

실내 인공강우를 이용한 강원도 고랭지 토양의 토성 및 경사도별 농약 이동특성

김성수 · 김태한 · 이상민 · 박동식 · Zhu Yong-Zhe¹ · 허장현*

강원대학교 농업생명과학대학 생물환경학부, ¹中國萊陽農學院 植物保護學院

요약 : 강원도 고랭지 경사지 경작지에서 채취한 토양의 토성(미사질식양토, 태백; 사양토, 황성) 및 경사도 (15%, 30%, 45%)별로 carbendazim, carbofuran, chlorpyrifos, cypermethrin, dimethomorph, diniconazole, endosulfan 등 7종의 농약을 처리한 실내 시험구에 인공강우하여 유출수 및 용탈수 그리고 강우 종료 후 토양 시료를 채취하였고, 이들 각각의 시료 중 농약 잔류량을 근거로 농약 이동특성을 파악하고자 본 연구를 수행하였다. 유출수 중 시간에 따른 농약 잔류량을 비교한 결과, 토성이 다른 두 토양과 모든 경사도에서 유사한 경향으로 수용해도가 가장 낮은 cypermethrin을 제외한 6종의 농약이 시료채취 초기 60분 이내에 최고 96% 이상 검출되었다. 용탈수 중 농약의 잔류량은 유출수와 유사한 경향을 보였으나 다소 낮은 농도로 검출되었으며, 특히 수용해도가 낮은 chlorpyrifos, cypermethrin, diniconazole 및 endosulfan은 시료채취 60분 이후에 검출되어 물 시료 중 농약 잔류량은 농약의 수용해도와 관련이 있음을 확인하였다. 토양 시료 중 농약 잔류량은 두 토양과 모든 경사도에서 0~5 > 5~10 > 10~15 cm의 순으로 표토에서 많이 검출되었으며, clay 함량이 높은 미사질식양토에서 더 높은 농약 잔류를 보였다. 경사도 및 시험구 상, 하단의 비교에서는 두 토양 모두에서 특별한 경향을 보이지 않았다. 물과 토양 시료 중 농약 이동성 비교 결과, 미사질식양토에서는 토양, 사양토에서는 물 시료로 더 많이 이동하는 것으로 나타나 두 시료간의 비교에서는 수용해도 보다 토성에 우선하는 것으로 나타났다. (2005년 11월 10일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

색인어 : 고랭지 경사지, 농약 이동성, 농약잔류, 용탈수, 유출수, 토성.

서 론

살포된 농약은 토양으로의 낙하, 대기 중으로 증발, 지하수로의 침투, 유출수에 의한 유실 등 환경 내에서 다양한 이동을 하게 되며, 이러한 이동성은 농약의 물리화학적 특성(수용성, 가수분해성, 증기압, 옥탄올/물 분배계수 등)과 토성(유기물 및 점토함량) 그리고 경작지의 경사도에 따라 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다(김 등, 1997a, 1997b; 정 등, 2000).

강원도 고랭지 경사지는 지형적, 기후적 요인으로 인하여 토양의 유실이 심하게 발생하고 있으며(고령지농업시험장, 2000), 이로 인해 지력 저하와 유기물 및 양분의 유실로 인한 작물 재배의 어려움 뿐만 아니라 사용된 농약 등이 수계로 유입되어 환경오염을 유발시킬 가능성이 높다(박, 2002). 이러한 피해를 사전에 차단하기 위해서는 경사도에 따른 유출예측 모델이 필요하며, 이를 위해 여러 가지 환경 인자들을

인위적으로 조절할 수 있는 인공강우를 이용하여 농약의 이동 특성을 파악하는 것이 중요하다. 실내에서 인공강우를 이용하여 농약 살포량 또는 강우 세기에 따른 유출특성 또는 재배형태에 따른 유출특성 등 많은 연구들이 진행되었으며(Baker *et al.*, 1982; Kenimer *et al.*, 1987; Felsot *et al.*, 1990), 특히 인공강우는 토양침식에 관한 연구 분야에서 많이 사용되어 왔지만, 강우에 의한 농약 이동특성 연구는 체계적으로 수행되지 못하였다.

특히 강원도 고랭지 경작지는 경사가 심한 특성으로 이 지역에 대한 농약이동 특성에 대한 연구 및 토양특성과 사용되는 농약들의 이동성과의 상관관계에 대한 자료가 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 강원도 고랭지 배추 경작지에서 주로 사용되며 잔류성 및 저항성 발생이 보고된 농약을 선발하여, 인공강우 장치를 이용한 실내 시험구에서 토성과 경사도에 따른 농약의 이동특성을 알아보고 이를 고랭지 농업의 특성에 적합한 약제 선발의 기초자료로 활용하고자 하였다.

*연락처자

Table 1. Physicochemical properties of the tested soils

	pH (1:5)	O.M. (g kg ⁻¹)	Particle size (%)			Texture
			Sand	Silt	Clay	
Taebaek	6.8	1.6	18.6	42.9	38.5	SiCL ^{a)}
Heongseong	5.0	6.5	79.1	9.3	11.7	SL ^{b)}

^{a)}silty clay loam, ^{b)}sandy loam

재료 및 방법

시험농약 및 토양

시험에 사용된 농약은 강원도 고랭지 배추 경작자를 대상으로 한 설문조사 결과(김 등, 2002) 선호도가 높은 농약 cypermethrin 및 diniconazole과 이 지역 배추 경작지 농약오염 실태조사 결과(박 등, 2004) 검출 빈도가 높았고 검출량이 많았던 carbendazim, carbofuran, dimethomorph 및 endosulfan, 그리고 강원도 배추 경작지에서 채집된 배추좀나방에 저항성이 큰 농약으로 조사된(김 등, 2003) chlorpyrifos를 포함하여 총 7종을 선정하였다. 각 약제의 표준품은 Dr. Ehrenstorfer사(독일) 및 WAKO사(일본)에서 분양받아 사용하였으며, 처리농약은 시중의 농약상에서 구입하였다. 각 약제별 상품명은 가벤다[®](carbendazim 60%, WP), 후라단[®](carbofuran 35%, GR), 그로포[®](chlorpyrifos 25%, WP), 피레스[®](cypermethrin 5%, EC), 포롬씨[®](dimethomorph 15%, WP), 빈나리[®](diniconazole 5%, WP)와 지오릭스[®](endosulfan 35%, EC) 이었으며, 농약사용 지침서 기준의 2배량으로 시험구에 고르게 처리하였다.

시험 토양은 강원도 태백시 매봉산과 횡성군 현천 3리 축산기술연구센터 토양을 사용하였으며, 토성은 각각 미사질식양토와 사양토이었다(표 1).

시험구 및 인공강우

시험구는 하단부가 공기와 물이 통과할 수 있도록 설계된 가로, 세로 1m, 높이 15 cm의 stainless steel box 에 gauze를 깔고 각각의 시험구에 약 400 kg의 토양을 충전하였고, 받침대를 이용하여 경사도 15°, 30° 및 45°로 각각 조절하였다.

인공강우기는 norton ladder rainfall simulator(USDA ARS, USA)를 사용하였으며, 그림 1은 실내인공강우기를 이용한 유출수(run-off) 및 용탈수(leachate)를 채취하는 개략적인 모습이다. 인공강우의 양은 강원지방기상청(2004)의 기후자료를 참고하여 강원도 고랭지의 시간당 최대 강수량과 일일 최대 강수량의 평균치

를 근거로 시간당 60 mm로 하였으며, 2시간 동안 강우하였다.

