

해양오염의 진단을 위한 생화학적 오염지표에 관한 연구

II. 황해산 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 산소라디칼 및 제거효소의 변화

문영실 · 김동우 · 최진호[†] · 박청길* · 양동범**

부경대학교 식품생명과학과 생화학교실

*부경대학교 공과대학 환경공학과

**한국해양연구소 해양화학연구부

Study on Biochemical Pollutant Markers for Diagnosis of Marine Pollution II. Changes in Oxygen Radicals and Their Scavenger Enzymes of the Flounder(*Paralichthys olivaceus*) in the Yellow Sea

Young-Sil Moon, Dong-Woo Kim, Jin-Ho Choi[†], 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

Abstract

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 Yellow Sea of Korea. Protein contents in brain and muscle of cultured flounder in Yellow Sea were remarkably lower (30–45% and 25–45%, respectively) than those of wild flounder in Pohang (control) of East Sea. Lipid peroxide (LPO) levels in serum of cultured and wild flounders in Yellow Sea were significantly higher (30–80% and 125–145%, respectively) than those of wild flounder in Pohang.

Hydroxyl radical formations and superoxide dismutase (SOD) activities in serum of cultured flounders in Yellow Sea were significantly 15–30% and 15–35% lower than those of wild flounders in Pohang, but glutathione peroxidase (GSHPx) activities in brain of cultured flounders in Yellow Sea were significantly 15–25% higher than those of wild flounders in Pohang. It is believed that significant decreases of protein contents in brain and muscle, remarkable increases of malondialdehyde(LPO) in serum and glutathione peroxidase (GSHPx) in brain of cultured flounders of Yellow Sea may be used as a biochemical pollutant markers for diagnosis of marine pollutions.

Key words : Flounder(*Paralichthys olivaceus*), Yellow Sea, reactive oxygen species(ROS), oxygen radical, Superoxide dismutase(SOD), glutathione peroxidase(GSHPx) hydroxyl radical, protein

[†] Corresponding author

서 론

해양 오염에 의한 해양 생태계의 파괴는 인간의 생존과 직결되는 심각한 문제가 아닐 수 없다. 지금까지는 공장폐수나 가정용 오수, 그리고 농약 등 육상의 오염에 대해서만 우려를 보였지만, 이들 오염물질들이 정화되지 않고 바다에 유입되면서부터 해양생태계의 심각한 파괴가 현실로 다가오고 있다. 그 중에서도 어폐류나 해조류 등 수산식품의 오염은 정말 심각하다. 사실 우리 국민의 동물성 단백질의 거의 50%를 해산물에 의존하고 있기 때문에 삼면이 바다인 우리나라의 해양오염은 매우 심각하게 받아들여져야 한다.

해양의 오염은 해수 및 해저 퇴적물중의 오염물질의 농도로 정량화하고 있지만, 이는 확실한 오염의 지표라고는 볼 수 없다. 실제로 중요한 것은 오염물질들이 어떻게, 얼마나 해양 생태계에 영향을 주는가를 밝혀내는 일이다. 해양의 수많은 생물종들이 다양한 오염물질에 의해 어떠한 피해를 받는가를 모두 조사한다는 것은 거의 불가능하기 때문에 오염물질에 민감하게 반응하는 생물들을 중심으로 생화학적, 생리학적 지표를 개발하는 연구가 많이 진전되고 있을 뿐만 아니라 해양환경의 영향평가에 실제 적용되기 시작하고 있다¹⁻⁹⁾.

본 연구는 해양오염의 진단을 위한 생화학적 오염지표 설정의 기초연구로서, 저서어(底棲魚)로서 오염도 평가에 널리 사용되고 있는 넙치를 사용하여 이들 오염이 활성산소(oxygen free radical)로 알려진 히드록시 라디칼(hydroxyl radical), 수퍼옥시드 라디칼(superoxide radical) 등의 활성산소 종(reactive oxygen species : ROS) 및 그들의 제거효소(scavenger enzyme)로서 수퍼옥시드 디스무타아제(superoxide dismutase : SOD), 글루타치온 페옥시다아제(glutathione peroxidase : GSHPx) 등의 활성을 분석 비교하여 생화학적 오염지표의 설정 가능성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료 및 조직의 분획

전보(Choi et al., 1997)¹⁰⁾와 마찬가지로 넙치 시료(*Paralichthys olivaceus*)는 시험군으로서 서해안의 서산(Sosan), 보령(Poryong), 부안(Puan), 영광(Yonggwang)에서 채집한 양식산 넙치(체장 22.5–31.0cm, 체중 350–550g)과 영광(Yonggwang), 격포(Kyogpo)에서 채집한 자연

산 넙치(체장 32.5–36.5cm, 체중 600–800g)을, 그리고 대조군은 오염도가 비교적 적은 동해안의 포항(Pohang)에서 채집한 자연산 넙치(체장 24.5–32.0cm, 체중 370–650g)을 각각 1995년 5월~7월사이에 7마리씩 구입하여 사용하였다.

