

양돈분뇨의 양액재배용 비효 연구

이 명 규

상지대학교 환경공학과

A Study on the Fertilizing Effect of Swine Fermentation Liquid Manures under the Hydroponics

Lee, Myung-Gyu

Department of Environmental Engineering, SANGJI University, Wonju 220-702, Korea

Summary

The present study investigated the possibility of applying the fermented swine liquid manure handled with TAO system to hydroponic cultivation. The fermented swine liquid manure (FLM) used for the study was in low concentration of phosphoric acid (P). Hence, when doing hydroponic cultivation, the concentration of P and K was supplemented. The concentrations of N, P, and K in compensated FLMS were as follows; (a) N 58 mg/l, P 0.5 mg/l and K 31 mg/l for FLM-1, (b) N 58 mg/l, P 31 mg/l and K 39 mg/l for FLM-2, and (c) N 58 mg/l, P 31 mg/l and K 61 mg/l for FLM-3, respectively. For hydroponic cultivation, it was possible to use diluted solution by 100 times through experiment of germination index. According to the experiment using lettuce, the compensated FLMS with P and K were superior in leaf width, yield and dry weight to FLM without any treatment. Therefore, it is necessary to supplement some nutrition before applying. In conclusion, it is highly estimated that the fermented swine liquid manure can be applied to hydroponic cultivation. It is also necessary to conduct further researches related to nutritional compensation depending on the vegetables.

(Key words : Thermophilic aerobic oxidation reactor, Fermentation liquid fertilizer, Hydroponics cultivation)

서 론

농업과 환경을 조화시켜 농업생산을 지속 가능하게 하는 친환경농업이 자리를 잡고 있다. 이는 농업 생산성 확보와 환경보전을 동시에 추구하며, 장기적인 이익추구, 개발과 환경의 조화, 생태계의 물질순환 시스템을 활용한 고도의 농업기술을 의미 한다(농림부, 2002).

최근 친환경농업의 발전과 함께 국내에서 대량 발생하고 있는 가축분뇨의 이용 또한 다양한 방법이 채택되고 있다. 과거의 톱밥퇴비화, 액비살포 등의 단순방법을 좀더 고부가가치 있는 고품 및 액상비료로의 전환이 그 한 예이다. 특히, 액상비료의 경우 발효처리, 살균처리, 농축처리 등의 방법을 거쳐 작물의 생육영양조건에 맞추어 유통이 가능한 유기

Corresponding Author : Lee, Myung-Gyu, Department of Environmental Engineering, SANGJI University, Wonju 220-702 Korea. Fax : +82-33-746-0443, E-mail : mglee@sangji.ac.kr

자원으로 재이용이 가능하여짐에 따라 가축 분뇨의 상품화 길이 열리게 되었다. 가축분뇨의 액상비료는 전국적으로 그 생산량이 막대함에 따라 그동안 화학비료에 의존했던 관행 농법을 대체할 수 있는 양액재배용 액상비료 등의 새로운 자원으로의 모색이 필요한 시기이다.

한편, 국내의 양액재배 면적은 '92년말 17 ha에서 2003년에는 870 ha로 급성장함으로서 이제는 몇몇 선도농가의 전유물이 아닌 가장 보편성 있는 재배방식으로 정착되어가고 있으며, 농촌의 사회구조가 고령화되면서 농업노동력이 취약해짐으로써 중작업이 없는 생산기술 분야로 양액재배가 확대되고 있는 실정이다(Kim과 Kim, 2000). 그리고 순환식 양액재배 시스템은 환경오염을 줄이고 자원을 절약할 수 있는 방식이다(Adams, 1992; Van Os, 1995; Van Weel 등, 1992). 또한, 양액재배에서도 농약 및 화학비료의 사용량을 감소하여 환경친화적 재배기술 개발에 주력하고 있다(Seo, 1999).

