

칼납자루, *Acheilognathus koreensis*의 생식에 미치는 polychlorinated biphenyls (PCBs)의 영향

정 선 영* · 진 영 국¹ · 이 정 식¹

여수대학교 수산과학연구소, ¹여수대학교 수산생명의학과

Effects of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) on the Reproduction of the Oily Bitterling, *Acheilognathus koreensis* (Teleostei: Cyprinidae)

Seon Young Jeong*, Young Guk Jin¹ and Jung Sick Lee¹

The Fisheries Science Institute, Yeosu National University, Yeosu 550-749, Korea

¹Department of Aqualife Medicine, Yeosu National University, Yeosu 550-749, Korea

Abstract - The effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) on the reproduction of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis* were investigated using histological methods. The experimental fishes were exposed to 0, 3.4, 9.3 and 25.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ PCBs for 8 weeks. Dead fishes and abnormal behavior were not observed in control and PCBs exposure group. In compared with control group, PCBs exposure fishes showed differences of gonadal development, gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), nuptial color index (NCI) and ovipositor length index (OLI). These results showed that PCBs could disrupt reproductive process in the fish.

Key words : *Acheilognathus koreensis*, PCBs, reproduction

서 론

Polychlorinated biphenyls (PCBs)는 자연에서 쉽게 분해되지 않는 난분해성 물질로서 생물체의 지방 성분에 쉽게 녹아드는 지용성을 가지며, 화학구조가 생명체의 호르몬과 비슷해 체내에 흡수될 경우 정상적인 호르몬의 기능을 혼란시켜 기형, 생식기능 저하, 행동 변화, 암 발생 등을 유발하는 내분비계장애물질 (Endocrine Disruption Chemicals: EDCs)로 분류되어 있다. PCBs의 오염과 독성에 관한 문제는 스웨덴의 Jensen (1966)에 의해

서 제기된 이후 많은 사람들의 주목을 받게 되었는데 PCBs는 주로 먹이 사슬을 통해 인체로 유입되어 여러 가지 생물학적 저해현상을 나타낸다 (Higuchi 1976).

PCBs가 어류의 생식에 미치는 영향으로는 가자미류인 *Platyichthys flesus* (Westernhagen *et al.* 1981)와 청어류인 *Clupea harengus* (Hansen *et al.* 1985)의 생식소에 많은 양이 축적되면 산란율과 부화율의 감소를 초래한다. 그리고 농어류인 *Perca fluviatilis* 간의 cytochrome P450 효소에 의한 생식소 성장 억제 (Andersson *et al.* 1988), 대서양 민어, *Micropogonias undulatus* 암컷의 생식소 발달 억제 (Thomas 1989), 농어류인 *Morone americana* 암컷의 생식소 성장 억제, 단세포 성숙 억제, 성호르몬과 난황전구물질 농도의 감소 (Monosson *et al.* 1994)와 무지

* Corresponding author: Seon Young Jeong, Tel. 061-659-3172, Fax. 061-659-3172, E-mail: sun-7123@hanmail.net

개송어, *Oncorhynchus mykiss*의 성결정에 영향을 준다 (Matta 1998).

하지만 국내산 담수어류의 생식에 대한 PCBs의 영향에 대한 연구보고는 찾아보기 힘든 실정이다. 따라서 본 연구는 국내산 담수어류인 칼납자루, *Acheilognathus koreensis* 성어를 대상으로 PCBs가 이들 어류의 생식에 미치는 영향을 규명하여 수서생태계에 미치는 내분비계 장애물질의 독성을 파악하는 기초자료로 이용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에 사용된 칼납자루, *Acheilognathus koreensis*는 2002년 4월에서부터 5월까지 전남 순천시 상사호 수계에서 통발을 사용하여 채집한 것으로, 이들 크기는 평균 전장 58 mm, 평균 체중 3 g이다. 채집한 어류는 즉시 실험실로 운반하여 약 4주 동안 순응시킨 후 실험에 이용하였다. 분석에 사용된 개체수는 암·수 320개체였다.

2. 방법

1) 사육 조건

실험기간은 6월 1일부터 7월 26일까지 8주였다. 실험 수조는 30 L의 지수형 순환여과식 사각 유리수조에 각

농도구별로 2그룹으로 나누어 2회 반복 실험을 실시하였다. 각 수조에 수용한 실험어는 30개체였으며, 자연상태에서 채집시 암·수 성비를 기초로 하여 암컷 10개체와 수컷 20개체씩 수용하였다. 실험기간 동안 광주기와 온도는 자연조건으로 설정하였다. 먹이는 1,000 μm 크기의 배합사료 (Ewha oil & fat ind. Cl., Ltd. Korea)를 매일 1회 각 수조마다 공급하였고, 실험 수 교환은 증발된 양만큼 보충하였다.

2) 오염원

실험용액은 PCBs (Aroclor[®] 1254, Dr. Ehrenstorfer GmbH, Germany)를 acetone에 1:2로 녹인 후 증류수로 1 g L⁻¹의 표준용액을 만든 다음, 실험농도 별로 희석하여 조제하였다. 실험구는 대조구와 예비실험 결과 영향농도를 기준으로 3.4, 9.3, 25.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 설정하였다.

3) 생존율

어류의 생존율은 실험기간 동안 매일 8시간 간격으로 관찰하여 생존 개체를 전체 개체수에 대한 생존율로 나타냈다.