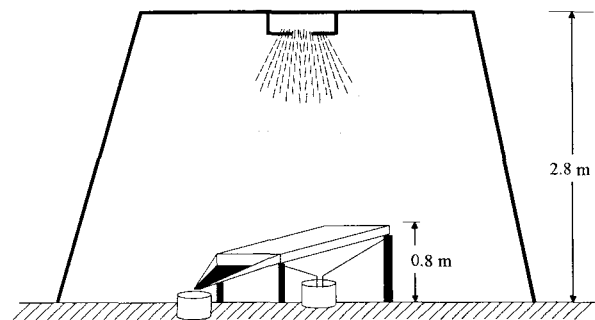


Fig. 1. Layout of the experimental facilities for the simulated rainfall test

시료 채취

농약 처리 12시간 후 인공강우 하였으며, 물 시료는 인공강우 후 최초로 유출 및 용탈되는 시점부터 유출수와 용탈수를 구분하여 15분 간격으로 2 L 단위로 2시간 연속해서 채취하였다. 토양 시료는 인공강우 완료 후 시험구의 상단(upper), 하단(lower)과 깊이 별(0~5 cm, 5~10 cm 및 10~15 cm)로 나누어 채취하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

분석기기 조건

분석기기는 gas liquid chromatograph(GLC, Shimadzu GC-17A, Japan)/electron capture detector(ECD)와 high performance liquid chromatograph(HPLC, HP-1100, USA)/fluorescence detector(FLD), UV-visible detector(UVD)를 사용하였다. GLC/ECD의 경우 DB-5 capillary column을 사용하였으며, inlet과 detector 온도는 각각 250°C와 320°C, oven 온도는 초기 130°C에서 분당 2.5°C씩 300°C까지 올린 후 10분간 지속하여 최종 분당 50°C씩 130°C로 하였다. 고순도 N₂ gas의 column flow는 1.2 mL min⁻¹이었으며, 이 조건하에서 각 농약의 머무름 시간은 chlorpyrifos 12.9분, diniconazole 28.0분, 2개의 이성질체를 갖는 endosulfan은 각각 18.9, 26.4분과 4개의 이성질체를 갖는 cypermethrin은 각각 34.6, 34.7, 34.8 및 34.9분이었다. HPLC/FLD, UVD는

Phenomenox 컬럼(25 cm, particle size 5 μm , C_{18})을 사용하였으며, FLD의 들뜸 및 방출 파장은 각각 286 nm, 316 nm, UVD는 220 nm를 선택하여 사용하였다. 이때 유량은 $\text{H}_2\text{O}/\text{acetonitrile}$ (45/55, v/v)를 5분간 1 mL로 흘려준 후, 5.1분부터 25분까지 $\text{H}_2\text{O}/\text{acetonitrile}$ (30/70, v/v)를 1.3 mL로 흘려주었다. 이 조건하에서 머무름 시간은 carbendazim 5.2분, carbofuran 9.7분, 2개의 이성질체를 갖는 dimethomorph는 각각 11.2, 11.5 분이었다.

회수율 실험

각각의 표준품을 칭량한 후 유기용매로 용해하여 1,000 mg kg^{-1} 의 혼합 표준용액(stock solution)을 조제하였다. 이로부터 4.0 mg kg^{-1} 과 2.0 mg kg^{-1} 용액을 조제하여 물과 토양 시료에 각각 0.1, 0.002 mg kg^{-1} 농도를 처리한 후 물 및 토양 시료 분석법과 동일하게 3반복으로 수행하여 회수율을 구하였다.

시료 중 농약잔류 분석

시료 중 농약잔류 분석은 박 등(2004)이 사용한 방법과 동일하게 수행하였다. 물 1 L를 dichloromethane으로 분배하였으며, 토양 20 g에 acetone 100 mL를 가하여 120 rpm에서 3시간 동안 교반시킨 후 acetone을 감압 유거하여 dichloromethane으로 분배하였다. 각각의 분배액을 감압 농축하여 acetone/n-hexane (20/80, v/v) 5 mL로 재용해 한 후 GLC/ECD 분석을 위하여 SPE-FL cartridge(Phenomenex[®]), HPLC/UVD와 FLD 분석을 위하여 SPE-NH₂ cartridge(Phenomenex[®])로 각각 정제하였다.

결과 및 고찰

시료 중 농약의 회수율

물 및 토양 시료 중 회수율 실험을 상기 방법에 따라 수행하여 분석법의 적합성을 살펴보았다. GLC/ECD로 분석한 chlorpyrifos, cypermethrin, diniconazole, endosulfan의 경우 물 시료에서 각각 87.8 (± 5.17)%, 79.5(± 4.16)%, 77.4(± 3.59)%, 77.5(± 2.53)%, 토양 시료에서 각각 79.8(± 2.24)%, 78.1(± 2.77)%, 73.7 (± 1.82)%, 85.0(± 5.60)%의 회수율을 보였다. HPLC/FLD, UVD로 분석한 carbendazim, carbofuran, dimethomorph의 경우 물 및 토양 시료 중 회수율은 각각 81.8(± 5.64)%, 86.9(± 6.41)% 및 88.5(± 4.21)%와 93.7 (± 3.97)%, 93.3(± 4.37)% 및 79.7(± 4.73)%로 모든 약제

에 대한 회수율이 70% 이상을 보여 상기 분석법은 본 실험을 수행하기에 타당하다고 판단하였다. 각 약제에 대한 최소 검출량 및 검출한계의 범위는 각각 0.01~2.0 ng, 0.002~0.04 mg kg^{-1} 이었다.

유출수 및 용탈수 중 농약 이동특성

태백 및 횡성 토양을 이용하여 인공강우를 실시 한 후 채취한 유출수 및 용탈수 중 시간 및 경사도별 농약 검출량에 대한 결과는 각각 그림 2, 3, 4, 5, 6 그리고 7에 나타내었다.

유출수 중 시간에 따른 농약 검출량을 비교한 결과, 태백토양의 경우 15%, 30% 경사도에서 수용해도가 낮은 cypermethrin(0.004 mg kg^{-1} in water)을 제외한 6종의 농약이 61% 이상 초기 60분 이내에 검출되었으나, 45% 경사도의 경우 7종 농약 모두 69% 이상 초기에 검출되었다. 횡성토양의 경우 15% 경사도에서는 7종 농약 모두 83% 이상 초기 60분 이내에 검출되었으나, 30%, 45% 경사도에서는 cypermethrin과 carbendazim을 제외한 5종의 농약이 60% 이상 초기에 검출되었다. 용탈수 중 시간에 따른 농약 검출량을 비교한 결과, 15%, 30% 경사도 태백토양의 경우 diniconazole을 제외한 6종의 농약이 42~78% 수준으로 초기 60분 이내에 검출되었다. 횡성 토양의 경우 carbendazim, carbofuran 및 dimethomorph는 47~77% 수준으로 초기 60분 이내에 검출되었다. 그러나 45% 경사도의 경우 태백 및 횡성 토양 모두 7종의 농약이 45~79% 수준으로 60분 이내에 검출되어 경사도에 따라 다소 상이한 경향을 보였다. 경사도별 농약 검출량은 경사가 심할수록 유출수 중 7종 농약의 검출량이 다소 높았다.

농약의 유출에 영향을 미치는 주요 요인은 강우의 양상과 경작지의 형태 또는 약제의 물리화학적 특성과 토양의 수분함량 등 다양하지만(Triplett *et al.*, 1978), 본 실험에서 주안점을 둔 토성, 경사도 및 약제의 물리화학적 특성만을 고려하여 농약의 이동성을 예측한다면, 초기 유출수에 검출되지 않았던 cypermethrin의 수용해도가 낮은 것을 감안하여 경사도에서 농약의 유출은 농약의 수용해도에 의존하는 것으로 판단된다.

용탈수의 경우도 수용해도가 낮은 chlorpyrifos(1.4 mg kg^{-1} in water), cypermethrin, diniconazole(4 mg kg^{-1} in water) 및 endosulfan(0.32 mg kg^{-1} in water) 등이 채취시기 후반에 많이 검출되어 유출수에서의 농약이동특성과 유사함을 보였다. 이는 김 등(1997c)이 수행한

농약의 토양 표면유출에 관한 연구에서 유출되는 농약의 양은 농약의 수용해도와 비례한다는 보고와 동일한 결과이며, 유출수 및 용탈수에서의 농약 검출량이 농약의 화학적 특성인 수용해도가 높은 농약들 순으로 시료 채취 초기에 다량 검출되는 것으로 보아 수용해도에 의존하여 수계로 쉽게 이동되는 것으로 판단되었다.

