

뷰타클로르의 송사리에 대한 독성시험

박연기* · 김병석 · 신진섭 · 배철한¹ · 박경훈 · 이제봉 · 홍순성 · 조경원¹ · 이규승²
농업과학기술원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교 농업생명과학대학
(2007년 8월 7일 접수, 2007년 10월 13일 수리)

Toxicity Test of butachlor to Medaka

Yeon-Ki Park*, Byung-Seok Kim, Jin-Sup Shin, ¹Chul-Han Bae, Kyung-Hun Park, Jea-Bong Lee, Soon-Sung Hong, ¹Kyung-Won Cho and ²Kyu-Seung Lee

(Pesticide Safety Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, ¹Agricultural Research Center, Hankook Samsung Co., Ltd., ²Chungnam National University)

Abstract : In order to evaluate the toxic effects of butachlor, a herbicide widely used for control of weeds in paddy field, on medaka (*Oryzias latipes*), acute toxicity tests for five developmental stages and early life stage toxicity test of were conducted. As the results of acute toxicity test, 96h-LC_{50s} for 1 day, 1 week, 2 weeks, 2 months and 5 months after hatching of *O. latipes* were 0.68, 0.52, 0.38, 1.09 and 0.45 mg L⁻¹, respectively. This indicated that the most sensitive stage was 2 weeks after hatching. The early life stage toxicity test showed that no statistically significant hatching period and hatching success of embryo was observed at all concentrations of butachlor. However, 0.05 and 0.1 mg L⁻¹ of butachlor showed statistically significant post hatching survival with p<0.1. Abnormalities of larva were 2.1, 2.3 and 10% at 0.025, 0.05 and 0.1 mg L⁻¹ of concentration, respectively. They showed abnormal vertebral axis, craniofacial alteration and retarded yolk-sac resorption. The total length and weight were decreased depending on butachlor concentration the end of test. Weight of larva was showed more sensitive toxic indicator than total length. The toxicological responses of *O. latipes* to butachlor expressed as LOEC(lowest observed effect concentration), NOEC(no observed effect concentration) and MATC(maximum acceptable toxicant concentration) values were 0.025, 0.013 and 0.018 mg L⁻¹, respectively.

Key words : *Oryzias latipes*, Medaka, Acute Toxicity Test, Early Life-Stage Toxicity Test, Butachlor

서 론

여러 가지 환경유해물질들이 수서생물에 피해를 줄 수 있는데 특히 농약은 환경중에 직접 살포하기 때문에 어류에 대한 피해의 원인이 불분명할 경우에는 농약이 우선적으로 거론되기도 한다. 이것은 우리나라 농약사용량의 상당한 부분이 벼의 병해충과 논외 잡초방제에 사용되고 있어 이들 농약이 수계를 통해서 하천이나 호수에 유입될 가능성이 있기 때문이다(이, 1988). 또한 작물 등에 살포된 농약은 논외의 경우에 살

포시 비산(drift), 논물의 유출 또는 논물에 부유하고 있는 토양입자에 흡착된 상태의 유출로 수계에 혼입되고, 논 이외의 경우는 살포시 비산 또는 강우로 생기는 지표수에 의해 수계에 유입된다.

뷰타클로르는 2006년 기준 우리나라 벼재배용 제초제 전체 출하 성분량중 37%(713 ton)를 차지한다(농약연보, 2007). 잡초 특히 화분과 및 방동산이과 잡초인 피, 물달개비, 여뀌바늘, 발뚝외풀, 사마귀풀 등의 일년생잡초의 발아시에 효과적이며, 단백질의 생합성 저해를 통해 세포분열을 억제하여 생육을 저해한다(농약사용지침서, 2007). 토양중 미생물에 의해 주로 분해되며 토양흡착이 잘되어 토양중 이동성은 낮아 지표수중 농약 소실이 20~40일로 약제 지속기간이

*연락처 : Tel: +82-31-290-0584, Fax: +82-31-290-0508,
E-mail: pyk519@rda.go.kr

긴 것으로 보고되어 있다(정과 박, 1990; 문과 김, 2000).

