

## Butachlor의 4종 담수조류(freshwater algae)에 대한 성장영향

박연기\* · 배철한<sup>1</sup> · 김병석 · 박경훈 · 이제봉 · 신진섭 · 홍순성 · 조경원<sup>1</sup> · 이규승<sup>2</sup> · 이정호<sup>3</sup>

농업과학기술원 농산물안전성부, <sup>1</sup>한국삼공(주) 농업연구소, <sup>2</sup>충남대학교 농업생명과학대학, <sup>3</sup>대구대학교 사범대학

(2008년 1월 13일 접수, 2008년 3월 7일 수리)

### Effects of Butachlor on Growth of Four Freshwater Algae

Yeon-Ki Park\*, Chul-Han Bae<sup>1</sup>, Byung-Seok Kim, Kyung-Hoon Park, Jea-Bong Lee, Jin-Sup Shin, Soon-Sung Hong, Kyung-Won Cho<sup>1</sup>, Kyu-Seung Lee<sup>2</sup> and Jung-Ho Lee<sup>3</sup>

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

#### Abstract

Algae are vital in the primary production of the aquatic ecosystem, having been considered as good indicators of the bioactivity of pesticides. Algae have short life cycle, respond quickly to environmental change and their diversity and density can indicate the quality of their habitat. The purpose of the study was to determine the growth inhibition effects of butachlor (Tech. 93.4%) and  $K_2Cr_2O_7$  (Tech. 99.5%) in *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Chlorella vulgaris* and *Nitzschia palea* during and exposure period of 72 hours. The toxicological responses of *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* to butachlor, expressed in individual  $ErC_{50}$  values were 0.0022, 0.019, 8.67 and 4.94  $mg L^{-1}$ , respectively. NOEC values were 0.0008, 0.0016, 5.34 and 2.92  $mg L^{-1}$ , respectively. *S. capricornutum* was more sensitive than the other algae species. The toxicological responses of *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* to  $K_2Cr_2O_7$  expressed as  $ErC_{50}$  values were 0.91, 0.78, 0.85 and 0.57  $mg L^{-1}$ , respectively. NOEC values were 0.2, 0.2, 0.2 and 0.18  $mg L^{-1}$ , respectively. Growth inhibition of *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* and *N. palea* from PEC of butachlor were 100, 75, 0 and 0%, respectively.

**Key words** butachlor, green algae, diatom, growth inhibition

## 서론

작물에 살포되는 농약이 수계로 유입되는 경향을 살펴보면 논에서는 살포시 비산되어 논물에 떨어진 것이 유출되거나 논물에 부유하고 있는 토양입자에 흡착된 상태로 유출되어 혼입된다. 한편 논 밖의 경우는 살포시 비산되었거나 강우에 의하여 지표수에 의해 수계에 유입된다. 이렇게 농수로에 유입된 잔류농약은 수서생물 또는 저니토 중에 노출된다(농

림부, 1999).

담수조류는 다양한 수서생태계의 생산자로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는데, 그중에서 녹조류(green algae)와 규조류(diatoms)는 농수로와 하천에 널리 서식하는 무리들로 수서생태계의 산소 공급원이며 1차 소비자인 동물성플랑크톤이나 물벼룩과 2차 소비자인 어류의 주요한 영양원이다 (Seckbach, 2007). 짧은 생활사(short-life cycle), 시험의 용이성(simple), 저렴한 시험비(low-cost), 민감한 감수성(sensitive) 등의 이유로 오래전부터 생태독성 연구에 자주 사용되었다 (Nyholm, 1989; McCormick와 Cairns, 1994; Lewis, 1995; Bozena 등, 1998; Okamura 등, 2002; Rioboo 등, 2002;

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

Ernesto 등, 2002). 외국에서의 조류에 대한 연구는 생장율, 산소생산량 그리고 클로로필 함량 등을 알아보는 생물 검정법(Sabater와 Carrasco, 1996; EPA, 1996; Leboulanger 등, 2001; Ferraz 등, 2004; OECD, 2006)을 주로 이용하여 농약의 독성영향을 평가하고 있고 자국의 환경관리를 위하여 적합한 생물종 개발도 활발히 진행되고 있으나(Slooff와 Hermens, 1983; Wong, 1985; Wang과 Freemark, 1995; Shizhong 등, 1997; Sabater와 Carrasco, 2001; Perschbacher, 2002) 우리나라의 경우에는 담수의 부영양화 피해나 논에서의 벼 생육에 미치는 직접적인 피해 등으로 인하여 아직은 조류를 방제대상으로 보고 있고 조류의 유익성이나 유해성에 관련된 연구는 미흡한 실정이다(농약연구소, 1993).

