

과제구분	공동연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야 (Code)	수행 기간	과제책임자 및 세부책임자	
원예작물에 대한 가축분뇨 퇴액비 이용기술 개발		농업환경 ES0105	'07~'11	국립원예 특작과학원	박진면
시설하우스에서 가축분 액비가 원예작물 및 토양환경에 미치는 영향 평가		"	'07~'11	환경농업연구과	서영호
축산용 항생제의 식물체 흡수 구명		안전성 LS0902	'08~'11	환경농업연구과	서영호
색인용어	원예작물, 가축분뇨, 액비, 항생제, 식물체				

ABSTRACT

Long-term continuous application of livestock by-products to agricultural land may adversely affect the soil characteristics and the crop yield. Five year term study from 2007 was carried out to assess the effects of repeated application of low-concentration swine slurry on soil chemical properties including phosphate and heavy metal contents and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) in a greenhouse. Treatments were conventional chemical fertilizers and three application rates of low-concentration swine slurry (Slurry composting and biofiltration, SCB); 50%, 100%, and 200% of recommended nitrogen fertilization. For swine slurry treatment of 50% nitrogen, deficient nitrogen was supplemented with urea fertilizer. The soil phosphorus and heavy metal contents after five year continuous application of swine slurry were not significantly higher than those of chemical fertilizer use. Repeated application of the swine slurry alone for five years resulted in relatively high soil exchangeable potassium and sodium compared with chemical fertilizer treatment. Contents of heavy metals in leaves of tomato and cucumber did not show significant difference among treatments. Yields of the crops for the swine slurry were not significantly different from that of chemical fertilizer. The results imply that continuous application of the swine slurry may not influence levels of soil phosphate and trace elements in greenhouse soils but could accumulate potassium and sodium in the soil.

In Korea, 998 Mg of veterinary antibiotics were consumed in 2009. One of the main routes of veterinary antibiotics entering soil environment is via the application of antibiotic-containing animal manure to farm land as an organic fertilizer. Some studies have been conducted to examine the potential risk for the veterinary antibiotics to be taken up by plants from soil amended with antibiotic-containing animal waste. The objective of the study was to test whether or not antibiotics are detected from plants

grown in soils fertilized with antibiotic-treated swine slurry. Three antibiotics; chlortetracycline (CTC), tylosin (TYL), and sulfamethazine (SMT), and four vegetables; lettuce, reddish, tomato, and cucumber were used in the study. Antibiotic concentrations in lettuce were less than 3.8 ng/g for CTC, less than 50 ng/g for TYL, and less than 157 ng/g for SMT on a fresh weight basis when the antibiotics were treated to swine slurry at rates of 20~200 mg/m². For reddish, less than 2.8 ng/g of TYL in shoots, and less than 63.2 ng/g of SMT in shoots were detected. On the other hand, any antibiotics was not detected from tomato and cucumber fruits. The results imply that antibiotic uptake by crops may be dependent on antibiotic type and crop type. Although food contamination through antibiotic uptake by crops has been one of the main concerns regarding animal manure application to soils, it is largely unknown if vegetables uptake antibiotics from soils applied with livestock byproducts. At this time, it is not clear if consuming antibiotics in agricultural products can result in adverse impacts on health. Further extensive research deserves to be conducted to examine antibiotic uptake influenced by other factors including soil type, soil structure, climate, and agricultural practices.

1. 연구목표

제1세부과제 : 시설하우스에서 가축분 액비가 원예작물 및 토양환경에 미치는 영향 평가

육류 소비가 늘면서 가축 사육 두수는 크게 증가하였다. 우리나라의 가축 사육 두수는 1980년 육우 38천두, 젓소 207천두, 한우 1,390천두, 돼지 1,784천두, 닭 40,130천두에서 2010년에는 육우 188천두, 젓소 409천두, 한우 2,681천두, 돼지 8,094천두, 닭 152,167천두로 증가하고 있다 (Kostat, 2011). 그리고 가축 사육 과정에서 발생하는 가축분뇨는 2005년 기준으로 연간 4,185만톤인데, 이 중 82%는 자원화하고, 6.6%는 해양 투기로 처리하고 있지만, 2012년부터 해양투기가 금지되므로 275만톤의 가축분뇨의 처리 방안이 절실히 요구되고 있다(Lee, 2006).

가축분뇨를 농경지에 투입하면 화학비료 대신 작물에 양분을 공급할 수 있는 장점이 있으므로, 축산농가와 경종농가 모두에게 이익이 될 수 있다. 축산농가에서는 가축분뇨를 해양투기하지 않아도 되며, 경종농가는 화학비료의 사용량을 줄이면 생산비를 줄일 수 있다. 우리나라에서의 화학비료 사용량은 1990년에 ha당 458 kg(성분량)에서 1995년 434 kg, 2000년 382 kg, 2005년 376 kg, 2009년 267 kg으로 점차 줄어드는 추세를 보이고 있는데, 다른 나라에 비해서는 아직은 높은 편이다.

SCB(Slurry Composting & Biofiltration, 퇴비단여과법) 돈분 액비(저농도 돈분 액비)는 돈분뇨 슬러리를 퇴비단에 통과시켜 여과한 액비로서, 전질소 함량이 0.1% 정도로 저농도이고 일반 저장 액비에 비해서 악취가 적으며 성분 함량이 비교적 균질하다. 1.5m 높이의 발효상에 왕겨를 채우고 윗부분 30cm에는 톱밥으로 채운 다음 돈분뇨 슬러리를 여과시켜 얻는다.

벼에 대한 SCB 액비의 시용 방법과 시용 효과, 주의 사항에 대한 연구는 상당히 많이 이

루어져 왔다. SCB 액비는 악취가 적고 고상이 거의 없으므로, 시설에서 관비 재배하는 데 SCB 액비를 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 그런데 SCB 액비의 시설재배지에서의 활용에 대한 연구 결과는 많지 않으며, 특히 연속적으로 장기간 사용하였을 때의 환경영향평가는 이루어진 바 없다. 우리나라의 시설재배지 면적은 93,416 ha(2011)이며, 이 가운데 강원도는 3,357 ha이다(Kostat, 2011). 시설재배지에서는 수박, 토마토, 참외, 딸기, 풋고추, 오이 등의 과채류와 배추, 상추 등의 엽채류가 주로 재배되고 있다. 강원도에서는 주로 과채류가 재배되고 있으며, 특히 토마토와 오이의 면적이 각각 670 ha와 313 ha(2011)로 높다.

따라서 돈분 액비를 시설재배지에서 장기간 시용하였을 때 시설원예작물의 수량과 토양 환경에 미치는 영향을 살펴볼 필요가 있으므로, 본 연구에서는 시설재배지에서 SCB 액비(저농도 돈분 액비)를 5년 동안 계속하여 시용하였을 때의 토마토와 오이의 수량과 인산과 중금속을 포함한 토양 화학성에 미치는 영향을 살펴보았다.

