

## 고추작물 재배지에 처리된 축산용 항생제의 토양중 잔류와 작물체로의 흡수·이행\*

박영재\*\*\* · 태은하\*\*\*\* · 조재영\*\*

### Soil Residues and Absorption-translocation into Crops of Veterinary Antibiotics Treated in Red Pepper Crop Fields

Park, Young-Jae · Tae, Eun-Ha · Cho, Jae-Young

In a field study, we investigated the consequences associated with the irrigation of red pepper with water contaminated by three types of veterinary antibiotics (amoxicillin, oxytetracycline, and chlortetracycline) on the soil residue, the absorption-translocation, and crop yields. As a result of evaluating the residue of veterinary antibiotics in pepper cultivation soil treated with veterinary antibiotics a total of 7 times from June 7 to August 26, 2023, the three antibiotics were not detected at the background level, but in the group treated with 10-fold and 50-fold of the background level was detected at a level of 2-10 µg/kg. For the leaf (stem) and fruit of red pepper, all three types of veterinary antibiotics were found to be below the detection limit at all treatments. However, trace levels were detected in red pepper roots. If veterinary antibiotics are unintentionally introduced into agricultural soil in the short term, the soil environment and crop safety will not be a problem. However, long-term introduction of veterinary antibiotics in agricultural soil may have negative effects by affecting soil microbial diversity and antibiotic resistance problems, so continuous monitoring and risk assessment are deemed necessary.

Key words : *amoxicillin, bioconcentration factor, chlortetracycline, oxytetracycline, veterinary antibiotics*

\* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구비 지원(PJ015716032023)에 의해 수행되었습니다.

\*\* Corresponding author, 전북대학교 생물환경화학학과 교수(soilcosmos@jbnu.ac.kr)

\*\*\* 기전대학교 말산업복합센터 교수

\*\*\*\* 전북대학교 생물환경화학학과 석사과정, 장수군농업기술센터

## I. 서 론

2000년대 중반부터 집약적인 축산환경에서 가축분뇨를 통해 배출되는 축산용 항생제 그리고 농작물의 병해충 방제 목적(수도용·원예용 살균제)으로 사용되는 농업용 항생제에 대한 관심과 연구가 집중되기 시작하였다. 특히, 축산용 항생제의 환경에 미치는 부정적인 영향 등이 새롭게 밝혀짐에 따라 이들 물질이 전통적인 환경독성오염물질의 경계를 허물고 새로운 지속성 환경독성물질로 부각되고 있다(Jørgensen and Halling-Sørensen, 2000; Rooklidge, 2004; Tasho and Cho, 2016).

유럽연합을 비롯한 여러 국가에서 축산용 항생제의 사용을 금지 또는 축소하고 있음에도 불구하고 우리나라에서는 여전히 사료용, 자가치료 및 예방용으로 다량의 축산용 항생제가 사용되고 있다(Van Boeckel et al., 2015; Tasho and Cho, 2016). 축산용 항생제 판매량은 '11년 배합사료 첨가 금지로 지속적으로 감소하였지만, '13년 수의사 처방제 도입 후에 다시 증가하여 '10년 수준인 1,000톤을 회복하는 추세이다(한국동물약품협회, www.kahpa.or.kr).

소, 돼지, 닭 등 가축의 사료에 광범위하게 첨가되는 30종의 축산용 항생제 대부분이 사람에게 치명적인 항생제 내성 박테리아 감염을 일으키는 것으로 보고되고 있다. 미국 질병 통제예방센터는 연간 미국에서 2만 3천 명가량이 항생제 내성 박테리아에 감염돼 사망하는 것으로 추정하고 있다(Centers for Disease Control and Prevention, www.cdc.gov). 항생제는 인체 또는 가축에 투여된 후 오직 10~30%만 체내에 흡수되고 나머지 70~90% 분뇨로 배출되며, 퇴비화 및 액비화를 통해 환경에 재투입되고 있다. 환경 중에 노출된 축산용 항생제는 항생제 내성균주를 생성함으로써 공중보건에 심각한 영향을 끼칠 수 있다(Kumar et al., 2005; Tasho and Cho, 2016). 혐기성 가축분뇨 발효처리시설에서 95% 이상의 콜로니 형성 균주들이 제거되는 것으로 알려져 있지만, 여전히 남은 5% 이상이 항생제 내성균으로 존재하고 있으며, 세균의 70% 이상이 적어도 1개 이상의 항생제에 내성을 가지고 작용하는 것으로 알려져 있다(Van den Bogaard et al., 2002; Boothe and Arnold, 2003; Malik et al., 2003).

