

Fenitrothion 분해미생물 *Bacillus sphaericus* NFo1의 동정 및 분해 최적조건

최 혁¹ · 이영득² · 강선철*

대구대학교 생명공학과, ¹대구광역시 보건환경연구원, ²대구대학교 생명환경학부

(2009년 3월 6일 접수, 2009년 3월 20일 수리)

Identification and Cultural Optimization of the Fenitrothion-degrading Microorganism, *Bacillus sphaericus* NFo1

Hyuek Choi¹, Young Deuk Lee² and Sun Chul Kang*

Department of Biotechnology, Daegu University, Kyungsan, 712-714, Korea, ¹Deagu Research Institute of Public Health and Environment, Daegu, 706-090, Korea, ²Division of Life and Environmental Science, Daegu University, Kyungsan, 712-714, Korea

Abstract

A study was carried out to find out the methodology of biological treatment for wastes and wastewater caused by an organophosphorus insecticide, fenitrothion, using fenitrothion-degrading microorganism. A fenitrothion-degrading microorganism was isolated by using a selective nutrient broth (NB) medium including fenitrothion, and identified to *Bacillus sphaericus* NFo1 based on its morphological and biochemical characteristics. Further, investigation was processed to determine the optimal culture conditions degrading fenitrothion in NB medium by using the NFo1 strain. As results, the cultural conditions determined for temperature, initial pH and inoculum for the optimum growth of the strain and degradation of fenitrothion, which has a exact co-relationship between both of them, were 35°C, 7.5 and 1.5 at OD₆₆₀ value, respectively. In this conditions, fenitrothion could be degraded within 5 days over 90% at the high concentrations of fenitrothion, upto 200 mg/L.

Key words Fenitrothion, fenitrothion-degrading microorganism, phosphorus insecticide, *Bacillus sphaericus*

서 론

농약은 1940년대부터 실용적으로 사용되었으며, 안정적인 식량공급을 위한 중요한 농업자재로 인정받아 왔다. 농약사용으로 병해충 및 잡초를 방제함으로써 얻어지는 식량 증산 효과는 20-30% 정도로 평가되고 있어 농산물의 지속적 생산에 기여하는 바가 매우 크다(이와 홍, 1987). 그러나 환경오염에 대한 사회적 인식이 중요시되면서 연간 유효성분량으로 25,000 M/T이나 사용되고 있는 350여종 농약의 안전성에

대한 관심이 계속적으로 높아져 왔다. 이는 농약이 갖고 있는 생물학적 고활성으로 인하여 유발될 수 있는 급만성적 위해성(Adhya 등, 1981; Farghaly와 El-Maghraby, 2008; Hayes와 Laws, 1991)과 잔류분의 환경오염에 대한 많은 사례보고(Alonso 등, 1997; Arthurs 등, 2003; Baarschers 등, 1983; Baarschers 등, 1986)에 의한 환경문제 가능성이 대두되고 있기 때문이다.

농약은 유효성분의 화학구조에 따라 유기염소계, 유기인계, 카바메이트계, 유기유황계, 유기수은계 등으로 분류된다(Worthing, 1991; 이와 홍, 1987). 그러나 1960년대까지 주로 사용된 유기염소계 및 유기수은계 농약들은 환경 중 잔류

*연락처 : Tel. +82-53-850-6553, Fax. +82-53-850-6559
E-mail: sckang@daegu.ac.kr

성이 길며, 만성적 위해 유발 가능성이 높은 것으로 알려지면서 생산 및 사용이 금지되어 환경생태계 내에서 비교적 분해가 잘 되는 유기인계와 카바메이트계 농약으로 대체되었다(이와 흥, 1987). 그러나 유기인계 농약은 환경 중에서 지속성이 짧아 환경오염 유발 정도가 유기염소계에 비하여 상대적으로 적은 장점은 있으나 농약 자체의 급만성 독성은 그다지 개선되지 않았으며, 사용되는 종류가 많고 또한 대량으로 사용되고 있어 환경오염의 우려가 높다(임 등, 1996).

