

농약에 대한 담수산 어류(잉어 : *Cyprinus carpio*, 송사리 : *Oryzias latipes*, 일본산 송사리 : *Oryzias latipes*)의 약제 감수성 비교

이 성 규*·신 천 철*·노 정 구*
(1987. 11. 6 접수)

Sensitivity of the three freshwater fish, *Cyprinus carpio*, *Oryzias latipes* (wildtype indigenous to Korea), and *Oryzias* *latipes* (Japanese killifish) to 30 pesticide formulations

Sung Kyu Lee*, Chun Chul Shin* and Jung Koo Roh*

Abstract

Sensitivity of the three freshwater fish, *Cyprinus carpio*, *Oryzias latipes* (wildtype indigenous to Korea), and *O. latipes* (Japanese killifish) to 30 pesticide formulations were studied in terms of 48 hr LC50 determined with the static method.

The correlation between *C. carpio* and *O. latipes* (Japanese killifish) was higher than that between *C. carpio* and *O. latipes* with correlation coefficients of 0.89 and 0.80, respectively. The sensitivity of *O. latipes* and *O. latipes* (Japanese killifish) to pesticides showed very high correlation with a coefficient of 0.93.

Therefore, it is suggested that the acute toxicity data concerning *O. latipes* (Japanese killifish) could represent those *C. carpio* or *O. latipes* which are indigenous species in Korea. Also, it is found that the present protocol for the toxicity test with carp in Korea has difficulties in maintaining the proper concentration of dissolved oxygen in the test chamber because of the abrupt decrease of dissolved oxygen to 2mg/l, which is not acceptable according to general guidelines of foreign countries.

서 론

1940년대 및 1950년대까지만 해도 농약은 각종 병충해를 방제할 수 있는 유일한 수단으로 이해되어 왔

으나 그 이후 농약사용으로 인한 예측하지 못한 여러 가지 문제가 즉, 내성의 증가 익충의 감소, 새로운 해충의 등장, 환경의 오염등의 문제가 제기되기 시작하였다. 이 중에서 환경의 오염은 DDT 사용이후 잔류가 크게 문제가 되면서부터 대두되었고, 환경중에서는 육

* 한국화학연구소 안정성연구센터(Korea Research Institute of Chemical Technology, Daedeogdanji, Daejeon, Chungnam)

상 환경보다는 수서환경이 농약에 대한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 수서환경에 서식하고 있는 여러가지 non-target 생물을 이용하여 농약의 독성을 평가하기 시작하였고 이러한 독성평가에서 어류는 가장 중요한 생물종으로 인식되어 왔다.^{1,2)}

그런데 어류를 이용한 독성실험에 대해서는 실험대상어종, 실험조건등이 외국에서는 비교적 잘 확립되어 있으나,^{3,7)} 우리나라의 경우는 농촌진흥청에서 정한 어독성평가방법⁸⁾이 있으나 세계적인 실험경향과 신규화학물질의 계속적인 개발에 대응하기 위해서는 어종의 다양화 및 실험조건의 보완이 필요하다고 하겠다. 현재 사용하고 있는 실험어종인 잉어(*Cyprinus carpio*)는 현재 널리 사용되고, 기존자료와의 상호 비교가 용이하며, 경제어종이므로 좋은 실험어종이나, Breeding season 이 제한되어 있어 년중 실험가능기간이 약 2~3개월로 제한되고, 실험실적 규모의 사육이 곤란하여 균일한 개체의 공급이 어렵다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 실험어종의 다양화를 위한 기본자료의 축적을 목적으로 OECD⁹⁾와 일본⁷⁾에서 농약의 어독성평가 실험어종으로 추천하고 있으며, 우리나라에서 가장 농약사용량이 많은 눈에 자생하고 있는 송사리(*Oryzias latipes*)를 대상으로 하여 농약에 대한 감수성을 상호 비교하여 이들 어종에 대한 실험어종으로서의 가능성을 검토해 보고자한다. 특히 송사리는 미국 EPA¹⁰⁾의 실험어종선택 4 가지 기준 중에서¹¹⁾ 사육 및 관리가 용이하며 년중 필요한 크기나 실험조건을 만족시켜야 하고,¹²⁾ 종에 대한 생물학적 자료가 상당히 축적되어야한다는 2 가지 기준에도 만족하므로 유망하다고 판단되었다. 이와 아울러 현재 우리나라에서 농약등록시 실시되는 어독성실험의 실험 조건에 대한 개선점도 파악코저 본 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시어

