

벼 재배 Lysimeter 토양중 살균제 ¹⁴C-Propiconazole의 행방

김인선 · 서용택
전남대학교 농화학과

Behaviour of Fungicide ¹⁴C-Propiconazole in Rice Plant Grown-Lysimeter Soil

In Seon Kim and Yong Tack Suh (Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

ABSTRACT : Behaviour of a fungicide ¹⁴C-propiconazole was investigated in a rice plant grown-lysimeter soil. The lysimeter was composed of soil cores of silty clay. Propiconazole(Tilt 250[®] EC) plus ¹⁴C-labeled propiconazole was applied on the surface of lysimeter soil at a rate of 0.12 kg/10a after rice transplanting. The application was done consecutively for two years. The behaviours of propiconazole in the lysimeter soil were investigated by measuring the amounts of ¹⁴C-leachate, ¹⁴CO₂, the residues distributed in each soil segment and taken up by rice plants. The relative amounts of ¹⁴C leached from the lysimeter were the background level of the applied ¹⁴C throughout experiment. The amounts of ¹⁴CO₂ evolved from the lysimeter were 5.7 and 7.8% of the original ¹⁴C in the 1st and 2nd treatment, respectively. The amounts of volatile substances soil were the background level throughout experiment, which indicated that propiconazole was stable chemically in the experimental condition. The ¹⁴C-activities absorbed and translocated into rice plants were 3.7 and 7.6% in 1st and 2nd treatment, respectively. The ¹⁴C-activities in the soil layer of the lysimeter was distributed mainly in the depth of 0 to 20 cm, which suggested propiconazole did not have the risk of groundwater contamination.

서론

Propiconazole (1-[(2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-yl)-methyl]-1H-1,2,4-triazole)은 azole계 침투성 살균제의 하나로서 스테로이드계 호르몬의 생합성 과정을 저해하여 살균력을 갖는다^{1,3)}. Propiconazole은 여러 나라에서 벼, 보리, 옥수수, 그리고 포도 등의 다양한 작물을 대상으로 사용되고 있으며, 우리 나라에서는 현재 골프장의 잔디에 mepronil과 혼합제로 사용되고 있다.

토양에서 propiconazole은 Ciba Geigy의 보고서에 의하면 유기물 함량이 높은 토양과 montmorillonite계 점토광물에 의해 흡착이 잘 되는 것으로 알려져 있다. 또한, propiconazole은 사양토성 토양에서 심토보다 표층에 주로 잔류하며 지하수 오염의 가능성이 매우 낮은 것으로 알려져 있다⁴⁾.

본 실험은 전보⁴⁾에서 밝혔던 목적으로 토성이 매우 상이 하면서 자연적인 토양환경 조건과 유사한 lysimeter를 이용하여 벼가 재배된 토양환경중 propiconazole의 행방을 구명하여 이 약제의 환경독성 평가에 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

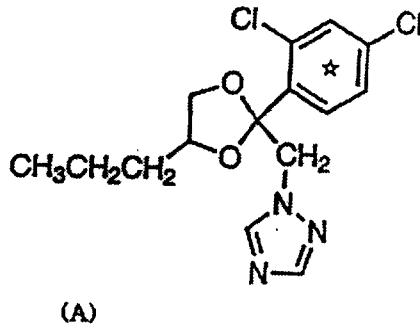
시약

¹⁴C-propiconazole (specific activity, 808.48 MBq/mmol)은 International Isotopes München (Germany)에서 구입하여 TLC Auto-Linear Analyzer (Trace Master 20, Berthold, Germany)의 분석에서 두 개의 spot으로 나타났으며 (Fig. 1), 그의 순도가 98% 이상이었다. 또한, 비표지 propiconazole은 Ciba Geigy에서 제공 받았으며, 순도가 99% 이상인 화합물이었다. 방사능 계측을 위한 LSC (liquid scintillation counting) cocktail은 Ultima Gold[®](Packard, USA)였으며, 그 밖의 필요한 시약은 Junsei (Japan) 특급을 사용하였다.

방법

Soil core 형성

Soil core의 형성은 길이 110cm, 지름 30cm와 두께 0.5cm인 stainless 원통으로 제작된 lysimeter를 벼 재배가 원활한 논으로 옮긴 다음 굴삭기를 이용하여 서서히 눌러서 실시하였다^{4,5)}. 이때 형성된 토심은 1m 높이였으며, 토양의 토층



(A)

(B)

Fig. 1. The chemical structure(A) and autoradiogram(B) of the propiconazole standard. The asterisk in (A) represents the ¹⁴C-labeled position of propiconazole. The TLC plate of (B) was developed by the solvent system of n-hexane/acetone/benzene(5/4/3, v/v/v).

별 물리화학적 특성은 Table 1과 같았다. Lysimeter는 기상 조건이 원활하고 안전한 장소에 설치하였으며, 그의 둘레에는 길이 110cm, 지름 50cm와 두께 0.5cm의 검정색 PVC 원통을 씌운 다음 lysimeter 원통과 PVC 원통 사이 공간에는 사용된 논토양을 충분히 채워 태양광선의 영향을 막았다⁹⁾.