유기인계 살충제는 1950년대 이후부터 농약으로 광범위하게 사용되기 시작하였다(박 등, 1984). 현재 사용되는 유기인계 농약의 수는 약 50여종에 달하는데, 대부분이 살충제로서 구조적으로는 인산과 이탈기(leaving group) 사이의 ester 화합물이다(백 등, 1994). 대표적인 유기인계 살충제인 fenitrothion (*O,O*-dimethyl *O*-4-nitro-*m*-tolyl phosphorothioate)은 유기인계 농약 중 가장 많은 phosphorothioate계 화합물이다(박 등, 1984).

토양 중의 농약은 여러 물리화학 및 생화학적 작용에 의하여 소실되지만 그 중 미생물에 의한 분해가 가장 중요한 인자로 알려져 있다(MacRae, 1989). 따라서 농약 잔류성과 미생물간의 관계를 이해하는 것이 폐농약 및 잔류농약의 생물적 처리를 위해서는 필수적이다. 농약은 토양미생물의 종류에 따라 분해 정도가 매우 상이하게 나타나며(박 등, 1992; 박 1996), 최종적으로 미생물이 농약을 탄소 및 에너지원으로 이용하여(Bruhn 등, 1987; Cheng, 1990), 완전 분해가 가능하다는 점에서 중요하다.

본 연구팀은 농약폐수나 농약살포 후 토양중에 잔류된 fenitrothion을 효율적으로 처리하기 위한 방안의 하나로 논, 밭, 임야 및 오염지 토양, 폐수 등의 다양한 미생물에서 fenitrothion 분해력이 우수한 미생물 균주를 탐색하여 그 결과를 이미 보고한 바 있다(최 등, 1998).

따라서 본 연구에서는 선발된 균주 중에서 fenitrothion 분

해력이 우수한 NFO1 균주의 동정, 배양특성 및 fenitrothion 분해율 향상을 위한 배양최적화를 실시하여 실용적 적용 여부를 검토하고자 한다.

재료 및 방법

시험농약

시험농약인 fenitrothion(상표명: 스미치온)은 시중에 시판되고 있는 50% 유제를 구입하여 사용하였으며, 분석용 fenitrothion 표준품(순도: 95.0%)은 (주)동방아그로에서 분양 받아 사용하였다.

시험균주 및 미생물 배지

본 연구에 사용된 미생물은 임야토양에서 분리한 fenitrothion 분해능이 매우 우수한 NFO1 균주를 사용하였다. 사용된 배지는 고체배양인 경우 nutrient agar(NA) 배지(beef extract 3 g, peptone 3 g, agar 12 g/L)를 사용하였다. 또한 액체배양인 경우 NA 배지에서 agar만을 제외한 NB 액체배지를 제조하여 사용하였다. 한편 fenitrothion 분해능 검정을 위해서는 NB 배지에 적당량의 fenitrothion을 첨가하여 제조한 배지를 사용하였다.

Fenitrothion 분석

NFO1 균주배양이 끝난 flask의 배양액 전량을 취해 동량의 n-hexane으로 2회 분배추출하고 상등액인 n-hexane 층만을 분리, GLC로 fenitrothion 잔량을 분석하였다. 미생물에 의한 fenitrothion 분해율은 다음의 식에 의하여 % 분해율을 계산하였으며, fenitrothion을 정량적으로 측정하기 위한 GLC 분석조건은 Table 1과 같다.

$$\% \text{ 분해율} = \frac{(\text{fenitrothion 처리량} - \text{fenitrothion 잔량})}{(\text{fenitrothion 처리량})} \times 100$$

Table 1. GLC operating parameters for the analysis of fenitrothion

Instrument	Hewlett Packard 5890 series II gas chromatograph
Detector	Nitrogen-phosphorus detector (NPD)
Column	2 mm i.d. × 2 m spiral glass column packed with 3% DC-200 on Gas Chrom Q (80~100 mesh)
Temperature	Column oven - 185°C Injection port - 220°C Detector block - 270°C
Gas flow rate	Carrier : Helium - 40 mL/in Fuel : Hydrogen - 3 mL/in Air - 100 mL/in

