

5종 농약에 대한 4종 담수조류(freshwater algae)의 감수성 비교

박연기* · 김병석 · 배철한¹ · 김연식¹ · 박경훈 · 이제봉 · 신진섭 · 홍순성 · 이규승² · 이정준³

농업과학기술원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교 농업생명과학대학, ³대구대학교 사범대학

(2008년 1월 7일 접수, 2008년 3월 10일 수리)

A Comparison of Sensitivity of Four Freshwater Algae to Five Pesticides

Yeon-Ki Park*, Byung-Seok Kim, Chul-Han Bae¹, Yeon-Sik Kim¹, Kyung-Hoon Park, Jea-Bong Lee, Soon-Sung Hong, Jin-Sup Shin, Kyu-Seung Lee² and Jung-Joon Lee³

Pesticide Safety Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, ¹Agricultural Research Center, Hankooksamgong Co., Ltd., ²Chungnam National University, ³Daegu University

Abstract

The purpose of the study was to determine the effects of isoprothiolane, diazinon, butachlor, dimethametryn and molinate in *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Chlorella vulgaris* and *Nitzschia palea* during an exposure period of 72 hours. The study was carried out in according with the OECD Guidelines for Testing of Chemicals No 201 Alga, Growth Inhibition Test. The toxicological responses of isoprothiolane to *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* expressed as in individual ErC₅₀ (Median Effective Concentration by growth rate) value, were 5.87, 9.91, 18.55 and 38.79 mg L⁻¹, respectively. Diazinone to *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* expressed as in individual ErC₅₀ value, were 10.31, 11.44, >32 and 14.32 mg L⁻¹, respectively. Butachlor to *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* expressed as in individual ErC₅₀ value, were 0.002, 0.019, 8.67 and 4.94 mg L⁻¹, respectively. Dimethametryn to *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* expressed as in individual EC₅₀ value, were 0.0071, 0.011, 0.0065 and 0.009 mg L⁻¹, respectively. Molinate to *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* expressed as in individual ErC₅₀ value, were 0.44, 1.26, 48.84 and 28.52 mg L⁻¹, respectively. The sensitivities of five pesticides were different depending on freshwater alga in the order of *S. capricornutum* > *S. subspicatus* > *C. vulgaris*, *N. palea*. Highly significant correlation (r=0.9677) based on ErC₅₀s were found between *S. capricornutum* and *S. subspicatus*.

Key words pesticide, green algae, diatom, growth inhibition, sensitivity

서론

수서 생물중 조류(藻類)는 수서생태계에 산소를 공급하고 동물성 플랑크톤, 갑각류, 수서곤충, 어류 등에게 피난처와 서식지 그리고 먹이를 제공하는 1차 생산자로서 먹이사슬에서 아주 중요한 위치를 차지하고 있다(Wang과 Freemark,

1995). 조류는 서식 밀도가 넓고 환경(pH, DO, 온도 등)변화와 독성물질에 대한 높은 감수성으로 생태계 영향평가에서 어류, 물벼룩과 더불어 생태독성 시험 종으로 널리 사용되어 오고 있다(Arensberg 등, 1995; EPA, 1996; OECD, 2006; 농진청, 2007). 이에 따라 외국에서는 오래전부터 독성물질에 대한 조류 중간 감수성을 비교하는 연구가 활발히 진행되어 오고 있으나(Slooff 등, 1983; Peterson 등, 1994; Fairchild 등, 1997; Saenz 등, 1997; Renata 와 Blahoslav,

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

1999; Sabater와 Carrasco, 2001; Ma 등, 2004) 국내에는 농약의 대한 조류에 대한 감수성 연구는 미흡한 실정이다.