공시어는 잉어(*Cyprinus carpio*), 우리나라 송사리(*Oryzias latipes*)와 일본산 송사리(*Oryzias latipes*) 등 3종을 사용하였다. 잉어는 대전시내 양어장에서 치어를 분양받아 실험실내에서 최소 20일 이상 순화시킨후 공시하였고, 우리나라 송사리는 충남 대덕군 탄동면 자운리 소하천에서 채집망으로 치어를 채집한 후 본 연구실로 운반하여 사육조(31cm L×50cm W×35cm H)에서 4주이상 순화시킨 같은 크기의 송사리만 무작위적으로 선별하여 공시하였다. 또한 일본산 송사리는 국립부산수산대학에서 1984년에 분양받아 본 실험실에서 계대 사육중인 잉어를 공시하였다. 본 실험에 공시한 공시어의 크기와 실험조건은 다음 Table 1과 같다.

2. 공시 농약

본 실험에 공시한 농약은 수도용 농약으로 폭목고시용 실험재료로서 제공된 것을 사용하였다. 공시농약의 농약명과 제제형태는 다음 Table 2와 같다.

3. 실험 방법

잉어의 경우는 농촌진흥청의 농약의 실험기준과 방법⁸⁾에 따라 실험하였고, 송사리는 본 연구실에서 확립된 방법에 따라 실시하였다. 잉어의 실험용 수조크기는 35cm L×25 cm W×30 cm H로 실유영용적은 20ℓ이며 일본산과 우리나라 송사리를 위해서는 실유영용적이 5ℓ 인 원형수조를 사용하였다. 실험기간중에는 공기와 먹이를 공급하지 않았다. 그리고 치사여부는 3, 6, 12, 24, 48 시간마다 기록하였고, 치사판정은 유리막대로 자극을 주어 지느러미의 반응이 없는 것을 치사어로 간주하였다. 실험수조내 DO 농도와 수온은 각 수조별로 매일 DO meter(YSI, Model 57)로 측정하였고, pH는 매일 pH meter(Cole-Parmer, Model 5987)로 측정하였다. 그리고 실에 사용한 희석수는 수도물을 1차로 membrane filter 를 통과시켜 부유물질을 제거한 후 active carbon 으로 충전한 2차 여과장치를 통과시켜 잔류염소를 제거한 후 수온을 25°C로 올려 사

Table 1. Test organisms, experimental conditions and size of fish

Test species	Age months	Exposure time(hr.)	Number of organisms per conc.	Test condition			Size of test fish	
				Temp. (°C)	pH	Vol. (ℓ)	Weight(g)	Length(cm)
<i>Cyprinus carpio</i>	2~3	48	20	25.2	6.6~7.2	20	1.53±0.39*	4.90±0.40*
Japanese <i>Oryzias latipes</i>	6~7	48	20	24.0	7.0~7.5	5	0.15±0.02	2.65±0.11
Korean <i>Oryzias latipes</i>	6<	48	20	25.4	7.0~7.4	5	0.16±0.03	2.71±0.16