유출수와 용탈수 중 농약 검출량을 비교한 결과, 용탈수 보다는 유출수에서 더 많은 양의 농약이 검출되었으며, 황성 토양의 토성이 농약의 토양 흡착이 적은 사양토인 것을 감안한다면 이 토양 시험구의 용탈수에서 많은 양의 농약이 검출 되어야 하지만 (Sadeghi *et al.*, 2000), 강우가 토양 내로 침투 (infiltration)하여 용탈수와 함께 농약이 검출되는 것 보다는 유출수로 이동하는 경향이 크기 때문인 것으로 판단되었다.

토양 중 농약 이동특성

표 2는 태백과 황성 토양 중 경사도, 시료 채취 위치 및 토양 깊이 별 7종 농약의 잔류량을 나타내고 있으며, 이것으로 토성 및 경사도에 따른 이동성을 판단하였다.

토양 깊이별 농약 잔류량은 태백 및 황성 토양 모두 0-5 > 5-10 > 10-15 cm 순이었으며, 태백 토양의 경우 cypermethrin을 제외한 6종의 농약이 표토에서 43-91% 수준으로 검출된 반면 황성 토양의 경우는 7종 농약 모두 최고 99% 이상 표토에서 검출되었다. 이는 약제 처리 12시간 후 실험을 수행하였기에 토양 하부로의 이동이 용이하지 못하여 표토에서 가장 많이 검출된 것으로 판단되며, 경사도 및 시험구 상,하로의 이동도 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

본 실험에서 사용한 토양 중 농약 잔류경향은 토성에 따라 차이가 없었지만, sand 함량이 높은 사양토 (황성)보다는 clay 함량이 높은 미사질식양토(태백)에서 86% 이상 더 높은 농약의 잔류량을 보여 토양 중 농약 잔류량은 sand와 clay 함량에 크게 영향을 받는다는 일반적인 이론(van der Werf, 1996)에 일치하는 결론을 얻을 수 있었다.

그러나 시험구의 크기가 작고 단기적인 실험 수행으로 농약 이동성의 제한이 예상될 수 있기 때문에 향후 시험구 크기의 확대와 다양한 토성 및 자연조건과 같은 강우 세기, 처리기간 연장 등과 같은 연구의 보완이 필요하다고 사료된다.

시료(물 및 토양) 중 농약 이동성 비교

태백 및 황성 토양을 이용하여 인공강우 실험을 수행한 후 채취한 물(용탈수 및 유출수)과 토양 시료간 각 약제와 경사도별 농약이동성 비교를 각각 그림 8과 9에 나타내었다.

물과 토양 시료에서 검출된 농약의 총 양을 100으로 하고 이 중 물 및 토양 시료에 분포된 상대값을 비교하여 농약의 수계 이동성 및 토양 잔류성을 판단하였다.

그림 8과 9에서 보는 바와 같이 미사질식양토인 태백토양의 경우 chlorpyrifos, cypermethrin, diniconazole과 endosulfan은 54.6-98.8%가 토양에 잔류하였으나, 나머지 3 개의 약제들, carbendazim, carbofuran과 dimethomorph는 53.1-90.6%가 물 시료로 이동하였다. 반면 사양토인 황성 토양에서는 cypermethrin을 제외한 6종의 농약 모두 90%이상 물 시료로 이동한 것으로 나타나 토성에 따라 물 및 토양 이동성이 상이함을 알 수 있었다. 즉, clay 함량이 낮고 sand 함량이 높은 토양일수록 농약의 토양 흡착 보다는 유출수에 의한 수계로의 이동성이 높았다. 태백과 황성토양의 시험구 중 물 시료로의 농약이동성 증감을 비교한 결과 최저 11%에서 최고 71% 수준으로 황성 토양 시험구에서 물 시료로 더 많이 이동하는 것으로 나타났으며, 대체적으로 15% 경사도 보다는 45% 경사도에서 더욱 증가하여 경사가 심할수록 유출수 혹은 표토의 유실에 의해 농약이 쉽게 수계로 이동할 수 있는 것을 보여 주는 것이라 하겠다. 이와 같은 결과와 토성이 다른 두 시험구에서 보인 수용해도가 낮은 chlorpyrifos와 cypermethrin의 상이한 결과는 환경 중 여러 가지 요인들과 오랜 시간에 걸쳐서 일어나는 이동성 및 분해양상을 확인하지 못하는 실내실험이기 때문에 단정 짓기는 어려우나 물과 토양 간의 농약 이동성은 약제 자체의 특성 보다는 토성에 우선적으로 기인하는 것으로 사료된다.

이상의 실내인공강우를 이용한 농약 이동성 실험결과에서 물 시료 중 농약 이동성은 농약의 수용해도, 토양 중 농약 잔류성은 토성에 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 따라서 경사도가 심한 고랭지 경작지에서 병해충 방제를 위한 농약 사용은 일반적으로 사용할 것이 아니라 지역별 토성의 정확한 파악과 그에 상응하는 약제선택이 우선적으로 이루어져서 토양 및 수계오염을 최소화 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