미생물의 동정

NFo1 균주를 동정하기 위하여 먼저 Gram 염색 후, 편광 현미경으로 형태적 특성을 관찰하였다. 다음 단계로 동정용 kit를 사용하여 보다 자세한 동정을 수행하였다. 세균용 미생물 신속동정 및 항생제 감수성 검사장치인 bioMerieux사의 Vitek 32를 사용하였는데 *Bacillus* sp.인 경우는 Vitek bacillus(BAC) 카드를 이용하여 동정하였다. 동정방법은 각 카드에 동정하고자 하는 단독 colony의 균액을 채워 carousel tray에 넣고 5~10분간 반응 후, 다시 카드를 reader/incubator tray에 넣고 Vitek operators 절차에 따라 동정하였다. 그리고 최종적으로 시험균주는 주사형 전자현미경(Hitachi S-4300)으로 균주의 모양, 크기, 편모 등을 관찰하였다.

Fenitrothion 분해미생물의 최적 배양조건

최적 배양온도를 결정하기 위하여 Erlenmeyer flask(100 mL)에 100 mg/L fenitrothion이 첨가된 NB 액체배지를 각각 20 mL씩 넣고, NFo1 균주를 NB 액체배지에서 2일간 전배양한 배양액 1 mL을 취하여 접종하였다. 접종된 flask는 15, 20, 25, 30, 35°C에서 150 rpm으로 5일간 진탕 배양한 후 배양액 전량을 취하여 fenitrothion 분해율을 측정하였다.

배지의 초기 최적 pH를 결정하기 위하여 동일한 방법으로 제조한 배지에 초기 pH를 1N HCl과 1N NaOH로 3.5, 5.5, 7.5, 9.5로 각각 조절하여 전배양한 NFo1을 1 mL 접종한 후, 35°C에서 150 rpm으로 5일간 진탕 배양한 후 배양액 전량을 취하여 fenitrothion 분해율을 측정하였다.

또한 최적 균체 접종량을 결정하기 위하여 동일한 방법으로 제조한 배지에 2일간 전배양한 NFo1의 OD₆₆₀값이 0.5, 1.0, 1.5에 해당하는 값으로 각각 1 mL씩 접종하였다. 접종한 flask는 최적온도로 조절된 각 배양기에서 150 rpm으로 5일간 진탕 배양한 후 배양액 전량을 취하여 fenitrothion 분해율을 측정하였다.

최적 배양시간의 결정은 동일한 방법으로 제조한 배지에 NFo1을 접종한 후, 35°C로 조절된 각 배양기에서 150 rpm으로 5, 10, 15, 30일간 진탕 배양한 후 배양액 전량을 취하여 fenitrothion 분해율을 측정하였다.

Fenitrothion 처리농도에 따른 분해율을 결정하기 위하여 100 mL flask에 각각 50, 100, 200, 400, 800, 1,600 mg/L의 fenitrothion이 첨가된 NB 액체배지를 각각 20 mL씩 넣고, 전배양한 시험균주 1 mL을 접종하였다. 접종한 flask는 35°C로 조절된 각 배양기에서 150 rpm으로 5일간 진탕 배양한 후 배양액 전량을 취하여 fenitrothion 분해율을 측정하였다.

결과 및 고찰

Fenitrothion 분해미생물의 동정

시험균주 NFo1을 동정하기 위하여 Gram 염색하여 현미경으로 관찰한 결과 Gram(+), rod type의 균으로 확인되었다. Gram 양성세균 중 *Bacillus* 종만을 동정하기 위하여 사용되는 Vitek BAC card로 분석한 결과 이 균주는 spore를 형성하고, amylopectin을 분해할 수 있으며, 항생제 nalidixic acid

Table 2. Identification of NFo1, the fenitrothion-degrading microorganism, using Vitek BAC card

Characteristics	NFo1
Spore stain	+
Shape	Rod
Negative control	-
Sucrose	-
Tetrazolium red	-
Tagatose	-
D-Glucose	-
Inositol	-
Galactose	-
Arabinose	-
D-Xylose	-
D-Mannitol	-
Raffinose	-
Salicin	-
Amygdalin	-
Inulin	-
Ribose	-
Maltose	-
D-Trehalose	-
Palatinose	-
Sorbitol	-
N-Acetyl-glucosamine	-
Amylopectin	+
Potassium thiocyanate	-
7% Sodium chloride	-
Mandelic acid	-
Oleandomycin	-
Sodium acetate	-
Arabitol	-
Polyamidohydrostreptin	-
Nalidixic acid	+
Esculin	-

Symbols denote as followings, + ; positive, - ; negative.

