

살균제 hexaconazole의 흡착 및 용탈 특성

경기성* · 이병무 · 임양빈 · 이영득¹ · 한성수² · 최주현 · 김진화 · 류갑희 · 이재구³

농업과학기술원 농산물안전성부, ¹대구대학교 농화학과, ²원광대학교 농화학과, ³충북대학교 농화학과

요 약 : 살균제 hexaconazole의 용탈 가능성을 평가하기 위하여 토양 흡착과 담수토양중 용탈을 시험하였다. 토양흡착성은 Freundlich 흡착등온식에 부합하였으며, Kf값은 10.56-18.01로써 토양 용탈성은 매우 낮은 것으로 예측되었다. Hexaconazole의 용탈량은 숙성잔류물 함유 토양보다는 신생잔류물 함유 토양에서, 벼 무재배구보다는 벼 재배구에서 높게 나타났으며, 컬럼 표토에 처리한 방사능의 대부분 약 86-99%가 표토로부터 5 cm 부위에 분포하였다. 이상의 결과와 K_{oc}값이 1,400-1,552이고 Groundwater Ubiquity Score (GUS) index가 1.25-1.35인 점을 고려할 때 hexaconazole은 비용탈성 농약(improbable leacher)으로 분류되어 수도재배지에서의 용탈 가능성은 매우 낮은 것으로 평가되었다.(2004년 2월 26일 접수, 2004년 3월 24일 수리)

Key words : hexaconazole, leaching, GUS index, adsorption.

서 론

환경중에 살포된 농약은 궁극적으로 토양에 집적되는데 토양에 유입된 농약은 토양중에서 토층을 통과하여 이동하게 된다. 토양중 이동성이 큰 농약은 지하수를 오염시킬 수 있기 때문에 농약의 환경중 행적을 구명하고 안전성을 평가함에 있어 농약의 토양중 용탈성은 매우 중요한 요소중의 하나이다(US EPA Guideline, 1998). 농약에 의한 지하수의 오염은 농약의 토양중 이동성과 지하수의 위치에 의하여 영향을 받는데 토양중 이동성이 크고 지하수면이 토양표면으로부터 가까울수록 농약에 의한 지하수의 오염가능성은 더 커지는 것으로 보고되었다(Yen 등, 1997).

농약의 용탈성은 실제 환경조건과 유사하게 제작한 lysimeter를 이용하여 방사성 추적자법으로 시험하는 것이 가장 합리적이거나 과량의 방사성 동위원소와 이를 사용할 수 있는 특수시설이 필요할 뿐만 아니라 사용 후 폐기물의 처리 등의 문제점 때문에 보다 간편하고 표준화된 토양 컬럼을 이용하고 있다(BBA, 1986). 토양이 충전된 유리컬럼을 이용하여 토양표면에 처리된 농약의 컬럼내 이동성을 조사하면 실제 포장에서 이루어지고 있는 용탈작용에 대하여 기초자료를 얻을 수 있으므로 포장에서의 용탈성을 예측할 수

있다.

Hexaconazole은 영국의 Zeneca에서 개발된 Triazole계 침투성 농약으로 ascomycetes와 basidimycetes에 예방과 치료효과가 뛰어나 국내에서는 벼 잎집무늬마름병 등 여러 작물에 되어 사용되고 있다(Chen 등, 1996; 농약사용지침서, 2002). 이 농약의 수용해도는 0.017 g/L이며, 가수분해와 광분해에 안정한 화합물이며, 쥐에 대한 급성경구독성은 LD₅₀이 2,189 mg/kg 이상이고 경피 및 안구독성이 2,000 mg/kg 이상으로 독성은 매우 낮은 편이다. 생태계 생물에 대한 LC₅₀는 물벼룩 2.9 mg/kg, 무지개 송어 3.4 mg/kg으로 알려져 있으며, 독성이 EPA IV급으로 분류된 살균제이다(The Pesticide Manual, 2000).

Harradine과 Atreya(1989)의 연구결과에 따르면 hexaconazole의 소실과 용탈특성을 시험하기 위하여 영국의 여러 지역의 밀도가 높지 않게 밀을 재배중인 토양에 498-592 g ai/ha로 1회 살포한 후 732일간 시험하여 얻은 반감기는 60-90일이었으며, 처리 367-384일 후에도 총처리량의 11-31%가 토양에 잔류하였다고 하였으며, 그 후 12개월 동안은 현저한 분해 및 소실은 일어나지 않아 처리 2년 후에도 처리량의 4-20%가 토양에 잔류하였다고 하였다. 또한 앞에서 설명한 조건에서 토양 표면에 처리한 hexaconazole은 주로 토양 표토로부터 0-15 cm 층위에 분포하였다고 하였다.

