

참굴에서의 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons의 축적성과 생화학적 변화 I: Fluoranthene을 model물질로 한 연구

서영호 · 정의영 · 김강전 · 임완수 · 김희연 · 류동기 ·
최선남 · 황인영* · 김정삼* · 박관하

군산대학교 해양과학대학 · *인제대학교 자연과학대학

=Abstract=

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

Young Ho Seo, Ee-Yung Chung, Kang Jeon Kim, Wan-Su Lim, Hee Youn Kim, Dong-Ki Ryou, Sun-Nam Choe, 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

=Abstract=

In order to assess the bioconcentration potential and adverse effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to oysters, a model study was carried out with fluoranthene, one of the major PAHs frequently found in the marine environment. When oysters (*Crassostrea gigas*) were exposed to fluoranthene at 0.01 - 1 ppm for 2 weeks, overall tissue fluoranthene content reached to 40 - 70 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 in both the digestive diverticula and adductor muscle declined gradually over time. Neither glycogen, nucleoside/nucleotide, nor DNA/RNA contents changed significantly. The results indicate that fluoranthene can efficiently concentrate in oyster tissues. One of the earliest biochemical changes to fluoranthene exposure may include lipid peroxide levels. Soluble protein, although somewhat sluggish, can be another indicator of fluoranthene exposure stress.

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

서 론

연안과 해양오염의 중요한 오염원 중의 하나인 유류는 선박의 증가와 대형화, 선박의 충돌, 유조선에 의한

기름 유출, 동력연료 부산물의 유입 등에 기인하는데 이는 짧은 시간에 그 지역 생태계를 파괴하기 때문에 그 영향은 막대하다(NAS, 1980). 유류에 오염된 어패류에는 다양한 생리장애가 일어나며 심한 노출 후에는 식품에 기름냄새를 동반하기 때문에 소비자로부터 거부반응을 일으킨다(Vale *et al.*, 1970). 유류에는 수종의 다환성방향족탄화수소 화합물(polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)이 함유되어 있으며 인체에 대해 발암성과 같은 심각한 독성을 가지고 있어 식품위생학적인 측면에서도 매우 중요하다(Phillips, 1983). 특히 이들 유해 오염성분들이 체내에 농축될 가능성이 매우 크기 때문에 장기간의 노출시는 낮은 농도로도 만성적인 문제를 야기시킬 수 있다.

유류오염이 생물에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 어류에 있어서 행동, 생리, 병리학적 관점에서 연구(Hawkes *et al.*, 1980; Malins, 1982; Purdy, 1989)되어 왔으며, 국내의 연구로는 어체에 미치는 영향과 유성분 제거에 관한 연구(강석중과 최병태, 1997) 등이 있다. 그러나 우리 나라 전 연안에 널리 분포하고 있으며 산업 유용종인 참굴에 있어서 이들 유성분 중에서 장기간 파괴되지 않고 생물체내에 머무르는 물질들에 노출시 체내 농축량과 영양물질 변화에 미치는 영향에 대해서는 연구된 바가 없다. 특히 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). 따라서 본 연구는 주요 유류성분중의 하나인 fluoranthene에 장기간 노출시 소화맹낭과 폐각근에 있어서 생화학 성분의 변화와 fluoranthene의 농축량을 조사함으로써 이들 물질이 참굴에 어떠한 영향을 미치는 가를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험용 굴

이매패류는 생체중의 오염물질 농도와 생체부하량(body burden)이 계절에 따라 다르고, 특히 산란기때는 오염물질이 알과 함께 체외로 배출되기 때문에 시료분석 시기는 산란 2개월 전이 가장 적당한 것으로 알려져 있다(NAS, 1980). 참굴(*Crassostrea gigas*)의 산란은 5-6월경 시작되므로(Tanaka, 1954; 류성규, 1972, 1988; 서영호, 1997) 실험용 굴은 1998년 3월에

경남 충무 어시장에서 구입한 수하식 양식산 참굴을 대상으로 하였으며 노출 종료시에 각장 5.4-6.8 cm, 각고 6.3-7.8 cm, 육중량 9.6-11.6 g에 해당하였다.