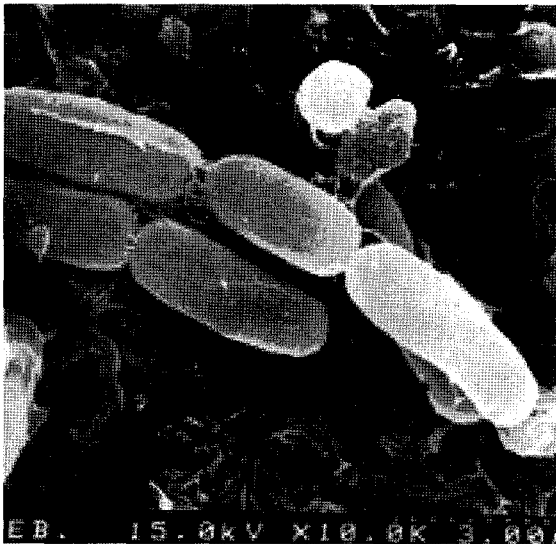


Fig. 1. Electron micrograph ($\times 10,000$) of *Bacillus sphaericus* NF01.

에 민감한 전형적인 *Bacillus* sp.로 확인되었다. 또한 이 card에 의해 분석된 다른 여러 생화학적 특성에 근거하여 이 균주는 최종적으로 *Bacillus sphaericus* NF01으로 99% 확률로 동정되었다(Table 2, Fig. 1).

Fenitrothion 분해미생물의 분해조건 최적화

가. 배양온도별 fenitrothion 분해율

Fenitrothion 분해력이 우수한 미생물 중 최종 선발된 세균 NF01의 배양온도에 따른 fenitrothion 분해율을 비교한 결과가 이 균주는 30~35°C에서 농약 분해율이 84.4~85.9%로 가장 높았다(Fig. 2). 그리고 이 균주에 의한 최대 분해율은 15°C에서의 분해율에 비해 약 4배 정도 높은 것으로 나타났다.

일반적으로 저온에서보다 고온에서 농약 분해가 빠른 것으로 보고되는데, quizalofop-ethyl은 토양미생물의 증식에 의해 17~27°C로 상승함에 따라 분해가 증가되었다고 하였으며(김 등, 1996), 토양세균에 의한 myclobutanil의 분해력 실험에서 사상균은 27°C에서 현저한 증가로 반감기가 짧아졌다고 하였다(한 등, 1996). 또한 토양 중에서 ethoprophos의 분해속도에 미치는 온도영향을 조사한 결과 10~25°C로 상승함에 따라 분해 반감기가 약 1/5배로 짧아졌다고 하였다(문 등, 1993). 이상의 다른 연구자들의 보고들은 본 실험에서 온도가 15~25°C로 상승함에 따라 농약분해율이 높아진 결과와 잘 일치하였다. 그리고 불특정 토양미생물을 이용한 fenitrothion의 분해는 온도가 높아질수록 빨리 분해되어 반감기가 15°C에서 3.5일, 35°C에서는 2.1일로 단축되었다는 보고와 같은 경향을 보였다(문과 양, 1990). 그러나 농약의

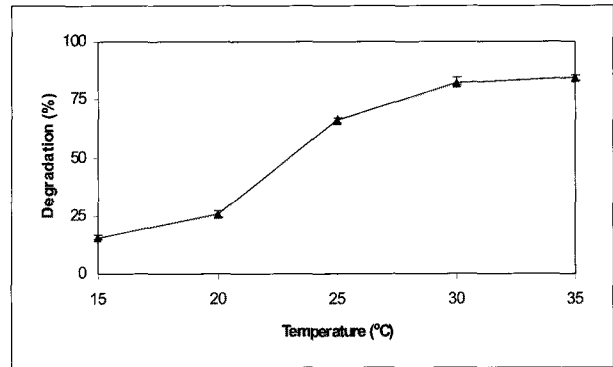


Fig. 2. Degradation of fenitrothion by *Bacillus sphaericus* NF01 at different temperatures.