Butachlor는 우리나라 벼 재배용 제초제 전체 출하량 중 37%(원제기준 719 ton)로 화분과 및 방동산이과 잡초인 피, 물달개비, 여뀌바늘, 발톱외풀, 사마귀풀 등의 일년생 잡초를 방제하기 위하여 가장 널리 사용된다(농약사용지침서; 농약연보, 2007). 또한 토양중 이동이 낮고 지표수중 농약소실이 20~40일로 비교적 약제 지속기간이 길어 butachlor 사용시기인 6월중 하천수에서 검출되기도 한다(농과원 1998).

이에 본 연구는 우리나라, 미국, OECD 등에서 널리 사용되는 국제 표준 조류 시험종인 녹조류 3종 *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus* 그리고 *Chlorella vulgaris*와 담수 및 해수 환경중에 가장 널리 광범위하게 분포하고 각종 물고기의 먹이가 되는 규조류(농약연구소, 1993; Seckbach, 2007) 1종 *Nitzschia palea*를 이용하여 butachlor 대한 72시간 조류 성장저해시험을 통하여 조류의 성장영향을 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 시험생물

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

### 시험농약

Butachlor(N-butoxymethyl-2-chloro-2',6'-diethylacetanilide, 순도 93.4%)는 농업과학기술원 농약 평가과에서 분양받았고, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(순도 99.5%)는 Sigma사에서 구입하여 사용하였다.

### 시험방법

OECD 화학물질 시험가이드라인(OECD 201, 2006)과 미국 EPA 생태영향 시험가이드라인(US/EPA OPPTS 850.5400, 1996)에 준하여 72시간 조류 성장저해시험을 수행하였다. 시험시작 7일전에 시험조건과 동일한 조건에서 전배양을 하여 지수생장기에 도달한 조류를 시험에 사용하였다. 농약의 시험농도를 알아보기 위하여 250 mL 삼각플라스크에 100 mL 배지를 넣고 조류를 10<sup>4</sup> 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 생장에 대한 영향이 관찰되지 않도록 하고, 최고농도는 대조구과 비교하여 50%이상 성장저해가 관찰되도록 설정하였다. 처리농도는 5농도이상, 농도당 3반복으로 하였다. 조류의 생장율 기준으로 EC<sub>50</sub>(Median Effective Concentration by growth rate)를 구하였다. 또한 Dunnett's 다중분석을 통하여 NOEC(No Observed Effect Concentration by growth rate)를 계산하였다.

### 조류 생장율 및 저해를 계산

시험기간 동안 일정기간의 조류의 평균 특이 생장율(average specific growth rate;  $\mu$ )과 평균 특이 생장율에 대한 저해율(percent inhibition in average specific growth rate; % Ir)은 아래식에 의하여 구하였다.

$$\mu = \frac{\ln N_n - \ln N_0}{t_n - t_0} \quad \begin{array}{l} N_0 : t_0 \text{ 시간에서의 생물량(biomass)} \\ N_n : t_n \text{ 시간에서의 생물량(biomass)} \end{array}$$

$$\% Ir = \frac{\mu_c - \mu_t}{\mu_c} \times 100 \quad \begin{array}{l} \mu_c : \text{대조군에서의 평균 특이 생장율의 평균} \\ \mu_t : \text{시험군에서의 평균 생장율} \end{array}$$

### 환경추정농도(Predicted Environmental Concentration; PEC) 산출

논의 병해충 및 잡초를 방제하기 위하여 농약을 추천사용량으로 10a(300평)에 살포하였을 때 논물 5 cm에 전량용해된 후 배수로를 통해 농수로에 방류될 때를 가정하여 환경추정농도(predicted environmental concentration, PEC)를 산출하였다.

$$PEC = \frac{10 \text{ a당 추천사용량(a.i. mg)}}{\text{수심 5 cm인 10 a 논물의 양(L)}} \times \frac{1}{100}$$