송사리는 우리나라와 일본에 주로 분포하고(김과 박, 2002), 채란이 용이라고 수정란이 투명하여 육안 관찰이 쉽고 짧은 부화기간 등으로 실내사육 및 관리가 편리하여(Kirchen과 West, 1976; Egami와 Iwao, 1988) 독성시험에 많이 이용되고 있다(Villalobos 등, 2000; Bass, 2003; Kwak 등, 2000). 송사리의 산란 시기는 5~7월로 뷰타클로르의 사용시기와 비슷하여 수정란(embryo)과 치어(fry)시기에 영향을 미칠 가능성이 있다.

이에 본 시험은 송사리를 이용하여 뷰타클로르에 대하여 96시간 생육단계별 급성 독성시험을 통하여 치어와 성어(adult)의 감수성 차이를 조사하고, 수정란에서 부화후 30일까지 초기생활사 독성시험을 수행하여 수정란과 치어에 대한 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

시험물질

뷰타클로르(N-butoxymethyl-2-chloro-'2,'6-diethylacetanilide, 순도 85%)원제는 농업과학기술원 유해물질과에서 분양받았다.

시험생물

급성 독성시험은 농업과학기술원 농산물안전성부에서 사육중인 송사리 암수 10마리(♀6 : ♂4)를 5 L 수조에 넣어 산란 유도 하여 채란한 알을 부화시킨 후 생육단계별로 시험 하였고, 초기생활사 독성시험은 수정란으로 시험을 수행하였다.

생육단계별 급성 독성시험

농약의 등록시험기준과 방법(농진청, 2006)과 미국 EPA의 독성시험 가이드라인(US/EPA, 1996)에 준하여 시험하였다. 부화 후 1일된 치어, 난황흡수가 끝나고 아가미 뚜껑이 생성되어 활발히 자유 유영을 하는 1주된 치어, 지느러미와 비늘이 나타나기 시작하는 2주된 치어, 2차 성징이 뚜렷이 나타나 암수구분이 가능해지는 2개월된 어린 성어, 그리고 산란이 활발히 이루어지는 5개월된 성어로 5단계 나누어 96시간 동안 지수식(static)으로 시험하였다. 시험용 수조는 부화 후 1일~2주된 치어는 2 L원형유리수조(Φ14×H13 cm), 부화후 2~5개월된 성어는 5 L원형유리수조(Φ20×H26 cm)를 사용하였고, 각각 수조당 10마리씩 입

의 배치로 반복없이 노출시켰다. 시험 기간중에는 먹이를 공급하지 않았으며, 치사여부는 매 24시간마다 기록하였다. 시험기간중 수온의 변화는 ±1°C 를 초과하지 않게 하였으며, pH는 pH측정기(ORION Model 900A, USA), 용존산소량은 DO측정기(ORION Model 862A, USA)로 시험시작전·후에 측정하였다. 시험용수의 경도와 알칼리도는 CaCO₃기준으로 각각 52.4 mg L⁻¹와 30.7 mg L⁻¹이었다. 시험결과 분석은 EPA probit analysis program(version 1.5)으로 48시간과 96시간 반수치사농도(LC₅₀)와 95%신뢰구간을 산출하였다.

초기생활사 독성시험

초기생활사 독성시험은 국내 농약의 등록시험 기준과 방법(농진청, 2006)과 미국 EPA 독성시험 가이드라인(US/EPA, 1996)에 준하여 시험하였다. 수정란은 Kirchen과 West(1976)의 embryo stage 10~11의 포배기(blastula) 단계에 있는 것을 시험 농도당 60개(20개/반복)씩 사용하였다. 시험농도는 96시간 급성 독성시험에서 치사가 일어나지 않는 농도를 최고농도로 96시간 LC₅₀의 1/100 농도를 최저농도로 설정하였다. 대조구는 용매대조구와 무처리구를 두었다. 수정란은 100 mL 유리 비이커를 사용하였으며, 부화된 치어는 2 L 유리수조에 옮겨 시험을 계속 진행하였다. 노출방식은 반지수식(semi-static)으로 하였으며, 80%이상의 시험농도를 유지시키기 위하여 48시간마다 시험수를 교체하였다. 시험 기간동안 수온은 수정란은 24±1°C, 자어 및 치어는 23±2°C 로 일정하게 유지시켰다. 먹이는 부화후 3일부터 건조후 분말로 만든 새우(Lansy ZM), 7일 이후에는 갓 부화된 Brine shrimp를 1일 2회 급이 하였다. 시험기간은 수정란에서 시작하여 부화후 30일까지 수행하였다. 시험기간 동안 매일 수정란과 치어의 발달단계, 치사어, 이상어 발생을 관찰 기록하였고 시험 종료후 체중과 전장을 측정하였으며, 7일마다 pH, DO를 측정하였다. 시험결과는 분산분석(ANOVA, analysis of variance)을 통하여 유의성 여부를 확인한 후 LOEC과 NOEC 그리고 MATC를 결정하였다.