4) 생식지수

(1) 생식소 발달단계

수컷의 생식소 발달은 성장기 (growing: G), 성숙기 (maturation: M), 완숙 및 방정기 (ripe and spent: RS) 그리고 회복 및 휴지기 (recovery and resting stage: RR)의 4단계로 나누었다 (Fig. 1).

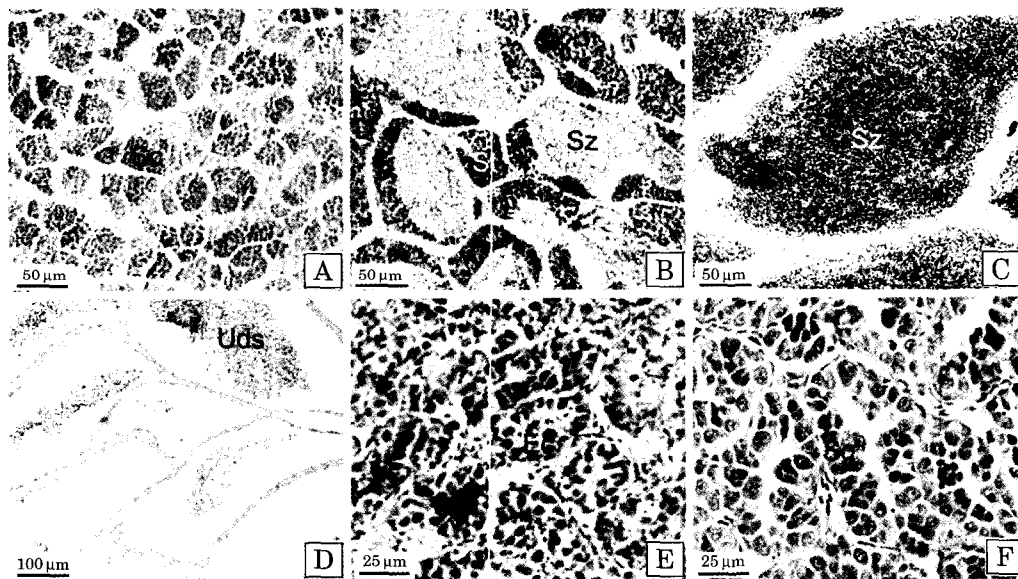


Fig. 1. Testicular development stage of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis*. A: growing stage. B: maturation stage. C and D: ripe and spent. E and F: recovery and resting stage. Ec: eosinophilic cells, Sc: spermatocytes, Sg: spermatogonia, St: spermatids, Sz: spermatozoa, Uds: undischarged spermatozoa.

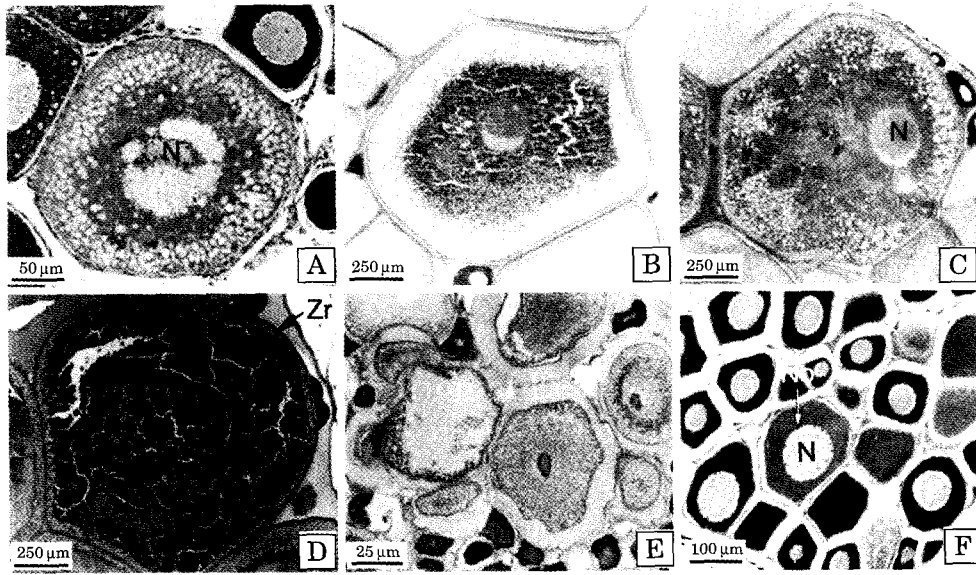


Fig. 2. Ovarian development stage of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis*. A and B: growing stage. C: maturation stage. D: ripe stage. E: spawning and recovery stage. F: resting stage. N: nucleus, No: nucleolus, Zr: zona radiata.

암컷은 성장기 (growing: G), 성숙기 (maturation: M), 완숙기 (ripe stage: R), 산란 및 회복기 (spawning and recovery stage: SR) 그리고 휴지기 (resting stage: RS)의 5단계로 나누었다 (Fig. 2).