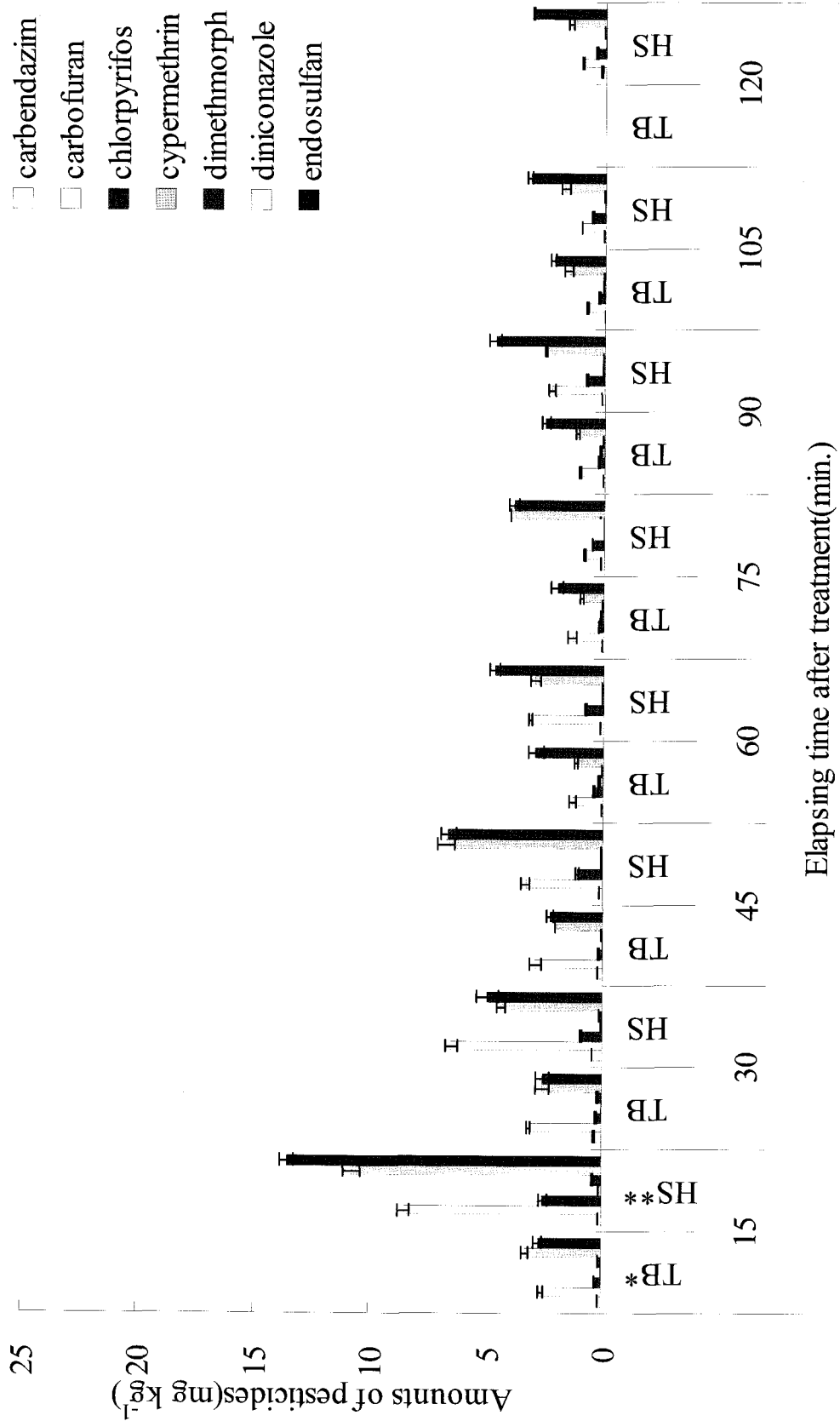


Fig. 2. Amounts of pesticides in run-off samples collected from Taebaek(TB) and Heongseong(HS) soils at 15% slope under controlled conditions.

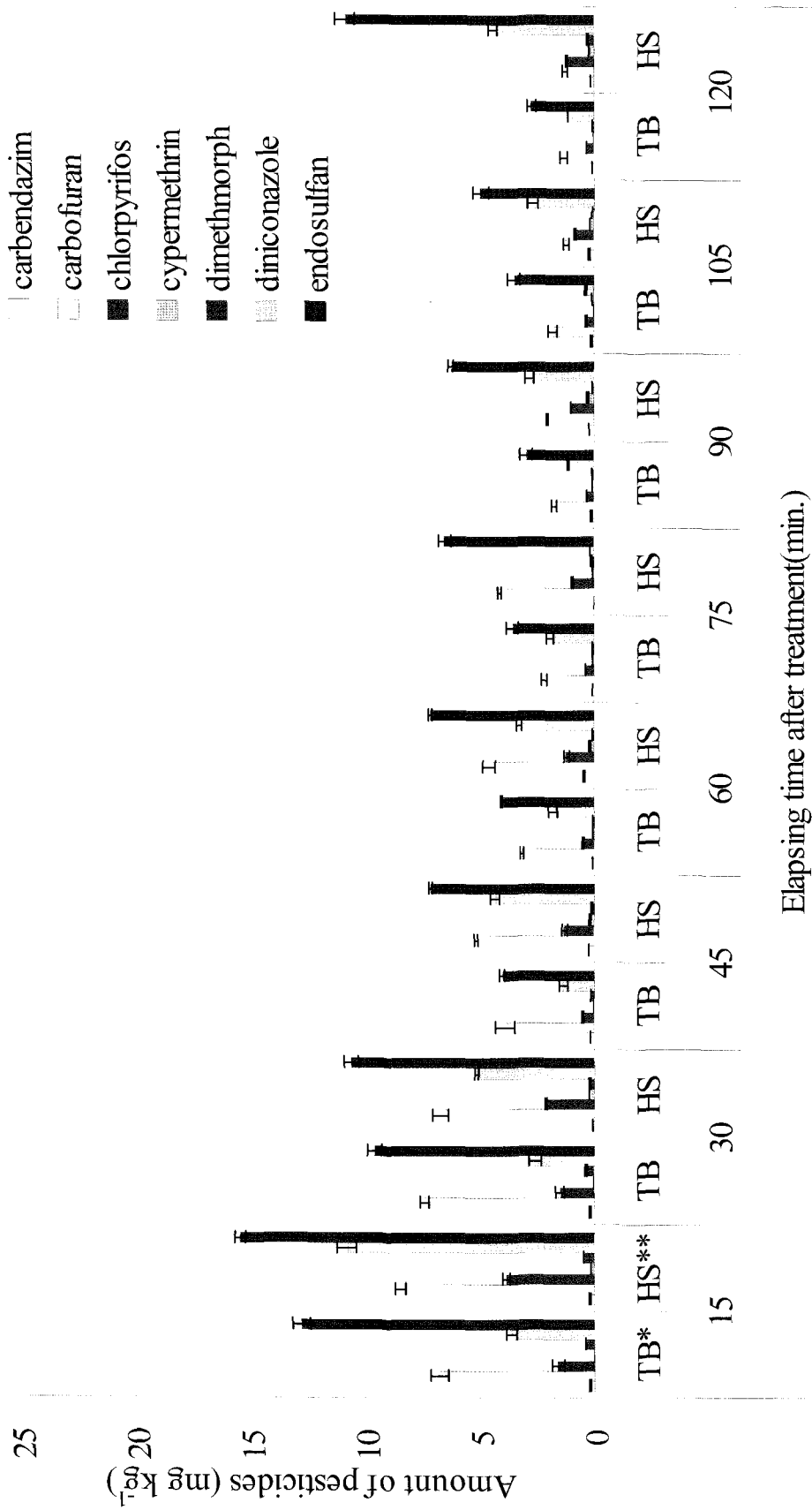


Fig. 3. Amounts of pesticides in run-off samples collected from Taebaek(TB) and Heongseong(HS) soils at 30% slope under controlled conditions.

