



환경친화적 토양개량제의 농경지 중 잔류농약 경감효과

이효섭 · 홍수명 · 김택겸^{1*} · 권혜영 · 김단비 · 문병철 · 문준관²

농촌진흥청 국립농업과학원 화학물질안전과, ¹농촌진흥청 연구정책국, ²한경대학교 식물생명환경과학과

Reduction Effects of Residual Pesticides using the Eco-friendly Soil Amendments in Agricultural Soil

Hyo Sub Lee, Su Myeong Hong, Taek Kyum Kim^{1*}, Hye Young Kwon, Dan Bi Kim, Byeong Chul Moon and Joon Kwan Moon²

Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Jeonbuk 55365, Republic of Korea

¹Research Policy Bureau, Rural Development Administration, Jeonju, Jeonbuk 54875, Republic of Korea

²Department of Plant Life and Environmental Sciences, Hankyong National University, Anseong, Gyeonggi 456749, Republic of Korea

(Received on October 12, 2016. Revised on November 8, 2016. Accepted on November 25, 2016)

Abstract This study investigated the reduction of residual pesticide in soil by using eight kinds of soil amendments such as shell, quick lime, dolomite, silicic acid, leaf mold, oil cake, bed soil and husk. A total of ten pesticides most frequently detected in agricultural soil were selected (azoxystrobin etc.) and soil amendments were treated in soils at a 2% application rate and incubated for 7 days. Pesticides were analyzed by HPLC-MS/MS with QuEChERS-based sample preparation procedure and pH was measured on 1, 3 and 7 days. This study showed that, soil amendments were effective in reducing pesticides after 7 days of incubation. Over 90% of azoxystrobin, cadusafos, chlorpyrifos, fluquinconazole, imidacloprid, isoprothiolane and procymidone were decomposed from soils amended with 2% quick lime, whereas the concentration of boscalid, dimethomorph and triacyclazole were not decreased. The soil pH increased to 12.8-12.9 in soil amended with quick lime, but other soil conditioners did not change the soil pH. Quick lime was particularly effective in reducing residual pesticides.

Key words pH, QuEChERS, soil amendments

서 론

농약은 그 동안 농업의 생산성을 증대하여 식량문제를 해결하는데 크게 기여하였고, 노동력 절감과 농산물의 질을 향상시키는데 크게 공헌하였다. 그러나 인축과 환경생물에 독성을 나타내는 농약은 농경지의 작물에 살포되며, 작물체에 부착되지 않은 농약은 대부분 토양에 잔류하게 된다 (Jung et al., 2004). 토양 중 잔류허용량 이상으로 존재하는 농약은 인체에 해를 가할 수 있으므로 철저한 관리가 필요하다. 현재까지 작물 중 잔류농약에 대한 연구는 꾸준히 진

행되어 잔류허용기준 및 농약안전사용지침 등의 개발로 상대적으로 잘 관리되고 있지만, 토양 중 잔류농약에 대한 관리방안은 설정이 되어있지 않다. 토양 잔류 농약은 토양수에 의해 수평 또는 수직 이동하여 환경오염(지하수 오염 등)의 원인으로 작용하고(Noh et al., 2011; Marin-Benito et al., 2013), 작물에 흡수 이행되어 농산물 안전성을 위협할 수 있다(Hwang et al., 2014; Jeon et al., 2014).

토양 중 잔류농약은 흡착, 광분해, 가수분해, 미생물분해, 휘산, 식물체로의 흡수 등의 메커니즘에 의해 일정시간이 경과하면 소실되므로(Chen et al., 1978; Nicholls et al., 1988; Park et al., 2006), 관리할 필요가 없을 수도 있다. 그러나 우리나라의 농경지에서 작물이 재배되지 않는 기간이

*Corresponding author
E-mail: ktkiii@korea.kr

길지 않아 농업환경에 지속적으로 농약이 투입되므로 잔류성이 높은 물질들은 후작물에 이행될 수 있다. 또한 농업의 발달과 안전한 농산물에 대한 관심증대로 1990년대에 비해 토양 중 잔류농약은 감소하였지만, 여전히 다수의 농약성분이 검출되는 것으로 보고되고 있어(Park et al., 2011; Park et al., 2013) 이들에 관리의 필요성이 제기되고 있다.