제2세부과제 : 축산용 항생제의 식물체 흡수 구명

가축이 병들었을 때 이를 치료하기 위하여 가축에 투여할 목적으로 개발된 것이 축산용 항생제이다. 그러나 병든 가축뿐만 아니라 건강한 가축에게도, 사료의 이용 효율을 높이고 병을 예방하며 성장을 촉진하기 위하여 항생제를 사료나 물에 첨가하여 주기적으로 먹이고 있다. 미국의 돼지 사육 농가 가운데 약 88%는 항생제가 든 사료를 먹이고 있으며, 이 가운데 92% 정도는 항생제를 매일 투여한다(Dewey 등, 1999). 치료 목적이 아닌 항생제의 투여는 내장의 균을 억제하거나, 병원균 감염 억제, 유해 대사산물의 감소, 또는 미생물에 의한 영양소 흡수 억제(Mitscher, 1978; Gaskins 등, 2002)하여, 가축의 생체량을 증가시키는 것으로 여겨진다. 항생제를 돼지에 투여하여 얻어지는 순이익은 미국에서 연간 4,550만 달러 정도로 추정된다(Mathews Jr., 2001). 우리나라의 항생제 사용량은 2001년 1,595톤, 2003년 1,439톤, 2005년 1,553톤, 2007년 1,527톤에서 2009년에는 998톤(국립수의과학검역원, 2010)으로 점차 감소하는 경향을 보이는데, 이는 배합사료 제조용 항생제의 종류를 줄이는 등의 결과로 보인다. 축산용 항생제 가운데 테트라사이클린계 항생제의 사용량은 2001년 752톤에서 2007년 624톤, 2009년 288톤으로 줄어드는 추세이지만, 여전히 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 항생제이다. 2009년의 항생제 소비량 998톤 가운데 테트라사이클린 계열이 29%를 차지하고 있으며, 다음으로 페니실린 계열 151톤(15%)과 폴리펩타이드 계열 97톤(10%), 설펜아마이드 계열 92톤(9%) 순이다(국립수의과학검역원, 2010).

가축에 투여된 항생제는 가축 분뇨로 분비될 수 있으며, 유기물 자원으로서의 가축 분뇨 퇴비나 액비의 농경지 시용을 통해 토양과 물 생태계에 들어갈 수 있다. 국내에 사용되어지는 80여종의 항생제는 약제 특성에 따라 가축 분뇨로의 분비율, 가축 분뇨 내에서의 잔류율과 잔류 기간, 토양에 대한 흡착량과 흡착 기작, 용탈과 표면 유거를 통한 이동성, 토양과 물에서의 잔류율 등이 다르다.

토양에 시용된 가축 분뇨 퇴비나 액비의 항생제는 토양에서 잔류하여 식물체에 흡수될 수 있음을 보여주는 연구 결과들이 발표되어 왔다. Kumar 등(2005a)은 클로르테트라사이클린을 함유한 축산 분뇨를 토양에 처리하였을 때 양배추, 옥수수, 골과 등 3개 작물에서 생체량

기준으로 2-17 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 이 검출되었으며, 축산 분뇨에 항생제가 많을수록 체내 함량이 더 많았음을 보고하였다. Boxall 등(2006)에 따르면 상추에서 플로르페니콜과 트리메토프림, 당근 뿌리에서 엔로플로사신, 플로르페니콜, 트리메토프림이 검출되었고, 최고 농도는 생체중 기준으로 38 ng g^{-1} 이었다. Dolliver 등(2007)은 설파메타진을 2.8과 5.6 kg ha^{-1} 처리했을 때, 옥수수, 상추, 감자에서 건조중 기준으로 0.1~1.2 mg kg^{-1} 검출되었다고 하였다. 이 때 상추에서 설파메타진의 농도가 가장 높았고, 감자, 옥수수의 순이었다. 한편, 항생제를 흡수하는 식물체를 키워 그 식물체가 항생제를 체내에서 분해한 다음 수확하여 농경지의 항생제를 제거하는 식물 복원(phytoremediation)에 대한 연구도 진행되었다(Migliore 등, 2000). 우리나라에서는 Seo 등(2010a)이 항생제가 처리된 돈분뇨 액비를 시용한 토양에서 키운 상추, 토마토, 헤어리베치에서 항생제를 검출하여 식물체가 항생제를 흡수할 수 있는 가능성을 제시하였다.

따라서 막연한 두려움이나 근거없는 안심함, 부정, 무시보다는 가축 분뇨, 토양, 수계의 항생제 수준에 대한 실태 파악이 우선 되어져야 할 것이며, 이를 토대로 대책 수립 필요성 여부, 축산용 항생제의 생태계로의 유입을 방지 또는 저감시키기 위한 연구가 필요하다. 특히 농경지에 뿌려진 가축분뇨 퇴비와 액비로 인하여 농산물의 안전성을 위협받을 수 있는 가능성을 과학적으로 검증하여 근거가 없는 두려움을 해소할 필요가 있다. 본 연구에서는 최악의 경우를 상정하여 돈분 액비에 항생제를 처리한 다음 이를 토양에 시용하고 작물을 키워 항생물질이 전이되는 가능성을 구명하고, 농산물에서 항생물질이 검출될 가능성이 있는 경우에는 항생제 흡수를 줄일 수 있는 방법을 모색하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

제1세부과제 : 시설하우스에서 가축분 액비가 원예작물 및 토양환경에 미치는 영향 평가

강원도농업기술원의 시설하우스에서 2007년부터 5년간 매년 토마토와 오이를 각각 봄과 가을에 재배하였다. 즉 4월 중순에 토마토를 정식하여 7월 하순까지 재배한 다음, 8월 상순에 오이를 정식하고 10월 말까지 수확하였다. 토양은 규암토종으로, 액비 연용 시험을 시작하기 전의 토양 화학성을 표 1에 나타내었다.