**결과 및 고찰**

Butachlor의 조류에 대한 72시간 성장저해 시험결과, *S. capricornutum*는 0.0016~0.0032 mg L<sup>-1</sup>에서 통계적으로 (p<0.05) 대조구에 비해 성장저해를 보였고 0.0064 mg L<sup>-1</sup>에서는 치사하였다. *S. subspicatus*은 0.0032~0.0256 mg L<sup>-1</sup>에서 통계적으로(p<0.05) 대조구에 비해 성장저해를 보였다. *C. vulgaris*에 12.02 mg L<sup>-1</sup>에서 통계적으로(p<0.05) 대조구에 비해 성장저해를 보였으나 18.02 mg L<sup>-1</sup>에서는 치사하였다. *N. palea*는 5.25~9.45 mg L<sup>-1</sup>에서 통계적으로 (p<0.05) 대조구에 비해 성장저해를 보였다(표 1). K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>의 조류에 대한 성장저해 시험결과, *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*는 0.4~1.6 mg L<sup>-1</sup>에서 통계적으로(p<0.05) 대조구에 비해 성장저해를 보였고 3.2 mg L<sup>-1</sup>에서 치사하였으나 *C. vulgaris*와 *N. palea*는 각각 0.4~1.6 mg L<sup>-1</sup>과 0.26~0.89 mg L<sup>-1</sup>에서 통계적으로(p<0.05) 대조구에 비해 성장저

해를 보였다(표 2).

Butachlor의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris*, 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC<sub>50</sub>은 각각 0.0022, 0.019, 8.67, 그리고 4.94 mg L<sup>-1</sup>이었고, NOEC는 각각 0.0008, 0.0016, 5.34, 그리고 2.92 mg L<sup>-1</sup>이었다(표 3). 이것은 Ma 등(2002)이 보고한 butachlor의 *C. vulgaris*에 대한 72h-EC<sub>50</sub> 값 8.61 mg L<sup>-1</sup>과 일치하였다. 조류 종간 성장 저해 차이는 *S. capricornutum* > *S. subspicatus* > *N. palea* > *C. vulgaris* 순으로 감수성이 가장 높은 *S. capricornutum*는 *S. subspicatus*, *N. palea*, 그리고 *C. vulgaris* 보다 각각 9, 2000 그리고 4000배 이상의 감수성 차이를 보였다. Kassi와 Hatakeyama(1993)는 simetryn 등의 3종의 제초제에 대한 녹조류 감수성 차이를 비교한 결과 *C. vulgaris*가 *S. capricornutum* 보다 낮은 감수성을 보인 것은 *C. vulgaris*의 세포벽이 두껍고 높은 효소 활성 때문인 것으로 보고하였다. 또한 Kasai(1999)는 논 제초제의 조류에 대한 감수성 시험에서 일반적으로 녹조류보다 규조류가 감수성이 낮다고 하였으며, Sabater 등(2002)의 농약의 녹조류에 대한 급성독성 시험결과 *Scenedesmus*속(屬)이 *Chlorella* 속(屬) 보다 감수성

**Table 1.** Average specific growth rate 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 <sup>-1</sup>	μ <sup>a)</sup>	Ir <sup>b)</sup>	mg L <sup>-1</sup>	μ	Ir	mg L <sup>-1</sup>	μ	Ir	mg L <sup>-1</sup>	μ	Ir
0.0	0.057	0	0.0	0.059	0	0.0	0.065	0	0.0	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 <sup>c)</sup>	0.054	8.5	5.34	0.065	0	1.62	0.034	0
0.0016 <sup>c)</sup>	0.038	33.3	0.0064 <sup>c)</sup>	0.049	16.9	8.01 <sup>c)</sup>	0.062	4.6	2.92	0.034	0
0.0032 <sup>c)</sup>	0.016	71.9	0.0128 <sup>c)</sup>	0.043	27.1	12.02 <sup>c)</sup>	0.014	78.4	5.25 <sup>c)</sup>	0.017	50.0
0.0064 <sup>d)</sup>	-	-	0.0256 <sup>c)</sup>	0.020	66.1	18.02 <sup>d)</sup>	-	-	9.45 <sup>c)</sup>	0.001	97.0

<sup>a)</sup> Average specific growth rate, <sup>b)</sup> % Inhibition

<sup>c)</sup> p<0.05 (results of one way ANOVA using Turkey's method) <sup>d)</sup> Lethal concentrations