종류와 분해미생물의 종류에 따라서 분해속도에 대한 온도의 영향이 다르게 나타날 수도 있다고 사료된다.

나. 초기 pH에 따른 fenitrothion 분해율

B. sphaericus NF01에 의한 초기 pH에 따른 fenitrothion 분해율을 비교한 결과 fenitrothion 분해율은 초기 pH가 3.5~7.5까지 높아질수록 증가하였으나, pH 9.5에서는 fenitrothion 분해율이 낮아졌기 때문에 이 균주는 중성 pH에서 생육과 fenitrothion 분해가 적합한 중성균주로 판단된다(Fig. 3). pH 7.5에서 이 균주는 fenitrothion 분해율이 84.4%로 최대 분해율을 보였으며, 이때의 fenitrothion 분해율은 pH 3.5에 비해 약 3배 정도 높았다.

토양세균은 약산성 및 중성 pH에서 미생물 수의 차이는 크게 없지만(한 등, 1995), 중성이나 약알칼리성 조건에서 활동이 양호하다고 보고되고 있다(Hill과 Wright, 1978). 토양을 pH 7.0으로 조절하였을 때 제초제인 isouron의 반감기가 짧아졌고(Ozaki와 Kuwatsuka, 1986), 사양토에서 100 mg/L의 fenitrothion 반감기는 pH 4에서 207~224일, pH 7에서 138~144일, pH 10에서 44~59일로 pH가 높을 수록 농약

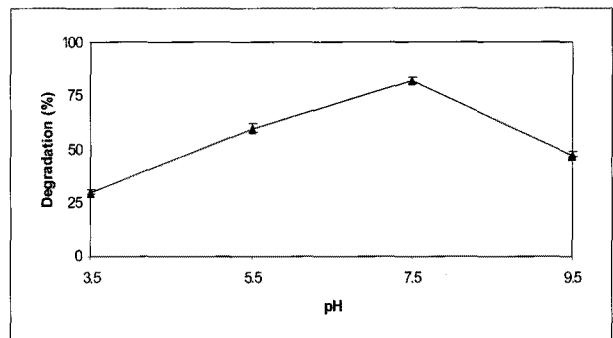


Fig. 3. Degradation of fenitrothion by *Bacillus sphaericus* NF01 at different pHs.

분해속도가 빨랐다(Sato, 1992). 그러나 본 시험 결과에서는 pH 7.5 정도의 약알칼리에서 fenitrothion의 가수분해가 가장 촉진된 것으로 나타났다. 이상에서 본 바와 같이 본연구진의 연구결과와 다른 연구자와의 결과 차이가 있는데 이것은 다른 연구자들은 토양중에서의 fenitrothion 분해에 관한 시험결과이나 본 연구진은 배지에서의 분해연구에서 얻은 결과이다. 즉 토양중에는 pH 9.5에서 서식하는 많은 종류의 fenitrothion 분해 미생물이 존재하여 이들에 의한 fenitrothion 분해결과 분해율이 증가하는 것으로 생각된다(Wright 등, 1982).

다. 균체 접종량에 따른 fenitrothion 분해율

Fenitrothion 분해력이 우수한 NFo1 균주의 접종량에 따른 fenitrothion 분해율을 비교한 결과 시험균주는 OD₆₆₀ 1.5의 접종량에서 73.2%로 최대분해율을 보였으며, 접종량이 많아 질수록 fenitrothion 분해율이 높았다(Fig. 4).

Trichloroethylene(TCE) 분해 연구에서 균체 농도가 높을수록 TCE 분해가 잘 이루어졌다고 보고하였으며(이 등, 1994), 토양세균에 의한 myclobutanil의 분해력을 실험한 결과 myclobutanil 분해가 OD 0.5에서 28.4~40.4%, OD 1.0에서 63.1~69.9%, OD 1.5에서 80.4~74.7%이었다고 하였다(한 등, 1996). 이들의 연구결과는 본 연구결과와 유사한 경향을 보여주었다.