(2) 생식소지수 (Gonad index: GI)

수컷의 GI는 각 생식소 발달단계별로 상수 (G=1, M=2, RS=3, RR=4)를 곱한 전체의 합을 개체 수로 나누었고, 암컷도 어류를 각 생식소 발달단계별로 상수 (G=1, M=2, R=3, SR=4, RS=5)를 곱한 전체의 합을 개체 수로 나누었다.

$$GI(\text{수}) = \frac{(G \text{ 개체수} \times 1) + (M \text{ 개체수} \times 2) + (RS \text{ 개체수} \times 3) + (RR \text{ 개체수} \times 4)}{\text{조사된 전체 개체수}}$$

$$GI(\text{암}) = \frac{(G \text{ 개체수} \times 1) + (M \text{ 개체수} \times 2) + (R \text{ 개체수} \times 3) + (SR \text{ 개체수} \times 4) + (RS \text{ 개체수} \times 5)}{\text{조사된 전체 개체수}}$$

(3) 생식소중량지수 (Gonadosomatic index: GSI)

$$GSI = \frac{\text{생식소 무게 (g)}}{\text{체중 (g)}} \times 100$$

(4) 간중량지수 (Hepatosomatic index: HSI)

$$HSI = \frac{\text{간 무게 (g)}}{\text{체중 (g)}} \times 100$$

(5) 혼인색지수 (Nuptial color index: NCI)

암·수 뒷지느러미에 나타나는 혼인색을 Pantone®

Formula Guide (Pantone Inc., USA)를 기준으로 주황색 계열을 진하기 정도에 따라 세 단계로 나누어 각 개체에 대하여 각 단계별로 상수를 곱한 전체의 합을 개체 수로 나누었다.

$$NCI = \frac{(1\text{단계} \times 1) + (2\text{단계} \times 2) + (3\text{단계} \times 3)}{\text{조사된 전체 개체수}}$$

(6) 산란관지수 (Ovipositor length index: OLI)

칼납자루 암컷은 생식시기에 따라 산란관 길이의 변화를 수반하고 있으므로 이에 따라 그들의 산란성기를 쉽게 식별할 수 있는 형질로서 다음과 같은 식을 이용하였다 (Fig. 3).

$$OLI = \frac{\text{신장된 산란관 길이 (a) (mm)}}{\text{산란관 최대 길이 (b) (mm)}} \times 100$$

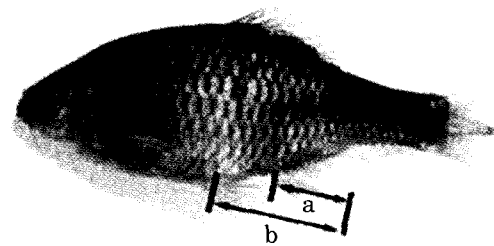


Fig. 3. Ovipositor length of oily bitterling, *Acheilognathus koreensis*.

5) 조직학적 방법

각 실험어는 해부하여 간과 생식소를 Bouin's fluid에 일정 시간 고정하여 파라핀 절편법에 의해 3~5µm 두께로 연속 절편하여 조직 표본을 만들었다. 제작된 조직 표본은 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin의 비교 염색을 실시하였다. 조직학적 변화 양상의 기재는 조사된 개체 가운데 50% 이상의 개체에서 나타나는 조직상을 기준으로 하였다.

6) 통계분석

생존율과 생식에 미치는 영향에 대한 유의성은 SAS 통계 프로그램을 이용하여 ANOVA t-test를 실시한 후 사후 다중비교는 최소유의차 검정 (Least-signification difference test)으로 평균간의 유의성 (P<0.05)을 검정하였다.

결 과

1. 생존에 미치는 영향

PCBs가 칼납자루의 생존에 미치는 영향을 알아보기

위해 8주 동안 실험한 결과 대조구와 모든 노출구에서 칼납자루의 이상 유영을 비롯한 기타 특이한 외형적 변화가 관찰되지 않았고, 생존율은 모두 100%로 나타났다.

2. 생식에 미치는 영향

1) 생식소 발달

생식소 발달에 미치는 영향은 생식소지수(GI)를 통하여 Fig. 4에 나타났다. 실험기간 동안 수컷의 정소 조직상을 완숙 및 방정기와 회복 및 휴지기 2단계가 관찰되었다. 실험개시 후 4주와 8주에 대조구의 경우 GI는 3.67로 같았지만 PCBs 노출구에서는 대조구보다 다소 높게 나타났다. 특히, 3.4 µg L⁻¹ 노출구에서는 회복 및 휴지기가 100%로 평균 GI 값은 4로 유의차가 나타났다 (P<0.05).

실험기간 동안 암컷의 난소 조직상은 완숙기, 산란 및 회복기 그리고 휴지기 3단계가 관찰되었다. 실험개시 후 4주와 8주에 대조구의 경우 GI는 각각 3.87에서 4.13로 다소 증가하였으며, 노출구도 실험 8주 후에는 4주에 비