전보(Choi et al., 1997)¹⁰⁾에 따라 등뼈밑에서 채혈한 혈액을 상법에 따라 혈청을 분리하였고, 또한 뇌 및 근육의 일정량을 분취하여 완충용액(1.15% KCl/10mM phosphate buffer + 5mM EDTA, pH 7.4)에 넣어 -70°C에 동결 보존하였다. 이들 조직 획분은 Galgani 등 (1992)의 방법⁶⁾에 따라 분획하였다. 즉 각 조직 1g씩을 분취한 다음, 균질 인산완충용액(0.1M TRIS buffer, pH 8.0)에 2배량의 완충용액으로 1분간 균질화한 다음, 10,000×g에서 20분간 원심분리하였다. 이 때 잔사는 버리고 상층액을 활성산소 및 제거효소의 활성 측정에 사용하였다.

2. 단백질 함량의 측정

혈청 및 조직획분의 단백질 함량은 Lowry 등 (1951)의 방법¹¹⁾에 따라 표준 단백질로서 BSA(bovine serum albumin)를 사용하여 분광광도계를 사용하여 525nm에서 흡광도를 측정하여 표준검량선에 의하여 단백질의 함량을 정량하였다.

3. 과산화지질 함량의 측정

혈청중의 과산화지질(lipid peroxide : LPO)의 함량은 저자 등(1990)의 방법¹²⁾에 따라 TBA법으로 말론디알데히드(malondialdehyde : MDA)의 함량을 측정하였다. 혈청 20μl에 중류수 180μl을 혼합한 것을 각 시험관에 취하고 8.1% SDS(sodium dodecyl sulfate) 용액 200μl를 가하여 약 5초간 혼합한 다음, 20% 초산 1.5ml를 넣어 다시 5초간 혼합하여 1.2% TBA(thiobarbituric acid) 시약 1.0ml을 첨가하여 깨끗한 구슬로 마개하여 수조상(95°C)에서 30분간 가열하였다. 이 반응액을 800×g에서 10분간 원심분리하여 상층액을 분광광도계를 사용하여 532nm에서 흡광도를 측정하여 표준검량선에 의거, 과산화지질(LPO)의 함량을 정량하였다.

4. 히드록시 라디칼의 측정

혈청중의 히드록시 라디칼(hydroxyl radical)의 측정은 먼저 0.1M의 인산완충용액(pH 7.4), 10mM NaN₃, 7mM deoxyribose, 5mM ferrousammonium sulfate, 0.54M

NaCl 시약을 각각 33.3 μ l씩 첨가하고 검체군은 시료(15 μ l)와 물(185 μ l)을 합하여 200 μ l되게 하고, 대조군은 물(200 μ l)만 넣어 이 혼합된 용액을 37°C 항온수조에서 15분간 가온한다. 그 후 검체군의 시료(30 μ l)는 반드시 가온 후에 첨가한다. 이 반응액에 8.1% SDS용액 75 μ l와 20%의 초산 500 μ l, 물 25 μ l를 추가하여 넣고 1.2% TBA용액 333 μ l를 넣어 잘 섞는다. 그 후 30분간 끓이고 실온에서 식힌 후, 800 \times g에서 5분간 원심분리하여 얻은 상층액으로 분광광도계를 이용 532nm에서 흡광도를 측정하여 표준 검량선에 의해 검체군과 대조군의 흡광도의 차를 이용하여 히드록시 라디칼(n mole/mg protein/min)의 생성량을 계산하였다.

