

과제구분	공동연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야(Code)	수행기간	연구실	책임자
작물재배환경에서 중금속 및 항생물질의 안전성 평가		환경생태 ES0204	'08~'10	강원대학교	옥용식
축산분뇨 퇴비의 중금속 및 항생물질의 농산물 전이 평가		"	'08~'10	환경농업연구과	서영호
색인용어	축산분뇨 퇴비, 항생물질, 중금속, 농산물, 전이				

ABSTRACT

In Korea, 998 Mg of veterinary antibiotics were consumed in 2009. One of the main routes of antibiotics entering soil environment is via the application of antibiotic-laden animal manure to agricultural 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-laden animal manure. 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 manure wastes in Korea. At this time, it is not clear if consuming antibiotics in agricultural products can result in adverse impacts on health. The objective of the study was to test whether or not antibiotics and arsenic in roxarson were detected from plants grown in soils fertilized with antibiotic-treated chicken manure compost. Four antibiotics such as chlortetracycline (CTC), tylosin (TYL), sulfamethazine (SMT), and roxarson, and three vegetables such as lettuce, reddish, and tomato were used in the study. Antibiotic concentrations in lettuce were less than 2.3 ng/g for CTC, less than 32 ng/g for TYL, and less than 62 ng/g for SMT on a fresh weight basis when the antibiotics were treated to chicken manure compost at rates of 20~200 mg/m². For reddish, less than 0.3 ng/g of CTC in roots, less than 7.7 ng/g of TYL in shoots, and less than 40.3 ng/g of SMT in shoots were detected. On the other hand, any antibiotics was not detected tomato fruits. Arsenic in roxarson was not taken up by lettuce, reddish, tomato, and cucumber. The results imply that antibiotic uptake by crops may be dependent on antibiotic type and crop type.

1. 연구목표

축산용 항생제는 가축이 병들었을 때 이를 치료하기 위하여 가축에 투여하는 약제이다. 그러나 병든 가축뿐만 아니라 건강한 가축에게도, 사료의 이용 효율을 높이고 병을 예방하며 생장을 촉진하기 위해 항생제를 사료나 물에 첨가하여 먹인다. 비치료적 항생제 투여는 병원균 감염의 억제, 유해 대사산물의 감소, 또는 미생물에 의한 영양소 흡수를 억제

(Gaskins 등, 2002)하여 가축의 생체량을 증가시킨다. 우리나라의 항생제 사용량은 2001년 1,595톤에서 2009년에는 998톤(국립수의과학검역원, 2010)으로 감소하였는데, 이는 배합사료에 들어가는 항생제의 종류를 줄인 결과로 여겨진다.

입을 통해 체내에 들어간 항생제는 대개 서서히 흡수되며, 항생제 자체와 그 대사산물이 축산 분뇨에 분비된다(Aga 등, 2003; Vaclavik 등, 2004). 가축에 투여한 타이로신의 약 78%가 그대로 축산 분뇨에서 검출되었으며(Vaclavik 등, 2004), 돈분뇨에서 검출된 타이로신의 농도는 최고 4.0 mg L⁻¹였다(Kumar 등, 2004). 클로르테트라사이클린은 돈분뇨에서 7.7 mg L⁻¹(Kumar 등, 2004) 검출되었다. Campagnolo 등(2002)이 일곱 군데의 돈분 저류지에서 시료를 채취하여 분석한 결과 클로르테트라사이클린의 농도가 68-1,000 ug L⁻¹였다. Campagnolo 등(2002)은 조사한 모든 돈분뇨 저류지에서 설파메타진이 2.5-400 ug L⁻¹의 농도로 검출되었음을 보고하였다. 돈분 액비에서는 설파메타진이 1 mg kg⁻¹ 검출되었다(Christian 등, 2003).

축산용 항생제가 토양과 물 생태계에 들어가는 주된 경로는 축산 분뇨를 농토에 유기물 자원으로서 투입할 때이다. 토양에 시용된 항생제는 표면 유거에 의해서나 배수관을 통하여 하천이나 호소와 같은 표면수에 도달하거나, 용탈을 통해 지하수를 오염할 수 있다. Carlson과 Mabury(2006)에 의하면, 사양토에 처리한 클로르테트라사이클린의 약 2%가 25-35 cm 깊이에서 검출되었다. Kay 등(2004)에 의하면 1.55 ha의 농경지에 설치된 배수관에서 설파클로르피리다진과 옥시테트라사이클린이 각각 최고 613과 36 g L⁻¹ 검출되었다.

Seo 등(2007)은 우리나라에서의 항생제 사용량과 가축 분뇨로의 배출율, 축분뇨와 토양내에서의 흡착 정도 등을 기준으로 하여 환경에서 검출될 가능성이 높은 항생제의 우선순위를 정하였으며, Lee 등(2010)이 원주 지역의 계분 퇴비화 시설 인근에서 농경지와 저질토의 항생제를 분석한 결과 테트라사이클린이 가장 높은 농도로 검출되었다. Seo 등(2010b)은 토양과 돈분뇨의 테트라사이클린을 분석하는 데 있어 추출법에 따른 결과 값의 차이가 큼을 보여주고, 연구 논문에서 보고된 토양과 돈분뇨의 테트라사이클린의 값을 서로 비교할 때에는 어떤 추출법이 사용되었는지를 반드시 고려하여야 하며, 테트라사이클린을 정량할 때에는 분석 목적에 따라 적합한 추출법을 사용하여야 한다고 하였다.