우리나라에서 사용되는 벼 재배용 농약은 농약 전체 출하 성분량중 30%(6,389 ton)를 차지하고 있어 이들 농약의 일부가 수계를 통해서 하천으로 유출될 가능성이 높아 수서생물에 대한 평가는 더욱 중요한 의미를 갖는다(농약연보, 2007). Isoprothiolane 은 벼의 도열병과 이삭마름병 방제에 주로 사용되며 벼재배용 살균제 전체 출하량 중 51%(999 ton)으로 사용량이 많은 편이다. Diazinon은 벼재배용 살충제 전체 출하량 중 3%(89 ton)로 사용량은 미미하지만 벼의 이화명나방, 흰등멸구, 끝동매미충, 애잎굴파리, 벼잎굴파리, 벼줄기굴파리, 벼이삭 선충 그리고 흑다리긴노린재 등의 해충 방제에 사용된다. Butachlor와 molinate 는 피, 물달개비, 여뀌바늘, 발독외떡, 사마귀풀 등의 논외의 일년생 잡초 방제제로 벼재배용 제초제 전체 출하량중 각각 37%(719 ton)와 15%(297 ton)로 사용량이 많은 편이다. Dimethametryn은 논외의 일년생잡초 방제용으로 출하량 1%미만으로 사용량은 적지만 조류방제에 효과가 우수한 것으로 알려져 있다(농약연구소, 1993; 한국작물보호협회, 2007).

이에 본 연구는 담수 조류중 국내 및 OECD와 미국 EPA 독성시험 추천종인 녹조류 *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus* 그리고 *Chlorella vulgaris*와 담수중 가장 널리 분포하고 각종 물고기의 먹이가 되는 규조류(농약연구소, 1993; Seckbach, 2007)중 *Nitzschia palea*의 5종의 농약에 대한 감수성 차이를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

시험생물

본 시험에 사용한 *S. capricornutum* ATCC 22662, *S. subspicatus* 86.81 SAG, *C. vulgaris*, *N. palea*는 대구대학교 사범대학 생물학과 육수학 연구실에서 분양받았다.

시험농약

Isoprothiolane(diisopropyl 1,3-dithiolan-2-ylidenemalonate, 순도 95.2%), diazinon(O,O-diethyl O-2-isopropyl-6-methylpyrimidin-4-yl phosphorothioate, 순도 95%), butachlor(N-butoxymethyl-2-chloro-2',6-diethylacetanilide, 순도 93.4%), dimethametryn(N²-(1,2-dimethylpropyl)-N⁴-ethyl-6-methylthio-1,3,5-triazine-2,4-diamine, 순도 97.6%) 그리고 molinate(S-ethyl azepane-1-carbothioate, 순도 95.8%)는 농업과학

기술원 농약평가과에서 분양받아 사용하였다.

시험방법

조류 성장저해시험은 OECD 화학물질 시험가이드라인(OECD 201, 2006) 그리고 미국 EPA 생태영향 시험가이드라인(US/EPA OPPTS 850.5400, 1996)에 준하여 수행하였다. 시험시작 4일전에 시험조건과 동일한 조건에서 전배양을 하여 지수 성장기에 도달한 조류를 시험에 사용하였다. 농약별 본 시험농도를 알아보기 위하여 250 mL 삼각플라스크에 100 mL 배지를 넣고 조류를 10⁴ cell/mL 되게 처리하여 예비시험을 수행하였다. 녹조류 *S. capricornutum*, *S. subspicatus* 그리고 *C. vulgaris*는 24±1°C, 6,000~8,000 Lux, 규조류 *N. palea*는 20±1°C, 2,000~3,000 Lux에서 100 rpm으로 72시간 배양하였다. 시험시작 24, 48, 그리고 72시간 후에 현미경 아래에서 hemocytometer를 이용하여 cell수를 조사하였다. pH는 시험시작전과 종료시에 측정하였고 온도는 매 24시간 측정하였다. 본 시험 농도는 예비시험 결과에 기초하여 최저농도는 조류의 성장에 대한 영향이 관찰되지 않도록 하고, 최고농도는 대조구와 비교하여 50%이상 성장저해가 관찰되도록 설정하였다. 처리농도는 5농도이상 하였고 농도당 3반복으로 하였다. 조류의 성장율 기준으로 EC₅₀(Median Effective Concentration by growth rate)를 구하였고 회귀분석을 통해 중간 상관계수를 산출하였다.

