

## SCB 액비 시용 논에서 물관리를 통한 양분의 수계 부하 최소화 방안

김민경 · 권순익 · 강성수<sup>1</sup> · 정구복 · 홍성창 · 채미진 · 소규호

국립농업과학원 기후변화생태과, <sup>1</sup>국립농업과학원 토양비료과

## Minimizing Nutrient Loading from SCB Treated Paddy Rice Fields through Water Management

Min-Kyeong Kim, Soon-Ik Kwon, Seong-Soo Kang<sup>1</sup>, Goo-Bok Jung, Seung-Chang Hong, Mi-Jin Chae, and Kyu-Ho So

Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>1</sup>Soil and Fertilizer Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

This study was conducted to establish the BMPs (Best Management Practices) for preventing pollutant loadings from paddy rice field applied livestock liquid manure from 2008 through 2011. Cultivated paddy rice fields (Gyeonggi province, Korea) were treated with SCB (Slurry composting and bio-filtration process) liquid fertilizer. The BMPs for paddy rice field developed in this study includes: 1) the controlling a drainage water gate in paddy rice field from right after SCB liquid fertilizer application to 3 weeks after rice transplanting; 2) livestock liquid fertilizer application to paddy rice soils in 20 days before rice transplanting to encourage the utilization of liquid fertilizer; 3) preservation of surface water depth to 5 cm in a paddy field right after SCB liquid fertilizer applied to minimize a water pollution and enhance the utilization of liquid fertilizer; and 4) blocking a water gate at least for 2 days to inactivate *E. coli* survival. The findings of this study 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:** BMPs (Best Management Practices), Livestock liquid manure, Paddy rice field, Water quality

### 서 언

2008년 「저탄소 녹색성장 산업 지원방안」 발표 이후 국가의 차세대 성장 동력원으로써 가축분뇨를 이용한 녹색기술의 중요성이 부각되고 있다. 가축분뇨는 유기물과 양분의 농도가 높아 자원화에 유리한 점을 지니고 있으며 (Chang et al., 2008), 토양에 유기물을 보충하여 물리·화학적 개선효과와 토양 중 생물상의 활성증진에 효과적이고 작물의 생육 촉진 등 작물의 양분 공급원으로 가치를 가지고 있다 (RDA, 2002). 특히 2012년부터 가축분뇨의 해양투기가 전면 금지되어 농림수산물부에서는 가축분뇨 자원화 및 퇴액비 이용과 축산경종간 연계체계 구축을 통한 자연순환 농업 활성화 방안을 추진하고 있다.

그러나 가축분뇨의 퇴액비화는 많은 양을 경제적으로 처리할 수 있고 병원균 사멸, 가축분뇨의 악취 제거 등의 이점이 있지만, 적절하게 관리되지 않으면 농업 비점오염원으로

작용하여 토양, 수질 및 대기환경에 악영향을 미치는 오염원으로 작용한다 (Murayama et al., 2001; Novak et al., 2000; RDA, 2002; Sweeten, 1988).

농경지에 시용된 가축분뇨는 강우에 의한 토양유실과 유거수, 지하침투수에 의한 용탈, 산화환원에 의한 가스상태의 휘산에 의하여 양분이 유실된다 (Kim et al., 2000). 일반적으로 퇴비 중 인산의 경우 비교적 환경에 안전성이 높으나 가축분뇨 과다 시용 시에는 많은 양이 유실되어 하천 및 지하수를 오염시킨다고 보고 되었다 (James et al., 1996; Kato et al., 2009; Woli et al., 2004). 그러나, 국내에서는 가축분뇨 종류별 양분 유실량에 대한 단편적인 연구 (Joo and Lee, 2011; Kim et al., 2000)만 있을 뿐 가축분뇨 퇴액비의 농경지 시용에 따른 수질 및 토양오염 등에 관한 체계적인 연구는 미흡하여 농업환경 정책추진 및 영농활동에 어려움이 많다.

따라서, 본 연구에서는 가축분뇨 액비인 SCB (Slurry Composting & Biofiltration, 퇴비단여과) 액비를 논에 사용하고 외부 수질환경에 오염부하를 최소화할 수 있는 최적영농관리방안을 탐색하고자 본 시험을 수행하였다.