5. 수퍼옥시드 디스무타아제의 활성 측정

Oyanagui 등(1984)의 방법¹³⁾에 따라 혈청을 인산완충 용액(pH 8.2)으로 30배로 희석하여 그 0.1ml에 중류수 0.5ml, A시약(52.125mg of hydroxylamine + 102.1mg of hypoxanthine/250ml D.W) 0.2ml, B시약(20 μ l of xanthine oxidase + 0.9939mg ethylenediaminetetraacetic acid/26.7ml phosphatase buffer, pH 8.2) 0.2ml를 첨가, 혼합하여 37°C 항온수조에서 40분간 정지한 후 C시약(300mg of sulfanilic acid + N-1-naphthylethyene diamine acid/500ml of 16.7% acetic acid) 2.0ml를 첨가 혼합하여 실온에서 20분간 정지한 후 분광광도계를 사용, 550nm에서 흡광도를 측정하여 표준검량선에 의거, 수퍼옥시드 디스무타아제 (superoxide dismutase : SOD)를 정량하였다.

6. 글루타치온 퍼옥시다아제의 활성 측정

Lawrence 등(1978)의 방법¹⁴⁾에 의해 뇌 및 근육에서 분획한 상층액에서 글루타치온 퍼옥시다아제(glutathione peroxidase : GSHPx)의 활성의 측정은 이 상층액을 인산완충 용액(0.3M/4.0mM EDTA)으로 10배 희석하여 사용한다.

시험관에 인산완충용액(0.3M phosphate buffer with 4.0mM EDTA, pH 7.2) 0.1ml, 중류수 1.295ml, 26.56 mM sodium azide용액(86.33 mg of NaN₃/50ml of D.W) 0.5ml, 294.37mM GSH용액(452.34mg of glutathione/5.0ml of 0.3M phosphate buffer with 4.0mM EDTA) 60 μ l, 8.4mM NADPH(35.0mg NADPH/5.0ml of 0.3 M phosphate buffer with 4.0mM EDTA) 110 μ l,

glutathione reductase(5mg of GSH-Re/1.0ml of 0.3 M phosphate buffer with 4.0mM EDTA) 5 μ l, 1mM hydroperoxide 320 μ l와 희석된 상층액 30 μ l를 첨가하여 5초간 잘 혼합한 후 즉시 분광광도계를 사용하여 340nm에서 흡광도를 15초 간격으로 2분간 측정하여 표준검량선에 의해 GSHPx의 활성을 정량하였다.

7. 분석결과의 통계처리

모든 실험결과는 통계 처리하여 평균치와 표준편차를 계산하였고, 각 군간의 유의성 검정은 Student's t-test (Steel 등, 1990)¹⁴⁾로 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 단백질 함량 비교

시험군으로서 서해안의 보령, 부안, 서산, 영광의 양식산과 영광, 격포의 자연산 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 측정하여 비교하여 보면 Fig. 1와 같다.

이들 넙치의 혈청중에서의 단백질의 함량은 양식산과 자연산, 그리고 동해나 황해사이에는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다. 그러나 Fig. 1에서 보는 바와 같이 뇌 및 근육중에서는 양식산 넙치의 단백질 함량이 자연산 넙치의 단백질 함량에 비해 유의적으로 감소하고 있음을 알 수 있었다. 서해안의 양식산 넙치의 뇌중의 단백질의 함량($8.13 \pm 1.16 - 9.99 \pm 0.43$ mg/g brain) 및 근육의 단백질의 함량($13.05 \pm 4.74 - 18.55 \pm 5.30$ mg/g muscle)이 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 뇌 및 근육중의 단백질 함량(14.14 ± 1.09 mg/g brain : 24.48 ± 2.54 mg/g muscle : 100%) 대비 뇌는 30~45%, 근육은 25~45%나 현저히 감소되고 있음을 알 수 있었다. 또한 이를 넙치의 단백질 함량은 근육이 뇌보다 훨씬 높았다. 자연산 넙치의 단백질 함량은 대조군의 포항이나 시험군의 영광 및 격포사이에 뚜렷한 유의적인 차이를 발견할 수 없었다.

뇌나 근육중의 단백질 함량을 비교하여 볼 때 양식산의 단백질 함량이 자연산의 단백질 함량에 비해 현저히 감소한다는 사실은 매우 흥미있는 사실로서, 서식환경의 오염에 의하여 단백질의 함량이 감소하고 있음을 알 수 있었다. 이

러한 사실은 이미 Galgani 등(1992)의 보고⁵⁾에서 오염에 따라 AChE 활성의 감소와 함께 단백질의 함량도 감소하고 있다는 사실을 지적한 바 있다. 양식산의 단백질의 감소는 해양오염 등 서식환경이 가장 문제가 되겠지만, 그밖에도 성장시의 운동량에 따른 어체(魚體) 밀도의 차이도 일부 관계할 것으로 판단된다. 따라서 자연산 넘치의 육질이 단단하다는 것을 의미한다.