가축분뇨를 통해 농경지를 비롯한 생태계에 노출된 축산용 항생제는 토양권내에서 토양 효소의 활성도 저하, 토양생물 및 토양미생물 교란, 항생제 저항성 균주 유발 그리고 수권 생태계 식물상 교란 및 어류독성 그리고 식물체로의 흡수이행에 따른 작물 안전성 문제를 야기할 수 있으며, 토양에 잔류하거나 지하수에 유입되어 축산물 및 농산물의 식품오염에 영향을 끼칠 수 있다(Michelini et al., 2012; Michelini et al., 2013; Pan and Chu, 2017; Tasho and Cho, 2016).

토양중에 존재하는 축산용 항생제의 식물체로 흡수이행 경로 가운데 뿌리에 과량이 축적되는 경향이 있다(Azanu et al., 2016; Liu et al., 2018). Dudley 등(2018)과 Gomes 등(2020)의 연구결과에 따르면, 설파메톡사졸(sulfamethoxazole)을 1.0  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도로 오이에 처리한 경우와, 시프로플록사신(ciprofloxacin)을 0.2-2.0  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도로 옥수수에 처리한 경우 모두 식

물체의 뿌리에서 고농도로 분포하였다. 축산용 항생제의 식물체로의 흡수이행은 축산용 항생제의 화학적 특성이 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 즉, 축산용 항생제의 용해도, 극성 및 소수성 정도(옥탄올-물 분배 계수[Kow])에 따라 식물체로의 흡수이행이 큰 차이를 나타내는 것이다(Chen et al., 2017).

토양중에서 항생제의 행방에 가장 큰 영향을 끼치는 인자는 토양 pH, 항생제의 이온화 정도, 토양점토광물의 종류 및 유기물의 함량이다. 토양 용액에서 항생제의 이온화에 가장 큰 영향을 끼치는 것이 토양 pH이다. 항생제가 이온화되면 항생제는 토양 유기물에 흡착되거나 양전하와의 정전기적 상호 작용을 통해 점토광물의 산화물이나 수산화물과 흡착반응을 일으키게 된다(Tolls, 2001; Thiele-Bruhn and Aust, 2004; Reis et al., 2020).

가축분뇨를 이용한 부산물비료 및 농업용수를 통해 비의도적으로 농업생태계에 유입된 항생제로 인해 야기될 수 있는 항생제 내성균 그리고 작물체로의 흡수이행된 축산용 항생제를 통한 농식품 안전성 문제에 선제적으로 대응하기 위한 연구가 필요한 시기이다. 따라서 본 연구는 국내 농업생태계에서 다빈도로 검출되는 옥시테트라사이클린, 클로르테트라사이클린 및 아목시실린 등 3종의 항생제를 고추작물 재배지에 인위적으로 처리한 다음 토양중 잔류, 작물체로의 흡수이행 및 작물생산량을 조사함으로써 농작물의 안전성 평가를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

본 연구는 2023년 5월부터 8월까지 전라북도 장수군 천천면(35°42'46.26"N, 127°31'12.216"E) 소재 농가에서 수행되었다. 대상작물은 고추(Red pepper, *Capsicum annuum* L., Heungnong Seed. 불꽃스타 고추)였으며, 정식, 시비관리, 병해충 및 잡초방제는 농촌진흥청 작물재배 매뉴얼(RDA, 2017)에 기준하였다. 본 연구에 사용된 토양은 송산통(Songsan series; coarse loamy, mesic family of Typic Dystrudepts)으로 사양질계 암쇄토에 속한다(Table 1). 작물재배를 위한 시험구획은 5 m×5 m (25 m<sup>2</sup>) 크기로 난괴법 3반복으로 진행하였다.

