

한국 산업단지 인근 연안 어류의 성비와 intersexuality

이정식[†] · 김재원* · 박정준** · 주선미 · 박지선 · 이동근 · 윤태웅 · 최경희*** · 윤준현*** · 엄익춘***

전남대학교 수산생명의학과, *강원도립대학 해양생명과학과,
국립수산과학원 병리연구과, *국립환경과학원 위해성평가과

Sex ratio and intersexuality in coastal fishes near industrial complex of Korea

Jung Sick Lee[†], Jae Won Kim*, Jung Jun Park**, Sun Mi Ju, Ji Seon Park, Dong Geun Lee, Tae Woong Yun,
***Kyunghye Choi, ***Junheon Yoon and ***Igchun Eom

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

**Department of Marine Life-Science, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, Korea*

***Pathology Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea*

****Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea*

Specimens were collected from the coastal region near industrial complex of Ulsan-Onsan, Sihwa-Ansan and Yeosu-Gwangyang in 2008 and 2009. The total number of individuals used in analysis was 1,289 of *Acanthogobius flavimanus*, *Chelon haematocheilus*, *Hemibarbus labeo*, *Leiognathus nuchalis*, *Mugil cephalus* and *Synechogobius hasta*. The sex ratio in the total individual was 1:0.73 (female:male). Specific sex ratio of fishes in the areas, namely the Ulsan-Onsan, Sihwa-Ansan and Yeosu-Gwangyang were 1:0.79, 1:0.81, and 1:0.25, respectively. Especially, female in Yeosu-Gwangyang was higher than male. The intersexuality in the total individual was 11.7%. Intersexuality of fishes in the areas were 4.98, 14.39 and 25.0% in the Ulsan-Onsan, Sihwa-Ansan and Yeosu-Gwangyang, respectively. It was indicated female higher than male in Ulsan-Onsan and male higher than female in Sihwa-Ansan and Yeosu-Gwangyang.

Key words : Sex ratio, Intersex, Coastal fishes

환경요인의 위해성 평가방법은 기본적인 위해성 평가의 접근방법 결정에 필요한 위험성 확인 (hazard identification), 노출평가 (exposure assessment), 용량-반응 평가 (dose-response assessment) 및 위해도 결정 (risk characterization)의 주요 4단계이다. 4가지 과정 중 위험성 확인은 정성적 위해성 평가이며, 노출평가, 용량-반응평가 및 위해도 결정은 정량적 위해성 평가에 속한다. 위험성 확인 과정은 생태계의 전반적

인 변화를 관찰하는 단계이며, 노출평가 과정은 화학적 분석과 바이오평가의 종합에 의한 생태계 변화의 원인을 확인하는 단계이다. 용량-반응 평가는 생태계 변화 요인 중 환경요인과 특정물질의 영향을 비교·평가하는 단계이며, 위해도 결정은 특정생물에 대한 특정물질의 영향을 입증하는 단계이다 (NRC, 1983).

이러한 위해성 평가에 이용되는 biomarker는 생물체에 미치는 외인성 요인들의 영향을 측정할 수 있는 세포 또는 개체수준의 생리, 생화학 및 구조 등의

[†]Corresponding Author : Jung Sick Lee, Tel : 061-659-3172,

E-mail : ljs@chonnam.ac.kr

지표를 지칭하는 용어이다. 생리학적 biomarker 가운데 생식생물학적 지표들은 독성물질에 의한 장기적이고 지속적인 영향을 평가하는데 중요하게 이용되는 항목이다 (Huggett *et al.*, 1992).

수질오염원으로 확인되는 화학물질은 중금속, 난분해성 화학물질 (persistent organic pollutants: POPs), 내분비계장애물질 (endocrine disrupting chemicals: EDCs) 등이 있다. 이 가운데 EDCs는 생물의 내분비계 작용기작에 비정상적으로 작용하여 호르몬 생산, 분비, 이동, 대사, 결합작용 및 배설을 간섭하는 외인성 물질로 POPs 중 toxaphene을 제외한 11종의 화학물질과 중금속, 살충제, 제초제, 산업용화학물질 등을 포함한 74여종으로 분류된다. 많은 연구자들은 EDCs는 androgenic effector나 estrogenic effector로서 각각 다른 기작에 의해 수서동물의 생식관련 내분비계를 교란시켜 성의 표현이나 기능을 변화시킨다고 보고

하였다 (Iguchi, 1998; Ackermann *et al.*, 2002; Metrio *et al.*, 2003; Quinn *et al.*, 2004).