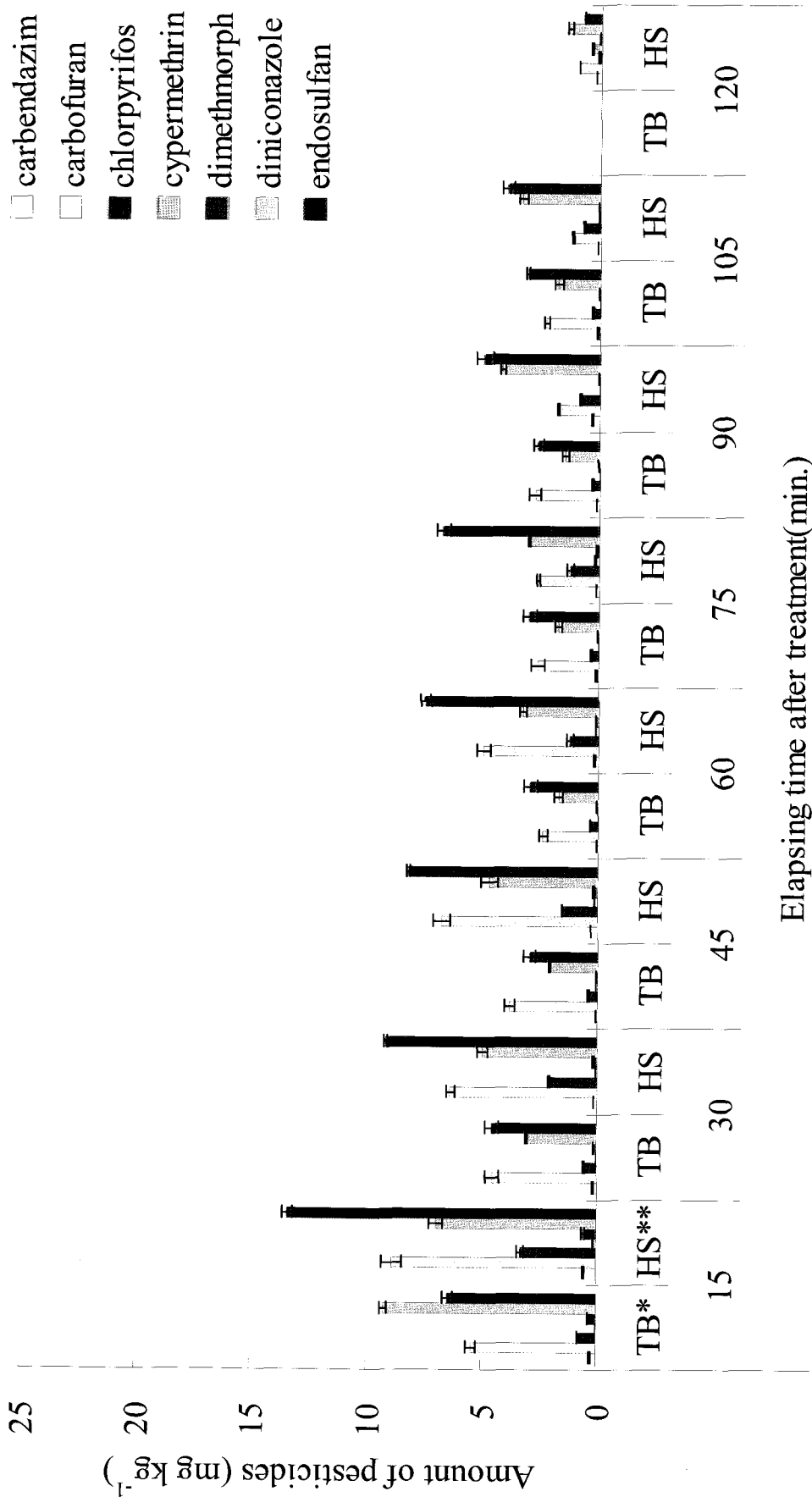


Fig. 4. Amounts of pesticides in run-off samples collected from Taebaeck(TB) and Heongseong(HS) soils at 45% slope under controlled conditions.

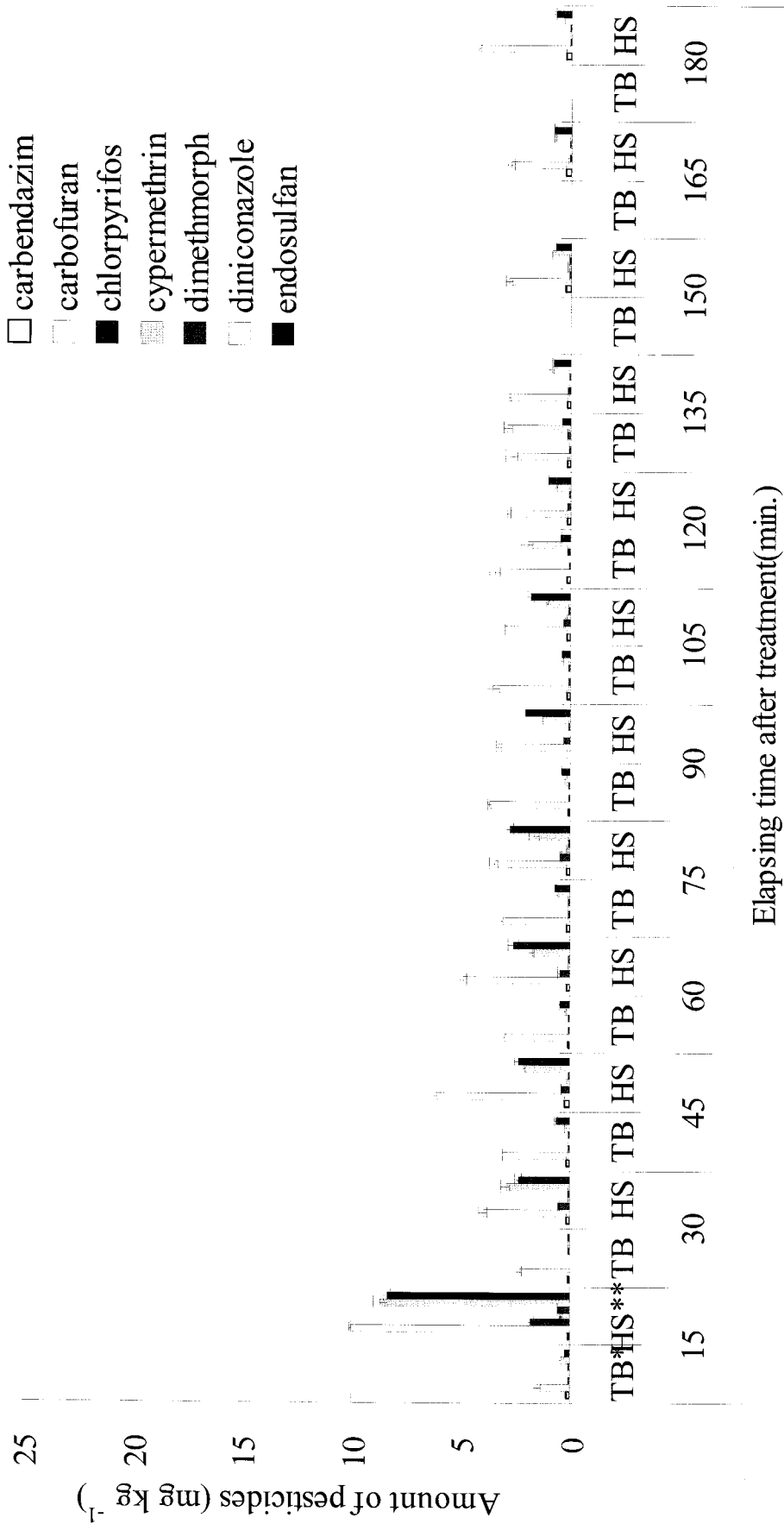


Fig. 5. Amounts of pesticides in leachate samples collected from Taebaek(TB) and Heongseong(HS) soils at 15% slope under controlled conditions.