시험용액 중 잔류농도 분석

시험기간 중 시험농도를 80% 이상을 유지시키기 위해 시험시작일과 1일후, 2일후 시험용액을 채취하여 잔류농도를 측정하였다. 시험용액 농도 분석은 시험용수 100 mL을 취한 다음, 30 mL 포화식염수와 100 mL 증류수, 50 mL dichloromethane 로 분배한 다

Table 1. Operating conditions of GLC-ECD for the analysis of butachlor

Instrument :	HP 6890series Gas Chromatograph, Hewlett Packard, USA
Detector :	ECD
Column :	SPB TM -5(Fused silica capillary), 30 m×0.25 mm, 0.25 μm
Temperature :	Oven 200°C , Injector 250°C , Detector 310°C
Flow rate :	Carrier(N ₂) 1.2 mL min ⁻¹
Injection volume :	1 μL

Table 2. Concentrations of butachlor in test water

Nominal Concentration (mg L ⁻¹)	Measured concentration(mg L ⁻¹)		
	0 Day	1 Day	2 Day
0.75	0.75±0.05	0.72±0.01	0.69±0.02
0.50	0.49±0.02	0.48±0.04	0.46±0.03
0.33	0.31±0.01	0.28±0.01	0.27±0.05
0.22	0.21±0.03	0.20±0.03	0.18±0.01
0.15	0.16±0.03	0.15±0.01	0.13±0.01
0.10	0.09±0.01	0.10±0.01	0.09±0.00
Control	ND ^{a)}	ND	ND

^{a)}Not detected

Table 3. Acute toxicity of butachlor to different life stage of *O. latipes*

Life stage	LC ₅₀ , mg L ⁻¹ (95% confidence limit)		Ratio (48h/96h-LC ₅₀)
	48hrs	96hrs	
1 day	0.94 (0.63~1.52) ^{a)}	0.68 (0.52~0.94)	1.4
1 week	1.47 (1.20~2.35)	0.52 (0.41~0.68)	2.8
2 weeks	0.92 (0.72~1.27)	0.38 (0.28~0.50)	2.4
2 months	1.16 (1.04~1.31)	1.09 (0.97~1.23)	1.1
5 months	0.62 (0.51~0.76)	0.45 (0.37~0.51)	1.4

^{a)}95% confidence limits

음 농축기로 감압 농축 후 GC/ECD로 기기분석 하였고, 분석 조건은 표 1과 같다.

결과 및 고찰

시험용액 중 잔류농도 분석

시험용액 중 잔류농도를 분석한 결과, 48시간 후 측정농도는 처리농도의 82~93%로 나타났다(표 2). 이것을 근거로 시험용액 교체시기를 48시간으로 결정하고 시험용액의 전부를 교체하였다.

생육단계별 급성독성시험

표 3에서 보는 바와 같이 생육단계별 급성독성시험 결과, 부화 1일차 96시간 LC₅₀이 0.68 mg L⁻¹ 으로 부화 1주된 치어의 96시간 LC₅₀ 0.52 mg L⁻¹ 보다 감수성이 낮았다. 이렇게 부화 1일된 치어에서 감수성이 낮게 나타난 것은 자유 유영은 하지만 난황을 통해서 영양분을 공급 받고 아가미 뚜껍이 형성되지 않았기 때문인 것으로 추정된다. 부화 1주가 되면 활발한 먹이 활동과 아가미를 통한 호흡 증가 등으로 감수성이 높아져 부화 2주된 치어의 96시간 LC₅₀이 0.38 mg L⁻¹

Table 4. Hatching period, hatching success and post-hatching survival for *O. latipes* exposed to butachlor