서해의 넘치를 비롯한 양식장의 수질환경은 육상오수의 유입, 농약 등의 오염원에 노출되어 있기 때문에 양식장의 환경이 갈수록 위협을 받고 있다. 이제는 정화되지 않는 육상오수의 유입 방지, 수질의 여과방법의 개발 등을 포함한 양식장의 서식환경 개선에 적극 나서야 할 때라고 본다.

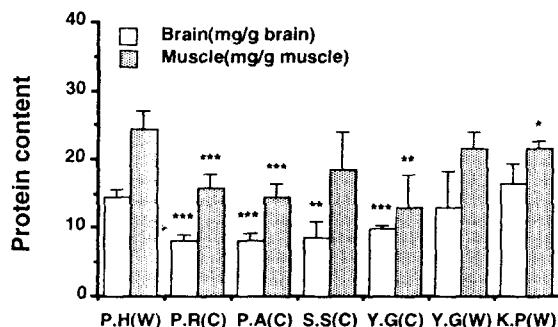


Fig. 1. Comparisons of protein contents in brain and muscle of cultured and wild flounders in May-July 1995.

*p<0.05 ; **p<0.01 ; ***p<0.001 compared with wild flounder in Pohang.

2. 과산화지질의 함량 비교

산소 라디칼(oxygen free radical)로 알려진 히드록시 라디칼(hydroxyl radical)이나 수퍼옥시드 라디칼(superoxide radical) 등의 활성산소종(reactive oxygen species : ROS)에 의해 생성되는 과산화지질(lipid peroxide : LPO)의 함량은 말론디알데히드(malondealdehyde : MDA)를 측정하여 정량한다. 생체내에서 과산화지질은 성인병의 발병 뿐만 아니라 노화과정을 촉진하는 것으로 알려져 있다 (Yagi, 1987 ; Choi et al., 1989, 1990, 1995 ; Yu, 1993)¹⁶⁻²⁰⁾.

이런 이유로 해서 과산화지질의 함량이 해양오염에 따라 어체내의 과산화지질 함량이 축적될 가능성이 매우 높다고

하겠다. 실제 서해안의 양식산과 자연산의 넘치의 과산화지질의 함량을 동해안의 포항의 자연산 넘치를 대조군으로 하여 측정하여 보면 Fig. 2와 같다. 서해안의 양식 및 자연산 넘치의 혈청중의 과산화지질(MDA)의 함량은 보령산 넘치를 제외하고 $9.97 \pm 1.30 - 13.55 \pm 0.93$ 및 $17.04 \pm 0.87 - 18.43 \pm 0.95$ mg/ml serum로서 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넘치의 혈청중의 과산화지질의 함량 (7.54 ± 1.01 mg/ml serum ; 100 %) 대비 각각 30-80 % 및 125-145 %나 현저히 높았다. 따라서 양식산 뿐만 아니라 자연산도 상당히 오염되어 있다는 사실을 알 수 있었다.

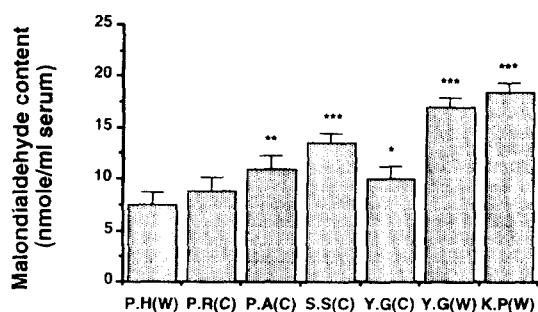


Fig. 2. Comparisons of lipid peroxide (MDA) contents in serum of cultured and wild flounders in May-July 1995.

*p<0.05 ; **p<0.01 ; ***p<0.001 compared with wild flounder in Pohang.

3. 활성산소종의 생성량 비교

생체내의 과산화지질의 생성에 직접 관계하고 있는 활성산소종(reactive oxygen species : ROS)으로 알려진 산소 라디칼(oxygen free radical)중에서 가장 강력한 활성산소종인 히드록시 라디칼(hydroxyl radical)의 생성량을 비교하기 위하여 서해안의 양식산과 자연산의 넘치의 히드록시 라디칼의 생성량을 동해안의 포항의 자연산 넘치의 히드록시 라디칼의 생성량을 대조군으로 하여 측정하여 보면 Table 1과 같다.

