

# 참굴에서의 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons의 축적성과 생화학적 변화 II: Anthracene을 model물질로 한 연구

서영호 · 정의영 · 김강전 · 배주현 · 류동기 · 황인영\* · 김정삼\* · 박관하

군산대학교 해양과학대학 · 인제대학교 자연과학대학\*

=Abstract=

## Bioconcentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Biochemical Changes in Oyster, *Crassostrea gigas*: a model study with anthracene

Young Ho Seo, Ee-Yung Chung, Kang Jeon Kim, Ju Hyun Bae, Dong-Ki Ryou, In-Young Hwang, Jong-Sang Kim and Kwan Ha Park

College of Ocean Science & Technology, Kunsan National University, Kunsan, Chonbuk 573-702, Korea  
\*College of Natural Sciences, Inje University, Kimhae, Kyungnam 621-749, Korea

In order to assess the bioconcentration potential and adverse effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to oysters, a model study was carried out with anthracene, one of the major PAHs frequently found in the marine environment. When Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) were exposed to anthracene at 0.01-1 ppm for 2 weeks, overall tissue anthracene content reached to 25-85 times of exposure level. Furthermore the concentration was related to exposure period. Lipid peroxide levels in the digestive diverticula and adductor muscle estimated by thiobarbituric acid value were elevated in an exposure concentration- and period-dependent manner. The contents of soluble protein, glycogen, nucleoside/nucleotide, or DNA/RNA did not change significantly. The results indicate that anthracene can efficiently concentrate in oyster tissues. The only significant biochemical change to anthracene exposure among examined parameters was lipid peroxide levels.

Key words: *Crassostrea gigas*, PAHs, Anthracene, Biochemical parameters

### 서 론

Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs)는 최근 중요한 환경오염물질로 부각되고 있다. 상당 부분의 PAHs 물질은 해양유류사고로 해양으로 대량 유출된

다. 또한 일부의 PAHs는 육상에서의 연료의 소비에 수반하여 해양환경으로 배출되고 있는데 정유공업, 알루미늄 공업, coal tar 산업, 발전소나 고무생산의 부산물, 자동차 배기가스, 도로의 asphalt 침출물 등이 배출원으로 알려져 있다(Breznicki and Przybylski, 1996). 우리 나라의 경우 phenanthrene, fluoranthene,

anthranthene 및 benzo(a)pyrene 등 수종의 PAHs가 수생환경내에서 검출되고 있다(환경처보고서, 1992).

이들 물질들은 지용성이 높은 다른 물질들과 마찬가지로 수중에 존재하는 형태로부터 뿐 아니라 먹이사슬을 통해서도 다양한 수생생물에 축적되며 여과섭식을 하는 패류에는 최고 1000배정도 까지 축적되는 것이 보고되고 있다(Brunson *et al.*, 1998; Hellou *et al.*, 1994; Ma *et al.*, 1995; Mendza *et al.*, 1997). 많은 종류의 PAHs가 인간을 포함한 다양한 동물에 독성이 있으며 benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene 및 indeno(1,2,3-cd)pyrene과 같은 물질들은 발암물질이기 때문에 이 물질들의 해양생물체에 축적은 환경독성학적 및 식품위생학적으로 심각한 문제를 야기한다(Canovas *et al.*, 1998; Phillips 1983).