**Table 1. Properties of livestock liquid fertilizer.**

	pH	EC	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
		dS m <sup>-1</sup>	----- % -----					
SCB	8.6	13.3	0.24	0.02	0.22	0.03	0.003	0.06
	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Fe	Mn
	----- mg L <sup>-1</sup> -----							
SCB	0.00	4.0	11.4	0.06	0.13	0.05	16.6	3.0

**Table 2. Chemical properties of paddy rice soils before livestock liquid fertilizer treatment.**

	pH	EC	O.M.	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cations			
					K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
Sandy loam	5.8	0.36	19.6	167	0.23	2.87	0.80	1.09

## 재료 및 방법

**시험개요** 본 연구는 경기도 여주군 능서면 오계2리에 위치한 경지정리된 사양토인 논포장에서 2008년부터 2010년까지 SCB 액비를 이앙 15일 전에 처리하였으며 단구제로 하였고 새추청비를 기계 이앙하였다. 시험재료인 SCB 액비는 경기도 이천시 백사면 모전리 모전양돈조합에서 제공한 것으로 SCB 액비는 시험 직전에 제조된 것으로 사용하였고, 그 화학적 조성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 0.24%의 질소 이외에 인산 및 칼리를 함유하고 있었으며 중금속 함량은 낮은 수준이었다. SCB 액비 처리구는 토양검정에 의한 질소시비량을 액비 중의 질소로 환산하여 질소 시비량의 전량을 100% 기비로 사용하였다. 액비는 논물이 채워진 논에 살포기를 이용하여 논 전면에 균일하게 살포하였다. 대조구인 화학비료 처리구의 시비량은 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=9:3:3 kg/10a 을 기준으로 토양검정에 의한 시비량을 50-30-20으로 분시하였다. 시험 전 논토양의 화학적 특성은 우리나라 논토양의 평균함량과 비슷하였으나, 유효인산 함량은 우리나라 논토양의 평균함량 (RDA, 2009)에 비해 매우 높았다 (Table 2).

**시료채취 및 분석** 토양시료는 SCB 액비 사용 후 1, 2, 4, 8, 12, 15, 18일 후에 채취하여 분석하였고, 물 시료는 논물의 유입과 유출지점에서 관개수와 배출수를 그리고 논 표면에서 표면수를 채취하였다. 액비와 토양의 pH와 EC는 각각 pH meter (Model 720A, Orion)와 EC meter (Model 145A, Orion)를 사용하여 측정하였고 액비와 토양의 총질소는 Kjeldahl법으로 정량하였다 (NIAST, 2000). 액비의 인산, 칼리, 석회, 고토 및 중금속 함량은 시료 0.5~1.0 g을 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-SClO<sub>4</sub>법으로 습식 분해하여 인산은 Vanadate법으로 비색정량하였고 칼리, 석회, 고토 및 중금속은 ICP-OES

(GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다 (NIAST, 2000), 토양 중 유기물은 Turin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1N NH<sub>4</sub>OAc 용액 (pH 7)으로, 총 중금속 함량은 Microwave (CEM MARS 500, USA)로 분해하여 ICP-OES (GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다 (Summer and Miller, 1996). 수질분석은 Standard Methods (APHA, 1995)와 수질오염공정시험기준 (MOE, 2008)에 의해 NO<sub>3</sub>-N은 1N-HCl로 hydroxide와 carbonate에 의한 영향을 제거하고 흡광도를 측정하는 자외선 흡광광도법과 T-N은 alkaline persulfate 분해 후에 cadmium reduction법 그리고 T-P는 persulfate 분해 후에 ascorbic acid법으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

SCB 액비를 논에 사용한 후 1, 2, 4, 8, 12, 15, 20일째 토양을 채취하여 TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) 함량을 조사한 결과 사용 후 토양 중 TKN 함량이 약간씩 증가하다가 20일째 급격히 증가하였는데, 이는 논물을 가두어 둔 상태로 토양표면에 사용된 SCB 액비의 양분들이 시간이 점차 지남에 따라 표층에서 토양 중으로 이동 및 흡착되었기 때문으로 생각된다 (Fig. 1). 일반 논물의 액비 살포는 외부 환경으로의 영향을 최소화하기 위해서 벼 재배 15일 전에 사용하도록 가축분뇨 퇴액비 이용기술 매뉴얼 (2010)에 명시되어 있으나, 양분이용 효율을 증대시키기 위해서는 양분이 토양 중에 흡착되는 시간도 고려해야 한다고 생각된다. 따라서 SCB 액비를 최소 이앙 20일 전에 시비하여 토양 중 양분 보유 능력을 높여 작물의 양분 이용효율을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