축산용 항생제의 종류, 처리 농도 및 처리방법은 저자들의 선행연구(Park et al., 2024)와 동일하게 수행하였다. ① 자연함유량 수준(background level)은 옥시테트라사이클린(oxytetracycline, OTC) 0.05 mg/L, 아목시실린(amoxicillin, AMX) 0.1 mg/L 그리고 클로르테트라사이클린(chlorotetracycline, CTC) 0.3 mg/L, ② 자연함유량의 10배 수준은 OTC 0.5 mg/L, AMX 1.0 mg/L 그리고 CTC 3.0 mg/L, ③ 자연함유량의 50배 수준은 OTC 2.5 mg/L, AMX 5 mg/L 그리고 CTC 15 mg/L이었다. 농업용 관개용수 내 축산용 항생제의 농도가 자연함유량 수준, 자연함유량의 10배 수준, 자연함유량의 50배 수준이 되도록 대형 수조 내에서 용해시켰으며, 근권층(토양 표면으로부터 10 cm 깊이)의 토양수분 함량을 기준으로 관개시점

의 수분함량을 30%로 설정하여, 이보다 낮으면 자동으로 지표관개가 진행되도록 하였다.

고추 유묘를 장수농협 육묘장에서 구입한 다음 5월 24일에 정식 후 9월 15일에 수확하였다. 5월 24일 고추 정식 후 6월 7일에 1차 항생제 처리(DAT 1), 6월 14일에 2차 항생제 처리(DAT 7), 6월 21일에 3차 항생제 처리(DAT 14), 7월 5일에 4차 항생제 처리(DAT 28), 7월 27일에 5차 항생제 처리(DAT 50), 8월 6일에 6차 항생제 처리(DAT 60), 그리고 8월 26일에 7차 항생제 처리를 하였고(DAT 80), 9월 15일에 고추작물을 수확하였다. DAT 28과 DAT 50사이인 7월 19일경에 항생제를 처리할 계획이었으나, 강우가 지속되어 생략하였다. 항생제 잔류량 분석을 위한 토양과 고추 작물 시료는 항생제 처리일자에 항생제 처리전에 채취하였다. 분석용 고추 작물은 지상부와 지하부로 분리하여 분석에 사용하였고, 실험토양은 표토(0-10 cm)를 대상으로 채취한 다음, 암조건에서 풍건 후 2 mm 체로 체질한 후 분석에 사용하였다.

Table 1. Physical and chemical properties of the test plot soil

Item	Chemical properties	Particle size fraction (%)	
Soil organic matter (g 100g <sup>-1</sup> )	2.67	Sand	51.9
pH (1:5H <sub>2</sub> O)	5.61	Silt	37.4
Total-N (mg kg <sup>-1</sup> )	826.7	Clay	10.7
Total-P (mg kg <sup>-1</sup> )	365.4		
CEC (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	8.6		
Electrical conductivity (μS cm <sup>-1</sup> )	0.36		
Ca <sup>++</sup> (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	1.29		
Mg <sup>++</sup> (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	1.12		
K <sup>+</sup> (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	1.63		

토양특성 분석, 토양과 식물체중 항생제 분석, 회수율(Table 2), 생물농축계수 및 통계분석은 저자들의 선행연구(Park et al., 2024)에 자세히 제시되어 있다.

Table 2. Recovery ratio, method detection limit (MDL) and limit of quantification (LOQ) of selected antibiotics in soils and plants

Classification	Recovery (%)		MDL (μg L <sup>-1</sup> )		LOQ (μg L <sup>-1</sup> )	
	Soil	Red pepper	Soil	Red pepper	Soil	Red pepper
Chlortetracycline (CTC)	90.2	86.4	0.021	0.017	0.027	0.024
Oxytetracycline (OTC)	85.9	91.6	0.020	0.016	0.029	0.028
Amoxicillin (AMX)	86.8	91.2	0.016	0.016	0.026	0.027