토양개량제는 작물재배 전 작물에 양분을 공급하기 위해 사용하는 비료로, 농업현장에서 사용이 용이하고 가격 또한 경제적인 것으로 알려져 있다. 또한 몇몇 연구에서 토양개량제가 토양 중 잔류농약 경감에 효과적임이 보고된 바 있다(Kim et al., 2008; Yu et al., 2009). 본 연구에서는 농업환경변동조사(1999~2008) 및 재배환경 내 유해물질 안전관리 방안 보고서에서 검출빈도가 1% 이상이며, 평균 검출농도가 0.1 mg/kg 이상인 농약 10종과, 8종의 토양개량제를 선택하여 토양개량제의 토양 중 잔류농약 경감효과 구명과 토양개량제 처리 후 토양의 pH 변화와 잔류농약 경감과의 상관관계를 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

농약표준용액 및 시약

시험 농약은 토양 중 검출빈도가 높은 농약 10종 (azoxystrobin, boscalid, cadusafos, chlorpyrifos, dimethomorph, fluquinconazole, imidacloprid, isoprothiolane, procymidone, ticyclazole)을 선정하였다.

분석에 사용한 표준품은 Dr. Ehrenstorfer GmbH (Ausberg, Germany)에서 구매하여 사용하였고, 각각의 농약은 acetonitrile 으로 1,000 mg/L의 stock solution을 제조한 다음 이를 희석하여 10 mg/L의 혼합 working solution을 제조하였다.

분석에 사용한 용매 acetonitrile, glacial acetic acid (100%)는 Merck사(Darmstadt, Germany)의 HPLC Grade 를 사용하였고, formic acid (>98% purity)와 ammonium acetate (99% purity)는 Sigma Aldrich (St. Louis, USA)에서 구입하여 사용하였다. 3차 증류수는 Millipore사의 Milli-Q system (Bedford, USA)을 사용하여 제조하였다. QuEChERS 전처리를 위한 시약 및 제품은 Agilent (California, USA)에서 구입하였고, 추출 및 정제에는 Agilent QuEChERS Extract Kit AOAC 2007. 01 (6 g MgSO₄, 1.5 g sodium

acetate (NaOAc))와 Agilent QuEChERS dispersive SPE 2 mL fatty and wax (150 mg MgSO₄, 50 mg primary secondary amine (PSA), 50 mg C₁₈EC)을 사용하였다.

시험토양 및 토양개량제 선정

본 연구에 사용된 토양은 전라북도 익산시 만경강 부근에서 채취한 사양토(Soil 1), 양토(Soil 2)이며, 채취한 토양시료는 음건 후 2 mm 토양체를 통과시킨 후 분석 시까지 -20°C에서 냉동보관 하였다. 채집된 토양의 물리화학성은 농촌진흥청 토양분석법(RDA, 2000)에 따라 조사하였으며, 각 토양의 물리화학성을 Table 1에 나타냈다.

사용된 토양개량제의 화학적, 생물학적 작용에 의한 잔류농약 경감효과 확인을 위해서 패회석(상표명: 천연칼슘비료), 생석회(상표명: 과립생석회), 석회고토(상표명: 석회고토비료), 규산질비료(상표명: 입상규산질비료), 부엽토(상표명: VK보비토), 혼합유박(상표명: 흙살골드), 상토(상표명: 바로커), 왕겨숯(상표명: 훈탄) 8종을 선정하였다.

토양 중 잔류농약 추출 및 정제방법

시험농약 10종의 토양 중 잔류량 분석은 Gwon et al. (2014)의 QuEChERS 방법에 따라 수행하였다. 토양 15 g에 1% glacial acetic acid가 포함된 acetonitrile 15 mL를 첨가한 후 250 rpm (Combi-shaker NB-101MT, N-Biotek, Bucheon, Korea)에서 30분동안 진탕하였다. 진탕 후 Agilent QuEChERS Extract Kit를 첨가한 후 2분간 강하게 흔든 다음 3500 rpm (Combi-514R, Hanil, Gimpo, Korea)에서 5분간 원심분리하여 상징액 1 mL을 취하였다. 채취한 상징액을 150 mg MgSO₄, 50 mg PSA, 50 mg C₁₈EC가 들어있는 2 mL 폴리프로필렌 원심분리관에 넣어 30초간 vortex mixer를 사용하여 흔든 다음 12000 rpm의 속도로 5분간 원심분리 하였다. 원심분리된 시료의 상징액 500 µL를 채취한 후 200 µL 0.1% formic acid 함유 acetonitrile, 50 µL 내부표준물질(triphenylphosphate, TPP) 및 50 µL acetonitrile을 첨가하고 이 용액을 0.2 µm PTFE 필터로 여과하여 2 mL vial에 옮긴 다음 HPLC-MS/MS로 분석하였다(Table 2, 3).