유류오염이 생물에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 어류에 있어서 행동, 생리, 병리 독성의 관점에서 연구(Hawkes *et al.*, 1980; Malins, 1982; Purdy, 1989)되어 왔으며, 국내의 연구로는 어체에 미치는 영향과 유성분 제거에 관한 연구(강식중과 최병태, 1997) 등이 있다. 그러나 우리 나라 전 연안에 널리 분포하고 있으며 산업 유용종인 참굴에 있어서 이들 유성분 중에서 장기간 파괴되지 않고 생물체내에 머무르는 물질들의 노출시 체내 농축량과 영양물질 상호변화에 미치는 영향에 대해서는 연구된 바가 없다. 굴과 같은 이매패류 연체동물들은 일생을 통해 활동범위가 거의 제한되어 있어서 여러 가지 오염물질들을 농축시키기 때문에 이들 오염물질의 감시목적으로 이용할 수 있는 좋은 지표생물이 될 수 있다(NAS, 1980). 오염지표 생물종은 정착성 생물로서 세계적으로 널리 분포하고 오염물질을 체내에 잘 축적시키는 특징을 가져야 하는데 홍합과 굴은 이러한 목적에 매우 적합한 생물종으로 생각되고 있다(이수형, 1994). 특히 굴은 주로 간석지나 조간대에 부착하여 해수중의 플랑크톤 등을 먹이로 하는 여과섭식동물로서 좋은 지표생물이 될뿐 아니라 전세계적으로 극지를 제외하고는 대부분의 해역에 분포하므로 굴에 대한 화학물질의 영향에 관한 연구결과는 지역간, 국가간 비교가 용이한 장점이 있다. 따라서 본 연구는 주요 유류성분중의 하나인 anthracene에 장기간 노출시 소화맹낭과 폐각근에 있어서 생화학 성분의 변화와 anthracene의 농축량을 조사함으로써 이들 물질이 참굴에 어떠한 영향을 미치는 가를 검토하고자

하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험용 굴

실험용으로 사용한 굴은 1998년 3월에 경남 충무어 시장에서 구입한 수하식 양식산 참굴을 사용하였으며 사용된 시료는 시험 종료시에 각장 5.4-6.8 cm, 각고 6.3-7.8 cm, 육중량 9.6-11.6 g의 범위였다.

### 2. 순치 및 노출

참굴은 4 liter의 여과해수가 들어있는 직사각형 수조(40 × 25 × 17 cm)에서 사육하였다. 수온은 18°C (± 1°C)로 유지하고 폭기를 하였으며, 20일동안 실험실에서 적응시킨 후 실험을 개시하였다. 실험수내에 anthracene을 3개의 농도(0.01, 0.1, 1 ppm)로 용해하였으며 수조는 차광하여 광에 의한 파괴를 최대한 방지하였다. 노출에 의한 영향을 평가하기 위해 노출 종료 후 개각하여 육질부분을 분리하고 소화맹낭(digestive diverticula)과 폐각근(adductor muscle)에서의 생화학적 변수를 측정하였다. 이들 두 기관을 제외한 나머지 조직에서 축적된 anthracene의 농도를 측정하였다.

### 3. 체내 anthracene 농축량 분석

Anthracene의 농축정도를 측정하기 위한 분석방법은 서영호 등(1998)의 방법과 같다. 단, 형광법에 의한 측정에 사용한 파장은 각각 excitation 248 nm과 emission 374 nm였다.

### 4. 생화학적 변수의 측정

소화맹낭과 폐각근을 적출하고 균질화 한 뒤 nucleoside 및 nucleotide 함량, 수용성 단백질량, glycogen 함량, 지질 과산화물가(thiobarbituric acid; TBA) 등을 측정하였다. 수용성 단백질량은 Lowry 등(1951)의 방법으로, glycogen 함량은 김중와 佐藤(1988)의 방법을 각각 따랐으며 nucleoside/nucleotide의 분석 및 지질과산화물가는 서영호 등(1998)의 방법과 동일하였다.

### 5. 통계

모든 data는 평균 ± 표준오차(S.E.M)로 표현하였으며 비교군과의 유의성은 student's *t*-test를 사용하여 검정하였다. P 값이 0.05 이하인 경우 유의성이 있다고

판정하였다.

결 과

1. 조직내 anthracene의 농축량

본 연구에서는 지속성 해양오염물질의 하나인 anthracene의 참굴 체내 농축을 조사하기 위해 수조내의 농도를 0.01-1 ppm의 3개 농도로 설정하고 2주 동안 노출시킨 후 anthracene의 조직내 농도를 측정하였다. Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 anthracene의 조직내 농도는 노출농도 및 노출기간 증가에 따라 누적적으로 증가함이 관찰되었다. 노출기간에 따른 체내 농축량은 0.1 ppm을 예로 보면, 노출 2일후 평균 0.31 ppm, 7일후 0.70 ppm, 14일후 2.45 ppm으로 각각 나타났다. 최장 노출기간인 2주 후의 anthracene농도는 0.01 ppm에서 사육수 농도의 약 35배, 0.1 ppm에서 25 배, 1 ppm에서 85배 정도로 1 ppm에서 특히 상당한 축적현상을 보여주었다.

