

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
중장기Code		RIMS Code			
연구과제 및 세부과제		연구분야 (Code)	수행 기간	연구실	책임자
축산분뇨 액비활용 연구		환경생태 ES0203	'02 ~'06	강원도원 환경농업과	김승경
1) 시설재배지 돈분뇨 액비의 연속시용이 토양환경에 미치는 영향		농업환경 ES0203	'02 ~'06	강원도원 환경농업과	최준근
2) 고추 재배지 돈분뇨액비의 시용기준 설정		농업환경 ES0203	'05 ~'06	강원도원 환경농업과	최준근
색인용어	돈분뇨 발효액비, 시설재배지, 토마토, 오이, BMW, SCB, TAO				

## ABSTRACT

This five year(2002-2006) term study was carried out to examine the effects of continuous long-term application of swine liquid manure to soil chemical properties and heavy metal contents in greenhouse soil and yield of tomato and cucumber. Treatments consisted of conventional chemical fertilizer, three types of swine slurry; Slurry Composting and Biofiltration (SCB), Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO), and Bio-Mineral Water (BMW). Total nitrogen levels of the SCB, TAO and BMW were 0.47%, 0.09%, and less than 0.01%. Amount of Heavy metals of the three liquid manures was very low compared with the regulation level. Levels of soil phosphorus, potassium, and heavy metals for soils with continuous application of swine slurry were not higher than those for chemical fertilizer application. Contents of heavy metals in leaves of the crops were also significantly different among treatments. For copper and zinc, plant essential elements, the levels in leaves were in the range of optimum plant growth. Yield of tomato and cucumber for swine liquid manure was not significantly different from that of chemical fertilizer. The results implied that swine slurry may not accumulate plant nutrients including phosphorus and potassium and heavy metals in greenhouse soil if they are applied based on recommended nitrogen level.

### 1. 연구목적

전통적으로 작물의 영양원 및 토양개량용으로 활용되었던 가축분뇨의 이용이 화학비료의 사용이 일반화되면서 줄어든 반면, 식생활의 발달과 더불어 육류 소비량의 증가에 따른 축산분뇨의 급격한 증가는 수질오염 등 환경적인 문제로 대두되고 있다. 우리나라 1인당 소, 돼지, 닭, 우유 소비량은 1970년 각각 1.2, 2.6, 1.4, 1.6kg에서 2000년 8.5, 16.5, 6.9, 59.2kg으로 증가하였다. 이에 따라 가축 사육 두수는 1970년 소 1.3백만, 돼지 1.4백만, 닭 12백만두에서 2006년 소 2.5백만, 돼지 9.4백만, 닭 119백만두로 증가하였다(농산물품질관리원, 2006). 2005년말 통계에 의하면 우리나라의 가축분뇨 발생량은 약 41,845천톤이며, 이 중 퇴·액비로의 활용은 82% 정도인데, 금후 2012년부터 가축분뇨의 해양투기가 전

면 금지됨에 따라 그 이전에 해양 배출되는 물량을 자연순환적으로 육상에서 처리해야 한다. 따라서 가축분뇨의 효율적인 농지로의 환원으로 그 이용성을 극대화 할 필요가 있다.

가축분뇨는 토양의 물리성, 화학성, 생물학성을 개선하여 토양의 질을 향상시키는 가치있는 유기물 자원으로 여겨져 효과적인 유기질 비료로 활용되어져 왔다. 축산분뇨에 함유되어 있는 질소, 인산, 칼리의 양은 각각 398천, 495천, 310천 톤으로 추정된다. 일부 유기농가에서는 가축분뇨를 포함한 유기질 비료가 토양의 질뿐만 아니라 작물의 수량과 품질을 높인다고 주장한다.

농지로의 가축분뇨의 시용은 토양과 물 환경에 긍정적인 효과뿐만 아니라 부정적인 영향을 줄 수도 있다. 부정적인 효과의 한 예로 축분이 처리된 농지에서의 인산 집적을 들 수 있으며, 작물이 요구하는 양보다 과량의 인산은 다른 필수 영양소의 흡수를 저해할 수도 있다. 또한, 인산은 식물 뿌리, 지렁이 통로, 틈새 등 대공극을 통한 우선 전달 경로를 통하거나 이동성 수용성 미립자와 결합하여 지하수로 이동되어 지하수를 오염시킬 수 있으며, 토사 유실과 유거수를 통해 하천 등 지표수를 오염시킬 수 있다(Sharpley 등, 1994; James 등, 1996; Jensen 등, 1998; Acott 등, 1998; Seo and Lee, 2005; Seo 등, 2005).