Application	DAT	Background level			Background level x 10 fold			Background level x 50 fold		
		AMX	OTC	CTC	AMX	OTC	CTC	AMX	OTC	CTC
5th (7th, 14th, 21st, June; 5th, 27th, July)	7	-	-	-	3.33±0.88	7.16±0.88	9.02±0.81	3.52±0.74	6.05±0.74	7.62±0.86
	14	-	-	-	2.12±0.74	6.10±0.77	7.17±0.51	2.33±0.75	6.12±1.12	11.42±0.56
	28	-	-	-	2.58±0.79	6.48±0.76	7.82±0.61	2.82±0.87	7.14±0.74	7.54±0.68
	50	-	-	-	-	-	-	2.51±0.79	6.43±1.36	13.82±0.61
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7th (7th, 14th, 21th, June; 5th, 27th, July; 6th, 26th, August)	7	-	-	-	3.11±0.71	6.95±0.68	8.77±0.71	3.41±0.68	5.83±0.64	7.38±0.66
	14	-	-	-	1.92±0.69	5.82±0.65	6.94±0.66	2.10±0.71	5.91±0.65	11.21±0.72
	28	-	-	-	2.31±0.79	6.26±0.68	7.57±0.71	2.61±0.72	6.92±0.68	7.33±0.69
	50	-	-	-	10.41±0.71	6.63±0.67	9.54±0.71	19.21±0.69	6.21±0.65	13.58±0.75
	60	-	-	-	2.51±0.77	6.54±0.72	8.57±0.75	3.62±0.75	5.74±0.71	11.15±0.77
	80	-	-	-	2.71±0.76	6.32±0.71	7.48±0.73	2.42±0.71	6.07±0.67	7.52±0.69
	100	-	-	-	2.41±0.75	6.17±0.75	8.09±0.72	2.12±0.75	6.02±0.71	13.62±0.79

Note: [-], below detected level; DAT, days after transplanting

본 연구에서는 우리나라 수권 생태계에서 검출되는 자연함유량 수준의 축산용 항생제가 농경지토양에 처리된 경우 항생제는 검출되지 않았고, 자연함유량 수준의 50배 수준까지 처리한 경우에도 토양중 항생제가 극미량으로 검출되었다. 이러한 결과는 단기간에 축산용 항생제가 비의도적으로 농경지 토양에 유입될 경우 농경지 토양환경과 농작물 안전성은 우려할 만한 수준은 아니지만, 장기적이고 지속적으로 축산용 항생제가 농경지 토양에 유입될 경우에는 바람직하지 못한 영향을 끼칠 수 있으므로 모니터링과 환경영향평가가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 2. 고추작물로의 항생제 흡수이행 특성

고추재배지에 6월 7일부터 8월 26일까지 1주일 간격으로 총 3회, 총 5회 그리고 총 7회 3종의 축산용 항생제가 처리되었을 때 background level 농도, background level 농도의 10배 처리구 그리고 background level 농도의 50배 처리구에서 고추잎(줄기)과 고추과실에서 모두 검출한계 미만으로 나타났다. 반면에, 고추 뿌리에서는 자연함유량 처리수준에서는 3회, 5회, 그리고 7회 처리구 모두 검출한계미만으로 나타났으며, 자연함유량 수준의 농도 10배와 50배

처리구에서는 정식후 14일차와 28일차에서만 3종의 축산용 항생제가 미량으로 검출되었을 뿐 그 이후에는 모두 검출한계미만으로 나타났다. 축산용 항생제 종류별로는 CTC > AMX > OTC의 순서로 고추 뿌리에서 검출되었다(Table 4). Table 4에서 보는 바와 같이, 자연함유량 수준의 50배 농도 수준으로 고농도로 처리된 경우에도 고추잎(줄기)과 고추과실에서 모두 검출한계미만으로 나타났고(data not shown), 고추뿌리에서만 미량으로 검출되어 농작물의 안전성은 확보된 것으로 나타났다.

Table 4. Concentration of amoxicillin (AMX), chlortetracycline (CTC), and oxytetracycline (OTC) detected in roots of red pepper crops grown in the experimental plots