라. 배양일수에 따른 fenitrothion 분해율

시험균주 *B. sphaericus* NFo1의 배양일수에 따른 fenitrothion 분해율을 비교한 결과 배양일수 5일까지는 급격한 분해를 보였으나, 그 이후에는 분해가 매우 느리게 진행되었다(Fig. 5). 초기 100 mg/L의 fenitrothion은 5일 후 분해율이 84.4% 이었으며, 배양일수가 길어질수록 분해되는 폭이 낮아졌지만 계속해서 서서히 분해하여 배양 30일에는 90% 이상 분해가 되었다. 입야 토양에서 분리한 세균의 fenitrothion 분해실험에서

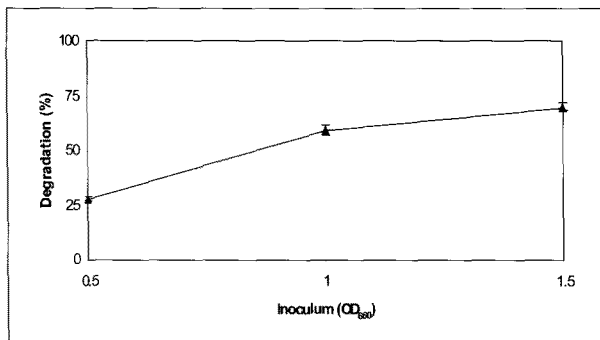


Fig. 4. Degradation of fenitrothion by *Bacillus sphaericus* NFo1 at different inocula.

Bacillus sp. S4-1, S4-2를 초기농도 5 mg/L의 fenitrothion에 처리했을 때 5일 후 각각 47.5, 57.9%, 25일 후 각각 16.3, 26.1%의 fenitrothion 잔류량을 보였다(Sato, 1992)고 하였는데, 본 실험과는 달리 배양 5일까지 급격한 분해가 이루어지지 않았으며, 25일까지 지속적인 분해를 보였다. 이는 미생물의 종류에 따라 분해 양상이 매우 다르다고 생각되며, 저농도에서는 fenitrothion 가수분해산물인 3-methyl-4-nitrophenol이 미생물 성장에 크게 영향을 주지 않아 25일까지 지속적인 분해가 이루어졌을 것으로 생각된다.

마. 처리농도에 따른 fenitrothion 분해율

Fenitrothion 처리농도에 따른 분해율을 비교한 결과 fenitrothion 농도가 50~200 mg/L일 때 미생물에 의한 fenitrothion의 분해율을 보면 94.7~78.3%로 분해가 잘 되었으나 fenitrothion 농도가 400~1,600 mg/L로 높아졌을 때 fenitrothion 분해율은 39.3~5.9%로 현저히 저하되었다(Fig. 6).

Butachlor, IBP와 fenitrothion의 경우는 10 mg/L 농도에서 보다 30 mg/L 농도에서 반감기가 각각 1.3배, 1.4배, 1.8배로 길어졌다고 하였으며(문과 양, 1990), 농약 분해에 미치는 여러 토양요소 비교 실험에서 fenitrothion 100, 1,000 mg/L의 분해는 pH 7.2, 사질토, 수분량 50% 조건에서 반감기가 144일, 1,348일로 10배 정도 차이가 있어 농약농도가 화학적 분해에 미치는 영향이 제일 크다고 하였다(Schoen, 1987). 그리고 제초제 paraquat의 미생물 생육 저해실험에서 *Escherichia coli*에 대한 paraquat의 생육저지 최소 농도는 1.0 mM이고, 50%의 생균수 감소를 보였다고 한다(김 등, 1995). 이상의 결과에서 농약 농도가 높아짐에 따라 미생물의 생육저해와 분해율 저하를 알 수 있는데 fenitrothion은 가수분해산물인 3-methyl-4-nitrophenol에 의한 미생물의 생

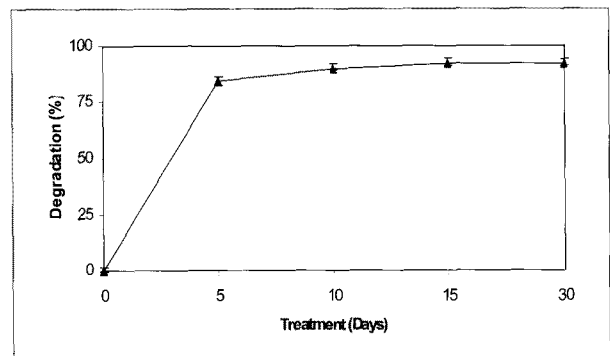


Fig. 5. Degradation of fenitrothion by *Bacillus sphaericus* NFo1 at different incubation periods.