또한, 가축의 병을 예방하고 생체량을 늘리며, 사료 이용 효율을 증가시키기 위하여 구리, 아연, 비소, 코발트, 철, 망간, 셀레늄 등 미량 원소를 가축 사료에 첨가하는데(Tufft와 Nockels, 1991), 이로 인해 가축 분뇨내 이들 원소의 함량이 높아진다(Morrison, 1969; Kunkle 등, 1981). 이에 따라, 가축 분뇨의 연용은 농경지 표토와 농작물에 구리와 아연 함량을 증가시킬 수 있다(Kingery 등, 1994; Lim 등, 2004; Moreno-Caselles 등, 2005). 가축 분뇨의 장기 연용은 토양과 물 환경을 오염시키고 농산물의 안전성을 위협할 우려를 배제할 수 없기에, 가축 분뇨의 연용이 미치는 영향을 작물 생산성뿐만 아니라 환경과 안전성 측면에서도 검토를 할 필요가 있다.

구리와 아연은 16개 식물 영양소에 속하며, 이들 영양소의 결핍은 다른 영양 성분들이 충분히 있을지라도 식물 생장과 수량을 제한할 수 있다. 구리와 아연은 몇 가지 식물 대사 과정에 관여하며, 엽록소의 생성에 필수적으로 요구되어진다. 구리의 대부분의 역할은 플라스토시아닌, 슈퍼옥사이드 디스뮤테이즈, 사이토크롬 산화효소, 아스코베이트 산화효소, 다이아민 산화효소, 페놀 산화효소 등 산화환원 반응에 관여하는 효소들과 관련된다. 아연도 알콜 탈수소효소, 카보닉 안하이드레이즈, 슈퍼옥사이드 디스뮤테이즈, 알칼리성 인산분해효소, 인지질 분해효소, 카르복시펩티드 분해효소, RNA 합성효소 등의 구성 요소이며, DNA 복제와 유전자 발현 조절에 관여한다(Marschner, 2002). 그러나, 과량의 구리와 아연은 독성을 나타낸다. 다량의 구리는 식물의 철 흡수를 저해하여 철 부족 증상을 일으키며, 지질 과산화와 생체막의 분해로 인한 갈변 증상을 나타내기도 하고, 뿌리의 성장을 저해하며 뿌리의 생체막에 해를 입힌다. 고농도의 아연은 철과 마그네슘의 결핍을 유도하여 뿌리 생장과 광합성을 저해하고 어린 잎의 갈변을 일으킨다(Marschner, 2002).

본 연구는 시설재배에서 환경부담을 최소화하는 가축분뇨의 안정적인 자원화기술 확립하기 위하여 공정과정에 의해 생산된 3종의 돈분뇨 발효액비를 2002년부터 5년간 토마토와 오이재배에 사용하고 작물의 생산성 및 토양환경에 대한 평가를 실시한 결과이다.

## 2. 재료 및 방법

시험에 사용한 액비는 생물 여과 액비(SCB: Slurry Composting and Biofiltration), 고온 호기성 발효 액비(TAO: Thermophilic Aerobic Oxidation) 및 생물 활성수(BMW : Bio-Mineral Water) 등 3종이었으며, 액비 생산지에서 직접 수거하여 양분, 중금속 등을 분석한 다음 본 실험에 사용하였다. 작물 재배전

토양을 분석하여 검정시비량을 산출하고, 3종의 액비 가운데 가장 질소 함량이 높았던 TAO의 경우 질소 기비 시용량에 해당하는 양을 시용하였다. 인산과 카리는 부족시 화학비료로 보충하였다. SCB와 BMW는 TAO와 같은 양을 처리하여 단위 면적당 액비 시용량에 따른 변이를 줄였으며, 부족한 질소, 인산과 카리는 화학비료로 보충하였다. 기비는 포장에 전면 살포 후 경운하여 작물을 정식하였고, 추비는 관수시 물과 혼합하여 점적으로 관비하였다. 대조구로는 관행재배인 화학비료를 검정시비 하였다.