2. 생화학적 변수의 변화

1) Nucleoside 및 nucleotide, RNA, DNA 함량변화  
Table 1과 2에서 보는 바와 같이 anthracene에 노출시킨 굴 조직의 nucleoside/nucleotide 함량, RNA 및 DNA 함량 등에서 노출과 관련지을 수 있는 일관성 있는 변화가 관찰되지 않았다. 한편 nucleoside/nucleotide의 함량은 소화맹장이 폐각근에서 보다 다소 높은 경향을 보여주었다. 그러나 DNA/RNA 함량에 있어서는 두 조직사이에 별다른 차이가 발견되지 않았다.

2) 수용성 단백질과 glycogen 함량변화  
정상 소화맹장과 폐각근에 함유되어 있는 수용성 단백질과 glycogen함량은 두 조직간의 차이가 발견되지 않았다. 또한 anthracene에 노출된 굴에 있어서도 노출과 관련하여 수용성 단백질 및 glycogen 함량에는 유의성 있는 변화가 관찰되지 않았다(Table 3, 4).

3) 지질 과산화물 함량의 변화  
본 연구에서는 anthracene으로 노출시 지질 과산화물의 변화가 있는가를 파악하기 위해 소화맹장 및 폐각근에 있어서 TBA 값을 측정하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 소화맹장과 폐각근의 TBA값은 노출농