본 연구는 우리나라 산업단지 인근 연안의 수서생태계 모니터링 과정에서 어류의 성비 불균형 및 intersex 현상들이 관찰되어 이를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

연구에 이용된 어류는 울산온산 시화안산 및 여수 광양의 인근 해역에서 투망, 자망, 및 낚시 등을 이용하여 채집하였다. 분석에는 우점종으로 문절망둑 (*Acanthogobius flavimanus*), 가숭어 (*Chelon haematocheilus*), 누치 (*Hemibarbus labeo*), 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*), 송어 (*Mugil cephalus*), 풀망둑 (*Synechogobius hasta*)이 이용되었다. 분석 개체수는 종에 따라 40-429 개체로 전체 1,289 개체였다 (Table 1).

Table 1. Specimen size and the number for analysis and sex ratio

| Sampling location | Species | Sampling date | Size (TL, cm) | Number | | Sex ratio (♀:♂) |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|--------|---------------------|-----------------------|
| Ulsan and Onsan | <i>Acanthogobius flavimanus</i> | July, 2008 | 16.1 | 40 | 80 | 1:0.16 (n=69:11) |
| | | May, 2009 | 17.5 | 40 | | |
| | <i>Hemibarbus labeo</i> | July, 2008 | 24.4 | 41 | 91 | 1:1.33 (n=39:52) |
| | | May, 2009 | 26.6 | 50 | | |
| | <i>Mugil cephalus</i> | July, 2008 | 18.96 | 202 | 331 | 1:0.91 (n=173:158) |
| | | May, 2009 | 22.2 | 129 | | |
| Sihwa and Ansan | <i>Acanthogobius flavimanus</i> | Aug, 2008 | 13.3 | 158 | 1583 | 1:0.25 (n=126:32) |
| | <i>Chelon haematocheilus</i> | Aug, 2008 | 23.4 | 163 | 429 | 1:0.88 (n=228:201) |
| | | May, 2009 | 32.4 | 266 | | |
| <i>Synechogobius hasta</i> | May, 2009 | 28.7 | 80 | 80 | 1:4.33 (n=15:65) | |
| Yeosu and Gwangyang | <i>Acanthogobius flavimanus</i> | Aug, 2008 | 13.0 | 40 | 40 | 1:0.21 (n=33:7) |
| | <i>Leiognathus nuchalis</i> | July, 2009 | 10.25 | 80 | 80 | 1:0.27 (n=63:17) |

채집된 개체들은 측정자와 전자저울로 측정형질을 계측한 후, 해부하여 생식소를 적출하였다. 생식소는 전, 중, 후 세 부분으로 나누어 Bouin 용액으로 12~24시간 동안 실온에서 고정하여 24~48시간 동안 흐르는 물로 수세하였다. 그 후 ethanol 탈수과정과 xylene 치환과정을 거쳐 paraplast (McCormick, USA)에 포매하였다. 포매된 시료는 microtome (RM2235, Leica, Germany)을 이용하여 4~6 μm 두께로 연속 절편하여 조직표본을 제작한 후 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 염색을 실시하여 광학현미경 (BX50F4, Olympus, Japan)으로 관찰하였다.

성비와 intersex는 생식소 표본을 관찰하여 구분하였다. Intersex는 반대 성의 생식세포가 관찰되는 경우만을 포함하였으며, 다른 성징은 포함하지 않았다.

결 과

성비

조사된 개체들의 성비(암:수)는 Table 1에 나타냈다. 성비는 동일종이라 할지라도 채집시기와 장소에 따라 다소 차이가 있었지만, 전체 분석된 1,289개체의 성비는 1:0.73 (n=746:543)으로 조사되었다. 각 지역별 성비는 울산/온산에서는 1:0.79 (n=281:221), 시화/안산지역에서는 1:0.81 (n=369:298), 여수/광양지역에서는 1:0.25 (n=96:24)로 암컷의 비율이 높은 것으로 나타났다. 종별로는 누치와 풀망둑은 수컷의 비율이 높았으나 문절망둑, 송어, 가숭어, 주둥치는 암컷의 비율이 높았다.