(Unit:  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

Application	DAT	Background level			Background level x 10 fold			Background level x 50 fold		
		AMX	OTC	CTC	AMX	OTC	CTC	AMX	OTC	CTC
3rd (7th, 14th, 21st, June)	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	0.63±0.15	0.96±0.14	0.82±0.04	0.81±0.12	0.96±0.12	0.85±0.07
	28	-	-	-	-	-	-	0.85±0.03	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5th (7th, 14th, 21st, June; 5th, 27th, July)	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	0.64±0.04	0.67±0.09	1.39±0.10	0.86±0.06	0.73±0.12	1.19±0.05
	28	-	-	-	1.21±0.12	-	-	0.95±0.12	1.01±0.09	1.07±0.01
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7th (7th, 14th, 21th, June; 5th, 27th, July; 6th, 26th, August)	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	0.83±0.02	0.87±0.05	1.24±0.04	0.81±0.07	0.75±0.06	0.88±0.06
	28	-	-	-	0.87±0.04	-	-	0.83±0.14	0.77±0.04	1.38±0.12
	50	-	-	-	-	-	-	0.63±0.17	-	-
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Note: [-], below detected level; DAT, days after transplanting

Hu 등(2010)과 Pan 등(2014)이 무를 대상으로 tetracycline, oxytetracycline, chlorotetracycline의 흡수이행량을 조사한 결과, 뿌리에서 보다 잎(줄기)에서 이들 항생제의 농도가 더 높게 나타났으나, Kang 등(2013)이 무를 대상으로 chlorotetracycline의 흡수이행량을 조사한 결과, 뿌리에서는 0.1-3.0 µg/kg의 수준으로 검출된 반면 잎(줄기)에서는 불검출로 나타나 연구자 별로 약간 상이한 결과를 나타내고 있다. 상추를 대상으로 한 이들 선행연구자들의 연구결과에 따르면, 잎에서는 불검출 내지 극미량 수준으로 검출되었다(Table 5).

Table 5. Available literature values for veterinary antibiotics concentrations in lettuce and radish crops

Compounds	Lettuce		References	Radish		References
	Root	Leaf		Root	Leaf/Stem	
Tetracycline				nd	1.40	Hu et al. (2010)
				<6.50	<9.20	Pan et al. (2014)
Oxytetracycline		<7.20	Boxall et al. (2006)	8.30	17.0-57.0	Hu et al. (2010)
Chlorotetracycline		nd-1.00	Kang et al. (2013)	nd	6-18	Hu et al. (2010)
				0.1-3.00	nd	Kang et al. (2013)
Sulfamethoxazole		nd	Wu et al. (2013)	0.10-0.40	0.02-0.60	Hu et al. (2010)

Note: nd, not detected, Cited in Pan and Chu (2017).

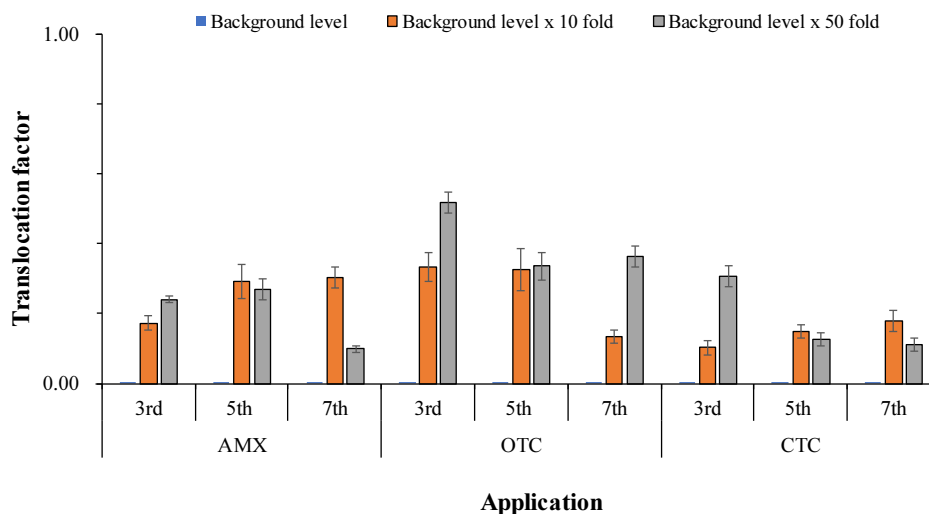


Fig. 1. Bioconcentration factor (BCF) values of red pepper crops grown in the experimental plots (mean±SD, n=3). amoxicillin: AMX; chlortetracycline: CTC; oxytetracycline: OTC. The bars represent standard error.



