

이스라엘 잉어, *Cyprinus carpio*의 생존, 섭이 및 성장에 미치는 시안의 만성적 독성

지정훈 · 강주찬
부경대학교 수산생명의학과

Chronic Toxicity of Cyanide on Survival, Feeding and Growth of Israel Carp, *Cyprinus carpio*

Jung-Hoon JEE, Ju-Chan KANG

Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Chronic toxicity of cyanide on survival, feeding and growth rate were examined in the Israel carp, *Cyprinus carpio* under a continuous-flow system. Survival rate of the Israel carp was significantly affected by $\geq 151 \mu\text{g}/\ell$ cyanide concentration, and feed efficiency and feeding rate were also reduced above $151 \mu\text{g}/\ell$ cyanide concentration. Growth rate of the Israel carp exposed to $\geq 73 \mu\text{g}/\ell$ cyanide concentration were significantly decreased than that exposed to normal condition.

Key words: *Cyprinus carpio*, chronic toxicity, cyanide, survival, feeding, growth

서 론

산업사회의 발달에 따라 산업공정에서 발생되는 유해화학물질은 하천, 호소 및 연안역의 생태계를 파괴하고 있으며, 이 중 금광, 기타 산업폐기물 처리공정 및 도금공장에서 배출되는 시안(cyanide)은 하나의 탄소와 하나의 질소가 결합되어 있는 맹독성 유해물질이다. 시안은 대부분 산업공정에서 시안화 칼륨, 시안화 나트륨 등의 형태로 금속화합 및 도금공업 등에 많이 사용된다.

한편, 시안독성의 예로 필리핀에서는 산호지대의 어류를 시안살포에 의해 남획하고 있는데, 이로 인해 광대한 수역의 산호초 지대가 황폐화되어 가고 있으며, 산호초 지대에만 서식하는 어종의 수는 급격히 감소하고 있다(Dawson, 1977). 그리고, 시안 중독으로 인해 어류의 사망을 지적한 사례도 있다(Robinson, 1983a, b; 1984a). 어류에 대한 시안독성에 관한 연구로는 송어와 연어를 대상으로 일부 보고되어 있으나(Alabaster et al., 1983; Broderius et al., 1977; Dixon and Sprague, 1981; Thomas, 1985; Tibor and Gerard, 1982), 이들 결과는 시안의 단기노출에 의한 급성독성에 대한 연구가 대부분으로 장기노출에 의한 만성독성에 관한 자료는 미비한 실정이다. 또한, 시안은 우리 나라의 수질측정 항목에서는 검출되어서는 안된다고 명시되어 있으나, 금강의 일부 수역에서는 60~130 $\mu\text{g}/\ell$ 의 농도로 검출된 바 있다(Choi et al., 1988). 특히, 시안이 수중에 존재할 경우에는 일반적으로 불안정하기 때문에 수질분석에 의해 수생생물에 대한 저해 영향을 판정하는 것이 거의 불가능하다.

일반적으로 시안과 같은 유해물질이 존재하는 수중 환경에 대한 어류의 생리적지표는 성장 등의 변화로서 판단할 수 있으며, 이들은 어류의 건강상태, 영양상태 및 환경변화에 대한 판단기준으로 유용하게 사용되기도 한다(Bagenal and Tesch, 1978; Busacker et al., 1990; Larkin, 1978; LeCren, 1972; Waters, 1977).

이상의 관점으로부터 본 연구는 유용 양식어류인 이스라엘 잉어를 대상으로 시안의 만성적 조건하에서 그들의 생태생리적

변화, 즉 생존, 섭이 및 성장에 미치는 독성영향을 평가하여 수산자원 및 환경규제의 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

이스라엘 잉어, *Cyprinus carpio*는 경남 소재 양식장에서 분양받아 실험실로 운반하여 순환여과식수조(용량, 400 ℓ)에서 10일 이상 순치시켰다. 이때, 수온, pH 및 용존산소는 각각 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 6.7~6.9, 6.5~6.8 mg/ℓ 이었고, 먹이는 사관용 잉어사료를 공급하였다. 실험에 사용한 이스라엘 잉어는 외관상 질병의 증세가 나타나지 않는 체중 $15.25 \pm 3.25 \text{ g}$, 체장 $7.03 \pm 0.30 \text{ cm}$ 의 건강한 개체를 사용하였다.