* Mean+Standard deviation

Table 2. The pesticides and fish tested in this study

No.	Pesticides	Formulation	fish tested		
			C. carpio	O. latipes*1	O. latipes*2
1.	Pyrazoxyfen+Butachlor	G 9.5	0*3	0	0
2.	Isoran+BP	D 4	0	0	0
3.	M.B.	G 8	0	0	0
4.	Poksa	G 3	0	0	0
5.	Cartap+Buprofezin	WP 60	0	0	0
6.	Cartap+MIPC	G 6.5	0	0	0
7.	Hokubal	E C 40	0	0	0
8.	Chrome+BP	E C 50	0	0	0
9.	Trizol+Dasuzin	WP 59	0	0	0
10.	KNC-1	—	0	0	0
11.	Thiocyn	WP 25	0	0	0
12.	Buprofezin+BPMC	WP 25	0	0	0
13.	Buprofezin+BPMC	D 2.5	0	0	0
14.	Cartap+Buprofezin	WP 60	0	0	0
15.	Trizol+BP	D 2.0	0	0	0
16.	Ethofenprex+Dasuzin	E C 28	0	0	0
17.	Londax+Buta	G 2.67	0	0	0
18.	Buta+Napro	G 11.0	0	0	0
19.	Pyroquilon	WP 50	0	0	0
20.	Mefenacet	G 4.0	0	0	0
21.	Buta+Molinate	G 8.0	0	0	—*4
22.	Pyrida+Ethofenprox	E C 27	0	0	—
23.	그라	G 2.2	0	0	—
24.	Flutolanil	F L 20	0	0	—
25.	Bensulfuronmethyl+Benthio	G 7.17	0	0	—
26.	Benasol+Acete	G 10	0	0	—
27.	Dimethipin	F L 25	0	0	—
28.	Bayrusil	G 5.0	0	0	—
29.	Lond ax+Mefenacet	G 2.67	0	0	—
30.	Isasofos	G 2	0	0	—

- *1 Cultivated species from Japan
- *2 Wild species in Korea
- *3 Tested
- *4 Not tested

용하였다.

실험결과와 분석은 Litchfield 와 Wilcoxon 방법⁴⁾에 따라서 48 시간 LC₅₀ 값과 95% 유의수준에서의 상한치와 하한치를 구하였다.

결과 및 고찰

1. 농약에 대한 어종간 약제 감수성의 상관

잉어, 송사리, 일본산 송사리에 대한 공시농약의 48 hr-LC₅₀ 값을 구한 후, 각 어종간 상관관계를 보면 Fig. 1, 2, 3 과 같다.

Fig. 1 에서 보듯이 잉어와 일본산 송사리는 실험한 총 31 개 농약중에서 두 어종간에 약 20 배이상 독성의

차이를 보이는 Mefenacet+Buta 를 제외하고 30 개 농약에 대해 비교해 보면 두 어종간의 상관이 r=0.89 로 상당히 높음을 알 수 있었다. 일본에서의 결과¹¹⁾에 의하면 이들 두 어종간의 상관이 r=0.8945 로 본연구 결과와 거의 같음을 알 수 있었다. 따라서 이 두 어종간에는 서로의 농약 감수성 추정이 가능하다고 하겠다.

잉어와 우리나라 송사리와 농약에 대한 감수성을 보면(Fig. 2) r=0.80 으로 일본산 송사리와 관계보다는 다소 낮지만 비교적 높은 상관관계를 보여 주었다. 이 경우도 두 어종간에 약 30 배의 독성차이를 보여주는 Isasofos 는 제외하고 20 개 농약에 대한 48 hr LC₅₀ 값을 근거로 계산하였다. 또한 우리나라 송사리와 일본산 송사리와 농약에 대한 감수성을 보면