Harradine 등(1989)이 hexaconazole의 토양 중 소실

*연락처

Table 1. Physicochemical properties of the soils used

Soil	pH	Organic matter (%)	C.E.C (Cmol ⁺ /kg)	Sand	Silt (%)	Clay	Texture
Ansan, A	5.3	2.0	9.1	53.9	29.6	16.5	SL ^{a)}
Suwon, B	5.6	1.3	8.1	50.3	20.8	28.9	SCL ^{b)}

^{a)}Sandy loam, ^{b)}Sandy clay loam

및 용탈 가능성을 알아 보기 위하여 스페인의 여러 지역에서 수행한 연구보고에 의하면 hexaconazole을 500 g ai/ha로 과수원 내에 위치한 토양과 3엽기의 콩을 재배중인 토양에 1회 처리했을 때 hexaconazole은 신속하게 소실되어 반감기가 10-25일이었으며, 처리 18개월 후에 토양 중 잔류량은 총처리량의 9%까지 감소하였다고 하였다. 또한 상기 조건에서 토양에 처리한 hexaconazole은 주로 표층의 0-5 cm 층위에 분포하였다고 하였다.

Singh(2002)는 5종의 인도 토양에 대한 hexaconazole의 흡착-탈착 시험에서 흡착등온식은 Freundlich 식에 잘 부합되었으며, Freundlich 흡착상수 ($K_f(1/n)$)은 토양 중 유기탄소 (OC)함량과 밀접한 관련이 있어 triazole계 농약의 토양흡착에는 OC가 주요 요인이라고 보고하였다. 또한 triazole계 농약의 토양으로부터 탈착은 이력현상(hysteresis)을 보여 토양을 1회 세척하였을 때 30-60%가 토양에 남아 있었다고 보고하였다.

그러나 적용 범위가 매우 넓어 전세계적으로 많이 사용되고 있는 triazole계 살균제인 hexaconazole의 환경중 용탈행적에 관한 연구보고는 많지 않은 편이다.

따라서 물리화학적 특성이 다른 2종의 토양에 베틀담수재배하면서 토양의 물리화학적 특성과 작물재배유무에 따른 hexaconazole의 토양중 용탈 특성을 구명하고자 이 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

시험토양

시험에 사용한 토양은 안산시 팔곡동 소재 논토양(토양 A)과 수원시 권선구 당수동 소재 논토양(토양 B)을 사용하였다. 시험토양은 벼 재배지 논에서 표토를 걷어내고 토심 10 cm 깊이의 토양을 채취하여 음건한 후 2 mm 체를 통과시켜 사용하였으며, 각 토양의 물리화학적 특성은 다음 표 1에서 제시하였다. 또

한 토양의 속성여부에 따른 hexaconazole의 용탈 특성을 알아보기 위하여 사용한 토양 속성잔류물 함유 토양은 속성후의 전체 농도가 0.2 ppm이 되도록 ¹⁴C-표지(185 MBq/kg) 및 비표지 hexaconazole을 처리하고 최대용수량의 90%에 상당하는 증류수를 가한 다음 22±1℃의 수조상에서 soda lime으로 CO₂를 제거한 공기를 펌프로 공급하면서 호기적으로 28일간 숙성하여 조제하였다.

시험 화합물

시험에 사용한 [¹⁴C]hexaconazole (triazole환-¹⁴C 표지, 비방사능 18.5 MBq/mg, 순도 99.3%)과 비표지 hexaconazole(순도 98.0%)은 Zeneca Agrochemicals에서 분양 받아 사용하였으며, 그 화학구조와 표지 위치는 그림 1에서 보는 바와 같다.