토양개량제 처리

음지에서 풍건시킨 토양 15 g을 50 mL plastic tube에 칭

Table 1. Physicochemical properties of the tested soils

Sample name	Texture	Particle distribution (%)			pH	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol _c /kg)		
		Sand	Silt	Clay					Ca	K	Mg
Soil 1	Sandy loam	52.6	37.4	10.0	5.1	0.87	14	1104	2.3	0.0	0.7
Soil 2	Loam	42.3	47.7	10.0	5.3	0.92	15	228	3.7	0.1	0.9

Table 2. HPLC-MS/MS conditions for analyzing the pesticides

Instrument	Agilent 1200 HPLC with Agilent 6410 triple-quadrupole MS		
Column	YMC-Pack Pro C ₁₈ RS (100 × 3 mm I.d. 3 μm)		
Mobile phase	A : Water with 0.1% formic acid B : Acetonitrile with 0.1% formic acid		
Gradient table	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	95	5
	2	30	70
	10	30	70
	15	10	90
	20	5	95
	23	95	5
	25	95	5
Flow rate	0.3 mL/min	Ionspray voltage	4,000 V
Column temp.	40°C	Nebulizer gas pressure	50 psi
Injection volume	10 μL	Gas flow	10 L/min
Ionization mode	ESI Positive	Gas temp.	350°C
Scan type	MRM	Run time	24 min

Table 3. Ionization conditions of pesticides for detection with HPLC-MS/MS

Compound Name	MW	Precursor ion (m/z)	Quantifier	Qualifier	Retention Time (min)	Ionization mode
Azoxystrobin	403.4	404.2	372.2	261.1	8.1	Positive
Boscalid	343.2	343.1	307.1	271.2	8.8	Positive
Cadusafos	270.4	271.2	159.1	131.0	13.5	Positive
Chlorpyrifos	350.6	350.0	198.0	97.0	17.8	Positive
Dimethomorph	387.9	388.1	301.2	165.2	7.5	Positive
Fluquinconazole	376.2	376.0	307.1	108.1	8.9	Positive
Imidacloprid	255.7	256.1	209.1	175.2	5.3	Positive
Isoprothiolane	290.4	291.1	230.9	188.9	10.3	Positive
Procymidone	284.1	284.2	256.1	67.3	10.2	Positive
Tricyclazole	189.2	190.0	163.0	136.0	5.3	Positive

량한 후 10 mg/L 혼합 working solution 150 μL를 첨가한 다음 8종의 토양개량제를 토양무게의 2% 수준으로 첨가하였다. 이후 토양무게의 50% 수준으로 수분을 첨가하고 7일 동안 평균 온도 27°C, 상대습도 57% 조건에서 보관하였다. 7일 후 토양시료를 채취하여 QuEChERS분석법을 이용하여 분석하였다.

토양개량제 처리에 따른 토양의 pH 변화와 잔류농약 경감효과의 상관관계를 확인하기 위해 토양개량제 처리 후 0, 1, 3, 7일에 pH를 측정하였다. pH 측정은 토양 15 g과 증류수 75 mL를 1:5(w/v) 비율로 혼합하여 진탕한 현탁액을 pH meter (Orion star A111, Thermo, Massachusetts, USA)를 이용하여 측정하였다(RDA, 2000).

통계분석

모든 실험은 3반복으로 수행되었으며 실험결과는 R 통계

프로그램(R i386 3.2.4 revised)를 이용하여 Duncan's multiple range test로 실시하였으며, $p < 0.05$ 일 때 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

토양 중 시험농약의 정량한계 및 회수율

토양 중 시험농약의 정량분석을 위해 azoxystrobin 등 10종 농약의 표준검량선을 HPLC-MS/MS를 이용하여 작성하였다. 검량선의 결정계수(R^2)는 0.9973~1.000으로 양호한 직선성을 나타내었고, 시험농약의 정량한계(limit of quantitation, LOQ)는 0.005~0.01 ppm (mg/kg) 수준이었다. 토양 중 azoxystrobin 등 10종 농약의 회수율은 사양토 73.0~92.6%, 양토 72.8~109.2% 수준이었다(Table 4).