2. 실험장치

실험장치는 시안과 같은 휘발성 독성물질의 설정농도를 실험기간 동안 일정하게 유지시키기 위하여 유수식장치(continuous-flow system)를 사용하였다(Fig. 1). 실험장치의 구성은 회석수를 공급하기 위한 장치를 비롯하여 시안의 stock용액의 공급, 회석수와 시안의 혼합 및 시안의 설정농도를 유지하기 위한 장치로 되어 있으며, 실험수조는 아크릴수조(340×240×300 mm)를 사용하였다. 이때 설정된 시안농도는 다중채널펌프(16 multi-channel pump, ISMATEC, Switzerland)를 사용하여 회석수와 시안의 stock 용액 비율의 조정에 의해 유지하였다. 즉, 시안의 stock용액을 0.347 ml/min , 회석수 60 ml/min 속도의 공급에 의해 설정 실험농도를 조절하였다. 그리고, 모든 실험은 수온 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지할 수 있는 항온실에서 실시하였다.

3. 실험용액

실험용액은 시안화칼륨(Potassium cyanide)을 2차 증류수에

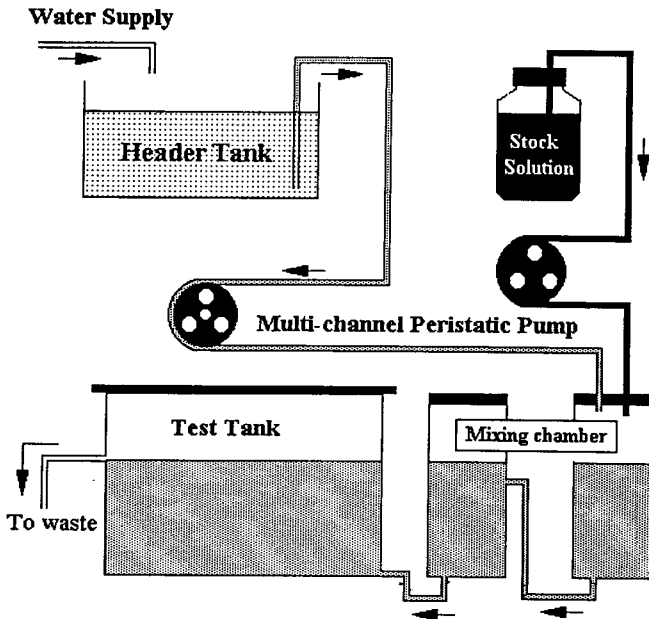


Fig. 1. Schematic drawing of continuous flow system in the experiment.

용해시켜 stock용액을 만들고 수산화나트륨을 첨가하여 표준용액을 조제하여 사용하였다. 시안의 만성적 독성을 파악하기 위한 농도설정은 예비실험을 바탕으로 아치사 영향농도인 300 µg/l을 포함하여 영향농도의 50, 25%인 150, 75 µg/l의 3구간의 농도를 설정하였다. 실험기간 동안의 시안화합물의 분석은 증류법 등의 전처리에 의하여 공존물질에서 시안을 분리하여 CN⁻로 변화시켜, 이것을 pyridine-pyrazolone법에 의하여 분석하였고, 그 외의 수질 분석 및 검사항목은 국제 경제 협력기구 (OECD), 미국 환경청 (U.S. EPA)의 독성검사항목을 참고하여 실시하였다 (APHA, 1985). 회석수의 수질은 Table 1과 같으며, 대조구는 시안을 첨가하지 않은 같은 회석수를 사용하였고, 실험기간 동안의 시안농도 및 수질분석은 1일 2회 측정하였다. 예비실험을 바탕으로 아치사 영향농도 300 µg/l을 포함하여 75, 150 µg/l의 3 실험구로 조절한 시안농도는 설정목표보다 평균 1~11 µg/l 낮거나 높게 유지되었지만, 변동폭은 0.25~2.85 µg/l로 작아 거의 안정된 3 단계의 시안농도를 유지하였다. 또한, 실험기간 동안의 대조구를 비롯한 각 시험구 사이의 수질환경은 같거나 유사하였다 (Table 2).