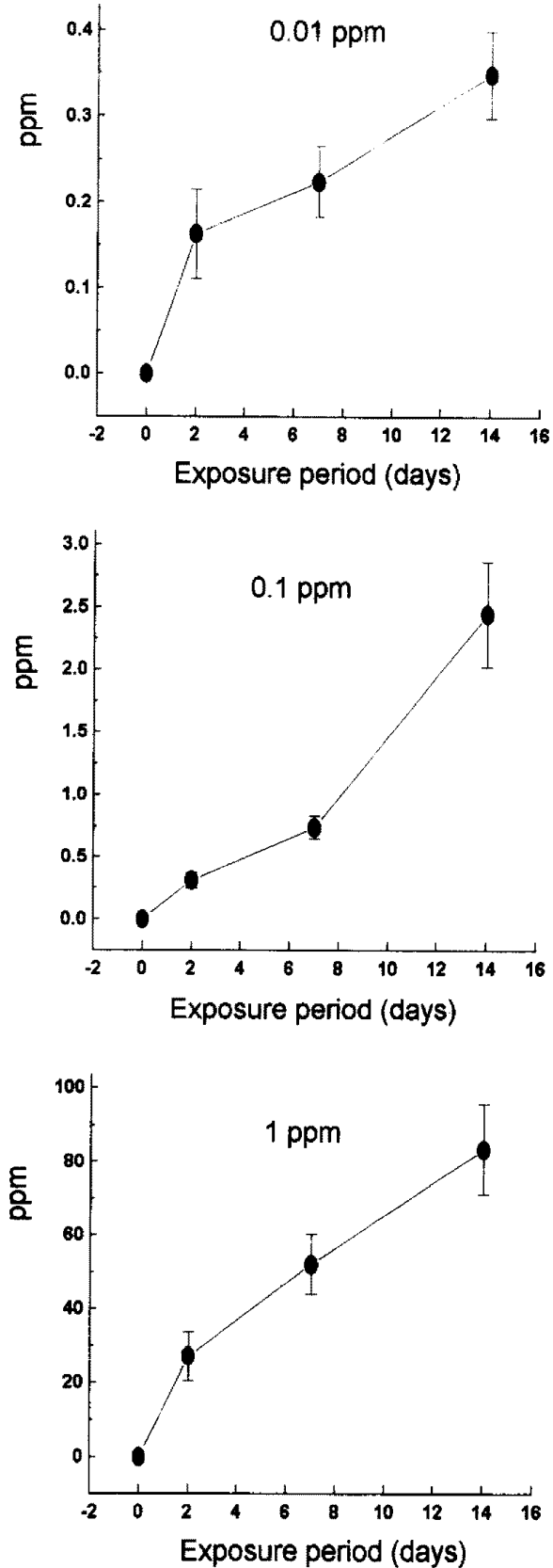


Fig. 1. Tissue anthracene concentration in *Crassostrea gigas* following an exposure for 2 weeks.

**Table 1.** Contents of nucleoside/nucleotide of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to anthracene

Tissues	Anthracene concentration (ppm)	Contents (mg/g wet tissue)		
		48 hr	1 week	2 weeks
Digestive diverticula	1	0.42±0.05*	0.31±0.03	0.31±0.03
	0.1	0.42±0.04	0.38±0.01	0.33±0.06
	0.01	0.42±0.08	0.34±0.03	0.37±0.07
Adductor muscle	1	0.19±0.05	0.19±0.03	0.17±0.03
	0.1	0.25±0.05	0.27±0.04	0.15±0.01
	0.01	0.17±0.04	0.20±0.02	0.19±0.02

\* Value are mean±S.E.M. of 3 determinations each consisting of two or three oysters. Normal contents on day 0 were 0.36±0.02 and 0.22±0.04 mg/g in the digestive diverticula and adductor muscle, respectively.

도와 노출시간이 증가함에 비례하여 현저하게 증가하였다. 소화낭과 폐각근 모두에서 1 ppm의 노출로 2일 이내에, 0.1 ppm이상의 노출로는 7일 이내에 각각 과산화물가의 유의성 있는 증가가 관찰되었다. 한편 기초적 과산화지질 양은 폐각근에서 보다는 소화낭에서 높게 나타나는 경향을 보여 주었다.

### 고 찰

본 연구에서는 굴을 anthracene에 연속적으로 2주간 노출시켰을 때에 굴의 조직내로의 anthracene 축적과

축적에 따른 다양한 생화학적 변수의 변화에 대하여 조사하였다. 생화학적 변수들은 굴의 anthracene에 대한 적절한 오염지표가 어떤 것인가에 대한 정보를 얻는데 도움이 될 것이다. Anthracene을 0.01-1 ppm의 농도로 노출할 때 조직중의 anthracene은 노출기간에 비례하여 상당히 빠른 율로 증가하였으며 2주후에는 사육수 농도의 25-85배의 수준에 도달하였다. 노출시간이 길수록 조직내 농도가 증가되는 것으로 보아 anthracene의 노출기간 중 흡수속도가 배설과 대사속도를 훨씬 능가하는 것으로 생각된다. 한편 노출농도 1 ppm에서의 최고 축적농도는 0.01이나 0.1 ppm으로

**Table 2.** Contents of RNA and DNA of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to anthracene

Tissues	Anthracene concentration (ppm)	Contents (mg/g wet tissue)					
		48 hr		1 week		2 weeks	
		RNA	DNA	RNA	DNA	RNA	DNA
Digestive diverticula	1	0.31±0.06*	0.05±0.002	0.24±0.07	0.04±0.005	0.24±0.07	0.05±0.003
	0.1	0.21±0.03	0.04±0.001	0.18±0.02	0.03±0.003	0.18±0.07	0.04±0.004
	0.01	0.19±0.04	0.04±0.004	0.12±0.04	0.03±0.003	0.19±0.06	0.03±0.004
Adductor muscle	1	0.31±0.06	0.05±0.003	0.24±0.03	0.04±0.004	0.23±0.04	0.04±0.002
	0.1	0.21±0.05	0.04±0.003	0.18±0.03	0.03±0.004	0.18±0.05	0.04±0.001
	0.01	0.19±0.05	0.04±0.005	0.22±0.03	0.03±0.001	0.19±0.06	0.03±0.001

\* Value are mean±S.E.M. of 3 determinations each consisting of two or three oysters. Normal DNA and RNA contents on day 0 were 0.22±0.04 and 0.03±0.005 mg/g, respectively, in the digestive diverticula, and 0.28±0.03 and 0.04±0.003 mg/g in the adductor muscle.