Table 4. Recoveries of pesticides in soil

Pesticide	Sandy loam		Loam		R ²	LOQ (mg/kg)
	Recovery	RSD	Recovery	RSD		
Azoxystrobin	92.6 ± 14.8	16.0	109.7 ± 10.8	9.9	1.0000	0.005
Boscalid	76.2 ± 7.1	9.3	83.6 ± 6.9	8.3	0.9998	0.005
Cadusafos	81.7 ± 10.0	12.2	90.2 ± 7.4	8.3	0.9973	0.005
Chlorpyrifos	73.1 ± 11.3	15.4	81.8 ± 11.1	13.6	0.9998	0.005
Dimethomorph	87.7 ± 9.9	11.3	99.2 ± 7.1	7.2	0.9995	0.005
Fluquinconazole	77.4 ± 12.9	16.7	82.9 ± 8.1	9.8	0.9998	0.005
Imidacloprid	75.9 ± 2.7	3.6	79.3 ± 1.6	2.0	0.9994	0.005
Isoprothiolane	84.0 ± 8.5	10.2	94.3 ± 6.9	7.3	1.0000	0.005
Procymidone	75.2 ± 9.3	12.4	83.2 ± 6.8	8.1	0.9973	0.010
Tricyclazole	73.0 ± 7.3	10.0	72.8 ± 2.2	3.0	0.9997	0.005

토양개량제 처리에 따른 잔류농약 경감효과

시험농약 10종을 0.1 mg/kg 수준으로 처리한 토양에 토양개량제 처리 직후의 잔류농도는 사양토 0.078~0.121 mg/kg, 양토 0.089~0.139 mg/kg 수준이었다(Fig. 1). 토양개량제 처리에 의한 잔류농약 경감효과는 생석회 처리구에서 가장 크게 저감되었다. 생석회 처리 후 7일에 azoxystrobin, cadusafos, chlorpyrifos, fluquinconazole, imidacloprid, isoprothiolane, procymidone의 잔류량이 사양토와 양토에서 각각 0.002~0.004, 0.001~0.003 mg/kg 수준으로, 95% 이상 감소하는 결과를 나타냈다($p < 0.05$, Fig. 1). 이는 토양에 처리된 생석회가 토양수분과의 수화반응으로 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)를 생성하여 토양이 알칼리화 되면서 농약의 가수분해 반응을 용이하게 함과 동시에 수화반응 시 최고 60°C의 열이 발생하므로 농약의 분해가 촉진된 것으로 판단된다(Chue et al., 1998; Kim et al., 2010). Boscalid, dimethomorph 및 tricyclazole은 생석회 처리구에서 경감효과를 나타내지 않았는데, 3 농약은 알칼리 조건하에서 가수분해에 안정한 특성이 있어 경감효과가 나타나지 않은 것으로 판단된다(Tomlin, 2012).

Chlorpyrifos는 유박을 처리시 잔류량이 0.025~0.029 mg/kg 수준으로 약 70% 정도 경감효과를 나타냈고($p < 0.05$), dimethomorph는 부엽토 처리 시 잔류량이 0.025~0.026 mg/kg 수준으로 약 70% 정도 경감효과를 나타냈다. 유박, 상토 및 부엽토는 토양에 유기물을 증가시키는 개량제로서, 이들의 처리가 토양에 존재하는 미생물을 활성화 함으로써 농약의 분해가 촉진된 것으로 판단된다. 그러나 chlorpyrifos와 dimethomorph는 유기물 개량제 종류에 따라 경감효과가 다르게 나타났다. 이러한 양상은 Marín-Benito et al. (2014)의 연구결과에서도 나타났는데, 토양을 1, 12개월 배양시킨 후 하수슬러지, 포도씨겨기, 버섯기질을 첨가하여 linuron, diazinon, myclobutanil의 경감 연구에서 3종의 농약은 유기물 개량제 종류에 따라 다른 분해효과를 나타냈다. 상이한

유기물이 토양에 첨가되면 토양 화학성을 다르게 변화시키는데, 토양화학성의 차이가 미생물 활성화에 영향을 주므로, 유기물 종류에 따라 잔류농약 경감양상이 다르게 나타난 것으로 판단된다(Eo et al., 2010). 또한 dimethomorph는 무처리구에 비해서 패화석, 석회고토 및 규산질비료에서 경감률이 더 높게 나타났다($p < 0.05$). 패화석, 석회고토 및 규산질비료는 토양 중 Ca, Mg, Si, K과 같은 양이온 함량을 증가시키는 개량제로서(Lee et al., 2005; Joo et al., 2011), 패화석, 석회고토 및 규산질 개량제를 첨가한 토양은 치환성 양이온 함량이 증가되어 토양 중 흡착된 dimethomorph와 양이온 사이의 치환에 의해 잔류농약 경감효과가 나타난 것으로 사료된다. 다른 토양개량제 처리에서 dimethomorph 잔류량 감소는 나타나지 않았다.

