

## 농약에 대한 잉어(*C. carpio*)와 송사리(*O. latipes*)의 급성독성 상관성 및 감수성

배철한\* · 박연기<sup>1</sup> · 김연식 · 조경원 · 이석희 · 정창국 · 이규승<sup>2</sup>

한국삼공(주) 농업연구소, <sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>충남대학교

(Received on February 7, 2012. Revised on February 25, 2012. Accepted on March 14, 2012)

### Correlation and Sensitivity of Acute Toxicity of Pesticides on the Common Carp(*C. carpio*) and Killifish(*O. latipes*)

Chul-Han Bae\*, Yeon-Ki Park<sup>1</sup>, Yeon-Sik Kim, Kyung-Won Cho, Suk-Hee Lee, Chang-Kook Jung and Kyu-Seung Lee<sup>2</sup>

Agricultural Research Center, Hankooksamgong Co. Ltd., <sup>1</sup>Rural Development Administration, <sup>2</sup>Dept of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University

#### Abstract

The recommended species in fish acute toxicity test for pesticide registration in Korea are common carp (*Cyprinus carpio*), killifish (*Oryzias latipes*) and loach (*Misgurnus anguillicaudatus*). But most of fish toxicity was evaluated using common carp. The common carp has several problems such as difficulty of room breeding, difference of sensitivity to breeding condition, limited experimental period, etc. For that reason, it is necessary to reexamine of test species. The present study investigated the sensitivity and correlation of LC<sub>50</sub> values that determined using the acute toxicity test with common carp and killifish. And this study is a realistic approach to evaluate appropriate species for fish acute toxicity test of pesticide. As a result, correlation coefficient (R) of the common carp and killifish was high correlation of 0.8480 and the LC<sub>50</sub> values was not significant in the interspecies sensitivity. When the LC<sub>50</sub> values of common carp and killifish was compared with fish toxicity guideline in Korea, fish toxicity class has fluctuated in 18 pesticides with not very special tendency. Therefore, it is necessary to review of killifish has more advantage to standardization of fish culture and in the side of correlation and sensitivity of acute toxicity.

**Key words** *C. carpio*, *O. latipes*, pesticide, correlation, sensitivity

#### 서 론

우리나라의 농약 등록을 위한 어독성 평가시 사용되는 시험종은 잉어(*Cyprinus carpio*)이다. 그러나 농약의 일반화학 물질이나 방역약품의 경우 대부분 송사리(*Oryzias latipes*)를 대상으로 시험을 하고 있다. 이처럼 다양한 종류의 화학물질

에 의해 나타날 수 있는 수생생물의 영향을 평가한다는 동일한 목적을 가지고 있음에도 같은 환경에서 다른 생물종을 대상으로 시험하고 있는 실정이다. 미국이나 EU국가에서는 농약등록을 위한 시험어류에 있어서 냉수어와 온수어에 대한 급성독성성적을 요구하고 있고 이러한 시험종은 실내 계대사육이 가능하며, 시간적으로나 공간적으로 경제적이고 독성자료도 풍부한 종으로 사용하고 있다. 또한 이들 시험 종에 대해서는 만성독성시험에서도 동일종이 사용되고 있어 생체 위

\*Corresponding author: Tel. +82-70-7459-0647

Fax. +82-63-546-6084, E-mail. baech@30agro.co.kr

해성 평가의 종에 대한 일관성을 보여주고 있다. 그러나 우리나라 농약의 어독성 평가에 사용되어지는 잉어의 경우, 사육을 위한 넓은 공간 확보와 자연 산란유도의 문제점으로 실내 계대 사육이 어려워 농약등록시험을 위해 대부분 각 지방 내 수면시험장이나 전문분양기관에서 사육된 치어를 분양받아 사용하고 있다. 이에 따른 분양기관의 잉어 사육밀도, 영양상태, 질병관리 방법 등의 차이에 따라 감수성의 차이가 예상된다(배 등, 2007). 또한 잉어의 연중 산란이 어렵기 때문에 분양시기가 1~2회로 한정되어 일시에 많은 양을 분양받아야 하므로 순화 및 사육의 어려움과 어독성시험 수행 가능시기가 짧아 시험일정에 문제점이 있다. 이러한 문제점들은 GLP (Good laboratory practice) 시험을 위한 시험생물의 순화와 공급 측면과 시험수행을 위한 시간적인 측면에서 중요한 사안이 아닐 수 없다.