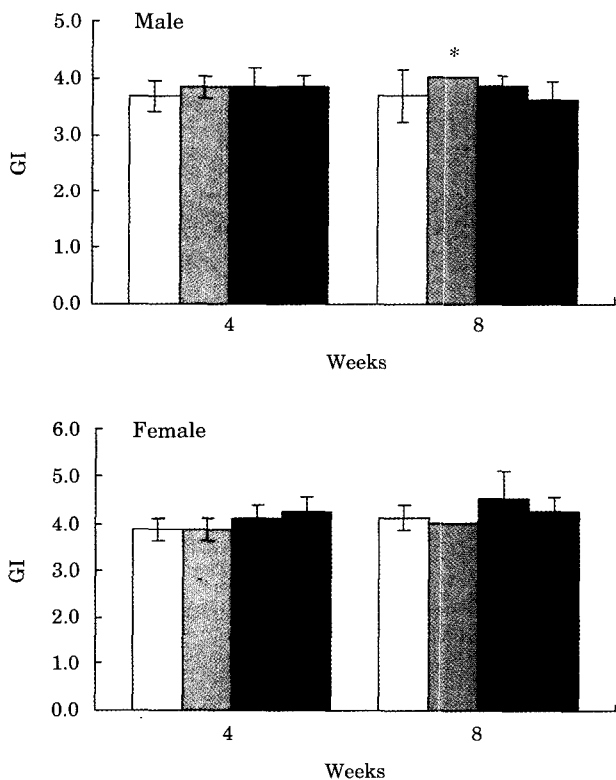


Fig. 4. Change in gonad index (GI) of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis* exposed to PCBs. vertical bar: SD, *: significantly different from control (P<0.05). □: control, ▒: 3.4 µg L⁻¹, ■: 9.3 µg L⁻¹, ▓: 25.8 µg L⁻¹.

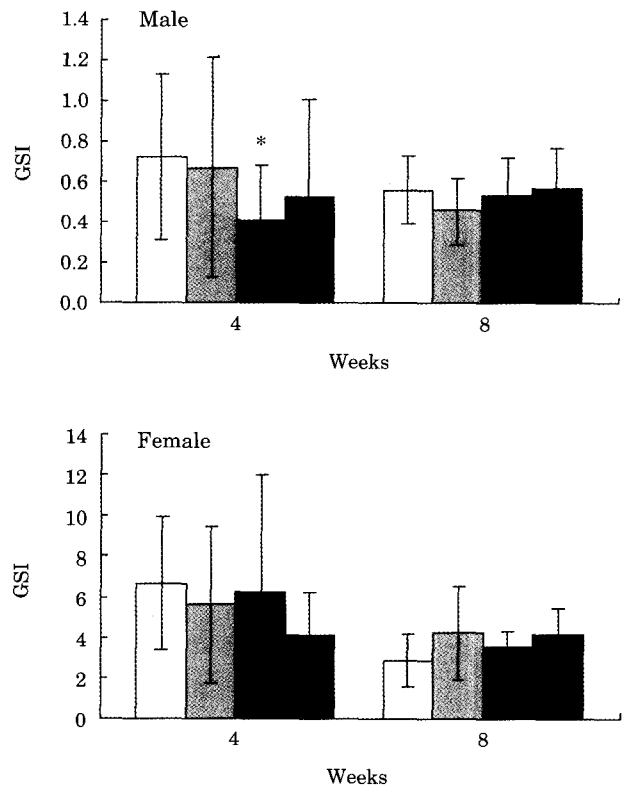


Fig. 5. Change of gonadosomatic index (GSI) of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis* exposed to PCBs. vertical bar: SD, *: significantly different from control (P<0.05). □: control, ▒: 3.4 µg L⁻¹, ■: 9.3 µg L⁻¹, ▓: 25.8 µg L⁻¹.

해 대조구와 같거나 다소 높은 경향을 보였다.

2) 생식소중량지수 (GSI)

GSI의 변화는 Fig. 5에 나타냈다. 수컷의 GSI는 실험 개시 후 4주와 8주에 대조구의 경우 0.76에서 0.56으로 26% 감소하였다. PCBs 노출구도 전체적으로 감소된 경향을 보여 대조구보다 낮게 나타났다. 특히, 4주 후 9.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ 노출구의 GSI는 가장 낮은 값으로 유의차를 나타냈다 ($P < 0.05$).

암컷의 GSI는 대조구에서 4주에 비해 8주 경과 후에 6.58에서 2.91로 56%로 감소하였다. PCBs 노출구의 GSI는 4주 후에는 대조구보다 낮게 나타났으나, 8주에는 대조구보다 높게 나타났다.

3) 간중량지수 (HSI)

HSI의 변화는 Fig. 6에 나타냈다. 수컷의 HSI는 실험 개시 후 4주와 8주에 대조구의 경우 1.69에서 1.21으로 28% 감소하였다. PCBs 노출구는 4주에 3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 에서 1.72이였지만, 노출구 전체적으로 대조구보다 낮게 나타났다. 8주에 노출구는 대조구보다 HSI가 높게 나타났다.

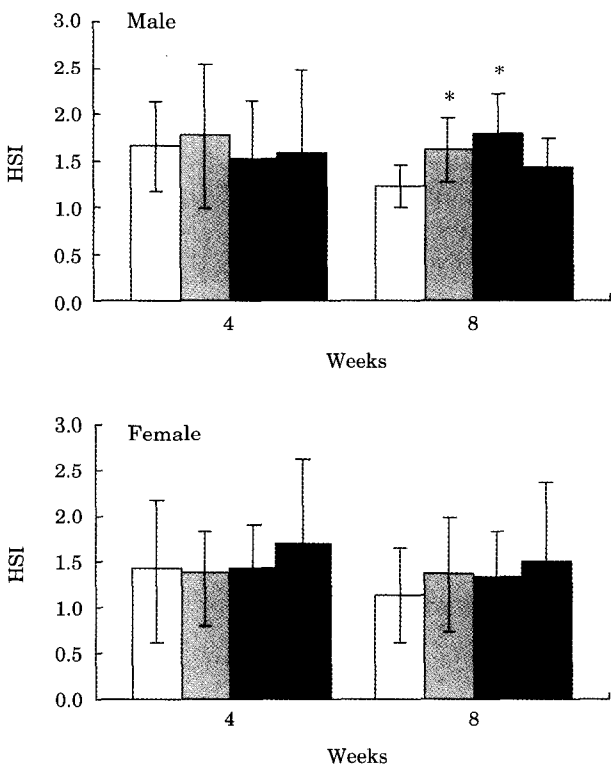


Fig. 6. Change of hepatosomatic index (HSI) of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis* exposed to PCBs. vertical bar: SD, *: significantly different from control ($P < 0.05$). □: control, ▨: 3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, ▩: 9.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, ■: 25.8 $\mu\text{g L}^{-1}$.