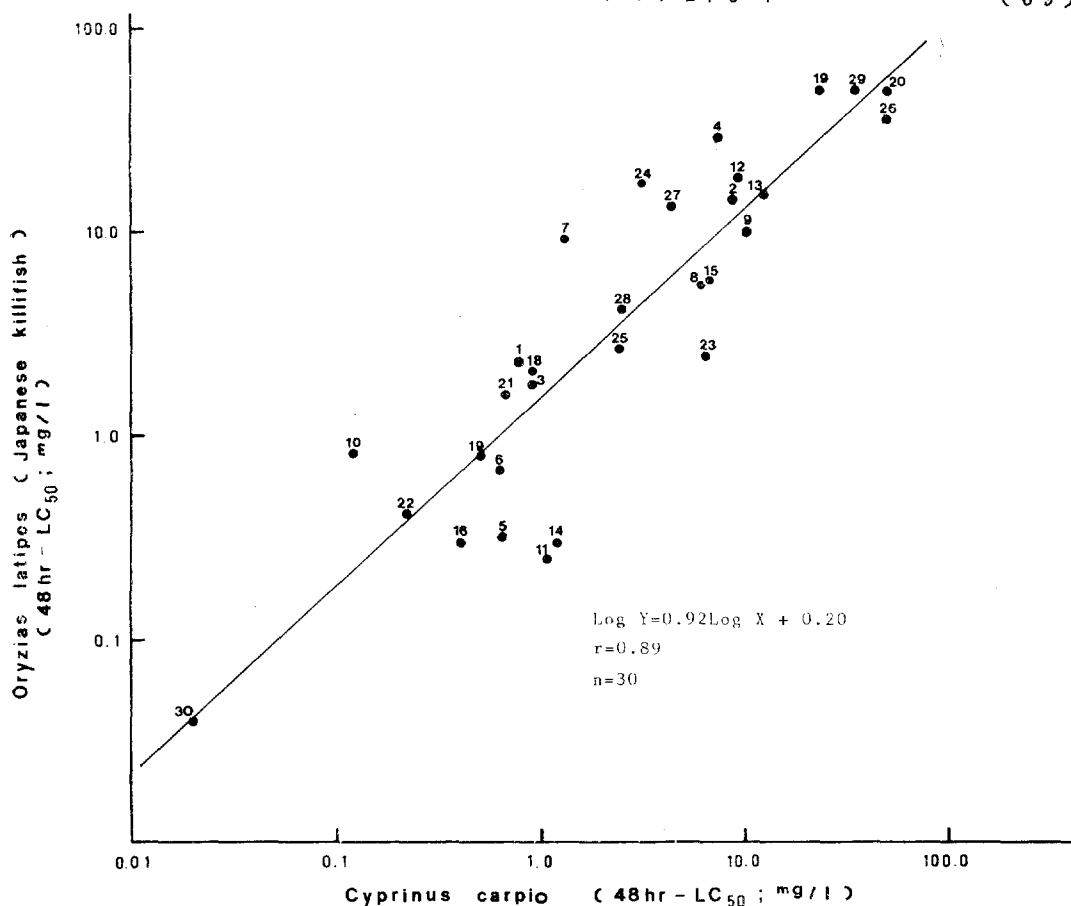


Fig. 1. Correlation between susceptibilities of *Cyprinus carpio* and *Oryzias latipes* (Japanese killifish) to pesticide formulations.

(Fig. 3) $r=0.93$ 으로 두 어종간에는 매우 높은 상관 을 보여 주었다. 따라서 우리나라 송사리와 일본산 송 사리의 경우는 농약에 대한 감수성이 매우 유사하여 서로의 농약 감수성 추정이 가능함을 알 수 있었다.

이렇게 볼때 잉어와 일본산 송사리가 농약에 대한 감수성이 비슷하고, 우리나라 송사리와 일본산 송사리가 농약에 대한 감수성이 매우 유사하므로 일본산 송 사리를 이용한 농약의 독성자료를 이용하여 잉어에 대 한 독성정도의 추정이 가능하다고 생각되며, 눈에 살 포되는 농약의 송사리에 대한 독성정도도 이 자료에 의하여 추정이 가능하다고 하겠다. 또한 본 연구실의 경험에 의하면 우리나라 송사리와 일본산 송사리를 실험실적 조건에서 사육했을 때 일본산 송사리가 번식, 형질의 균일성, 사육의 편의성에서 훨씬 유리하다고 판단되었다. 따라서 농약의 독성실험을 위한 실험어종 을 다양화하고, 년중 계속 개발되고 있는 농약의 독성 실험과 실험의 재현성을 높이기 위해서는 소규모 실험 실에서 쉽게 번식시킬 수 있는 일본산 송사리를 이용

한 농약의 독성실험도 가치성이 높다고 하겠다. 일본 에서도 이러한 송사리의 장점을 평가하여 田端¹²⁾는 송 사리를 이용한 표준시험법을 제안한 바 있다. 다만 앞 으로 극복해야 할 것은 특정 농약에 대한 뚜렷한 약제 감수성의 차이인데 우리나라 송사리와 잉어 및 일본산 송사리의 Isasofos 에 대한 감수성도 15~30 배 차이가 나고 Mefenacet+Buta 는 잉어가 일본산 송사리에 비 하여 약 20 배 예민하였다. 이러한 감수성의 차이가 Isasofos 의 경우는 우리나라 송사리의 내성 유발에 기 인하는지 또 Mefenacet+Buta 의 경우는 두 어종간의 생리적 기능의 차이인지는 아직 설명할 수 없었다. 따 라서 앞으로 이러한 감수성 차이의 원인을 구명하므로 서 어류에 대한 농약의 감수성 평가에 있어서 농약의 성질에 따른 올바른 실험어종의 선택이 가능하다고 하 겠다.

