

살충제 DDT 검출 가금농장의 주변지역과 토양 깊이별 DDT 분포 양상

박정현, 김수정, 김민정, 심지성, 박병준*

Distribution of DDT Residues by Surrounding Area and Soil Depth at Contaminated Poultry Farms

Jeong-Hwon Park , Su-Jung Kim , Min-Jung Kim , Ji-Sung Sim  and Byung-Jun Park 

(주)리써치팜

Analytical Lab., Research Farm Ltd, Jeonju, 55075, Korea

* Correspondence: bjpark143@gmail.com

Abstract: This study investigated DDT residues in chicken farm and its surrounding farmland, where DDTs were previously detected in eggs and chickens in Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do in 2017. The study focused on the absorption and translocation of DDTs into crops, as well as their vertical mobility in soil and groundwater. Extraction and purification of DDTs from plant and soil samples were carried out using of slight modified QuEChERS method. DDTs were detected in soil at the following concentration: 0.48-1.99 mg/kg at the depth of 0-10 cm, 0.08-4.89 mg/kg at 10-50 cm, 0.01-1.35 mg/kg at 50-100 cm, and 0.02 mg/kg or less in 100-140 cm within the chicken farm area. No residues were detected below a depth of 140 cm. Notably the highest concentration (4.89 mg/kg) was found at a depth of 30-40 cm. The concentration of DDTs generally decreased with increasing soil depth, and no residues were detected below 140 cm. In addition, trace amounts of DDTs (0.01-0.1 mg/kg) were intermittently detected in nearby farmland soil up to 3 km away, but no residues were detected in any crop samples. These findings confirm that pesticide DDT, which used over 40 years ago, still persists in soil but not in surrounding plants. The results suggest that further research is needed to assess exposure levels through continued monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in agricultural environments.

Keywords: Agricultural environments, Chicken farmland, DDT residues, Persistent organic pollutant (POPs), QuEchERS method

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.27>

Agric. Environ. Sci. 2025, 44, 247-258

Received: May 20, 2025

Revised: August 11, 2025

Accepted: August 18, 2025

Published: August 29, 2025

Online ISSN: 1233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2025



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane)는 1874년(자이들러, 오스트리아) 독일에서 처음 합성되었으며, 1939년(뮐러, 스위스)에 살충력이 발견되어 농업에서 사용된 대표적인 유기염소계 살충제로 사용되었으나 현재는 스톡홀름 협약(Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants)에서 “Dirty Dozen”으로 설정되어 관

리하는 유기성 오염물질이다. 영국작물생산협회(British Crop Production Council, BCPC)는 이들의 반감기를 4~30년으로 제시하였고, 미국 농약 정보센터에서는 토양반감기를 2~15년으로 90%가 감소하는데 50년 이상이 필요하다고 보고하고 있다[1,2]. 국내에서는 1945년 이후 보진용(이, 벼룩 방제)으로 도입되었고, 1958년부터 농약으로 정식 허가되어 농업에 사용되었다. 내분비계 교란물질로 밝혀지면서 1971년에 환경과 건강에 미치는 영향 등 인축(人畜) 및 토양 잔류성 문제로 농약으로의 허가가 국내에서 취소되었고, 1973년에는 보진용으로의 사용이 전면 금지되었다[9]. DDT와 DDE는 척추동물의 지방에 쉽게 저장되며 1960년을 전후로 생물농축(biological concentration)에 대한 위험성이 거론되면서 유기염소계 농약의 사용규제로 이어졌다. DDT는 토양 중에서 반감기가 2~15년이며 90%가 감소하는데 50년 소요(미국 농약정보센터, DDT와 DDT류 성적 혼재)된다고 제시되어 있으며 이성체로 p,p'-DDT(주성분)와 o,p'-DDT(≤30%)가 함께 생산된다. 그 대사산물은 각각의 이성체에서 DDD와 DDE가 생성된다. DDD는 환원조건 토양에서 미생물분해에 의해 생성되며 DDE는 토양 미생물, 광, 동물체에 의해 생성된다. 환경조건에 따라 분해속도가 달라지며 잔류농도는 최고 4만 배까지 차이날 수 있다. 물에 거의 녹지 않고 토양에 강하게 흡착되는 특성에 의해 토양표면에 오랜 기간 잔류한다[2,5,8,16].

우리나라 농림통계연보에 따르면 DDT는 1949년부터 1971년까지 954.3 t이 사용되어 전체 농경지(227.1만 ha)에 골고루 뿌려진 것을 가정하면 23년간 농경지 1헥타르(ha) 당 0.42 kg이 살포되어, 토양 중 0.42 mg/kg의 수준으로 토양에 살포된 것과 같다. DDT는 반감기가 매우 길기 때문에, 이 물질의 사용이 금지된 후 현재까지도 토양 등 농업환경에 잔류할 개연성이 있다[2,3,8,9].

기존 연구에 의하면 DDT는 토양 중 이동성이 낮으나 반감기가 길기 때문에 장기간에 걸쳐 심토로 수직 이동성의 특징을 나타내 국외의 일부 국가에서는 DDT의 작물 흡수·이행성 연구가 다소 진행된 바 있으나, 국내에서는 이에 대한 연구는 전무한 실정이다[10-13]. 따라서 DDT와 같은 잔류성이 긴 농약은 오염지의 정밀조사 및 인근 농경지 오염도를 확인하는 등 지하수 및 환경(토양 및 작물)에 대한 수직·수평 이동 구명 연구가 요구되고 있고, 이 물질의 저감화 및 토양 복원 대책 수립의 기초자료 마련이 필요하다.