특히, 3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, 9.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ 에 HSI는 각각 1.69, 2.32로 유의차를 나타냈다 ($P < 0.05$).

암컷의 HSI는 대조구에서 4주에 비해 8주 경과 후에 1.61에서 1.28로 20% 감소하였다. PCBs 노출구의 경우 HSI는 4주에 25.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 1.96로 가장 높았지만, 노출구 전체적으로 대조구보다 낮게 나타났으나, 8주에는 대조구보다 높게 나타났다.

4) 혼인색지수 (NCI)

NCI의 변화는 Fig. 7에 나타냈다. 수컷의 NCI는 실험 개시 후 4주와 8주에 대조구의 경우 1.33에서 2.58로 94% 증가하였다. PCBs 노출구는 4주에는 대조구와 같았지만, 8주에는 대조구보다 같거나 낮았다. 특히, 3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 노출구의 NCI는 가장 낮은 값으로 유의차를 나타냈다 ($P < 0.05$).

암컷의 NCI는 대조구에서 4주에 비해 8주 경과 후에 2.00에서 1.88로 6% 감소하였다. PCBs 노출구의 경우 NCI는 4주 후에는 같거나 작았지만, 8주 후에는 대조구보다 높게 나타났다.

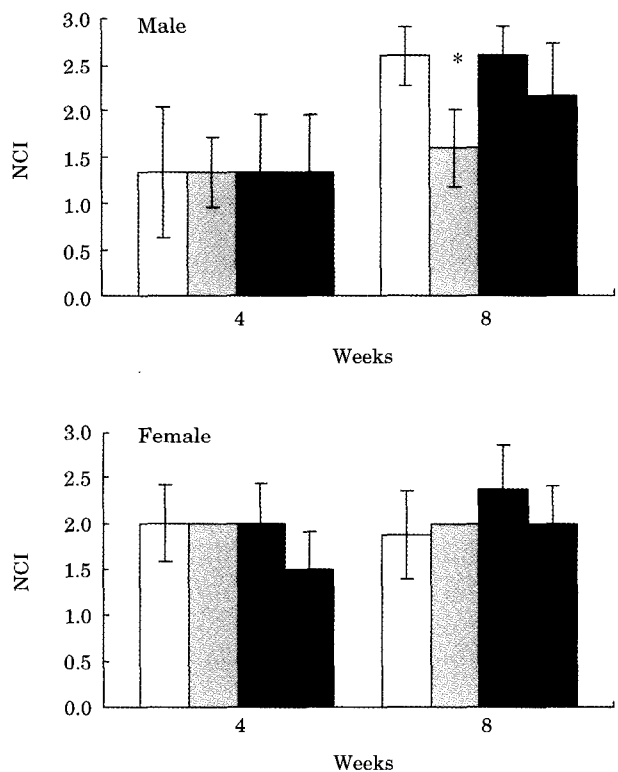


Fig. 7. Change in nuptial color index (NCI) of the oily bitterling, *Acheilognathus koreensis* exposed to PCBs. vertical bar: SD, *: significantly different from control ($P < 0.05$). □: control, ▨: 3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, ▩: 9.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, ■: 25.8 $\mu\text{g L}^{-1}$.

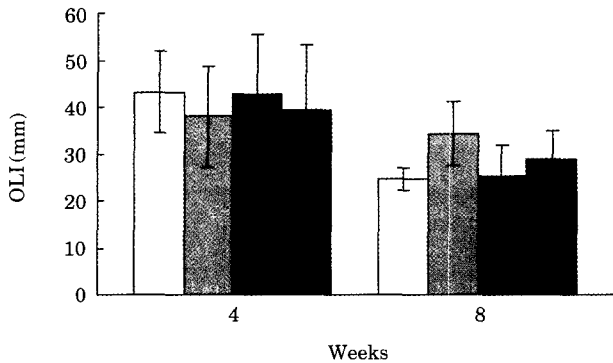


Fig. 8. Change of ovipositor length index (OLI) of the female oily bitterling, *Acheilognathus koreensis* exposed to PCBs. vertical bar: SD. □: control, ▨: 3.4 µg L⁻¹, ■: 9.3 µg L⁻¹, ■: 25.8 µg L⁻¹.

5) 산란관지수 (OLI)

산란관지수의 변화는 Fig. 8에 나타났다. 실험 개시 후 4주와 8주 동안 조사된 암컷의 OLI는 대조구가 43.02에서 24.67로 43% 감소하였다. PCBs 노출구의 경우 OLI는 4주 후 대조구보다 같거나 낮았지만, 8주 후에는 3.4 µg L⁻¹ 노출구에서는 34.15, 9.3 µg L⁻¹ 노출구에서는 25.18이고, 25.8 µg L⁻¹ 노출구에서는 28.89로 대조구보다 높게 나타났다.