Intersex

조직화적인 측면에서 intersex 현상은 반대 성의 생식세포들이 생식소 내부에 산재되어 나타나는 형태 (Fig. 1-A, C, D and F)와 생식소 외부에 다른 체

조직이 형성되어 이곳에 반대 성의 생식세포들이 발달된 형태를 나타냈다 (Fig. 1-B and E).

Intersex 현상이 관찰된 암컷 개체들의 난소에서는 변성된 난모세포들이 확인되거나 (Fig. 1-A and E) 초기의 난소 발달단계를 보였다 (Fig. 1-B). 또한 intersex 현상이 관찰된 수컷의 정소에서 확인된 난모세포들도 난황형성전기 (previtellogenic stage) (Fig. 1-C and D) 또는 난황형성개시기 (initial vitellogenic stage)의 초기단계였다 (Fig. 1-F).

전체 분석된 1,289개체에서 intersex 출현율은 11.7% (n=151/1,289)였다. 각 지역별 분석된 개체들의 intersex 출현율은 Fig. 2~4에 나타냈으며, intersex 출현율은 동일종이라 할지라도 채집시기와 장소에 따라 다소 차이가 있었다.

각 지역별 intersex 출현율은 울산/온산에서는 4.98% (n=25/502), 시화/안산지역에서는 14.39% (n=96/667), 여수/광양지역에서는 25.0% (n=30/120)로 나타났다.

각 지역별 성에 따른 intersex 출현율은 울산/온산에서는 암컷에서 높았으나 시화/안산과 여수/광양에서는 수컷에서 높게 나타났다.

울산/온산지역의 문절망둑, 누치, 송어의 intersex 출현율은 각각 5.0, 17.6, 1.5%로 나타났다. 성에 따른 intersex 출현율은 문절망둑과 누치에서 수컷보다 암컷에서 높게 나타났는데, 특히, 누치의 경우에는 암컷에서는 35.89%로 수컷 3.85% 보다 뚜렷이 높았다 (Fig. 2).

시화/안산지역에서 문절망둑, 가숭어, 풀망둑의 intersex 출현율은 각각 5.1, 17.0, 18.8%로 나타났다. 성에 따른 intersex 출현율은 문절망둑은 수컷보다는 암컷에서 높게 나타났으나 가숭어와 풀망둑은 수컷에서 높게 나타났다. 특히, 가숭어는 수컷에서 25.87%로 암컷 9.21% 비하여 매우 높았다 (Fig. 3).

여수/광양지역에서 문절망둑과 주둥치의 intersex

출현율은 각각 12.5, 31.3%였다. 성에 따른 intersex 출현율은 문절망둑은 암컷에서 15.15%로 나타났으나 수컷

에서는 관찰되지 않았다. 주둥치는 수컷에서 64.71%로 암컷 22.22% 비해 뚜렷이 높게 나타났다 (Fig. 4).