2. 순치실험 및 재료의 취급

참굴은 직사각형 수조(40×25×17 cm)에 각각 4 liter의 여과해수를 채운 뒤 수온은 18°C(±1°C)로 유지하고 실험수조내에 충분한 산소공급을 위해 폭기장치를 하였으며, 20일동안 수조내에서 충분히 적응시킨 후 실험재료로 사용하였다. 실험해수내에 fluoranthene을 3개의 농도(0.01, 0.1, 1 ppm)로 용해한 다음 수조 위에는 유리를 덮고 차광하여 광에 의한 파괴를 최대한 방지하였으며 3일에 1회씩 환수하였다. 노출시 직접적으로 영향을 받는 소화맹낭과 주에너지원인 폐각근에의 영향을 조사하기 위해 각각 노출(2일, 1주 및 2주)후 칼을 폐각속에 넣어 폐각근 절단후 개각하여 육질부분을 분리하여 시험에 사용하였다. 생화학적 변수의 측정을 위해 소화맹낭(digestive diverticula)과 폐각근(adductor muscle)을 분리하였고 이들 두 기관을 제외한 나머지 조직에서 fluoranthene의 농도를 측정하였다.

3. 체내 fluoranthene 농축량 분석

Fluoranthene의 농축도를 측정하기 위한 분석은 James(1986)의 방법을 일부 변형한 것을 사용하였다. 즉, 시료 20 g을 잘게 세절한후 H₂O : methanol (1:9) 혼액 30 ml에 KOH 3.37 g을 가하여 4시간동안 환류시켜 비누화(saponification)하였다. 이 시료를 실온에서 4시간 식히고 20% methanol 40 ml를 가하여 분액여두에 넣어 cyclohexane 80 ml로 2회 fluoranthene을 추출하였다. 추출액을 1-2 ml가 되도록 rotary evaporator로 농축한 뒤 20 g의 silica gel이 충전된 column에 loading하여 불순물을 흡착함으로써 clean-up하였다. Cyclohexane 100 ml로 유출시켜 유출액을 rotary evaporatory로 1-2 ml까지 농축한 다음 N₂ blow로 완전히 건조시켰다. 시료에 acetonitrile 1 ml를 가하여 녹인 후 HPLC로 측정하였다. HPLC를 이용한 분석에는 분리 column으로 PAH column(15 cm x 4.6 mm, 5 μm, Supelco)을 사용하였으며 fluorescence detection 방법(excitation 270 nm; emission 400 nm, Waters)으로 검출하였다. 이동상(mobile phase)의 구배변화는 Table 1과 같다.

Table 1. Gradient program for fluoranthene analysis

Time (min)	Flow rate (ml/min)	A† (%)	B‡ (%)	Curve
Initial	1.5	100	0	
5.00	1.5	100	0	linear
30.00	1.5	0	100	linear
40.00	1.5	0	100	

† A: acetonitrile : water (1:2)

‡ B: 100% acetonitrile

4. 생화학적 변수의 측정

1) Nucleoside 및 nucleotide 함량

Nucleoside 및 nucleotide 분석을 위해 약 200 mg의 시료조직에 증류수 4 ml를 가하여 homogenizer로 균질화시켰다. 이 시료 1 ml를 취하여 빙냉한 HClO₄로 방산가용의 핵산성분 즉 nucleoside 및 nucleotide를 추출하였다. 여액을 ethanol-ethyl ether 혼액(1:1)으로 탈지한 다음 남아있는 RNA와 DNA를 묶은 알칼리처리 를 하여 분별하고 각 분획은 260 nm에서 spectrophotometer(Shimadzu UV-1601PC)로 흡광도를 측정하여 함량을 구하였다.