SCB 액비를 논에 사용한 직후부터 일주일 간격으로 유출

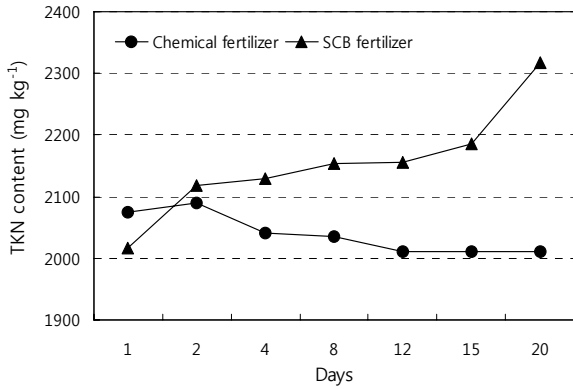


Fig. 1. Time-variant total kjeldahl nitrogen contents in paddy rice soils treated with chemical and SCB fertilizer treatment.

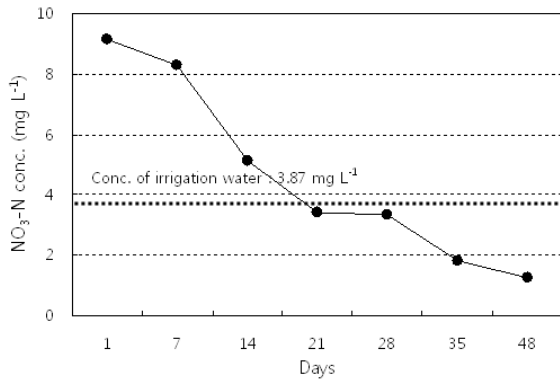


Fig 2. Time-variant concentrations of nitrate-nitrogen in surface drainage water from the paddy rice soils treated with SCB liquid fertilizer.

수 중 질산태 질소의 농도, 표면수 중 EC 및 질산태 질소 농도를 조사한 결과는 Fig. 2와 3과 같았다. 유출수 중 질산태 질소 농도는 SCB 사용 후 20일 후에야 논에 유입되는 관개수 농도와 비슷한 수준으로 외부 유출 부하 우려가 감소하였다. 표면수 중의 EC 농도는 시비 4일 후 그리고 질산태 질소의 농도는 시비 후 21일 후에 대조구인 화학비료 처리구와 비슷하였다. 특히 SCB 액비가 사용된 직후에는 유출수 중 질산태 질소의 농도가 높고 물꼬를 통한 유출수의 양도 많아 시비효율이 떨어지고 논으로부터의 양분유출이 많아질 우려가 있다. 따라서 SCB 액비가 사용된 논에서는 이 양초기인 사용직후부터 이양 3주까지는 물 흘러대기를 금지하여 사용된 양분의 환경부하를 최소화하면서 시비효율을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

가축분뇨 퇴액비 이용기술 매뉴얼 (2010)에는 양분유실방지를 위하여 액비 살포 후 바로 경운을 하는 것이 좋다고 명시되어 있으나, SCB 액비의 경우 관개기 초기에는 토사 유출이 심하여 경운으로 인한 환경부하가 우려되므로 이를 고려한 물관리 방안이 필요하다. SCB 액비를 사용한 논에 담수심을 5 cm와 10 cm로 유지하여 사용 후 1, 2, 4, 8, 12,

