ 로 변화시키는  $O_2^- \cdot$ 의 생성 메카니즘 (Ogura et al., 1991)에 문제가 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 활성산소 제거효소의 활성 비교

활성산소로 알려진  $O_2^- \cdot$ , ·OH 및 과산화수소 등의 제거효소중에서 가장 강력한 항산화효소인 SOD의 활성을 동해안 포항의 자연산 넙치를 대조군으로 하고 남해안 양식산 넙치의 혈청을 시료로 하여 측정하여 본 결과는 Fig. 3과 같다.

남해안의 양식산 넙치의 혈청중의 SOD의 활성은  $2.12 \pm 0.34 \sim 3.08 \pm 0.29$  unit/mg protein으로서 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 혈청중의 SOD의 활성 ( $3.22 \pm 0.35$  unit/mg protein; 100%) 대비 7~31% 정도나 오히려 낮았다. 한편 남해안의 양식산 넙치의



PH:Pohang; GS:Goseong; SCP:Samchunpo; HSD:Hansando; TY:Tongyeong; MS:Masan

Fig. 3. Superoxide dismutase (SOD) activity in serum of cultured flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the South Sea of Korea.

\*\*p<0.01 compared with wild flounder in Pohang.

SOD의 활성이 전보 (Moon et al., 1997)에서 조사 발표한 서해안의 양식산 넙치의 SOD의 활성 ( $2.01 \pm 0.49 \sim 2.68 \pm 0.32$  unit/mg protein) 대비 5~15% 정도 높게 나타났다. 이는 남해안 시료채취해역이 서해안 시료채취해역 보다 오염도가 비교적 낮다는 사실을 나타낸다.

전보 (Moon et al., 1997; Choi et al., 1997d)에서도 지적했듯이 오염이 심할수록 SOD 등 제거효소의 활성이 감소된다는 사실은  $O_2^- \cdot$ , ·OH 및 과산화수소 등 활성산소의 억제에 사용되었기 때문일 것으로 판단된다.

이상의 연구결과에서 볼 때 오염의 지표로서는 너조직이나 근육중의 단백질 함량의 감소 및 혈액중의 LPO의 증가로써 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 그렇지만, 히드록시 라디칼 등의 활성산소나 이들 활성산소의 제거효소로서 SOD 등의 제거효소의 활성으로서는 평가하기 어렵다는 사실을 확인할 수 있었다.

## 요 약

해양오염의 진단을 위한 생화학적 오염지표 설정의 기초연구의 일환으로, 남해안의 양식장 오염도를 평가하기 위하여 오염도가 적은 동해안의 자연산 넙치를 대조군으로 하여 남해안 양식산 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 혈액, 너조직 및 근육중의 활성산소에 의해 생성되는 LPO, 활성산소의 생성량 및 활성산소의 제거효소의 활성을 분석 평가하였다. 남해안 양식산 넙치의 너조직 및 근육중의 단백질 함량이 동해안의 포항의 자연산 넙치 (대조군)의 단백질 함량 대비 각각 19~42% (너) 및 25~41% (근육)나 유의적으로 감소하였다. 남해안의

양식산 넙치의 혈청중의 LPO의 함량은 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 혈청중의 LPO의 함량 대비 5~33%나 유의적으로 높았다. 넙치의 단백질 및 LPO의 함량에서 볼 때 남해안 시료채취해역의 오염도가 서해안 시료채취해역의 오염도에 비해 비교적 낮다는 사실을 확인할 수 있었다.