2) 수용성 단백질 함량

수용성 단백질은 Lowry 등(1951)의 방법을 변형한 것으로 Protein Assay kit(Sigma)를 이용하여 분석하였다. 즉, 조직에 4배량의 saline을 첨가하여 homogenizer로 균질화시킨 다음 Lowry reagent 용액과 Folin & Ciocalteu's phenol 시약을 각 시험관에 넣고 발색한 후 spectrophotometer(Shimadzu)로 750 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3) Glycogen 함량

Glycogen의 분석에는 吉中와 佐藤(1988)의 방법을 사용하였다. 즉, 조직 약 100 mg로부터 glycogen을 추출한 다음 H₂SO₄를 가해 용해하고 anthrone 시약으로 발색시킨 뒤 620 nm에서 spectrophotometer(Shimadzu)로 흡광도를 측정하였다. 농도의 계산에는 D-glucose를 표준액으로 사용하였다.

4) 지질 과산화물가(thiobarbituric acid 값)

Thiobarbituric acid(TBA) 값의 측정을 위해 조직

약 1 g을 취하여 4 배량의 차가운 saline을 첨가하였다. Homogenizer로 균질화시킨 다음 균질액 0.2 ml를 취해 0.6 ml의 증류수, 0.2 ml의 8.1% sodium dodesylsulfate, 1.5 ml의 20% acetic acid 완충액(pH 3.5) 및 1.5 ml의 0.8% TBA와 혼합하였다. 95°C에서 1 시간동안 가열 후 얼음으로 식히고 6 ml의 n-butanol : H₂O(5:1)혼액을 혼합하여 원심분리(3,000 x g, 10분간)한 후 상정액을 취하여 532 nm에서 spectrophotometer(Shimadzu)로 흡광도를 측정하였다.

5. 통계처리

모든 data는 평균±표준오차로 표현하였으며 비교군과의 유의성은 student's t-test를 사용하여 검정하였다. P 값이 0.05 이하인 경우 유의성이 있다고 판정하였다.

결 과

1. 조직내 fluoranthene 농축량

Fluoranthene의 참굴 체내 농축을 조사하기 위해 수조내의 농도를 0.01-1 ppm의 3개 농도로 설정하고 2 주동안 노출시킨 후 fluoranthene의 조직내 농도를 측정하였다. Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 fluoranthene의 조직내 농도는 노출농도 및 노출기간이 증가함에 수직적으로 증가함이 관찰되었다. 최장 노출기간인 2 주 후에는 사육 해수중의 농도의 40 - 70배에 상당하는 fluoranthene의 축적이 일어났다. 노출기간에 따른 체내 농축량은 0.1 ppm을 예로 보면, 노출 2일후 평균 0.51 ppm, 7일후 1.31 ppm, 14일후 4.18 ppm으로 각각 나타났다. 또한 노출농도의 변화에 따른 fluoranthene의 조직내 농도 변화는 1주간 노출된 경우를 예로 보면 0.01 ppm에서 평균 0.52 ppm으로부터, 0.1 ppm에서 1.31 ppm, 1 ppm에서는 35.15 ppm으로 노출농도가 높을수록 체내 농축량도 증가되는 것이 관찰되었다.

2. 생화학적 변수의 변화

본 연구에서는 fluoranthene에 노출시킨 굴의 생리상태를 파악하기위한 방법으로 소화맹낭과 폐각근에서 패류의 중요 생화학적 성분인 단백질과 glycogen 함량, nucleoside/nucleotide, 지질 과산화물 함량의 변화를 분석하였다.

Table 2. Contents of nucleoside/nucleotide of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to fluoranthene

Tissues	Fluoranthene concentration (ppm)	Contents (mg/g wet tissue)		
		48 hr	1 week	2 weeks
Digestive diverticula	1	0.42±0.03*	0.31±0.08	0.31±0.10
	0.1	0.42±0.05	0.38±0.03	0.33±0.07
	0.01	0.42±0.02	0.34±0.03	0.37±0.05
Adductor muscle	1	0.19±0.02	0.19±0.02	0.17±0.03
	0.1	0.25±0.06	0.27±0.12	0.15±0.04
	0.01	0.17±0.11	0.10±0.05	0.10±0.09

* Values are mean±S.E.M. of 3 samples. Each sample contains two or three oysters pooled. 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.