표 1. 시험 전 토양의 화학성

산도 (1:5)	전기전도도 (dS m^{-1})	유기물 (g kg^{-1})	유효인산 (mg kg^{-1})	치환성 양이온 (cmolc kg^{-1})		
				칼리	석회	고토
5.9	1.5	20	570	0.49	4.9	1.6

SCB 액비(저농도 돈분 액비)를 처리했을 때의 시설원예작물의 생육 및 수량, 토양환경에 미치는 영향을 화학비료를 처리한 결과와 비교하였다. SCB 액비의 처리는 토양검정 질소시비량의 50%, 100%, 200% 등 3수준으로 하였다. 즉, SCB 액비의 시용량은 작물 재배 전에 토양의 전기전도도를 분석하여 질소 시비량을 계산한 다음 액비의 질소 함량을 고려하여 결

정하였다. 액비 50% 처리구의 모자라는 질소는 화학비료인 요소로 보충하였으며, 100%와 200% 처리구는 돈분 액비만 처리하였다

시험에 쓰인 SCB 액비는 시험기간 동안 경기도 이천의 양돈기술연구소에서 계속 구하였는데, 그 성분 함량은 5년 동안 다소 변이가 있었으며 평균과 표준편차를 표 2에 나타내었다. 돈분 액비의 칼리 함량은 1.8 g/kg으로 질소보다 약 1.6배 높았으며, 인산 함량은 0.11 g/kg으로 질소나 칼리에 비해 매우 낮았다. 중금속 함량은 공정규격상의 제한값인 카드뮴 0.5 mg/kg, 크롬 30 mg/kg, 구리 50 mg/kg, 니켈 5 mg/kg, 납 15 mg/kg, 아연 130 mg/kg, 수은 0.2 mg/kg, 비소 5 mg/kg보다 낮았다. 각 처리구의 규모는 7.9 m²(1.8×4.4 m)였으며, 시험구의 배치는 난괴법 3반복으로 배치하였고, 화학비료와 돈분 액비를 같은 처리구에 5년 동안 계속하여 처리하였다.

표 2. 시험에 쓰인 SCB 액비의 양분 함량 및 중금속 함량

	양분					중금속							
	질소	인산	칼리	석회	고토	카드뮴	크롬	구리	니켈	납	아연	수은	비소
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹							
평균	1.1	0.11	1.8	0.12	0.03	0.02	0.06	1.7	0.09	0.05	5.2	0.001	0.04
표준편차	0.5	0.08	0.4	0.04	0.04	0.02	0.02	0.4	0.03	0.07	2.3	0.001	0.02

토양은 지면에서 15 cm 깊이까지 채취하여 토양 pH, 전기전도도, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온, 중금속을 국립농업과학원의 표준분석법에 따라 분석하였다(NAAS, 2000). 즉, pH와 전기전도도는 토양과 증류수를 1:5로 혼합한 다음 각각 pH 전극과 EC 전극을 이용하여 측정하였으며, 토양 유기물과 유효인산은 각각 Tyurin법과 Lancaster법을 이용하여 정량하였다. 치환성 칼리, 석회, 고토는 토양을 1N 초산암모늄 용액(pH 7)으로 추출한 다음 유도결합플라즈마-원자발광분광법(ICP, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)으로 측정하였다. 토양 중금속은 시료를 염산과 질산으로 전처리한 다음 유도결합플라즈마-원자발광분광법(ICP, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)으로 전 함량을 분석하였다. 6가 크롬은 시료에 분해용액을 넣은 다음 염화마그네슘과 0.1 M 인산 완충용액을 넣고 교반한 후, 여과하고 5 M 질산으로 pH 7.5로 맞춘 다음, 0.5% 디페닐카르바지드 용액과 10% 황산을 넣고 540nm에서 흡광도를 측정하였다.

SCB 액비(저농도 돈분 액비)의 5년 연용이 식물체의 중금속 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 5년차에 토마토와 오이의 잎을 채취하였으며, 식물체 시료를 황산과 과산화수소를 이용하여 습식 분해한 다음 유도결합플라즈마-원자발광분광법(ICP, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)으로 분석하였다. 토마토와 오이의 상품 수량은 수확 시기별로 상품 가치가 있는 과실만을 선별하여 중량을 측정한 다음, 수확 전 기간의 수확량을 합하여 구하였다.

결과 데이터의 통계분석은 SAS 프로그램(v. 9.2, SAS, Cary, NC)을 이용하였으며, Duncan의 다중검정($\alpha = 0.05$)을 통해 처리 사이의 통계적 유의성을 검토하였다.

제2세부과제 : 축산용 항생제의 식물체 흡수 구명

엽채류와 근채류가 항생물질을 흡수하는지를 평가하기 위하여, 화학적 성질이 서로 다른 네 종류의 토양을 대상으로 실험을 수행하였다. 각 토양의 화학적 성질을 표 3에 나타내었다. 돈분 액비에 클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진 등 세 항생물질을 처리하였는데, 시험에 쓰인 돈분 액비의 양분 조성상과 항생제 함량을 표 4에 나타내었다.

표 3. 연구에 사용된 토양의 화학성

토양	산도	전기전도도 dS/m	유기물 g/kg	질산태질소 mg/kg	유효인산 mg/kg	석회	칼리 cmol ⁽⁺⁾ /kg	고토
A	7.2	0.21	20	13	264	5.3	0.34	2.0
B	5.1	0.28	18	15	401	1.2	0.59	0.7
C	4.9	1.9	16	212	302	2.4	0.58	1.2
D	6.6	0.20	17	10	331	3.3	0.33	0.9

표 4. 연구에 사용된 돈분 액비의 양분 함량(g/L) 및 항생제 함량(µg/L)

전질소	유기물	인산	칼리	석회	고토	테트라사이클린	설파메타진	타이로신
2.6	3	0.04	1.4	0.1	미량	199	tr	57

돈분 액비의 시용량은 상추의 질소 표준시비량인 10a당 20kg과 액비의 전질소 함량인 2.6 g/L를 고려하여 10a당 7,700L를 뿌렸다. 항생제의 처리 수준은 무처리, 20 mg/m², 200 mg/m² 등 3수준이었다.

토양과 식물체의 항생제 분석을 위하여 peptone 완충용액으로 추출하였고, 시판되고 있는 elisa kit을 이용하여 분석(Agar 등, 2003; Kumar 등, 2004; Agar 등, 2005; Dolliver 등, 2008)하였다. 즉 건조한 토양 5 g 또는 같은 식물체 5g(생체중)과 peptone 완충용액 10 mL를 튜브에 넣고 1시간 동안 교반한 다음 10분간 원심분리하여 추출하였다. 테트라사이클린의 ELISA 분석은 상용화되어 있는 테트라사이클린 분석용 키트(R-Biopharm AG, Darmstadt, Germany)을 이용하였으며, 분석 과정은 제조사의 매뉴얼에 따랐다.

토양 개량제의 항생제 흡수 억제 효과를 구명하기 위하여, 클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진 등 항생제 3종을 처리한 돈분 액비를 시용한 다음 상추와 무를 표준 경종법에 따라 재배하였다. 항생제의 처리 수준은 m²당 100mg(10a당 100g)으로서, 이는 토양의 용적밀도를 1.3g/cm³, 작토심을 15cm로 가정하였을 때, 토양 1kg당 0.5mg 수준이다. 토양개량제인 패화석은 10a당 50kg과 200kg 2수준, 제올라이트는 10a당 150kg과 600kg 2수준 처리하였다.