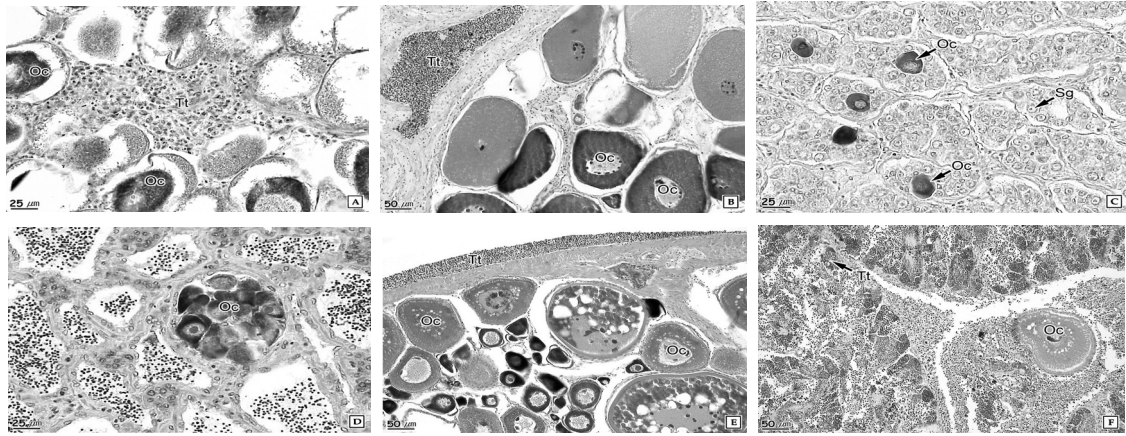


Fig. 1. Photomicrograph of intersex gonad. A: *Acanthogobius flavimanus*, Female. B: *Hemibarbus labeo*, Female. C: *Chelon haematocheilus*, Male. D: *Synechogobius hasta*, Male. E: *Leiognathus nuchalis*, Female. F: *Leiognathus nuchalis*, Male. Oc: Oocyte, Sg: Spermatogonium, Tt: Testicular tissue.

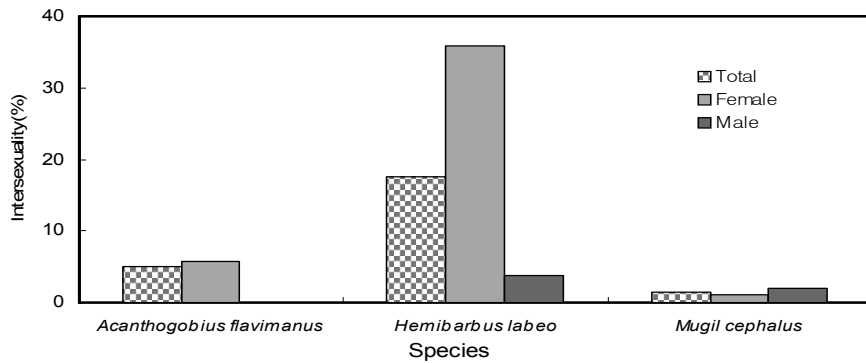


Fig. 2. Intersexuality of fishes in Ulsan-Onsan.

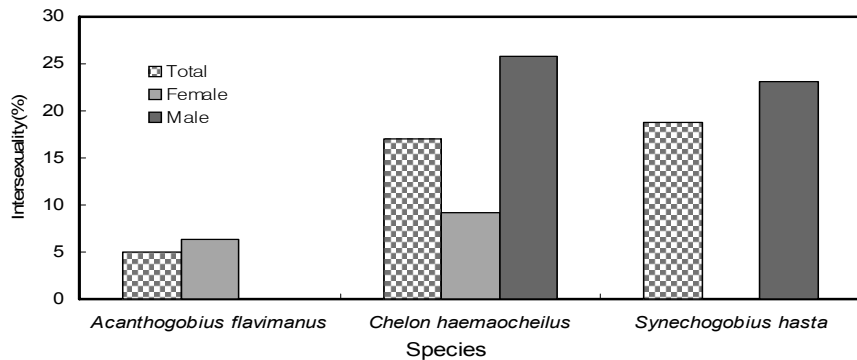


Fig. 3. Intersexuality of fishes in Sihwa-Ansan.

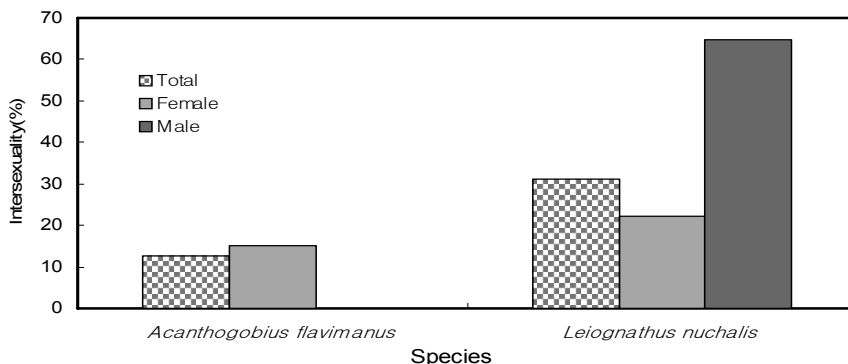


Fig. 4. Intersexuality of fishes in Yeosu-Gwangyang.

