

자외선에 의한 가축분뇨 액비 시용 논 표면수 중 대장균 사멸을 변화

김민경 · 정구복 · 홍성창 · 강성수 · 권순익*

국립농업과학원 농업환경부

Inactivation of *Escherichia coli* in Surface Water of Saturated Soil with the Pig Manure-based Liquid Fertilizers by Ultraviolet Radiation

Min-Kyeong Kim, Goo-Bok Jung, Seung-Chang Hong, Seong-Soo Kang, and Soon-Ik Kwon*

Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

Liquid manure fertilizer derived from pig slurry is a valuable source of nutrients for crop production. However, there is no study for environmental assessment regarding microbial quality to apply liquid manure fertilizer. Therefore, this study aimed at quantifying the level of environmental impact on fecal coliform (*Escherichia coli* or *E. coli*) survival in saturated soil such as paddy field. Surface water samples were collected up to 168 and 11 hours under natural sunlight and artificial ultraviolet radiation, respectively. The inactivation rate of *E. coli* under natural sunlight increased gradually after 48 hours. However, the inactivation rate of *E. coli* under artificial ultraviolet radiation increased linearly over time. Our findings suggested that the ultraviolet radiation is the limited factor on *E. coli* survival in surface water of saturated soil. This result will provide useful and practical guideline to applicators of agricultural soil in deciding appropriate handling and time frames for preventing pollution of water quality for sustainable agriculture.

Key words: *Escherichia coli* (*E. coli*), Inactivation rate, Livestock manure, Saturated soil, Ultraviolet radiation

서 언

가축분뇨 액비 활용은 경종 및 축산농가의 경영비 절감과 돈분뇨 유출에 의한 환경오염 방지 등의 장점을 가지고 있어 시용 농가가 증가하는 추세이다 (RDA, 2002). 또한, 2008년 「저탄소 녹색성장 산업 지원방안」 발표 이후 국가의 차세대 성장 동력원으로써의 가축분뇨를 이용한 녹색기술의 중요성은 부각되고 있다. 우리나라 가축분뇨 발생량은 2009년 말 현재 연간 43.7 백만톤이며, 이 중에서 85.8%가 퇴비나 액비로 자원화 처리되고 있다. 농업적 자원으로 활용되는 가축분뇨 퇴·액비의 양분적인 가치에는 많은 연구가 이루어졌으나, 환경적인 관점에서의 평가는 부족한 실정이다 (RDA, 2009). 또한, 가축분뇨 퇴·액비 중에 포함되어 있는 분변성 대장균은 퇴·액비화 과정에서 일부 사멸되는 경우도 있으나, 농경지에 살포되었을 때 농산물의 안전성 및 사람의 건강측면에서 부정적인 영향을 미칠 우려가 있다.

자연 수계에서 대장균의 사멸에는 크게 물리적 요인 (자

외선, 온도, 염분, 흡착, 퇴적)과 화학적인 요인 (pH, 양분 부족)이 작용하는 것으로 알려져 있다 (Nicholson et al. 2005; Pommepuy et al. 1992; Sinton et al. 1999; Sinton et al. 2002; Yukselen et al., 2003). 특히, 이들 요인 중에서도 자외선이 가장 효과적이라고 알려져 있으며, 유럽에서는 자외선에 의한 대장균 사멸 효과가 수질을 평가하는데 중요한 관리요인으로 활용되고 있다 (Nicholson et al. 2005; Yukselen et al. 2003).

따라서 본 연구는 가축분뇨 액비인 SCB (Slurry Composting & Biofiltration, 퇴비단여과) 액비를 논에 시용하였을 때 자외선에 의한 분변성 대장균의 사멸 효과를 규명하고자 논토양 조건의 포트에서 SCB 액비를 사용한 후 자연광 및 인공자외선 (UV-B, 280~320 nm) 조건에서 표면수 중 분변성 대장균의 사멸율을 조사하였다.