- 1) Nucleoside 및 nucleotide, RNA, DNA 함량변화
Table 2와 3에서 보는 바와 같이 가장 높은 농도에 노출시에도 nucleoside/nucleotide, RNA, DNA의 함량은 일관성 있는 변화가 관찰되지 않았다.
- 2) 수용성단백질과 glycogen 함량변화

Fluoranthene에 노출된 굴의 수용성 단백질 함량은 소화맹낭과 폐각근에서 모두 노출시간이 길어짐에 따라 감소하는 경향을 보여주었다(Fig. 2). 예를 들어, 소화맹낭에서 단백질 함량변화를 보면 0.01 ppm으로 노출시킨 경우 소화맹낭에서는 2일째 평균 4.15%, 7일째 3.56%, 14일째 3.10%로 노출기간의 연장에 따라 점차

Table 3. Contents of RNA and DNA of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to fluoranthene

Tissues	Fluoranthene concentration (ppm)	Contents (mg/g wet tissue)					
		48 hr		1 week		2 weeks	
		RNA	DNA	RNA	DNA	RNA	DNA
Digestive diverticula	1	0.31±0.04*	0.05±0.003	0.24±0.04	0.04±0.006	0.24±0.04	0.05±0.001
	0.1	0.21±0.05	0.05±0.001	0.18±0.02	0.03±0.002	0.18±0.03	0.04±0.005
	0.01	0.19±0.03	0.04±0.002	0.12±0.02	0.03±0.004	0.19±0.02	0.02±0.004
Adductor muscle	1	0.31±0.05	0.05±0.007	0.24±0.03	0.04±0.002	0.23±0.03	0.04±0.002
	0.1	0.21±0.03	0.04±0.001	0.18±0.05	0.03±0.011	0.18±0.03	0.04±0.003
	0.01	0.19±0.02	0.04±0.004	0.21±0.01	0.03±0.002	0.19±0.05	0.02±0.005

* Values are mean±S.E.M. of 3 samples. Each sample contains two or three oysters pooled. 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.

감소하였다. 또한 폐각근에서도 1 ppm으로 노출시킨

경우 2일째 4.87%, 7일째 3.58%, 14일째 2.76%로 감소하였다. 한편 두 조직 모두의 대조군에서는 14일 후에도 뚜렷한 변화가 관찰되지 않아서 실험실에서의 사육 자체에 의한 감소현상은 아님을 알 수 있었다. 그러나 Table 4에서 보는 바와 같이 glycogen 함량에는 아무런 변화가 관찰되지 않았다.

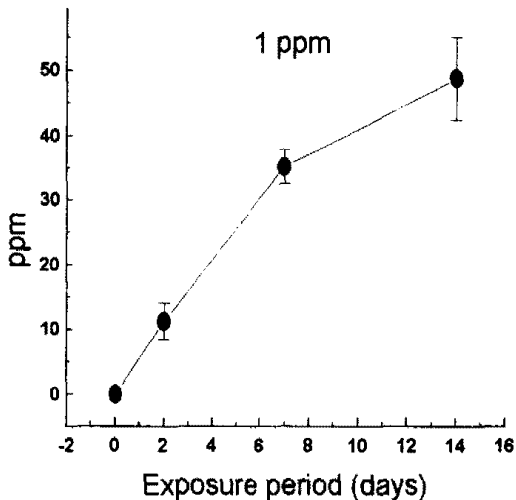
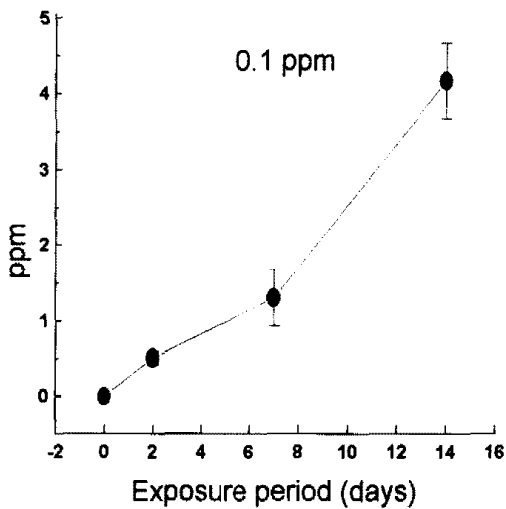
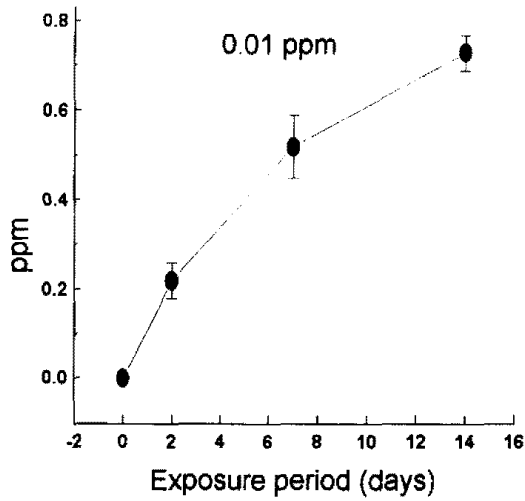