2012년부터 우리나라는 신규농약 등록을 위한 어독성시험 자료를 GLP 시험 성적으로 제출하도록 하고 있다. 그러므로 GLP 시험을 위해서는 표준시험법에 따른 시험수행과 시험생물의 사육 관리의 표준화가 되어 있어야 한다. 그러나 현재 표준 시험법에 따라 수행될 어독성시험의 시험생물인 잉어는 여러 사육기관에서 분양을 받아 사용하는 실정이며, 이러한 사육기관에서의 사육관리방법은 독성시험을 위한 시험생물 관리방법으로 적당하지 않아 독성시험종으로써 검증이 필요한 실정이다.

이에 반해 국제적으로 많이 사용되는 시험종인 송사리(*O. latipes*)는 실내 사육공간 확보가 용이하고 사육조건 조절로 연중 산란유도가 가능하여 안정적인 시험생물의 공급과 국내외의 풍부한 시험자료를 바탕으로 시험 신뢰성 확보에 많은 이점이 있다.

농림부 보고서(1999)에 따르면 우리나라 서식 담수어 개체수와 상대풍부도 조사에서 잉어는 0.33%로 미꾸리(2.24%)와 대륙송사리(0.71%)보다 낮게 조사되었다. 또한, 이 보고서에서는 송사리를 실내시험을 위한 시험어종으로 추천하고 있다. 송사리는 내분비계장애물질에 대한 뛰어난 감수성과 발암물질, 방사성물질에 대한 연구에까지 이용되고 있는 생태독성시험에서는 대표적인 표준시험종이며(일본환경성, 2003), 잉어와 독성 상관성이 높다고 보고된 바 있다(이 등, 1987). 그리고 사육 및 유지관리 측면에서 송사리는 실내 사육이 용이하고 사육방법도 표준화되어 있어 시험 수행기간의 제한이 없으며, 다양하고 많은 화학물질을 대상으로 독성시험이 이루어지고 있다. 그리고 현재 우리나라 어독성을 연구하는 시험실에서 많이 사육되고 있는 종이기도 하다.

이에 본 연구에서는 국내 분양기관에서 분양받은 잉어와

시험종으로써 적당한 조건을 갖추고 있다고 판단되는 사육실에서 계대사육되는 송사리를 이용하여 농약 70종에 대한 급성독성시험을 실시하였으며, 송사리와 잉어와의 두 시험종간의 감수성 비교와 상관성을 파악하고자 하였다. 또한, 국외 데이터베이스를 이용하여 같은 조건에서 시험된 잉어와 송사리의 LC<sub>50</sub>값을 조사하여 두 시험종간의 상관관계를 알아보았다. 그리고 현재 국내의 어독성 분류기준에 따라 잉어와 송사리의 어독성 등급을 분류하고 분류 등급의 변동과 경향성을 파악하여 잉어와 송사리의 독성값에 대한 상호 예측 가능성을 검토하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 시험물질

급성독성시험에 사용된 시험물질은 국내 등록된 농약 70종을 대상으로 하였으며, 살균제 30종, 살충제 23종, 제초제 16종, 기타 1종이다.

### 시험생물

시험생물로 송사리(*O. latipes*)와 잉어(*C. carpio*)를 사용하였으며, 송사리는 2~3 cm, 0.2~0.3 g, 잉어는 3~5 cm, 0.5~0.8 g 정도의 개체를 선별하여 시험하였다.