고찰

수서생태계에서 환경요인의 위해성 평가 결과는 개체 또는 개체군 수준에서 서식생물의 안전성과 생태계의 건강성 유지 및 회복에 필요한 매우 중요한 자료이다.

환경 요소에 반응하는 어류의 생식생물학적 특성은 주로 개체군 수준에서 이들의 영향을 파악하는 수단으로 이용되는데, 여러 가지 생물학적 지표들 가운데 생식소중량지수 (GSI), 간중량지수 (HSI), 생식소 발달단계, 성비, intersex, 병리조직학적 지표, 비텔로제닌 및 성호르몬의 변화 등이 사용된다. 이 가운데 GSI, HSI, 생식소 발달단계, 비텔로제닌 및 성호르몬의 변화 등은 기본적으로 계절적인 영향을 반영하는 지표로서 수서환경내의 오염원에 대한 영향을 파악하는 데는 연중 비교자료가 필요하므로 주의가 요구된다. 이에 반하여 성비, intersex 및 병리조직학적인 지표들은 장기적이고 안정된 지표로서 분석방법이 상대적으로 간편하여 생태영향 모니터링에 유용하게 사용된다 (Drysdale and Bortone, 1989; Borton *et al.*, 1991; Huggett *et al.*, 1992; Bortone and Davis, 1994; Hansen *et al.*, 1998; Vigano *et al.*, 2001; Jobling *et al.*, 1998, 2002).

수서생태계에서 수중오염원을 비롯한 다양한 환경요인에 의한 스트레스의 지표로서 어류의 intersex 현상이 사용되고 있다. 유전학적 성이 수컷인 잉어, *Cyprinus carpio*를 alkylphenol에 노출시킨 결과 수란관이 형성 되었으며 (Gimeno *et al.*, 1997), 잉어과 어류인 *Rutilus rutilus*에서 하수처리장 등 조사지역에 따라 16~100%의 intersex 현상이 발견되었다 (Jobling *et al.*, 1998). 또한 PCBs와 DDE와 같은 유기염소계의 물질로 오염된 미시시피강에서 채집된 철갑상어, *Scaphirhynchus albus* 수컷의 29%가 intersex 현상을 보였다 (Harshbarger *et al.*, 2000). 에스트로겐류와 alkylphenol이 검출된 영국의 하천에 서식하는 *Rutilus rutilus* 수컷에서 수란관이 발달되는 자성화현상이 발견되었다 (Trevor *et al.*, 2001). 한편 *Gobio gobio*의 경우에는 조사지점에 따라 6~15%의 intersex 현상이 발견되었다 (Aerle *et al.*, 2001).

본 연구에서 조사된 어류의 성비 불균형과 intersex에 관해서는 국내의 경우 구체적으로 보고된 자료가 없어 비교가 곤란하다. 다만, 광양만에서 1998년 11월부터 1999년 10월까지 채집된 주둥치 588개체를 대상으로 조사된 성비 (암:수)는 1:0.55였으며, 본 연구와 동일시기인 7월에 채집된 80개체의 성비는

1:0.48이었다. 그리고 intersex 출현율은 “0%”였다 (Lee and Huh, 2000).

경골어류 성은 자웅이체형과 자웅동체형으로 구분되는데, 성의 형태학적 표현은 다른 척추동물과 마찬가지로 기본적으로는 유전자의 지배를 받지만 개체발생초기에 여러 가지 환경적 외부요인에 의해 암컷 또는 수컷으로 분화할 수 있다 (Devlin and Nagahama, 2002).