시험 포장의 조성은 비가림하우스 내에 규격 4.4×1.8m의 간이 Lysimeter를 처리별, 반복별로 설치하였고 양분 등의 이동을 방지하기 위하여 처리구간에는 철제 격막을 설치하였으며, 5년간(2002-2006) 동일한 시험구에 동일한 처리를 하였다. 시험 포장의 토양은 규암토으로 미사질 양토(coarse silty, mixed, nonacid, mesic Aquic Fluventic Eutrochrepts)였다. 작물의 재배는 4월 초, 중순에 토마토 (*Lycopersicon esculentum*)를 정식하고 수확 후 8월 중, 하순에 오이(*Cucumis sativus* L.)를 정식하였다.

토양은 매년 토마토 및 오이 정식 전 및 수확 후 처리별로 0-15cm에서 채취하여 음건한 다음 2mm 체를 통과시켜 분석에 사용하였다. 토양 pH, 전기전도도, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 등 토양 화학성은 농업과학기술원(2000)의 방법을 이용하여 측정하였다. 토양 pH와 전기전도도는 토양을 증류수 1:5로 혼합한 다음 각각 pH 전극과 전기전도도 전극을 이용하여 측정하였다. 토양 유기물 함량과 유효인산은 각각 Tyurin 법과 Lancaster 법으로 정량하였다. 카리, 칼슘, 마그네슘과 같은 치환성 양이온은 1N 암모늄 아세테이트 (pH 7)로 침출한 다음 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)로 분석하였다. 카드뮴, 크롬, 구리, 니켈, 납, 아연, 수은, 비소 등 중금속의 함량은 토양 시료를 0.1N HCl 용액 (1:5)으로 추출한 다음 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)로 분석하였다.

시용한 액비의 양분 조성은 연차별로 변이가 있었는데 그 평균값은 표 1과 같다. 액비 내 총 질소 함량은 SCB와 TAO가 각각 0.09%, 0.47%였는데, BMW는 0.01% 이하로 매우 낮아 양분 이용 측면에서는 적절하지 않은 것으로 보인다. SCB는 가축분뇨발효비료(액비) 공정규격에 제시된 질소전량 0.3%에 미달되어 금후 액비의 생산과정에서 질소함량을 높이거나 또는 2004년에 개정된 공정규격의 질소 함량을 낮추는 법제의 재개정이 필요할 것으로 판단되었다. 또한 SCB는 질소보다 카리의 함량이 2배 정도로, 대부분의 농가에서 질소 성분을 기준으로 농지에 살포하고 있는 현 상황에서 축산 액비의 장기 연용시에는 토양 내 카리의 집적이 우려되었다. 이의 해결 방안으로는 액비내 3요소 성분 중 가장 많이 함유하는 성분을 기준으로 시비량을 산출하여 살포하는 방법을 적극 홍보해야 할 것으로 생각되었다.

한편, 액비 내 인산은 SCB와 TAO 모두 질소와 가리 함량보다 매우 낮게 검출되어, 축산 퇴비의 시용에서와 같은 인산 집적의 문제는 상대적으로 낮은 것으로 보인다.

표 1. 시험에 사용된 액비의 이화학적 조성

액비 종류	이화학적 성분(%)					
	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	NaCl
SCB	0.09	0.02	0.19	0.01	tr	0.02
TAO	0.47	0.03	0.35	0.03	tr	0.05
BMW	<0.01	0.01	0.09	0.04	tr	0.02

표 2는 시험에 사용한 액비의 유해성분인 주요 중금속 8종의 함량을 분석한 결과이다. 세 액비 모두 가축분뇨발효비료(액) 공정규격에 제시한 기준치 이하의 함량을 나타내 사용에 문제가 없을 것으로 생각되었으며, 이 중 SCB 액비에서 아연의 성분이 다소 높은 것으로 분석되었다.