재료 및 방법

실험방법 SCB 액비를 논에 시용하였을 때 자외선에 의한 분변성 대장균인 *Escherichia coli* (*E. coli*)의 사멸 효과를 분석하고자 2010년 6월 20일부터 26일까지 논토양 조건의 포트 (20 L)에 SCB 액비를 2 L 시용한 후 자연광

접수 : 2011. 5. 18 수리 : 2011. 6. 17

*연락처 : Phone: +82312900227

E-mail: sikwon@korea.kr

Table 1. Chemical properties of SCB (Slurry Composting & Biofiltration) liquid fertilizer used.

pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Cu	Zn
	dS m ⁻¹	-----			%	-----		----- mg kg ⁻¹ -----	
8.8	19.4	0.26	0.05	0.22	0.03	0.02	0.06	3.87	19.8

Table 2. Chemical properties of paddy soil before SCB fertilizer treatment.

	pH	EC	Avail. P ₂ O ₅	OM	Exch. Cation			
					K	Na	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Paddy soil	5.6	0.20	135	24.2	0.21	0.31	5.53	1.01

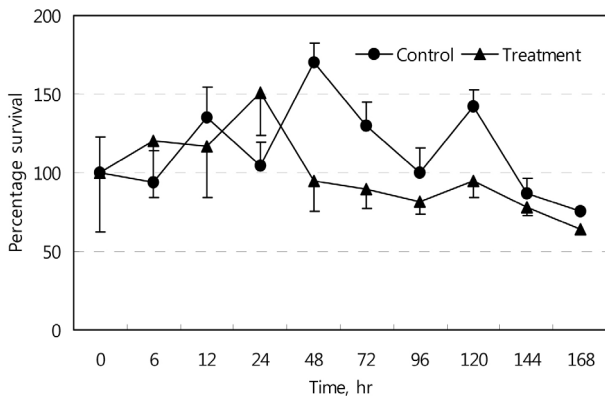


Fig. 1. Changes of *E. coli* concentration in surface water from the plot under natural sunlight in the soil. Control, dark; Treat., natural sunlight.

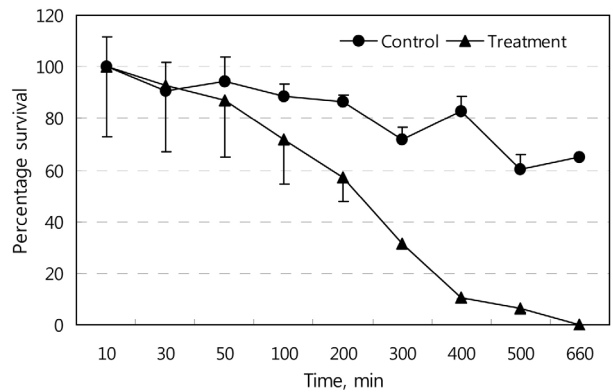


Fig. 2. *E. coli* inactivation rate in surface water from the plot under UV-B light in the soil. Control, dark; Treat., UV-B light.

과 인공 자외선 (UV-B, 280~320 nm)을 각각 168시간과 11시간 동안 처리하였다. 자연광 조건에서 평균 기온 및 일사량은 각각 23.5°C 및 22.6 MJ m⁻²이었으며, 인공 자외선 실험은 인공 광 처리를 위하여 실내에서 수행하였다. 본 실험의 대조구는 광을 차단한 조건으로 하였으며, 공시 재료로 사용한 SCB 액비의 화학적 특성은 Table 1과 같으며, SCB 액비 처리 전 토양의 화학적 특성은 Table 2와 같다.

시료채취 및 분석방법 분변성 대장균의 사멸을 변화는 자연광에서 처리 후 0, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 시간 후, 그리고 인공광에서 처리 후 0, 10, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 660분 후에 표면수를 채취하여 분석하였다.

분변성 대장균인 *E. coli*의 분석은 Colilert[®]-18 method (IDEXX Laboratories Inc., Westbrook, Marine)를 사용하여 정량하였는데, 이 방법은 기존 방법을 개선한 최적화수법이다. 시료 100 ml를 시약과 혼합한 후 well tray (Quanti Tray[®])에 담아 35°C에서 18시간 배양한다. 이 시약에는 o-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside (OPNG)와 4-methyl-umbelliferone-β-D-glucuronide (MUG)이 들어있는데, *E.*

*coli*는 β-glucuronidase를 생성하여 MUG를 파괴하고 형광물질을 만들어 내기 때문에 형광물질을 내는 well의 수를 세어 *E. coli*의 농도를 계산하였다 (Edberg et al., 1990).

결과 및 고찰

UV-B는 직접적으로 대장균의 DNA를 파괴하여 자외선 중 가장 살균력이 강한 광으로 329 nm 이하의 광에서는 광화학적 기작에 의해 세포내 사이토플라즈마 막이 손상되어 결국 세포가 사멸된다고 한다 (Calkins and Barcelo, 1982; Eisenstark, 1989; Harm, 1980; Jagger, 1985; Sinton et al., 2002).