결과 및 고찰

Isoprothiolane의 조류에 대한 72시간 성장저해시험 결과, *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*는 각각 5.54~9.97, 6.4~12.8, 19.6~53.78 그리고 16.2~52.49 mg L⁻¹에서 통계적으로 대조구와 유의한 성장저해를 보였다(표 1). Diazinon은 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*에 대해 각각 3.33~13.33, 2~8, 32 그리고 11.25~25.31 mg L⁻¹에서 대조구에 비해 유의한 성장저해를 보였고 *S. subspicatus*은 16 mg L⁻¹에서 치사하였다(표 2). Butachlor의 경우, *S. capricornutum*은 0.0016~0.0032 mg L⁻¹에서 대조구와 유의한 차를보였고 0.0064 mg L⁻¹에서는 치사하였다. *S. subspicatus*은 0.0032~0.0256 mg L⁻¹에서 대조구와 유의한 성장저해를 보였고 *C. vulgaris*는 8.01~12.02 mg L⁻¹에서 대조구와 유의한 차를 보였고 18.02 mg L⁻¹에서는 치사하였다. *N. palea*는 5.25~9.45 mg L⁻¹에서 대조구와 유의차를 보였다(표 3). Dimethametryn

의 경우 *S. capricornutum*은 0.0038~0.0098 mg L⁻¹에서 대조구와 유의차를 보였다. *S. subspicatus*는 0.0052~0.0169 mg L⁻¹에서 대조구와 유의차를 보였고 0.0304 mg L⁻¹에서는 치사하였다. *C. vulgaris*와 *N. palea*는 각각 0.002~0.0084와 0.004~0.032 mg L⁻¹에서 대조구와 유의차를 보였다(표 4).

Molinate의 경우 *S. capricornutum*은 0.39~1.0 mg L⁻¹에서 대조구와 유의차를 보였다. *S. subspicatus*은 1.23~2.22 mg L⁻¹ 대조구와 유의한 성장저해를 보였으나 3.99 mg L⁻¹에서는 치사하였다. *C. vulgaris*와 *N. palea*는 각각 36~81과 25.92~83.98 mg L⁻¹에서 대조구와 유의차를 보였다(표 5).

표 6에서 보는 바와 같이 isoprothiolane의 경우 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*

에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 5.87, 9.91, 18.55 그리고 38.79 mg L⁻¹이었고, diazinon의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 10.31, 11.44, >32 그리고 14.32 mg L⁻¹이었다. Butachlor의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris*, 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 0.002, 0.019, 8.67, 그리고 4.94 mg L⁻¹이었다. 이것은 Ma 등(2002)이 보고한 butachlor의 *C. vulgaris*에 대한 96시간 EC₅₀값 8.61 mg L⁻¹과 유사하였다. Dimethametryn의 경우 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 0.0071, 0.011, 0.0065 그리고 0.009 mg L⁻¹이었으며, molinate의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C.*

Table 1. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of freshwater algae treated with isoprothiolane

<i>S. capricornutum</i>			<i>S. subspicatus</i>			<i>C. vulgaris</i>			<i>N. palea</i>		
mg L ⁻¹	μ ^{a)}	Ir ^{b)}	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir
Control	0.060	0	Control	0.062	0	Control	0.084	0	Control	0.034	0
0.95	0.060	0	0.8	0.060	3.2	14	0.084	0	5	0.036	-5.9
1.71	0.058	3.3	1.6	0.062	0	19.6 ^{c)}	0.029	62.5	9	0.033	2.9
3.08	0.059	1.7	3.2	0.061	1.6	27.44 ^{c)}	0.006	92.8	16.2 ^{c)}	0.031	8.8
5.54 ^{c)}	0.038	36.7	6.4 ^{c)}	0.053	14.5	38.42 ^{c)}	0.012	85.7	29.16 ^{c)}	0.030	11.8
9.97 ^{c)}	0.001	98.3	12.8 ^{c)}	0.021	66.1	53.78 ^{c)}	0.021	75.0	52.49 ^{c)}	0.009	73.5