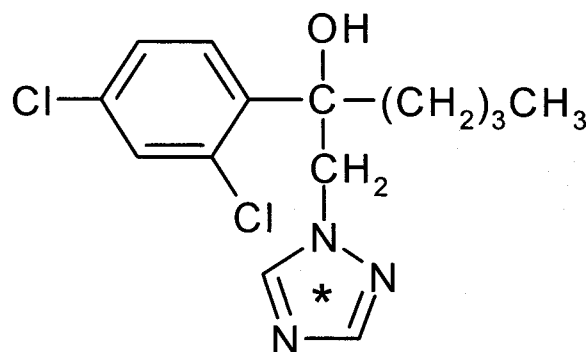


Fig. 1. Structural formula and ¹⁴C-labelled position (*) of hexaconazole ((*RS*)-2-(2,4-dichlorophenyl)-1-(1*H*-1,2,4-triazol-1-yl)hexan-2-ol). Specific activity : 18.5 MBq/mg

토양 흡착시험

Hexaconazole의 토양흡착시험은 OECD guideline (OECD, 1999)과 임(1999)의 방법에 따라 2.286 kBq의 [¹⁴C]hexaconazole과 비표지 화합물을 가하여 전체농도가 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0 mg/L가 되도록 용액을 조제한 후 약 2.5 g의 시험토양에 조제된 시험용액을

각각 10 mL씩 넣고 상온에서 24 시간 동안 200 rpm의 속도로 진탕 흡착시킨 다음 12,000 g에서 15분간 원심분리하여 취한 상정액 1 mL의 방사능을 계측하여 최초처리 방사능과의 차이를 역산하여 토양 흡착량을 구하였다. 토양 흡착량을 토양무게로 나누어 토양중 흡착농도를 구하고 용액중 농도를 평형농도로 한 Freundlich 흡착등온식을 이용하여 토양별 흡착상수 (K_f)와 기울기 ($1/n$)를 구하였다.

토양중 화합물의 이동성 지표로 사용되는 유기탄소의 분배계수 (K_{oc})는 흡착상수에 100과 상수 1.724를 곱한 다음 시험토양의 유기물 함량 (% OM)으로 나누어 구하였다. 토양에서 화합물의 지하수 오염가능성을 예측하는데 사용하는 Groundwater Ubiquity Score Index(GUS index)는 시험약제에 대한 국내 토양 반감기를 구하여 토양 유기탄소의 분배계수를 사용하여 GUS index를 구하였다.

용탈시험

Hexaconazole의 논토양 중 용탈특성을 조사하기 위하여 신생(fresh) 및 숙성(aged) 잔류물이 함유된 2종의 시험 토양을 대상으로 작물재배 유무에 따른 용탈 시험을 수행하였다.

토양 컬럼은 그림 2에서 보는 바와 같이 Pyrex glass column (내경 5 cm × 높이 34 cm)의 밑부분을 유리솜으로 막고 토층 밑부분까지 바다모래로 채운 후 2 mm 체를 통과시킨 토양 A와 B를 진동시키면서 30 cm 높이가 되도록 충전하였다. 충전 후 시험약제의 처리를 위하여 상부로부터 약 40 g의 토양을 제거하고 column 하단부를 토양수에 담가 모세관 상승력에 의하여 토양이 수분으로 포화되도록 하였다. 토양 컬럼에 추정며 35일 유묘 2주를 이양하고 담수상태에서 3일간 방치하였으며, 대조구로 벼를 재배하지 않은 컬럼을 추가하였다. 토양 컬럼에 대한 일광과 온도의 영향을 방지하기 위하여 컬럼의 외부는 단열처리하였다.

약제 처리는 신생 잔류물의 경우 앞서 제거한 40 g의 토양에 hexaconazole 전체농도가 0.2 mg/kg이 되도록 표지 및 비표지 화합물을 소량의 acetone에 녹여 처리한 후 용매를 완전히 날려 보내고 골고루 혼화하여 담수상태의 토양 컬럼 상부에 충전하였다. 숙성 잔류물의 경우는 이미 형성시킨 숙성 토양을 충전하였으며, 약제처리 후 수심이 2 cm가 되도록 담수하였

다.

용탈수는 수원 지방의 1993년 이후 10년간 6, 7, 8, 3개월 평균 강우량으로부터 구한 1일 강우량에 해당하는 18.3 mL/일의 속도로 용탈시켰으며, 1주일 간격으로 수집하여 용탈수중 방사능을 측정하였다. 또한 용탈 28일 후 컬럼을 해체하고 벼 시료를 분리한 후 토양시료를 5 cm 깊이로 채취하였다.