스톡홀름 협약 이후로 의도적인 생산에 대한 제한이 시작되었고, DDT류를 포함하는 POPs 물질에 대한 모니터링 연구가 지속적으로 진행되고 있으며 재배환경, 작물, 동물 등에 대한 활발한 연구가 진행 중에 있으며, 국내에서는 농축산물의 기준만을 적용하고 있으나 외국의 경우 농경지와 가축방목지 등의 관리기준을 정하여 관리하고 있다[6,7]. DDT를 체중 kg당 0.5 mg씩 매일 21개월(1.75년) 동안 섭취한 17인에 대한 영향연구에서 영향이 나타나지 않았고, 가축이나 가금의 경우 방목할 경우 토양 접촉 빈도가 높아 먹이섭취 과정 등을 통해 체내에 축적될 확률이 있다[14-16]. 또한 외국의 다양한 나라에서 시험한 고오염도 토양 조건상 작물 이행성 시험을 통하여 밀, 콩, 당근 유채 등의 작물에 대한 이행 가능성이 있으며(Table 1), 국내 토양과 재배 환경에서의 시험이 필요하다.

Table 1. Residues of DDT absorption and transport from soil to crops

Country	Crops	Crop residue (mg/kg)	Soil Residue (mg/kg)	Year of publication
New Zealand	Wheat seedlings	0.30	10.0	1995
	bean sprouts	0.034	5.0	1995
	Corn sprouts	0.039	5.0	1995
	Alfalfa sprouts	0.070	5.0	1995
	Bean leaves	2.60	20	1995
Canada	Carrot	0.0265	10.2	1971
		0.0374	4.7	1971

스톡홀름 협약의 비회원국과 말라리아 방제 등 보진용으로 DDT 사용이 필요한 국가에서는 DDT에 대한 연구가 일부 진행되고 있으나, 국내에서는 사용이 오래전에 금지됨으로 인해 최근에 DDT 오염사례가 보고된 바 없어 연구논문은 거의 발표되지 않고 있다. 스톡홀름 협약에 따라 국내에서는 DDT를 “잔류성오염물질 관리법”에 따라 관리해오고 있으며, 2008년 이후 지속되고 있는 토양 모니터링 결과 농경지 중에서는 검출되지 않아 연구의 필요성이 제기되지 않았으나, 최근 DDT류가 오염된 토양에 방사·사육한 양계농가의 계란과 닭(*Gallus gallus domesticus*)에서 DDT 성분이 검출됨에 따라 연구의 필요성이 지적되고 있다.

현재 우리나라에는 일부 농산물 및 축산물에 대하여 DDT의 최대잔류허용량(maximum residue limit, MRL)이 설정되어 있으나, 농경지 토양 등 환경 전반에 대한 기준은 마련되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 2017년 경북 경산시 하양읍에서 방사·사육하는 양계농가의 계란과 닭에서 DDT 성분이 검출된 지역의 닭 방사장과 주변 농경지를 대상으로 DDT류의 잔류량을 조사하였다. 또한 작물에 대한 흡수·이행성과 토양환경 중 수직 이동성 구명 및 지하수에 대해 잔류량을 파악하였으며 오염지의 정밀조사와 주변 농경지의 토양 및 작물에 대한 잔류량 조사를 수행하였다.

결과 및 고찰

잔류성 DDT류의 농경지 토양 및 작물 중 잔류분석법 확립

본 연구에서는 식품의약품안전처에서 고시하고 있는 DDT의 MRL의 잔류분 정의에 준하여 모화합물인 o,p'-DDT, p,p'-DDT와 그 대사산물인 p,p'-DDE, p,p'-DDD를 포함하여 총 4종을 분석하고 그 합을 총량으로 하였다. 토양 중 DDT의 추출 및 정제 방법은 QuEChERS(Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe)법을 다소 변형한 방법에 따라 수행하였다[6,7]. 채취한 토양은 50 g을 삼각플라스크에 칭량하고, magnesium sulfate 20 g, sodium chloride 5 g 및 sodium citrate 5 g을 첨가한 다음 acetone 150 mL (100 mL+50 mL)로 2시간 동안 2회 진탕 추출하였다. Acetone 추출액을 40°C에서 rotary evaporator (IKA RV 10 Digital, Staufen, Germany)를 이용하여 감압 농축한 다음 acetonitrile 4 mL로 재용해하고, 이 중 1.5 mL를 취하여 QuEChERS dSPE tube에 넣고 5분간 진탕하였다. 이를 3,000 rpm 속도에서 10분간 원심분리(Combi 514R, Hanil, Incheon, Korea)한 다음 상등액을 0.22 µm syringe filter로 여과하고 gas chromatography(GC, Agilent Technologies, Santa Clara, USA) - micro ECD (µECD)를 이용하여 Table 2의 기기조건에서 분석하였다(Fig. 1).

채취한 작물은 10 g을 삼각플라스크에 칭량하고, activate carbon 1 g, sodium chloride 1 g 및 sodium citrate 1 g을 첨가한 다음 acetone 150 mL (100 mL+50 mL)로 2시간 동안 2회 진탕 추출하였다. 이하 방법은 토양 분석법과 동일한 방법으로 분석하였다. 채취한 지하수는 1 L를 분별깔때기에 옮기고, dichlormethane 100 mL과 50 mL로 2회 추출하고 2회분을 합하여 감압 농축한 다음 acetonitrile 4 mL로 재용해하고, 0.22 µm syringe filter로 여과하고 기기분석은 토양 및 작물 분석법과 같은 방법으로 분석하였다. 시험대상 성분 4종의 혼합표준용액을 0.01~10.00 mg/kg 수준으로 조제하여 GC(µECD)로 분석한 후 검량선 작성한 결과 시험 물질의 머무름 시간은 p,p'-DDE, p,p'-DDD, o,p'-DDT, p,p'-DDT 순으로 각각 31.075, 32.190, 32.294, 33.336분이었으며 Table 3과 같이 4종의 검량선 모두 결정계수가 0.9 이상으로 양호하였다.