### 시험방법

#### 1. 담수어류 급성독성시험

급성독성 시험방법은 농약의 등록시험 기준과 방법(농촌진흥청고시 제 2006-18호) 및 OECD guideline(1992)에 따라 실시하였다.

### 자료 조사

농약과 농약 외 일반화학물질에 대한 잉어와 송사리 독성을 조사하고자 인터넷을 이용해서 독성자료를 수집하였다. 농약에 대한 잉어와 송사리의 독성자료는 PAN pesticides database (<http://www.pesticideinfo.org>)에서 수집하였고, 농약 외 일반화학물질에 대한 독성자료는 ECOTOX Database(<http://www.epa.gov/ecotox>)에서 수집하였다. 독성자료는 동일한 시험 조건(Effect, Endpoint, Measurement, Media type, Duration, Concentration, Exposure type)에서 시험한 급성독성 결과(48시간 LC<sub>50</sub>)만을 취하였고 농약에 대한 독성 평가시 실제 환경노출 가능성이 낮을 뿐만 아니라 농약 등록시험 기준과 방법의 한계시험 농도인 10 mg/l 이상으로 나타난 독성값은

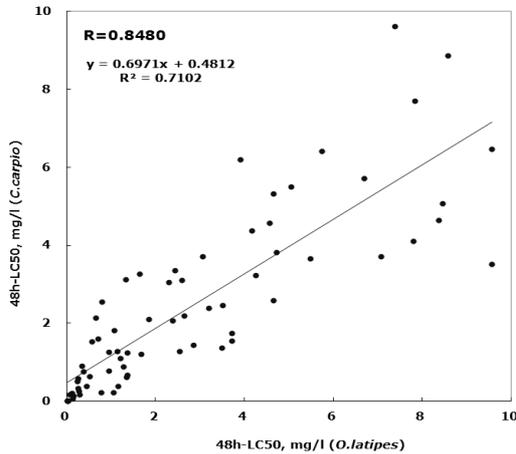


Fig. 1. The correlation of 48h-LC<sub>50</sub> to 70 pesticides.

제외하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 잉어와 송사리의 급성독성 상관성

농약 70종을 대상으로 잉어와 송사리에 대한 48시간 급성 독성시험을 수행하여 LC<sub>50</sub>값을 산출하였다. LC<sub>50</sub>값을 이용하여 잉어와 송사리의 독성에 대한 상관성을 파악하고자 상관계수(correlation coefficient)를 구하였다. 그 결과 상관계수(R)가 0.8480로 상관성이 높게 나타났다(Fig. 1). 그리고 시험농약을 용도별, 제형별로 분류하여 그 LC<sub>50</sub>값에 대한 상관성을 파악하였다.

#### 1) 농약의 용도별 상관성(Table 1)

농약을 살균제(30종), 살충제(23종), 제초제(16종)로 분류하여 상관계수를 비교하였다. 그 결과, 농약의 용도에 관계없이 대부분의 농약에서 잉어와 송사리 독성값의 상관성은 높았다. 그리고 농약의 용도별로 잉어와 송사리 사이의 독성반응을 보면 살균제 30종 중 19종에서 잉어에 대한 독성이 높게 나타났고 살충제에서는 23종 중 6종에서 잉어의 독성이 높게 나타났으며, 제초제에서는 16종 중 11종에서 잉어의 독성이 높게 나타났다.

Table 1. Correlation coefficient of pesticide class

Pesticide class	No. of pesticide	Correlation coefficient(R)
Fungicide	30	0.8921
Insecticide	23	0.7711
Herbicide	16	0.8548

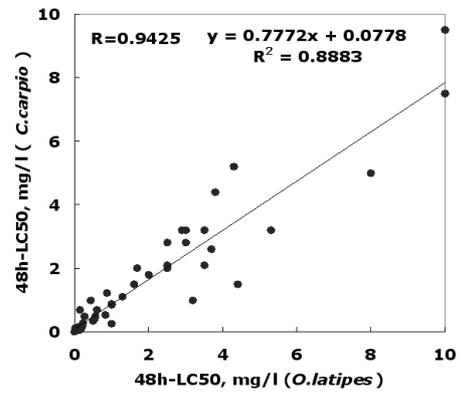


Fig. 2. The correlation of 48h-LC<sub>50</sub> to 66 chemicals exclusive of pesticide (ECOTOX Database).