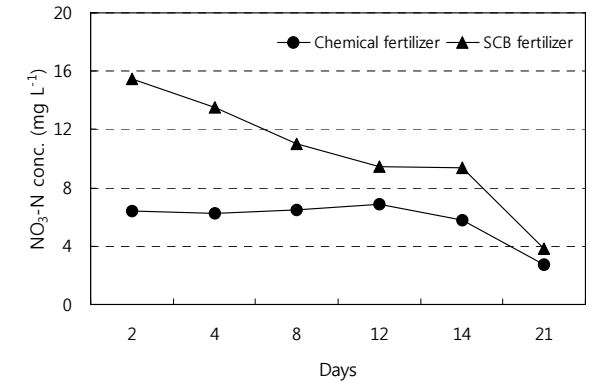
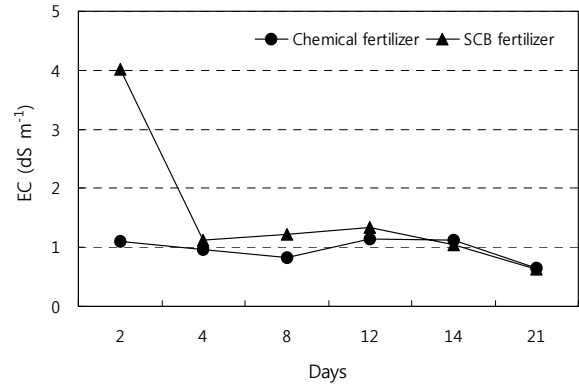


Fig. 3. Changes of EC (Electronic Conductivity) and nitrate nitrogen concentrations in surface water depending upon SCB liquid fertilizer treatment.

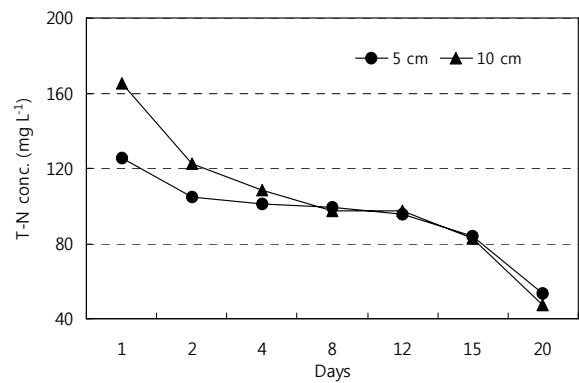


Fig. 4. Changes of total nitrogen concentrations in surface water of the paddy rice soils on different water depth.

15, 20일째 논 표면수 중 총질소 농도 변화를 조사한 결과 (Fig. 4), 담수심 10 cm보다 5 cm인 논의 표면수 중 총질소 농도가 낮았다. 이는 담수심 10 cm에 비해 담수심 5 cm에서는 토양 표면에 사용된 액비가 빨리 침강하여 양분이 토양 중에 흡착되었기 때문으로 생각된다. 또한 논 담수심 깊이에 따른 액비 사용 직후 유출이 발생할 때 경운을 통한 토양 및 양분 유출 농도를 비교한 결과 (Table 3) 담수심이 깊을수록 SS를 비롯한 질소와 인의 양분 유출 농도가 높았다. 따라서 액비 살포 후 바로 경운을 하게 되면 담수심 5 cm

**Table 3. Comparison of soil loss and nutrient discharge from paddy rice soils treated with SCB liquid fertilizer depending upon water depth.**

	5 cm			10 cm		
	SS	T-N	T-P	SS	T-N	T-P
	g L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	g L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
CF <sup>†</sup>	2.1	30.2	2.2	2.6	40.6	3.2
SCB	2.8	40.8	4.9	3.6	53.7	5.5

<sup>†</sup> CF represents chemical fertilizer.

내외로 유지하는 것이 환경부하 저감 및 용수절감 효과를 높이는 방안이라고 생각된다.

Kim et al. (2011)은 자외선에 의한 SCB 액비 시용 논 표면수 중 분변성 대장균 사멸을 변화를 조사한 결과 대조구(차광)에 비해 자연광 처리구에서 분변성 대장균의 사멸율이 높았으며 특히 시용 후 48시간 이전에는 통계적인 차이가 없었으나 48시간 후부터 급속히 사멸되었으므로 ( $p < 0.05$ ) 논에 직접 시용하였을 때는 논 표면수의 대장균에 의한 인근 하천수계 오염을 저감하기 위하여 최소 2일 동안 논 물꼬를 막아 관리하는 것이 수질환경의 건전성을 유지하는 방안이라고 보고하였다.