어류 가운데 생활사의 일부 또는 성체의 시기에 정상적인 자웅동체는 약 400여종이 알려져 있는데, 이들의 대부분은 아열대어류 또는 열대어류이다. 일반적으로 자웅동체에서 성의 전환은 한쪽 성의 생식소 조직의 퇴화와 함께 다른 쪽 성의 생식소 조직의 발달에 따라 진행된다. 자웅동체 어류에서 생식소 조직의 배치형태는 크게 “delimited type”과 “undelimited type”으로 구분된다. “delimited type”은 정소조직과 난소조직이 결체조직성 막으로 구분되는 형태이며, “undelimited type”은 정소조직과 난소조직이 구분되는 것은 하지만 이들 사이에 결체성 막은 존재하지 않는 형태와 정소조직과 난소조직이 혼합되어 있는 형태이다 (Sadovy and Shapiro, 1987).

본 연구 결과, intersex 현상을 나타낸 생식소에서는 “delimited type”과 “undelimited type” 두 가지 모두 확인되었는데, 이러한 특징은 지역별, 종별 또는 성에 따른 특이성은 보이지 않았다.

어류의 내분비계 또는 신경계를 자극하여 생식소의 구조적인 자웅동체와 생식소의 정상적인 성숙 및 산란장애를 유발하는 요인들로서는 개체군 성비의 불균형, 수온, 광주기, 먹이, 군집 구성, 화학물질 및 중금속 등 매우 다양하다 (Devlin and Nagahama, 2002).

내분비계장애물질의 특성상 성호르몬 모방효과가 인정되고 있으며, 최근 여러 종류의 동물에서 자웅동체, 성전환 및 생식불능 등의 생식이상이 내분비계

장애물질에 의해서 유발되는 것으로 보고되고 있다 (Tyler and Routledge, 1998).

PCBs (polychlorinated biphenyls)는 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*의 성분화 과정에서 난소 발달을 억제하며 (Matta *et al.*, 1998), 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 성분화 과정에서 난소의 발달을 유도하는 체세포들은 감소하고 대신 정소의 발달을 유도하는 체세포들을 증가 시킨다 (Kim, 2001). 그리고 TBTO (bis-tributyltin oxide)는 가시고기류인 *Gasterosteus aculeatus*에서 난모세포의 퇴화를 유도한다 (Holm *et al.*, 1991). Nonylphenol과 octylphenol은 수컷 medaka, *Oryzias latipes*에서 intersex를 유도하고 (Gray and Metcalfe, 1997; Gray *et al.*, 1999), nonylphenol은 zebra fish, *Danio rerio*에서는 정상적인 난모세포의 퇴화를 유도하며, 정자형성과정을 억제한다 (Weber *et al.*, 2003). Bisphenol A는 fathead minnow, *Pimephales promelas* 수컷의 정자형성과정을 억제하며 (Sohoni *et al.*, 2001), pentylphenol은 잉어, *Cyprinus carpio*의 성분화 과정에서 수컷의 암컷화와 수컷 성체에서 수란관 형성과 intersex를 유발 시킨다 (Gimeno *et al.*, 1998a, b).

내분비계장애물질의 영향은 생물종, 연령 및 생활사에 따라 큰 차이를 보이며 (Niimi, 1983), 이러한 화학물질들은 대부분 지용성으로서 생태계 내에서의 잔류성이 강하여 매체간 이동 및 먹이사슬을 통한 생체농축이 일어날 수 있고 저농도로 분포하는 경우에도 먹이사슬의 상위단계에 있는 야생동물이나 인간에게 악영향을 줄 수 있다 (Longnecker *et al.*, 1997; Nilsson, 2000; Safe *et al.*, 2000).

요약

분석에 이용된 어류는 울산온산, 시화/안산 및 여

수/광양의 산업단지 인근 해역에서 2008년과 2009년에 채집하였다. 분석에는 문절망둑 (*Acanthogobius flavimanus*), 가숭어 (*Chelon haematocheilus*), 누치 (*Hemibarbus labeo*), 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*), 숭어 (*Mugil cephalus*), 풀망둑 (*Synechogobius hasta*) 1,289개체가 사용되었다. 전체 개체의 성비 (암:수)는 1:0.73이었다. 각 지역별 성비는 울산/온산에서는 1:0.79, 시화/안산지역에서는 1:0.81, 여수/광양지역에서는 1:0.25로 암컷의 비율이 높았다. 전체 intersex 출현율은 11.7%였다. 각 지역별 intersex 출현율은 울산/온산에서는 4.98%, 시화/안산지역에서는 14.39%, 여수/광양지역에서는 25.0%로 나타났다. 성에 따른 intersex 출현율은 울산/온산에서는 암컷에서 높았으나 시화/안산과 여수/광양에서는 수컷에서 높았다.