표 2. 시험에 사용된 액비의 중금속 함량

액비 종류	중금속 함량(mg/kg)							
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As
SCB	0.02	0.88	1.7	0.58	0.15	11.0	tr	0.01
TAO	0.02	0.67	3.1	0.81	0.05	0.61	tr	0.02
BMW	0.03	0.83	0.7	0.61	0.12	0.62	tr	tr
공정규격	0.5	30	50	5	15	130	0.2	5

표 3은 본 시험을 시작한 첫해인 2002년 시험포장 조성 당시의 토양 화학성을 분석한 자료이다. 토성은 미사질 양토로서 토양 pH는 5.8로서 과채류 재배에 적당하였으며, 질소와 인산, 칼리가 적당량 함유되어 있었다. 우리나라 시설재배지의 평균 인산과 칼리 함량은 1,092mg/kg과 1.27cmol<sup>+</sup>/kg으로 적정 함량인 350-500mg/kg과 0.7-0.8cmol<sup>+</sup>/kg를 초과하여 70-80%의 시설하우스 토양이 적정값보다 높는데(정 등, 1998), 본 시험에 쓰인 시설재배지의 경우 조성한 지 얼마되지 않아 염류가 집적되지 않은 것으로 보인다. 우리나라 시설재배지의 토양중 가용성 구리와 아연은 평균 3.7mg/kg과 23mg/kg이며(정 등, 1997), 정 등 (2006)이 최근 경상도 지역의 토마토 시설재배지의 가용성 구리와 아연을 조사한 결과 각각 11mg/kg, 41mg/kg였고 오이의 경우 각각 12mg/kg, 51mg/kg였으므로, 본 실험에 쓰인 시설하우스 포장의 구리와 아연 함량은 우리나라 시설재배지의 평균이나 경상도 지역의 토마토, 오이 재배지보다 낮았다.

표 3. 시험전 재배지 토양의 화학성 및 주요 중금속 함량

pH	EC	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	K	Mg	Cu	Zn
	(dS/m)	mg/kg			cmol(+)/kg			mg/kg	
5.8	1.2	583	21	120	4.8	0.7	1.6	0.9	7.1

### 3. 결과 및 고찰

5년간 3종의 돈분뇨 발효액비를 연용한 결과 토양 화학성은 표 4와 같다. 토양 pH는 관행 화학비료 시비에 비해 약간 높았으며, 유기물 함량에 있어서는 처리간 큰 차이를 보이지 않았다. 유효인산과 치환성 칼리 함량은 TAO와 SCB에 비해 BMW와 화학비료 처리구에서 높았으며, 이에 따라 전기전도도도 값도 높았다. BMW는 3종의 돈분뇨 발효액비 가운데 가장 질소, 인산, 칼리 함량이 적어 화학비료 보충량이 가장 많았으므로, 화학비료를 처리한 관행시비구와 결과가 비슷하게 나온 것으로 추정된다.

표 4. 시험후 재배지 토양 화학성

처리	pH	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cation (cmol(+)/kg)		
					K	Ca	Mg
TAO	6.1	1.6	21	571	0.66	5.2	1.7
SCB	5.9	1.4	20	547	0.55	5.1	1.7
BMW	5.8	2.1	22	657	1.02	4.6	1.8
관행시비	5.7	2.0	21	613	1.14	4.9	1.9

시험후 토양의 중금속 함량은 처리간 뚜렷한 차이를 보이지 않아, 액비의 시용이 토양 중금속 함량을 집적시키는 경향을 나타내지는 않았다(표 5). 다른 발효액비에 비해 아연 함량이 높았던 SCB의 경우 토양의 가용성 아연 함량은 다른 처리와 비교하여 높지 않아 직접 영향을 주지는 않는 것으로 보인다. 정 등(1997)에 따르면, 우리나라 시설재배지의 평균 중금속 함량은 카드뮴 0.21mg/kg, 구리 3.7mg/kg, 납 2.5mg/kg, 아연 23mg/kg, 비소 0.65 mg/kg였으며, 농작물에 피해를 줄 염려가 있는 토양중 가용성 카드뮴, 구리와 아연의 함량은 25mg/kg, 20-100mg/kg과 150-500mg/kg(김, 1993)으로 알려져 있다. 이에 비해 시험후 재배지 토양의 중금속 함량은 매우 낮아, 질소 기비 수준으로 축산 액비를 처리하고 부족 양분은 화학비료로 보충하는 경우 중금속 오염으로 인해 작물이 해를 입을 우려는 없는 것으로 판단된다. 그러나, 단위 면적당 액비 처리량에 따른 영향은 더 검토되어야 할 것이다.