고추재배지 토양으로부터 고추작물까지의 흡수이행 정도인 TF (translocation factor)를 조사한 결과, 고추잎 (줄기)와 고추과실로의 TF 값이 0으로 나타났다. 위에서 언급한 바와 같이 background level의 농도 처리구에서는 TF 값이 0으로 나타났으나, background level의 10배 농도 처리구에서 TF 값은 아목시실린 0.45, 옥시테트라사이클린 0.17 클로로테트라사이클린 0.18 이하로 나타났고, background level의 50배 농도 처리구에서 TF 값은 아목시실린 0.52, 옥시테트라사이클린 0.16, 테트라사이클린 0.15 이하로 나타났다(Fig. 1). 아목시실린은 클로르테트라사이클린과 옥시테트라사이클린보다 분자량이 낮고 토양 점토광물과의 친화도가 낮아 비교적 TF 값이 높게 나타났으나, 테트라사이클린계 항생제는 토양과의 흡착력이 높아 TF 값이 낮게 나타난 것으로 나타났다.

### 3. 축산용 항생제 처리 유무에 따른 고추작물의 생산량 비교

고추의 수확량은 background level 농도 처리구에서  $346.5 \pm 29.5$  kg/10a로 나타났으며, background level 농도의 10배 처리구에서  $345.2 \pm 20.2$  kg/10a로 나타났으며, background level 농도의 50배 처리구에서  $353.7 \pm 15.6$  kg/10a로 나타났다(Fig. 2). 항생제의 종류별, 처리횟수별, 처리농도별로 유의성있는 차이가 나타나지 않았다( $P > 0.05$ ). 일반적으로 항생제의 경우 식물체의 엽록소 함량 저하를 통해 작물의 수확량에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있지만 (Tasho and Cho, 2016), 본 연구에서는 자연함유량 수준의 50배 농도 수준으로 고농도로 처

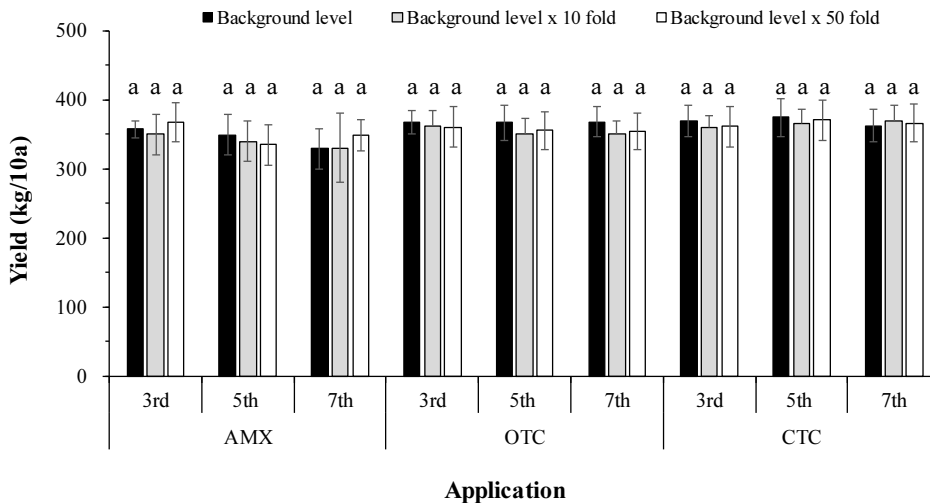


Fig. 2. Changes in yield of red pepper crops by treatment (mean $\pm$ SD, n=3). amoxicillin: AMX; chlortetracycline: CTC; oxytetracycline: OTC. The bars represent standard error. Different letters in a column (a, b) are significantly ( $p < 0.05$ ) different according to Duncan's multiple range test.

리된 경우에도 고추잎(줄기)과 고추과실에서 모두 검출한계 미만으로 나타났고, 고추뿌리에서만 미량으로 검출되어 식물체내 기관으로의 전류(translocation)가 나타나지 않아 고추의 수확량에 영향을 끼치지 않은 것으로 판단된다.

#### IV. 적 요

고추재배지에 6월 7일부터 8월 26일까지 총 7회 항생제가 처리된 토양중 항생제의 잔류량을 조사한 결과, 조사대상 3종의 항생제(아목시실린, 옥시테트라사이클린 및 클로로테트라사이클린) 모두 background level에서 검출되지 않았으나, background 농도의 10배 농도 처리구와 50배 농도 처리구에서는 2-10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  이상 수준으로 검출되었다.

