

동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*) 치어의 생존 및 성장에 미치는 Parathion의 영향

조규석 · 박종호 · 지정훈¹ · 강주찬^{1*}
충청북도내수면연구소, ¹부경대학교 수산생명의학과

The Toxic Effects of Parathion on Survival and Growth of Juvenile Bagrid Catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*)

Kyu-Seok CHO, Jong-Ho PARK, Jung-Hun JEE¹ and Ju-Chan KANG^{1*}
Department of Inland Fisheries Research Institute, Chung Cheong Buk-Do, Chungju 380-250, Korea
¹Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The toxic impact of parathion on bagrid catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*) juvenile was examined 96 hr LC₅₀ value of parathion estimated as 1.90 mg/L. Chronically, bagrid catfish were exposed for 30 days to concentrations of parathion, i.e. 63, 95, 190 and 380 µg/L, representing 3.3, 5.0, 10.0 and 20.0% of the 96 hr LC₅₀. Survival rate was significantly affected by the concentration over 63 µg/L after 10 days. Growth rate, specific growth rate (SGR) and feed efficiency were reduced in time as concentration dependent manner. Growth rates of the exposed groups were significantly reduced as 28.06-60.63% to the control fish, SGR was decreased as 1.50-4.72% and feed efficiency was declined as 6.10-11.90%. It can be concluded that if *P. fulvidraco* is chronically exposed to parathion over 63 µg/L concentration, the physiological damages might affect growth factors of the fish.

Key words: *Pseudobagrus fulvidraco*, Parathion, LC₅₀, Survival, Growth

서 론

수중에서 빠르게 분해되고 생물독성이 비교적 낮은 유기인계 농약 (organophosphate pesticide)은 잔류성과 생물독성이 강한 유기염소계 농약 (organochlorinate pesticide)을 대체하여 널리 사용되고 있다 (Smith, 1987).

Parathion (*O,O*-diethyl-*O*-[4-nitro phenyl] phosphorothionate)은 대표적인 유기인계 농약으로서 이화명충에 탁월한 살충효과를 가지고 있어 우리나라에서도 많이 사용되고 있으나, 생물에 대한 독성이 강해 EPA로부터 restricted use pesticide (RUP)로 지정되었다 (Meiser, 1992; Lee, 2000).

일반적으로 어류에 대한 parathion의 96시간 반수치사농도 (96 hr LC₅₀)는 1.43 mg/L로 알려져 있으나 (Meiser, 1992), 어종간의 감수성 차이는 큰 것으로 알려져 있어서, 예를 들면 잉어과 어류의 한 종인 *Gambusia affinis*의 경우 96 hr LC₅₀이 0.32 mg/L로 높은 감수성을 나타낸 반면 (Johnson and Finley, 1980), 차널메기 (*Ictalurus punctatus*)는 2.65 mg/L로 상대적으로 낮은 것으로 나타나, 각 어종간의 민감도 차이를 파악할 필요성이 있다 (Mayer and Ellersieck, 1986).

유기인계 농약의 생체내 대표적 독성기작 중의 하나는 acetylcholinesterase (AChE) 억제이다. AChE가 억제되면 신경 말단 부위에 acetylcholine (ACh)이 비정상적으로 축적되어 근육의 과도한 활성이 유발되게 된다 (Manzo et al., 1995).

이는 혐기성 대사를 유발시키게 되며 각 장기 조직에서는 lactate 양이 증가되는 반면 혈액에서는 감소하게 된다 (Sancho et al., 1996). 유기인계 농약에 대한 스트레스 상황이 지속되면 생물의 에너지 저장소가 고갈되어 생존, 섭이 및 성장 등의 감소를 유발시키게 된다 (Roex et al., 2003).

일반적으로 어류가 parathion이 노출되면 유영행동이 둔화되고 사료섭이력이 감소되는 행동이상을 보이는 것으로 알려져 있다 (Rand, 1977; Banas and Sprague, 1986). 몇몇 연구에서는 parathion의 만성 농도에 노출된 어류에서 유영행동과 사료섭이력이 증가되었다고 보고하였다 (Henry and Atchinson, 1984; Kumar and Chapman, 1998). 또한, Roex et al. (2003)는 zebrafish, *Danio rerio*에 parathion을 저농도 (0.9- 4.3 µg/L)로 노출시켰을 때 사료섭이력은 증가하였으나 성장률에는 영향을 주지 않는다고 보고하여 노출농도에 따른 영향이 다르게 나타날 수 있음을 암시하였다.