표 5. 시험후 재배지 토양의 중금속 함량

처리별	중금속 함량 (mg/kg)							
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As
TAO	0.05	0.38	1.2	0.23	1.4	6.4	0.03	0.05
SCB	0.06	0.38	0.9	0.20	1.4	6.1	0.08	0.04
BMW	0.05	0.37	1.4	0.17	1.4	8.4	0.03	0.04
관행시비	0.04	0.37	0.9	0.19	1.5	7.2	0.02	0.04

토마토와 오이 잎의 중금속 함량은 표 6과 같이 처리간에 큰 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 축산 분뇨 액비의 처리가 화학비료 처리에 비하여 식물체의 중금속 함량을 높이지 않는다는 것을 시사해준다. 아연의 함량이 높았던 SCB의 경우 다른 처리보다 높지 않았으며, 오이의 경우 가장 낮았다. 따라서 SCB 액비가 아연 함량이 높을지라도 적정량 처리한다면 토양과 식물체에 아연 함량을 증가시키지는 않는 것으로 판단된다. 정 등(1997)에 따르면 우리나라 시설재배지의 오이 잎 중의 평균 중금속 함량은 카드뮴 0.54mg/kg, 구리 11.5mg/kg, 납 3.6mg/kg, 아연 73.4mg/kg였고, 하 등(1997)은 남부지방 시설재배지 오이 잎의 평균 아연 함량은 64.0mg/kg이라고 보고하였다. 최근 정 등(2006)이 경상도 지방 시설하우스에 재배하는 토마토와 오이의 중금속 함량을 조사한 결과, 토마토는 구리 568 mg/kg, 아연 38mg/kg였고, 오이는 구리 169mg/kg, 아연 101mg/kg으로 매우 증가하였다. 김 등 (2001)이 우리나라에서 생산되는 농산물의 중금속 안전성을 평가하기 위해 농산물의 중금속 함량을 분석한 결과에 따르면, 채소류에서 카드뮴 0.44mg/kg, 구리 8.2mg/kg, 납 4.0mg/kg, 아연 74mg/kg, 니켈 4.0mg/kg, 크롬 1.5mg/kg이었다. 이들 선행 연구 결과를 고려해 보면, 본 시험의 토마토와 오이는 중금속이 집적된 것으로 보이지는 않는다. 한편, 작물의 필수 영양소의 측면에서 잎에서의 적정 미량원소의 함량은 구리

5-30mg/kg, 아연 20-150mg/kg으로, 본 시험의 토마토와 오이는 구리와 아연 함량이 부족하거나 과다하지 않았다.

표 6. 식물체의 중금속 성분

작물	처리별	중금속 함량(mg/kg)					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
토마토	TAO	0.11	1.4	13	2.0	1.4	26
	SCB	0.15	1.3	11	1.6	1.6	27
	BMW	0.34	2.0	7	2.4	1.1	29
	관행시비	0.21	1.3	10	2.2	1.3	31
오이	TAO	0.28	2.4	12	5.9	5.4	40
	SCB	0.37	2.3	17	4.3	4.4	35
	BMW	0.33	2.3	24	3.6	4.0	48
	관행시비	0.16	2.2	29	5.1	2.3	48

5년간의 시험 기간에 걸쳐 연도별로 토마토와 오이의 수량을 조사한 결과는 표 7과 같다. 무가온의 비가림하우스 시설인 관계로 재배기간이 짧고 토마토와 오이의 2기작 재배로 작목별 수확량은 적었으나 시험 수행에 있어서는 무리가 없었다. 연도별로 수량의 차이는 작황에 따라서 다소 차이가 있었으나 액비를 사용한 처리구와 관행의 화학비료 재배구와의 차이는 인정되지 않았다. 이와 같은 성적을 볼 때 돈분뇨 발효 액비를 연용했을 경우에도 작물의 수량성에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

표 7. 연도별 토마토와 오이의 수량성

(단위 : kg/10a)