자연함유량 수준의 50배 농도 수준으로 고농도로 처리된 경우에도 고추잎(줄기)과 고추과실에서 모두 검출한계 미만으로 나타났고, 고추뿌리에서만 미량으로 검출되어 농작물의 안전성이 확보된 것으로 판단되지만 다양한 환경에서 다양한 항생제를 대상으로 작물체로의 흡수이행 및 토양환경중 잔류에 대한 장기적인 환경영향평가가 필요할 것으로 판단된다. Background level의 농도 처리구에서는 TF 값이 0으로 나타났으나, background level의 10배 농도 처리구에서 TF 값은 아목시실린 0.45, 옥시테트라사이클린 0.17, 클로로테트라사이클린 0.18 이하로 나타났고, background level의 50배 농도 처리구에서 TF 값은 아목시실린 0.52, 옥시테트라사이클린 0.16, 테트라사이클린 0.15 이하로 나타났다.

단기간에 축산용 항생제가 비의도적으로 농경지 토양에 유입될 경우 농경지 토양환경과 농작물 안전성은 우려할 만한 수준은 아니지만, 장기적이고 지속적으로 축산용 항생제가 농경지 토양에 유입될 경우에는 바람직하지 못한 영향을 끼칠 수 있으므로 모니터링과 환경영향평가가 수행되어야 할 것이다.

[Submitted, February. 6, 2024; Revised, April. 28, 2024; Accepted, April. 30, 2024]

#### References

1. Azanu, D., C. Mortey, G. Darko, J. J. Weisser, B. Styrishave, and R. C. Abaidoo. 2016. Uptake of antibiotics from irrigation water by plants. *Chemosphere*. 157: 107-114.
2. Boothe, D. H. and J. W. Arnold. 2003. Resistance of bacterial isolates from poultry products to therapeutic veterinary antibiotics. *J. Food Prot.* 66: 94-102.

3. CDCP (Centers for Disease Control and Prevention). [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov).
4. Chen, H. R., T. Rairat, S. H. Loh, Y. C. Wu, T. W. Vickroy, and C. C. Chou. 2017. Assessment of veterinary drugs in plants using pharmacokinetic approaches: the absorption, distribution and elimination of tetracycline and sulfamethoxazole in ephemeral vegetables. *PLoS ONE*. 10: 12-20.
5. Dudley, S., C. Sun, J. Jiang, and J. Gan. 2018. Metabolism of sulfamethoxazole in *Arabidopsis thaliana* cells and cucumber seedlings. *Environ. Pollut.* 242: 1748-1757.
6. Gomes, M. P., D. C. Rocha, J. C. M. Brito, D. S. Tavares, R. Z. Marques, P. Soffiatti, B. F. Sant'Anna Santos. 2020. Emerging contaminants in water used for maize irrigation: economic and food safety losses associated with ciprofloxacin and glyphosate. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 196: 110549-110559.
7. Gu, C. and K. G. Karthikeyan. 2005. Interaction of tetracycline with aluminum and iron hydrous oxides. *Environ. Sci. Technol.* 39: 2660-2667.
8. Hamscher, G., S. Sczesny, H. Höper, and H. Nau. 2002. Determination of persistent tetracycline residues in soil fertilized with liquid manure by high-performance liquid chromatography with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Anal. Chem.* 74: 1509-1518.
9. Hu, X. G., Q. X. Zhou, and Y. Luo. 2010. Occurrence and source analysis of typical veterinary antibiotics in manure, soil, vegetables and groundwater from organic vegetable bases, northern China. *Environ. Pollut.* 158: 2992-2998.
10. Jørgensen, S. E. and B. Halling-Sørensen. 2000. Drugs in the Environment. *Chemosphere* 40: 691-699.
11. Kang, D. H., S., Gupta, C. Rosen, V. Fritz, A. Singh, and Y. Chander. 2013. Antibiotic uptake by vegetable crops from manure-applied soils. *J. Agric. Food Chem.* 61: 9992-10001.
12. Korea Animal Health Products Association. [www.kahpa.or.kr](http://www.kahpa.or.kr).
13. Kumar, K., C. Satish, Y. C. Gupta, and A. K. Singh, 2005. Antibiotic use in agriculture and its impact on the terrestrial environment. *Adv. Agron.* 87: 1-54.
14. Kümmerer, K. 2009. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use — present knowledge and future challenges. *J. Environ. Manage.* 90: 2354-2366.
15. Kyselková, M., J. Jirout, N. Vrchotová, H. Schmitt, and D. Elhottová. 2015. Spread of tetracycline resistance genes at a conventional dairy farm. *Front. Microbiol.* 6: 536-550.
16. Liu, X., Y. Lv, K. Xu, X. Xiao, B. Xi, and S. Lu. 2018. Response of ginger growth to a tetracycline-contaminated environment and residues of antibiotic and antibiotic resistance genes. *Chemosphere* 201: 137-143.