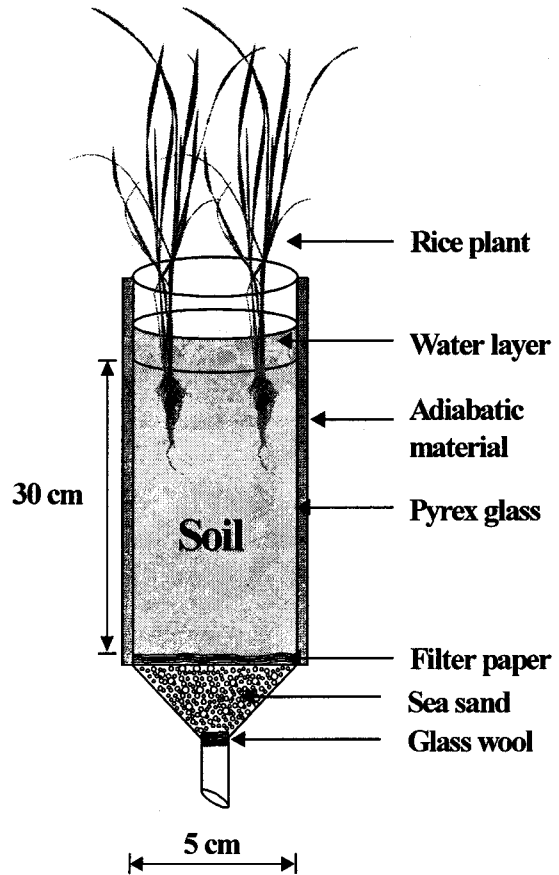


Fig. 2. Dimension of soil column for leaching experiment.

토양, 식물체 및 용탈수중 방사능 계측

토양과 식물체 중 방사능은 마쇄한 시료 0.3 g(식물체 0.2 g)을 Biological oxidizer(Model 307, Packard, U.S.A.)로 2분간 연소시켜 발생한 $^{14}CO_2$ 를 7 mL의 Carbo-sorb[®]E (Packard, U.S.A.)에 흡수시킨 후 8 mL의 Permafluor[®]E (Packard, U.S.A.)를 첨가하여 LSC로 방사능을 계측하였다. 유기용매에 녹아 있는 시료의 방사능은 유기용매를 완전히 휘발시킨 후 Ready-organic (Packard, U.S.A.) 15 mL를 첨가한 후 LSC로 방사능을 측정하였다. 용탈수중 방사능은 용탈수 5 mL에 15 mL의 Aquasol (DuPont, NEN Research Products,

U.S.A.)를 첨가한 후 4°C의 암소에서 24시간 안정시킨 후 방사능을 계측하였다.

용탈시험이 끝난 토양 컬럼으로 부터 지상부의 버를 빼어 내고 물을 제거한 후 -30°C에서 냉동시켰으며, column 속의 토양을 표층으로부터 5 cm 간격으로 절단하여 버 뿌리를 회수한 후 음건하여 방사능을 계측하였다.

결과 및 고찰

토양 흡착성

이 시험에 사용된 논토양 2종(토양 A와 토양 B)에 대한 시험약제인 hexaconazole의 흡착성을 시험하였다. Hexaconazole의 농도별 흡착량은 그림 3에 나타낸 바와 같이 Freundlich 등온흡착식에 잘 부합하였다.

$$\text{Freundlich 등온흡착식 } x/m = K_f \cdot C^{1/n}$$

(여기서 x/m : 흡착평형시 토양질량당 hexaconazole 흡착량, C : 흡착평형시 용액 중 hexaconazole 농도)

회귀식으로부터 구한 Freundlich 흡착상수(K_f)와 $1/n$, 토양 유기물 함량으로 보정한 Koc값 그리고 토양중 반감기와 흡착상수로부터 산출되는 이동성 지표인 GUS 값을 표 2에 나타내었다. Freundlich 흡착상수(김과 김, 1990)를 조사한 결과 토양 A(유기물함량 : 2.0%)와 토양 B (유기물함량 : 1.3%)가 10.56과 18.51로 토양 A가 높았다. 토양 A의 흡착상수가 높은 것은 임과 봉(1992)이 국내 토양통에 대한 제초제의 흡착에 관한 연구보고에서 토양 유기물 함량이 흡착 특성에 가장 큰 영향을 주는 것으로 조사한 것을 감안할 때 토양 A의 유기물함량이 토양 B에 비하여 더 높았기 때문이라 생각된다.

화합물의 토양 중 이동성의 지표로 사용되는 토양 유기탄소에 기준한 분배계수(K_{oc})를 Sundaram 등(1997)의 식을 이용하여 계산한 결과, 토양 A와 토양 B에서 각각 1,552와 1,400으로 유사한 값을 나타내었다. 이러한 Koc 값을 영국 SSLRC (Soil Survey and Land Research Center)에서 제안한 기준으로 분류하면 slightly mobile (Koc 500-4000) 등급에 해당하는데 이는 정상적 수분이동에 따라 토양 표면의 hexaconazole이 토양 수 cm 까지만 이동가능함을 나타낸다. 즉 논토양 중 hexaconazole의 용탈 가능성은 제한적이며, 이

에 따라 용탈로 인한 지하수 오염과 같은 문제를 야기할 가능성은 희박함을 시사하였다.