동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)는 아시아 전역에 분포하고 있으며 우리나라에서는 서해와 남해로 유입되는 하천의 중·하류에 널리 서식하고 있다 (Kim and Park, 2002). 특히, 물 흐름이 느린 정체된 수역을 좋아하며 이동성이 크지 않아 특정오염물질에 노출될 우려가 많으나 본 어종에 대한 독성적 연구는 거의 없다. 본 연구는 동자개 치어를 이용하여 대표적 유기인계 농약인 parathion 노출에 의한 급성독성 및 생존, 성장 및 사료효율에 미치는 만성적 영향을 검토하였다.

*Corresponding author: jckang@pknu.ac.kr

재료 및 방법

동자개 (*P. fulvidraco*) 치어는 충청북도내수면연구소에서 분양 받아 실험에 사용하였다. 실험실로 이송한 동자개는 300 L 순환여과식 수조에서 시판되는 메기용 부상사료 (Purina Ltd., Korea)를 공급하여 20일간 순응시킨 후, 외관상 질병의 증세가 나타나지 않고 먹이 붙임이 좋은 개체 (체중, 3.48±0.29 g)를 선발하여 사용하였다. Parathion (99.9% purity, Supelco, USA)은 아세톤을 용매로 하여 표준원액 (100 mg/L)을 조제하였고, 환수 때마다 매일 희석하여 노출용액을 조제하여 사용하였다.

급성독성실험은 PVC 수조 (12 L)를 이용해 지수식으로 실시하였으며 실험용수는 매일 전량 환수하였고, 환경조건을 조절하여 parathion 독성 이외의 다른 요인에 의한 영향을 최대한 배제하였다. 실험농도는 예비실험을 바탕으로 1.0-2.4 mg/L의 범위에서 대조구를 포함하여 9개 농도구 (0, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4 mg/L)를 3반복으로 설정하였고, 각 농도구에는 동자개 치어를 10마리씩 투입하여 96시간 노출시키면서 생존률을 조사하였다.

만성독성실험은 PVC 수조 (30 L)에서 급성독성실험에서 도출된 96 hr LC₅₀ 값 (1.90 mg/L)을 기준으로 각각 3.3, 5, 10, 20%인 63, 95, 190 및 380 µg/L와 대조구를 포함하여 5개 농도구를 설정하여 30일 동안 노출하였다. 각 실험구에는 동자개 치어를 30마리씩 투입하였으며 3반복으로 실험하였다. 사료 공급은 하루에 체중의 2%를 오전과 오후로 2회 (09:00, 17:00) 나누어 공급하였다. 동자개의 생존은 24시간을 기준으로 치사 개체를 확인하였으며, 성장률, 사료효율 및 specific growth rate (SGR)에 대한 parathion의 독성 영향을 10일마다 체중을 측정하여 계산하였다 (McGeer et al., 2000). 급성 및 만성독성 실험기간 동안 공급한 실험용수의 수질분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental conditions of the water used in the chronic toxicity test

Parameters	Value
Temperature (°C)	22.4±1.3
pH	7.0±0.7
Dissolved oxygen (mg/L)	7.53±0.54
Ammonia-nitrogen (mg/L)	0.31±0.14
Nitrite-nitrogen (mg/L)	0.011±0.008
Nitrate-nitrogen (mg/L)	2.10±1.05
Chemical oxygen demand (mg/L)	2.04±0.33
Total hardness as CaCO ₃ (mg/L)	1.88±0.09
Parathion	ND

The value indicate mean±SD. ND, Not detected.

Parathion 독성이 동자개의 성장 및 사료효율에 미치는 영향은 10일 간격으로 3번 측정된 평균값으로 나타났다. 실험결과는 one-way ANOVA (Fisher PLSD test)와 Fisher's r-test를 실시하여 P<0.05에서 통계적 유의성을 판단하였다.

결 과

Parathion 노출에 따른 동자개 치어의 급성독성 실험결과는 Table 2에 나타내었다. 대조구에서는 실험기간동안 치사가 발생하지 않았으며 parathion 노출구에서는 높은 치사율을 나타내었다. 또한 24시간부터 96시간까지 LC₅₀ 값의 차이는 0.1 mg/L로 큰 변화를 보이지 않았으며 96 hr LC₅₀은 1.90 mg/L로 조사되었다.