**Table 2.** Average specific growth rate and percent inhibition in average specific growth rate of freshwater algae treated with K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

<i>S. capricornutum</i>			<i>S. subspicatus</i>			<i>C. vulgaris</i>			<i>N. palea</i>		
mg L <sup>-1</sup>	μ <sup>a)</sup>	Ir <sup>b)</sup>	mg L <sup>-1</sup>	μ	Ir	mg L <sup>-1</sup>	μ	Ir	mg L <sup>-1</sup>	μ	Ir
0.0	0.057	0	0.0	0.057	0	0.0	0.078	0	0.0	0.032	0
0.2	0.054	5.3	0.2	0.051	10.5	0.1	0.078	0	0.18	0.031	3.1
0.4 <sup>c)</sup>	0.046	19.3	0.4 <sup>c)</sup>	0.041	28.1	0.2	0.077	1.3	0.26 <sup>c)</sup>	0.027	15.6
0.8 <sup>c)</sup>	0.038	33.3	0.8 <sup>c)</sup>	0.031	45.6	0.4 <sup>c)</sup>	0.071	9.0	0.40 <sup>c)</sup>	0.023	28.1
1.6 <sup>c)</sup>	0.012	78.9	1.6 <sup>c)</sup>	0.014	75.4	0.8 <sup>c)</sup>	0.037	52.3	0.59 <sup>c)</sup>	0.013	59.4
3.2 <sup>d)</sup>	-	-	3.2 <sup>d)</sup>	-	-	1.6 <sup>c)</sup>	0.014	82.0	0.89 <sup>c)</sup>	0.009	71.9

<sup>a)</sup> Average specific growth rate, <sup>b)</sup> % Inhibition

<sup>c)</sup> p<0.05 (results of one way ANOVA using Turkey's method) <sup>d)</sup> Lethal concentrations

**Table 3.** ErC<sub>50</sub> and NOEC values of butachlor and K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> for the algae species

Test species	Butachlor (mg L <sup>-1</sup> )		K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	
	ErC <sub>50</sub>	NOEC	ErC <sub>50</sub>	NOEC
<i>S. capricornutum</i>	0.0022 (0.002~0.0025) <sup>a)</sup>	0.0008	0.91 (0.8~1.05)	0.2
<i>S. subspicatus</i>	0.019 (0.012~0.060)	0.0016	0.78 (0.67~0.92)	0.2
<i>C. vulgaris</i>	8.67 (7.23~10.41)	5.34	0.85 (0.77~0.94)	0.2
<i>N. palea</i>	4.94 (3.84~6.39)	2.92	0.57 (0.51~0.64)	0.18

<sup>a)</sup> 95% confidence limits

**Table 4.** Probit regression equations of butachlor for the four algal species

Species	Probit regression equations	R <sup>c)</sup>
<i>S. capricornutum</i>	Y <sup>a)</sup> = 3.366 X <sup>b)</sup> + 26.662	0.9886
<i>S. subspicatus</i>	Y = 2.166 X + 13.253	0.9133
<i>C. vulgaris</i>	Y = 6.920 X - 9.791	0.9411
<i>N. palea</i>	Y = 5.732 X - 3.815	0.9356

<sup>a)</sup> Y = probit of % inhibition, <sup>b)</sup> X = ln (mg L<sup>-1</sup> of butachlor), <sup>c)</sup> Coefficient of correlation

이 높았다고 한 것과 유사 하였다.

대조물질 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>의 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*에 대한 72시간 ErC<sub>50</sub>은 각각 0.91, 0.78, 0.85 그리고 0.57 mg L<sup>-1</sup>이었고, NOEC는 각각 0.2, 0.2, 0.2 그리고 0.18 mg L<sup>-1</sup>이었다(표 4). 이것은 Arensberg 등(1995)의 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>의 *S. capricornutum*에 대한 72시간 EC<sub>50</sub> 0.95 mg L<sup>-1</sup>와 Renata와 Blahoslav(1999)의 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>의 *S. subspicatus*에 대한 72시간 EC<sub>50</sub> 0.75 mg L<sup>-1</sup>와 유사하였다. K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>은 조류 중간 생장저해 차이는 거의 없었다.