Fig. 1. Tissue fluoranthene concentration in *Crassostrea gigas* following an exposure for 2 weeks.

3) 과산화물 함량의 변화

본 연구에서 fluoranthene으로 노출시 얼마만큼의 지질 과산화물이 생성되었는가를 파악하기 위해 소화맹낭 및 폐각근에 있어서 TBA 값을 측정하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 소화맹낭과 폐각근의 TBA값은 노출농도와 노출시간이 증가함과 관련하여 증가하는 현상이 관찰되었다. 즉, 0.01과 0.1 ppm에서 소화맹낭의 TBA값이 7일간 이상의 노출에 의해, 1 ppm으로는 2일만의 노출로도 유의성 있는 증가현상이 확인되었다. 폐각근은 소화맹낭보다 다소 둔감하여 0.01 ppm에서는 14일 후에도 변화가 나타나지 않았으며 0.1 ppm 이상에서 7일 이상 노출시 증가가 나타나기 시작하였다. 일반적으로 폐각근보다는 소화맹낭에서 정상 TBA 값이 높게 나타났으며 fluoranthene의 노출에 의해서도 더 예민하게 반응하였다.

고 찰

어느 특정 해역에서 지속성 오염물질의 오염도를 측정하는 방법에는 해수, 해저퇴적물, 또는 이 해역에서 서식하는 정착성 생물의 오염정도를 분석하는 방법 등 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 해수의 수질분석을 통한 오염도 측정방법은 해수자체가 해류, 조석 등으로 인해 시시각각으로 유동하므로 정확한 오염도 조사가 곤란하며, 해저 퇴적물의 경우는 오염물질이 단시일 내에 퇴적되는 것이 아니라 오랜 시일이 걸려야 하며 그것도 연안처럼 조석차가 심하고 생물활동이 활발한 곳에서는 난류와 생물교란 때문에 규칙적인 퇴적을 기대하기 어렵다. 그러나 이매패류와 같은 연체동물들은 일생을 통해 활동범위가 거의 한 지역에 국한되면서 오염물질 등을 생물 농축시키기 때문에 좋은 지표 생물(indicator organisms)이 될 수 있다(NAS, 1980). 특히 굴은 우리나라 전 연안에 서식하고 있으며 또한 대량양식하고 있어 오염도 평가에는 매우 적절한 생물 종이다.