Table 2. LC₅₀ values and 95% confidence limits of parathion for bagrid catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*) juvenile

Time (hr)	LC ₅₀ (mg/L)	95% confidence limits	
		Lower	Upper
24	2.00	1.86	2.10
48	1.97	1.84	2.08
72	1.93	1.80	2.01
96	1.90	1.76	2.00

Parathion에 만성적으로 노출에 따른 동자개의 생존률을 조사한 결과 대조구의 생존률은 98.0%로 나타났고, parathion 63 µg/L 이상의 농도에서 노출 후 10일부터 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 1). 실험종료시 대조구의 생존률을 기준으로 parathion 63 µg/L 농도구에서는 79.6%, 95 µg/L는 67.3%, 190 µg/L는 44.9%, 380 µg/L는 12.20%의 생존률을 나타냈다.

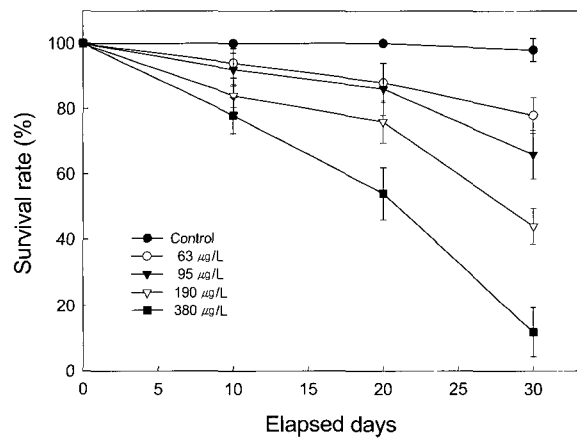


Fig. 1. Survival rate of bagrid catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*) juvenile exposed to sub-lethal concentrations of parathion for 30 days.

Parathion 노출에 따른 동자개의 성장 및 사료효율의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 대조구의 평균 성장률은 76.22±3.12%로 가장 양호하였고, parathion의 농도가 증가할수록 감소하였는데, 63 µg/L 이상에서는 대조구와 비교하여 유의한 성장차이가 조사되었다 (P<0.05). 즉, parathion 농도 63, 95, 190 및 380 µg/L에서 대조구에 비해 각각 28.06±8.04, 37.45±11.19, 56.47±6.79 및 60.63±7.61%의 낮은 성장률을 나타냈다.

Parathion 노출에 따른 동자개의 사료효율은 parathion 농도

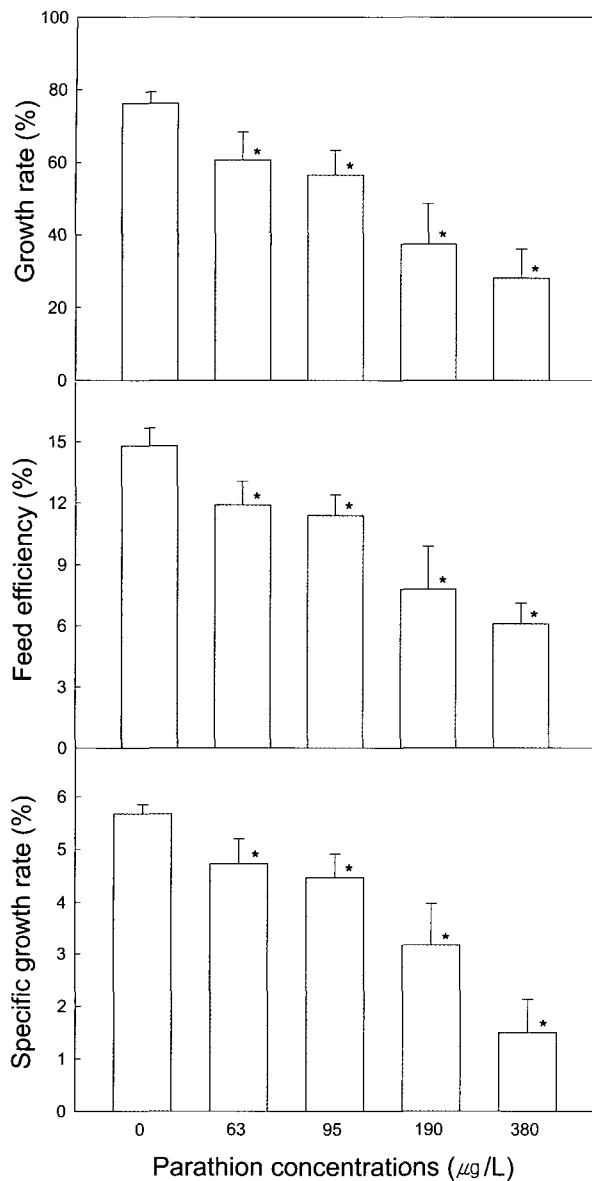


Fig. 2. Mean growth rate, specific growth rate and feed efficiency of bagrid catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*) juvenile exposed to sub-lethal parathion for 30 days. Vertical bars denote a standard error of the mean. *A significant difference from control ($P < 0.05$).