4. 생존, 섭이 및 성장

시안의 만성적 조건하의 생존, 섭이 및 성장실험은 실험에 들어가기에 앞서 10일 이상 순치시킨 개체를 시안농도별 각각 20마리씩 수용하여 6주 동안 2회의 반복실험을 실시하였다. 실험수조에 수용하기 전에 실험어는 체장 및 체중을 측정하였고, 먹이는 실험수조에 수용한 다음날 부터 시판용 잉어사료를 1일 2회에 걸쳐 포식량 이상을 공급하였다. 사료는 일정량을 측정하여 용기에 넣은 후 공급하고나서 1시간 후에 먹다 남은 먹이를 수거하여 건물량을 계산하여 섭이율과 사료효율을 산출하였다. 성장률은 2주 간격으로 6주째까지 실험구의 체중 및 체장을 전자저울 (HF-3000 GD, A & D Company, Ltd., Japan)로 측정하여 산출하였다.

Table 1. The chemical properties of dilution water used in experiment

Item	Value
Temperature (°C)	20.0
pH	6.89
Dissolved oxygen (mg/l)	7.25
NH ₄ ⁺ -N (µg-at N/l)	0.038
NO ₂ ⁻ -N (µg-at N/l)	0.029
NO ₃ ⁻ -N (µg-at N/l)	0.823
PO ₄ ³⁻ -P (µg-at N/l)	0.039
Hardness (mg/l, as CaCO ₃)	1.950
Cyanide (µg CN ⁻ /l)	ND

ND, Not detected

Table 2. Water quality during cyanide experiments

Item	Fixed cyanide concentration (µg/l)*			
	0	75	150	300
Temperature (°C)	20 ± 0.25	20 ± 0.23	20 ± 0.22	20 ± 0.21
pH	6.83 ± 0.14	6.87 ± 0.17	6.85 ± 0.15	6.82 ± 0.16
DO (mg/l)	6.81 ± 0.24	6.80 ± 0.27	6.79 ± 0.30	6.81 ± 0.26
NH ₄ ⁺ -N (µg-at N/l)	0.043 ± 0.02	0.045 ± 0.01	0.042 ± 0.01	0.041 ± 0.02
NO ₂ ⁻ -N (µg-at N/l)	0.035 ± 0.01	0.033 ± 0.02	0.031 ± 0.02	0.034 ± 0.01
NO ₃ ⁻ -N (µg-at N/l)	0.922 ± 0.15	1.02 ± 0.17	0.981 ± 0.21	1.014 ± 0.24
PO ₄ ³⁻ -N (µg-at N/l)	0.063 ± 0.01	0.065 ± 0.01	0.062 ± 0.02	0.068 ± 0.01
Hardness (mg/l, as CaCO ₃)	2.75 ± 0.10	2.84 ± 0.11	2.80 ± 0.15	2.77 ± 0.12
Cyanide (µg CN ⁻ /l)	0	73 ± 1.12	151 ± 1.58	289 ± 2.85

*Data are presented as mean ± SD (n=21)

5. 유의성 검정

실험결과와 통계적 처리는 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA test를 실시한 후 사후 다중비교는 최소유의차 검정 (Least-significant difference test)으로 평균간의 유의성 (P<0.05)을 검정하였다.

결 과

1. 생존

6주간의 실험기간 동안 이스라엘잉어는 대조구와 시안농도 73 µg/l에서 실험종료시까지 사망개체가 전혀 관찰되지 않아 100%의 생존율을 나타냈다. 그러나, 시안농도 151 µg/l이상에서 생존율은 대조구에 비해 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 시안농도 151 µg/l에서는 3주, 시안농도 289 µg/l에서는 2주 후부터 감소하기 시작하여 실험종료시에는 대조구에 비해 각각 15.2% 및 24.5%가 감소하였다 (Fig. 2).