고 찰

일반적으로 생물체에 대한 오염원의 독성 영향은 오염원의 종류, 농도, 노출 기간 및 생물의 종류, 연령, 크기 등에 따라서 다르게 나타난다. 오염원에 의해 유발되는 현상으로는 생존, 행동, 생식 그리고 세포대사에 미치는 영향 등이 보고되고 있다.

EDCs로 분류된 화학물질들이 생존에 미치는 영향으로 bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO)를 큰가시고기, *Gasterosteus aculeatus*에 10 µg L⁻¹를 투입했을 때 2개월 후에 80% 사망하였고, 32 µg L⁻¹ 투입시 2주 내에 80% 사망율을 보였다 (Holm *et al.* 1991). 은연어, *Oncorhynchus kisutch*의 초기 생활사 동안 PCB와 DDT에 의한 급성독성 실험결과 PCB에서는 독성이 천천히 유발되었고, DDT에서는 높은 사망율을 보였다 (Halter and Johnson 1974). 또한 30일 동안 자어물 PCBs (Aroclor 1248) 8.5 µg L⁻¹ 농도구에 노출시켰을 때 전 개체가 사망하였고, 4.4 µg L⁻¹에서는 44% 사망율을 보였으며 NOEC (no effect concentration)는 2.2 µg L⁻¹로 보고되었다 (DeFoe *et al.* 1978).

본 실험에서는 칼납자루를 8주 동안 실험한 결과 생존

율은 모두 100%로 나타나 이들 농도는 칼납자루의 생존에 직접 영향을 미치지 않은 것을 알 수 있었다. 하지만 이러한 결과가 종 특이성인지 또는 오염원의 특이성인지에 대해서는 앞으로의 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

행동에 미치는 영향을 보면 PCB를 대구류인 *Gadus morrhua*에 Clophen A50을 처리했을 때 (Olofsson and Lindahl 1979)와 모치, *Phoxinus phoxinus* (Bengtsson 1980)에 노출하였을 때 그리고 TBTO 10 µg L⁻¹를 큰가시고기, *Gasterosteus aculeatus*에 처리하였을 때 이상행동, 식욕감소, 무기력 증상이 나타났다 (Holm *et al.* 1991). 하지만 HCBd (hexachlorobutadiene) 500 mg kg⁻¹를 주입한 붕어, *Carassius auratus* (Reimschuessel *et al.* 1989)와 PBDE, PCN, PCB에 노출시킨 큰가시고기, *Gasterosteus aculeatus*에서는 (Holm *et al.* 1993) 행동의 이상이 없었다.

본 연구에서도 칼납자루, *Acheilognathus koreensis*를 0, 3.4, 9.3 그리고 25.8 µg L⁻¹ 농도의 PCBs에 노출시켰을 때 유영형태와 섭이형태 등의 행동에는 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다.

어류의 성 성숙은 여러 가지 환경 요인 가운데 광주기와 수온이 강하게 지배한다고 보고되고 있으며 (Shimizu and Hanyu 1993), 이 외에도 여러 가지 물리 화학적 요인들이 작용한다.

오염물질이 어류의 생식소에 미치는 영향은 PCB (Aroclor 1254) 0.5 mg 100 g⁻¹를 먹이에 처리한 것과 카드뮴을 1 mg L⁻¹로 노출시켰을 때, 각각 다른 양상을 보였다. PCB를 투입한 어류에서는 생식소 성장이 감소하였으나, 카드뮴에 노출된 어류에서는 생식소 발달이 빠르게 진행되었다 (Thomas 1989). Halter and Johnson (1974)는 은연어, *Oncorhynchus kisutch*을 Aroclor 1254에 노출시켰을 때 배 발달과 생식에 이상을 가져와 부화 및 산란에 영향을 미치고, 산란이 지연되었다고 보고하였다. 또한 fathead minnow, *Pimephales promelas*를 PCBs에 노출시켰을 때 암컷이 수컷보다 PCBs가 2배나 더 축적된다고 보고하였다 (DeFoe *et al.* 1978).

본 연구에서는 생식소지수 (GI)와 생식소중량지수 (GSI)의 변화를 이용하여 생식소의 발달과정을 추정하였다.

GI는 4주까지 암·수 모두 유의차는 보이지 않았으나, 모든 PCBs 노출구에선 대조구보다 다소 높은 경향을 보였다. 8주 후 암컷의 GI는 증가하는 경향을 보였고, 수컷 역시 농도별로 차이는 있으나 증가하는 경향을 보였는데 이는 산란·방정 후 단계의 빈도가 높은 것을 나타내는 것이다.

GSI의 변화에서 수컷의 GSI는 8주까지 대조구보다 낮게 나타났다. 암컷의 GSI는 4주 후 대조구보다 다소 낮

게 나타났지만, 8주 후에는 대조구 보다 높은 값을 보였다. 또한 농도별 상황을 보면 4주와 8주에서 대조구의 GSI가 크게 감소하였지만 노출구의 GSI는 작게 감소하였다. 이러한 GI와 GSI에 대한 결과로 볼 때 본 실험에서 설정된 농도의 PCBs는 생식소 발달단계의 정상적인 진행 과정을 억제시키는 것으로 해석된다.