회수율 시험

토양, 작물 및 물에 조사대상 DDT류 혼합용액을 각각 0.02와 0.04, 0.01과 0.02 mg/kg 및 0.02과 0.04 mg/L 수준으로 처리하고, Fig. 3의 전처리 과정을 통해 추출 및 정제하고, Table 2의 기기조건에서 GC-µECD로 분석한 다음 검량선에 대입하여 산출한

Table 2. Gas chromatography conditions for pesticide residue analysis

Injection volume	1 µL			
Injection mode	Splitless			
Inlet temperature	250°C			
Detector temperature	300°C			
Oven temperature	Stage	Rate (°C/min)	Temperature (°C)	Hold time (min)
	Initial		80	5
	1	5	150	2
	2	10	240	3
	3	20	260	2
Column	DB-5 (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm)			
Flow (mL min ⁻¹)	1.5			

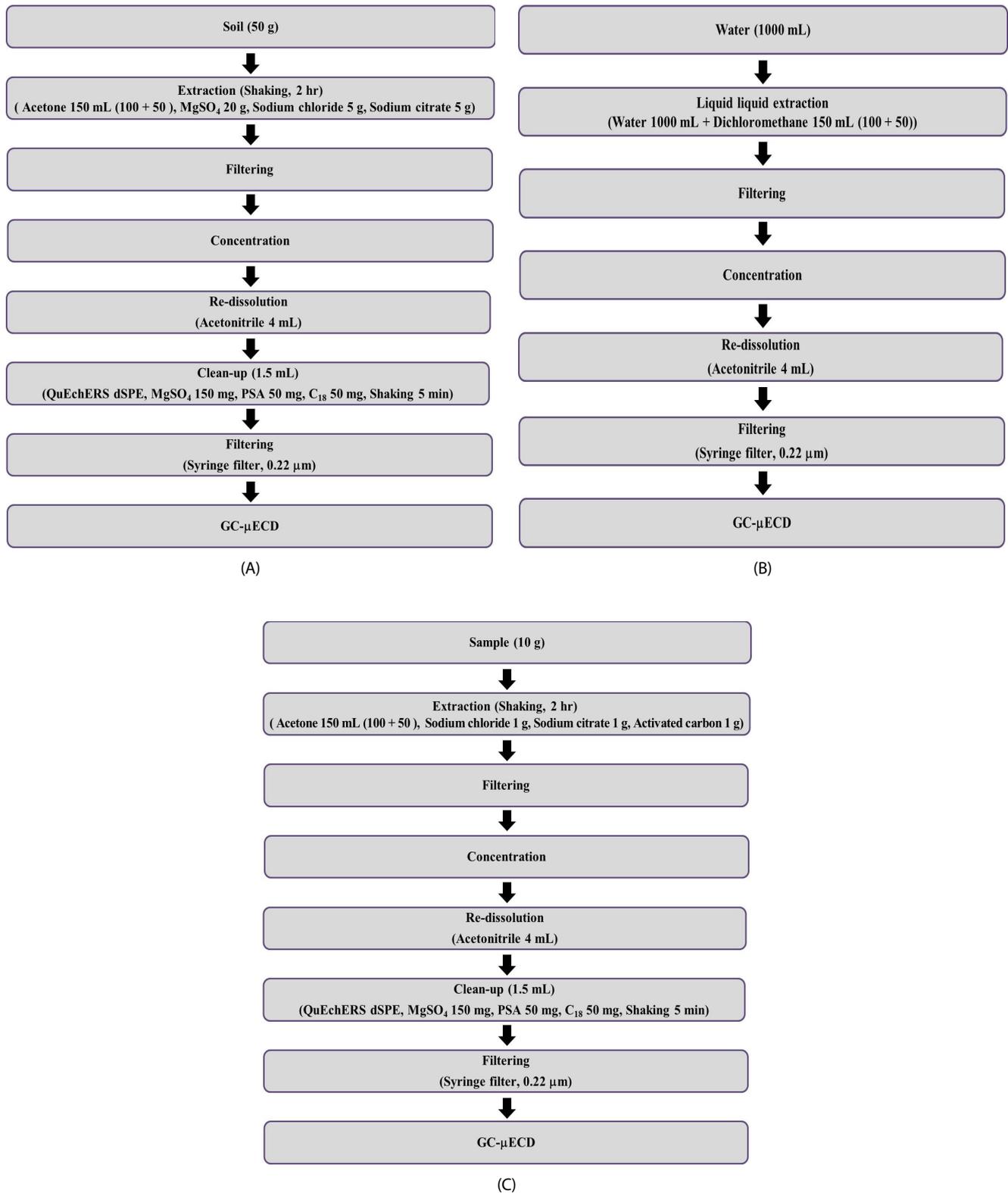


Fig. 1. Methods for extracting, purifying and analyzing soil (A), water (B) and plant samples (C).

농도와 첨가농도의 비로부터 회수율 산출하였다. 토양에 있어서의 회수율은 DDT류 6종 모두 74.4~102.3%, 상대표준편차(RSD) 1.4~3.5%로 농촌진흥청에서 권장하는 회수율 70~120%, RSD 10% 이내의 조건을 충족하는 결과를 나타냈고, 정량한계(limit of Quantitation, LOQ) 0.2~0.8 μg/kg 범위였다.

Table 3. Linearity and calibration curve for Gas chromatography analysis of DDTs

Pesticides	Regression equation	Correlation coefficients (R ²)
p,p'-DDE	y = 4532.5x - 601.51	0.9920
p,p'-DDD	y = 2540.1x - 614.77	0.9821
o,p'-DDT	y = 3577.9x - 352.87	0.9942
p,p'-DDT	y = 3485.3x - 680.23	0.9878