가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. Parathion 63 $\mu\text{g/L}$ 이상에 노출된 동자개는 대조구 ($14.8 \pm 0.87\%$)에 비해 유의하게 감소하여 성장률과 비슷한 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 즉, parathion 농도 63, 95, 190 및 380 $\mu\text{g/L}$ 에서 대조구에 비해 각각 6.10 ± 1.02 , 7.80 ± 2.09 , 11.40 ± 1.01 및 $11.90 \pm 60.8\%$ 의 낮은 사료효율을 나타냈다.

동자개의 SGR은 parathion 농도 63, 95, 190 및 380 $\mu\text{g/L}$ 에서 대조구 ($5.67 \pm 0.18\%$)보다 각각 1.50 ± 0.63 , 3.17 ± 0.81 , 4.47 ± 0.44 및 $4.72 \pm 0.47\%$ 가 감소하여 노출농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었고, parathion 농도 63 $\mu\text{g/L}$ 이상에서 대조구에 비해 유의하게 감소하였다 ($P < 0.05$).

고 찰

수생생물에 대한 parathion의 급성독성의 차이는 종에 따라 다르게 나타난다 (Table 3). 담수어종 가운데 parathion 독성에 아주 민감한 것으로 알려진 *G. affinis*는 96 hr LC_{50} 이 0.32 mg/L으로 보고되었고 파랑볼우럭 (*Lepomis macrochirus*)와 잉어 (*Cyprinus carpio*)도 비교적 감수성이 강한 것으로 알려져 있다. 반대로 붕어 (*Carassius auratus*)와 *I. punctatus*의 경우는 타 어종에 비해서 parathion에 대한 민감도가 낮은 것으로 알려져 어종에 따른 차이가 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 경향은 생육단계에 따라서도 크게 나타나는데 *L. cyanellus*의 경우 체중이 1.1 g의 경우는 96 hr LC_{50} 이 0.93 mg/L이었고, 15 g은 1.70 mg/L으로 나타났다 (Johnson and Finley, 1980; Pickering et al., 1962). 본 연구에서 실시한 동자개 치어 (3.48 g)의 급성독성 결과, 96시간 LC_{50} 값이 1.90 mg/L으로 조사되어 냉수성 어종인 *Oncorhynchus clarki*보다 다소 낮았고, 담수어종의 평균값인 1.43 mg/L 보다 높게 나타났다 (Extonet, 1993).

일반적으로 농약은 농업 생산시기에 집중적으로 사용되며 주변 환경조건 (강우, 광분해, 휘발) 등에 의해 시간적으로나 공간적으로 불규칙하게 형성된다 (Burgoa and Wauchope, 1995). 수중의 parathion은 광분해 되거나 유기물질에 흡착됨으로서 10일 내에 소실되기 때문에 수생생태계에서 지속적으로 유지되기보다는 비교적 단기간에 출현했다가 소멸되는 경향을 보인다 (Howard, 1989). 따라서 본 연구에서는 parathion의 노출기간을 30일로 설정하여 실험하였다.

Parathion의 만성농도에 노출된 동자개의 생존률 변화는

Table 3. Toxicity data for aquatic species exposed to parathion during acute toxicity tests

Species	Size (g)	LC_{50} (mg/L)	References
<i>Gambusia affinis</i>	0.6	0.32	Johnson and Finley (1980)
<i>Lepomis macrochirus</i>	1.5	0.70	Henderson and Pickering (1958)
<i>Cyprinus carpio</i>	10	0.85	Lahav and Sarig (1969)
<i>Lepomis cyanellus</i>	1.1	0.93	Johnson and Finley (1980)
<i>Lepomis cyanellus</i>	15	1.70	Pickering et al., (1962)
<i>Oncorhynchus clarki</i>	3.4	1.97	Mayer and Eilersieck (1986)
<i>Carassius auratus</i>	1-2	2.60	Pickering et al. (1962)
<i>Ictalurus punctatus</i>	1.4	2.65	Mayer and Eilersieck (1986)