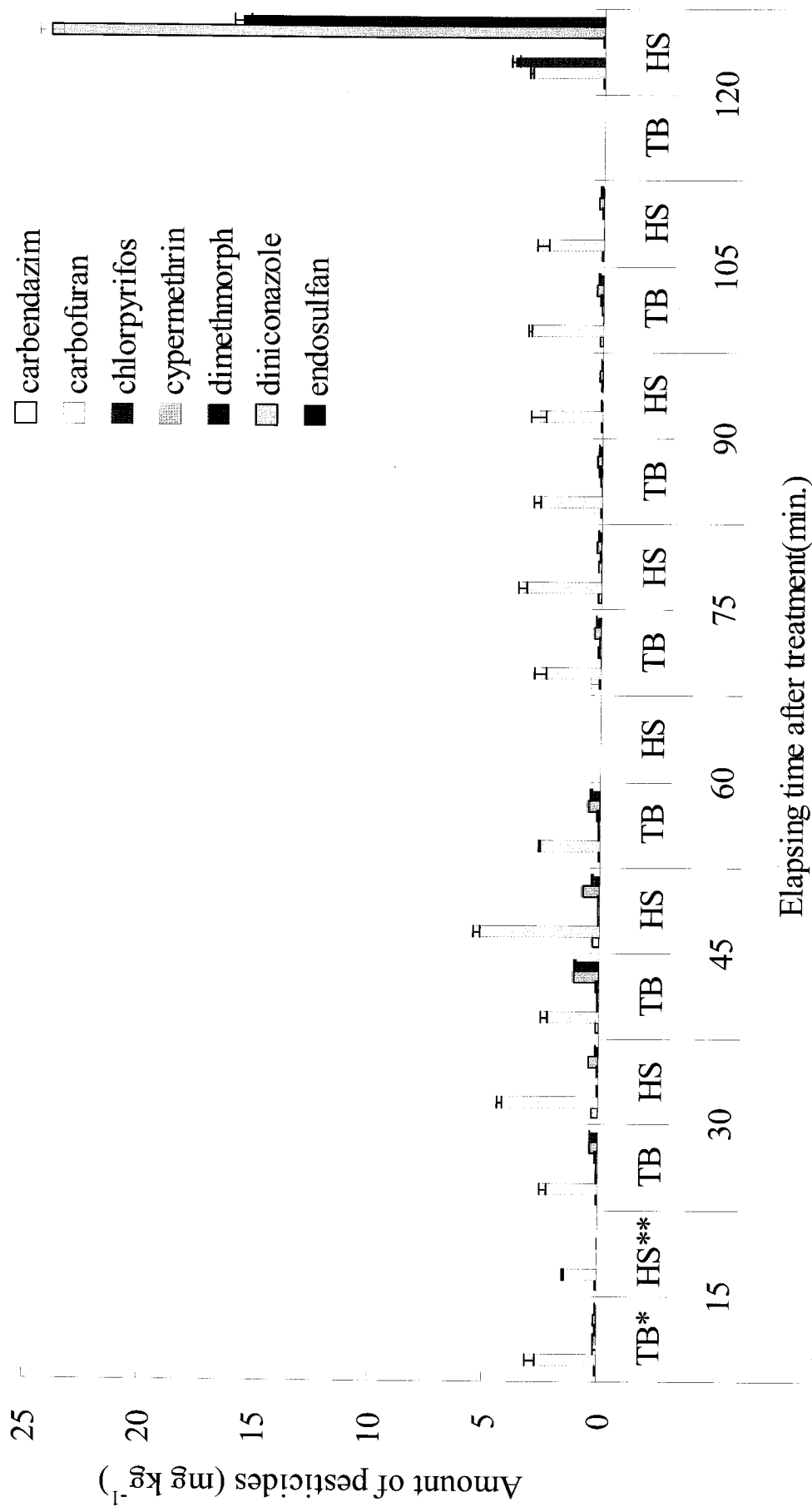


Fig. 6. Amounts of pesticides in leachate samples collected from Taebaek(TB) and Heongseong(HS) soils at 30% slope under controlled conditions.

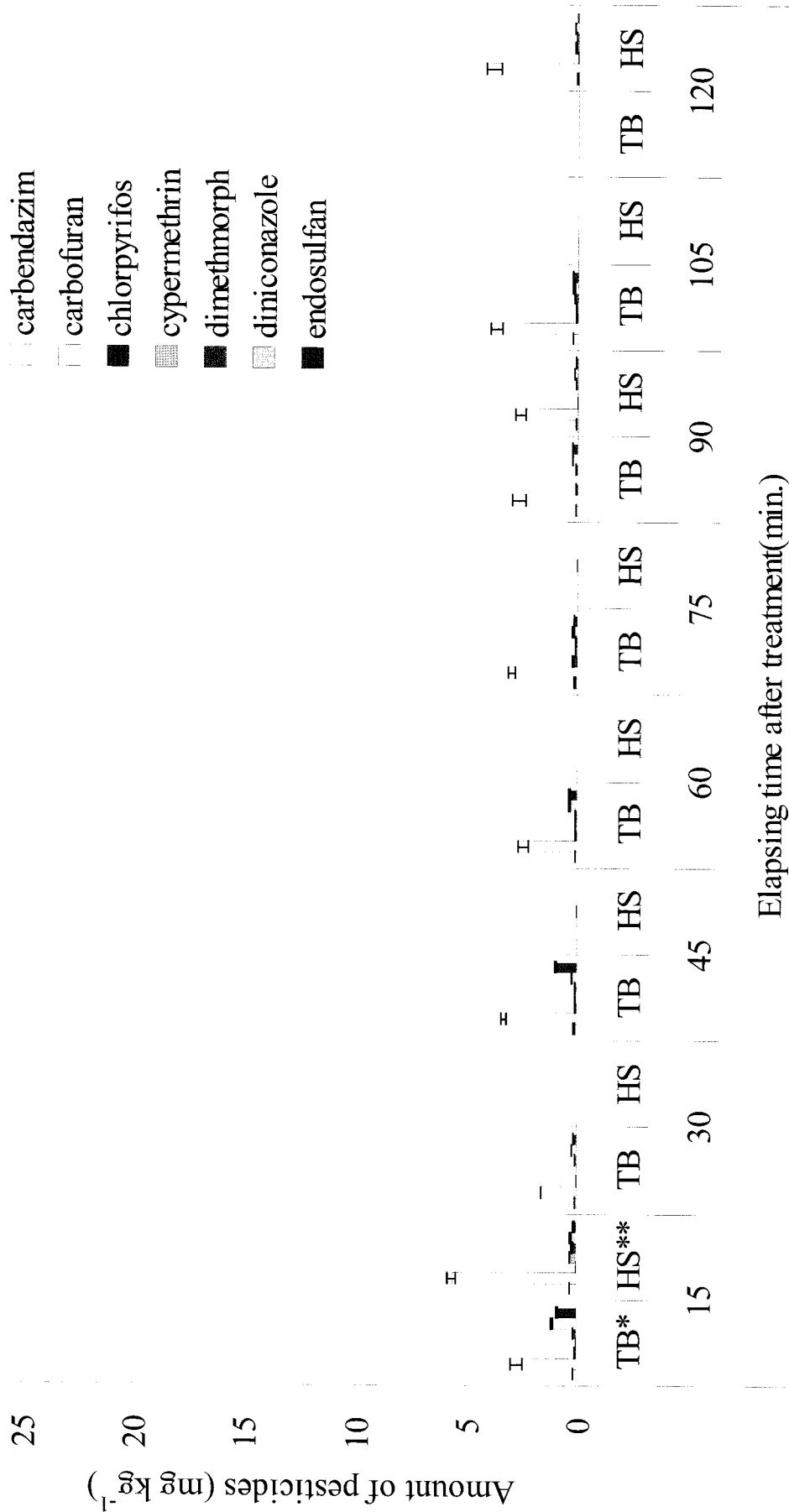


Fig. 7. Amounts of pesticides in leachate samples collected from Taebaek(TB) and Heongseong(HS) soils at 45% slope under controlled conditions.

Table 2. Influence of slopes and soil depths on movement of pesticides on Taebaek and Heongseong soils under controlled conditions (Unit : mg kg⁻¹)