2. 실험기간중 Do의 변화

본 실험동안의 실험수조내의 온도는 Table 1에서 보

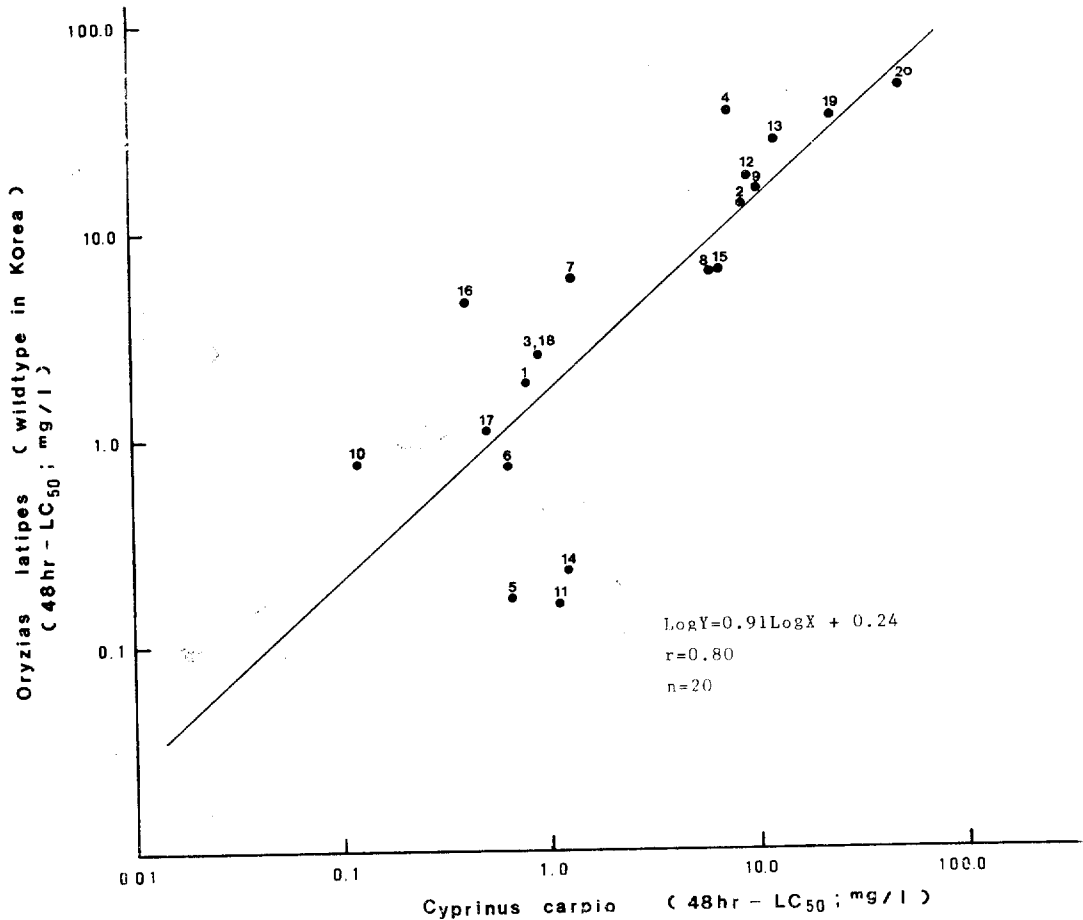


Fig 2. Correlation between susceptibilities of *Cyprinus carpio* and *Oryzias latipes* to pesticide formulations.

듯이 25°C 내외를 유지하였고, pH도 투여 농약, 실험 어류의 배설물등의 영향으로 변화가 예상되었으나, Table 1에서 보듯이 실험기간동안 대체로 6.6~7.5 수준을 유지하였다. 따라서 수조내의 수온과 pH는 실험 어류의 감수성에 별다른 영향을 주지 않았을 것으로 판단되었다.