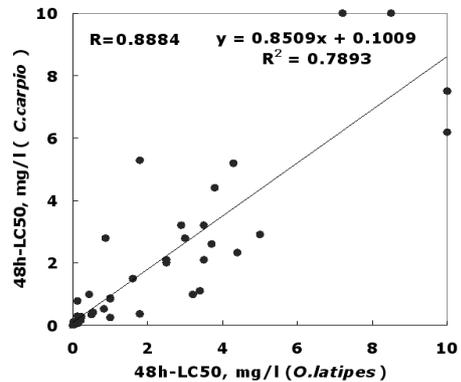


Fig. 3. The correlation of 48h-LC<sub>50</sub> to 54 pesticides(PAN database).

#### 2) 농약의 제형별 상관성(Table 2)

농약의 제형별로 분류하여 시험종간의 상관계수를 구하였다. 그 결과, 농약의 제형 변화에 큰 영향 없이 모든 제형에서 0.8 이상의 높은 상관성을 가지고 있었다. 제형별로 본 농약의 독성 경향은 입제, 수화제, 입상수화제와 같은 고체상의 농약 34종 가운데 송사리에 대한 독성이 높은 농약이 25종으로 현저하게 높았고, 유제, 액제, 액상수화제와 같은 액체상

Table 2. Correlation coefficient of pesticide type

Formulation type	No. of pesticide	Correlation coefficient(R)
Granule(GR)	14	0.9024
Emulsifiable concentrate(EC)	21	0.8049
Wettable powder(WP)	12	0.9009
Suspension concentrate(SC)	10	0.9273
etc.(WG/WS/OBL/EW/SE/DC/CS)	13	0.9373

농약 36종에서는 잉어의 독성이 높은 농약이 27종으로 높게 나타났다.

3) 자료 조사(Fig. 2, Fig. 3)

데이터베이스를 이용하여 농약과 농약 외 일반화학물질을 대상으로 잉어와 송사리에 대한 48시간 LC<sub>50</sub>값을 수집하였다. 일반화학물질은 66종에 대한 독성값을 수집하였고, 농약은 54종의 독성값을 수집하였다. 일반화학물질에서의 잉어와 송사리의 LC<sub>50</sub>값 상관계수(R)는 0.9425, 농약에서의 상관계수(R)는 0.8884로 상관성이 높게 확인되었다(Fig. 2, Fig. 3).

2. 시험농약에 대한 잉어와 송사리의 감수성(Fig. 4, Fig. 5)

잉어와 송사리의 급성독성에 대한 감수성 비교 결과, 전체 시험농약 70종 가운데 송사리에 독성이 높은 농약은 33종(47.1%)으로 독성값(LC<sub>50</sub>)의 단순비교에서 보면 송사리의 감수성이 조금 낮게 나타났다. 그리고 시험농약을 살균제, 살충제, 제초제로 분류하여 잉어와 송사리에 대한 감수성을 비교하였을 경우 살균제는 11개(36.7%) 농약, 살충제는 17개(73.9%) 농약 그리고 제초제는 5개(31.3%) 농약에서 송사리에 대한 감수성이 높게 나타났으며(Fig. 4), 시험농약을 제형별로 비교해 보면 입제(GR)는 11개(84.6%) 농약, 유제(EC)는 5개(23.8%) 농약, 수화제(WP)는 9개 농약(64.3%), 액상수화제(SC)는 2개 농약(20%), 그리고 기타 제형은 6개 농약(46.2%)에서 송사리에 대한 감수성이 높았다(Fig. 5). 이와 같이 시험농약을 용도별, 제형별로 LC<sub>50</sub>값을 비교한 결과 각 분류조건에 따라 감수성의 차이가 나타났으나 이러한 감수성의 차이는 독성값을 단순히 비교한 것이므로 시험농약의 개수와 독성값의 편차(95% 신뢰구간)를 감안한다면 감수성의