Table 4. Recovery of DDTs in soil, water and plant

Pesticides	Recovery (%)		LOQ (µg/kg)	RSD (%)			
	0.02 mg/kg	0.04 mg/kg		0.02 mg/kg	0.04 mg/kg		
Soil	o,p'-DDD	101.3±3.6	102.3±1.8	0.4	3.5	2.0	
	o,p'-DDT	98.0±1.5	103.2±1.1	0.6	1.7	1.1	
	o,p'-DDE	87.4±1.2	86.3±1.4	0.6	1.4	1.6	
	p,p'-DDE	89.7±0.8	87.8±1.2	0.6	1.2	1.6	
	p,p'-DDD	84.7±1.5	84.3±1.2	0.8	1.7	1.4	
	p,p'-DDT	80.7±2.0	74.4±1.1	0.6	2.2	1.4	
Water	o,p'-DDD	77.8±2.8	82.6±2.2	0.02	3.6	2.7	
	o,p'-DDT	77.3±1.7	77.8±2.8	0.03	2.2	3.6	
	o,p'-DDE	88.5±3.2	85.0±2.6	0.03	3.6	3.1	
	p,p'-DDE	76.5±1.4	83.2±2.2	0.03	1.8	2.6	
	p,p'-DDD	88.9±1.9	89.5±1.5	0.04	2.2	1.7	
	p,p'-DDT	88.7±2.6	88.2±2.8	0.03	2.9	3.2	
Plant	Grape	o,p'-DDT	86.4±1.6	76.4±2.2	3	1.9	2.9
	Apple		84.3±1.8	74.7±1.6		2.1	2.1
	Peach	p,p'-DDT	80.4±3.4	78.2±2.4	3	4.2	3.1
	Pear		86.2±2.4	80.8±3.2		2.8	4.0
	Peach	p,p'-DDD	78.4±1.6	83.2±3.0	4	2.0	3.6
	Grape	p,p'-DDE	83.4±2.4	78.8±2.4	3	2.9	3.0
	Peach		83.4±2.0	76.5±2.3		2.4	3.0
	Pear		86.4±1.4	92.4±2.2		1.6	2.4

물에 있어서의 DDT류의 회수율은 76.5~89.5%, 상대표준편차(RSD) 1.7~3.6%로 농촌진흥청에서 권장하는 회수율 70~120%, RSD 10% 이내의 조건을 충족하는 결과를 나타냈고, 정량한계(limit of Quantitation, LOQ) 0.01~0.04 µg/L 범위이었다. 작물에 있어서의 DDT류 회수율은 포도, 사과, 배를 대상으로 회수율 시험을 수행하였다. 회수율은 74.7~92.4%, 상대표준편차(RSD) 1.6~4.2%로 농촌진흥청에서 권장하는 회수율 70~120%, RSD 10% 이내의 조건을 충족하는 결과를 나타냈고, 정량한계(limit of Quantitation, LOQ) 2.0~8.0 µg/kg 범위이었다(Table 4).

오염지도의 작성

방사시설의 정밀조사를 이용하여 오염지도를 작성하였다. 오염지도는 3D 그래픽 프로그램인 Surfer (Creat an Immersive 3D, Golden Software, USA)를 이용하여 깊이별로 위에서 본 평면도 및 내부 경작지와 사육시설, 사과 묘목지를 A로 대추 재배지를 B로 직선으로 잘라서 본 단면도로 구성하여 채취 지점 및 주변의 오염도를 한눈에 알아볼 수 있는 오염지도로 작성하였다 (Fig. 2).



Terrain of DDT-contaminated chicken farm

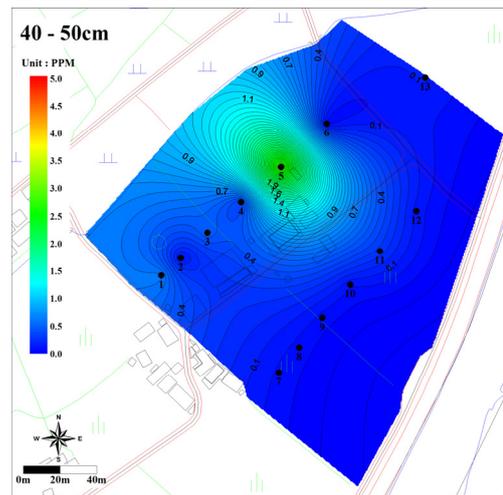
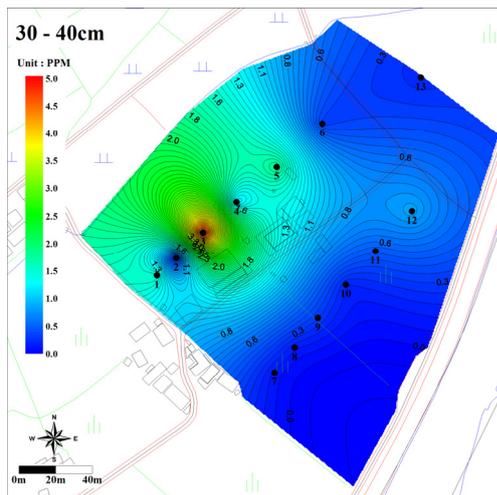
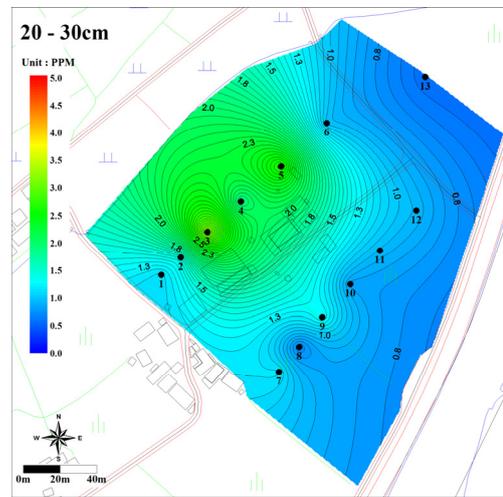
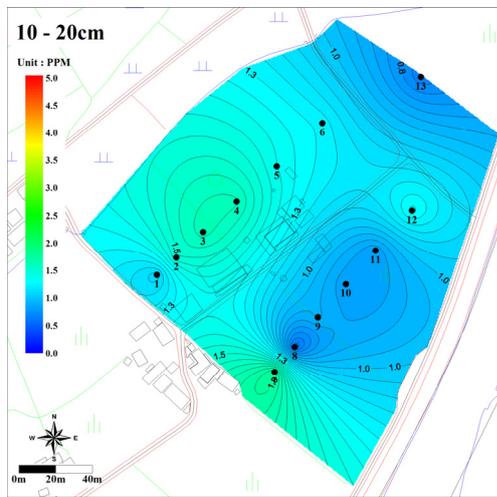
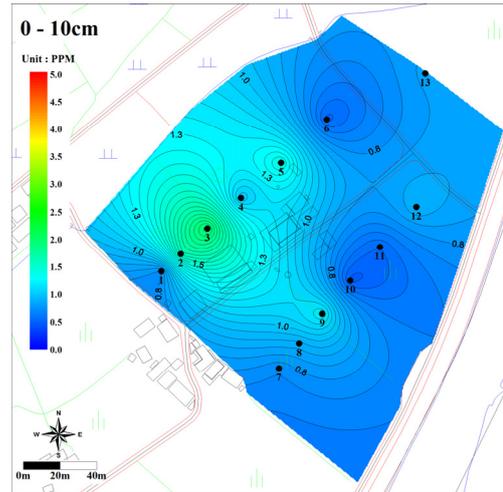