그러나 이러한 Koc값만으로는 예측은 농약의 토양 중 안정성 인자를 고려하지 않고 있어 농약의 잔류성이 길 경우 많은 편차를 유발할 수 있다. 이러한 점을 감안하여 농약의 토양잔류성 요소를 추가한 GUS 지수가 용탈 잠재성에 대하여 보다 높은 신빙성을 나타내는 지표로 사용된다. 본 연구의 예비실험에서 조사한 hexaconazole의 토양 A와 B에서의 반감기를 대입하여 구한 GUS 지수는 1.25-1.35의 범위였다. 이러한 수치는 GUS 지수별 용탈성 구분에서 improbable leacher (GUS index 1.8 미만)에 해당한다. 따라서 Koc와 GUS 지수에 기준할 때 토양 중 hexaconazole의 이동성은 상당히 제한적이며, 이에 따라 수직 용탈의 가능성이 낮을 것으로 예측되었다.

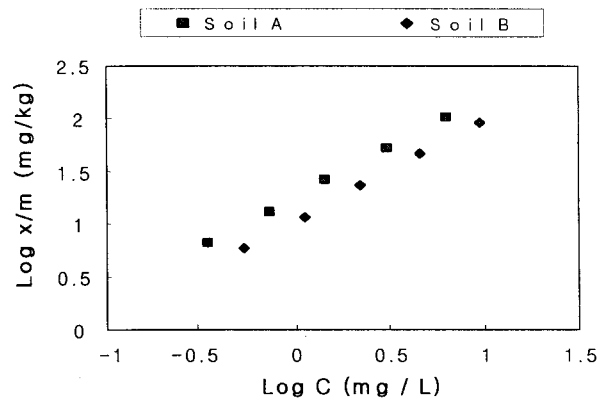


Fig. 3. Freundlich adsorption isotherms of [¹⁴C]hexaconazole to soil A and soil B.

Table 3. Freundlich constants, Kocs and GUS indices of hexaconazole

Soil	K_f	$1/n$	K_{oc}^a	GUS index ^{b)}
A	18.01	0.95	1,552	1.25 ^{c)}
B	10.56	0.94	1,400	1.35

^{a)} $K_{oc}=K_f \times 100 \times 1.724 \div \% \text{ OM}$, ^{b)} $GUS = \log DT_{50}(\text{soil}) \times (4 - \log K_{oc})$. ^{c)} Half life of hexaconazole in soil (days) : 35(soil A)-38(soil B) .

속성 및 버 재배 여부에 따른 경시적 용탈행적

토양컬럼중 [¹⁴C]hexaconazole의 경시적 용탈량은 그림 4과 5에서 보는 바와 같이 28일간의 용탈시험기간 중 용탈된 총방사능은 안산토양 (토양 A)의 경우 신