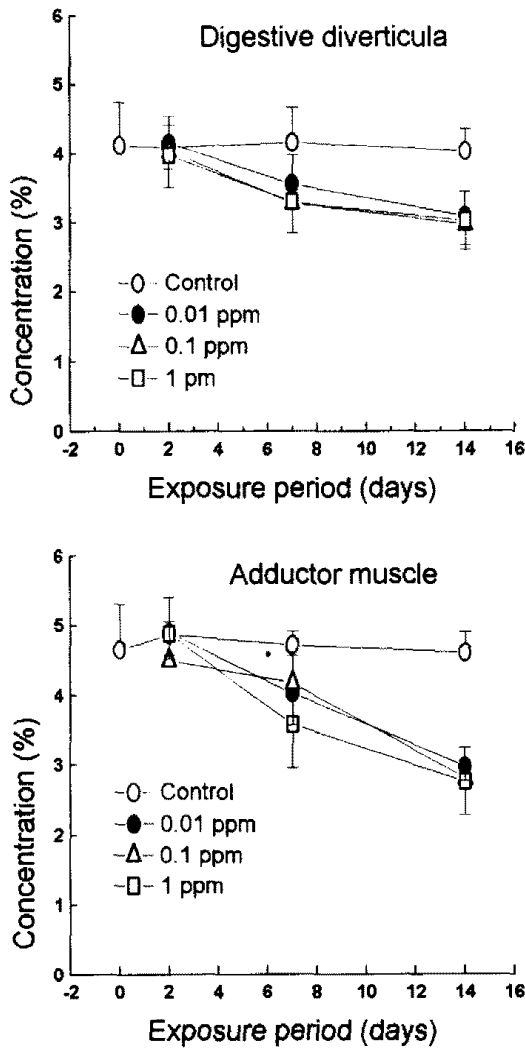


Fig. 2. Soluble protein concentrations of the digestive diverticula and adductor muscle of *Crassostrea gigas* exposed to fluoranthene. Protein concentrations of the tissues were significantly reduced exposed with 0.01 and 0.1 ppm of fluoranthene for 2-week, and with 1 ppm for more than 1 week, respectively.

참굴에 fluoranthene을 0.01-1 ppm의 농도로 노출시켰을 때 노출기간이 증가함에 따라 또 노출농도가 높을수록 조직내 축적량도 증가함을 볼 수 있었다. 이와 같이 노출시간이 길수록 조직내 농도가 증가되는 것으로 보아 이 노출기간내에서 fluoranthene의 흡수속도가 배설과 대사속도를 훨씬 능가하는 것으로 생각된다. 이로써 PAHs류 물질 중 흔히 상당량 해양환경내에서

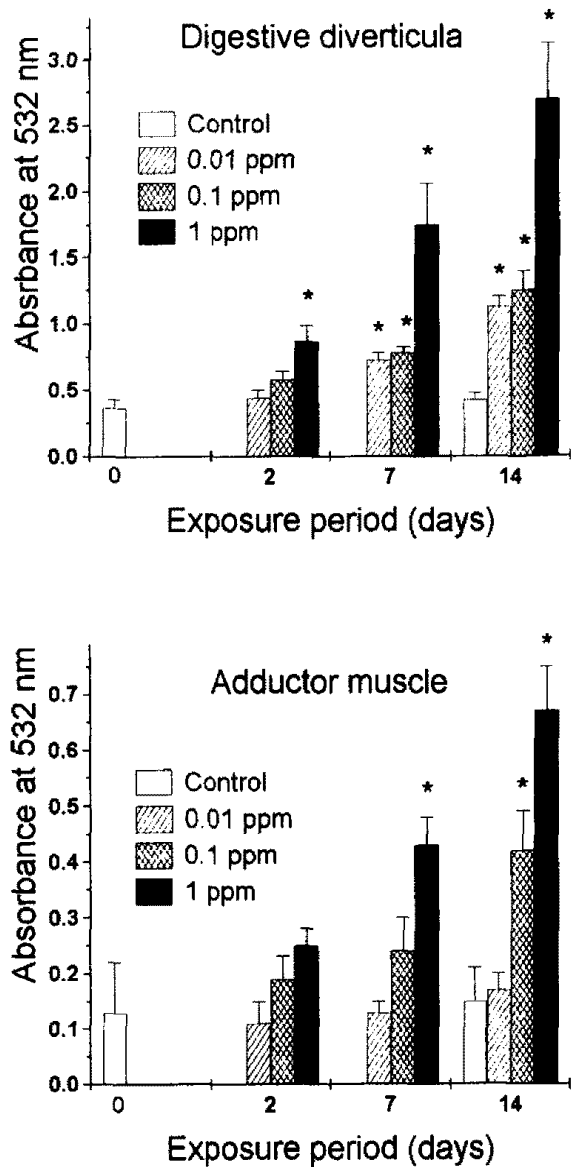


Fig. 3. Lipid peroxide levels of the digestive diverticula and adductor muscle in *Crassostrea gigas* exposed to fluoranthene.