토양에 잔류하는 항생제는 식물체에 흡수될 수 있음을 보여주는 연구 결과들이 발표되어 왔다. Kumar 등(2005)은 클로르테트라사이클린을 함유한 축산 분뇨를 토양에 처리하였을 때 양배추, 옥수수, 골과 등 3개 작물에서 생체량 기준으로 2-17 µg kg⁻¹이 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⁻¹이었다. 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. Seo 등(2010a)은 항생제가 처리된 돈분뇨를 시용한 토양에서 자란 상추, 토마토, 헤어리베치에서 항생제를 검출하여 식물체가 항생제를 흡수할 수 있는 가능성을 제시하였다. 한편, 항생제를 흡수하는 식물체를 키워 그 식물체가 항생제를 체내에서 분

해한 다음 수확하여 항생제를 제거하는 식물 복원(phytoremediation)에 대한 연구도 진행되었다(Migliore 등, 2000).

따라서 본 연구는 작물 재배 환경에서 항생물질과 중금속이 원예작물에 전이될 수 있는지를 평가하고, 흡수를 저감/억제할 수 있는 방법을 구명하기 위하여 3년간 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 엽채류와 근채류의 항생물질과 중금속 전이 평가

엽채류와 근채류의 항생물질과 중금속 전이를 평가하기 위하여 화학적 성질이 서로 다른 네 종류의 토양을 대상으로 하였다. 각 토양의 화학적 성질을 표 1에 나타내었다. 계분을 주로 한 퇴비에 클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진, 록살슨 등 네 종류의 항생물질을 처리하여 시험하였는데, 시험에 쓰인 축분 퇴비의 양분 조성은 표 2와 같았다.

표 1. 토양의 화학적 성질

토양	pH	EC dS/m	OM g/kg	NO ₃ mg/kg	P ₂ O ₅ mg/kg	Ca	K	Mg
						cmol ⁽⁺⁾ /kg		
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 2. 계분 퇴비의 양분 조성(g/kg)

T-N	유기물	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
17.1	417	11.2	7.8	43.1	53.3

퇴비의 시용량은 상추의 질소 표준시비량인 10a당 20kg과 퇴비의 전질소 함량인 1.71%를 고려하여 10a당 1.17톤이었다. 항생물질의 처리 수준은 무처리, 20mg/m², 200mg/m² 등 3수준이었으며, 중금속 처리 수준은 록살슨의 As 함량이 28.5%이므로 무처리, 5.7, 57mg As/m² 등 3수준이었다.

토양과 식물체의 항생물질은 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 10mL를 튜브에 넣고 1시간 동안 교반한 다음 10분간 원심분리하여 추출하였다.

클로르테트라사이클린의 ELISA 분석은 상용화되어 있는 테트라사이클린 분석용 키트(R-Biopharm AG, Darmstadt, Germany)을 이용하였으며, 분석 과정은 제조사의 매뉴얼에 따랐다. 즉, 분석시료나 표준시료를 테트라사이클린단백질 conjugate이 입혀진 well에 넣고, 항체 용액을 넣어 1시간 동안 반응시켰다. 결합하지 않은 항체는 세척 과정에서 제거하고 효소

conjugate을 넣고 실온에서 15분동안 반응시켰다. 결합하지 않은 효소-항체는 세척 과정에서 제거한 다음 효소 기질과 발색제를 넣고 15분 동안 발색시켰다. 중지 시약을 넣은 다음 450 nm에서 흡광도를 측정하여 테트라사이클린을 정량하였는데, 테트라사이클린의 농도가 높을수록 흡광도는 낮았다. 타이로신과 설파메타진도 시판되고 있는 분석용 키트(각각 Tecna S.r.l., Trieste, Italy, R-Biopharm AG, Darmstadt, Germany)을 이용하였다. 분석 과정은 제조사의 매뉴얼에 따랐는데, 테트라사이클린과 원리와 과정이 비슷하였다. 타이로신은 분석시료나 표준시료를 흡착성이 높은 항체가 처리된 well에 넣고, 효소 conjugate를 넣어 시료 안의 타이로신과 항체의 결합 자리에 대하여 경쟁시켰다. 결합하지 않은 효소 conjugate는 세척 과정에서 제거한 다음 발색제를 넣고 10분 동안 발색시켰다. 중지 시약을 넣은 다음 450 nm에서 흡광도를 측정하여 타이로신을 정량하였다. 설파메타진은 분석시료나 표준시료를 항체가 입혀진 well에 넣고, 효소 conjugate와 항체 용액을 넣었다. 결합하지 않은 효소 conjugate는 세척 과정에서 제거한 다음, 기질과 발색제를 각각 50ul를 넣고 30분 동안 실온에서 발색시켰다. 중지 시약을 넣은 다음 450 nm에서 흡광도를 측정하여 설파메타진을 정량하였다.