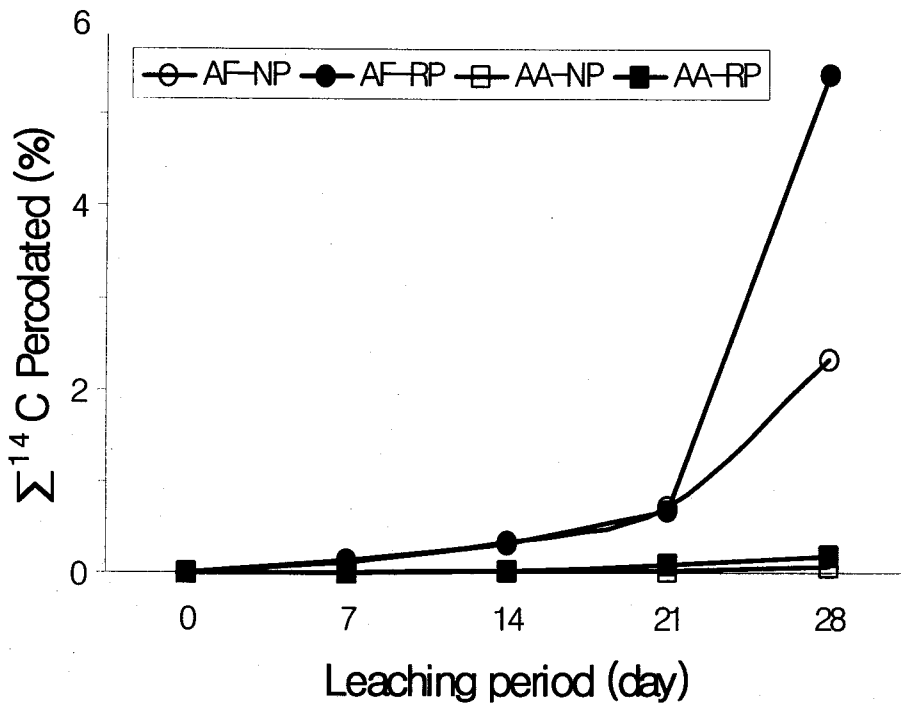


Fig. 4. Cumulative amounts of ¹⁴C leached from fresh and aged soil A treated with [¹⁴C]hexaconazole.

AF-NP, Fresh soil A without rice plants;
 AF-RP, Fresh soil A with rice plants;
 AA-NP, Aged soil A without rice plants;
 AA-RP, Aged soil A with rice plants.

생잔류물을 함유한 토양의 용탈량은 벼 무재배구에서 총처리 방사능의 2.33%, 벼 재배구에서는 5.44%이었으며, 숙성잔류물 함유토양의 경우 용탈량은 벼 재배구 0.16%, 벼 무재배구 0.17%이었다. Hexaconazole의 용탈량은 숙성잔류물 함유 토양보다는 신생잔류물 함유 토양에서, 그리고 벼 무재배구보다는 벼 재배구에서 높게 나타났다. 신생토양의 경우 용탈량은 처리 후 21일까지 비슷하였으나 이후는 벼 재배구에서 크게 증가하였으며, 숙성토양은 용탈량이 매우 적었다.

수원토양 (토양 B)에서도 토양 A와 유사한 경향을 나타내어 신생잔류물을 함유한 토양의 용탈량은 벼 무재배구에서 총처리 방사능의 2.57%, 벼 재배구에서는 4.63%이었고 숙성잔류물 함유토양의 경우는 벼 재배구 0.15%, 벼 무재배구 0.22%로 숙성잔류물 함유 토양의 용탈량이 낮았으며, 벼 재배구가 벼 무재배구보다 용탈량이 많았다. 신생 잔류물 토양의 경우 용탈량은 처리 후 21일까지 벼의 재배 유무에 상관없이 비슷한 수준을 나타내었으나 그 이후에는 벼 재배구에서 보다 크게 증가하는 경향을 나타내었으며, 상대

적으로 숙성 잔류물 토양에서의 용탈량은 매우 적었다.

토층별 ¹⁴C 분포

28일간의 용탈시험 후 5 cm 크기로 자른 토양컬럼의 토층별 ¹⁴C 방사능의 분포는 표 4과 5에서 보는 바와 같이 벼 재배 여부에 관계없이 처리한 방사능의 대부분 (약 86-99%)이 표토로부터 5 cm 부위에 분포하였으며, 5-10 cm 부위에 1-5%가 분포하였다.

용탈수로 유출된 방사능이 총 처리량의 0.15-5.44 %에 불과하고 용탈시험 후 표토로부터 5 cm 토심내에 86-99 %의 방사능이 분포하는 결과는 앞서의 토양 흡착특성 조사결과 및 지표로부터 예측된 이동성과 매우 잘 일치하였다. 이러한 실험결과로부터 토양에 존재하는 hexaconazole이 토층을 통과, 용탈되어 지하수를 오염시킬 가능성은 매우 낮을 것으로 평가되었다.

이러한 평가는 다른 연구자들의 실험결과로부터 추가적으로 확인할 수 있다. 즉, Harradine과 Atreya (1989)의 연구결과에 따르면 hexaconazole의 소실과 용