검출되는 fluoranthene이 참굴에 있어서 낮은 농도와 단기간 노출에 의해서도 검출가능한 수준으로 축적된다는 것을 확인 할 수 있었다.

굴은 glycogen, 비타민, 단백질 등 각종 영양소를 함유하고 있어 전통적으로 기호식품으로 많이 이용되어 온 중요 수산물이다(류성규, 1988). 굴에 공급되는 먹이의 종류와 양, 염분, 수온 및 조석 등의 외부 환경요인에 따라 내부기관의 영양상태가 달라질 수 있다 (Sastry, 1979; Mackie, 1984). 따라서 최근 급속한 공

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

Tissues	Fluoranthene concentration (ppm)	Contents (%)		
		48 hr	1 week	2 weeks
Digestive diverticula	1	3.19±0.64*	2.67±0.91	3.01±0.13
	0.1	3.28±0.24	2.52±0.29	2.73±0.19
	0.01	3.29±0.63	3.45±0.37	2.62±0.40
Adductor muscle	1	2.15±0.18	2.26±0.54	2.51±0.72
	0.1	2.35±0.40	2.74±0.50	2.21±0.92
	0.01	2.46±0.52	2.15±0.23	2.47±0.27

* Values are mean±S.E.M. of 3 samples. Each sample contains one or two oysters pooled. 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.

업화·산업화로 인한 환경의 오염상태 등도 굴의 생화학적인 변수에 영향을 미칠 가능성이 높다. 어패류의 에너지 상태를 예측하기 위한 일반적인 방법은 비만도(condition factor), 육질 비만도(somatic condition factor), HSI (hepatosomatic index) 등의 방법이 사용되는데, 그 중 에너지 저장상태를 알아보기 위한 방법으로는 단백질, 지질, 글리코겐, 총에너지, 비만도 등을 분석하는 방법이 많이 이용되고 있다(Chellappa *et al.*, 1995).

핵산 관련물질의 함량은 계절과 생식소 발달에 수반하여 생식소의 성숙기에는 증가되며, 방란 방정기 및 퇴화기에는 감소하는 것으로 알려져 있다(Moss, 1994). 즉 스트레스에 노출되면 체내 대사산물의 대사율이 감소되어 이들 변수가 불안정해질 수가 있다. 본 연구에서 fluoranthene에 장기간 노출에도 노출과 관련한 특기할 만한 변화가 확인되지 않은 점으로 미루어 비교적 둔감한 생화학적 변수인 것으로 추정된다.

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 영양상태를 알 수 있는 중요한 생화학적 변수이다(Allen, 1988; Downing, 1988, Gould *et al.*, 1988; Littlewood

and Gordon, 1998; Mason and Nell, 1995). 본 연구에서 fluoranthene 노출농도에 따른 소화맹낭과 폐각근의 glycogen 함량은 노출기간 또는 노출농도와 관련지을 만한 변화가 관찰되지 않았다(Table 4). 이는 glycogen의 합성이나 소비과정이 fluoranthene에 의해 거의 영향을 받지 않음을 의미한다.

조직생체에 함유된 지질의 산화는 산소, 햇빛 및 온도 등의 외적인 요소 이외 구성성분인 단백질, 탄수화물, 무기질, 비타민류, 수분 및 색소 등의 종류나 함유 비율 등에 좌우된다(Kajimoto *et al.*, 1994). 또한 화학오염물질로부터 수산동물이 스트레스를 받아도 활성산소 물질이 생성되어 세포막 지질에 손상을 초래하기 때문에 조직중의 지질과산화물의 함량을 증가시키는 것이 알려져 있다(Lemaire *et al.*, 1994; Ribera *et al.*, 1991). 특히 어패류에 다량 함유되어 있는 지질 특히 고도불포화지방산은 쉽게 산화·분해되어 품질저하의 요인이 되기도 한다(Min and Smouse, 1985).