Pesticides	Slope (%)	Sampling spots	Soil depths (cm)					
			0~5		5~10		10~15	
			TB ^{a)}	HS ^{b)}	TB	HS	TB	HS
Carbendazim	15	upper ^{c)}	0.14(±0.011)	0.16(±0.007)	0.11(±0.011)	0.06(±0.010)	0.06(±0.008)	0.01(±0.0002)
		lower ^{d)}	0.18(±0.023)	0.17(±0.014)	0.09(±0.011)	0.09(±0.012)	0.02(±0.003)	0.03(±0.004)
	30	upper	0.65(±0.025)	0.05(±0.005)	0.16(±0.027)	0.07(±0.006)	0.11(±0.010)	0.05(±0.006)
		lower	0.26(±0.015)	0.15(±0.007)	0.18(±0.016)	0.08(±0.008)	0.11(±0.008)	0.01(±0.001)
	45	upper	0.15(±0.012)	0.15(±0.012)	0.11(±0.016)	0.05(±0.004)	0.09(±0.006)	0.01(±0.001)
		lower	0.30(±0.015)	0.17(±0.010)	0.28(±0.038)	0.06(±0.002)	0.12(±0.013)	0.03(±0.005)
Carbofuran	15	upper	0.97(±0.047)	1.49(±0.165)	0.16(±0.024)	0.06(±0.004)	0.57(±0.038)	0.01(±0.001)
		lower	2.12(±0.269)	2.81(±0.223)	0.51(±0.010)	0.39(±0.069)	0.06(±0.007)	0.02(±0.010)
	30	upper	2.73(±0.165)	1.42(±0.225)	0.23(±0.022)	0.06(±0.008)	0.05(±0.007)	0.01(±0.0001)
		lower	1.31(±0.081)	1.08(±0.086)	0.23(±0.018)	0.07(±0.014)	0.35(±0.029)	0.01(±0.001)
	45	upper	1.92(±0.295)	2.38(±0.370)	0.28(±0.049)	0.04(±0.006)	0.01(±0.001)	0.01(±0.0001)
		lower	3.87(±0.333)	2.15(±0.037)	0.73(±0.043)	0.03(±0.005)	0.03(±0.005)	0.001(±0.0002)
Chlorpyrifos	15	upper	3.38(±0.412)	3.29(±0.351)	2.21(±0.415)	0.59(±0.068)	0.65(±0.106)	0.05(±0.002)
		lower	8.55(±0.319)	3.04(±0.540)	1.16(±0.111)	1.91(±0.080)	0.12(±0.007)	0.05(±0.009)
	30	upper	8.03(±0.160)	2.61(±0.076)	1.97(±0.377)	0.44(±0.027)	0.24(±0.024)	0.03(±0.001)
		lower	7.40(±0.286)	1.99(±0.348)	2.54(±0.452)	0.94(±0.099)	1.76(±0.034)	0.01(±0.003)
	45	upper	8.75(±0.385)	2.31(±0.148)	1.53(±0.162)	0.50(±0.003)	2.24(±0.096)	0.02(±0.003)
		lower	9.20(±0.145)	3.82(±0.228)	2.01(±0.010)	0.57(±0.052)	3.45(±0.037)	0.03(±0.001)
Cypermethrin	15	upper	0.86(±0.114)	2.15(±0.245)	3.32(±0.225)	0.26(±0.024)	0.19(±0.006)	0.08(±0.014)
		lower	3.09(±0.064)	1.32(±0.130)	0.24(±0.033)	0.47(±0.048)	0.23(±0.024)	0.13(±0.003)
	30	upper	2.83(±0.514)	1.03(±0.021)	0.36(±0.040)	0.12(±0.016)	0.12(±0.011)	0.02(±0.0005)
		lower	2.43(±0.232)	1.12(±0.085)	0.43(±0.024)	0.15(±0.012)	0.58(±0.045)	ND ^{e)}
	45	upper	3.50(±0.356)	1.32(±0.153)	0.96(±0.043)	0.15(±0.005)	6.92(±0.075)	0.01(±0.001)
		lower	3.54(±0.384)	2.26(±0.184)	0.69(±0.066)	0.25(±0.003)	12.40(±1.520)	0.01(±0.002)
Dimethomorph	15	upper	0.13(±0.014)	0.12(±0.019)	0.04(±0.007)	0.01(±0.001)	0.01(±0.001)	0.03(±0.001)
		lower	0.26(±0.032)	0.09(±0.015)	0.02(±0.003)	0.03(±0.005)	0.01(±0.001)	ND
	30	upper	0.25(±0.039)	0.08(±0.013)	0.22(±0.013)	0.01(±0.001)	0.03(±0.005)	ND
		lower	0.01(±0.0004)	0.11(±0.009)	0.04(±0.005)	0.02(±0.002)	0.02(±0.003)	ND
	45	upper	0.12(±0.016)	0.11(±0.006)	0.03(±0.006)	0.01(±0.002)	0.01(±0.001)	ND
		lower	0.18(±0.035)	0.15(±0.015)	0.04(±0.002)	0.01(±0.002)	0.01(±0.001)	ND
Diniconazole	15	upper	3.81(±0.504)	8.29(±0.280)	3.72(±0.152)	0.47(±0.052)	0.29(±0.038)	0.03(±0.003)
		lower	12.11(±1.492)	5.04(±0.325)	1.15(±0.039)	2.65(±0.104)	0.08(±0.005)	0.03(±0.001)
	30	upper	8.76(±0.539)	4.62(±0.271)	2.23(±0.024)	0.16(±0.030)	0.23(±0.011)	0.02(±0.001)
		lower	7.88(±0.622)	3.63(±0.255)	3.21(±0.152)	0.70(±0.003)	2.04(±0.032)	0.01(±0.003)
	45	upper	10.16(±0.110)	5.59(±0.419)	0.81(±0.080)	0.70(±0.014)	2.44(±0.084)	0.01(±0.0003)
		lower	10.43(±1.721)	7.69(±0.490)	3.10(±0.074)	1.07(±0.043)	1.97(±0.111)	0.01(±0.001)
Endosulfan	15	upper	11.49(±1.050)	11.94(±1.371)	5.02(±0.156)	1.60(±0.122)	2.07(±0.078)	0.06(±0.003)
		lower	22.06(±2.162)	9.33(±0.230)	2.71(±0.009)	6.79(±0.202)	0.12(±0.016)	0.04(±0.004)
	30	upper	20.45(±1.731)	8.87(±0.614)	5.20(±0.143)	1.33(±0.085)	0.77(±0.041)	0.02(±0.003)
		lower	18.45(±2.437)	8.36(±0.255)	6.23(±0.164)	2.58(±0.198)	3.68(±0.371)	0.02(±0.002)
	45	upper	23.08(±2.180)	8.05(±0.036)	3.63(±0.163)	1.10(±0.072)	2.28(±0.143)	0.01(±0.002)
		lower	21.67(±2.593)	1.40(±0.993)	4.39(±0.207)	1.82(±0.229)	4.84(±0.436)	0.03(±0.001)

a) Taebaek, b) Heongseong, c) upside of sloped plot, d) bottom of sloped plot, e) not detected

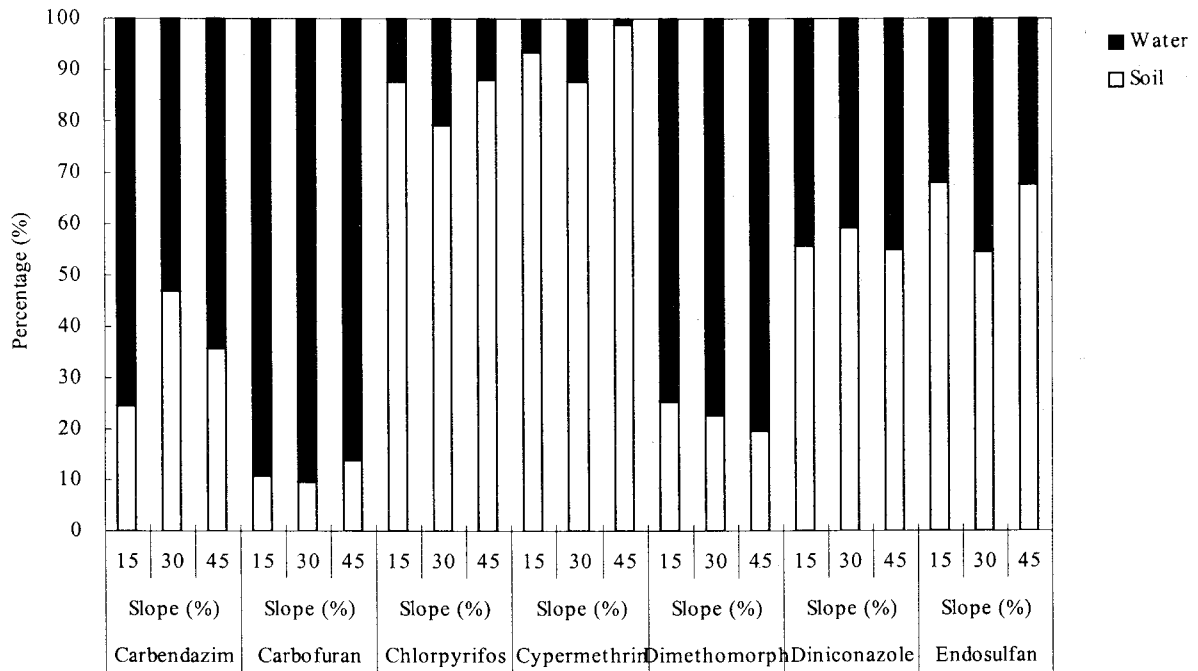


Fig. 8. Comparison of pesticide mobility to soil and water samples in Taebaek soils.