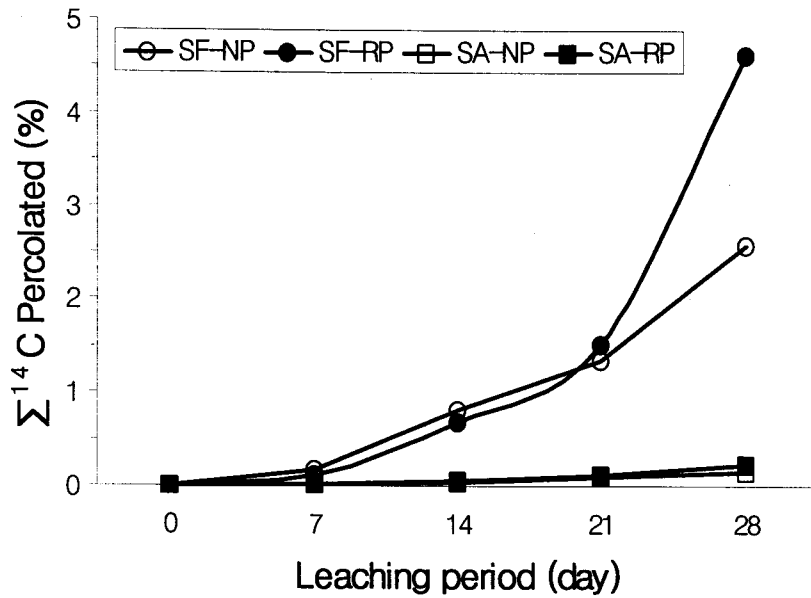


Fig. 5. Cumulative amounts of ¹⁴C leached from fresh and aged soil B treated with [¹⁴C]hexaconazole.

SF-NP, Fresh soil B without rice plants;
 SF-RP, Fresh soil B with rice plants;
 SF-NP, Fresh soil B without rice plants;
 SF-RP, Fresh soil B with rice plants.

탈 특성을 시험하기 위하여 영국의 여러 지역의 밀도가 높지 않게 밀을 재배중인 토양에 498-592 g ai/ha로 1회 살포한 후 732일간 시험하여 얻은 반감기는 60-90일이었으며, 토양 표면에 처리한 hexaconazole은 주로 토양 표토로부터 0-15 cm 층위에 분포하였다고 하였다. 또한 Harradine 등(1989)이 hexaconazole의 토양 중 소실 및 용탈 가능성을 알아보기 위하여 스페인의 여러 지역에서 수행한 연구보고에 의하면 hexaconazole을 500 g ai/ha로 과수원 내에 위치한 토양과 3엽기의 콩을 재배중인 토양에 1회 처리했을 때

hexaconazole은 신속하게 소실되어 반감기가 10-25일이었으며, 토양에 처리한 hexaconazole은 주로 표층의 0-5 cm 층위에 분포하였다고 하여 토양중 용탈성은 거의 없는 것 같다고 보고한 바 있다.

토양 컬럼 중 ¹⁴C 행적

벼 재배시험구에서 용탈시험기간 중 벼에 흡수이행된 방사능은 표 6에 나타난 바와 같이 숙성여부에 관계없이 총처리방사능의 2% 이내이었으며, 93% 이상이 토양에 잔류하였다. 이러한 분포양상은 토양처리

Table 4. Distribution of ¹⁴C in soil A columns by different depth after 4 weeks of leaching under saturated conditions

Depth from surface (cm)	With rice plant		Without rice plant	
	Fresh	Aged	Fresh	Aged
0- 5	85.90	99.30	95.69	98.56
5-10	4.87	2.60	2.10	1.41
10-15	1.70	0.38	1.42	1.36
15-20	0.56	0.21	0.67	0.11
20-25	0.35	0.20	0.31	0.32
25-30	0.35	0.20	0.14	0.03
Total	93.73	102.88	100.33	101.80

Table 5. Distribution of ^{14}C in soil B columns by different depth after 4 weeks of leaching under saturated conditions

Depth from surface (cm)	With rice plant		Without rice plant	
	Fresh	Aged	Fresh	Aged
0- 5	92.92	97.30	95.63	98.56
5-10	4.46	2.72	2.41	1.41
10-15	1.46	0.34	0.38	1.23
15-20	0.33	0.26	0.13	0.43
20-25	0.22	0.22	0.05	0.18
25-30	0.03	0.15	0.03	0.11
Total	99.41	100.99	98.64	101.98

Table 6. Distribution of ^{14}C in rice plants, leachate, and soil after 28 days of leaching experiment

Soil	Residue type	Rice plant	^{14}C -Radioactivity (%) in			Recovery (%)
			Leachate	Rice plant	Soil	
A	Fresh	No	2.33	-	100.33	102.66
		Yes	5.44	1.12	93.73	100.29
	Aged	No	0.17	-	101.80	101.97
		Yes	0.16	1.32	102.88	104.36
B	Fresh	No	2.57	-	98.64	101.21
		Yes	4.63	1.63	99.41	105.67
	Aged	No	0.15	-	101.98	102.13
		Yes	0.22	1.82	100.99	103.03

hexaconazole의 벼 및 토양 중 경시적 분포를 조사한 앞서의 실험결과와 매우 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 토양 중 hexaconazole은 벼로 흡수 이행되거나 수직 용탈되는 정도가 매우 낮고 주로 토양에 잔존하는 잔류 및 분포특성을 보이는 사실을 알 수 있었다

감사의 글

[^{14}C]Hexaconazole을 분양해 준 Zeneca Agrochemicals에 감사드립니다.