논의 일년생잡초 피, 물달개비, 여뀌바늘, 발목외풀, 사마귀 풀 등을 방제하기 위하여 butachlor 5% 입제를 3 kg 10a<sup>-1</sup> (농약사용지침서, 2007)를 살포하였을 때 butachlor가 논물 수심 5 cm에 전량 용해된 후 논물이 방류될 때를 가정하여 계산한 환경추정농도(predicted environmental concentration; PEC) 0.03 mg L<sup>-1</sup>을 표 4의 butachlor의 조류에 대한 72시간 생장저해시험 결과 구한 probit 회귀식에 적용하면 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*는 각각 100, 75, 0 그리고 0%의 생장 저해율을 나타내었다. Peterson 등(1994)은 농약의 조류생장 저해율이 50% 이상이면 유해 가능성이 매우 높은 것으로 분류 하였는데, 이 기준에 따르면 butachlor는 *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*에 유해 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다. 그러나 농업과학기술원의 우리나라 하천수 중 농약 잔류 모니터링자료(농과원, 1998)에 의하면 butachlor의 사용시기인 6월에 하천수 중 최고 잔류 농도 0.0029 mg L<sup>-1</sup>을 위의 probit 회귀식에 적용하여 생

장 저해율을 계산 하면 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*는 각각 85, 0, 0 그리고 0%의 생장 저해율을 보여 *S. capricornutum*는 유해 가능성이 매우 높을 것으로 판단되나 다른 종에는 영향이 없을 것으로 추정 된다.

생태계 내 1차 생산자인 조류의 높은 번식력을 감안하면 농약의 영향으로 감수성이 높은 *S. capricornutum*, *S. subspicatus* 등이 사라지면 내성이 강한 종들이 나타나 그 자리를 대신할 것이다. 그러나 농약으로 인한 직접적인 조류의 생장저해영향은 2차적으로 물벼룩과 어류의 먹이 섭취량의 감소로 이어져 일시적인 수생태계의 먹이사슬 파괴로 이어질 수도 있을 것이다.

## >> 참 / 고 / 문 / 헌

- Arensberg, P., V. H. Hemmlingsen and N. Nyholm (1995) A Miniscale algal toxicity test. *Chemosphere* 40(11):2103~2115.
- Bozena, S. S., T. Danute and M. Barbara (1998) Microalgal ecotoxicity test with 3,4-dichloroaniline. *Chemosphere* 37: 2975~2982.
- EPA (1995) Algal toxicity. Ecological effects test guidelines OPPTS 850.5400.
- Ernesto, M. R. and S. S. S. Sarma and S. Nandimi (2002) Combined effects of algal (*Chlorella vulgaris*) density and ammonia concentration on the population dynamics of *Ceriodaphnia dubia* and *Monia macrocopa*. *Ecotoxicology*