환경친화적 토양개량제를 이용한 농경지 중 잔류농약 경감효과 연구에서 생석회를 처리하였을 때 다수의 농약에서 우수한 경감효과를 보였으나 일부 농약에 대해서는 생석회 이외의 토양개량제 처리에서도 경감효과가 확인되었다. 그러나 본 연구의 시험기간은 7일로서 미생물 등에 의한 잔류농약 경감효과를 제대로 확인할 수 없었다. 그러므로 다른 토양개량제의 경감효과 확인을 위해서 농도 및 처리시간 등 상이한 조건에서 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

토양개량제 처리에 따른 토양 중 pH변화

토양개량제 처리에 따른 토양 중 pH와 잔류농약 경감과의 상관관계를 확인하기 위하여 토양개량제 처리 후 0, 1, 3, 7일에 pH를 측정하였다(Fig. 2). 사용된 시험 토양의 초기 pH는 사양토 5.1, 양토 5.3이었다.

토양개량제 처리에 따른 pH변화는 생석회 처리구에서 가장 뚜렷하게 나타났다. 생석회(CaO) 처리를 하였을 때 0, 1, 3, 7일차에서의 토양 pH 변화는 사양토 13.0, 12.9, 12.9, 12.7이고, 양토 9.9, 12.9, 12.9, 12.8 이었다. 생석회를 처리한 토양에서 pH 증가 후 7일까지 12.7 수준으로 유지하였