과채류의 항생제 흡수 전이 양상을 구명하기 위하여 토마토와 오이를 정식하기 전에 항생제 3종(클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진)을 처리한 돈분 액비를 시용하였다. 항생제의 처리는 세 수준(무처리, 2 mg/L, 20 mg/L)으로 하였다.

돈분뇨의 액비화 과정에서 폭기 처리가 항생제의 분해에 미치는 영향을 살펴보고자, 춘천

에 있는 양돈 농가에서 돈분뇨를 시험에 사용하였으며, 돈분뇨의 테트라사이클린 함량은 199 ng/L, 타이로신은 57 ng/L였다. 폭기 처리는 하루 1시간, 3시간, 6시간 폭기하는 3수준으로 하였다. 돈분뇨의 저장 후 9일, 20일, 28일, 34일, 42일, 48일, 55일, 62일까지 8차례 처리별 시료를 채취하여 테트라사이클린과 타이로신의 함량을 ELISA kit을 이용하여 측정하였다. 돈분뇨의 테트라사이클린을 분석하기 위한 전처리 과정은 Kumar 등(2004)의 방법을 사용하였다. 즉, 20 mL 돈분뇨 시료를 삼각플라스크에 넣고, 50 μ L 40% 황산용액, 30 mL 증류수, 1 g disodium EDTA를 넣은 다음 100 rpm에서 4시간 동안 교반하였다. 0.45 μ m 여과지로 여과하여 그 여액을 테트라사이클린 정량에 이용하였다. 타이로신의 분석에는 돈분뇨를 0.45 μ m 여과지로 여과하여 그 여액을 바로 정량에 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

제1세부과제 : 시설하우스에서 가축분 액비가 원예작물 및 토양환경에 미치는 영향 평가

저농도 돈분 액비를 5년 동안 계속 사용하였을 때의 토양 유기물, 유효인산, 치환성 석회, 고토 함량은 화학비료를 사용하였을 때와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(표 5). 이는 시험에 쓰인 SCB 액비(저농도 돈분 액비)의 유기물, 인산, 석회, 고토 함량이 낮기 때문인 것으로 보인다. 축분 퇴비의 연용에 의한 인산 축적을 보고한 연구(NAAS, 1999)에서 사용한 돈분 퇴비의 인산 함량은 33.1 g kg⁻¹으로 질소 18.0 g kg⁻¹보다 높았으나, 본 연구에 쓰인 돈분 액비의 인산은 0.11 g kg⁻¹로 질소 1.1 g kg⁻¹의 1/10에 지나지 않는다. 석회와 고토의 함량에 있어서도 돈분 퇴비는 각각 25.1 g kg⁻¹과 0.6 g kg⁻¹으로, 돈분 액비의 0.12 g kg⁻¹와 0.03 g kg⁻¹에 비해 매우 높은 수준이었다. 토양 산도에 있어서는 검정질소의 50%나 100%를 돈분 액비로 주었을 때에는 화학비료나 200%를 주었을 때에 비해 pH가 높았다. 전기전도도는 액비를 질소 기준 200% 주었을 때에는 다른 처리보다 다소 높았다. 치환성 칼리는 액비를 많이 줄수록 높은 경향을 나타내어, 질소 기준 50%, 100%, 200%의 K/ $\sqrt{(Ca+Mg)}$ 의 비율은 각각 0.17, 0.28, 0.59로 높아졌다. 한편 화학비료에서의 K/ $\sqrt{(Ca+Mg)}$ 비는 0.18이다. 즉 돈분 액비와 화학비료를 반반 주었을 때에는 화학비료와 큰 차이가 없었으나, 돈분 액비만 주었을 때에는 화학비료보다 매우 높았다. 이는 저농도 돈분 액비의 칼리 함량이 질소에 비해 높으므로 칼리 시용량이 작물의 흡수량보다 높기 때문으로 판단된다. Seo et al. (2010)은 시설하우스에서 저농도 돈분 액비를 밀거름으로만 5년간 계속 주었을 때의 토양 치환성 칼리의 함량이 화학비료와 비슷하다고 하였다. 치환성 나트륨을 보면, 액비를 질소 기준 100%와 200% 처리하였을 때에는 각각 0.9 cmolc kg⁻¹와 1.1 cmolc kg⁻¹으로 화학비료의 0.4 cmolc kg⁻¹보다 유의하게 높았다. Lim et al. (2009)은 저농도 돈분 액비를 배추 4작기 동안 밀거름으로만 시용한 결과, 토양 유기물과 유효 인산은 화학비료와 비슷하였으나 나트륨은 화학비료보다 높았다고 하였다. 따라서 저농도 돈분 액비를 계속하여 사용하는 경우에는 인산은 염려하지 않아도 되지만 칼리와 나트륨이 토양에 집적될 수 있으므로, 이에 주의하여야 한다. 토양에 칼리 함량이 높아지면, 토마토, 배추, 고추, 수박 등 작물의 석회 흡수를 저해하여 석회 결핍 증상이 나타나며, 목초의 고토 흡수 및 체내 이행을 저

토양에서와 마찬가지로, 토마토와 오이 잎의 중금속 함량도 처리 사이에 유의한 차이가 보이지 않았다(표 7). Jung et al. (1997)은 시설오이 잎의 카드뮴, 구리, 납, 아연의 함량은 각각 0.54 mg kg^{-1} , 11.5 mg kg^{-1} , 3.6 mg kg^{-1} , 73.4 mg kg^{-1} 였다고 하였으며, Ha et al. (1997)은 남부지방의 오이 잎의 아연 함량은 64 mg kg^{-1} 라고 하였는데, 이와 비교해 보면 본 시험에서의 중금속 함량은 다소 낮은 편이다. 한편 구리와 아연은 식물의 필수원소인데, 작물 잎에서의 적정 수준은 각각 $5\sim 30 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 $27\sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ 이므로(Jones, 1991; Kabata-Pendias, 2011), 본 연구에서의 구리와 아연은 적당한 수준에 있다고 볼 수 있다.