Concentration (mg L ⁻¹)	Hatching Period (day)	Hatching Success (%)	Post-Hatching Survival (%)
0.1	7.8±0.1	87±7.6	77±4.0 ^{a)}
0.05	8.0±0.5	93±11.5	78±3.1 ^{a)}
0.025	8.3±0.3	97±2.9	83±3.8
0.013	8.2±0.6	97±5.8	81±3.1
0.006	8.4±0.6	97±2.9	84±4.5
0.003	7.9±0.2	97±2.9	81±5.2
Solvent control	8.1±0.4	98±2.9	85±6.0
Control	8.1±0.2	95±8.7	84±4.0

^{a)}p<0.1(results of one way ANOVA using Turkey's method)

으로 가장 높은 감수성을 보였다. 이것은 신 등(1987)의 뷰타클로르에 대한 송사리 생육단계별 감수성 변화에서 부화 후 1일 보다 부화 후 1주 치어 시기가 가장 민감하다는 보고와 유사하였다.

부화 후 2개월된 치어는 활발한 신진대사로 흡수 및 배출이 평형 상태가 되므로 96시간 LC₅₀이 1.09 mg L⁻¹로 감수성이 낮아지고 부화 5개월이 되면 산란과 흡수 및 배출의 균형이 깨어져 신진대사가 원활하지 못해 체내 축적 등으로 감수성이 높아지는 것으로 추정된다. 이것은 신 등(1987)의 부화 3주까지 감수성이 낮아지다가 부화 7주 이후부터 부화 후 28주까지 감수성이 높아진다는 보고와 유사한 양상을 보였다. 모든 생육단계에서 48시간에 비해 96시간 독성치가 1.1~2.8배 더 높게 나타나 노출시간이 늘어남에 따라 독성이 증가하여 Wolfgang 등(1995)의 농약의 수생물에 대한 독성은 수용해도와 log Pow 등과 같은 물리화학적 성질 보다는 물질의 노출시간과 관계가 있다는 보고와 일치하였다.

초기 생활사독성시험

송사리 수정란으로 부화후 30일간 초기생활사 독성 시험을 수행한 결과 표 4에서 보는 바와 같이 부화기

간은 7.8~8.4일로 모든 시험구에서 통계적인 차이가 없었다.

부화율은 0.003~0.05 mg L⁻¹ 농도에서 93~97%로 대조구와 차이가 없었으나

0.1 mg L⁻¹ 시험구에서 그림 2와 같이 안구형성이 되는 수정란 발달단계 stage 22(Kirchen과 West, 1976)에서 안구가 축소되거나, 치사로 인해 부화율이 87%로 조금 감소 하였지만 통계적으로 대조구와 유의한 차는 없었다(표 4).

부화 후 생존율은 용매대조구와 무처리구에서 80% 이상으로 EPA 시험 가이드라인(US/EPA, 1996)를 충족시켰고 0.03~0.025 mg L⁻¹에서도 통계적으로 대조구와 유의한 차가 없었지만, 0.05 와 0.1 mg L⁻¹농도에서는 90% 유의수준(p<0.1)에서 통계적으로 대조구와 유의성이 있는 것으로 나타났다(표 4). 이런 결과는 Woltering (1984)의 어류 만성독성 및 초기생활사 시험에서 부화율보다 부화후 생존율이 독성영향에 더 민감한 감소를 보여 독성지표로 적합하다는 보고와 유사하였다.

표 5에서 보는 바와 같이 시험 종료 후 생존한 개체 전장과 무게를 측정한 결과 농도와 상관성 있는 감소를 보였다. 0.003~0.025 mg L⁻¹ 농도에서의 송사

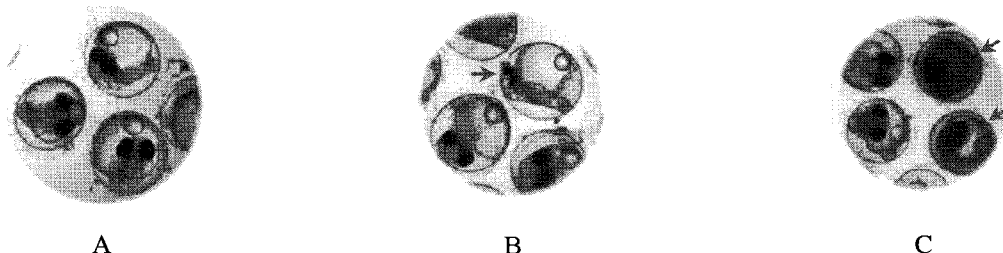


Fig 2. Morphological change of embryos. normal (A), reduced eyeball(B), and dead(C).