2. 섭이

섭이율은 실험개시 1주 후부터 대조구에 비하여 낮은 섭이율을 나타내고 있으나, 감소정도는 대조구와 시안농도 73 µg/l에서는 유사한 경향을 나타내었다. 그러나, 시안농도 151 µg/l에서는 3주, 289 µg/l에서는 1주 후부터 실험종료까지 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었고 (P<0.05, Fig. 3), 또한, 시안농도 151 µg/l이상에서 시간의 경과함에 따라 크나큰 섭이율의 변화는 관찰되지

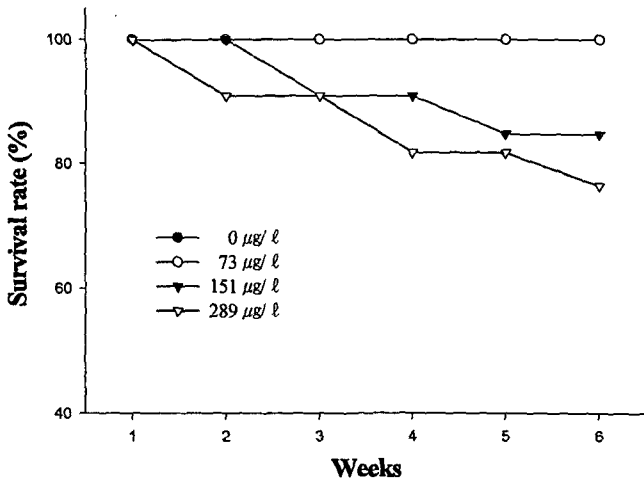


Fig. 2. Survival rate of Israel carp exposed to different cyanide concentrations.

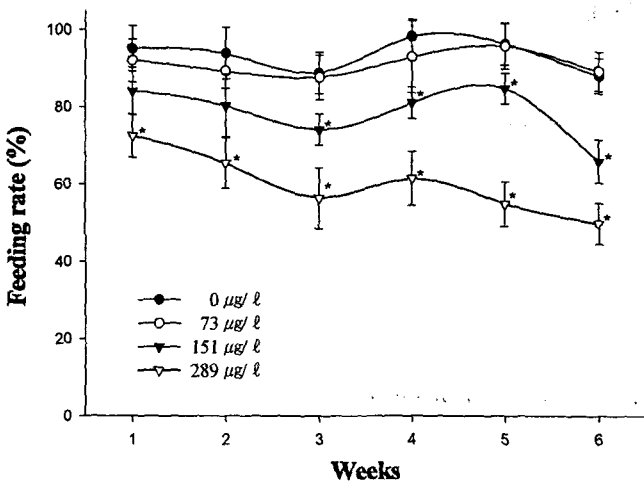


Fig. 3. Feeding rate of Israel carp exposed to different cyanide concentrations. Vertical bars indicate standard deviations : *significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$).

않았다.

사료효율은 시안농도 73 µg/l에서 6주의 실험종료시까지 대조구와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나, 시안농도 151 µg/l 이상에서 대조구에 비해 유의한 감소가 인정되었고 ($P < 0.05$), 감소경향은 2주 후부터 실험종료시까지 나타났다 (Fig. 4). 또한, 실험경과에 따른 뚜렷한 사료효율의 변화는 관찰되지 않았다.

3. 성장

성장율은 2주 간격으로 체중 및 체장을 측정하여 체중의 증가율로 나타냈다. 성장율은 시안농도 73 µg/l에서 4주까지 대조구와 유사한 증가를 나타내었으나, 6주 후에는 유의하게 감소하였고, 시안농도 151 µg/l 이상에서는 2주 후부터 실험 전기간을 통해 대조구에 비해 유의한 감소를 나타냈다 ($P < 0.05$). 또한, 실험종료시의 성장율은 대조구 42.8%에 비해 시안농도 73, 151 및 289 µg/l에서 각각 30.2, 16.9, 9.0%로 낮게 나타났다 (Fig. 5). 실험