남해안의 양식산 넙치의 혈청중의  $\cdot\text{OH}$ 의 생성량은 동해안 포항의 자연산 넙치 대비 각각 4~25% 정도나 낮았다. 또한 남해안의 양식산 넙치의 혈청중의 SOD의 활성은 동해안 포항의 자연산 넙치 대비 7~31%나 낮았다. 이상의 결과에서 볼 때 넙치의 뇌조직 및 근육중의 단백질 함량과 혈청중의 LPO의 함량이 해양 오염의 지표로 사용할 수 것으로 기대된다. 그렇지만, 넙치 혈청중의  $\cdot\text{OH}$  등의 활성산소나 SOD 등의 제거효소의 활성은 해양 오염의 지표로서 사용할 수 없을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Black, H.S. 1987. Potential involvement of free radical reactions in ultraviolet light-mediated cutaneous damage. *Photochem and Photobiol.* 46 (2), 213~221.
- Bocquéné, G. and F. Galgani. 1991. Acetylcholinesterase activity in the common prawn (*Palaeomon serratus*) contaminated by carbaryl and phosalone: Choice of a method for detection of effects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 22, 337~345.
- Choi, J.H. and B.P. Yu. 1989. The effect of food restriction on kidney membrane structures of aging rats. *Age* 12, 133~136.
- Choi, J.H. and B.P. Yu. 1990. Unsuitability of TBA test as a lipid peroxidation marker due to prostaglandin synthesis in the aging kidney. *Age* 13, 61~64.
- Choi, J.H. and B.P. Yu. 1995. Brain synaptic aging: Free radicals and membrane fluidity. *Free Rad. Biol. Med.* 18, 133~139.
- Choi, J.H., D.W. Kim, Y.S. Moon, C.K. Park, J.I. Kim and D.B. Yang. 1997a. Study on biochemical pollutant marker for diagnosis of marine pollution I. Changes in lipid components of flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the Yellow Sea. *Korean J. Life Science* 7 (1), 1~9.
- Choi, J.H., D.W. Kim, J.I. Kim, C.K. Park and D.B. Yang. 1997b. Study on biochemical pollutant marker for diagnosis of marine pollution III. Changes in cholinesterase activity of flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the Yellow Sea. *Korean J. Life Science* 7 (1), 17~23.
- Choi, J.H., D.W. Kim, C.K. Park, J.I. Kim, and D.B. Yang. 1997c. Study on Biochemical pollutant index for diagnosis of marine pollution IV. Changes in lipid components of flounder (*Pleuronichthys cornutus*) in the Yellow Sea. *J. Korean Fish. Soc.* 30 (4), 601~607.
- Choi, J.H., D.W. Kim, Y.S. Moon, C.K. Park and D.B. Yang. 1997d. Study on biochemical pollutant index for diagnosis of marine pollution V. Changes in oxygen radicals and their scavenger enzymes of flounder (*Pleuronichthys cornutus*) in the Yellow Sea. *J. Korean Fish. Soc.* 30 (4), 608~613.
- Choi, J.H., D.W. Kim, Y.S. Moon, C.K. Park and D.B. Yang. 1997e. Study on biochemical pollutant index for diagnosis of marine pollution VI. Changes in cholinesterase activity of flounder (*Pleuronichthys cornutus*) in the Yellow Sea. *J. Korean Fish. Soc.* 30 (4), 614~619.
- Choi, J.H., D.W. Kim, J.H. Kim, K.S. Kim, P.K. Park and D.B. Yang. 1998. Study on biochemical pollutant marker for diagnosis of marine pollution VII. Changes in lipid components of flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the South Sea. *J. Korean Fish.* in press.
- Collier, T.K., S.D. Connor, B.L. Eberhardt, B.F. Anulacion, A. Gokyr and U. Varanas. 1992. Using cytochrome P-450 to monitor the aquatic environment. *Mar. Env. Res.* 34, 195~199.
- Ellman, G.L., K.O. Courtney, V. Andres and R.M. Featherstone. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 7, 88~95.
- Galgani, F. and G. Bocquéné. 1990. In vitro inhibition of acetylcholinesterase from four marine species by organophosphates and carbamates. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 45, 243~249.
- Galgani, F. 1992. Monitoring of pollutant biochemical effects on marine organisms of the French Coasts. *Oceanologica Acta.* 15 (4), 355~364.
- Galgani, F., G. Bocquéné and Y. Cadiou. 1992. Evidence of variation of cholinesterase activity in fishes along a pollution gradient in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 19~23.
- Grzebyk, D. and F. Galgani. 1991. Measurement of organic pollution on marine organism: rapid determination of EROD induction using plate readers. *Aquat. Liv. Resour.* 4, 53~59.
- Holland, H.T., D.R. Coppage and N. Imada. 1967. Use of fish brain acetylcholinesterase to monitor pollution by organophosphorus pesticides. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2 (3), 156~162.
- Lawrence, R.A. and R.F. Burk. 1978. Species, tissue and subcellular distribution of non-Se-dependent glutathione peroxidase activity. *Lipid* 19, 444~448.
- Lowry, O.H., N.L. Roseborough, L.A. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin Phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, 265~275.

- McCain, B.B., T.K. Collier, D.W. Brown, J.E. Stein, T. Horn, S.L. Chan, M.S. Myers, S.M. Pierce and U. Varanas. 1996. Chemical contaminant exposure and effects in four fish species from Tampa Bay, Florida. *Estuaries* 19 (1), 86~104.
- Moon, Y.S., D.W. Kim, J.H. Choi, C.K. Park and D.B. Yang. 1997. Study on biochemical pollutant marker for diagnosis of marine pollution. II. Changes in oxygen radicals and their scavenger enzymes of flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the Yellow Sea. *Korean J. Life Science* 7 (1), 10~16.
- Ogura, R.J., Sugiyama, J. Nishi and N. Haramaki. 1991. Mechanism of lipid radical formation following exposure of epidermal homogenate to ultraviolet light. *J. Invest Dermatol.* 97, 1044~1047.
- Oyanagui, Y. 1984. Reevaluation of assay methods and establishment of Kit for superoxide dismutase activity. *Anal. Biochem.* 42, 290~296.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1960. *Principles and Procedures of Statistics.* McGrawhill, New York.
- Yagi, K. 1987. *Lipid peroxides and human diseases: Chemistry and Physics of Lipids,* Elsevier Scientific Publishers, Ireland, Ltd. 45, 337~351.
- Yu, B.P. 1993. Oxidative damage by free radicals and lipid peroxidation in aging, in *free radicals In aging,* Edited by Yu, B.P., Boca Taton, CRC Press pp. 77~88.
- 최진호·양동범. 1997a. 도다리 혈액의 생화학적 분석을 이용한 해양오염의 측정법. 특허출원 제51849호 (1997. 10. 9).
- 최진호·양동범. 1997b. 넙치의 생화학적 분석기법을 이용한 해양오염의 측정법. 특허출원 제51850호 (1997. 10. 9).

---

1998년 7월 30일 접수

1998년 11월 11일 수리