나. 토양개량제의 항생물질 식물체 전이 저감 효과 구명

클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진, 록살슨 등 항생물질 4종을 처리한 계분 퇴비를 사용한 다음 상추와 무를 표준 경종법에 따라 재배하였다. 퇴비의 사용량은 10a당 1.03톤로서, 이는 상추의 질소 표준소비량인 10a당 20kg과 계분 퇴비의 질소 함량인 19.4g/kg을 고려하여 계산하였다. 무에 있어서는 질소 표준소비량인 23.4kg/10a를 처리하기 위하여 계분 퇴비를 10a당 1.21톤 사용하였다. 항생물질의 처리수준은 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.

시험에 쓰인 토양은 상대적으로 항생물질의 흡수량이 높았던 온실 토양이었으며 토양과 식물체의 항생물질을 추출하고 분석하는 과정은 앞에서 기술한 바와 같다.

다. 과채류의 항생물질 및 중금속 전이 평가

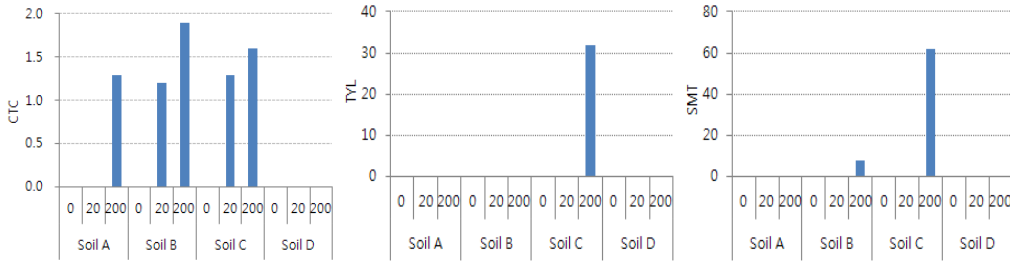
토마토와 오이를 정식하기 전에 클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진, 록살슨 등 항생물질 4종을 처리한 계분 퇴비를 사용하였다. 시설토마토와 오이의 질소 표준소비량은 각각 20.4kg/10a와 19.7kg/10a로 비슷하고, 퇴비의 질소 함량은 14.8g/kg이므로, 퇴비의 사용량은 10a당 1.39톤이었다. 항생물질의 처리 수준은 무처리, 20mg/m²(0.2kg/ha), 200mg/m²(2kg/ha) 등 3수준이었으며, 중금속 처리 수준은 록살슨의 As 함량이 28.5%이므로 무처리, 5.7, 57mg As/m² 등 3수준이었다.

시험은 온실에서 수행되었으며 토양과 식물체의 항생물질을 추출하고 분석하는 과정은 앞에서 기술한 바와 같다.

3. 결과 및 고찰

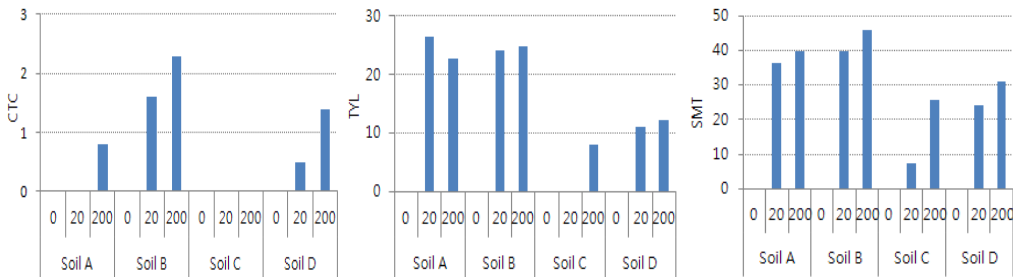
가. 엽채류와 근채류의 항생물질과 중금속 전이 평가

상추를 정식 후 27일에 수확하여 분석한 결과는 그림 1과 같다. 항생물질을 처리하지 않은 계분 퇴비를 처리했을 때에는 모든 토양에서 항생물질이 검출되지 않았다. 항생물질을 퇴비에 200mg/m² 처리했을 때 상추에서 항생물질이 검출되었는데, pH가 낮은 토양 B와 C에서 주로 검출되었다. 최고 검출량은 클로르테트라사이클린이 1.9ng/g, 타이로신이 31.9ng/g, 설파메타진 62.0ng/g으로서, 축산물의 잔류 기준치인 테트라사이클린 100~1,200ng/g, 타이로신 200ng/g, 설폰아마이드 100ng/g과 비교했을 때 낮은 수준이었다. 클로르테트라사이클린을 함유한 축산 분뇨를 토양에 처리하고 양배추 등 세 작물을 처리했을 때 2-17ng/g이 검출된 결과(Kumar 등, 2005a)나, 설파메타진을 처리했을 때, 옥수수 등 세 작물에서 8~100 ng/g이 검출된 결과(Dolliver 등, 2007)와 비슷한 수준이었다.



<그림 1> 정식 후 27일의 상추의 항생물질 함량(ng/g fresh weight)

정식 후 69일에도 항생물질을 처리하지 않은 계분을 처리한 구에서는 항생물질이 검출되지 않았으며(그림 2), 클로르테트라사이클린은 비슷한 수준으로 검출되었다. 타이로신이나 설파메타진은 대체로 정식 후 27일보다 높아지는 경향을 보였다. 검출 수준은 클로르테트라사이클린은 2.3 ng/g 이하, 타이로신은 26.4 ng/g 이하, 설파메타진 46.0ng/g 이하였다.