그러나 실험기간동안 실험수조내 DO의 변화를 보면 (Fig. 4) 송사리나 일본산 송사리의 경우는 실험기간 동안 포화농도의 60%이상 수준을 유지하고 있는 반면에 잉어의 경우는 실험초기는 8.0mg/l 이상으로 포화농도에 가까웠으나 실험시작 24시간후에는 DO가 2 mg/l 정도로 떨어져서 실험이 끝날 때까지 이 수준을 유지하고 있음을 볼 수 있었다. 즉 대기중에서 확산되는 산소에 비하여 수조내 공시된 잉어가 섭취하는 산소량이 너무 많았기 때문에 용존산소량이 급격히 감소된 것으로 생각된다.

그런데 일반적인 독성실험에 있어서 어류에 대한 농

약의 독성 발현은 온도, pH, 용존산소등의 영향을 받는다고 알려져 있는데^{10,13,14)} 본 실험의 경우는 각 어종에 있어서 온도, pH, 조건은 거의 비슷하므로 이에 의한 영향은 무시할 수 있으나 용존산소는 어종간에 큰 차이를 보이고 있으므로 용존산소의 부족으로 인한 어류의 농약에 대한 민감도의 변화는 클 것으로 예상된다. 그런데 농약의 독성실험시에 요구되는 조건중 실험수조내의 용존산소는 포화농도 60%이상의 수준을 유지하도록 요구되고 있으며^{3,4,5,6)} 이렇게 하므로써 실험어종에 대해 생리적 영향을 주지 않으면서 농약의 독성을 평가할 수 있다고 할 수 있으며, 만일 실험수조내의 용존산소가 매우 낮아지는 경우는 농약의 독성과 용존산소의 결핍이 서로 어류의 생리적 변화에 기여하기 때문에 농약의 독성을 정확하게 평가하기 어렵다고 하겠다. Pickering¹⁴⁾ 및 Adelman¹⁵⁾에 의하면 bluegill 및 goldfish에 대한 Zn과 Hydrogen sulfide의 독성이 DO가 낮을수록 높았다고 하며, Lloyd¹⁷⁾는