**Table 3.** Soluble protein contents of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to anthracene

Tissues	Anthracene concentration (ppm)	Contents (%)		
		48 hr	1 week	2 weeks
Digestive diverticula	1	4.76±0.54*	4.79±0.66	3.71±0.24
	0.1	3.51±0.62	4.03±0.35	3.06±0.46
	0.01	4.43±0.60	3.99±0.52	3.60±0.31
Adductor muscle	1	3.01±0.43	3.62±0.25	3.59±0.24
	0.1	3.43±0.37	3.36±0.43	2.95±0.71
	0.01	3.82±0.02	3.72±0.35	2.84±0.49

\* Value are mean±S.E.M. of 3 determinations each consisting of two or three oysters. Normal protein contents of control group on day 0 were 4.47±0.71% in the digestive diverticula and 3.65±0.30% in the adductor muscle.

노출시킨 경우보다 훨씬 높은 수준에 도달한 것은 부분적으로 나타나던 anthracene의 대사·배설능력이 높은 조직내 농도에 도달하였을 때에는 이미 포화된 것이 아닌가 사료된다.

굴은 먹이의 종류와 양, 염분, 수온 및 조석 등의 외부 환경요인에 따라 내부기관의 영양상태가 달라질 수 있기 때문에(Sastry, 1979; Mackie, 1984) 최근의 급속한 공업화·산업화로 인한 환경의 오염상태 등도 굴의 생화학적 변수에 영향을 미칠 가능성이 높다. 어패류의 에너지 상태를 알아보기 위한 방법으로는 단백질, 지질, 글리코젠, 총에너지, 비만도 등을 분석하는 방법이 많이 이용되고 있다(Chellappa *et al.*, 1995). 본 연구에서는 anthracene에 노출시킨 굴의 스트레스정도를

과약하기 위한 방법으로 소화맹낭과 폐각근에서 패류의 중요 생화학적 성분인 단백질과 glycogen 함량, nucleoside/nucleotide, 지질 과산화물 함량의 변화를 분석하였다.

핵산 관련물질의 함량은 계절과 생식소 발달에 따른 생식소의 성숙기에는 증가되며, 방란 방정기 및 퇴화기에는 감소하는 것으로 알려져 있다(Moss, 1994). 즉 스트레스에 노출되면 체내 대사산물의 대사가 감소되어 이들 변수가 불안정해질 수가 있다. 본 연구에서 anthracene에 장기간 노출에도 노출과 관련한 특기할 만한 변화가 확인되지 않은 점으로 미루어 이 화학물질은 핵산 관련물질의 대사에 현저한 영향을 미치지 않는 것으로 추정된다.

**Table 4.** Glycogen contents of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to anthracene

Tissues	Anthracene concentration (ppm)	Contents (%)		
		48 hr	1 week	2 weeks
Digestive diverticula	1	3.32±0.46*	3.62±0.46	2.85±0.33
	0.1	2.85±0.55	2.54±0.56	2.66±0.49
	0.01	3.13±0.38	3.22±0.71	2.96±0.48
Adductor muscle	1	2.32±0.34	2.24±0.44	2.45±0.32
	0.1	2.64±0.65	2.73±0.50	2.52±0.38
	0.01	2.85±0.35	2.92±0.51	2.75±0.41

\* Value are mean±S.E.M. of 3 determinations each consisting of two or three oysters. The glycogen contents of control group on day 0 were 2.91±0.66% in the digestive diverticula and 2.57±0.36% in the adductor muscle.