parathion 63 $\mu\text{g/L}$ 이상의 농도에서 나타났다. 실험종료시 대조구에 비해 parathion 63 $\mu\text{g/L}$ 농도에서는 79.6%, 95 $\mu\text{g/L}$ 는 67.3%가 감소하였고 노출농도와 시간이 증가할수록 생존률 감소는 크게 증가하는 경향을 보였다. Spacie (1976)는 *Tilapia mossambica* 치어를 parathion에 30일간 노출시켰을 때 23.0 $\mu\text{g/L}$ 에서부터 생존률이 유의적으로 감소되었다고 보고하였으나, Rorex et al. (2003)는 parathion 20 $\mu\text{g/L}$ 에 250일간 *D. rerio*를 노출시킨 결과 대조구에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다고 하여 만성 노출시에도 어종간의 생존률 차이는 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서 parathion 노출에 따른 동자개의 성장률 변화는 노출농도 및 노출시간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 parathion 63 $\mu\text{g/L}$ 이상에서 유의한 감소를 나타내었다 ($P < 0.05$). 또한, 190 및 380 $\mu\text{g/L}$ 에서도 대조구에 비해 50.9 및 63.2%의 낮은 성장을 나타냈다. Parathion 노출에 따른 동자개의 SGR 변화는 63, 95, 190 및 380 $\mu\text{g/L}$ 에서 대조구보다 각각 16.8, 21.2, 44.1 및 73.5%가 감소하였다.

무지개송어에 parathion 310 $\mu\text{g/L}$ 를 150일 동안 만성적으로 노출시켰을 때 대조구에 비해 25% 정도 낮은 성장률을 보였다 (Banas and Sprague, 1986). 그러나 *Danio rerio*의 경우는 parathion 20 $\mu\text{g/L}$ 에서 28일간 노출시켰을 때 대조구보다 37% 이상 감소하는 것으로 보고되었다 (Rorex et al., 2002). 이러한 성장감소는 다른 유기인계 농약에서도 같은 경향을 나타내었다. Fonofos를 30일 동안 *Lepomis macrochirus*에 노출시킨 결과 성장 감소가 유발되었고 (Fairchild et al., 1992), carbaryl의 경우도 *Macropodus cupanus*를 노출시킨 결과 성장률은 감소하는 것으로 나타났다 (Arunachalam and Palanichamy, 1982). 따라서 본 연구의 결과는 유기인계 농약에 어류가 만성적으로 노출되었을 때 성장률 감소가 유발된다는 일반적인 가설과 동일한 결과를 나타내었다. 하지만, Rorex et al. (2003)에 의하면 parathion 0.9 $\mu\text{g/L}$ 와 같은 저농도에 *Danio rerio*를 노출시켰을 때 사료 섭취력이 증가하였으나, 성장률에는 변화를 나타내지 않았다고 보고하여 저농도의 parathion에서 어류의 성장률이 변화하지 않을 수도 있다. 또한, 어류의 성장률 감소의 원인이 유기인계 농약 노출에 따른 AChE 활성저해 때문인 것을 밝히고 있어 (Eaton, 1970), 이와 관련한 연구는 좀더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 하천, 호수 및 양식장 등에서 동자개가 parathion 농도 1.90 mg/L에 노출되게 되면 치명적인 피해를 받을 수 있으며, 만성 농도하에서는 63 $\mu\text{g/L}$ 이상에서 30일 이상 지속되었을 때 생존 및 성장장애를 유발할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

Arunachalam, S. and S. Palanichamy. 1982. Sublethal effects of carbaryl on surfacing behaviour and food utilization in the air-breathing fish, *Macropodus*

cupanus. *Physiol. Behav.*, 29(1), 23-27.

Banas, W.P. and J.B. Sprague. 1986. Absence of acclimation to parathion by rainbow trout during sublethal exposure. *Water Res.*, 20(10), 1229-1232.

Burgoa, B. and R.D. Wauchope. 1995. Pesticides in runoff and surface waters. In: *Environmental Behavior of Agrochemicals*. Vol. 9. Progress in Pesticide Biochemistry and Toxicology, Roberts, T.R. and P.C. Kearney, eds. John Wiley & Sons, Sussex, U.K., pp. 221-255.

Eaton, J.G. 1970. Chronic malathion toxicity to the bluegill (*Lepomis macrochirus* Rafinesque). *Water Res.*, 4, 673-684.