Table 2. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of freshwater algae treated with diazinon

<i>S. capricornutum</i>			<i>S. subspicatus</i>			<i>C. vulgaris</i>			<i>N. palea</i>		
mg L ⁻¹	μ ^{a)}	Ir ^{b)}	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir
Control	0.061	0	Control	0.060	0	Control	0.074	0	Control	0.034	0
0.83	0.060	1.6	1	0.058	3.3	2	0.074	0	5	0.035	-2.9
1.67	0.060	1.6	2 ^{c)}	0.053	11.7	4	0.067	9.4	7.5	0.036	-5.9
3.33 ^{c)}	0.056	8.2	4 ^{c)}	0.050	16.7	8	0.074	0	11.25 ^{c)}	0.026	23.5
6.66 ^{c)}	0.054	11.5	8 ^{c)}	0.045	25.0	16	0.072	2.7	16.88 ^{c)}	0.002	94.1
13.33 ^{c)}	0.021	65.6	16 ^{d)}	-	-	32 ^{c)}	0.063	14.9	25.31 ^{c)}	0.001	97.0

Table 3. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of freshwater algae treated with butachlor

<i>S. capricornutum</i>			<i>S. subspicatus</i>			<i>C. vulgaris</i>			<i>N. palea</i>		
mg L ⁻¹	μ ^{a)}	Ir ^{b)}	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir
Control	0.057	0	Control	0.059	0	Control	0.065	0	Control	0.034	0
0.0004	0.058	-1.7	0.0016	0.060	-1.7	3.56	0.066	-1.5	0.90	0.034	0
0.0008	0.056	1.7	0.0032 ^{c)}	0.054	8.5	5.34	0.065	0	1.62	0.034	0
0.0016 ^{c)}	0.038	33.3	0.0064 ^{c)}	0.049	16.9	8.01 ^{c)}	0.062	4.6	2.92	0.034	0
0.0032 ^{c)}	0.016	71.9	0.0128 ^{c)}	0.043	27.1	12.02 ^{c)}	0.014	78.4	5.25 ^{c)}	0.017	50.0
0.0064 ^{d)}	-	-	0.0256 ^{c)}	0.020	66.1	18.02 ^{d)}	-	-	9.45 ^{c)}	0.001	97.0

vulgaris 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 0.44, 1.26, 48.84 그리고 28.52 mg L⁻¹이었다. 이것은 Sabater 등 (1998)이 보고한 molinate에 대한 *S. subspicatus*와 *C. vulgaris*의 96시간 EC₅₀값 0.63과 38 mg L⁻¹과 유사하고 Okamura (2002) 등이 보고한 molinate에 대한 *S. capricornutum*의 72시간 EC₅₀ 0.62 mg L⁻¹와 큰 차이가 없었다. 그러나 Ma 등(2002)이 보고한 molinate의 *C. vulgaris*에 대한 96시간 EC₅₀값 13.02 mg L⁻¹와는 다소 차이가 있었다.

5종 농약에 대한 조류 4종의 72시간 ErC₅₀값으로 시험종간 상관관계를 알아본 결과, *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*는 높은 상관관계($r=0.9677$)를 보인 반면 다른 종간에는 상관성이 낮았다(그림 1).

농약 5종의 조류 4종에 대한 감수성은 조류 종에 따라 차이를 보였고 농약의 농도가 증가함에 따라 성장율도 감소하였다. 이것은 Ferraz 등(2004)이 propanil 등 3종의 농약에 대한 *S. subspicatus* 등 4종의 조류에 대한 성장저해시험 결

Table 4. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of freshwater algae treated with dimethametryn