참고문헌

- Ackermann, G.E., Schwaiger, J., Negele, R.D. and Fent, K.: Effects of long-term nonylphenol exposure on gonadal development and biomarkers of estrogenicity in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquat. Toxicol.*, 60:203-221, 2002.
- Aerle, R.V., Nolan, M., Jobling, S., Christiansen, L.B., Sumpter, J.P. and Tyler, C.R.: Sexual disruption in a second species of wild cyprinid fish (the gudgeon, *Gobio gobio*) in United Kingdom freshwaters. *Environ. Toxicol. Chem.*, 20(12): 2841-2847, 2001.
- Borton, D., Carroll, S., Goldberg, S., Harrington, K., Seltzer, B. and Dikon, A.: Relationship between severity of illness and nosocomial infection: A trending model. *Am. J. Infect. Control*, 19(2):123, 1991.
- Bortone, S.A. and Davis, W.P.: Fish intersexuality as indicator of environmental stress: Monitoring fish reproductive systems can serve to alert humans to potential harm. *BioScience*, 44:165-172, 1994.
- Devlin, R.H. and Nagahama, Y.: Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture*, 208:191-364, 2002.
- Drysdale, D.T. and Bortone, S.A.: Laboratory induction of inter-sexuality in the mosquitofish, *Gambusia affinis*, using paper mill effluent. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 43:611-617, 1989.
- Gimeno, S., Komen, H., Gerritsen, A.G.M. and Bowmer, T.: Feminization of young males of the common carp, *Cyprinus carpio*, exposed to 4-tert-pentylphenol during sexual differentiation. *Aquat. Toxicol.*, 43:77-92, 1998a.
- Gimeno, S., Komen, H., Venderbosch, P.W.M. and Bowmer, T.: Disruption of sexual differentiation in genetic male common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to an alkylphenol during different life stages. *Environ. Sci. Technol.*, 31(10):2884-2890, 1997.
- Gimeno, S., Komen, H., Jobling, S., Sumpter, J. and Bowmer, T.: Demasculinisation of sexually mature male common carp, *Cyprinus carpio*, exposed to 4-tert-pentylphenol during spermatogenesis. *Aquat. Toxicol.*, 43:93-109, 1998b.
- Gray, M.A. and Metcalfe, C.D.: Induction of testis-ova in Japanese medaka, *Oryzias latipes* exposed to *p*-nonylphenol. *Environ. Toxicol. Chem.*, 16: 1082-1086, 1997.
- Gray, M.A., Niimi, A.J. and Metcalfe, C.D.: Factors affecting the development of testis-ova in medaka, *Oryzias*