<그림 2> 정식 후 69일의 상추의 항생물질 함량(ng/g fresh weight)

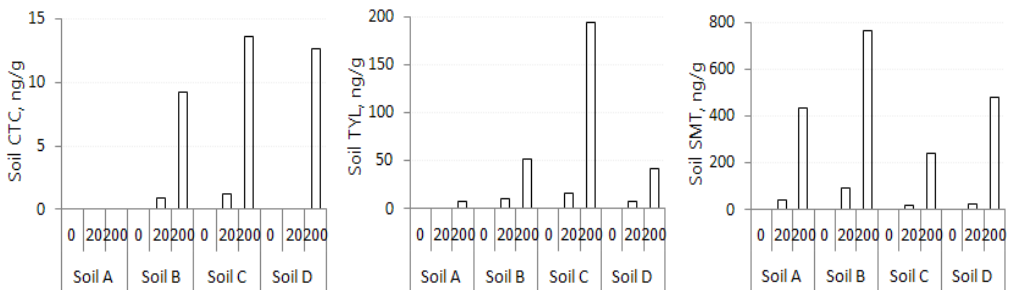
비소의 함량은 비소를 함유한 록살슨의 처리 수준과 관계없이 거의 비슷하였다(표 3). 구리와 아연 등 중금속의 함량도 처리 사이에 큰 차이가 없었다 따라서 록살슨의 비소가 식물체로 전이되지 않은 것으로 판단된다.

표 3. 정식 후 69일의 상추의 중금속 함량(mg/kg dry weight)

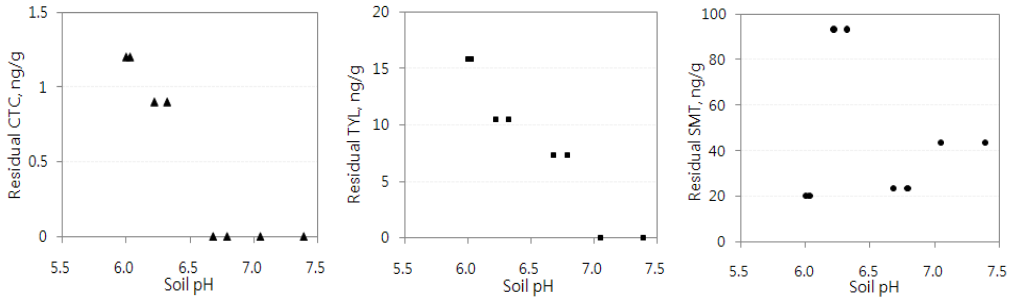
토양	As			Cu			Zn		
	0	20	200mg/m ²	0	20	200mg/m ²	0	20	200mg/m ²
A	0.08	0.07	0.11	4.5	4.7	4.3	52	61	55
B	0.05	0.04	0.04	4.0	4.1	3.9	54	50	46
C	0.01	nd*	nd	6.3	6.3	6.4	59	52	58
D	0.01	nd	0.01	4.2	3.7	4.4	38	33	39

* nd : 검출한도 이하

상추를 수확한 다음 토양에 남아있는 항생물질의 함량을 분석한 결과를 그림 3에 나타내었다. 항생물질은 처리하지 않았을 때에는 토양에서도 항생물질이 검출되지 않았다. 클로르테트라사이클린과 타이로신은 pH가 낮은 토양 B와 C에서 pH가 높은 토양 A나 D에 비하여 높은 수준이었고, 설파메타진은 토양 사이에 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 즉, 토양 pH가 높을수록 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 낮아지는 경향을 보였으나, 설파메타진은 일정한 경향을 보이지 않았다(그림 4). 이는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 양이온 교환으로 토양 점토광물에 결합되어 pH가 낮을수록 결합력이 높기 때문으로 보이며(Essington 등, 2010), 설파메타진은 pH 6 이상에서는 전하를 띠지 않는 중성의 형태로 결합하므로 pH와의 관련성이 낮기 때문으로 판단된다.

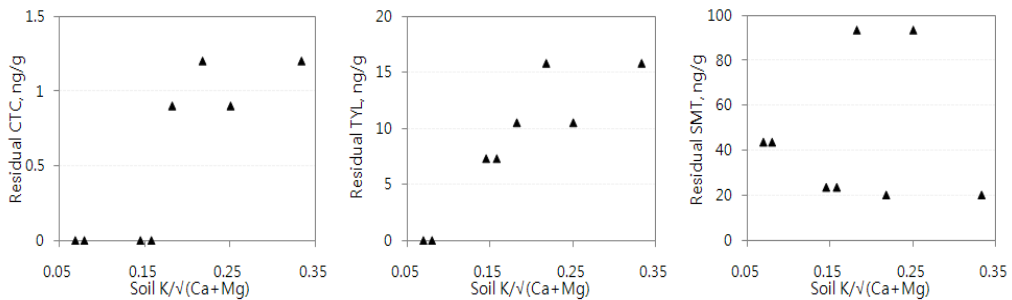


<그림 3> 상추 수확 후 토양(표토)의 항생물질 잔류량(ng/g dry weight)