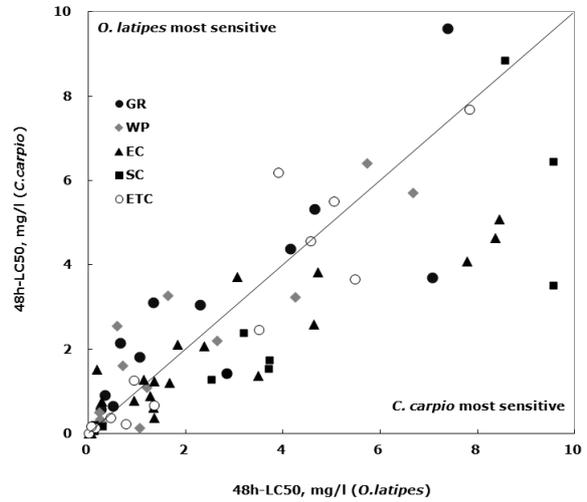


Fig. 5. The sensitivity of 48h-LC<sub>50</sub> to pesticide formulation types.

차이를 판단하기는 어렵다.

3. 시험농약의 어종별 48시간 LC<sub>50</sub>값에 의한 어독성 분류(Table 3)

70종의 시험농약의 잉어와 송사리에 대한 급성독성값(48시간 LC<sub>50</sub>)을 현재 국내 농약의 어독성 분류 방법에 따라 분류하였다(Table 3). 70종의 시험농약 중 18종(25.7%)에서 어독성 등급의 변동이 발생하였다. 특히, 농약 어독성 분류상 중요하게 평가되는 I급과 II급의 변동은 8종으로써 11.4% 정도로 나타났으며, 등급의 상하 변동에서는 비슷한 비율로 확인되었다. 그러므로 농약 어독성 분류에서 동일한 조건으로 송사리의 독성값에 적용했을 경우 어독성 등급의 변동이 발생하였고 두 시험생물종의 감수성의 차이가 일관성이 없어 등급의 상하 변동을 예측하기는 힘들었다. 또한, 전체적으로 시험농약과 시험종간의 특정한 경향성은 보이지 않았다.

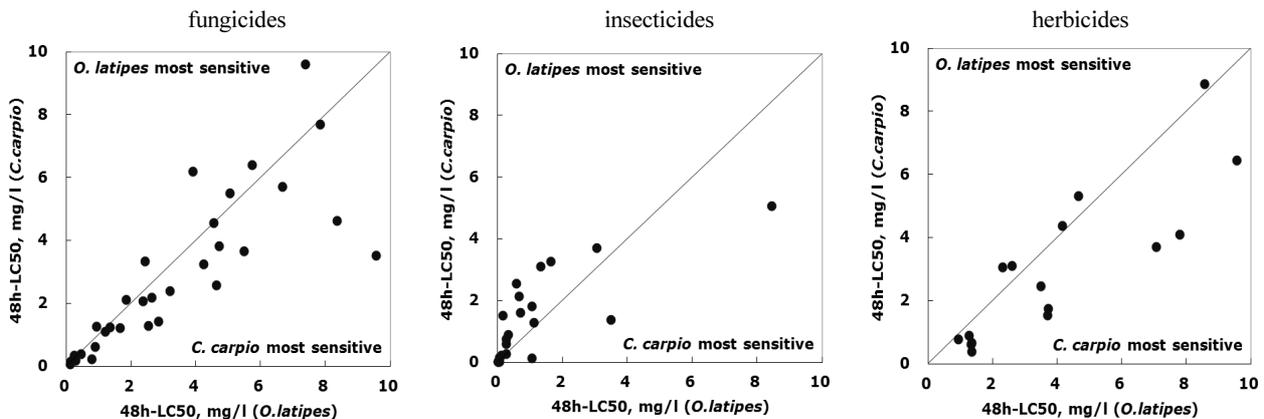


Fig. 4. The sensitivity of 48h-LC<sub>50</sub> to pesticide classes.