서해안의 양식산 넘치의 혈청중의 히드록시 라디칼의 생성량은 $3.10 \pm 0.57 - 4.00 \pm 0.58$ n mol/mg protein으로서 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넘치의 혈청중의 히드록시 라디칼의 생성량(4.62 n mol/mg protein ;

100%) 대비 각각 15–30% 정도나 오히려 낮았을 뿐만 아니라 서해안의 자연산 넙치도 격포를 제외하고 영광의 자연산 넙치의 히드록시 라디칼의 생성량도 3.64 ± 0.68 nmol/mg protein으로서 포항의 자연산 넙치의 히드록시 라디칼의 생성량 대비 78.8%로서 약 20%나 낮았다.

이러한 사실은 생체내에서 활성산소종의 생성에 의한 과산화지질의 생성반응이라는 일반적인 상식을 벗어난 정반대의 경향이란 사실이다. 생선이 포유동물과 같이 정온동물이 아니기 때문인지, 아니면 어떤 특별한 메카니즘에 의하여 과산화지질이 생성되는지는 현재로서는 알 수 없다. 즉 활성산소종에서 가장 강력한 히드록시 라디칼의 생성이 어체(魚體)내에서 현저히 억제되는데도 불구하고 과산화지질이 유의적으로 증가되었다는 사실이다. 결국 다음과 같은 금속촉매관련 Harber-Weiss 반응(Black, 1987)²¹⁾에 의한 히드록시 라디칼($\cdot\text{OH}$) 생성반응에서 $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ 로 변화시키는 수퍼옥시드 라디칼(superoxide radical : $\text{O}_2^{\cdot-}$)의 생성 메카니즘(Ogura et al., 1991)²²⁾에 문제가 있을 것으로 판단된다.

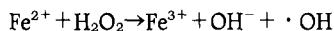


Table 1. Comparisons of hydroxyl radical formations in serum of cultured and wild flounders in May-July 1995

Stations (Area)	Hydroxyl radical formation (nmol/mg protein)	%
East Sea		
Pohang (W)	4.62 ± 0.65	100.0%
West Sea		
Poryoung(C)	$3.35 \pm 0.44^{**}$	72.5%
Puan(C)	$3.10 \pm 0.57^{***}$	67.1%
Sosan(C)	$4.00 \pm 0.58^*$	85.6%
Yonggwang(C)	$3.24 \pm 0.54^{**}$	70.3%
Yonggwang(W)	$3.64 \pm 0.68^*$	78.8%
Kyogpo(W)	4.78 ± 0.76	103.5%

C : cultured flounder ; W : wild flounder

*p<0.05 ; **p<0.01 ; ***p<0.001 compared with wild flounder in Pohang.

4. 활성산소종에 대한 제거효소의 활성 비교

활성산소종(reactive oxygen species : ROS)으로 알려진

수퍼옥시드 라디칼(superoxide radical), 히드록시 라디칼(hydroxyl radical) 및 과산화수소(hydrogen peroxide) 등의 활성산소에 대한 제거효소(scavenger enzyme)중에서 가장 강력한 수퍼옥시드 디스무타제(superoxide dismutase : SOD)의 활성을 이들 서해안 넙치의 혈청에서 측정하여 본 결과는 Fig. 3과 같다.

서해안의 양식산 넙치의 혈청중의 SOD의 활성은 보령을 제외하고 2.01 ± 0.49 – 2.68 ± 0.32 unit/mg protein으로서 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 혈청 중의 SOD의 활성(3.22 ± 0.35 unit/mg protein ; 100%) 대비 15–35% 정도나 오히려 낮았을 뿐만 아니라 서해안의 자연산 넙치도 영광은 35%나 낮았지만, 단지 격포만이 SOD의 활성이 35% 정도 높았을 뿐이다. 이러한 사실도 앞의 히드록시 라디칼의 생성량과 마찬가지로 오염의 정도와 어떻게 연결지어야 할지 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

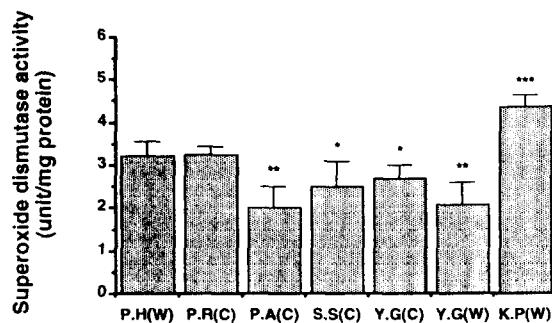


Fig. 3. Comparisons of superoxide dismutase (SOD) activity in serum of cultured and wild flounders in May-July 1995.