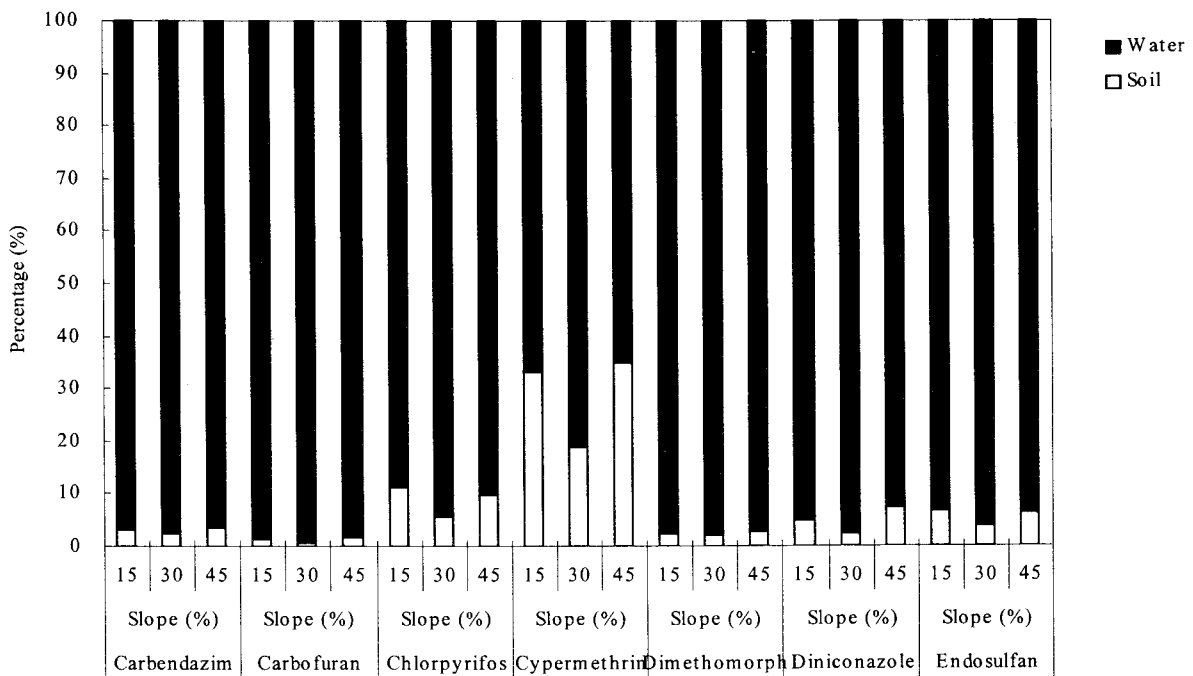


Fig. 9. Comparison of pesticide mobility to soil and water samples in Heongseong soils.

감사의 글

인용문헌

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구과제인 ‘고랭지 경사지 토양의 농약오염특성 및 농약투입저감방안’의 일환으로 수행되었습니다. 연구비를 지원해준 농촌진흥청에 깊은 감사를 드립니다.

Baker, J. L., J. M. Laflen and R. O. Hartwig (1982) Effects of corn residue and herbicide placement on herbicide runoff losses. *Trans ASAE* 25:340~343.
 Felsot, A. S., J. K. Michell and A. L. Kenimer (1990)

- Assessment of management practices for reducing pesticide runoff from sloping cropland in Illinois. *J. Environ. Qual.* 19:539~545.
- Kenimer, A. L., S. Mostaghimi, R. W. Young, T. A. Dillaha and V. O. Shanholtz (1987) Effects of residue cover on pesticide losses from conventional and no-tillage systems. *Trans ASAE* 30:953~959.
- Sadeghi, A. M., A. R. Isensee and A. Shirmohammadi (2000) Influence of soil texture and tillage on herbicide transport. *Chemosphere.* 41:1327~1332.
- Triplett, G. B. Jr., B. J. Conner and W. M. Edwards (1978) Transport of atrazine and simazine in runoff from conventional and no-tillage corn. *L. Environ. Qual.* 7:77~84.
- van der Werf, H. M. G. (1996) Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric. Ecosys. Environ.* 60:81~96.
- 강원지방기상청 (2004) Internet. Available at <http://gangwon.kma.go.kr/new>.
- 고령지농업시험장 (2000) 고령지 채소재배기술. p. 561.
- 김균, 김정환, 박창규 (1997a) 강우에 의한 농약의 토양 표면유출 특성. *한국환경농학회지* 16(3):274~284.
- 김균, 김정환, 이성규, 김용화 (1997b) 농약의 물리화학적 특성연구(I) Captafol의 수용성, 가수분해, 증기압, 옥탄올/물 분배계수. *한국농화학회지* 40(1): 71~75.
- 김균, 염동혁, 김정환, 이성규, 김용화, 박창규 (1997c) 농약의 토영 포면유출에 관한 연구-III 실내에서 인공강우에 의한 농약의 유출특성. *한국농화학회지* 40(4):334~341.
- 김경주, 김성수, 김성문, 허장현 (2003) Chlorpyrifos 저항성 배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)의 살충제 저항성 특성. *농약과학회지* 7(4):288~295.
- 김성문, 최해진, 김희연, 이동경, 김태한, 안문섭, 허장현 (2002) 강원도 고냉지대 배추 경작자들의 농약 사용 실태. *농약과학회지* 6(4):250~256.
- 박동식, 김태한, 김성수, 이상민, 김성문, 허장현 (2004) 강원도 고랭지 배추경작지의 토양 및 수질 중 농약오염 실태. *농약과학회지* 8(3):189~197.
- 박철수 (2002) 고랭지 농경지의 유실방지를 위한 토양 관리방법. 강원대학교 대학원 박사학위논문.
- 정영호, 김장억, 김정환, 이영득, 임치환, 허장현 (2000) 최신 농약학 p.570.

Mobility of pesticides in different slopes and soil collected from Gangwon alpine sloped-land under simulated rainfall conditions

Seong-Soo Kim, Tae-Han Kim, Sang-Min Lee, Dong-Sik Park, Zhu Yong-Zhe¹ and Jang-Hyun Hur* (*Department of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Republic of Korea; ¹Laiyang Agricultural College, Qingdao, 266-109, China*)

Abstract : Mobility of pesticides can be occurred by run-off and leachate or soil erosion. It is one of the most important factors for environmental contamination, particularly in steep sloped-land as Gangwon alpine region. In this study, the mobility of seven pesticides in different slopes and soil textures was investigated by simulated rainfall under controlled conditions. Simulated rainfall subjected to 60 mm hr⁻¹ was treated using rainfall simulator after 12 hr of pesticide treatment. Amounts of the pesticides were measured in run-off and leachate samples. The soil samples collected after rainfall from upper and lower parts and three different depths of sloped-plot were also analyzed. At result, all pesticides from the run-off samples collected from Taebaek(silty clay loam) and Heongseong(sandy loam) soils were detected maximum 96% within 60 minutes after first collection except carbendazim and cypermethrin which have the lowest water solubilities. From the leachate samples, a similar pattern was shown as run-off samples but amount of pesticides was lower than those of run-off samples. In soil samples, the order of the amount of pesticide residues was 0~5 > 5~10 > 10~15 cm of soil depth and no pattern was shown in upper and lower, and different slopes. Comparing to mobility of pesticides in water and soil samples, pesticides in soil samples were higher than those of water samples in Taebaek soil. However, the results using Heongseong soils were in contrast to those of Taebaek soil. These results revealed that mobility of pesticides can be dependant mainly on soil textures and physicochemical properties of pesticides. Therefore, it can be suggested that selection of pesticides should be considered for soil texture and properties of pesticide in the alpine and sloped-land.

Key words : alpine and sloped-land, run-off, leachate, soil texture, pesticide residue, pesticide mobility

* Corresponding author (Fax : +82-33-241-6640, E-mail : jhhur@kangwon.ac.kr)