Extonet. 1993. <http://extonet.orst.edu/pips/parathio.htm>.

Fairchild, J.F., E.E. Little and J.N. Huckins. 1992. Aquatic hazard assessment of the organophosphate insecticide fonofos. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 22(4), 375-379.

Henry, M.G. and G.J. Atchinson. 1984. Behavioral effects of methylparathion on social groups of bluegill (*Lepomis macrochirus*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 3, 399-408.

Howard, P.H. 1989. *Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Vol. III: Pesticides. Lewis Publishers, Chelsea, MI. pp. 712.

Johnson, W.W. and M.T. Finley. 1980. *Handbook of Acute Toxicity of Chemicals to Fish and Aquatic Invertebrates*, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., pp. 98.

Kang, E.J. and C.H. Lee. 1996. Early life history of Korean bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco* (Pisces, Bagridae), from Korea. *Kor. J. Ichthyol.*, 8(1), 83-89.

Kim, L.S. and J.Y. Park. 2002. *Freshwater Fishes of Korea*, Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., 235-237. (In Korean)

Kumar, A. and J.C. Chapman. 1998. Profenofos toxicity to the eastern rainbow fish (*Melanotaenia duboulayi*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 17, 1799-1806.

Lahav, M. and S. Sarig. 1969. Sensitivity of pond fish to cotnion (Azinphosmethyl) and parathion. *Bamid-geh*, 21(3), 61-74.

Lee, C.L. and I.S. Kim. 1990. A Taxonomic revision of the family Bagridae (Pisces, Siluriformes) from Korea. *Kor. J. Ichthyol.*, 2(2), 117-137. (In Korean)

Lee, K.M. 2000. A survey on the pesticide use and its health effects among the farmers. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. pp. 59. (In Korean)

Manzo, L., A.F. Castoldi, T. Coccini, A.D. Rossi, P. Nicotera and L.G. Costa. 1995. Mechanisms of neurotoxicity: applications to human biomonitoring. *To-*

- xicol. Lett., 77(1-3), 63-72.
- Mayer, F.L.J. and M.R. Ellersieck, 1986. Manual of Acute Toxicity: Interpretation and Data Base for 410 Chemicals and 66 Species of Freshwater Animals. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., pp. 505.
- McGeer, J.C., C. Szebedinszky, G. McDonald and C.M. Wood. 2000. Effects of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in rainbow trout. 1: Iono-regulatory disturbance and metabolic costs. Aquat. Toxicol. 50, 231-243.
- Meister, R.T. 1992. Farm Chemicals Handbook '92. Meister Publishing Co., Willoughby, OH., pp. 274.
- Park, I.S., J.H. Kim, S.H. Cho and D.S. Kim. 2004. Sex differentiation and hormonal sex reversal in the bagrid catfish *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson). Aquaculture, 232, 183-193.
- Pickering, Q.H., C. Henderson and A.E. Lemke. 1962. The toxicity of organic phosphorus insecticides to different species of warm water fishes. Trans. Am. Fish. Soc., 91, 175-184.
- Rand, G.M. 1977. The effect of subacute parathion exposure on the locomotor behavior of the bluegill sunfish and largemouth bass. In: Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation, 1st Symposium. Mayer, F.L. and J.L. Hamelink, eds. ASTM STP 634, Philadelphia, PA, pp. 253-268.
- Roex, E.W.M., M.C.T. van Langen and C.A.M. van Gestel. 2002. Acute toxicity of two compounds with different modes of action to the zebrafish, *Danio rerio*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 68(2), 269-274.
- Roex, E.W.M., R. Keijzers and C.A.M. van Gestel. 2003. Acetylcholinesterase inhibition and increased food consumption rate in the zebrafish, *Danio rerio*, after chronic exposure to parathion. Aquat. Toxicol., 64(4), 451-460.
- Sancho, E., M.D., Ferrando and E. Andreu. 1996. Physiological stress responses of *Anguilla anguilla* to fenitrothion. J. Environ. Sci. Health B., 31(1), 87-98.
- Smith, G.J. 1987. Pesticide Use and Toxicity in Relation to Wildlife: Organophosphorus and Carbamate Compounds, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., pp. 171.
- Spacie, A. 1976. Acute and Chronic Parathion Toxicity to Fish and Invertebrates, U.S. EPA, Washington, D.C., pp. 106.

2004년 5월 31일 접수
2004년 10월 11일 수리