표 7. SCB 액비와 화학비료의 5년 연용 후 처리별 토마토와 오이 잎의 중금속 함량

작 물	처 리	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As
토마토	SCB N50%	0.16a	1.6a	21a	1.1a	1.7a	72a	0.077a	0.10a
	SCB N100%	0.16a	1.9a	22a	1.0a	1.6a	70a	0.085a	0.09a
	SCB N200%	0.17a	1.9a	21a	1.0a	1.5a	74a	0.077a	0.07a
	화학비료	0.13a	1.6a	22a	0.9a	1.3a	70a	0.073a	0.10a
오 이	SCB N50%	0.14a	1.1a	27a	0.74a	1.1a	60a	0.077a	0.16a
	SCB N100%	0.11a	1.2a	26a	0.79a	1.4a	63a	0.075a	0.15a
	SCB N200%	0.10a	1.1a	26a	0.71a	1.2a	64a	0.080a	0.16a
	화학비료	0.14a	1.0a	25a	0.77a	1.3a	56a	0.080a	0.13a

토마토와 오이의 수량을 그림 1에 나타내었는데, 처리 사이에 유의한 차이는 없었다. 밑거름으로 저농도 돈분 액비를 사용하고 웃거름은 화학비료를 사용하였을 때 배추, 토마토, 오이의 수량이 화학비료와 대등하다는 연구 결과가 있었는데(Lim et al., 2009; Seo et al., 2010), 본 연구에서는 웃거름까지 화학비료를 대체하여 계속 사용하여도 작물의 수량성을 떨어뜨리지 않는 것으로 나타났다. 따라서 저농도 돈분 액비를 사용하여도 화학비료와 비교하여 토마토와 오이의 수량이 떨어지지 않는 것으로 판단된다.

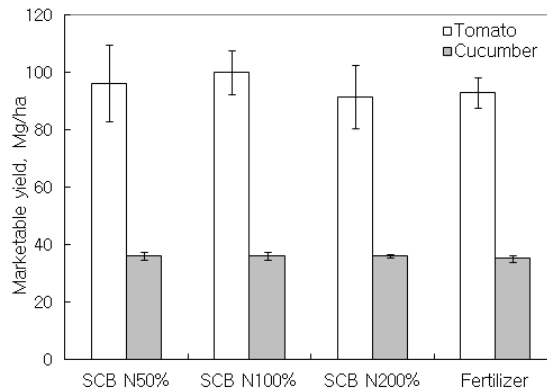


그림 1. SCB 액비와 화학비료의 5년 연용 후 처리별 토마토와 오이의 상품 수량

제2세부과제 : 축산용 항생제의 식물체 흡수 구명

상추를 정식 후 27일에 수확하여 분석한 결과는 그림 2와 같다. 축산용 항생제를 처리하지 않은 돈분 액비를 처리했을 때에는 모든 토양에서 항생제가 검출되지 않았다. 항생제를 돈분 액비에 200 mg/m² 처리했을 때 상추에서 항생제가 검출되었으나, pH가 높은 토양 A와 D에서는 검출되지 않았다. 검출된 항생제의 최고 농도는 클로르테트라사이클린이 3.8 ng/g, 타이로신이 50 ng/g, 설파메타진 157 ng/g으로서, 축산물의 잔류 기준치인 테트라사이클린 100~1,200 ng/g, 타이로신 200 ng/g, 설폰아마이드 100 ng/g과 비교했을 때 낮은 수준이었다. 미국에서의 과수류에 대한 잔류 기준치인 옥시테트라사이클린 350 ng/g과 스트렙토마이신 250 ng/g과 비교하여도 낮은 수준이었다. Kumar 등(2005a)은 클로르테트라사이클린을 함유한 가축 분뇨를 토양에 처리하고 양배추 등 세 작물을 처리했을 때 2-17 ng/g이 검출되었다고 하였고, Dolliver 등(2007)은 설파메타진을 처리했을 때, 옥수수 등 세 작물에서 8~100 ng/g이 검출되었다고 하였는데, 이들 결과와 비슷한 수준이었다.

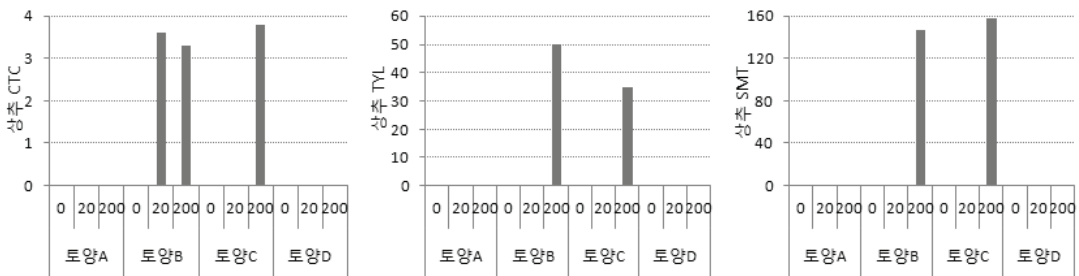


그림 2. 상추 정식 후 27일의 항생제 함량(ng/g fresh weight)

상추를 수확한 다음 토양에 남아있는 항생제의 함량을 분석한 결과를 그림 3에 나타내었다. 항생제를 처리하지 않은 돈분 액비를 사용한 토양에서는 항생제가 검출되지 않았다. pH가 낮은 토양 B와 C에서 클로르테트라사이클린과 타이로신의 잔류량이 pH가 높은 토양 A나 D에 비하여 높았으며, 설파메타진은 토양 사이에 뚜렷한 경향이 보이지 않았다. 즉, 토양 pH가 높을수록 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 낮아지는 경향을 보였으나, 설파메타진은 일정한 경향을 보이지 않았다. 이는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 양이온 교환으로 점토광물에 결합되어 pH가 낮을수록 결합력이 높기 때문인 것으로 판단되며(Essington 등, 2010), 설파메타진은 pH 6 이상에서는 전하를 띠지 않는 중성의 형태로 결합하므로 pH와의 관련성이 낮기 때문인 듯하다.

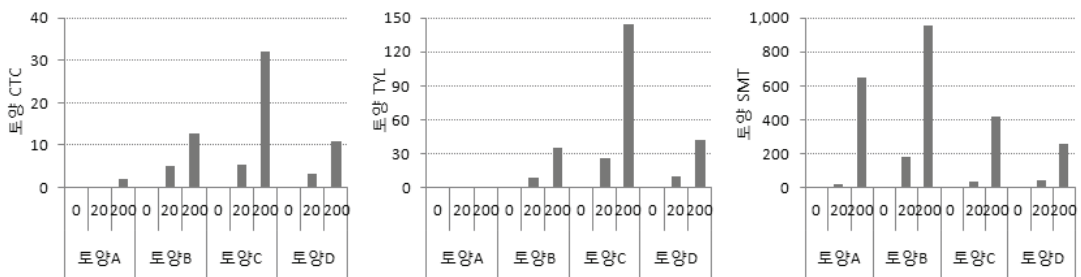


그림 3. 상추 수확 후 토양 잔류 항생제 함량(ng/g dry weight)

근채류인 무에 있어서는, 파종 후 82일에 뿌리 부위인 무와 줄기, 잎 부분인 무청을 분석한 결과, 무에서는 클로르테트라사이클린과 설파메타진이 검출되지 않았으며, 타이로신은 토양 A에서만 미량 검출되었다(그림 4). 무청에서는 클로르테트라사이클린과 타이로신이 검출되지 않았으며, 설파메타진은 63.2 ng/g 이하로 검출되었다. 이는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 설파메타진에 비해 고분자 화합물이라 식물체내 전류가 되지 않고 분해된 것으로 보이며, 설파메타진은 상대적으로 저분자 화합물이라 무청까지 이동된 것으로 판단된다.