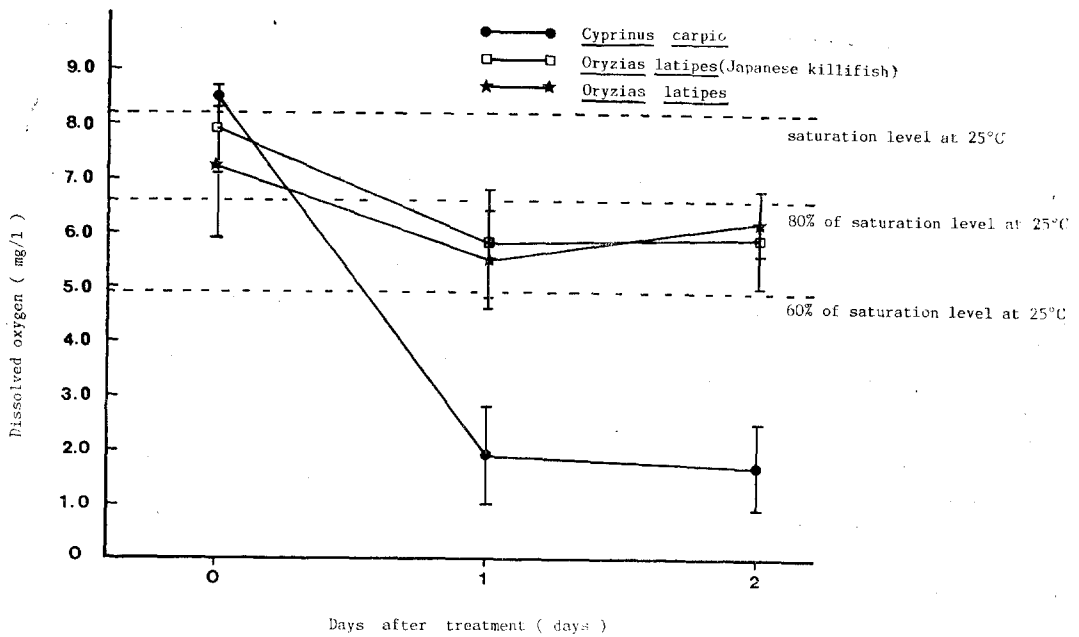
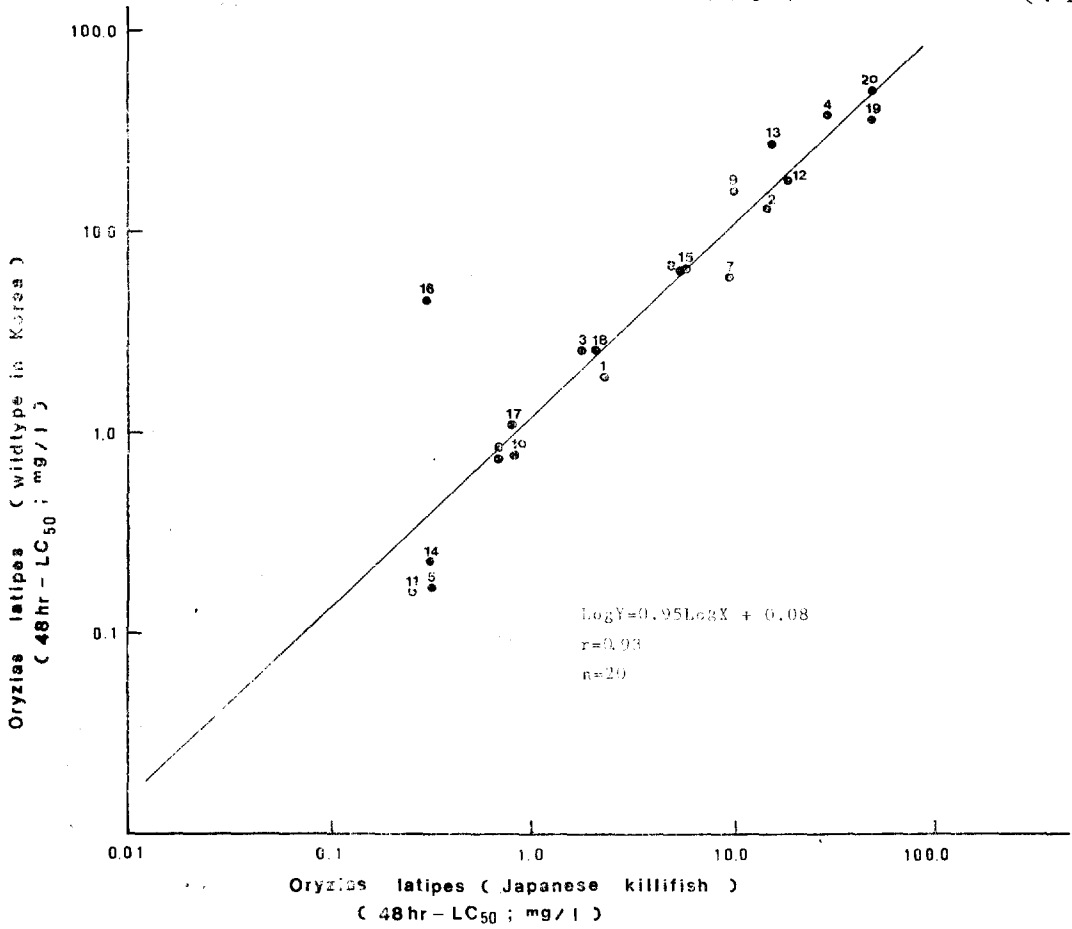


Fig. 4. Changes of dissolved oxygen concentration in the test chambers within 48 hr with static method.

DO 농도가 낮을 때 ammonia의 독성이 약 1.5~2.5 배 증가한다고 하였고 Hicks 등⁽¹⁸⁾도 paper mill 유출수의 독성이 DO가 낮아지면 1.3 배 증가한다고 보고한 바 있다. 또한 화학물질의 어독성 실험방법중에서 continuous flow system에 의한 실험결과가 static system에서의 결과보다 LC₅₀ 값이 낮은데 이러한 결과도 실험수조내의 DO가 부족한 것이 한 원인이라고 한다.^{14, 19)}

이와같이 실험수조내의 DO는 농약의 독성발현에 영향을 줄수 있음이 확인되었고, 따라서 본 실험에서 잉어에 대한 농약의 독성값은 정상적인 조건에서 실험한 값보다 낮게 나왔을 것으로 생각된다. 그러므로 농약의 잉어에 대한 독성을 평가하기 위해서는 정상적인 실험조건에서 실시되어야 하며 이를 위해서는 현재 실시되고 있는 독성시험법에 대한 제검토가 있어야 할 것으로 사료된다.