작 목	처리	연 도				
		2002	2003	2004	2005	2006
토마토	SCB	4,715	4,857	3,520	5,628	4,046
	TAO	5,070	5,001	3,669	5,308	4,098
	BMW	4,791	4,655	3,492	4,141	4,046
	관행시비	4,965	4,647	3,811	4,514	3,915
오이	SCB	2,072	2,160	1,758	2,342	2,871
	TAO	2,122	1,842	1,486	2,330	2,871
	BMW	1,999	1,850	1,690	2,304	2,610
	관행시비	2,266	1,764	1,430	2,169	2,610

#### 4. 적 요

돈분뇨 축산 액비의 연용이 시설하우스 토양의 화학성 및 중금속 함량에 미치는 영향과 토마토와 오이의 생육과 수량 및 중금속 함량에 미치는 영향을 구명하고자 2002년부터 2006년까지 5년간 같은 처리구에 동일한 액비를 계속 처리하였다. 시험에 쓰인 발효액비는 SCB, TAO, BMW였으며 대조구로 화학비료 처리구를 두어 비교하였다. 시험에 쓰인 시설하우스는 규암통 미사질 양토였으며, 시설하우스로 조성한 지 얼마되지 않아 토양에 양분이나 중금속이 집적되지는 않았다. TAO에 비해 SCB는 질소 함량

이 적었고 BMW는 매우 낮았으며 인산과 카리 함량도 비슷한 경향을 나타내었다. 액비내 중금속 함량은 비료공정규격에 적합하였으며, SCB의 경우 아연 함량이 다른 두 액비에 비해 다소 높았다. 5년간 발효액비를 연용하여 처리한 결과, 토양 화학성에 있어 화학비료 처리구에 비해 인산과 카리가 높지 않았으며 중금속 함량도 높지 않았다. 이에 따라 식물체의 중금속 함량도 관행 화학비료 처리와 크게 다르지 않았으며 시설재배지 작물의 중금속 함량과 비교해서도 집적되는 경향은 보이지 않았다. 구리와 아연의 경우 식물체 필수 영양소로 적정 함량 범위 내에 있었다. 토마토의 수량은 관행시비와 크게 다르지 않아, 축산 액비의 연용이 작물의 수량성에 악영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 이는 돈분뇨 축산 액비를 질소 기비 수준으로 처리하고 추비로 처리한 결과로서, 단위 면적당 발효액비 처리량을 증가하였을 때에는 다른 결과를 나타낼 수도 있으므로, 보다 면밀한 검토와 연구가 요구되어진다.

## 5. 인용문헌

- 김민경, 김원일, 정구복, 윤순강. 2001. 우리나라에서 생산된 농산물의 중금속 안전성 평가. 한국환경농학회지. 20(3):169-174.
- 농촌진흥청. 2004. 가축분뇨(액비) 이용기술 개발.
- 육완방. 1998. 퇴비 및 액비 연용시 지력증진 및 환경영향 평가. 농림부.
- 윤태한. 2004. SCB(Slurry Compositing & Bio-Filtration) 공정을 이용한 돈분뇨 슬러리 종합적 처리. 도드람양돈연구소
- 이명규, 이재일. 1996. 축산분뇨에 의한 환경오염 현황과 대책. 축산시설환경. 2:63-78.
- 이명규, 허재숙, 태민호, 정진영, 권오중. 1999. 고온호기산화법으로 처리된 양돈분뇨 배출액의 무취화 관리방안에 대한 기초 연구. 축산시설환경. 5:123-132.
- 정구복, 정기열, 조국현, 정병간, 김규식. 1997. 시설재배지 토양 및 채소류중 중금속함량 조사. 한국토양비료학회지. 30(2):152-160.
- 정병간, 최정원, 윤을수, 윤정희, 김유학, 정구복. 1998. 우리나라 시설재배 원예지 토양 화학적 특성. 한국토양비료학회지. 31(1):9-15.
- 정이근. 1999. 가축분뇨퇴비·액비 제조와 이용. 농업과학기술원.
- 정종배, 김복진, 유관식, 이승호, 신현진, 황태경, 최희열, 이용우, 이윤정, 김종집. 2006. 시설재배 토양과 작물 잎 중의 미량원소 함량 관계. 한국환경농학회지. 25(3):217-227.
- 정찬, 전병태. 1989. 가축분이 초지의 토양과 생산성에 미치는 영향. 한초지. 9:48-55.
- 하호성, 양민석, 이협, 이용복, 손보균, 강위금. 1997. 남부지방 시설재배지 토양의 화학성과 작물의 양분 함량. 한국토양비료학회지. 30(3):272-279.
- Campbell. C. M., M. Schnitzer. W. B. Stewart, J. V. C. Biederbeck, and F. Selles. 1986. Effect of manure and fertilizer on properties of a Black Chernozem in southern Saskatchewan. Can. J. Sioi Sci. 66:601-613.
- James, D.W., J. Jotuby-Amacher, G.L. Anderson, and D.A. Huber. 1996. Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring. J. Environ. Qual. 25:770-775.
- Jensen, M.B., P.R. Jorgensen, H.C.B. Hansen, and N.E. Nielsen. 1998. Biopore mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. J. Environ. Qual. 27:1130-1137.
- Kingery, W.L., C.W. Wood, D.P. Delaney, J.C. Williams, and G.L. Mullins. 1994. Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. J. Environ. Qual. 23:139-147.