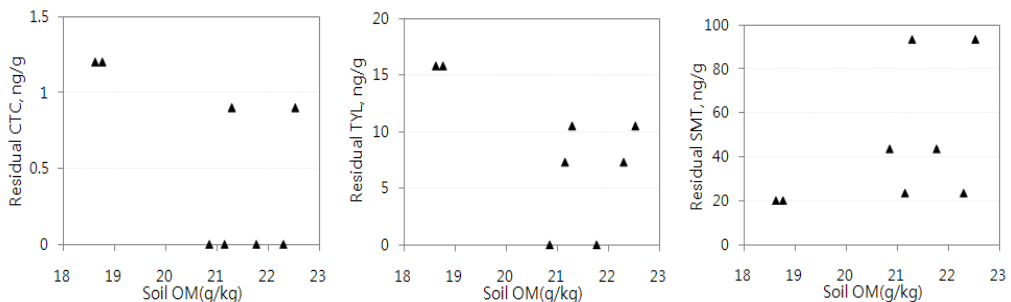
<그림 4> 토양 잔류 항생물질 함량과 토양 pH의 관계

토양 양이온과 토양에 잔류하는 항생물질과의 관계를 보면, 토양의 칼리 함량이 석회나 고토에 비해 높을수록 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 낮아지는 경향을 보였으나, 설파메타진은 일정한 경향을 보이지 않았다(그림 5). 이는 토양 양이온 가운데 2가인 석회와 고토에 비해 1가인 칼리의 함량이 높으면, 토양 점토광물의 흡착 자리에 대한 결합력이 상대적으로 낮아지므로(Essington 등, 2010), 클로르테트라사이클린과 타이로신과 같이 양이온 교환으로 흡착하는 물질은 토양 흡착량이 높아진 결과로 보인다.



<그림 5> 토양 잔류 항생물질 함량과 토양 양이온의 관계

토양 유기물과 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린과 타이로신의 함량과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다(그림 6). 클로르테트라사이클린과 타이로신이 양이온 교환을 통해 토양 콜로이드 입자에 결합하기 때문인 것으로 보인다.



<그림 6> 토양 잔류 항생물질 함량과 토양 유기물(OM)의 관계

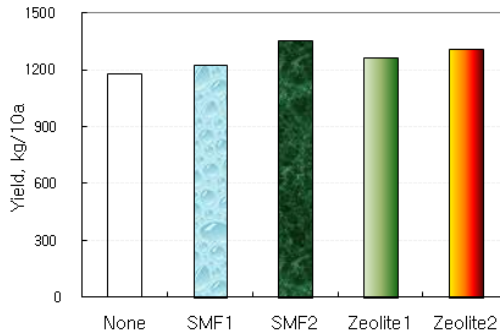
상추 수확 후에 토양에 잔류하는 비소의 함량은 비소를 함유한 항생물질의 처리 수준과 관계없이 비슷하였다(표 4). 구리와 아연도 처리 사이에 큰 차이가 없었다

표 4. 상추 수확 후 토양(표토)의 중금속 잔류량(mg/kg dry weight)

토양	As			Cu			Zn		
	0	20	200mg/m ²	0	20	200mg/m ²	0	20	200mg/m ²
A	0.25	0.23	0.28	0.76	0.80	0.74	8.8	8.6	8.3
B	0.16	0.15	0.16	1.31	1.29	1.50	7.2	7.7	6.8
C	0.21	0.20	0.20	2.13	2.34	2.37	12.2	11.1	11.9
D	0.31	0.30	0.33	0.60	0.71	0.69	8.7	8.3	8.2

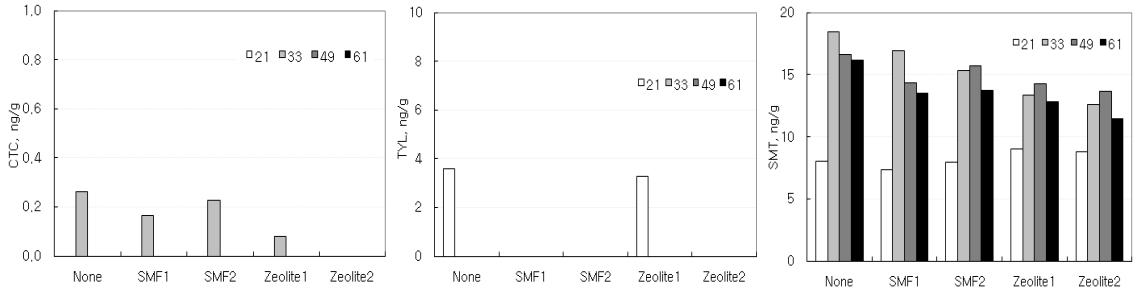
나. 토양개량제의 항생물질 식물체 전이 저감 효과 구명

토양개량제인 패화석과 제올라이트를 처리하였을 때 상추 수량은 10a당 1,179kg에서 1,225~1,355kg으로 증가하였다(그림 7). 토양개량제의 시용량이 많을수록 수량 증가 폭은 컸으며 토양개량제 종류 사이의 차이는 뚜렷하지 않았다



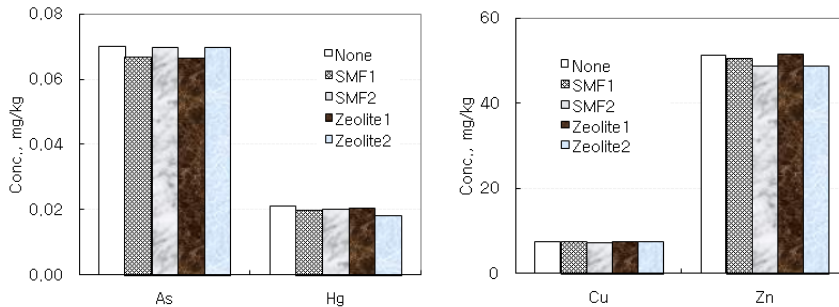
<그림 7> Effect of zeolite and shell meal fertilizer on lettuce yield (kg/10a)