Table 5. Total length and weight of survival *O. latipes* to butachlor in early life stage toxicity test

Concentration (mg L ⁻¹)	Total length (mm)	Weight (mg)
0.1	13.7±1.95	20.2±5.21 ^{a)}
0.05	13.9±2.11	20.7±6.67 ^{b)}
0.025	14.2±2.03	22.8±4.21
0.013	14.1±2.10	23.4±8.18
0.006	14.2±1.78	25.1±8.42
0.003	14.2±2.34	25.2±5.24
Solvent	14.4±3.21	25.9±7.32
Control	14.5±1.38	26.4±5.98

^{a)}p<0.05, ^{b)}p<0.1(results of one way ANOVA using Turkey's method)

Table 6. Abnormal rate of *O. latipes* at the different concentrations of butachlor in early life stage toxicity test

Concentration (mg L ⁻¹)	No. of abnormal fish	Rate (%)
0.1	4	10
0.05	1	2.3
0.025	1	2.1
0.013	0	-
0.006	0	-
0.003	0	-
Solvent	0	-
Control	0	-

리의 전장과 무게는 통계적으로 대조구와 유의한 차이가 없었으나, 0.05 mg L⁻¹농도에서는 90% 유의수준(p<0.1)에서 통계적으로 대조구와 유의성이 있었으며,

0.1 mg L⁻¹농도에서는 95% 유의수준(p<0.05)에서 통계적으로 대조구에 비해 유의성 있는 감소를 보였다. 부화후 생존과 성장은 같은 감수성을 보여 상관관계가 있는 것으로 추정되었고, 송사리 성장 인자중 전장보다는 무게가 민감한 독성지표로 판단되었다.

표 6에서 보는 바와 같이 0.025, 0.05 그리고 0.1 mg L⁻¹에서 이상어 발생율은 각각 2.1, 2.3, 그리고

10% 발생하였고 주로 관찰된 이상어의 형태적 특징은 척추기형, 안면이상과 함께 난황의 흡수가 지연된 개체들이 나타났는데, 이런 개체들은 난 발생과정에서 영향을 받은 것으로 판단되며 시험도중 치사하였다(그림 3).

부화기간, 부화율, 부화 후 생존율, 전장과 무게의 변화, 이상어 발생율에 대한 측정값을 90%(p<0.1)와 95% 유의수준(p<0.05)으로 통계 처리하여 LOEC, NOEC 그리고 MATC 는 각각 0.025, 0.013 그리고 0.018 mg L⁻¹로 결정하였다(표 7).

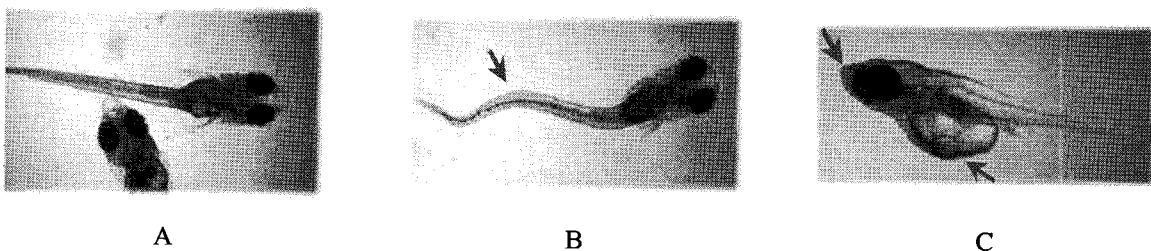


Fig 3. Morphological change of larva. normal (A), abnormal vertebral axis(B), and craniofacial alteration+retarded yolk-sac resorption(C).