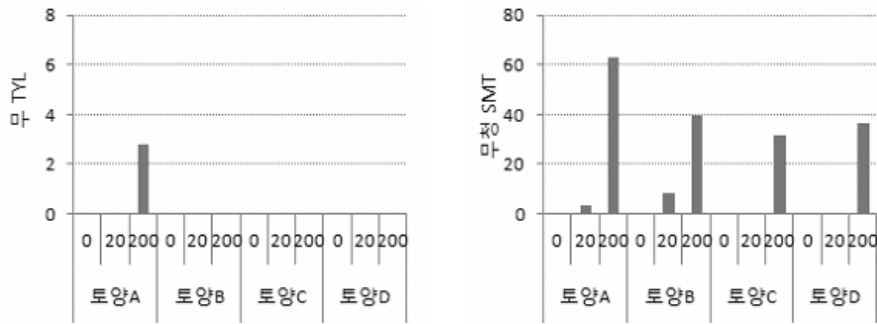


그림 4. 무 파종 후 82일의 항생제 함량(ng/g 생체중)

상추의 클로르테트라사이클린 함량을 정식 후 33일, 49일, 61일 등 3차례 분석한 결과, 정식 후 33일에만 미량(0.39 ng/g fw 이하) 검출되었다(그림 5). 폐화석 비료를 처리했을 때에는 0.24~0.28 ng/g으로, 토양개량제를 처리하지 않은 대조구에 비해 낮았으며, 제올라이트 처리구에서는 두 수준 모두 클로르테트라사이클린이 검출되지 않아 흡수 저감 효과가 뚜렷함을 확인하였다. 제올라이트는 양이온치환용량이 크고(80cmol⁺/kg 이상) 클로르테트라사이클린은 주로 양이온 치환을 통해 토양 입자에 흡착하므로, 제올라이트가 클로르테트라사이클린을 흡착하여 상추가 흡수하지 못하게 한 것으로 판단된다. 타이로신은 모든 처리구에서 조사기간 내에 검출되지 않았음.

설파메타진은 시간이 지날수록 함량이 낮아지는 경향을 보였다(그림 5). 폐화석의 처리로 초기에는 흡수량이 다소 낮아졌으나 후기에는 저감 효과가 보이지 않은 데 비하여, 제올라이트는 지속적으로 흡수량을 낮추었다.

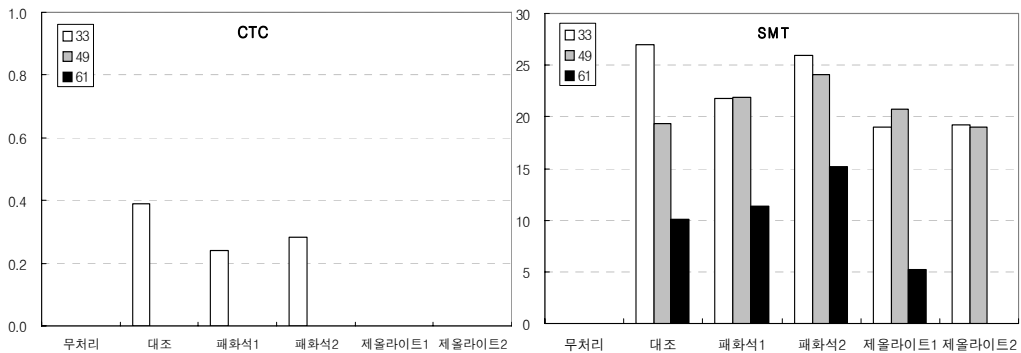


그림 5. 상추의 클로르테트라사이클린(좌)과 설파메타진(우)의 함량(ng/g fresh weight)

상추를 수확한 다음 토양에 잔류하는 항생제 함량을 분석한 결과, 패화석 처리구의 클로르테트라사이클린 함량은 3.0~5.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 대조구의 3.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 에 비해 저감 효과가 뚜렷하지 않았으나, 제올라이트는 1.9~2.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린의 함량을 39~45% 낮추었다(그림 6). 이는 주로 양이온 치환을 통해 토양 입자에 결합하는 클로르테트라사이클린이 양이온치환용량이 큰 제올라이트에 흡착되어 펙톤 완충용액에 추출되는 항생제의 양도 낮아진 것으로 판단된다.

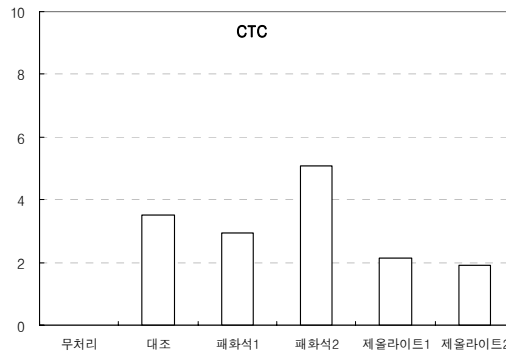


그림 6. 상추 수확 후 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린의 함량(ng/g dry weight).

타이로신의 경우에는 토양개량제의 효과가 뚜렷하지 않았다(그림 7). 즉 대조구의 37 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 에 비해 토양개량제 처리구는 24~48 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 검출되었다. 설파메타진 또한 타이로신과 마찬가지로 토양 개량제의 효과가 뚜렷하지 않았다(그림 9).

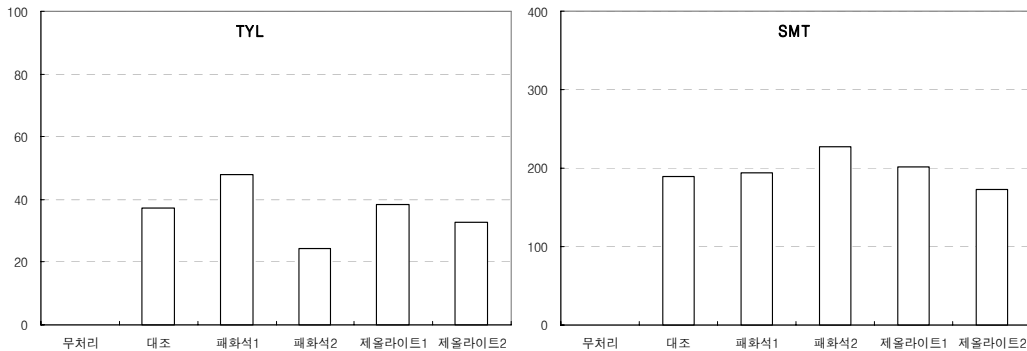


그림 7. 상추 수확 후 토양에 잔류하는 타이로신(좌)과 설파메타진(우)의 함량(ng/g dry weight).