- and environmental safety 51:216~222.
- Ferraz, D. G. B., C. Sabater, 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. (1999) Shifts in herbicide tolerance in paddy field periphyton following herbicide application. *Chemosphere* 38(4):919~931.
- Kasai, F. and S. Hatakeyama (1993) Herbicide susceptibility in two green algae, *Chlorella vulgaris* and *Selenastrum capricornutum*. *Chemosphere* 27(5):899~904.
- Leboulanger, C., F. Rimet, M. H. de Lacotte and A. Berard (2001) Effects of atrazine and nicosulfuron on freshwater microalgae. *Environment International* 26:131~135.
- Lewis, M. A. (1995) Use of freshwater plants for phytotoxicity testing : a review. *Environmental pollution* 87:319~336.
- 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.
- McCormick, P. V. and J. Cairns Jr (1994) Algae as indicators of environmental change. *Journal of applied phycology* 6 :509~526.
- Nyholm, N. (1989) Methods for growth inhibition toxicity tests with freshwater algae. *Environmental toxicology and chemistry* 8:689~703.
- OECD (2006) Alga, growth inhibition test. OECD guideline for testing of chemicals 201.
- Okamura, H., M. Piao, I. Aoyama, M. Sudo, T. Okubo, M. Nakanura (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, K. E. Freemark, P. A. Martin (1997) Toxicity of hexazinone and diquat to green algae, diatoms, cyanobacteria and duckweed. *Aquatic Toxicology* 39:111~134.
- Perschbacher, P. W., G. M. Ludwig and N. Slaton (2002) Effects of common aerially applied rice herbicides on the plankton communities of aquaculture ponds. *Aquaculture* 214:241~246.
- Renata, R. P. and M. Blahoslav (1999) Selection and sensitivity comparisons of algal species for toxicity testing. *Chemosphere* 38(14):3329~3338.
- Rioboo, C., O. Gonzalez, C. Herrero, A. Cid (2002) Physiological response of freshwater microalga (*Chlorella vulgaris*) to triazine and phenylurea herbicides. *Aquatic toxicology* 59:225~235.
- Sabater, C., A. Cuesta, R. Carrasco (2002) Effects of bensulfuron-methyl and cinosulfuron growth of four freshwater species of phytoplankton. *Chemosphere* 46:953~960.
- Sabater, C. and J. M. Carrasco (1996) Effects of thiobencarb on the growth of three species of phytoplankton. *Bull. Environ. Contain. Toxicol.* 56:977~984.
- Sabater, C. and J. M. Carrasco (2001) Effects of pyridaphention on growth of five freshwater species of phytoplankton. *Chemosphere* 44:1775~1781.
- Seckbach, J. (ed, 2007) Algae and cyanobacteria in extreme environments. Springer 141~172.
- Shizhong, T., L. Zan, W. Jianhua and Z. Yongyuan (1997) Growth of *Chlorella vulgaris* in cultures with low concentration dimethoate as source of phosphorus. *Chemosphere* 35(11): 2713~2718.
- Slooff, W., J. H. Canton and J. L. M. Hermens (1983) Comparison of the susceptibility of 22 freshwater species to 15 chemical compounds. *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.
- Wong, S. L. (1985) Algal assay evaluation of trace contaminants in surface water using the nonionic surfactant, triton x-100. *Aquatic Toxicology* 6:115~131.
- 농업과학기술원 (1998) 시험연구보고서.
- 농약연구소 (1993) 논 조류 원색도감.
- 농촌진흥청 (2007) 농약관리법령 고시훈령집.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약사용지침서.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약연보.

## Butachlor의 4종 담수조류(freshwater algae)에 대한 성장영향

박연기\* · 배철한<sup>1</sup> · 김병석 · 박경훈 · 이제봉 · 신진섭 · 홍순성 · 조경원<sup>1</sup> · 이규승<sup>2</sup> · 이정호<sup>3</sup>

농업과학기술원 농산물안전성부, <sup>1</sup>한국삼공(주) 농업연구소, <sup>2</sup>충남대학교 농업생명과학대학, <sup>3</sup>대구대학교 사범대학

**요 약** 우리나라에서 사용되고 있는 비재배용 제초제인 butachlor의 담수조류에 대한 성장영향을 알아보고자 녹조류 *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Chlorella vulgaris* 3종과 규조류 *Nitzschia palea* 1종에 대해 72시간 성장저해시험(growth inhibition test)을 수행하였다. 시험결과 butachlor에 대한 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris*, 그리고 *N. palea*의 성장을 기준 반수영향농도(EC<sub>50</sub>)는 각각 0.0022, 0.019, 8.67 그리고 4.94 mg L<sup>-1</sup>이었고, 무영향농도(NOEC)는 0.0008, 0.0016, 5.34 그리고 2.92 mg L<sup>-1</sup>로 나타나 *S. capricornutum*가 가장 높은 감수성을 보였다. 양성대조물질인 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>에 대한 *S. capricornutum*, *S. subspicatus*, *C. vulgaris* 그리고 *N. palea*의 성장을 기준 EC<sub>50</sub>은 각각 0.91, 0.78, 0.85 그리고 0.57 mg L<sup>-1</sup>이었고, NOEC는 각각 0.2, 0.2, 0.2 그리고 0.18 mg L<sup>-1</sup>였다. butachlor를 논에 살포하였을 때 논물에 전량 용해된 후 배수로를 통해 농수로에 배출될 때를 가정한 환경추정농도(Predicted Environmental Concentration; PEC)에 따른 성장저해율을 계산한 결과, *S. capricornutum*와 *S. subspicatus*는 각각 100%와 75%의 성장율 저해를 보였으나 *C. vulgaris*와 *N. palea*는 영향이 없었다.

**색인어** 뷰타클로르, 녹조류, 규조류, 성장저해