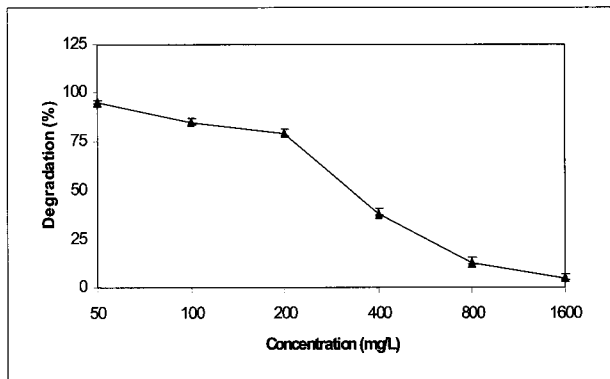


Fig. 6. Degradation of fenitrothion by *Bacillus sphaericus* NFo1 at various concentrations.

육억제로 분해력 저하를 가져왔다고 생각된다. 하지만 NFo1 균주는 fenitrothion에 대해서 200 mg/L의 농도까지는 분해할 수 있는 능력이 있다고 사료된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Adhya, T. K., B. Sudhakar and N. Sethunathan (1981) Fate of fenitrothion, methyl parathion and parathion in anoxic sulfur-containing soil systems. *Pestic. Biochem. Physiol.* 16:14~20.
- Alonso, J. L., C. Sabater, M. J. Ibanez, I. Amoros, M. S. Botella and J. Carrasco (1997) Fenitrothion and 3-methyl-4-nitrophenol degradation by two bacteria in natural waters under laboratory conditions. *J. Environ. Sci. Health.* 32(3):799~812.
- Arthurs, Steven, Matthew B. Thomas and Juergen Langewald (2003) Field observations of the effects of fenitrothion and *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* on non-target ground dwelling arthropods in the Sahel. *Biological Control* 26(3): 333~340.
- Baarschers, W. H., J. Elvish and S. P. Ryan (1983) Adsorption of fenitrothion and 3-methyl-4-nitrophenol on soils and sediment. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 30:621~627.
- Baarschers, W. H. and H. S. Heitland (1986) Biodegradation of fenitrothion and fenitrooxon by the Fungus *Trichoderma viride*. *J. Agric. Food Chem.* 34:707~709.
- Bruhn, C., H. Lenke and H. J. Knackmuss (1987) Nitrosubstituted aromatic compounds as nitrogen source for bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(1):208~210.
- Cheng, H. H. (1990) Pesticides in the soil environment : processes impacts and modeling. *Soil Science Society of America*:429~466.
- Farghaly, M. and S. El-Maghraby (2008) Toxicological evaluation and bioavailability of ¹⁴C-fenitrothion bound residues on soybeans towards experimental animals. *Food and Chem. Toxicol.* 46(9):3111~3115.
- Hayes, W. J. and E. R. Laws (1991) *Handbook of pesticide toxicology.* Academic Press, Inc.
- Hill I. R. and S. J. L Wright (1978) *Pesticide microbiology.* Academic Press. London: 79~136.
- MacRae, I. C. (1989) Microbial metabolism of pesticides and structurally related compounds. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 109:1~88.
- Ozaki, M. and S. Kuwatsuka (1986) Reproductive degradation of the herbicide isouron and its related compounds by *Pseudomonas putida*. *J. Pesticide Sci.* 11(3):427~432.
- Sato, Y. (1992) Degradation of fenitrothion by bacteria isolated from forest soil. *J. Jpn. For. Soc.* 74(6):482~487.
- Schoen, S. R. (1987) The effects of various soil factors and amendments on the degradation of pesticide mixtures. *J. Environ. Sci. Health* 22(3):347~377.
- Worthing, C. R. (1991) *The pesticide manual.* ninth edition, The British Crop Protection Council.
- Wright, J. A., M. W. Hermonat and R. G. Hards (1982) A degradation product of fenitrothion, 3-methyl-4-nitrophenol, is an inhibitor of mammalian ribonucleotide reductase. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 28:480~483.
- 김미림, 박찬성, 최경호 (1995) 제초제 paraquat의 미생물 생육저해 작용. *한국농화학회지* 38(4):283~288.
- 김희권, 윤봉기, 박인진, 서용택 (1996) 제초제 quizalofop-ethyl의 토양중 행방. *한국환경농학회지* 15(4):488~493.
- 문영희, 김운태, 김영석, 한수근 (1993) 토양 중 살충제 ethoprophos의 분해성 및 이동성의 측정과 예측에 관한 모델 연구. *한국환경농학회지* 12(3):209~218.
- 문영희, 양향승 (1990) 실외조건에서의 수토양 중 fenitrothion, IBP, butachlor의 소실. *한국환경농학회지* 9(1):9~14.
- 박연준 (1996) HBC법에 의한 생활오수처리의 특성. *영남대학교 환경대학원 석사학위논문.*
- 박연희, 조성은, 이우상, 조도현 (1992) 활성오니에서 분리한 pentachlorophenol 내성균주의 pentachlorophenol 제거에 관한 연구. *한국농화학회지* 35(4):242~247.
- 박창규, 한대성, 허장현 (1984) 낙동강 주요 환경 구성분 중 유기인계 농약잔류분. *한국환경농학회지* 3(1):26~44.
- 백수봉, 양창술, 오연선 (1994) 미생물을 이용한 농약잔류 분석법 개발. *한국식물병리학회지* 10(4):297~304.
- 이성환, 홍종욱 (1987) 개정 농약학. 향문사.
- 이숙희, 홍성용, 하지홍 (1994) Phenol을 이용하는 균주에 의한 trichloroethylene 분해. *산업미생물학회지* 22(2):203~209.
- 임경택, 배도용, 신남철 (1996) 지구환경과학. 동아기술.
- 최혁, 김복진, 배도용, 이영덕, 강선철 (1998) 유기인계 살충제 fenitrothion 분해미생물 탐색. *한국환경농학회지* 17(3):279~285.
- 한성수, 박필재, 정동훈, 임효섭 (1996) 수중 토양세균에 의한 살균제 myclobutanil의 분해력. *한국환경농학회지* 15(1):25~36.
- 한성수, 최찬규, 정재훈, 백승화 (1995) 환경차이에 따른 발토양 중 살균제 myclobutanil의 잔류 및 토양미생물상 변화. *한국환경농학회지* 14(1):28~44.