따라서 본 연구는 고온 발효처리된 양돈 발효액비를 발아영향 평가, 영양분 이용성 평가 등을 통해 양액재배 비료로서의 이용가능성을 알아보기 위하여 상추의 생육을 비교함으로써 가축분뇨의 고급화 및 폭넓은 이용가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 공시 재료

본 연구에 사용된 발효 액비(Fermentation Liquid Manure; 이하 FLM)는 고온호기산화장치(Thermophilic Aerobic Oxidation Reactor)로 처리된 발효 양돈 분뇨(Efflux)를 200 mesh 진동스크린을 이용하여 액상물을 분리한 후, Micro filter를 이용하여 농축한 것을 사용하였으며 이때 사용한 MF막은 일본 Y사의 평막(plate sheet)을

사용하였다. 막모들의 운전은 내압식 여과방식, 사용된 막의 평균공경은 모두 0.4 μm , 막재질은 폴리에틸렌 수지였으며 유효 막면적은 0.21 m^2 였다. 발효 양돈 분뇨와 연구에 사용된 FLM 이화학적 성상은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of the fermentation liquid manure and TAO Efflux(n = 5)

Item	TAO Efflux	FLM (MF reactor)
pH	8.72	8.75
EC (mS/cm)	21.4	22.0
T-P* (mg/l)	94.0	98.6
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	1,647	1,684
T-N** (mg/l)	4,914	5,642
K (mg/l)	2,760	3,007

* : Total Phosphorus, ** : Total Nitrogen.

2. 양액재배장치

실험은 2002년 3월 21일부터 2002년 9월 4일까지 수행하였으며, T회사 내의 PE필름 하우스에서 수행하였다. 양액재배 방식은 담액형 양액재배로서 2.88 m^3 (1.2 × 0.4 × 6 m) 크기의 베드를 제작하여 사용하였다. 2002년 3월 21일에 육묘판에 파종하여 발아 육묘한 본엽 2~3매의 상추묘를 뽑아 뿌리에 붙어있는 상토를 수돗물로 씻어낸 후, 스펀지에 뿌리를 감싸서 정식하였다. 양액의 순환은 700 l 용량의 양액통에 양수량 40 l/min의 수증펌프를 사용하여 주·야간 매 1시간마다 15분씩 급액 되도록 하였고, 배출된 양액은 반송펌프에 의해 양액탱크로 반송되는 환류식으로 실험하였다. 또한, 2,400 ml/min의 air 펌프를 이용하여 베드 내에 공기를 주입하였으며 실험에 사용된 재배장치의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

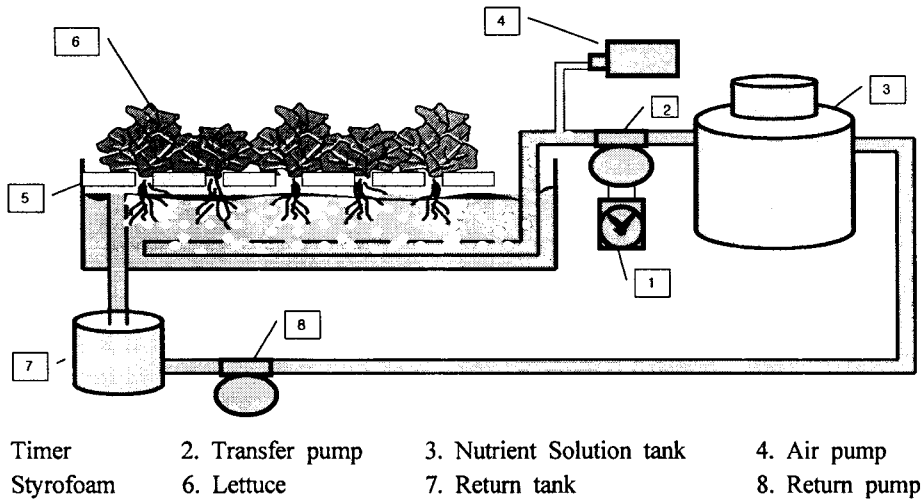


Fig. 1. Schematic diagram of hydroponic system.

3. 발아실험

발아 실험에 사용된 공시작물은 다른 작물에 비해 저항성이 강하며 단기간 수확이 가능한 품종으로 비교적 발아율이 높은 J사의 불꽃 측면 상추(*Lactuca sativa* L.)를 이용하였다. 실험은 전질소(T-N) 농도 5,500 mg/ℓ의 FLM을 100배, 500배 그리고 1,000배(질소 농도 55, 11, 5) 희석하여 처리하였다. 상추 종자는 증류수에 담아 20개씩 분주 후 Petri-dish 내에 whatman No.2 여과지 2매를 넣고 처리구별로 미리 제조된 시료 20 ml씩 분주하여 항온 인큐베이터(25 °C, 암조건)에서 5일간 배양하여 발아율(Seed germination; SG)과 뿌리 성장(Root growth; RG)을 측정하여 발아 지수(Germination index : G·I)를 계산하였다. G·I의 계산은 다음과 같다.