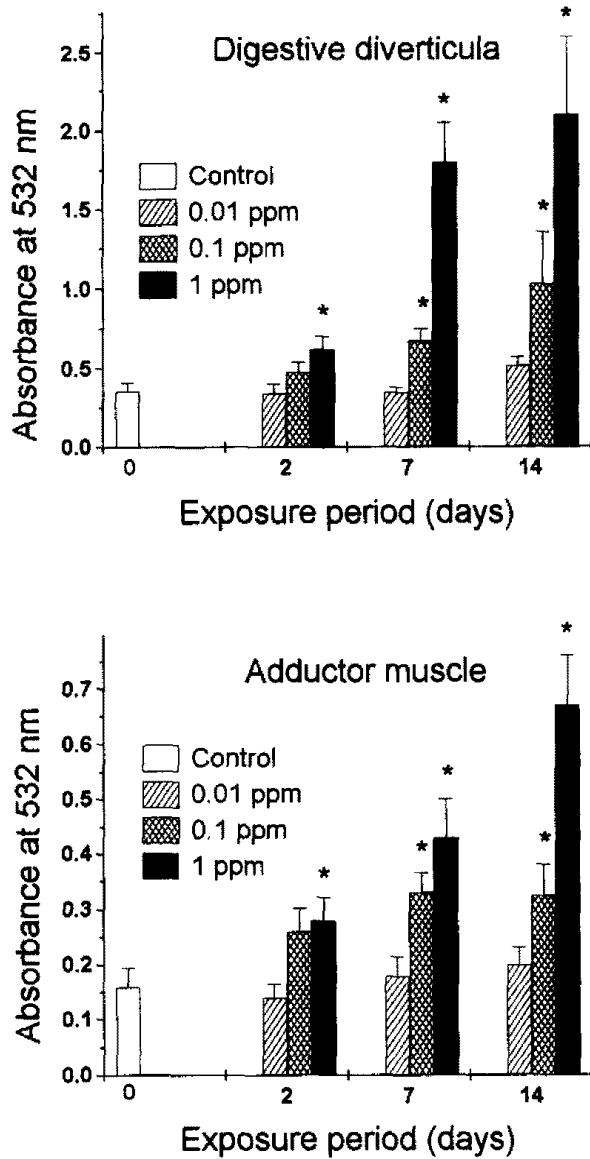


Fig. 2. Lipid peroxide levels of the digestive diverticula and adductor muscle of *Crassostrea gigas* exposed to anthracene. Asterisk shows significant different from the 0-day control.

패류가 섭취한 먹이는 체내에서 대사되어 개체의 유지와 에너지 저장에 사용된다. 에너지저장의 수단으로 glycogen을 합성하기 때문에 함량이 높은 경우에는 성장과 축적에 필요한 충분한 영양이 공급된 것으로 판단할 수 있는 반면, 함량이 낮은 경우에는 환경조건이

열악하여 충분한 양이 합성되지 않은 것으로 볼 수 있다. 이와 같이 glycogen의 함량은 패류에 있어서 영양 상태를 알 수 있는 중요한 생화학적 변수이다(Allen, 1988; Downing, 1988, Gould *et al.*, 1988; Littlewood and Gordon, 1998; Mason and Nell, 1995). 또한 단백질은 세포의 중요 구성 성분으로서 적절한 영양의 공급이 이루어지지 않을 때 함량의 변화가 나타날 수 있다. 그러나 본 연구에서 노출농도에 따른 소화맹낭과 폐각근의 수용성 단백질 및 glycogen 함량은 모두 노출기간 또는 노출농도와 관련지을 만한 변화가 관찰되지 않았다. 따라서 anthracene은 단백질과 glycogen과 단백질의 합성이나 소비과정에 영향을 미치지 않음을 의미한다.

화학오염물질로부터 수산동물이 스트레스를 받으면 활성산소 물질이 생성되어 세포막 지질에 손상을 초래하기 때문에 조직중의 지질과산화물의 함량을 증가시키는 것이 알려져 있다(Lemaire *et al.*, 1994; Ribera *et al.*, 1991). 이 연구에서 측정된 소화맹낭과 폐각근의 과산화물가도 0.1 ppm 이상의 anthracene노출에 의해 증가함이 확인되었다. 소화맹낭과 폐각근의 변화의 감도는 별로 차이가 없었다.