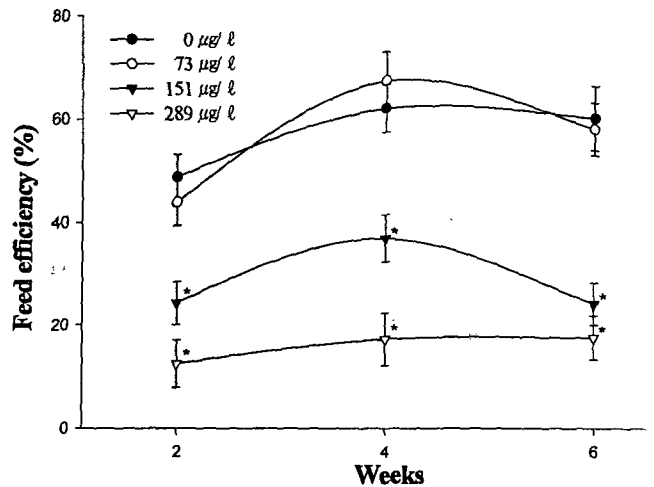


Fig. 4. Feeding efficiency of Israel carp exposed to different cyanide concentrations. Vertical bars indicate standard deviations : *significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$).

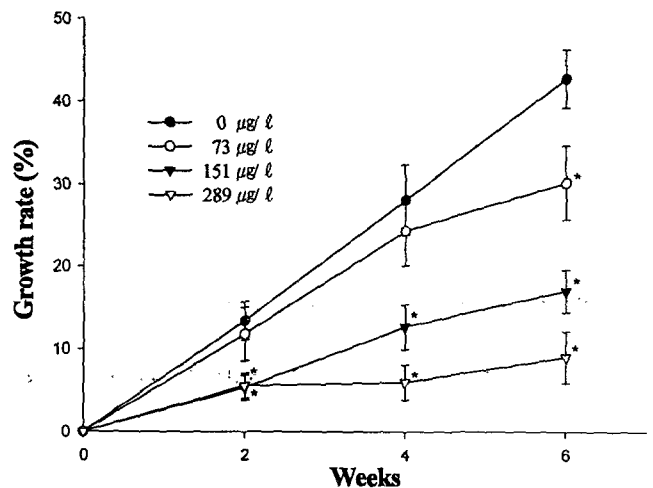


Fig. 5. Growth rate of Israel carp exposed to different cyanide concentrations. Vertical bars indicate standard deviations : *significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$).

일수에 대한 체중의 증감비율로 나타낸 일일 성장률은 시안농도 73 µg/l에서 4주까지는 대조구와 유사한 경향을 나타내었으나, 6주 후에는 유의한 감소를 보였고, 시안농도 151, 289 µg/l에서는 2주 후부터 실험종료시까지 대조구에 비해 유의한 감소가 인정되었다 ($P < 0.05$). 즉, 실험종료시의 일일성장율은 대조구 16.9%에 비해 시안농도 73, 151 및 289 µg/l에서 각각 9.7, 5.0, 3.2%로 시안농도가 증가함에 점차 감소하는 경향을 나타냈다 (Fig. 6).

고 찰

강이나 호소 등으로 유입되는 유해물질은 어류에 막대한 저해 영향을 미치지만, 유해물질의 종류나 어종별로 그 원인을 구명하는 것은 대단히 어려운 문제중의 하나이다. 특히 시안은 생체에

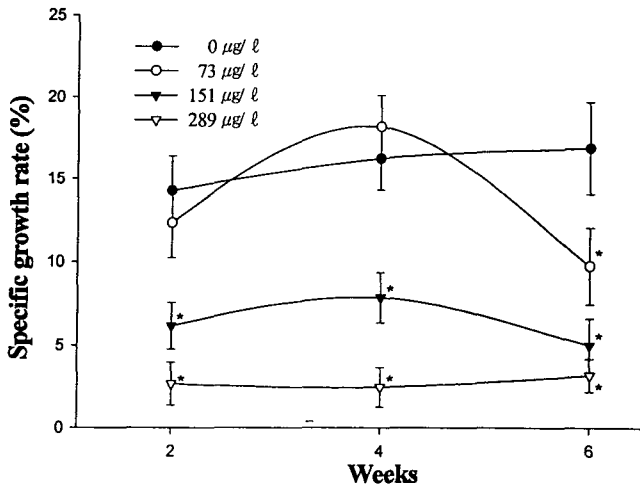


Fig. 6. Specific growth rate of Israel carp exposed to different cyanide concentrations. Vertical bars indicate standard deviations; *significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$).