$$SG (\%) = \frac{\text{number of seeds germinated in FLM treatemt}}{\text{number of seeds germinated in control}} \times 100$$

$$RG (\%) = \frac{\text{mean root length in FLM treatemt}}{\text{mean root length in control}} \times 100$$

$$G \cdot I (\%) = \frac{SG \times RG}{100}$$

4. 양액 재배 실험

작물의 1차 필수 원소인 N, P, K를 보정하여 상추의 생장을 비교 실험하였다. 실험 대조구로서 농업용 지하수를 이용하였으며, FLM-1은 발효 액비의 희석액으로 N 58 mg/ℓ, P 0.5 mg/ℓ과 K 31 mg/ℓ의 성분을 나타내며, FLM-2는 발효 액비 희석액에 KH₂PO₄를 105 g/700 ℓ 첨가하였고, FLM-3은 발효 액비 희석액에 KCl을 21 g/700 ℓ 첨가하여 실험의 양액으로 사용하였다. FLM-2, 3의 KH₂PO₄, KCl 첨가량 기준은 시판 양액인 언더그로의 양액 조성을 기준(Table 2)으로 제조하였으며, 각 실험구별 조성은 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Chemical composition of Nutrient solution

Item	Wondergrow-1 (0.9 kg/1000 ℓ)
NH ₄ -N (mg / ℓ)	77.8
NO ₃ -N (mg / ℓ)	160.0
PO ₄ -P (mg / ℓ)	30.0
K ⁺ (mg / ℓ)	56.6

Table 3. Chemical composition of nutrient solution

Treatment	N - P - K (mg / l)	Composition
Control	5.5 - 0 - 12.5	Ground water
FLM-1	58 - 0.5 - 31	FLM
FLM-2	58 - 31 - 39	FLM + KH ₂ PO ₄
FLM-3	58 - 31 - 61	FLM + KH ₂ PO ₄ + KCl

Control : Nutrient, FLM : Fermentation liquid manure.

5. 분석 방법

상추의 생육을 분석하기 위하여 분석에 사용된 상추는 무작위로 3주를 채취하였다. 상추의 성장 측정은 농촌진흥청 농사시험 연구조사 기준법에 준하여 측정하였다. 전체중은 Dry oven에서 105 °C / 2 hr killing 후 Dry oven에서 80 °C / 24 hr 건조 후 측정하였다. pH는 ORION model 420A를 사용하여 이온 전극법 (Ionic Electronic Method), Electronic conductivity (EC)는 TOA model CM-7B를 사용하여 측정하였다. 양액의 각 항목 분석방법은 공정시험법과 ICP-MS(Varian Model : Ulter-mass 700)를 사용하였고 전처리 방법은 EPA Method 3050B에 준하여 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 발효 액비 발아 실험 결과

발효액비의 희석배율에 따른 상추의 뿌리생

장률과 발아율을 Table 4에 나타내었다. 발아지수(Germination Index, G · I)의 비교검토결과, 증류수를 기준으로 FLM 100배 희석 처리구는 125 %, 500배 처리구는 108 %, 1,000배 처리구는 87 %로 100배 희석 처리구에서 가장 높은 G · I를 나타내었다. 100배 처리구에서의 높은 G · I는 뿌리의 성장률과 발아율 모두 높은 것에 기인함으로써 이는 발아에 전혀 무해함을 보여주고 있는 것으로 사료된다.

2. pH와 EC의 변화

상추 생육기간 동안의 pH와 EC의 변화를 Fig 2에 나타내었다. 생육 전 기간에 걸쳐 Control를 제외한 모든 처리구의 pH는 초기 급격히 낮아지어나 10일 이후 점차적으로 pH 6.0~6.5 사이로 유지되는 경향을 나타내었다. 이러한 생육후기의 pH가 상승하는 것은 이 시기가 생육이 가장 왕성하고 수분흡수가 많은 시기이며, 양액에 존재하는 암모니아태 질소가 소모된 후 질산태 질소를 흡수하기 때문이라고 하였는데(Lee와 Lee, 2002) 본 연구에서도 유사한 pH의 변화 경향을 나타내었다.