Table 3. Toxicity class of test pesticides to fish species

Test Pesticides	Toxicity class	
	<i>C. carpio</i>	<i>O. latipes</i>
1*	III <sup>a)</sup>	II <sup>b)</sup>
2*	II	I <sup>c)</sup>
3*	III	II
4	III	III
5**	II	III
6	III	III
7	III	III
8*	III	II
9**	I	II
10	III	III
11	I	I
12**	II	III
13**	I	II
14*	II	I
15*	III	II
16	II	II
17	II	II
18	I	I
19	II	II
20	II	II
21	I	I
22	III	III
23	II	II
24**	II	III
25**	II	III
26	III	III
27	II	II
28	III	III
29	II	II
30	III	III
31	II	II
32	I	I
33	I	I
34	III	III
35**	I	II

<sup>a)</sup>LC<sub>50</sub>≥2mg/l, <sup>b)</sup>0.5mg/l≤LC<sub>50</sub><2mg/l, <sup>c)</sup>LC<sub>50</sub><0.5mg/l

Fluctuation of toxicity classification by the change in test organism(*C. carpio* → *O. latipes*)

: \*Rising toxicity class, \*\*Falling toxicity class

## 결론

농약에 대한 잉어와 송사리의 급성독성값을 이용하여 두 시험종간의 상관성과 감수성을 파악하고자 어류 급성독성시험을 수행하였다. 그 결과, 두 시험종간 독성값의 상관성은 높은 수준(R=0.8482)이며 감수성에도 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 시험농약의 용도와 제제의 형태에 따

Test Pesticides	Toxicity class	
	<i>C. carpio</i>	<i>O. latipes</i>
36	II	II
37**	II	III
38	III	III
39	III	III
40	III	III
41*	I	II
42	III	III
43	III	III
44	I	I
45	III	III
46	II	II
47*	II	I
48	III	III
49	III	III
50	III	III
51	III	III
52	III	III
53	III	III
54*	II	I
55	III	III
56	I	I
57	III	III
58	I	I
59	III	III
60	III	III
61	III	III
62	I	I
63	III	III
64	II	II
65	I	I
66	II	II
67	I	I
68*	III	II
69	III	III
70	I	I

른 독성값(LC<sub>50</sub>)의 특이한 경향성은 찾을 수 없었다. 그리고 현재 잉어를 기준으로 하는 어독성 분류에 따라 송사리의 LC<sub>50</sub>값에 적용했을 경우 어독성 등급에 일부 변동이 발생하였으나, 농약의 용도나 제형이 어독성 등급 변화에 미치는 영향은 알 수 없었다. 이러한 독성값의 단순비교뿐만 아니라, 다양한 시험종간의 독성 상관성과 감수성에 대한 구체적인 연구를 통해 어독성 시험에 있어 보다 적합한 시험어종을 선

택할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 송사리와 잉어의 감수성이나 상관성뿐만 아니라 시험생물의 사육관리와 효율적인 어독성시험 수행 측면에서 실험실 조건에 보다 적합하다고 판단되는 생물종으로 송사리를 추천하며, 현실적으로 국내의 GLP 어독성시험에 있어 시험생물의 안정적인 공급과 시험생물의 신뢰성을 위해서 분양기관의 국제적인 기준에 적합한 사육관리가 필요하다.