<i>S. capricornutum</i>			<i>S. subspicatus</i>			<i>C. vulgaris</i>			<i>N. palea</i>		
mg L ⁻¹	μ ^{a)}	Ir ^{b)}	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir
Control	0.057	0	Control	0.058	0	Control	0.078	0	Control	0.034	0
0.0015	0.056	1.7	0.0029	0.057	1.7	0.0013	0.075	3.8	0.002	0.032	5.9
0.0024	0.057	0	0.0052 ^{c)}	0.043	25.9	0.002 ^{c)}	0.062	20.5	0.004 ^{c)}	0.023	32.3
0.0038 ^{c)}	0.050	12.3	0.0094 ^{c)}	0.036	37.9	0.0033 ^{c)}	0.055	29.5	0.008 ^{c)}	0.016	52.9
0.0061 ^{c)}	0.038	33.3	0.0169 ^{c)}	0.019	67.2	0.0052 ^{c)}	0.048	38.5	0.016 ^{c)}	0.012	64.7
0.0098 ^{c)}	0.015	73.7	0.0304 ^{d)}	-	-	0.0084 ^{c)}	0.033	57.7	0.032 ^{c)}	0.006	82.3

Table 5. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of freshwater algae treated with molinate

<i>S. capricornutum</i>			<i>S. subspicatus</i>			<i>C. vulgaris</i>			<i>N. palea</i>		
mg L ⁻¹	μ ^{a)}	Ir ^{b)}	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir	mg L ⁻¹	μ	Ir
Control	0.057	0	Control	0.058	0	Control	0.069	0	Control	0.032	0
0.15	0.057	0	0.38	0.054	6.9	16	0.068	1.4	8	0.031	3.1
0.24	0.054	5.3	0.68	0.053	8.6	24	0.068	1.4	14.4	0.029	9.4
0.39 ^{c)}	0.039	35.1	1.23 ^{c)}	0.038	34.5	36 ^{c)}	0.052	24.6	25.92 ^{c)}	0.023	28.1
0.63 ^{c)}	0.009	84.2	2.22 ^{c)}	0.001	98.3	54 ^{c)}	0.029	58.0	46.66 ^{c)}	0.003	90.6
1.0 ^{c)}	0.008	86.0	3.99 ^{d)}	-	-	81 ^{c)}	0.006	91.3	83.98 ^{c)}	0.002	93.7

^{a)} Average specific growth rates, ^{b)} % inhibition of growth rate

^{c)} $p < 0.05$, ^{d)} Lethal concentrations

Table 6. ErC₅₀ values of five pesticides to freshwater algae

Pesticide	ErC ₅₀ (mg L ⁻¹)			
	<i>S. capricornutum</i>	<i>S. subspicatus</i>	<i>C. vulgaris</i>	<i>N. palea</i>
Isoprothiolane	5.87 (4.97~7.09) ^{a)}	9.91 (8.91~11.34)	18.55 (17.06~21.06)	38.79 (35.83~42.72)
Diazinon	10.31 (9.23~11.88)	11.44 (10.63~13.36)	>32	14.32 (14.02~14.67)
Butachlor	0.0022 (0.002~0.0025)	0.019 (0.016~0.024)	8.67 (7.23~10.41)	4.94 (3.84~6.39)
Molinate	0.44 (0.36~0.57)	1.26 (1.04~1.54)	48.84 (46.19~51.81)	28.52 (26.89~30.36)
Dimethametryn	0.0071 (0.0056~0.012)	0.011 (0.0053~0.023)	0.0065 (0.0055~0.0082)	0.009 (0.005~0.017)