대하여 강한 독성을 나타내지만, 수중에서 극히 불안정하기 때문에 어패류에 저해영향을 미칠 경우, 수질분석만으로 그 영향을 판정하는 것은 대단히 어렵다. 따라서 어류에 대한 시안의 독성영향을 해명하고자 할 경우 급성독성 뿐만 아니라 만성독성의 관점에서도 저해영향을 파악하는 것이 요구된다.

6주 동안 시안의 만성적 조건하에 노출시킨 이스라엘잉어의 생존율은 시안농도 151 µg/l에서는 3주, 289 µg/l에서는 2주 후부터 감소하기 시작하여 실험종료시에는 대조구에 비해 각각 15.2, 24.5%가 감소하였다. 어류의 생존에 미치는 시안독성에 관해서는 몇몇의 연구보고가 있다. 즉, 280일 동안 시안농도 20.5 µg/l 이상에서 bluegill의 생존율은 10% 이상이 감소하였고 (Gary et al., 1978), 송어는 1480 µg/l의 농도에서 4일 후 20% 이상이 감소하였다 (Thomas, 1985). 또한, fathead minnow에 있어 시안의 차사한계는 120 µg/l 농도였다 (Lind et al., 1977). 이와 같이 어류의 생존에 있어 시안의 독성수준의 차이가 상이하게 나타나는 것은 실험조건, 실험동물의 성장단계 및 어종에 따른 내성의 차이 등에 기인된 결과라고 생각되며, 이스라엘 잉어는 시안농도 151 µg/l 이상이 존재하는 수역에서는 그들의 생존에 치명적인 영향을 미칠 것으로 사료되며, 특히 약 3주 후부터 그 영향은 증가될 것으로 사료된다.

이스라엘 잉어의 섭이율은 시안농도 151 µg/l에서는 3주, 289 µg/l에서는 1주 후부터 실험종료까지 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었다. 또한, 사료효율도 시안농도 151 µg/l 이상에서 유의한 감소가 인정되었다. 수생동물의 섭이율은 일반적으로 유해물질 농도 및 환경변화 등의 악조건에 따라 감소하는 경향을 나타낸다 (Pal and Konar, 1985). 어류의 섭이율에 미치는 수온의 영향은 수온농도가 높을수록 감소하며, 또한 pH의 변동에 따라 상이하게 나타난다 (Kaviraj, 1983; Lacroix et al., 1985). 이외에도 카드뮴 (Peterson et al., 1983) 및 과인산염 등은 어류의 섭이에 악 영향을 미친다 (Sarkar and Konar, 1984). 따라서, 이스라엘 잉어의 섭이율 감소는 시안의 독성작용에 의한 것으로 사

료되며, 감소시기는 시안농도 151 µg/l에서 3주 후부터라고 생각된다. 그리고 시안농도가 높을수록 섭이율에 미치는 영향 시기는 단축될 것으로 사료된다. 사료효율은 섭이율의 경향과 대체로 일치하고 있는 것으로 보아 사료효율의 감소는 섭이율의 감소에 기인된 결과라고 생각된다.

일반적으로 어류의 성장에 관련된 요인들은 어류의 건강지표를 설정하는데 유용하게 사용된다. 성장은 생물체에 대한 모든 생물적 변동을 나타내며, 또한 만성적 스트레스에 기인된 2차적인 영향을 반영하기 때문이다 (Larkin, 1978; LeCren, 1972; Waters, 1977). 현재, 성장지수 (growth indices)는 천연산 및 양식어종의 스트레스 평가에 응용되기도 한다 (Barron and Adelman, 1984; McLeay et al., 1987).