17. Malik, Y. S., K. Olsen, K. Kumar, and S. M. Goyal. 2003. In vitro antibiotic resistance profiles of *Ornitho bacterium rhinotracheale* strains isolated from Minnesota turkeys during 1996- 2002. *Avian Dis.* 47: 588-593.
18. Michelini, L., F. Meggio, L. N. Rocca, S. Ferro, and R. Ghisi. 2012. Accumulation and effects of sulfamethoxine in *Salix fragills* L. plants: a preliminary study to phytoremediation purposes. *Int. J. Phytorem.* 14: 388-402.
19. Michelini, L., L. N. Rocca, N. Rascio, and R. Ghisi. 2013. Structural and functional alternations induced by two sulfonamide antibiotics on barley plants. *Plant Physiol. Biochem.* 67: 55-62.
20. Pan, M. and L. M. Chu. 2017. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Sci. Total Environ.* 599: 500-512.
21. Pan, M., C. K. Wong, and L. M. Chu, 2014. Distribution of antibiotics in wastewater-irrigated soils and their accumulation in vegetable crops in the Pearl River Delta, southern China. *J. Agric. Food Chem.* 62: 11062-11069.
22. Park, Y. J., H. S. Jeon, and J. Y. Cho. 2024. Soil residues and absorption-translocation into red lettuce and young radish crops of veterinary antibiotics according to agricultural water irrigation method. *Korean J. Organic Agri. In press.*
23. Rabølle, M. and N. H. Spliid. 2000. Sorption and mobility of metronidazole, olaquinox, oxytetracycline and tylosin in soil. *Chemosphere* 40: 715-722.
24. RDA (Rural Development Administration). 2017. Fertilization standard of crop plants. Jeonju, South Korea.
25. Reis, A. C., B. A. Kolvenbach, O. C. Nunes, and P. F. X. Corvini. 2020. Biodegradation of antibiotics. *New Biotechnol.* 54: 34-51.
26. Rooklidge, S. J. 2004. Environmental antimicrobial contamination from terraccumulation and diffuse pollution pathways. *Sci. Total Environ.* 325: 1-13.
27. Tasho, R. P. and J. Y. Cho. 2016. Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants. *Sci. Total Environ.* 563: 366-376.
28. Thiele-Bruhn, S. and M. O. Aust. 2004. Effects of pig slurry on the sorption of Sulfonamide antibiotics in soil. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47: 31-40.
29. Tolls, J. 2001. Sorption of veterinary pharmaceuticals in soils. *Environ. Sci. Technol.* 35: 3397-3406.
30. Toth, J. D., Y. Feng, and Z. Dou. 2011. Veterinary antibiotics at environmentally relevant concentrations inhibit soil iron reduction and nitrification. *Soil Biol. Biochem.* 43: 2470-2472.

31. Van Boeckel, T. P., C. Brower, M. Gilbert, B. T. Grenfell, S. A. Levin, T. P. Robinson, A. Teillant, and R. Laxminarayan. 2015. Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112: 5649-5654.
32. Van den Bogaard, A. E., R. Willems, N. London, J. Top, and E. Stobberingh. 2002. Antibiotic resistance of faecal enterococci in poultry, poultry farmers, and poultry slaughterers. *J. Antimicrob. Chemother.* 49: 497-505.