- Kunkle, W.E., L.E. Carr, T.A. Carter, and E.H. Bossard. 1981. Effect of flock and floor type of the levels of nutrient and heavy metals in broiler litter. *Poultry Sci.* 60:1160-1164.
- Lim, D-K., S-B. Lee, S-I. Kwon, S-H. Lee, K-H. So, K-S. Sung, and M-H. Koh. 2004. Effect of pharmaceutical byproduct and cosmetic industry wastewater sludge as raw materials of compost on damage of red pepper cultivation. *Korean J. Environ. Agr.* 23:211-219.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants (2<sup>nd</sup> ed.). pp 333-364. Academic Press. London. UK.
- Moreno-Caselles, J., R. Moral, M.D. Perez-Murcia, A. Perez-Espinosa, C. Paredes, and E. Agullo. 2005. Fe, Cu, Mn, and Zn input and availability in calcareous soils amended with the solid phase pig slurry. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36:525-534.
- Morrison, J.L. 1969. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops. *J. Agric. Food Chem.* 17:1288-1290.
- National Agricultural Products Quality Management Service. 2006. Census of livestock in December 2006. Available at <http://www.naqs.go.kr/notic>(verified 3 April 2007). National Agricultural Products Quality Management Service. Anyang, Korea.
- Scott, C., L.D. Geohring, and M.F. Walter. 1998. Water quality impacts of tile drains in shallow, sloping, structured soils as affected by manure applications. *Appl. Eng. Agric.* 14:593-603.
- Seo, Y. and J. Lee. 2005. Characterizing preferential flow of nitrate and phosphate in soil using time domain reflectometry. *Soil Sci.* 170:47-54.
- Seo, Y., J. Lee, W.E. Hart, H.P. Denton, D.C. Yoder, M.E. Essington, and E. Perfect. 2005. Sediment loss and nutrient runoff from three fertilizer application methods. *Trans. ASAE.* 48:2155-2162.
- Sharpley, A.N., S.C. Chapra, R. Wedepohl, J.T. Sims, T.C. Daniel, and K.R. Reddy. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23:437-451.
- Sommerfeldt, T. G. C., Chang and T. Entz. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1667-1672.
- Tuftt, L.S. and C.F. Nockels. 1991. The effects of stress, *Escherichia coli*, dietary EDTA, and their interaction of tissue trace elements in chicks. *Poultry Sci.* 70:2439-2449.

## 6. 연구결과 활용

- 돈분뇨 발효 액비의 시설재배지 연용에 따른 작물 생장 및 토양 화학성에 미치는 영향 : 기초자료, 학술논문

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
						02	03	04	05	06
1) 시설재배지 돈분뇨 액비의 연속시용이 토양환경에 미치는 영향	책임자	강원도원 환경농업과	농업 연구사	최준근	세부과제 총괄			○	○	○
	"	"	"	임상현	"	○	○			
	공동 연구자	"	"	서영호	조사, 분석					○
	"	"	"	문윤기	"				○	
	"	"	"	김세원	시료검정			○	○	○
	"	"	농업 연구관	김승경	시험지원	○	○	○	○	○