이스라엘잉어의 성장 및 일일성장율은 시안농도 73 µg/l에서는 실험종료시, 시안농도 151 µg/l 이상에서는 2주 후부터 실험 전기간을 통해 유의한 감소를 나타냈다.

일반적으로 수생동물의 성장은 유해물질, 환경악화 등에 따라 정상적인 성장이 이루어지지 않은 것이 일반적인 견해이다. 몇몇의 연구보고에 의하면, 살충제는 어류의 성장을 감소시키며 (Mani and Konar, 1985, 1986; Pal and Konar, 1985), 용존산소의 저하도 어류의 성장을 저해시킨다고 하였다 (Rowchai et al., 1986). 따라서, 이스라엘 잉어의 성장을 감소는 시안의 독성작용에 의한 것으로 사료되며, 이 결과는 섭이율 및 사료효율의 감소에서도 그 원인을 찾을 수 있다. 그러나, 시안농도 73 µg/l의 농도에서 성장률은 유의한 감소를 나타내었으나, 섭이율과 사료효율은 유의한 감소가 인정되지 않았다. 이와 같은 결과는 섭이 및 사료효율의 정도가 반드시 성장정도를 반영하는 것은 아니라고 생각된다. 따라서 이와 같은 결과는 이스라엘 잉어의 성장에 관련된 여러가지 생리적 기능에 시안독성이 작용하였을 것으로 추측된다.

상기의 결과와 논의를 종합하면, 시안에 대한 이스라엘잉어는 시안농도 73 µg/l 이상에서는 그들의 생태생리에 어떠한 형태로든 영향을 받고 있을 것으로 사료되며, 특히 151 µg/l 이상의 농도에서는 치명적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서, 우리나라의 하천이나 호소 등에 73 µg/l 이상의 시안농도가 존재할 경우, 이스라엘잉어의 자원감소가 예상되며, 특히 금강의 일부 수역에서 검출된 60~130 µg/l의 농도 (Choi et al., 1988)는 이스라엘잉어를 비롯한 수생동물의 자원조성에 많은 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

요 약

시안의 만성적 조건에서 이스라엘 잉어의 생존, 섭이 및 성장에 미치는 독성영향을 파악하기 위하여 유수식방법에 의해 6주 동안 실험을 실시하였다.

시안의 만성적 조건하에 노출시킨 이스라엘잉어의 생존율은 시안농도 151 µg/l 이상에서 유의한 감소를 나타내었고, 실험종료시 시안농도 151, 289 µg/l에서 대조구에 비해 각각 15.2, 24.5%가 감소하였다.

섭이율은 시안농도 151 µg/l에서는 3주, 289 µg/l에서는 1주

후부터 실험종료까지, 사료효율은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 2주 후부터 실험종료시까지 대조구에 비해 유의한 감소가 인정되었다. 성장을 및 일일성장율은 시안농도 73 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 6주 후에, 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서는 2주 후부터 실험 종료시까지 유의한 감소를 나타냈다.