어류의 간에서 cytochrome P450 효소계는 기능적으로 독성물질의 해독 및 배설작용을 한다. 어류의 간에 미치는 영향으로 큰가시고기, *Gasterosteus aculeatus*의 락에 PBDE (Bromkal 70-5DE), PCN (Halowax 1014), PCB (Clophen A50)를 혼합하여 사육하였을 때, cytochrome P450의 7-ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) 활성이 증가되었고, 간에 지방이 축적되었으며, 산란율이 낮게 나타났다 (Holm *et al.* 1993). 나일틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 체내에 적어도 0.05 mg kg⁻¹ 이상의 PCBs가 30일 이상 계속적으로 유입될 경우에 간의 cytochrome P450 농도 및 EROD 활성도는 증가될 것으로 추정하였다 (Kang and Cho 2001).

본 실험에서 간중량지수(HSI)는 4주 후 암·수 모두 PCBs 노출구가 대조구보다 낮은 경향이 나타났지만, 8주 후에는 대조구보다 높게 나타났다. 각 농도구를 시기별로 비교했을 때 암·수 모두 대조구보다 작게 감소하였다. 칼납자루에서도 HSI를 GSI와 연관지어보면 HSI의 증가는 난황진구물질의 합성 및 저장에 활성화되어 있거나, 외부 독성물질에 대한 해독 및 배설작용이 활성화되어 있을 것으로 판단된다.

어류의 성숙 및 산란기를 추정하는 방법에는 체색의 변화 및 이차성징의 발현 등을 이용한 간접적인 방법과 GSI, 생식소의 조직학적 관찰 등 직접적인 방법들이 있다. 외형적인 특징을 수치화하여 생식시기를 파악할 수 있는 자료는 각시붕어, *Rhodeus uyekii*에서 산란관의 길이 변화를 이용하여 성숙 및 산란시기를 파악할 수 있는 보고 (An 1995)와 망상어, *Ditrema temmincki* 수컷에서 이차성징의 일종인 뒷지느러미 연조 길이 변화에 의해서 성숙 및 교미시기를 파악한 보고 (Lee *et al.* 1996) 그리고 주둥치, *Leiognathus nuchalis*는 가슴지느러미 아래쪽에 노란색의 반점의 진하기 정도를 파악하여 성숙 및 완숙시기를 파악한 보고가 있다 (Lee and Huh 2000). 이 외에도 환경오염으로 인해서 외부형태의 변화에 대한 몇 가지 보고로, 암컷 mosquitofish, *Gambusia affinis holbrooki*의 뒷지느러미가 길어졌고 (Howell *et al.* 1980; Bortone *et al.* 1989), 뱀장어류인 *Anguilla rostrata*의 미성어기 때 눈이 크게 발달되었으며 (Caruso *et al.* 1988), 송사리, *Oryzias latipes*의 뒷지느러미 가시에 체절이 증가되었다 (Asahina *et al.* 1989). 또한 암컷 guppy, *Poeci-*

*ilia reticulata*는 체색과 뒷지느러미가 수컷과 비슷하게 변화하였다 (Joakim larsson *et al.* 2002).

PCBs가 생식에 미치는 영향을 외형적으로 판단할 수 있는 자료로서 칼납자루의 이차성징인 뒷지느러미의 색깔 진하기 정도로 나눈 혼인색지수(NCI)를 들 수 있다. 또한 칼납자루 암컷은 생식시기에 따라 산란관 길이의 변화를 수반하고 있으므로 외부 관찰에 의해서도 그들의 산란성기를 쉽게 식별할 수 있는 산란관지수(OLI)의 변화를 조사하였다. NCI는 GSI와 마찬가지로 4주 후 암·수 모두 대조구와 비슷하였지만, 8주 후에 수컷의 NCI는 대조구보다 낮았고, 암컷의 NCI는 대조구보다 높았다. 칼납자루의 암컷에 NCI가 높게 나타난 것으로 보아 뒷지느러미 색이 진하게 변한 것을 알 수 있다. 암컷의 OLI도 4주 후 대조구보다 낮게 나타났는데, 8주 후에는 대조구보다 높게 나타났다. 암컷의 산란관은 GSI와 같은 성향을 보였는데 이는 PCBs가 이들 어류의 생식에 미치는 영향을 외형적으로 판단할 수 있는 자료로 생각된다.

본 연구는 생식관련 지수를 통해 PCBs가 칼납자루에 미치는 영향 조사로, 현재 PCBs 수질 배출수 허용농도인 3 µg L⁻¹와 비슷한 농도인 3.4 µg L⁻¹와 이 외에 9.3, 25.8 µg L⁻¹에 농도에서 노출실험을 하였다. 본 실험의 결과 사망률과 행동상의 영향은 없었지만, 이들 어류가 PCBs에 저농도에서도 장기간 노출되면 어류의 생식 기능이 악영향을 받는다는 것을 예측할 수 있었다.

적 요

본 연구는 PCBs가 칼납자루의 생식에 미치는 영향을 조직학적인 방법을 사용하여 조사하였다. 0, 3.4, 9.3 그리고 25.8 µg L⁻¹의 PCBs에 8주 동안 노출 실험한 결과, PCBs에 의한 행동과 생존율에는 영향을 미치지 않았다. 대조구와 비교해볼 때 PCBs에 노출된 어류들은 생식소 발달, 생식소중량지수(GSI), 간중량지수(HSI), 혼인색지수(NCI) 및 산란관지수(OLI)의 차이를 보였다. 이러한 결과는 PCBs가 이들 어류의 정상적인 생식소 발달 과정을 방해하는 것을 보여준다.