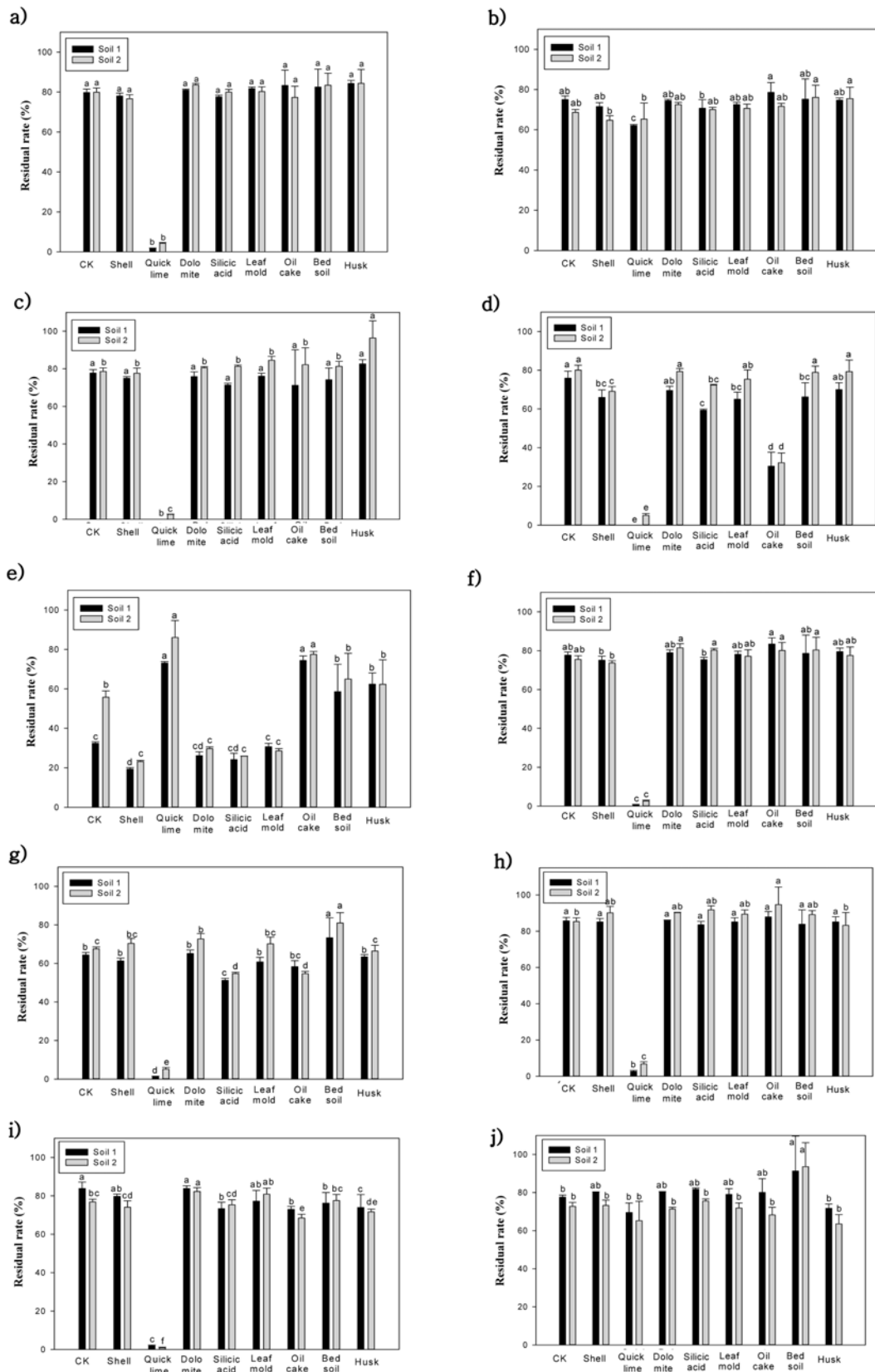


Fig. 1. Reduction effects of residual pesticides by soil amendments. Reduction rates were concentration of pesticides in soil after 7 day divided with initial concentration of pesticides. Error bars indicate standard deviation. Different letters above the same bar type indicate significant difference ($p < 0.05$). a) azoxystrobin, b) boscalid, c) cadusafos, d) chlorpyrifos, e) dimethomorph, f) fluquinconazole, g) imidacloprid, h) isoprothiolane, i) procymidone, j) tricyclazole.

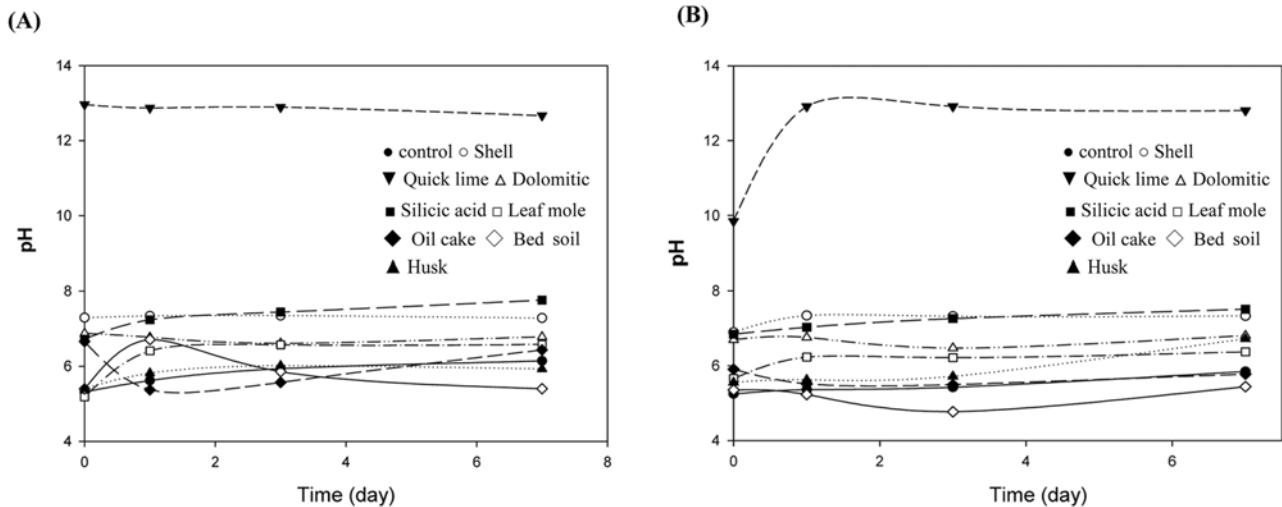


Fig. 2. Change of pH by soil amendments application in sandy loam (A) and loam (B) soil.

다. 토양에 생석회 개량제를 첨가하면 토양수에 의해 수화 반응이 일어나 소석회(CaOH)를 생성하고, 소석회에 의해 토양 pH가 증가한다. 또한 생석회의 수화반응은 신속하게 일어나기 때문에(Chun, 1998), 처리 후 pH가 높게 나타난 것으로 판단된다.