조직중의 단백질 함량은 노출기간이 길어지면 감소의 정도가 커졌지만 노출농도를 0.01 ppm에서 1 ppm으로 증가시켰을 때는 농도의 차이에 따른 변화는 관찰되지 않았다. 이는 단백질의 함량은 fluoranthene에 대하여 매우 예민하게 변화하는 지표이며 0.01 ppm만으로도 이미 최대의 저하효과가 있음을 의미한다. Fluoranthene에 노출시 단백질 함량의 감소에 대한 기전은 아직 알려져 있지 않으나 합성과정의 방해에 의한 것이 아닌가 추정된다. 한편 이 연구에서 검토한

과산화물가는 소화맹낭이 폐각근보다 더 예민하게 fluoranthene에 의하여 증가되었다(Fig. 3). 이는 소화맹낭이 조직적으로도 얇고 간중장선으로부터 젤라틴과 결합조직으로 둘러 싸여있어 영양수송이 많고 오염물질이 침투하기 용이하기 때문에 지질이 쉽게 산화되어 과산화물가가 증가된 것으로 보이며, 폐각근은 조직적으로 소화맹낭보다는 훨씬 두껍고 근육질로 구성되어 있어 산화가 적게 일어난 것으로 보인다.

요 약

참굴에 다환성방향족탄화수소(PAHs)의 축적성과 이 물질들이 미치는 독성을 평가하기 위해 해양환경에서 빈번히 검출되는 PAHs 중의 하나인 fluoranthene을 사용한 모델연구를 수행하였다. Fluoranthene을 0.01-1 ppm의 농도로 2주간 참굴에 노출시켰을 때 참굴 조직내의 fluoranthene의 농도는 노출기간 및 노출농도에 비례하여 최고 40-70배까지 증가하였다. 소화맹낭과 폐각근의 지질 과산화물가는 노출기간 및 노출농도에 관련하여 현저히 증가하였으며 수용성단백질의 함량은 노출기간이 길어짐에 따라 서서히 감소하였다. 그러나 glycogen함량, nucleoside/nucleotide, DNA 및 RNA 함량은 변화하지 않았다. 이 결과로 fluoranthene은 굴의 조직내로 원활하게 축적함을 확인하였다. 또한 과산화 지질의 함량은 fluoranthene에의 오염에 대해 신속히 반응하는 지표의 하나로 추정되며 수용성단백질의 감소도 비록 시간적으로 다소 둔감하기는 하나 또 다른 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 신화연 양에게 감사드립니다.

참고문헌

Allen, S.K. (1988) Cytology of gametogenesis in triploid Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *J. Shellfish Res.*, 7(1): 107-115.
 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.
 James, F.L. (1986) Determination of nanogram/kilogram levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in foods by HPLC with fluorescence detection. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 24: 113-131.
 Kajimoto, G., M. Yamaguchi, S. Kasutani, H. Yoshida, and A. Shibahara (1994) Influence of synthetic feed colorants of oxidative deterioration of oil. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 41: 793-796.
 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 rhyzophorae*. *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.
 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.
- Min, D.B. and Smouse, T.H. (1985) Flavor Chemistry of Fat and Oils. American Oil Chemists' Society, pp. 39.
- 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.
- Tanaka, Y. (1954) Spawning season of important bivalves in Ariake Bay-II. *O. gigas* Thunberg. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **19**(2): 1161-1164.
- Vale, G.L., Sidhu, G.S., Monotogomery, W.A. and Johnson, A.R. (1970) Studies on a kerosene-like taint in mullet (*Mugil cephalus*) I. General nature of the taint. *J. Sci. Fd. Agr.*, **21**: 429-432.
- 강석중, 최병대 (1997) 유류오염이 어체에 미치는 영향과 유성분 제거에 관한 연구. *한수지*, **10**(2): 189-197.
- 류성규 (1972) 굴양식. pp. 13-20, 아주출판사, 서울
- 류성규 (1988) 천해양식. pp. 86-162, 세로출판사, 서울
- 서영호 (1997) 한국 서해산 참굴의 성성숙 및 자웅동체현상. *군산대 석사학위논문*, pp. 61.
- 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. *水産化学實驗法* 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