요 약

잉어(*C. carpio*), 송사리(*O. latipes*), 일본산 송사리(*O. latipes*)등 3종의 담수산어류에 대한 30개 농약의 급성독성(48hr-LC₅₀)을 평가하여 각 어종간 농약에 대한 감수성의 상관관계를 비교하였다.

어종간 농약감수성의 상관관계는 잉어와 송사리는 r=0.80, 잉어와 일본산 송사리는 r=0.89로 비교적 높은 편이나, 송사리와 일본산 송사리의 상관관계는 r=0.93으로 매우 높았다. 따라서 일본산 송사리의 실험결과로 잉어 및 송사리의 농약 감수성을 예측할 수 있을 것으로 생각되었다.

그리고 우리나라의 잉어에 대한 어독성실험 지침은 실험수조내의 DO가 2mg/l 정도까지 떨어지므로 실험 지침에 대한 검토가 있어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Murty, A.S.(1986) : Toxicity of pesticides to fish. Vol. I.
2. Anon. (1978) : Aquatic toxicology comes of age, ASTM conference heard the recent developments in this emerging discipline, Environ. Sci. Technol., 12 : 23.
3. APHA-AWWA-WPCF (1981) : Standard methods for the examination of water and wastewater. (15th. ed.), Washington, DC.
4. U.S. EPA (1978) : Methods for measuring the

- acute toxicity of effluent to aquatic organisms, EPA 600/4-78-012.
5. U.S. EPA (1980) : Proposed guidelines for deriving water quality criteria for the protection of aquatic life and its uses, Fed. Register, 5 : 79.
6. OECD (1984) : OECD guideline for testing of chemicals, Section 2, Effects on biotic systems.
7. Nishiuchi, Y. (1974) : Testing methods for the toxicity of agricultural chemicals to aquatic organisms, Japan Pesticides Information, 18 : 15.
8. 농촌진흥청(1982) : 농약의 실험기준과 방법, 농촌진흥청 고시 제21호.
9. U.S, EPA (1978) : Guidance for premanufacture testing; Discussion of policy issues alternative approaches and test methods, Federal Register, 44 : 16240.
10. Macek, K.T., Hutchinson, C. and Cope, O.B, (1969) : Susceptibility of bluegills and rainbow trout to selected species, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 4 : 174.
11. 江上信雄(1981) : 實驗動物としての魚類—基礎實驗法と毒性試驗, ソフトサイエンス社.
12. 田端健二(1972) : ヒメダカを供試魚とする TLM 標準實驗法の提案, 用水と廢水, 14 : 1297.
13. Sprague, J.B. (1985) : Factors that modify toxicity, In: Fundamentals of aquatic toxicology (G.M. Rand & S.R. Petrocelli eds.), Hemisphere Publishing Co.
14. Nimmo, D.R.(1985) : Pesticides, In: Fundamentals of aquatic toxicology (G.M. Rand & S.R. Petrocelli eds.), Hemisphere Publishing Co.
15. Pickering, Q.H. (1968) : Some effects of dissolved oxygen concentrations upon the toxicity of zinc to the bluegill, *Lemopsis macrochirus*, Water Res., 2 : 187.
16. Adelman, I.R. and Smith, L.L., Jr. (1972) : Toxicity of hydrogen sulfide to goldfish (*Carassius auratus*) as influenced by temperature, oxygen and bioassay techniques, J. Fish Res. Board Can., 19 : 1309.
17. Lloyd, R. (1961) : Effect of dissolved oxygen concentrations on the toxicity of several poisons to rainbow trout (*Salmo gairdnerii* R.), J. Exp. Biol., 38 : 447.
18. Hicks, D.B. and DeWitt, J.W.(1971) : Effects of dissolved oxygen on kraft pulp effluent toxicity, Water Res., 5 : 693.
19. 이성규, 박철원, 노경구(1984) : 농약의 급성어독성과 처리방법에 따른 독성의 변화, 한국환경농학회지, 3 : 45.