상추의 클로르테트라사이클린(CTC) 함량을 정식 후 21일, 33일, 49일, 61일 등 4회 분석한 결과, 정식 후 33일에만 미량(0.26 ng/g fw 이하) 검출되었으며, 제올라이트를 10a당 600kg 처리하였을 때에는 검출되지 않아 제올라이트의 항생제 흡수 저감 효과를 확인할 수 있었다(그림 8). 클로르테트라사이클린은 주로 양이온 치환을 통해 토양 입자에 흡착하고, 제올라이트는 양이온치환용량이 크므로, 제올라이트가 클로르테트라사이클린을 흡착하여 상추가 흡수할 수 있는 항생물질의 양을 낮춰주는 기작을 통해 흡수량을 저감시키는 것으로 판단된다. 타이로신(TYL)은 정식 후 21일에만 소량(3.6 ng/g fw 이하) 검출되었으며, 패화석을 처리하거나 제올라이트를 10a당 600kg 처리하였을 때에는 검출되지 않아 패화석과 제올라이트의 항생제 흡수 저감 효과를 확인할 수 있었다. 설파메타진(SMT) 네 시기 모두 검출되었으며, 검출량도 7.4~18.4 ng/g fw으로 클로르테트라사이클린이나 타이로신에 비해 높은 수준이었다. 제올라이트는 설파메타진 검출 농도를 낮추는 효과가 있었으며 패화석 비료는 제올라이트에 비해 저감 효과가 상대적으로 작았다.

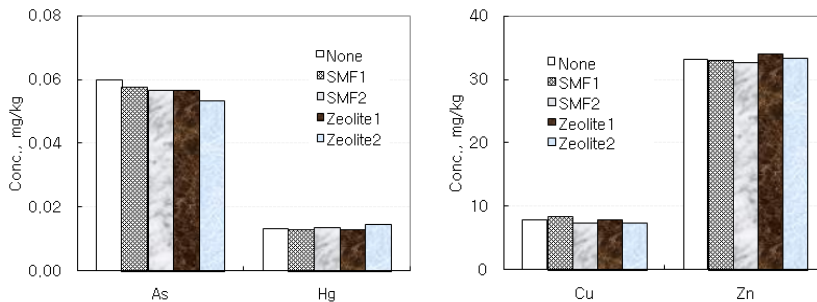


<그림 8> 상추의 클로르테트라사이클린(CTC), 타이로신(TYL), 설파메타진(SMT) 함량 (ng/g fresh weight). SMF : 패화석

상추의 중금속 함량에 있어서는 정식 후 49일과 61일 2회에 걸쳐 비소, 수은, 구리, 아연을 분석하였는데, 처리 간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(그림 9, 그림 10). 록살슨의 비소 함량은 28.5%로, 토양에 처리된 비소는 10a당 28.5g, 토양 1kg당 0.14mg 수준이었다. 이 수준의 중금속 처리는 상추의 중금속 함량을 크게 높이지 않고 이에 따라 토양개량제의 효과도 보이지 않기 때문인 듯 하다. 정식 후 49일의 비소 함량은 0.067~0.070mg/kg dw 수준이었으며, 수은, 구리, 아연은 각각 0.018~0.021mg/kg, 7.4~7.6mg/kg, 49~52mg/kg였다. 정식 후 61일에는 비소, 수은, 구리, 아연 함량은 각각 0.053~0.060mg/kg, 0.013~0.015mg/kg, 7.4~8.4mg/kg, 33~34mg/kg으로 다소 낮아졌다.