*p<0.05 ; **p<0.01 ; ***p<0.001 compared with wild flounder in Pohang.

한편 생체내에서 대사과정중에 생성되는 과산화수소의 제거효소로 알려진 글루타치온 퍼옥시다아제(glutathione peroxidase : GSHPx)의 활성을 비교하기 위하여 서해안의 양식 및 자연산 넙치의 GSHPx의 활성을 동해안의 포항산 넙치의 GSHPx의 활성을 대조군으로 비교하여 보면 Table 2와 같다.

서해안의 양식산 넙치의 뇌중의 GSHPx의 활성은 227.85 ± 23.75 – 243.65 ± 20.35 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg protein}$ 으로

서 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치의 혈청 중의 GSHPx의 활성($195.98 \pm 20.92 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg protein}$; 100%) 대비 각각 15~25% 정도나 유의적으로 높았지만, 서해안의 자연산 넙치의 GSHPx의 활성은 영광이나 격포 어느 곳의 넙치도 낮았다. 서해안 양식산 넙치의 GSHPx의 활성이 자연산에 비해 유의적으로 높다는 사실은 육상의 공장폐수나 생활오수, 그리고 농약 등의 오염이 심각한 것으로 판단될 뿐만 아니라 이들 오염의 지표로서는 뇌중의 GSHPx의 활성 측정이 매우 효과적일 것으로 판단된다.

Table 2. Comparisons of glutathione peroxidase (GSHPx) activity in brain of cultured and wild flounders in May-July 1995

Stations (Area)	Glutathione peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg protein}$)	%
East Sea		
Pohang(W)	195.98 ± 20.92	100.0%
West Sea		
Poryoung(C)	$243.65 \pm 20.35^{**}$	124.3%
Puan(C)	$237.68 \pm 25.62^{**}$	121.3%
Sosan(C)	$228.38 \pm 24.32^*$	116.5%
Yonggwang(C)	$227.85 \pm 23.75^*$	116.3%
Yonggwang(W)	178.92 ± 28.23	91.3%
Kyougpo(W)	131.09 ± 25.12	66.9%

C : cultured flounder ; W : wild flounder

* $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$ compared with wild flounder in Pohang.

요 약

해양오염의 진단을 위한 생화학적 오염지표 설정의 기초 연구의 일환으로, 오염이 심각한 서해(또는 황해)산 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 혈액 및 뇌중의 활성산소종 및 그들의 제거효소의 활성을 분석 평가하였다. 이들 넙치의 혈청중의 단백질의 함량은 해역이나 양식산과 자연산사이에는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었지만, 서해안 양식산 넙치의 뇌 및 근육중의 단백질 함량이 동해안의 포항의 자연산 넙치(대조군)의 단백질 함량에 비해 각각 30~45% (brain) 및 25~45% (muscle)나 유의적으로 감소하였다

($p<0.001$). 서해안의 양식 및 자연산 넙치의 혈청중의 과산화지질(MDA)의 함량은 대조군으로 사용한 동해안 포항의 자연산 넙치 대비 각각 30~80% 및 125~145%나 현저히 높았다.