Table 7. Summary of early life stage toxicity test with *O. latipes* exposed to butachlor

Endpoint	Concentration(mg L ⁻¹)							Solvent	Control
	0.1	0.05	0.025	0.013	0.006	0.003			
Hatching period(day)	7.8	8.0	8.3	8.2	8.4	7.9	8.1	8.1	
Hatching success(%)	87	93	97	97	97	97	98	95	
Post-hatching survival(%)	77 ^{a)}	78 ^{a)}	83	81	84	81	85	84	
Abnormal fish rate(%)	10	2.3	2.1	0	0	0	0	0	
Weight(mg)	20.2±5.2 ^{b)}	20.7±6.7 ^{b)}	22.8±4.2	23.4±8.2	25.1±8.4	25.2±5.2	25.9±7.3	26.4±6.0	
Length(mm)	13.7±1.9	13.9±2.1	14.2±2.0	14.1±2.1	14.2±1.8	14.2±2.3	14.4±3.2	14.5±1.4	
LOEC(mg L ⁻¹)	0.025								
NOEC(mg L ⁻¹)	0.013								
MATC(mg L ⁻¹)	0.018								

^{a)}p<0.1, ^{b)}p<0.05(results of one way ANOVA using Turkey's method)

이것은 신 등(1985)의 뷰타클로르를 송사리에 90일 노출 하였을 때 MATC 값이 0.04와 0.16 mg L⁻¹ 사이에 존재한다고 보고한 것과 다소 차이를 보였는데, 이는 야외에서 채집한 어린 송사리로 시험에 이용한 것으로 송사리의 생육단계 차이에 의한 것으로 판단되었다.

박 등(2003)은 뷰타클로르 5% 입제를 벼 재배논에 3 kg 10a⁻¹ 살포한 다음 7일간 논물 중 잔류농도를 조사한 결과 0.01~0.41 mg L⁻¹로 보고 하였다. 본 시험 결과에서 산출된 부화 후 2주 송사리 치어의 96시간 LC₅₀ 0.38 mg L⁻¹과 수정란과 치어에 대한 MATC 0.018 mg L⁻¹을 기준으로 하면 뷰타클로르 살포시기에는 논에 서식하고 있는 송사리의 수정란이나 치어에 영향을 줄 가능성이 있을 것으로 판단된다. 그러나 논은 농약의 사용이 당연하고 농작물이나 물 관리에 따라 변화하는 인위적인 생태계이기 때문에 논에 서식하는 생물을 보전해야 할 대상에 포함시키는 일은 곤란하다. 다만 논지에 서식하거나 논지를 이용하고 있는 조류(鳥類)나 그들의 먹이가 되는 생물이 농약에 오염되는 경우에는 예외적으로 대상에 포함하여 고려하여야 한다. 예를 들면 논에 서식하는 미꾸리의 경우 보호대상으로 삼아야 할 것이다(1999, 농림부).

그러나 농업과학기술원 보고서(1998)에 의하면 뷰타클로르의 사용시기인 6월에 우리나라 6대강 유역(한강, 금강, 낙동강, 영산강, 만경강, 섬진강)의 하천 수중 뷰타클로르 잔류농도는 0.0004~0.0029 mg L⁻¹로 조사되었다. 이것을 기준으로 하면 본 시험 결과에서

산출된 수정란과 치어에 대한 NOEC 0.013 mg L⁻¹보다 낮아 하천에서의 뷰타클로르의 송사리에 대한 영향은 없는 것으로 판단된다.

인용문헌

Bass E. L (2003) Effects of ethylene and propylene glycol on development and hatching success in the medaka, *Oryzias latipes*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 70:600~605.

Egami, N., O. Terao, and Y. Iwao (1988) Lifespan of wild populations of the fish *Oryzias latipes* under natural conditions. Zool. Sci.(Tokyo). 5:1149~1152.

EPA (1996) Ecological Effects Test Guidelines : OPPTS 850.1075 Fish Acute Toxicity Test, Freshwater and Marine.

EPA (1996) Ecological Effects Test Guidelines : OPPTS 850.1400 Fish Early- Life Stage Toxicity Test.

Kirchen R. V. and W. R. West (1976) The Japanese medaka. Its care and development. Carolina Biology Supply, Burlington, NC.

Kwak H. I., M. O. Bae, M. H. Lee, H. J. Sung, J. S. Shin, G. H. Ahn, Y. H. Kim, C. Y. Lee, and M. H. Cho (2000) Effects of Cartap on the Early-Life Stages of Medaka(*Oryzias latipes*). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 65:717~724.