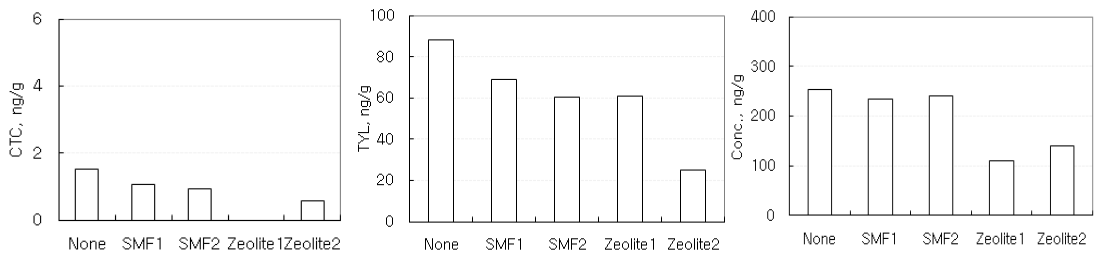


<그림 9> 정식 후 49일의 상추 중금속 함량(mg/kg dry weight). SMF : 패화석



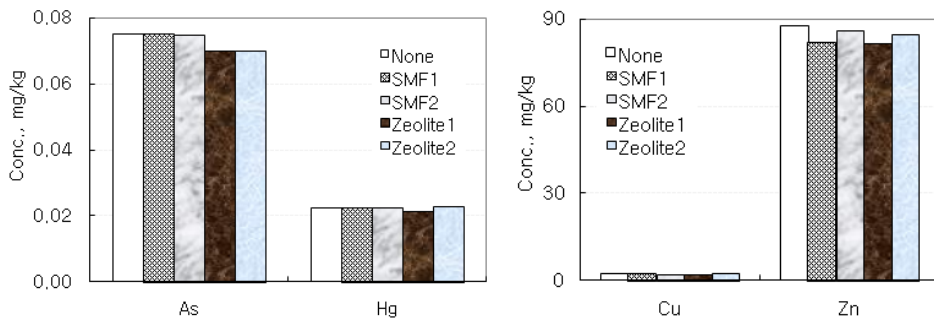
<그림 10> 정식 후 61일의 상추 중금속 함량(mg/kg dry weight). SMF : 패화석

상추를 수확한 다음 토양에 잔류하는 항생제 함량을 분석한 결과, 클로르테트라사이클린(CTC)은 제올라이트를 처리했을 때 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린의 함량이 토양 개량제를 처리하지 않은 대조구보다 낮았다(그림 11). 폐화석의 잔류 감소 효과는 제올라이트보다 낮았다. 주로 양이온 치환을 통해 토양 입자에 결합하는 클로르테트라사이클린이 양이온치환용량이 큰 제올라이트에 흡착되어 펩톤 완충용액에 추출되는 항생물질의 양도 낮아진 것으로 추론된다. 타이로신(TYL)은 제올라이트를 처리했을 때 토양에 잔류하는 타이로신의 함량이 낮아졌는데, 특히 10a당 600kg 처리하였을 때에는 24.8 ng/g으로 대조구(88.0 ng/g)에 비해 72%의 저감 효과가 있었다(Fig. 3.2.16). 클로르테트라사이클린과 마찬가지로 폐화석의 저감 효과는 제올라이트보다 낮았으며, 양이온치환용량이 큰 제올라이트가 주로 양이온 치환을 통해 토양 입자에 결합하는 타이로신을 흡착하여 낮아진 것으로 판단된다. 설파메타진(SMT)은 식물체(상추)에서와 마찬가지로 클로르테트라사이클린이나 타이로신보다 토양에 잔류하는 양이 많아서 110~254ng/g 수준으로 검출되었다(Fig. 3.2.17). 폐화석 비료는 대조구와 거의 비슷한 수준이 검출되어 저감 효과는 없는 것으로 보이나, 제올라이트는 110~140ng/g 수준으로 대조구 대비 45~56%의 저감 효과를 보였다.



<그림 11> 상추 수확 후 토양(표토)의 항생물질 잔류량(ng/g dry weight). SMF : 폐화석

상추 수확 후 토양의 비소, 수은, 구리, 아연 함량은 식물체(상추)에서와 마찬가지로 처리 간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(그림 12). 토양의 비소 함량은 0.070~0.075mg/kg 수준이었으며, 수은, 구리, 아연은 각각 0.022~0.023mg/kg, 2.1~2.4mg/kg, 81~88mg/kg 범위였다.



<그림 12> 상추 수확 후 토양(표토)의 중금속 잔류량(mg/kg dry weight). SMF : 폐화석

다. 과채류의 항생물질 및 중금속 전이 평가

토마토는 정식 후 65일과 91일, 오이는 정식 후 52일과 73일 각각 두 차례 분석한 결과, 클로르테트라사이클린, 타이로신, 설파메타진 등 모든 항생물질이 검출되지 않았다. 토마토의 비소, 구리, 아연 등 중금속 함량은 처리 사이에 뚜렷한 경향을 보이지 않아서(표 5), 항생물질(록살슨) 처리에 의해 비소가 식물체로 전이된 것으로 보이지 않았다.

표 5. 토마토의 중금속 함량(mg/kg dry weight)

	As	Cu	Zn
0	0.18	21.3	27.4
0.2 kg/ha	0.13	22.8	27.4
2 kg/ha	0.20	22.6	24.8

4. 적 요

작물 재배 환경에서 항생물질과 중금속의 원예작물 전이 가능성을 평가하고 그 흡수를 저감 또는 억제할 수 있는 방법을 구명하기 위하여 3년간 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 항생물질을 처리하지 않은 계분을 처리하면 채소류와 토양에서 항생물질이 검출되지 않았다.
2. 중금속을 함유한 항생물질인 록살슨을 처리하여도 채소류와 토양의 중금속 함량은 변화가 없었다.
3. 토양 pH가 높을수록 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 낮아지는 경향을 보였다.
4. 토양 칼리 함량이 석회와 고토에 비해 높을수록 토양에 잔류하는 클로르테트라사이클린과 타이로신은 낮아지는 경향을 보였다.
5. 항생물질을 계분 퇴비에 최고 200 mg/m²(2 kg/ha) 처리하여 토양에施用하여도, 토마토와 오이 등 과채류에서는 항생물질이 검출되지 않았다.
6. 축분 퇴비로 엽채류를 재배할 때, 제올라이트를 10a당 600kg 처리하면 최악의 경우(항생물질 0.5 mg/kg)에도 테트라사이클린과 타이로신의 흡수를 억제할 수 있으며, 설파메타진은 32%까지 감소시킬 수 있었다.