EC의 경우 역시 각 처리구마다 다른 변화 양상을 나타내었다. Control의 EC범위는 0.2 ~ 0.5 mS/cm로 FLM 처리구보다 낮게 나타났다. FLM-1, 2의 범위는 12일까지 점차 감소하였으나 이 후에는 1.1 mS/cm로 일정하게 유지하였다. 카리와 인을 첨가한 FLM-3는 1.7 mS/cm

Table 4. Effect of the dilution rate of fermentation liquid manure(FLM) on the Germination index of *Lactuca sativa*

	T-N (mg/l)	Root growth		Seed germination (%)	G · I (%)
		Length (cm)	Rate (%)		
D · W	0	4.41	100	100	100
FLM 100X	55	5.45	123.5	101.06	125
FLM 500X	11	4.71	106.75	101.06	108
FLM 1,000X	5	4.62	84.66	103.16	87

D · W : Distilled water, FLM : Fermentation liquid manure.

cm로 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며, K의 첨가에 따라서 FLM-1과 2보다 높게 유지되었다. 따라서 본 연구에서 제시한 pH, EC의 변화는 향후 질소의 형태별 농도변화 및 영양염류의 흡수 등 경시적 변화와 함께 구체적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

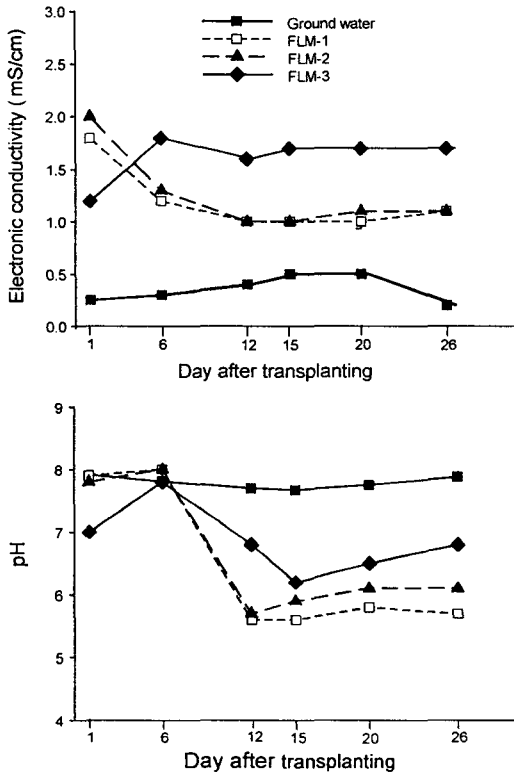


Fig. 2. pH and EC fluctuation of the treatment under the hydroponics.

3. 양액 재배 질소 보정 실험의 상추 성장

FLM을 100배 희석한 후 가리 및 인을 첨가하여 실험한 상추의 생육 특성을 Table 5에 나타내었다. 인을 보충한 FLM-2의 경우 FLM-1과 비교하여 엽장, 엽폭, 엽수 모두 약 20% 높은 성장률을 보였으며, 인과 카리를 보충한 FLM-3은 23 ~ 36% 더 좋은 효과를 나타내었다. FLM-2와 FLM-3의 전체중을 FLM-1과 비교하였을 때, 약 2~3배 이상으로 발효 액비를 단독으로 사용하였을 때보다 가리 및 인과 같은 부족한 영양성분을 보충하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 발효 액비는 저 인산 액비로 인산의 자체 성분량은 시비량을 만족시키지 못하여 생육이 저조하였으나 상추의 생장이 증가한 것으로 보아 작물의 흡수가 이루어졌고, 인산에 의한 생장이 일어난 것으로 사료된다. 인산은 종자의 발아를 좋게 하며 분열을 많이 하는 기능을 하는데 이러한 현상은 본 실험에서도 나타나, 인산을 첨가 해준 FLM-2는 인산을 첨가하지 않은 FLM-1보다 엽장, 엽폭, 엽수의 수치가 높았다. 그리고 가리는 식물체가 많이 흡수하는 필수원소로 세포 안의 물질대사를 정상적으로 일어나도록 하는 기능을 가지고 있다. 인산과 가리를 보충한 FLM-3은 다른 처리구보다 모든 항목에서 높은 결과를 보였다.