- latipes*, exposed to octylphenol. Environ. Toxicol. Chem., 18:1835-1842, 1999.
- Hansen, P.D., Dizer, H., Hock, B., Marx, A., Sherry, J., McMaster, M. and Blaise, C.: Vitellogenin - a biomaker for endocrine disruptors. TrAC, 17(7): 448-451, 1998.
- Harshbarger, J.C., Coffey, M.J. and Young, M.Y.: Intersexes in Mississippi River shovelnose sturgeon sampled below Saint Louis, Missouri, USA. Mar. Environ. Res., 50:247-250, 2000.
- Holm, G., Norrgren, L. and Linden, O.: 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, 1991.
- Huggett, R.J., Kimerle, R.A., Mehrle, P.M., Jr. and Bergman, H.L.: Biomarkers - biochemical, physiological, and histological markers of anthropogenic stress. Lewis Publishers, London, pp. 1-347, 1992.
- Iguchi, T.: Environmental endocrine disruptors. Jap. J. Clin. Med., 56(11):2953-2962, 1998.
- Jobling, S., Coey, S., Whitmore, J.G., Kime, D.E., Van Look, K.J.W., McAllister, B.G., Beresford, N., Henshaw, A.C., Brishty, G., Tyler, C.R. and Sumpter, J.P.: Wild intersex roach, *Rutilus rutilus* have reduced fertility. Biol. Reprod., 67:515-524, 2002.
- Jobling, S., Nolan, M., Tyler, C.R., Brighty, G. and Sumpter, J.P.: Widespread sexual disruption in wild fish. Environ. Sci. Technol., 32:2498-2506, 1998.
- Kim, J.W.: Effect of PCBs on the organ differentiation and development in the life stage of the bastard halibut, *Paralichthys olivaceus*. Ph. D. Thesis, Pukyong Nat'l Univ., 109, 2001.
- Lee, J.S. and Huh, S.H.: Reproductive biology of the slimy, *Leiognathus nuchalis* (Teleostei: Leiognathidae). Korean J. Ichthyol., 12(3):192-202, 2000.
- Longnecker, M.P., Rogan, W.J. and Lucier, G.: The human health effects of DDT (dichlorodiphenyl-trichloroethane) and PCBs (polychlorinated biphenyls) and an overview of organochlorines in public health. Ann. Rev. Publ. Health, 18:211-244, 1997.
- Matta, M.B., Cairncross, C. and Kocan, R.M.: Possible effects of polychlorinated biphenyls on sex determination in rainbow trout. Environ. Toxicol. Chem., 17(1):26-29, 1998.
- Metrio, G.D., Corriero, A., Desantis, S., Zubani, D., Cirillo, F., Deflorio, M., Bridges, Eicker, C.R., J., de la Serna, J.M., Megalofonou, P., and Kime, D.E.: Evidence of a high percentage of intersex in the Mediterranean swordfish, *Xiphias gladius* L. Mar. Pollut. Bull., 46:358-361, 2003.
- Nilsson, R.: Endocrine modulators in the food chain and environment. Toxicol. Pathol., 28(3):420-31, 2000.
- Niimi, A.J.: Biological and toxicological effects of environmental contaminants in fish and their eggs. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40:306-312, 1983.
- NRC (National Research Council): Risk assessment in the federal government: managing the process. pp.1-192, National Academy Press, Washington, D.C, 1983.
- Quinn, B., Gagne, F., Costello, M., McKenzie, C., Wilson, J. and Mothersill, C.: The endocrine disrupting effect of municipal effluent on the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). Aquat. Toxicol.,

- 66:297-292, 2004.
- Sadovy, Y. and Shapiro, D.Y.: Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, 1987(1): 136-156, 1987.
- Safe, S.H., Welsch, F. and Janszen, D.B.: Endocrine disruptors and human health: Is there a problem ? An update. *Environ. Health Perspect.*, 108(6):487-93, 2000.
- Sohoni, P., Tyler, C.R., Hurd, K., Caunter, J., Hetheridge, M., Williams, T., Woods, C., Evans, M., Toy, R., Gargas, M. and Sumpter, J.P.: Reproductive effects of long-term exposure to bisphenol A in the fathead minnow, *Pimephales promelas*. *Environ. Sci. Technol.*, 35(14):2917-2925, 2001.
- Trevor, P.R.G., Susan, J., Carole, K., Steven, M., Geoff, B., Michael, J.W., John, P.S. and Charles, R.T.: Exposure of juvenile roach, *Rutilus rutilus* to treated sewage effluent induces dose-dependent and persistent disruption in gonadal duct development. *Environ. Sci. Technol.*, 35:462-470, 2001.
- Tyler, C.R. and Routledge, E.J.: Natural and anthropogenic environmental oestrogens: the scientific basis for risk assessment, oestrogenic effects in fish in English rivers with evidence of their causation. *Pure Appl. Chem.*, 70(9):1795-1804, 1998.
- Vigano, L., Arillo, A., Bottero, S., Massari, A. and Mandich, A.: First observation of intersex cyprinids in the Po River (Italy). *Sci. Total Environ.*, 269:189-194, 2001.
- Weber, L.P., Hill, R.L.Jr and Janz, D.M.: Developmental estrogenic exposure in zebrafish (*Danio rerio*): II. Histological evaluation of gametogenesis and organ toxicity. *Aquat. Toxicol.*, 63:431-446, 2003.

Manuscript Received : April 1, 2010

Revised : August 10, 2010

Accepted : August 20, 2010