인용문헌

- BBA (1986) Biologische Bundesanstalt. Richtlinie für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln Teil 4-2: Versickerungsverhalten von Pflanzenschutzmitteln.
- Chen, T., C. Dwyre-Gygax, S. T. Hadfield, C. Willetts, and C. Breuil (1996) Development of an enzyme-linked immunosorbent assay for a broad spectrum triazole fungicide: hexaconazole. *J. Agric. Food Chem.* 44(5):1352-1356.
- Harradine K. J. and N. C. Atreya (1989) Hexaconazole : Dissipation in UK soils from trials carried out during 1986/1988, Company report, Agrochemicals, ICI.
- Harradine K. J., D. J. Mundy and N. C. Atreya (1989) Hexaconazole : Dissipation in Spanish soils from trials carried out during 1986/ 1988, Company report, Agrochemicals, ICI.
- OECD guidelines for the testing of chemical (1999)
- Singh, N. (2002) Sorption behaviour of triazole fungicides in Indian soils and its correlation with soil properties, *J. Agric. Food Chem.* 50:6434-6439.
- Sundaram, K. M. S., L. Sloane and R. Nott (1997) Adsorption and desorption kinetics of diflubenzuron and fenitrothion in two different boreal forest soils. *J. Environ. Sci. Health, B32*, 1-24.(Gustafson, D. I., 1989) *Environ. Toxicol. Chem.* 8:339-357.
- The Pesticide Manual (2000) British Crop Protection

- Council, Tenth edition, pp. 509-510.
- US EPA Guideline (1998) Fate, transport and transformation test guideline, OPPTS 835.1210 Soil thin layer chromatography, Prevention, Pesticides, and toxic substances (7101), United States Environmental Protection Agency.
- Yen, J. H., F. L. Hsiao, and Y. S. Yang (1997) Assessment of the insecticide carbofuran's potential to contaminate groundwater through soils in the subtropics. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 38:260-265.
- 김균, 김용환 (1990) Butachlor의 토양 흡착. *한국환경농학회지* 9:105-111.
- 김찬섭 (1999) 토양 흡착성에 의한 농약의 이동성 예측. 서울대학교 박사학위논문.
- 농약사용 지침서 (2002) 농약공업협회. pp. 284-285.
- 임건재 (1999) 살균제 isoprothilane의 논토양중 행적, 박사학위논문, 전남대학교.
- 임수길, 봉원애 (1992) Alachlor와 paraquat의 토양흡착에 관여하는 토양인자에 대한 연구. *한국환경농학회지* 11(1):101-108.

Adsorption and leaching characteristics of fungicide hexaconazole

Kee Sung Kyung, Byung Moo Lee, Yang Bin Ihm, Young Deuk Lee¹, Seong Soo Han², Ju Hyeon Choi, Jin Hwa Kim, Gab Hee Ryu and Jae Koo Lee³(*Department of Crop Life Safety, National Institute of Agricultural Science & Technology, Suwon 441-707, Korea, ¹Division of Life Resources, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea, ²Department of Agricultural Chemistry, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea, and ³Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea*)

Abstract : Adsorption and leaching characteristics of hexaconazole were investigated to estimate the mobility potential of the compound in the soil environment. As well fitted to Freundlich adsorption isotherm, adsorptivity of hexaconazole, ranged 10.56-18.01 of Kf values, seemed high enough to be immobile in soil. This chemical leached more faster from fresh soil with rice plants. Most of ¹⁴C (86-99% of originally applied ¹⁴C) was distributed within 5 cm soil depth from surface. Considering Koc values of 1,400-1,552 and Groundwater Ubiquity Score (GUS) indices of 1.25-1.35 as well as results from leaching experiment with soil column, hexaconazole falls into the category of improbable leacher, suggesting little mobility in soil.

*Corresponding author (Fax : +82-31-290-0506, E-mail : kskyung@rda.go.kr)