이 연구를 통해 해양환경 내에서 다량 검출되고 있는 anthracene은 굴조직 내로 단기간 내에 환경중 농도의 수십 배에 달하는 수준으로 축적됨을 확인하였다. 또한 이 축적과 동반하여 지질 과산화물의 양이 현저히 증가됨도 알 수가 있었다. 그러나 이 연구에서 측정된 다른 생화학적 변수인 단백질, glycogen, nucleoside/nucleotide 및 핵산의 함량에는 현저한 변화가 관찰되지 않았다. 과산화물의 양은 상당히 예민한 지표인 것이 밝혀졌기 때문에 현장에서 채집한 굴의 과산화지질함량은 anthracene에의 노출경력을 추정할 수 있는 지표로 사용될 수 있는가에 대한 연구가 필요한 것으로 보인다.

#### 요 약

참굴에 다환성방향족탄화수소(PAHs)의 축적성과 이 물질들이 미치는 독성을 평가하기 위해 해양환경에서 빈번히 검출되는 PAHs 중의 하나인 anthracene을 사용한 모델연구를 수행하였다. Anthracene을 0.01-1 ppm의 농도로 2주간 참굴에 노출시켰을 때 참굴 조직 내의 anthracene의 농도는 노출기간 및 노출농도에 비

례하여 최고 25-85배까지 증가하였다. 소화맹낭과 폐각근의 지질 과산화물가는 노출기간 및 노출농도에 관련하여 현저히 증가하였으나 수용성단백질, glycogen, nucleoside/nucleotide 및 핵산의 함량은 변화하지 않았다. 이 결과로 anthracene은 굴의 조직내로 원활하게 축적됨을 확인하였으며 과산화지질의 함량은 anthracene에의 오염에 대한 예민한 생화학적 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 말씀

본 연구는 보건복지부에서 시행한 보건의료기술 연구개발사업(HMP-98-F-1-0002)의 연구결과의 일부입니다. 생화학적 성분의 분석을 도와준 문상익 군에게 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Allen, S.K. (1988) Cytology of gametogenesis in triploid Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *J. Shellfish Res.*, **7**(1): 107-115.
- Breznicki S. and Przybylski H. (1996) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the working environment during aluminum production. *Med. Pr.*, **47**: 1-8.
- Brunson, E.L., Canfield, T.J., Dwyer, F., Ingersoll, C.G. and Kemble, N.E. (1998) Assessing the bioaccumulation of contaminants from sediments of the upper Mississippi River using field-collected oligochaetes and laboratory-exposed *Lumbriculus variegatus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **35**: 191-201.
- Canovas, S., Degan, P., Peters, L.D., Livingstone, D.R., Voltan, R. and Venier, P. (1998) Tissue dose, DNA adducts, oxidative DNA damage and CYP1A-immunopositive proteins in mussels exposed to waterborne benzo(a)pyrene. *Mutat. Res.*, **399**: 17-31.
- Chellappa, S., Huntingford, F.A., Strang, R.H.C. and Thomson, R.Y. (1995) Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback. *J. Fish Biol.*, **47**(5): 775-787.
- Downing, S.L. (1988) Comparing adult performance of diploid and triploid monospecific *Crassostrea hybridus*. *J. Shellfish Res.*, **7**(3): 549-552.
- Gould, E., Rusanowsky, D. and Luedke, D.A. (1988) Note on mussel glycogen as an indicator of spawning potential in the sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *Fish Bull.*, **86**(3): 597-601.
- Hawkes, J.W., Greuger, E.H.Jr and Olson, O.P. (1980) Effects of petroleum hydrocarbons and chlorinated biphenyls on the morphology of the intestine of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Environ. Res.*, **29**: 24-28.
- Hellou, J., Payne, J.F., Upshell, C., Fancey, L.L. and Hamilton, C. (1994) Bioaccumulation of aromatic hydrocarbons from sediments: a dose-response study with flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **27**: 477-485.
- Lemaire, P., Matthews, A., Forlin, L. and Livingstone, D.R. (1994) Stimulation of oxyradical production of hepatic microsomes of flounder (*Platichthys flesus*) and perch (*Perca fluviatilis*) by model and pollutant xenobiotics. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **26**: 191-200.
- Littlewood, D.T.J. and C.M. Gordon, C.M. (1988) Sex ratio, condition and glycogen content of raft cultivated mangrove oysters *Crassostrea rhizophorae*. *J. Shellfish Res.*, **7**(3): 395-399.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.L. (1951) Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**: 265-275.
- Ma, W.C., Immerzeel, J. and Bodt, J. (1995) Earthworm and food interactions on bioaccumulation and disappearance in soil of polycyclic aromatic hydrocarbons: studies on phenanthrene and fluoranthene. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **32**: 226-232.
- Mackie, G.L. (1984) Bivalves. In: *The Mollusca Vol 7. Reproduction.* (ed. by Tompa, A.S., Verdonk, N.H. and van den Biggelaar, J.A.M.). pp. 351-418. Academic Press, New York.
- Malins, D.C. (1982) Alterations in the cellular and subcellular structure of marine teleosts and invertebrates exposed to petroleum in the laboratory and field: A critical review. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**: 877-889.
- Mason, C.J. and Nell, J.A. (1995) Condition index and