5. 인용문헌

- Aga, D.S., R. Goldfish, and R. Kulshrestha. 2003. Application of ELISA in determining the fate of tetracyclines in land-applied livestock wastes. *Analyst*. 128: 658-662.
- Aga, D.S., S. O'Connor, S. Ensley, J.O. Payero, D. Snow, and D. Tarkalson. 2005. Determination of the persistence of tetracycline antibiotics and their degradates in manure-amended soil using enzyme-linked immunosorbent assay and liquid

chromatography-mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 53: 7165-7171.

- Boxall, A.B.A., P. Johnson, E.J. Smith, C.J. Sinclair, E. Stutt, and L.S. Levy. 2006.** Uptake of veterinary medicines from soils into plants. *J. Agri. Food Chem.* 54:2288-2297.
- Carlson, J.C. and S.A. Mabury. 2006.** Dissipation kinetics and mobility of chlortetracycline, tylosin, and monensin in an agricultural soil in Northumberland county, Ontario, Canada. *Environ. Toxicol. Chem.* 25: 1-10.
- Christian, T., R.J. Schneider, H.A. Farber, D. Skutlarek, M.T. Meyer, and H.E. Goldbach. 2003.** Determination of antibiotic residues in manure, soil, and surface waters. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 31: 36-44.
- Campagnolo, E.R., K.R. Johnson, A. Karpati, C.S. Rubin, D.W. Kolpin, M.T. Meyer, J. Emilio Esteban, R.W. Currier, K. Smith, K.M. Thu, and M. McGeehin. 2002.** Antimicrobial residues in animal waste and water resources proximal to large-scale swine and poultry feeding operations. *Sci. Total Environ.* 299: 89-95.
- Dolliver, H., K. Kumar, and S. Gupta. 2007.** Sulfamethazine uptake by plants from manure-amended soil. *J. Environ. Qual.* 36: 1224-1230.
- Dolliver, H., K. Kumar, S. Gupta, and A. Singh. 2008.** Application of enzyme-linked immunosorbent assay analysis for determination of monensin in environmental samples. *J. Environ. Qual.* 37: 1220-1226.
- Essington, M.E., J. Lee, and Y. Seo. 2010.** Adsorption of antibiotics by montmorillonite and kaolinite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 1577-1588.
- Gaskins, H.R., C.C. Collier, and D.B. Anderson. 2002.** Antibiotics as growth promotants: Mode of action. *In Pork Quality and Safety Summit. Natl. Pork Board. Des Moines, IA, USA.*
- Kay, P., P.A. Blackwell, and A.B.A. Boxall. 2004.** Fate of veterinary antibiotics in a macroporous tile drained clay soil. *Environ. Toxicol. Chem.* 23: 1136-1144.
- Kumar, K., A. Thompson, A.K. Singh, Y. Chander, and S.C. Gupta. 2004.** Enzyme-linked immunosorbent assay for ultratrace determination of antibiotics in aqueous samples. *J. Environ. Qual.* 33: 250-256.
- Kumar, K., S.C. Gupta, S.K. Baidoo, Y. Chander, and C.J. Rosen. 2005.** Antibiotic uptake by plants from soil fertilized with animal manure. *J. Environ. Qual.* 34:2082-2085.
- Lee, S.S., S.C. Kim, K.R. Kim, O.K. Kwon, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2010.** Seasonal monitoring of residual veterinary antibiotics in agricultural soil, surface water and sediment adjacent to a poultry manure composting facility. *Korean J. Environ. Agri.* 29: 273-281.
- Migliore, L., S. Cozzolino, and M. Fiori. 2000.** Phytotoxicity to and uptake of flumequine

used in intensive aquaculture on the aquatic weed, *Lythrum salicaria* L. *Chemosphere*. 40: 741-750.

Seo, Y.H., J.K. Choi, S.K. Kim, H.K. Min, and Y.S. Jung. 2007. Prioritizing environmental risks of veterinary antibiotics based on the use and the potential to reach environment. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40: 43-50.

Seo, Y.H., B.O. Cho, A.S. Kang, B.C. Jeong, and Y.S. Jung. 2010a. Antibiotic uptake by plants from soil applied with antibiotic-treated animal manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43: 466-470.

Seo, Y.H., B.O. Cho, A.S. Kang, B.C. Jeong, and Y.S. Jung. 2010b. Comparison of extraction method for tetracycline determination in soil and swine slurry. *J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ.* 26: 151-154.

Vaclavik, E., B. Halling-Sorensen, and F. Ingerslev. 2004. Evaluation of manometric respiration tests to assess the effects of veterinary antibiotics in soil. *Chemosphere* 56: 667-676.

국립수의과학검역원. 2010. http://www.nvrqs.go.kr/Ex_Notice/news/View.asp

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목
2010 (3년차)	논문게재 영농활용	가축분뇨 시용 토양에서 식물체의 축산용 항생물질 흡수 양상 엽채류 재배시 축분 퇴비의 항생제 우려 해소를 위한 제올라이트 활용 축분퇴비 사용시 근채류와 과채류의 무항생제 안전재배 가능

7. 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'08	'09	'10
책 임 자	환경농업연구과	농업연구사	서영호	세부과제 총괄	○	○	○
공동연구자	"	"	조병욱	연구 협조	○	○	○
"	"	농업연구관	강안석	연구방향 설정	○	○	○