Fig. 2. Planar view of DDT residue by soil depth using SURFER (planar view).

방사장 내 토양 깊이별 DDT류 잔류량 조사

방사장 내 토양 깊이별 DDT류 잔류량 조사 결과는 Table 5와 같았으며 표토에서는 농가 텃밭 3번에서 1.99 mg/kg으로 가장 높은 수준으로 검출되었고, 최대 잔류량 또한 3번 시료 중 30-40 cm 깊이에서 채취한 시료에서 최대 4.89 mg/kg 수준으로

Table 5. DDT residues by soil depth in contaminated poultry farmland(mg/kg)

Depth (cm)	Sampling site												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0-10	0.74 ±003	1.62 ±009	1.99 ±009	1.00 ±004	1.42 ±006	0.53 ±006	0.71 ±006	0.88 ±003	1.20 ±005	0.48 ±004	0.55 ±003	0.90 ±006	0.82 ±005
10-20	1.07 ±005	1.49 ±006	1.62 ±007	1.61 ±007	1.35 ±006	1.23 ±007	1.80 ±004	0.61 ±006	0.91 ±005	0.81 ±006	0.80 ±005	1.32 ±006	0.66 ±003
20-30	1.13 ±006	1.45 ±007	3.14 ±015	1.91 ±009	2.70 ±015	0.98 ±006	1.16 ±006	0.69 ±003	1.31 ±011	0.83 ±009	0.94 ±012	0.94 ±009	0.56 ±005
30-40	1.55 ±010	0.12 ±003	4.89 ±016	1.19 ±006	1.83 ±015	0.33 ±006	0.13 ±003	0.16 ±003	0.31 ±005	0.20 ±003	0.46 ±006	0.84 ±006	0.22 ±003
40-50	0.62 ±005	0.12 ±003	0.50 ±004	0.34 ±003	2.86 ±012	0.08 ±001	0.09 ±001	0.08 ±001	0.08 ±001	0.11 ±002	0.28 ±002	0.13 ±003	0.16 ±003
50-60	ND*	ND	0.21 ±002	0.47 ±003	1.35 ±009	ND	ND	ND	0.11 ±003	0.08 ±000	0.08 ±000	0.34 ±002	ND
60-70	ND	ND	0.06 ±000	0.13 ±001	0.10 ±002	ND	ND	ND	0.04 ±000	0.11 ±000	0.12 ±000	0.49 ±003	ND
70-80	ND	ND	0.06 ±003	0.13 ±003	0.07 ±003	ND	ND	ND	0.06 ±003	0.01 ±003	0.04 ±003	0.07 ±003	ND
80-90	ND	ND	0.02 ±000	0.07 ±000	0.04 ±000	ND	ND	ND	0.04 ±000	0.02 ±000	0.01 ±000	0.01 ±000	ND
90-100	ND	ND	0.02 ±000	0.07 ±000	0.05 ±000	ND	ND	ND	0.01 ±000	>	0.01 ±000	0.03 ±000	ND
100-110	ND	ND	0.02 ±000	ND	0.02 ±000	ND	ND	ND	ND	0.01 ±000	0.01 ±000	0.03 ±000	ND
110-120	ND	ND	0.01 ±000	ND	0.01 ±000	ND	ND	ND	ND	ND	0.01 ±000	0.02 ±000	ND
120-130	ND	ND	0.01 ±000	ND	0.02 ±000	ND	ND	ND	ND	ND	0.01 ±000	0.01 ±000	ND
130-140	ND	ND	0.01 ±000	ND	0.01 ±000	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01 ±000	ND
140-150	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01 ±000	ND

* ND: Below the quantitative limit (0.0008 mg/kg) of the analytical method

검출되었다. 대부분의 지점에서 표토보다 20~50 cm에 있는 토양에서 더 높은 수준의 검출량이 나타나며 특히 30~40 cm 지점에서 높게 나타났고, 50~60 cm를 기점으로 급격히 줄어들었다. 이는 표토가 외부에 노출되어 있어 유실과 객토의 가능성이 있어 DDT의 양이 줄어든 것으로 판단된다. 또한 3번과 5번 12번 지점에서는 100 cm 깊이에서도 DDT 미량이 검출되었으나 150 cm에서 대부분 검출한계 이하로 나타나 150 cm 이상 이동하지 않은 것으로 나타났다. DDT류가 대부분 검출된 토양깊이는 50cm 이하로 작물경작층 깊이였으며, DDT류는 물에 거의 녹지 않고 토양에 강하게 흡착되어 심토로 용탈이 어려운 이화학적 특성을 갖고 있기 때문인 것으로 사료되나 분해·소실에 대한 추가적인 심층연구가 필요하다.