Fenitrothion 분해미생물 *Bacillus sphaericus* NFo1의 동정 및 분해 최적조건

최 혁¹ · 이영득² · 강선철*

대구대학교 생명공학과, ¹대구광역시 보건환경연구원, ²대구대학교 생명환경학부

요 약 유기인계 살충제인 fenitrothion에 의하여 생성되는 폐기물과 폐수를 생물적 방법으로 처리하는 방법을 찾기 위하여 fenitrothion 분해미생물을 이용하는 연구를 수행하였다. 이 미생물은 fenitrothion을 함유하는 NB 선택배지를 이용하여 분리되었으며, Gram(+), 막대형, 포자형성 등의 형태적, 생화학적 특징들에 근거하여 *Bacillus sphaericus* NFo1으로 동정되었다. NB 배지에서 fenitrothion을 분해하는 최적 배양조건 혹은 농약 분해 조건을 결정하는 연구를 수행한 결과 최적 배양온도, 초기 pH, 균체 접종량이 각각 35°C, 7.5, OD₆₆₀ 값이 1.5인 균체량으로 결정되었다. 이상의 최적 분해조건에서 fenitrothion은 5일 이내에 200 mg/L의 고농도 배양에서도 90% 이상이 분해됨을 확인하였다.

색인어 Fenitrothion, fenitrothion 분해미생물, 유기인계 살충제, *Bacillus sphaericus*