^{a)} 95% confidence limits

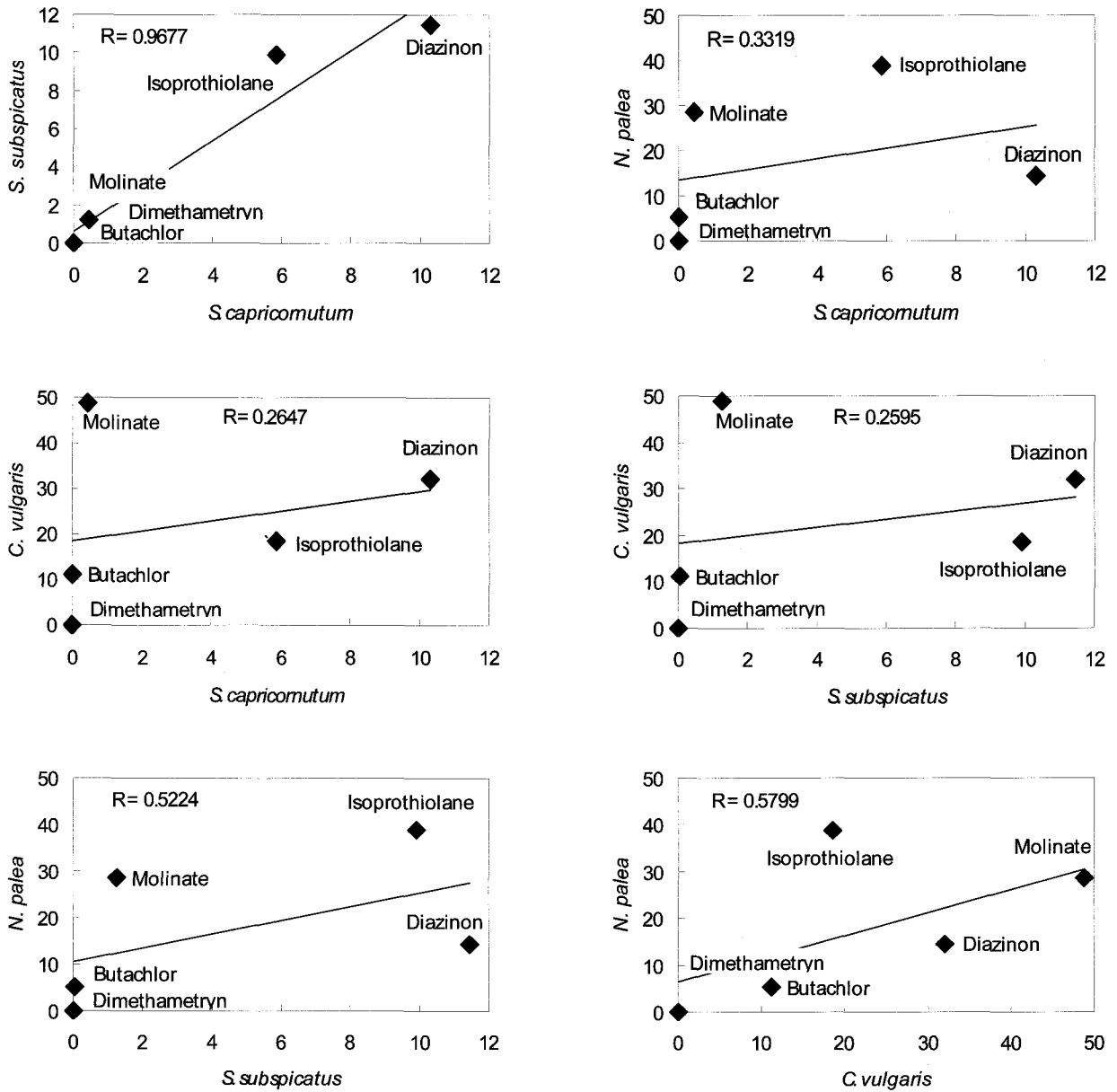


Fig. 1. Correlation of ErC₅₀s of five pesticides on four algae species.

과 농약별 조류에 대한 감수성 차이를 보였고 농도가 증가함에 따라 성장저해도 증가하였다는 보고와 일치하였다. 또한 Peterson 등(1997)은 haxazinone과 diquat에 대한 녹조류, 규조류, 남조류 그리고 개구리밥에 대한 독성시험 결과 조류 종 및 농약에 따라 감수성 차이가 나타난다고 보고하였다. *S. capricornutum*은 모든 농약에 대해 감수성이 가장 높았으며 *C. vulgaris*는 감수성이 낮게 나타났다. Kasai와 Hatakeynma (1993)는 *C. vulgaris*가 *S. capricornutum* 보다 감수성이 낮은 것은 세포벽이 두껍고 효소활성이 높은 *C. vulgaris*의 특성 때문인 것으로 보고하였고, Kent와 Currie(1995)는 농약