방사장으로부터 거리별 DDT류 잔류량

오염지역으로부터 500 m에서 3000 m까지 시료를 채취한 결과는 경산은 Table 6과 같이 동, 서, 남쪽 방향의 시료 채취 지점에서 DDT가 검출되었고 북쪽 방향의 시료 채취 지점에서는 검출되지 않았다. 닭방사장에서 동쪽 방향 1500 m 지점, 서쪽 방향으로 3000 m, 남쪽 방향으로 1000 m 지점까지 검출되었으며 주로 경작지 토양에서 검출되었으며 방사장에서 거리에 상관없이 불균일하게 DDT류가 검출되었다. 특히 남쪽 방향으로 500 m 떨어진 시료 채취 지점에서 0.10 mg/kg으로 가장 높은 잔류량이 검출되었으나 재배작물에서는 검출되지 않았다.

Table 6. DDT residues in soil at varying distances from chicken farms

Direction	Distance (m)	Residues of DDTs (Average±SD) (mg/kg)
East	500	0.07±0.01
	1000	0.06±0.02
	1500	0.08±0.01
	3000	<0.0004
West	500	<0.0004
	1000	0.02±0.00
	1500	0.06±0.01
	3000	0.05±0.01
South	500	0.10±0.02
	1000	0.01±0.00
	1500	<0.0004
	3000	0.05±0.00
North	500	<0.0004
	1000	<0.0004
	1500	<0.0004
	3000	<0.0004

Table 7. DDT residues in surrounding soil and cultivated crops

Residual amount (mg/kg) in Soil	Cultivated crops	
	Crops	Residual amount (mg/kg)
0.85±0.02	Garlic plant	<0.003
0.62±0.01	Welsh onion	<0.003
1.43±0.01	Kimchi cabbage	<0.003
1.84±0.03	Spinach	<0.003
1.36±0.02	Jujube	<0.003
0.08±0.00	Apple	<0.003
0.02±0.00	Radish plant	<0.003
0.06±0.00	Rice plant	<0.003
0.10±0.01	Soybean leaves	<0.003
0.01±0.00	Sweet potato plant	<0.003
0.05±0.01	Chili pepper leaves	<0.003

검출지역 주변 토양, 지하수 및 작물체 중 DDT 잔류량 조사

오염지역과 시료 채취 시 추가로 채취한 재배 작물 중 DDT를 분석해 본 결과, Table 7과 같이 모두 분석법의 정량한계 미만으로 불검출되었다. 특히 토양에서 1.0 mg/kg 이상 검출된 경산의 오염지 토양에서 재배한 또한 닭 사육 방사장 인근 반경 농경지 토양 3 km까지는 0.01~0.1 mg/kg 수준으로 간헐적으로 검출되었으나 방사장 내 관정 지하수에서는 DDT류가 검출되지 않았다. 또한 마늘(*Allium sativum*), 양파(*Allium cepa*), 배추(*Brassica rapa*), 시금치(*Spinacia oleracea*), 대추(*Ziziphus jujuba*), 사과(*Malus pumila*), 무(*Raphanus sativus*), 벼(*Oryza sativa*), 콩잎(*Glycine max*), 토마토(*Solanum lycopersicum*), 고추 등 농작물은 모두 DDT류가 불검출되어 안전한 것으로 확인되었다. 이는 DDT 오염 토양에서 작물 흡수·이행률이 매우 낮은 것으로 보이며 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 40년 동안 살충제로 사용된 적이 없는 DDT 성분이 2017년 경북 경산시 닭을 사육하는 양계농가의 계란과 닭에서 검출되어 원인을 밝히기 위해 수행되었다. DDT 성분은 국내에서 1945년 이후 보건용(이, 벼룩 방제)으로 도입되어 1958년부터 농약으로 정식 허가되어 농업에 사용되었으며, 내분비계 교란물질로 밝혀지면서 1971년에 환경과 건강에 미치는 영향 등 인축(人畜) 및 토양 잔류성 문제로 농약으로의 허가가 취소되었으며 1973년에는 보건용으로 사용이 전면 금지되었다.

DDT류 오염 농가 및 인근 농경지 잔류량 조사에서 방사장 내 토양 0~10 cm에서는 0.48~1.99 mg/kg, 10~50 cm에서는 0.08~4.89 mg/kg, 50~100 cm에서 0.01~1.35 mg/kg, 100~140 cm에서는 0.02 mg/kg 이하로 검출되었으며 140 cm 이하에서는 불검출되었다. 특히 30~40 cm 깊이에서 DDT류가 최대 4.89 mg/kg으로 검출되었고, 깊이 별로 점차적으로 검출량이 감소하여 140 cm 이상 깊이에서는 불검출되었다.

또한 닭 사육 방사장 인근 반경 농경지 토양 3 km까지는 0.01~0.1 mg/kg 수준으로 간헐적으로 검출되었으나, 배추, 포도 (*Vitis*), 토마토, 벼, 사과, 무, 대파, 콩, 대추, 고구마(*Ipomoea batatas*) 등 농작물은 모두 DDT류가 불검출되어 안전한 것으로 확인되었고, 방사장에서 가까운 필지 토양에서만 DDT가 오염된 것으로 확인되었다. 외국의 DDT류에 대한 관리 기준은 캐나다의 경우 농경지 토양의 기준은 0.7 mg/kg 설정되어 있으며, 호주에서는 가금류 사육 기준 0.06 mg/kg으로 설정되어 관리되고 있다. 국내에선 곡류, 수삼, 허브류, 당근에서 각각 0.01mg/kg, 가금류 고기 0.3 mg/kg, 알 0.1 mg/kg, 포유류 고기 5.0 mg/kg으로 최대잔류허용기준(MRL)이 설정되어 있으나 토양에서는 관리 기준이 설정되어 있지 않다.