서해안의 양식산 넙치의 혈청중의 헤드록시 라디칼의 생성량은 동해안 포항의 자연산 넙치 대비 각각 15~30% 정도나 오히려 낮았을 뿐만 아니라 서해안의 자연산 넙치도 격포를 제외하고 영광의 자연산 넙치의 헤드록시 라디칼의 생성량도 약 20%나 낮았다. 서해안의 양식산 넙치의 혈청중의 SOD의 활성은 동해안 포항의 자연산 넙치 대비 15~35% 정도나 오히려 낮았을 뿐만 아니라 서해안의 자연산 넙치도 영광은 35%나 낮았지만, 단지 격포만이 SOD의 활성이 35% 정도 높았을 뿐이다. 서해안의 양식산 넙치의 혈청중의 GSHPx의 활성은 동해안 포항의 자연산 넙치 대비 15~25% 정도나 유의적으로 높았지만, 서해안의 자연산 넙치의 GSHPx의 활성은 어느 곳이나 낮았다. 이상의 실험결과에서 볼 때 뇌나 근육중의 단백질의 함량이나 뇌중의 GSHPx의 활성, 그리고 혈청중의 과산화지질의 함량이 넙치의 오염지표로서의 가능성을 검토할 가치가 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- Ellman, G. L., Courtney, K. O., Andres, V. and Featherstone, R. M. : A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.*, 7, 88~95(1961).
- Bocquéné, G. and Galgani, F. : Acetylcholinesterase activity in the common prawn (*Palaemon serratus*) contaminated by carbaryl and phosalone : choice of a method for detection of effects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 22, 337~345(1991).
- Galgani, F. and Bocquéné, G. : In vitro inhibition of acetylcholinesterase from four marine species by organophosphates and carbamates. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.*, 45, 243~249(1990).
- Galgani, F. : Monitoring of pollutant biochemical effects on marine organisms of the french coasts. *Oceanologica Acta*, 15(4), 355~364(1992).
- Galgani, F., Bocquéné, G. and Cadiou, Y. : Evidence of variation of cholinesterase activity in fishes along a pollution gradient in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 19(1992).
- Holland, H. T., Coppage, D. R. and Imada, N. : Use

- of fish brain acetylcholinesterase to monitor pollution by organophosphorus pesticides. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2(3), 156–162(1967).
7. Grzebyk, D. and Galgani, F. : Mesurement of organic pollution on marine organism : Rapid determination of EROD induction using plate readers. *Aquat. Liv. Resour.*, 4, 53–59(1991).
 8. Collier, T. K., Connor, S. D., Eberhardt, B. L., Anulacion, B. F., Goks yr, A. and Varanas, U. : Using cytochrome P-450 to monitor the aquatic environment. *Mar. Env. Res.*, 34, 195–199(1992).
 9. McCain, B. B., Collier, T. K., Brown D. W., Stein, J. E., Horn, T. Chan, S. L., Myers, M. S., Pierce, S. M. and Varanas, U. : Chemical contaminant exposure and effects in four fish species from Tampa Bay. *Florida Estuaries*, 19(1), 86–104(1996).
 10. Choi, J. H., Kim, D. W., Moon, Y. S., Park, C. K. and Yang, D. B. : Study on Biochemical Pollutant Index 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 (1997).
 11. Lowry, O. H., Roseborough, N. J., Farr, L. A. and Randall, R. J. : Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193, 265–275(1951).
 12. Choi, J. H. and Yu, B. P. : Unsuitability of TBA test as a lipid peroxidation marker due to prostaglandin synthesis in the aging kidney. *Age*, 13, 61–64(1990).
 13. Oyanagui, Y. : Reevaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase activity. *Anal. Biochem.*, 42, 290–296(1984).
 14. Lawrence, R. A. and Burk, R. F. : Species, tissue and subcellular distribution of non Se-dependent glutathione peroxidase activity. *Lipid*, 19, 444–448 (1978).
 15. Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. : Principles and procedures of statistics. McGrawhill, New York(1960).
 16. Yagi, K. : Lipid peroxides and human diseases : Chemistry and physics of lipids, Elsevier Scientific Publishers, Ireland, Ltd., 45, 337–351(1987).
 17. Choi, J. H. and Yu, B. P. : The effect of food restriction on kidney membrane structures of aging rats. *Age*, 12, 133–136(1989).
 18. Choi, J. H. and Yu, B. P. : Unsuitability of TBA test as a lipid reroxidation marker due to prostaglandin synthesis in the aging kidney. *Age*, 13, 61–64(1990).
 19. Yu, B. P. : 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(1993).
 20. Choi, J. H. and Yu, B. P. : Brain syaptosomal aging : Free radicals and membrane fluidity. *Free Rad. Biol. Med.*, 18, 133–139(1995).
 21. Black, H. S. : Potential involvement of free radical reactions in ultraviolet light-mediated cutaneous damage. *Photochem. and Photobiolol.*, 46(2), 213–221(1987).
 22. Ogura, R., Sugiyama, J., Nishi, J. and Haramaki, N. : Mechanism of lipid radical formation following exposure of epidermal homogenate to ultraviolet light. *J. Invest Dermatol.*, 97, 1044–1047(1991).