의 조류에 대한 감수성은 조류 표면적과 부피의 비(S/V ratio), 조류의 지질(lipid)함량 등과 높은 상관관계가 있어 *C. vulgaris*의 모양이 원형으로 *S. capricornutum* 보다 상대적으로 표면적이 작아 농약의 세포내 침투가 적고 세포내 지질 함량이 8배 낮기 때문에 친유성을 띤 농약이 세포막의 지질과 결합을 통한 체내 확산이 적게 일어나기 때문에 감수성이 낮다고 하였다. Kasai(1999)는 농약의 조류에 대한 감수성 시험에서 *C. vulgaris*와 *N. palea*가 *S. capricornutum*와 *S. subspicatus* 보다 내성(tolerance)을 가지는 것은 상대적으로 세포벽이 두꺼워 세포 속으로 농약 침투가 적었기 때문이라고

했다. 또한 Renata와 Blahoslav(1999), Sabater 등(2002)도 농약에 대한 녹조류 감수성 비교 실험에서 *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*이 *C. vulgaris* 보다 감수성이 높았다고 보고하였다.

농약별 조류 감수성을 알아본 결과, isoprothiolane은 *S. capricornutum* > *S. subspicatus* > *C. vulgaris* > *N. palea* 순이었고, diazinon, butachlor 그리고 molinate는 *S. capricornutum* > *S. subspicatus* > *N. palea* > *C. vulgaris* 순이었다. Dimethetryn은 *C. vulgaris* > *S. capricornutum* > *N. palea* > *S. subspicatus* 순이었다. Lewis(1995)가 남조류와 규조류는 성장이 느리고 배양하기가 까다로운 반면 녹조류 *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*는 배양이 용이하여 다루기 쉽고 감수성이 뛰어나 독성 시험 종으로 추천한 것과 같이 본 연구에서도 농약에 대한 조류종간 성장저해 차이는 있었지만 *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*가 *C. vulgaris*와 *N. palea*에 비해 감수성이 높아 독성 시험 종으로 적당한 것으로 판단되었다.