국내 농경지 중 잔류농약 국가 모니터링과 유해물질 안전관리방안 노력은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 1995년부터 1998년까지 토양정점조사 시 4년 1주기로 하여 논 토양, 시설재배지 토양, 밭 토양, 과수원 토양에 대하여 50~90 농약 성분에 대한 잔류농약분석을 실시하였다. 본격적으로 농경지 중 잔류농약 조사는 환경농업육성법 제11조에 따라 전국 주요 논 토양(1999, 2003년), 시설재배지 토양(2000, 2004년), 밭 토양(2001, 2005년), 과수원 토양(2002, 2006년)을 조사하였다. 이어서 농업환경 중 내분비계 추정물질 오염 실태 조사(2008~2011년), 농산물 재배환경 중 농약 잔류량 조사(2013~2014년), 전국 수계 중 농약잔류 조사(2012~2014년) 및 잔류성 유기염소계 농약의 모니터링 사업(2015~2017년)을 수행하였다. 농촌진흥청에서는 친환경농업육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 11조에 근거하여 2017년 농업자원과 농업환경의 실태조사 및 평가기준 고시안을 만들어 농경지 토양과 농업용수에 대하여 국가 잔류농약 모니터링 사업을 수행함으로써 잔류농약의 분포 변동과 농경지 오염실태를 파악하여 농업환경보전과 안전농산물 생산을 위한 기초자료로 활용하고 있다. 환경부에서는 유해물질에 대한 토양의 오염 기준은 23종 화학물질에 대해서 '토양환경보전법 시행규칙'에 우려기준과 대책 기준으로 분류하여 관리하고 있다. 이 중 농약에 대한 토양오염우려기준은 '유기인화합물'에만 기준(1지역, 2지역: 10 mg/kg, 3지역: 30 mg/kg)이 설정되어 있어 국내에 사용하는 잔류성이 긴 농약류에 대한 관리가 필요한 상태이다. 현재 잔류성유기오염물질(POPs)법에 관리되고 있는 엔도설판 등 잔류성 유기농약류에 대한 오염기준설정이 되지 않고 있어 기준설정도 필요할 것으로 판단된다. 이번 DDT 오염지역에서 거리별 깊이별 잔류량 연구 결과는 기존에 사용하였던 POPs (persistent organic pollutants) 농약에 대한 정밀한 모니터링과 환경노출성 평가로 오염농경지에 대한 지속적인 관리가 필요하다는 것을 시사하고 있으며, 오염물질에 대한 잔류량 모니터링과 환경노출평가 연구는 안전 농산물 생산을 위한 깨끗한 농업환경을 보전할 수 있는 가장 효과적인 방안이다. 특히 작물 재배에 많이 사용되었던 DDT, endosulfan 등 잔류성이 긴 유기염소계 농약류와 스톡홀름 협약에서 신규로 규정된 잔류성 유기오염물질의 환경 동태에 대한 연구와 정밀한 모니터링이 필요하며 농약으로 많이 사용되었던 물질은 농작물 흡수·이행능 평가를 통한 농경지 안전관리기준 설정 등 관리 방안이 필요할 것으로 사료된다.

재료 및 방법

오염 닭방사장 농경지 표토, 심토 깊이별 조사

시료 채취는 DDT가 오염된 계란 생산지인 경북 경산시 하양읍 오염 필지에서 수행하였다. 토양시료는 오염 양계방사장, 배추(*B. rapa*), 무(*R. sativus*) 등 작물 경작지 및 외부의 대추(*Z. jujuba* Mill) 재배지와 사과(*M. pumila* Mill) 묘목 재배지역 중 13곳에서 깊이 10 cm 단위로 일부 지점은 0~50 cm, 심층조사지점은 0~150 cm까지 채취하여 깊이별 잔류량을 조사하였다(Fig. 3).



Fig. 3. Soil sampling locations and depths in the chicken farm and surrounding farmland.

깊이별 조사는 50 cm씩 3차까지 시료채취를 진행하였으며 시료채취 지역을 닭 사육지와 대추 재배지 두 지역으로 나누고 40~50 cm 부분에서 가장 높은 수준으로 검출된 지점을 선정하여 DDT가 검출되지 않는 깊이까지 분석하였다. 또한 오염방사지 인접 재배한 배추, 무 등 작물 및 지하수도 채취하여 분석하였다.

주변 농경지 표토 거리별 조사

시료채취는 DDT가 오염된 계란 생산지인 경북 경산시 하양읍 주변 농경지에서 수행하였다. 오염농장을 중심으로 동, 서, 남, 북 사방으로 3000 m까지 500 m씩 시료를 채취하였고 거주지역, 산업지역, 산림지역 및 수로를 제외한 농경지의 표토를 1 kg 이상씩 채취하였다(Fig. 4).