시험생물종의 구체적인 선정에 있어서 우선순위가 높은 것부터 선정해 가는 것이 기본이다. 하지만 OECD 등 국제적 조화 관점뿐만 아니라 국내 어독성시험의 기준 검토와 GLP 시험을 위한 적합한 시험생물종의 선정이 필요하다. 어독성 시험의 신뢰성을 확보하기 위해서는 시험생물의 공급이 적절하게 이루어져야 하며, 현재 국내 사육수준에 따른 실행가능성이나 감수성 차이를 감안하여 시험생물 선정에 있어서 충분한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

농림부 보고서 (1999) 농업환경 보존을 위한 농약의 표준생태독성 시험법 연구, 제4장 한국산 단수어류의 표준생태독성시험법 개발, 농업과학기술원, pp.184~281.

농촌진흥청 (2006) 농촌진흥청고시 제 2006-18호, 농약의 등록 시험기준과 방법.

배철한, 김연식, 이석희, 정창국, 박연기 (2007) 농약에 대한 잉어와 송사리의 중간 감수성 및 상관성, 한국농약과학회, KSPS 10th Anniversary International Symposium on Pesticide 2007, pp.170~170.

이성규, 신천철, 노정구 (1987) 농약에 대한 담수산 어류(잉어:*Cyprinus carpio*, 송사리:*Oryzias sinensis*, 일본송사리:*Oryzias latipes*)의 약제 감수성 비교, Korean J. Environ. Agric. Vol. 6(2) 66~72.

화학물질심사 및 제조 등의 규제에 관한 법(화심법) (2003), 어류급성독성시험, 일본환경성, pp.145~166.

OECD (1992) Guideline for Testing of Chemicals No. 203. Fish, Acute Toxicity Test.

Pesticide Action Network North America (2007) PAN pesticides database (<http://www.pesticideinfo.org>)

Ministry of the environment, Japan (2003) Medaka *Oryzias latipes*, Development of test methods and suitability of medaka as test organism for detection of endocrine disrupting chemicals.

U.S.EPA. (2007) ECOTOX(<http://www.epa.gov/ecotox>)

농약에 대한 잉어(*C. carpio*)와 송사리(*O. latipes*)의 급성독성 상관성 및 감수성

배철한\* · 박연기<sup>1</sup> · 김연식 · 조경원 · 이석희 · 정창국 · 이규승<sup>2</sup>

한국삼공(주) 농업연구소, <sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>충남대학교

**요 약** 국내 농약등록을 위한 어독성시험은 잉어(*Cyprinus carpio*)와 송사리(*Oryzias latipes*) 그리고 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)를 대상으로 하고 있으나, 어독성은 잉어에 대한 독성값으로 평가되어지고 있다. 그러나 잉어는 실내사육이 어렵고 사육환경에 따른 감수성 차이와 한정된 시험시기 등 문제점이 제기되고 있어 시험종에 대한 재검토가 필요하다. 본 연구에서는 잉어와 송사리에 대한 급성독성시험 결과를 이용하여 두 시험종간의 상관성과 감수성을 파악하고 농약 어독성시험을 위해 보다 현실적으로 적합한 시험종을 검토하고자 하였다. 급성독성시험은 국내 등록농약 70종에 대한 시험을 수행하였으며, 48시간 LC<sub>50</sub>값을 산출하여 비교하였다. 그 결과, 잉어와 송사리의 상관계수(R)가 0.8480로 상관성이 높았고 중간 감수성에 있어서 잉어와 송사리의 LC<sub>50</sub>값이 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 잉어와 송사리에 대한 LC<sub>50</sub>값을 현재 국내 어독성 분류 방법에 따라 분류하였을 경우, 18종 농약에서 분류 등급의 변동이 발생하였으나 특이한 경향성은 없었다. 그러므로 급성독성의 상관성 및 감수성 측면과 어류 사육에 대한 표준화 측면에서 잉어보다 유리한 송사리에 대해서 독성시험종으로서의 재검토가 필요하다.

**색인어** 잉어, 송사리, 상관성, 감수성, 농약