참 고 문 헌

- Alabaster, J.S., D.G. Shurben and M.J. Mallett. 1983. The acute lethal toxicity of mixtures of cyanide and ammonia to smolts of salmon, *Salmo salar* L. at low concentrations of dissolved oxygen. *J. Fish Biol.*, 22 (2), 215~222.
- APHA (American Public Health Association), American Water Works and Water Pollution Control Pederation, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington, D. C. pp. 327~351.
- Bagenal, T.B. and F.W. Tesch. 1978. Age and growth. In *Methods for Assessment of Fish Production in Freshwater* (Bagenal, T. B., ed.), 1011~1036. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Barron, M.G. and I.R. Adelman, 1984. Nucleic acid, protein content, and growth of larval fish sublethally exposed to various toxicants. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41 (1), 141~150.
- Broderius, S.J., L.L. Smith Jr. and D.T. Lind. 1977. Relative toxicity of free cyanide and dissolved sulfide forms to the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *J. Fish. Res. Board Can.*, 34 (12), 2323~2332.
- Busacker, G. P., I.R. Adelman and E.M. Goolish. 1990. Growth. In *Methods for Fish Biology*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Choi, S.S., H.M. Oh, M.K. Kang, T.R. Cho, K.S. Lee, J.G. Lyu and T.H. Rhee. 1988. A study on the water pollution of Geum river system. *Res. Rep. Env. Sci. Tech. Chungnam Univ.*, 6 (1), 1~16.
- Dawson, S. A. R. 1977. Collected in the Philippines. *Mar. Aquar.* 7 (10), 5~14.
- Dixon, D. G. and J. B. Sprague. 1981. Acclimation-induced changes in toxicity of arsenic and cyanide to rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish. Biol.*, 18, 579~589.
- Gary, L. K., Lloyd, L. and S. J. Broderius. 1978. Chronic toxicity of hydrogen cyanide to the bluegill. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107 (2), 341~345.
- Kaviraj, A. 1983. Effects of mercury on the behavior, survival, growth and reproduction of fish and on aquatic ecosystem. *Environ.-Ecol.*, 1 (1), 4~9.
- Lacroix, G.L., D.J. Gordon and D.J. Johnston. 1985. Effects of low environmental pH on the survival, growth, and ionic composition of postemergent Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 (4), 768~775.
- Larkin, P.A. 1978. Fisheries management: an essay for ecologists. *Annual Review of Ecology and Systematics* 9, 57~73.
- LeCren, E.D. 1972. Fish production in freshwater. In *Conservation and Productivity of Natural Water* (Edwards, R. W. and Garod, D. J., eds), 115~133. London: Academic press.
- Lind, D. T., Smith, L. L. Jr. and S. J. Broderius. 1977. Chronic effects of hydrogen cyanide on the fathead minnow. *J. Wat. Poll. Cont. Feder.*, 49, 262~268.
- Mani, V.G.T. and S.K. Konar. 1985. Chronic effects of malathion of feeding behavior, survival, growth and reproduction of fish. *Environ.-Ecol.*, 3 (3), 348~350.
- Mani, V.G.T. and S.K. Konar. 1986. Chronic effects of the insecticide coroban on behavior, survival, growth and reproduction of fish. *Environ.-Ecol.*, 4 (4), 517~520.
- McLeay, D.J., I.K. Birtwell, G.F. Hartman and G.L. Ennis. 1987. Responses of Arctic grayling (*Thymallus arcticus*) to acute and prolonged exposure to Yukon placer mining sediment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 (3), 658~673.
- Pal, A.K. and S.K. Konar. 1985. Chronic effects of the organophosphorus insecticide DDVP on feeding, survival, growth and reproduction of fish. *Environ.-Ecol.*, 3 (3), 398~402.
- Peterson, R.H. J.L. Metcalfe and S. Ray. 1983. Effects of cadmium on yolk utilization, growth, and survival of Atlantic salmon alevins and newly feeding fry. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 12 (1), 37~44.
- Robinson, S. 1983a, Collecting tropical marines - Journey to the Philippines. *Freshwat. Mar. Aquar.*, 6 (7), 14~84.
- Robinson, S. 1983b, Collecting tropical marines - Do you believe in magic? *Freshwat. Mar. Aquar.*, 6 (9), 12~88.
- Robinson, S. 1984a, Collecting tropical marines - Living, working and winning at the village level. *Freshwat. Mar. Aquar.*, 7 (10), 72~77.
- Rowchai, S. K. Chiba and R. Hirano. 1986. Influence of dissolved oxygen on growth of young eel. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. Nissuishi.* 52 (4), 597~607.
- Sarkar, S.K. and S.K. Konar. 1984. Influence of single superphosphate on the feeding, survival growth and reproduction of fish. *Environ.-Ecol.*, 2 (2), 127~130.
- Thomas, A.H. 1985. Acute toxicity of thiocyanate to trout. *Tran. Am. Fish. Soc.* 114, 895~905.
- Tibor, T.G. and L. Gerard. 1982. Acute toxicity of cyanide to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) acclimated at different temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, 1426~1429.
- Waters, T.F. 1977. Secondary production in inland waters. *Advances in Ecological Research.* 10, 91~164.

1999년 1월 28일 접수

1999년 4월 20일 수리