- chemical composition of meats of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) at four sites in port Stephens, NSW. *Mar. Freshwater Res.*, **46**(5): 873-881.
- Mendoza, M., Herbst, T., Kussatz, C. and Gies, A. (1997) Potential for secondary poisoning and biomagnification in marine organisms. *Chemosphere*, **35**: 1875-1885.
- Moss S.M. (1994) Growth rates, nucleic acid concentrations, and RNA/DNA ratios of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, fed different algal diets. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **182**: 193-204.
- NAS (1980) The International Mussel Watch. Washington, D.C. *National Academy of Sciences*, pp. 248.
- Phillips, D.H. (1983) Fifty years of benzo(a)pyrene. *Nature*, **303**: 468-472.
- Purdy, J.E. (1989) The effects of brief exposure to aromatic hydrocarbons on feeding and avoidance behaviour in coho salmon, *Oncorhynchus tshawytscha kisutch*. *J. Fish Biol.*, **34**: 621-629.
- Ribera, D., Narbonne, J.F., Michel, X., Livingstone, D.R. and O'Hara, S. (1991) Responses of antioxidants and lipid peroxidation in mussels to oxidative damage exposure. *Comp. Biochem. Physiol.*, **100**: 177-181.
- Sastry, A.N. (1979) Pelecypoda (excluding Ostreidae). *In: Reproduction of Marine Invertebrates. Vol. 5.* (ed. by Giese, A.C. and Pearse, J.). pp. 113-292, Academic Press, New York.
- 강석중, 최병대 (1997) 유류오염이 어체에 미치는 영향과 유성분 제거에 관한 연구. *한수지*, **10**(2): 189-197.
- 서영호, 정의영, 김강전, 임완수, 김희연, 류동기, 최선남, 황인영, 김정상, 박관하 (1998) 참굴에서의 polycyclic aromatic hydrocarbons의 축적성과 생화학적 변화 I: fluoranthene을 model물질로 한 연구. *한국패류학회지*, **14**(2): 103-111.
- 이수형 (1994) 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염 연구. *한국패류학회지*, **10**(2): 24-40.
- 환경처보고서 (1992) 수질환경기준 및 배출허용기준 적정화 연구.
- 吉中禮二, 佐藤守 (1988) 魚類の肝臓および筋肉中のグリコ-ゲンの定量. *水産化学実験法* pp. 89-90, 恒星社厚生閣, 東京.

---

Received October 2, 1998

Accepted December 10, 1998

Corresponding author: Park, Kwan Ha

Tel: (82) 654-469-1885; e-mail: khpark@ks.kunsan.ac.kr