자연광에서는 낮과 밤의 일조시간 변화로 인해 분변성 대장균의 사멸을 변화 폭이 낮았으나, 대조구 (차광)에 비해 광 처리구에서 분변성 대장균의 사멸율이 높았다. 특히, 시용 후 48시간 이전에는 통계적인 차이가 없었으나 48시간 후부터 급속히 사멸되었다 ($p < 0.05$). 따라서 눈에 직접 사용하였을 때는 눈 표면수의 대장균에 의한 인근 하천수계 오염을 저감하기 위하여 최소 2일 동안 눈 물꼬를 막아 관리하는 것이 수질환경의 건전성을 유지하는 방

안이라고 생각된다.

인공자외선인 UV-B에서는 자연광에 비해 짧은 기간내에 분변성 대장균이 사멸되었으며, 대조구 (차광)에 비해 광 처리구에서 대장균이 급격히 사멸되었다. 이는 자외선에 의한 분변성 대장균 사멸은 분변성 대장균의 광생물학적 기작에 의해 사멸된다는 다른 연구결과들과 일치하였으며 (Nicholson et al., 2005; Sinton et al., 1999; Sinton et al., 2002; Yukselen et al., 2003) 가축분뇨의 퇴·액비화시 유해 미생물 제거에 광의 이용 가능성을 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구결과를 토대로 하여 여러 종류의 가축분뇨 퇴·액비를 직접 농경지에 사용하였을 때 외부 환경의 건전성과 인체의 위해성을 유지하기 위해서는 향후 농경지에 대한 현장 실험이 보완되어야 할 것이다. 또한, 농업적 자원으로서의 가축분뇨 퇴·액비에 대한 유해 미생물의 환경위해성 평가에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

요 약

가축분뇨 액비인 SCB 액비를 논토양 조건의 포트에 사용하였을 때 자외선에 의해 분변성 대장균의 사멸효과가 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구결과로 볼 때 가축분뇨의 퇴·액비화시 유해 미생물 제거에 광의 이용 가능성을 확인할 수 있었다.

그러나, 여러 종류의 가축분뇨 퇴·액비를 직접 농경지에 사용하였을 때 외부 환경의 건전성 유지와 환경 위해성을 관리하기 위해서는 향후 농경지 사용에 대한 현장 실험이 보완되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006796042011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Calkins, J. and J.A. Barcelo. 1982. Action spectra, p. 143-150. In J. Calkins (ed.), The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems Plenum Press. New York N.Y.
- Eddberg, S.C., M.J. Allen, D.B. Smith, and N.J. Kriz. 1990. Enumeration of total coliforms and *Escherichia coli* from source water by the defined substrate technology. Appl. Environ. Microb. 56:366-369.
- Eisenstark, A. 1989. Bacterial genes involved in response to near-ultraviolet radiation. Adv. Genet. 26:99-147.
- Harm, W. 1980. Biological effects of ultraviolet radiation. Cambridge University Press London England.
- Jagger, J. 1985. Solar UV actions on living cells. Praeger New York N.Y.
- Nicholdon, F.A., S.J. Groves, and B.J. Chamber. 2005. Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. Bioresource Technol. 96: 135-143.
- Pommeuy, M., J.F. Guillaud, E. Dupray, A. Derrein, F. Le Guyader, and M. Cormier. 1992. Enteric bacteria survival factors. Water Sci. Technol. 25:93-103.
- Rural Development Administration (RDA). 2002. Guidelines for applying liquid livestock manure. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2009. Improvement of the swine slurry treatment and land application technology for recycling. 2009 Report of National Joint Agricultural Research Project of RDA. Suwon. Korea.
- Sinton, L.W., R.K. Finlay, and P.A. Lynch. 1999. Sunlight inactivation of fecal bacteriophages and bacteria in sewage-polluted seawater. Appl. Environ. Microb. 65:3605-3613.
- Sinton, L.W., C.H. Hall, P.A. Lynch, and R.J. Davies-Colley. 2002. Sunlight inactivation of fecal indicator bacteria and bacteriophages from waste stabilization pond effluent in fresh and saline waters. Appl. Environ. Microb. 68:1122-1131.
- Yukselen, M.A., B. Calli, O. Gokyay, and A.M. Saatci. 2003. Inactivation of coliform bacteria in Black Sea waters due to solar radiation. Environ. Int. 29:45-50.