>> 참 / 고 / 문 / 헌

- Arensberg, P., V. H. Hemmingsen and N. Nyholm (1995). A miniscale algal toxicity test: Chemosphere 30(11):2103-2115
- EPA (1996) Ecological effects test guidelines OPPTS 850. 5400.
- Fairchild, J. F., D. S. Ruessler, P. S. Haverland and A. R. Carlson (1997) Comparative sensitivity of *Selenastrum capricornutum* and *Lemna minor* to sixteen herbicides. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 32:353~357.
- Ferraz, D. G. B., C. Sabater and J. M. Carrasco (2004) Effects of propanil, tebufenozide and mefenacet on growth of four freshwater species of phytoplankton: a microplate bioassay. Chemosphere 56:315~320.
- Kasai, F. and S. Hatakeyama (1993) Herbicide susceptibility in two green algae, *Chlorella vulgaris* and *Selenastrum capricornutum*. Chemosphere 27(5):899~904.
- Kasai, F. (1999) Shifts in herbicide tolerance in paddy field periphyton following herbicide application. Chemosphere 38(4):919~931.
- Kent, R. A. and D. Currie (1995) Predicting algal sensitivity to a pesticide stress. Environmental toxicology chemistry 14(6):983~991.
- Lewis, M. A. (1995) Use of freshwater plants for phytotoxicity testing; Environmental Pollution 87:319~336.
- Ma, J., F. Lin, R. Zhang, W. Yu and N. Lu (2004) Differential sensitivity of two green algae, *Scenedesmus quadricauda* and *Chlorella vulgaris*, to 14 pesticide adjuvants. Ecotoxicology and environmental safety 58:61~67.
- Ma, J., L. Xu, S. Wang, R. Zheng, S. Jin, S. Huang and Y. Huang (2002) Toxicity of 40 herbicides to the green alga *Chlorella vulgaris*. Ecotoxicology and Environmental Safety 51:128~132.
- OECD (2006) OECD guidelines for the testing of chemicals 201.
- Okamura, H., M. Piao, I. Aoyama, M. Sudo, T. Okubo and M. Nakamura (2002) Algal growth inhibition by river water pollutants in the agricultural area around Lake Biwa, Japan. Environmental pollution 117:411~419.
- Peterson, H. G., C. Boutin, P. A. Martin, K. E. Freemark, N. J. Ruecker and M. J. Moody (1994) Aquatic phyto-toxicity of 23 pesticides applied at expected environmental concentrations. Aquatic toxicology 28:275~292.
- Peterson, H. G., C. Boutin, K. E. Freemark and P. A. Martin (1997) Toxicity of hexazinone and diquat to green algae, diatoms, cyanobacteria and duckweed: Aquatic Toxicology 39:111~134.
- Renata, R. P. and M. Blahoslav (1999) Selection and sensitivity comparisons of algal species for toxicity testing. Chemosphere 38(14):3329~3338.
- Sabater, C. and J. M. Carrasco (1998). Effects of molinate on growth of five freshwater species of phytoplankton. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 61:534~540.
- Sabater, C. and J. M. Carrasco (2001) Effects of pyridaphenthion on growth of five freshwater species of phytoplankton. A laboratory study. Chemosphere 44:1775~1781.
- Sabater, C., A. Cuesta and R. Carrasco (2002) Effects of bensulfuron-methyl and cinosulfuron growth of four freshwater species of phytoplankton. Chemosphere 46:953~960.
- Saenz, M. E., J. L. Alberadi, W. D. D. Marzio, J. Accorinti and M. C. Tortorelli (1997) Parquat toxicity to different green algae. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 58:922~928.
- Seckbach, J. (ed, 2007) Algae and cyanobacteria in extreme environments. Springer 141~172.
- Slooff, W., J. H. Canton and J. L. M. Hermens (1983) Comparison of the susceptibility of 22 freshwater species to 15 chemical compounds. 1. (sub) acute toxicity tests. Aquatic toxicology 4:113~128.
- Wang, W. and K. Freemark (1995) The use of plants for environmental monitoring and assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety 30:289~301.
- 농약연구소 (1993) 논 조류 원색도감.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약사용지침서.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약연보.

5종 농약에 대한 4종 담수조류(freshwater algae)의 감수성 비교

박연기* · 김병석 · 배철한¹ · 김연식¹ · 박경훈 · 이제봉 · 신진섭 · 홍순성² · 이규승² · 이정준³

농업과학기술원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교 농업생명과학대학, ³대구대학교 사범대학

요 약 우리나라에서 사용되고 있는 벼재배용 농약 isoprothiolane, diazinon, butachlor, dimethametryn 그리고 molinate 등에 대한 녹조류 *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus* 그리고 *Chlorella vulgaris*와 규조류 *Nitzschia palea*의 성장저해시험 결과, isoprothiolane에 대한 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*의 72시간 ErC₅₀은 각각 5.87, 9.91, 18.55 그리고 38.79 mg L⁻¹이었고, diazinon의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*에 대하여 72시간 ErC₅₀은 각각 10.31, 11.44, >32 그리고 14.32 mg L⁻¹이었다. Butachlor에 대한 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris*, 그리고 *N. palea*의 72시간 ErC₅₀은 각각 0.002, 0.019, 8.67, 그리고 4.94 mg L⁻¹이었고, dimethametryn의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 0.0071, 0.011, 0.0065 그리고 0.009 mg L⁻¹이었다. 또한 Molinate에 대한 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*의 72시간 ErC₅₀은 각각 0.44, 1.26, 48.84 그리고 28.52 mg L⁻¹이었다. 5종 농약에 대한 4종 조류의 감수성 차이는 *S. capricornutum* > *S. subspicatus* > *C. vulgaris*, *N. palea* 순이었고, 녹조류 *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*는 높은 감수성 상관관계($r=0.9677$)를 보였다.

색인어 농약, 녹조류, 규조류, 성장저해, 감수성