폐화석, 석회고토 및 규산질비료에서 무처리구에 비해서 pH값이 약 1.5 정도 상승하였는데, 폐화석 및 석회고토 비료는 토양 pH를 증가시키는 것으로 나타났다(Lee et al., 2004; Joo et al., 2011). 폐화석과 규산질은 토양 중 염기성 양이온함량을 증가시키는 비료로써, 토양에 수분이 첨가되면 비료에 첨가된 염기성 양이온(Ca, Na)이 토양용액내로 방출되어 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH 등을 생성하여 토양 pH를 상승시킨 것으로 판단된다.

유박, 부엽토, 상토 등 유기물 비료에서는 토양 pH 변화가 나타나지 않았다. Yang et al. (2008)의 연구에서 토양에 유기물 비료 첨가시 유기물과 총질소량만 증가 pH변화는 없었다. 토양 pH는 수산화이온 (OH^-) 및 염기성 양이온이 증가할 때 높아지는데, 유기물 비료는 이러한 토양 화학성에 영향을 주지 못하여 pH 변화가 일어나지 않은 것으로 판단된다.

왕겨숯을 처리한 토양에서는 pH의 변화가 없었다. Eo 등 (2012)의 연구에서 왕겨숯 처리 토양에서는 pH, EC, 양이온 함량 등 토양 화학성 변화가 거의 없는 것으로 확인되었다. 왕겨숯은 토양 물리성을 변화시켜 미생물 활성을 증가시키고, 농약과 같은 유기화합물을 흡착하여 경감시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러므로 왕겨숯을 이용하여 토양 중 잔류농약 경감효과에는 pH와 상관관계가 없는 것으로 판단된다.

8종의 토양개량제를 이용하여 토양 중 잔류농약 경감효과는 생석회 처리구에서 높은 pH 상승으로 인해 토양 중 7종

의 농약이 경감되는 효과를 나타냈다. 다른 토양개량제가 토양 pH에 미치는 간접적인 영향과 작물에 적절한 생석회 처리량을 구명하기 위해서 상이한 농도조건을 추가한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01087602)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

Literature cited

- Chen, Y. L. and T. C. Wu (1978) Degradation of herbicide butachlor by soil microbes. *J. Pesticide Sci.*, 3:411-417.
- Chun, B. S. and K. S. Ko (1998) Improvement effect of marine clay in yul-chon by quick Lime pile. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 18(2-4):521-529.
- Eo, J. U., K. C. Park, S. W. Lee, Y. S. Bae and B. R. Yeon (2010) Effects of organic materials on soil organisms in a Korean ginseng field. *The Korean J. Soil Sci. Fert.*, 43(2): 188-193.
- Eo, J. U., K. C. Park, S. W. Lee and S. H. Lee (2012) Effects of rice husk and rice husk charcoal on soil biota and growth of korean ginseng (*Panax ginseng*). *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 30:200.
- Gwon, J. H., T. K. Kim, E. K. Seo, S. M. Hong, H. Y. Kwon, K. S. Kyung, J. E. Kim and N. J. Cho (2014) Multiresidue analysis of 124 pesticides in soils with QuEChERS extraction and LC-MS/MS. *The Korean J. Pesticide Sci.*, 18(4):296-313.
- Hwang, J. I., S. O. Jeon, S. H. Lee, S. E. Lee, J. H. Hur, K. R. Kim and J. E. Kim (2014) Distribution patterns of organophosphorous insecticide chlorpyrifos absorbed from