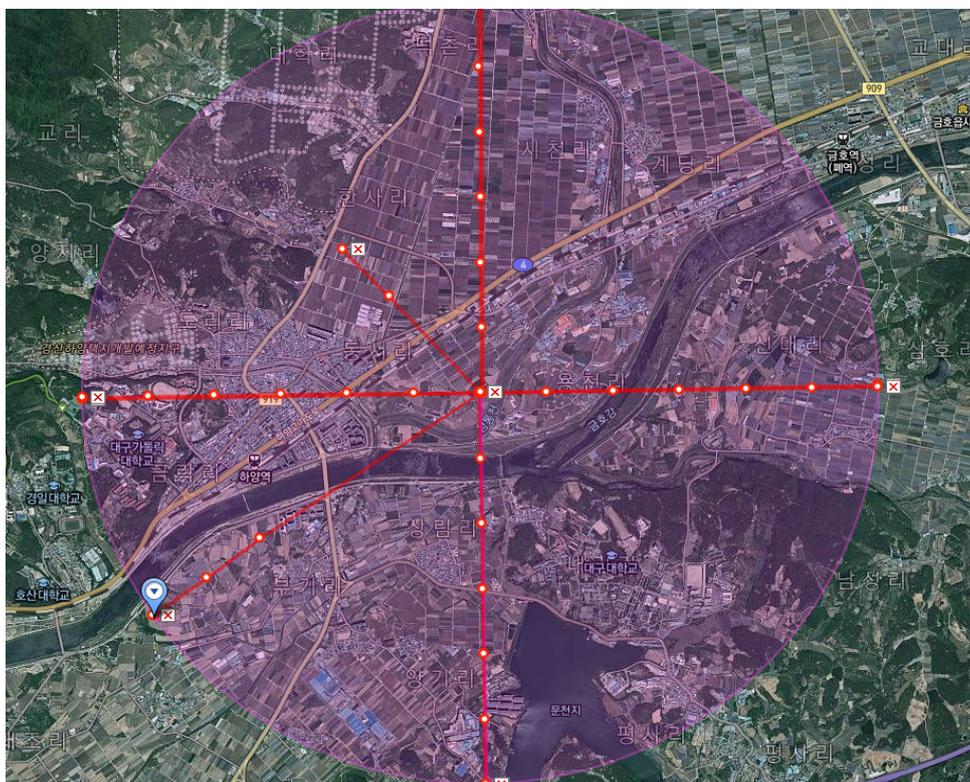


Fig. 4. Soil and plant sampling locations at various distances from the chicken farm.

재배작물 및 지하수 조사

주변 농경지의 거리별 토양 채취시 현장에 재배중인 작물을 모두 채취하여 흡수·이행성을 확인하는 시료로 사용하였고, 현장의 사육시설 내에 있는 나무에서 밤(*Castanea crenata*), 감(*Diospyros kaki*), 감잎 및 은행(*Ginkgo biloba*)잎을 채취하였으며, 내부 경작지역에서 재배중인 들깨(*Perilla frutescens*), 배추, 무 및 파(*Allium fistulosum*)를 채취하였다. 작물을 채취한 모든 지점의 근접한 표토를 채취하여 함께 조사하였으며 지하수는 오염지의 농가에서 운용중인 관정에서 채취하였다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: J.H.P. and B.J.P. designed the study; J.H.P. wrote the manuscript; B.J.P. reviewed the manuscript; J.H.P., S.J.K., M.J.K., J.S.S., and B.J.P. measurement and collected the data. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development(RS-2024-00394889) and National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.27>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Byung-Jun Park.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Liu L, Bai L, Man C, Liang W, Li F, Meng X (2015) DDT vertical migration and formation of accumulation layer in pesticide-producing sites. *Environmental science & Technology*, 49(15), 9084-9091. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02456>.
2. Boul HL (1995) DDT residues in the environment—A review with a New Zealand perspective. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 38(2), 257-277. <https://doi.org/10.1080/00288233.1995.9513126>.
3. DiOloffs PC, Szeto SY, Webster JM (1971) Translocation of organochlorine pesticide residues from soils into carrots. *Canadian Journal of Plant Science*, 51(6), 547-550. <https://doi.org/10.4141/cjps71-104>.
4. Schlosserova J (1992) Contamination of soils in the Slovak republic by persistent pesticides and their transport in the soil-plant system. *The Science of The Total Environment*, 123, 491-501. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(92\)90171-N](https://doi.org/10.1016/0048-9697(92)90171-N).
5. Lunney AI, ZEEB BA, Reimer KJ (2004) Uptake of wathered DDT in vascular plants: Potential for phytoremedaiation. *Environmental Science & Technology*, 38(22), 6147-6154 <https://doi.org/10.1021/es030705b>.
6. Odermatt JR, Johnson TA, Hummeldorf RG (1993) Distribution of DDT residues (DDT, DDD, and DDE) in California soils. *Journal of Soil Contamination*, 2(4),315-329. <https://doi.org/10.1080/15320389309383446>.
7. Hossein B, Roger AL (1991) Extending the use of USEPA method 1625 for the analysis of 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, and 4,4'-DDE. 44(2), 122-129. [https://doi.org/10.1016/0026-265X\(91\)90089-8](https://doi.org/10.1016/0026-265X(91)90089-8).
8. Routh JD (1972) DDT residues in salinas river sediments. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 7, 168-176. <https://doi.org/10.1007/BF01684808>.
9. Park CK, Ma YS (1982) Organochlorine pesticide residues in agricultural soils-1981. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 1(1), 1-13.
10. Namiki S, Otani T, Seike N (2013) Fate and plant uptake of persistent organic pollutants in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(4), 669-679. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.813833>.

11. Wu N, Zhang S, Huang H, Shan X, Christie P, Wang Y (2008) DDT uptake by arbuscular mycorrhizal alfalfa and depletion in soil as influenced by soil application of a non-ionic surfactant. *Environmental Pollution*, 151(3), 569-575.
12. Wei F, Dong Y, Qiong AN, Zhang T (2006) Uptake and accumulation of weathered DDT by oil plants. *Ecology and Environment*, 15(6), 1188-1191.
13. White JC, Parrish ZD, Isleyen M, Gent MP, Iannucci-Berger W, Eitzer BD, Mattina MJI (2005) Uptake of weathered p,p'-DDE by plant species effective at accumulating soil elements. *Microchemical Journal*, 81(1), 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2005.01.010>.
14. Boul HL (1996) Effect of soil moisture on the fate of radiolabelled DDT and DDE in vitro. *Chemosphere*, 32(5), 855-866. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00018-5](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00018-5).
15. Chen Y, Juhasz A, Li H, Li C, Ma LQ, Cui X (2020) The influence of food on the in vivo bioavailability of DDT and its metabolites in soil. *Environmental Science & Technology*, 54(8), 5003-5010. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06697>.
16. El Z (1975) Residues of DDT in cottonseed after spraying with DDT and torbidan. *Pest Management Science*, 6(5), 457-460.
17. Michele LM, Sunjay S, Ludovic B, Erin M, Borje H, Christoph BP (2016) DDT exposure induces hypertension and cardiac hypertrophy in adult mice. *Environment Health Perspect*, 124(11), 1722-1727. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP164>.