참 고 문 헌

- An CM. 1995. Reproductive cycle of the spring-spawning bitterling, *Rhodeus uyekii* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol. 7:33-42.
- Andersson T, L Förlin, J Hårdig and Å Larsson. 1988. Physiological disturbances in fish living in coastal

- water polluted with bleached kraft pulp mill effluents. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45:1525-1536.
- Asahina K, A Urabe, T Sakai, H Hirose and T Hibiya. 1989. Effects of various androgens on the formation of papillary processes on the anal fin rays in the female medaka, *Oryzias latipes*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55: 1871.
- Bengtsson BE. 1980. Long-term effects of PCB (Clophen A50) on growth, reproduction and swimming performance in the minnow, *Phoxinus phoxinus*. *Water Res.* 14:681-687.
- Bortone SA, W Davis and CM Bundrick. 1989. Morphological and behavioral characters in mosquitofish as potential bioindication of exposure to kraft mill effluent. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 43:370-377.
- Caruso JH, RD Suttikus and GE Gunning. 1988. Abnormal expression of secondary sex characters in a population of *Anguilla rostrata* (Pisces: Anguillidae) from a dark colored Florida stream. *Copeia* 4:1077-1079.
- DeFoe DL, GD Veith and RW Carlson. 1978. Effects of Aroclor® 1248 and 1260 on the fathead minnow, *Pimephales promelas*. *J. Fish. Res. Board Can.* 35:997-1002.
- Halter MT and HE Johnson. 1974. Acute toxicities of a polychlorinated biphenyl (PCB) and DDT alone and in combination to early life stages of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *J. Fish. Res. Board Can.* 31:1543-1547.
- Hansen PD, H von Westernhagen and H Rosenthal. 1985. Chlorinated hydrocarbons and hatching success in Baltic herring spring spawners. *Mar. Environ. Res.* 15: 59-76.
- Higuchi K. 1976. PCB poisoning and pollution. Academic Press, New York. 184pp.
- Holm G, L Norrgren and O Linden. 1991. Reproductive and histopathological effects of long-term experimental exposure to bis(tributyltin)oxide (TBTO) on the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus. *J. Fish Biol.* 38:373-386.
- Holm G, L Norrgren, T Andersson and A Thurén. 1993. Effects of exposure to food contaminated with PBDE, PCN or PCB on reproduction, liver morphology and cytochrome P450 activity in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Aquat. Toxicol.* 27:33-50.
- Howell WM, DA Black and SA Bortone. 1980. Abnormal expression of secondary sex characters in a population of mosquitofish, *Gambusia affinis holbrooki*: evidence for environmentally induced masculinization. *Copeia* 4: 676-681.
- Jensen S. 1966. Report of a new chemical hazard. *New Sci.* 32:612-623.
- Joakim Larsson DG, K Kinnberg, J Sturve, E Stephensen, M Skoen and L Foerlin. 2002. Studies of masculinization, detoxification, and oxidative stress responses in guppies, *Poecilia reticulata* exposed to effluent from a pulp mill. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 52:13-20.
- Kang JC and KS Cho. 2001. Changes of hepatic microsomal cytochrome P450 monooxygenase system in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* exposed to PCBs. *J. Korean Fish. Soc.* 34:194-198.
- Lee JS and SH Huh. 2000. Reproductive biology of the slimy, *Leiognathus nuchalis* (Teleostei: Leiognathidae). *Korean J. Ichthyol.* 12:192-202.
- Lee JS, CM An and P Chin. 1996. Copulation and embryonic development of the viviparous teleost surfperch, *Ditrema temmincki*. *J. Korean Fish. Soc.* 29:26-34.
- Matta MB, C Cairncross and RM Kocan. 1998. Possible effects of polychlorinated biphenyls on sex determination in rainbow trout. *Environ. Toxicol. Chem.* 17:26-29.
- Monosson E, WJ Fleming and CV Sullivan. 1994. Effects of the planar PCB 3,3', 4,4'-tetrachlorobiphenyl (TCB) on ovarian development, plasma levels of sex steroid hormones and vitellogenin, and progeny survival in the white perch (*Morone americana*). *Aquat. Toxicol.* 29:1-19.
- Olofsson S and PE Lindahl. 1979. Decreased fitness of cod (*Gadus morrhua* L.) from polluted waters. *Mar. Environ. Res.* 2:33-45.
- Reimschuessel R, RO Bennett, EB May and MM Lipksy. 1989. Renal histopathological changes in the goldfish (*Carassius auratus*) after sublethal exposure to hexachlorobutadiene. *Aquat. Toxicol.* 15:169-180.
- Shimizu A and I Hanyu. 1993. Factors involved in the development of and decline in photoperiodism as it relates to the gonadal activity of a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *J. Exp. Zool.* 265:134-143.
- Thomas P. 1989. Effects of Aroclor 1254 and cadmium on reproductive endocrine function and ovarian growth in Atlantic croaker. *Mar. Environ. Res.* 28:499-503.
- Westernhagen H, H Rosenthal, V Dethlefsen, W Ernst, U Harms and PD Hansen. 1981. Bioaccumulating substances and reproductive success in Baltic flounder, *Platichthys flesus*. *Aquat. Toxicol.* 1:85-99.

Manuscript Received: November 27, 2003

Revision Accepted: February 19, 2004

Responsible Editorial Member: Don Chan Choi
(Yongin Univ.)