토마토는 정식 후 68일과 94일, 오이는 정식 후 59일과 80일 각각 두 차례 분석한 결과, 항생제 3종(클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진) 모두 검출되지 않았다. 토양에 잔류하는 항생제 함량을 분석한 결과, 항생제 무처리구와 항생제 2 mg/L 처리구에서는 클로르테트라사이클린과 타이로신이 검출되지 않았고, 20 mg/L 처리구에서만 각각 13.8 ng/g 과 109 ng/g 검출되었다(표 8). 설파메타진은 무처리구에서 검출되지 않았고, 2 mg/L 처리구는 46.6 ng/g , 20 mg/L 처리구는 233 ng/g 검출되었다.

표 8. 토양 잔류 항생제 함량(ng/g dry weight)

	CTC	TYL	SMT
0	불검출	불검출	불검출
2 mg/L	불검출	불검출	46.6
20 mg/L	13.8	109	233

돈분뇨를 액비화하는 과정에서 폭기 처리를 하게 되면 테트라사이클린(TC)과 타이로신(TYL)의 분해 속도가 촉진되었다(그림 8). 혐기 조건에서 저장 62일에 테트라사이클린은 48%가 감소되었는데, 하루 1시간, 3시간, 6시간 폭기 처리를 함으로써 각각 78%, 85%, 89% 감소되었다. 이에 따라 1차 분해 모델($C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$)에 따른 속도 상수(k)는 폭기 무처리의 0.011에 비해 폭기 1시간, 3시간, 6시간의 경우에는 각각 0.022, 0.026, 0.037로 2.0~3.4배 증가하였다(표 9). 따라서 돈분뇨의 테트라사이클린 함량이 반으로 줄어드는 시기인 반감기는 63일에서 각각 32일, 26일, 19일로 줄어들었다. 타이로신의 경우에는 62일에 36% 감소한 데 비해, 하루 1시간, 3시간, 6시간 폭기 처리로 각각 54%, 66%, 80% 감소되었다(그림 8). 속도 상수(k)는 폭기 무처리 0.0074에 비해 폭기 1시간, 3시간, 6시간의 경우에는 각각 0.014, 0.018, 0.031로 1.9~4.2배 증가하였다(표 10). 그리고 돈분뇨의 타이로신 함량이 반으로 줄어드는 시기인 반감기는 무처리 94일에서 폭기 1시간, 3시간, 6시간 처리의 경우 각각 50일, 39일, 22일로 줄어들었다.

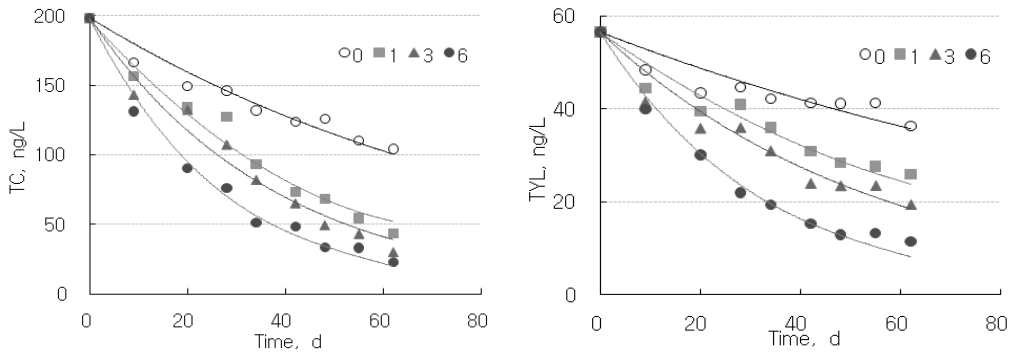


그림 8. 폭기 처리의 테트라사이클린(좌)과 타이로신(우)의 분해 촉진 효과

※ 1, 3, 6 : 하루 1, 3, 6시간 폭기

표 9. 돈분뇨의 테트라사이클린에 대한 1차 분해 모델($dC/dt = -kC$)의 모수

처 리	속도 상수, k, d^{-1}	상관계수, r	반감기, $t_{1/2}, d$
무처리	0.011 ± 0.00056	0.931	63.0
폭기 1h/d	0.022 ± 0.00109	0.975	31.5
폭기 3h/d	0.0263 ± 0.00142	0.972	26.3
폭기 6h/d	0.0369 ± 0.00139	0.984	18.8

※ $t_{1/2} = -0.693/k$

표 10. 돈분뇨의 타이로신에 대한 1차 분해 모델($dC/dt = -kC$)의 모수

처 리	속도 상수, k, d^{-1}	상관계수, r	반감기, $t_{1/2}, d$
무처리	0.0074±0.00069	0.369	93.6
폭기 1h/d	0.014±0.0008	0.915	49.5
폭기 3h/d	0.018±0.0012	0.910	38.5
폭기 6h/d	0.031±0.0012	0.978	22.4

※ $t_{1/2} = -0.693/k$

4. 적 요

시설하우스에서 저농도 돈분 액비를 연속 사용했을 때 토마토와 오이의 수량과 토양 인산과 중금속을 포함한 토양 화학성에 미치는 영향을 구명하고자 2007년부터 5년간 시험을 수행하였다. 저농도 돈분 액비를 질소 검정시비량을 기준으로 하여 50%, 100%, 200%에 해당하는 양을 처리하였으며, 화학비료 처리구와 비교하였다. 액비 50% 처리구의 부족한 질소는 요소로 보충하였다. 5년간 돈분 액비를 계속 사용한 결과, 화학비료 처리에 비해 토양의 인산 함량이 높지 않았으며 중금속 함량도 비슷한 수준이었다. 식물체의 중금속 함량도 화학비료 처리와 비슷한 수준이었다. 돈분 액비를 처리했을 때 토마토와 오이의 수량은 화학비료를 처리했을 때와 차이를 보이지 않았으므로, 저농도 돈분 액비의 연용이 작물 수량성에 나쁜 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 시설하우스에서 저농도 돈분 액비를 계속 사용하여도 토양 인산과 중금속이 축적될 우려는 없으며, 토마토와 오이의 수량도 화학비료를 처리했을 때와 대등할 것으로 판단된다. 다만 화학비료를 대체하여 저농도 돈분 액비를 연속하여 사용할 경우에는 토양의 칼리와 나트륨의 함량이 높아질 수 있다.