Villalobos S. A., Teh S. J. Hamm J., and D. E. Hinton

- (2000) Thiobencarb-induced embryotoxicity in medaka(*Oryzias latipes*): stage-specific toxicity and the protective role of chorion. *Aquatic Toxicology* 48:309~326.
- Wolfgang Heger, Jung Simone-Jacqueline, Sabine Martin, and Horst Peter (1995) Acute and prolonged toxicity to aquatic organisms of new and existing chemicals and pesticides. *Chemosphere* 31(2):2707~2726.
- Wooltering D. M (1984) The growth response in fish chronic and early life stage toxicity tests: A critical review. *Aquatic Toxicology* 5:1~21.
- 김익수, 박종영 (2002) 한국의 민물고기. 교학사 pp.300~301.
- 농림부 (1999) 농업환경 보존을 위한 농약의 표준생태독성시험법 연구 pp.29.
- 농업과학기술원(1998) 시험연구사업보고서.
- 농촌진흥청(2006) 농약의 등록시험기준과 방법(농진청고시 2004-4호).
- 문영희, 김영석 (2000) Butachlor, Oxadiazon, Pretilachlor, Thiobencarb의 토양흡착 및 지표수중 소실. *한국잡초학회지* 20(1):32~38.
- 박연기, 박경훈, 주진복, 경기성, 김병석, 신진섭, 류갑희, 배철한, 이규승 (2003) 벼 재배 논 서식 미꾸리에 대한 농약의 영향. *한국농약과학회지*7(2):131~138.
- 신천철, 이성규, 김영배, 김용화, 노정구 (1987) 농약에 대한 송사리의 생육단계별 감수성의 변화. *한국환경농학회지* 6(1):50~60.
- 신천철, 이성규, 노정구 (1985) 제초제 butachlor의 송사리에 대한 아급성 독성. *한국환경농학회지* 4(2):118~125.
- 이서래 (1988) 환경독성학의 새로운 과제. *한국환경농학회지* 7(1):65~73.
- 정영호, 박영선 (1990) 농약학. *전국농업기술자협회* pp.422~424.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약사용지침서.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약연보.

뷰타클로르의 송사리에 대한 독성시험

박연기¹ · 김병석 · 신진섭 · 배철한¹ · 박경훈 · 이제봉 · 홍순성 · 조경원¹ · 이규승²

농업과학기술원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교 농업생명과학대학

요약 : 우리나라에서 널리 사용되고 있는 제초제인 뷰타클로르의 어류에 대한 독성영향을 알아보고자 송사리(*Oryzias latipes*, Medaka)의 생육단계별 급성 독성시험(acute toxicity test)과 송사리 수정란을 이용하여 초기생활사 독성시험(early-life stage toxicity test)을 수행하였다. 급성 독성시험결과 부화후 1일, 1주, 2주, 2개월 그리고 5개월된 송사리의 96시간 반수치사농도(LC₅₀)는 각각 0.68, 0.52, 0.38, 1.09 그리고 0.45 mg L⁻¹으로 부화 후 2주된 치어가 가장 높은 감수성을 보였다. 초기생활사 독성시험결과, 부화기간은 7~8일, 부화율은 87%이상으로 모든 시험구에서 통계적으로 대조구와 유의성이 없었다. 그러나 부화후 생존율은 0.05와 0.1 mg L⁻¹ 농도에서 90% 유의수준(p<0.1)에서 통계적으로 대조구와 유의성이 있었다. 이상어 발생율은 0.025, 0.05 그리고 0.1 mg L⁻¹ 농도에서 각각 2.1, 2.3 그리고 10%이었고 척추기형과 안면이상 및 난황 흡수가 지연되는 비정상적인 형태를 보였다. 시험 종료 후 생존한 송사리의 전장 및 무게 감소는 농도 상관성을 보였으며, 특히 송사리의 무게는 0.05 mg L⁻¹ 농도에서는 90% 유의수준(p<0.1)에서 통계적으로 대조구와 유의성이 있었고, 0.1 mg L⁻¹ 농도에서는 95% 유의수준(p<0.05)에서 통계적으로 대조구에 비해 유의성 있는 감소를 보여 송사리 성장 인지중 전장보다는 무게가 민감한 독성지표로 판단되었다. 이런 결과를 근거로 하여 최저영향농도(LOEC), 무영향농도(NOEC) 그리고 최대허용농도(MATC)는 각각 0.025, 0.013, 0.018 mg L⁻¹로 산출하였다.

색인어 : 송사리(*Oryzias latipes*), 급성독성시험, 초기생활사 독성시험, butachlor