본 연구는 SCB 액비를 사용하는 평탄지 논에서 수행한 연구결과로 물관리 패턴이 다른 곡간지 논에서는 한계점이 있을 것으로 생각된다. 그러나, 가축분뇨 액비를 사용하는 논은 대부분 시용이 용이한 경지정리된 평탄지 논으로 본 연구는 수질환경 부하를 방지하기 위한 영농지도 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는 2008년부터 2010년까지 경기도 여주군 능서면 오계2리 SCB 액비를 시용한 논에서 수질환경 부하 저감을 위한 물관리 방안을 제시하고자 시험을 수행하였다. 첫째, 액비가 시용된 경지정리된 논에서는 시용 직후부터 이앙 후 3주까지 물 흘러대기를 금지하여 시용된 양분의 환경부하를 최소화하면서 시비효율을 높이는 방안, 둘째, 액비를 최소 이앙 20일 전에 시비하여 토양 중 양분 보유 능력을 높여 작물의 양분 이용효율을 높이는 방안, 셋째, 액비 살포 후 바로 경운시 담수심을 5 cm내외로 유지하여 환경부하 저감 및 용수절감 효과를 높이는 방안, 넷째, 액비 중에 포함되어 있는 분변성 대장균은 논에 시용 후 48시간 후부터 소멸되기 시작하므로 최소 2일 동안 물꼬를 막아 논 표면수의 유출을 억제하여 대장균에 의한 인근 하천 수계 오염을 저감하는 방안이 있다. 그러나, 본 연구에서는 SCB 액비를 사용하는 평탄지 논에서 수행한 연구결과로 물관리 패턴이 다른 곡간지 논에서는 한계점이 있을 것으로 생각되나 액비를 사용하는 논은 대부분 시용이 용이한 경지정리된 평탄지 논

으로 본 연구결과들은 외부 수질환경 부하를 방지하기 위한 영농지도 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호:PJ006906042012)의 지원에 의해 이루어진 것임

## 인 용 문 헌

- American Public Health Association. 1998. Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. 20th edition. Washington D.C., USA.
- Chang, K.W., J.H. Hong, J.J. Lee, K.P. Han, and N.C. Kim. 2008. Evaluation of compost maturity by physico-chemical properties and germination index of livestock manure compost. Korean J. Soil Sci. Fert. 41:137-142.
- James, D., A.J. Kotuby, G. Anerson, and D. Huber. 1996. Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring. J. Environ. Qual. 25:770-775.
- Joo, J.H., and S.B. Lee. 2011. Assessment of nutrient losses in different slope highland soils amended with livestock manure compost. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:361-367.
- Kato, T., H. Kuroda, and H. Nakasone. 2009. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production. J. Hydrol. 368:79-87.
- Kim, J.G., K.B. Lee, J.D. Kim, S.S. Han, and S.J. Kim. 2000. Change of nutrition loss of long-term application with different organic material sources in upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 33:432-445.
- Kim, M.K., G.B. Jung, S.C. Hong, S.S. Kang, and S.I. Kwon. 2011. Inactivation of *Escherichia coli* in surface water of saturated soil with the pig manure-based liquid fertilizers by ultraviolet radiation. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:368-370.
- Ministry of Environment. 2008. Standard methods of water sampling and analysis. Ministry of Environment. Incheon. Korea.

- Murayama, S., N. Kibo, M. Komada, K. Baba, and A. Tsumura. 2001. Water quality, particularly of trihalomethane formation potential of ground water of agricultural area of humic volcanic ash soil on Shirash Plateau where livestock wastes have been applied as land management. *Soil Sci. Plant Nutr.* 72:764-774.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Novak, J.M., D.W. Walts, P.G. Hunt, and K.C. Stone. 2000. Phosphorus movement through a coastal plain soil after a decade of intensive swine manure application. *J. Environ. Qual.* 29:1310-1315.
- RDA (Rural Development Administration). 1999. Technique for application of livestock manure liquid fertilizer. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2002. Technique for application of livestock manure liquid fertilizer. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2009. Annual report of the monitoring project on agri-environment quality in 2009. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2010. Technique for application of livestock manure compost and liquid fertilizer. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Summer, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients, In: D.L. Sparks et al. (ed.). "Method of soil analysis", Part 3, Chemical methods. SSSA Book Ser 5. SSSA and ASA. Madison, WI, pp.1201-1230.
- Sweeten, J.M. 1988. Composting manure sludge. In National poultry waste management symp., Columbus, OH. Dep. of Poultry Sci. Ohio State Univ. Columbus. pp.38-44.
- Woli, K.P., T. Nagumo, K. Kuramochi, and R. Hatano. 2004. Evaluating river water quality through land use analysis and N budget approaches in livestock farming areas. *Sci. Total Environ.* 329:61-74.