항생제를 처리하지 않은 돈분 액비를 시용하였을 때에는 토양과 상추에서 항생제가 검출되지 않았다. pH가 높은 토양에서는 pH가 낮은 토양에 비해 상추의 클로르테트라사이클린과 타이로신의 함량과 토양에서의 잔류량이 낮았다. 같은 양의 항생제를 처리하더라도 토양에 따라 토양 잔류량과 식물체에 흡수되는 양이 달랐으며, 대체로 토양의 항생제 잔류량이 많을수록 상추의 항생제 함량도 높았다. 무에서 클로르테트라사이클린과 설파메타진이 검출되지 않았으나, 타이로신은 한 토양에서만 미량 검출되었다. 무청에서는 클로르테트라사이클린과 타이로신이 검출되지 않았고, 설파메타진은 검출되었다. 토양개량제인 제올라이트와 패화석을 처리하면 상추의 클로르테트라사이클린의 함량이 낮아졌는데, 특히 제올라이트의 경우에는 검출되지 않았다. 설파메타진에 있어서도 제올라이트가 패화석보다 저감 효과가 더 뚜렷하였다. 상추 수확 후 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린의 함량은 제올라이트 처리로 낮아졌다. 항생제 3종(클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진)을 20 mg/L의 수준까지 처리한 돈분 액비를 시설하우스에 시용하고 토마토와 오이를 재배한 결과, 항생제가 검출되지 않았다. 돈분뇨의 액비화 과정에서 하루 6시간 폭기 처리를 하면, 테트라사이클린과 타이로신의 분해를 촉진하여 감소 속도가 각각 3.4배, 4.2배 증가하였다. 이에 따라 반감기는 각각 63일에서 19일로, 94일에서 22일로 단축되었다.

5. 인용문헌

- Baker, A.J.M., S.P. McGrath, C.M.D. Sidoli, and R.D. Reeves. 1994. The possibility of *in situ* heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Res. Conserv. Recycling*, 11:41-49.
- Ha, H-S., M-S. Yang, H. Lee, Y-B. Lee, B-K. Sohn, and U-G. Kang. 1997. Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:272-279.
- 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.
- Jones, J.B. 1991. Plant tissue analysis in micronutrients. p. 477-521. In Mortvedt, J.J. et al. (ed.) *Micronutrient in agriculture* (2nd ed.). Soil Science Society of America book series 4, Madison, WI, USA.
- Jung, G-B., K-Y. Jung, G-H. Cho, B-G. Jung, and K-S. Kim. 1997. Heavy metal contents in soils and vegetables in the plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:152-160.
- Kabata-Pendias, A. 2011. *Trace Elements in Soils and Plants* (4th ed.). CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Kostat. 2011. http://kosis.kr/abroad/abroad_01List.jsp. Statistics Korea. Daejeon, Korea.
- 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.
- Lee, Y. 2006. Nitrogen management in Korean agriculture. In *Nitrogen Behavior and Effective Management in Agro-Ecosystem*. Korea-Japan Joint International Symposium. Rural Development Administration. Suwon. Rep. of Korea.
- 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 waste water sludge as raw materials of compost on damage of red pepper cultivation. *Korean J. Environ. Agr.* 23:211-219.
- Lim, T-J., I-B. Lee, S-B. Kang, J-M. Park, and S-D. Hong. 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of Chinese cabbage. *Korean J. Environ. Agr.* 28:227-232.
- Lloveras, J., M. Aran, P. Villar, A. Ballesta, and A. Arcaya. 2004. Effect of swine slurry

- on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concentration. *Agron. J.* 96:986-991.
- Macnicol, R.D. and P.H.T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil.* 85:107-129.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants (2nd ed.). pp 333-364. Academic Press. London. UK.
- McLean, E.O. and M.D. Carbonell. 1972. Calcium, magnesium, and potassium saturation ratios in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German millet and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 36:927-930.
- 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 Academy of Agricultural Science (NAAS). 1999. Annual Report of Research and Development for Agricultural Environment in 1998. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 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.H., B.O. Cho, J.K. Choi, A.S. Kang, B.C. Jeong, and Y.S. Jung. 2010. Impact of continuous application of swine slurry on changes in soil properties and yields of tomatoes and cucumbers in a greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:446-452.
- 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. ASABE.* 48:2155-2162.
- Stout, W.L. and D.E. Baker. 1981. Effect of differential adsorption of potassium and magnesium in soils on magnesium uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:996-1002.
- Tufft, 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

제1세부과제 : 시설하우스에서 가축분 액비가 원예작물 및 토양환경에 미치는 영향 평가

연도 (연차)	활용구분	제 목
2008(2년차)	정책제안 영농활용	양돈 퇴비화 시설을 저농도 액비 시설로 개선 지원 저농도 액비를 이용한 시설재배지 화학비료 절감기술
2009(3년차)	영농활용	사양토 시설재배지에서 환경을 고려한 저농도 액비의 시용한계 수준
2010(4년차)	논문게재	논문명) Impact of continuous application of swine slurry on changes in soil properties and yields of tomatoes and cucumbers in a greenhouse
2011(5년차)	영농활용 논문게재	저농도 돈분 액비의 연용이 원예작물 및 토양 환경에 미치는 영향 논문명) 시설하우스에서 저농도 돈분 액비의 연용이 토양 및 토마토와 오이의 수량에 미치는 영향

제2세부과제 : 축산용 항생제의 식물체 흡수 구명

연도 (연차)	활용구분	제 목
2009(2년차)	영농활용	액비화 과정에서 폭기 처리의 항생제 분해 촉진 효과
2011(4년차)	영농활용 영농활용 논문게재	돈분 액비로 엽채류 재배시 제올라이트를 활용한 항생제 흡수 저감 돈분 액비로 과채류 재배시 항생제 우려 해소 논문명) 토양과 돈분뇨의 테트라사이클린 분석에 있어 추출법의 비교

7. 연구원 편성

제1세부과제 : 시설하우스에서 가축분 액비가 원예작물 및 토양환경에 미치는 영향 평가

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
					07	08	09	10	11
책임자	환경농업 연구과	농업 연구사	서영호	세부과제 총괄					○
책임자	원예연구과	"	조병욱	세부과제 총괄	○	○	○	○	
공동 연구자	환경농업 연구과	농업 연구관	강안석	연구방향 설정	○	○	○	○	○
"	"	농업 연구사	김세원	연구 협조					○
연구 보조원	"	계약직	김장수	포장 관리 등 연구 협조	○	○	○	○	○

제2세부과제 : 축산용 항생제의 식물체 흡수 구명

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
					08	09	10	11
책임자	환경농업 연구과	농업 연구사	서영호	세부과제 총괄	○	○	○	○
공동 연구자	"	농업 연구관	강안석	연구방향 설정	○	○	○	○
"	원예연구과	농업 연구사	조병욱	연구 협조	○	○	○	
"	환경농업 연구과	"	최승출	"				○
연구 보조원	"	계약직	김장수	포장 관리 등 연구 협조	○	○	○	○