- soil into cucumber. *The Korean J. Pesticide Sci.*, 18(3):148-155.
- Jeon, S. O., J. I. Hwang, S. H. Lee and J. E. Kim (2014) Uptake of boscalid and chlorfenapyr residues in soil into Korean cabbage. *The Korean J. Pesticide Sci.*, 18(4):314-320.
- Joo, J. H. and S. B. Lee (2011) Assessment of silicate fertilizers application affecting soil properties in paddy field. *Korean J. Soil Sci.*, 44(6):1016-1022.
- Jung, Y. H., J. E. Kim, J. H. Kim, Y. D. Lee, C. H. Lim and J. H. Hur (2004) *The latest pesticide science*. sigmapress. Korea.
- Kim, T. K. (2008). Chemical remediation of soils contaminated with endosulfan, organochlorine insecticide, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea.
- Kim, Y. H. and B. S. Chu (2010) Improvement effects of soft clay soils using quick lime piles. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, 11(5):45-51.
- Lee, J. Y., C. H. Lee, B. H. Ha, S. C. Kim, D. K. Lee and P. J. Kim (2005) Effect of oyster shell meal on improving soil microbiological activity. *The Korean J. Soil Sci. Fert.*, 38(5):59-64.
- Marín-Benito, J. M., C. D. Brown, E. Herrero-Hernández, M. Arienzo, M. J. Sánchez-Martín and M. S. Rodríguez-Cruz (2013) Use of raw or incubated organic wastes as amendments in reducing pesticide leaching through soil columns. *Science of the Total Environment*, 463-464:589-599.
- Marín-Benito, J. M., E. Herrero-Hernández, M. Soledad Andrades, M. J. Sánchez-Martín and M. S. Rodríguez-Cruz (2014) Effect of different organic amendments on the dissipation of linuron, diazinon and myclobutanil in an agricultural soil incubated for different time periods. *Science of the Total Environment*, 476-477:611-621.
- Nicholls, P. H. (1988) Factors influencing entry of pesticides into soil water. *J. Pesticide Sci.*, 22:123-137.
- Noh, H. O., J. Y. Lee, S. H. Park, O. S. Jeong, S. H. Kim and K. S. Kyung (2012) Monitoring of pesticide residues in rice paddy soil and paddy water. *The Korean J. Pesticide Sci.*, 16(2):137-144.
- Park, B. J., C. S. Kim, K. H. Park, H. J. Park, G. J. Im, J. H. Choi, J. H. Shim and G. H. Ryu (2006) Distribution and mobility of herbicide 14c-molinate in a rice-paddy-soil lysimeter. *The Korean J. Pesticide Sci.*, 10(3):172-182.
- Park, B. J. and J. H. Lee (2011) Pesticide residue monitoring and environmental exposure in paddy field soils and greenhouse soils, *The Korean J. Pesticide Sci.*, 15:134-139.
- Park, B. J., B. M. Lee, C. S. Kim, K. H. Park, S. W. Park, H. Y. Kwon, J. H. Kim, G. H. Choi and S. J. Lim (2013). Long-term monitoring of pesticide residues in arable soils in Korea. *The Korean J. Pesticide Sci.*, 17(4):283-292.
- Rural Development Administration (2003) *Physicochemical properties of soil*, In Analytical method for soil and plant; Ihm, J.N.; Sam Mi: Jeonju, Republic of Korea, 103-130.
- Tomlin, C. D. S. (2009) *The pesticide manual*, 15th ed., British Crop Protection Council, UK.
- Yang, C. H., C. H. Yoo, B. S. Kim, W. K. Park, J. D. Kim and K. Y. Jung (2008) Effect of application time and rate of mixed expeller cake on soil environment and rice quality. *The Korean J. Soil Sci. Fert.*, 41(2):103-111.
- Yu, X. Y., G. G. Ying and R. S. Kookana (2009) Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil, *Chemosphere* 76:665-671.

환경친화적 토양개량제의 농경지 중 잔류농약 경감효과

이효섭 · 홍수명 · 김택겸* · 권혜영 · 김단비 · 문병철 · 문준관²

농촌진흥청 국립농업과학원 화학물질안전과, ¹농촌진흥청 연구정책국, ²한경대학교 식물생명환경과학과

요약 토양 중 잔류농약 관리방안을 위해서 8종의 토양개량제(폐화석, 생석회, 석회고토, 규산질비료, 부엽토, 유박, 상토, 왕겨숯)를 이용하여 토양 중 잔류농약 경감효과를 조사하였다. 실험방법은 토양에 0.1 mg/kg 수준으로 농약을 첨가한 후 토양개량제를 토양무게의 2% 수준으로 처리하고 7일 동안 상온보관 후 잔류농약 경감효과를 확인하였다. 잔류농약 분석은 QuEChERS 전처리법과 HPLC-MS/MS를 이용하였고, 추가적으로 pH에 따른 토양 중 잔류농약 경감효과를 확인하기 위해 0, 1, 3, 7일의 pH를 측정하였다. 이에 따라, 2% 생석회를 투입한 토양에서는 boscalid, dimethomorph 및 tricyclazole을 제외한 azoxystrobin 등 7종의 농약이 95% 이상 경감되는 효과를 나타냈다. 또한 토양개량제 투입에 따른 토양 pH는 생석회를 첨가한 토양에서 pH 12.8 수준으로 가장 높은 증가를 나타냈다.

색인어 pH, 토양개량제, QuEChERS