양돈분뇨를 이용한 고급 액비의 양액 재배 용 액상비료로서의 현장 적용 시용 가능성을

Table 5. Effect of the fermentation liquid manure (FLM) and indispensable nutrient addition on growth of *Lactuca sativa*

Treatment	leaf length		leaf width		No. of leaf		Fresh weight		Dry weight	
	cm	(%)	cm	(%)		(%)	g	(%)	g	(%)
Ground water	4.2	72	3.3	59	10.2	97	1.0	23	0.12	40
FLM-1	5.9	100	5.7	100	10.5	100	4.2	100	0.3	100
FLM-2	8.5	144	7.8	137	16.0	152	9.3	221	0.6	200
FLM-3	9.8	166	9.3	163	19.0	181	15.9	379	1.0	333

FLM-1 : FLM, FLM-2 : FLM + KH₂PO₄, FLM-3 : FLM + KH₂PO₄ + KCl.

시사하였다. 이는 TAO system을 통하여 고부가가치를 갖는 양액 재배용 액상비료의 생산이 가능하다는 것을 의미하는 것으로 환경오염의 저감과 재활용의 측면에서 축산농가와 경종농가의 경쟁력 제고 및 수경 재배 양액의 수입 대체효과를 기대한다. 본 실험에서 작물 성장량 향상에 따른 최적의 영양염류의 흡수 특성 등 식물흡수 메커니즘을 밝혀내는 수준까지는 미흡하였으나 발효액비 제조를 통한 양액 재배 액상비료로서의 가능성을 보여주었다. 향후 양돈 분뇨를 이용한 양액 재배를 위해서는 지속적인 양액의 특성 연구와 다양한 작물별 적정 시비량을 파악하여야 할 것이다.

적 요

양돈분뇨 발효액비를 이용하여 양액재배용 액상비료로의 전환을 위한 양액재배(수경재배)를 수행한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 발효액비(FLM)의 비효영양염류의 농도는 N, P, K가 각각 5,600, 98, 3,000 mg/l 정도로 저 인산의 액상물이며, pH, EC는 각각 8.75, 22.0 mS/cm 이었다.
2. 발효액비의 유해성을 검토하기 위하여 100배 희석액을 이용하여 발아실험을 한 결과, 수도수(control)보다 125%의 높은 발아지수(G·I)를 나타내어 무해함을 밝혔다.
3. 100배 희석한 발효액비를 기준으로 각각 인산염과 카리를 첨가한 FLM-2, FLM-3를 이용하여 상추 수경재배를 실시한 결과, N, P, K 모두 높은 FLM-3에서 옆장, 옆폭, 옆수, 건물중 모두 높은 성장률을 보여주었다. 이는 발효액비의 이용 시 단순이용보다는 부족분의 첨가가 전제되어야함을 보여주고 있는 것이다.
4. 발효액비의 이용 시 양액의 pH, EC의 변화는 수량 등 식물영양생리에 장해요인으로 작용할 것으로 사료되어 졌으나 약산성의 pH 유지 및 EC 2.0 mS/cm 이하의 유지 등 양액 재배에 따른 작물의 피해는 없는 것으로 사료

되어, 적정희석만 유지되어 질 경우 양액으로서의 이용 가능성은 충분한 것으로 사료되어진다.

향후, 발효액비의 다양한 이용을 위해서는 영양염류의 흡수특성 및 최적 영양염류의 비율 등 작물영양생리학적 검토가 추가적으로 연구되어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었기에 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Adams, P. 1992. Crop nutrition in hydroponics. Acta Hort. 323:289-305.
2. Kim, Y. C. and Kim, G. Y. 2000. The status, problems, and projects of the nutrient culture in Korea. Kor. Res. Soc. Protected HORT. 13(1):74-82.
3. Lee, J. G. and Lee, B. Y. 2002. Growth and nutrient-water uptake characteristics of *Oenanthe stolonifera* DC. as affected by the concentrations of nutrient solution in closed hydroponic system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43(5): 582-586.
4. Seo, B. S. 1999. Future prospects and countermeasures for hydroponics in 21C. Kor. J. HORT. Sci. Technol. 17(6).
5. Van Os, E. A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. Acta Hort. 396:25-32.
6. Van Weel, P. A., de Dood, J. and Woittiez, R. D. 1992. Cut-rose production in closed system with emphasis on environmental aspects. Acta Hort. 303:15-21.
7. 농림부. 2002. 『친환경 농업 육성 정책』.