벼 재배 및 공시약제의 처리

김 등⁴⁾의 방법에 준하여 일정 기간동안 용탈조건을 거친 상기의 lysimeter에 벼 15일 유묘(동진벼, *Oryza sativa L.*)를 3 주씩 4 지점에 이앙한 후 ¹⁴C-propiconazole과 Tilt 250[®] EC(25 % 유제, Ciba Geigy)을 중류수에 혼합한 다음 lysimeter의 토양 표면에 0.12 kg/10a 수준으로 고르게 처리하였다. 약제의 처리시에는 lysimeter 토양표면이 마르지 않을 정도로 물을 용탈시켰으며 처리 후 토양에 약제가 침투되도록 한 다음 물을 조금씩 가하여, 시험 기간동안 3cm 높이의 담수상태를 유지하였다.

Lysimeter 토양에서 휘발되는 방사성 개스의 포집

Lysimeter의 토양에서 휘발되는 방사성 개스의 포집은 김 등⁴⁾의 보고에서와 같이 장치를 준비하여 외부에서 공기를 공급하면서 수행하였다. 이 때 토양에서 휘발되는 방사성 개스는 100ml의 2N H₂SO₄ 용액 trap에 그리고 ¹⁴CO₂는 2N NaOH 용액 trap에 포집되도록 하였으며, 외부에서 공급되는 공기중에 함유된 CO₂는 stainless 원통에 채워진 soda lime으로 제거하였다.

토양중 잔류 방사능의 미생물에 의한 biomass

토양중 잔류 방사능의 미생물에 의한 biomass 조사는 lysimeter 실험이 끝난 후 토심별 방사능의 조사에서 방사능이 가장 높게 함유된 것으로 확인된 토심 0~10cm와 10~20cm의 토양 일정량을 배양용 삼각플라스크에 넣은 후 배양하면서 발생된 ¹⁴CO₂ 양을 기준으로 실시하였다. 배양용 플라스크에는 상기에서와 같은 장치를 준비하여 ¹⁴CO₂를 포집하였으며, 시험기간중 토양의 수분은 포장용수량의 60%을 유지하였다.

시료중 ¹⁴C 방사능의 계측

시험 기간동안 lysimeter에서 용탈되는 용탈수의 방사능은 1주마다 받아 모은 용탈수중 일부(5ml)를 LSC 계측하였다. Lysimeter 토양은 1년차의 경우 토층 30cm 깊이까지

Table 1. Physicochemical Characteristics of the soils used for the lysimeter experiment

Depth (cm)	pH (1:5, H ₂ O)	OM (%)	CEC (cmol/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture*
0-10	6.0	3.4	16.5	16.2	67.2	16.6	SiC
10-20	6.2	2.3	16.3	15.4	68.4	16.4	SiC
20-30	7.2	1.8	12.4	12.4	70.8	16.8	SiC
30-40	7.4	1.2	11.7	7.4	72.4	20.2	SiC
40-50	7.5	1.1	13.6	5.2	70.1	24.7	SiC
50-60	7.6	0.8	10.7	16.4	60.3	23.3	SiC
60-70	7.7	0.7	9.4	15.2	62.4	22.4	SiC
70-80	7.7	0.8	11.8	14.5	65.4	20.1	SiC
80-90	7.6	0.7	14.6	9.5	66.2	24.3	SiC
90-100	7.5	0.6	8.7	10.2	67.2	22.6	SiC

* Abbreviation : SiC, silty clay

10cm 간격으로, 그리고 2년차의 경우 전체 토심을 10cm 간격으로 토양의 일부를 취하여 음건 후 막자사발로 잘 마쇄하여 혼합한 다음, 0.2mm 체를 통과시켜 300mg을 sample oxidizer(Model 307, Packard, USA)에서 연소시켰다. 연소 후 발생된 $^{14}\text{CO}_2$ 는 10ml의 Carbosorb E(Packard, USA)와 6ml의 PermaFlour E(Packard, USA)에 포집 시킨 후 LSC(Wallac 1409, Phlland)에서 토양중 함유된 방사능을 계측하였다. 토양중 발생하는 휘발성 물질과 $^{14}\text{CO}_2$ 정량은 2N H_2SO_4 trap과 2N NaOH 용액 trap에서 2 주일 마다 각각 1ml을 취해 LSC cocktail과 혼합한 다음 방사능을 계측하여 실시하였다. Lysimeter 토양에서 재배된 벼 시료는 수확 후 벚짚, 이삭, 왕겨, 그리고 현미 등으로 나누어 채취 후 냉동 건조하여 완전히 마쇄한 다음 일정량을 앞서의 과정에서와 같이 sample oxidizer에서 연소시켜서 LSC 계측하였다.

결과 및 고찰

Propiconazole의 용탈

^{14}C -propiconazole을 처리한 후 lysimeter 토양에서 용탈된 방사능은 1 년차 및 2 년차 실험의 결과 모두에서 자연 방사능 수준으로 매우 낮았다. 시험년도별 용탈량의 차이가 매우 근소한 결과를 볼 때 용탈수는 토양과 lysimeter 사이에서 생긴 공간을 통한 측면유수가 아닌 토층을 통하여 이루어졌음을 알 수 있었으며, 이는 본 실험에 사용된 lysimeter 토양의 토층이 원래의 자연적인 조건과 매우 유사함을 의미하였다. 이러한 측면에서 볼 때 실제로 약제가 살포된 포장에서도 lysimeter 실험의 결과와 유사한 현상이 가능할 것으로 판단되어 propiconazole의 토양중 용탈로 인한 지하수 오염의 가능성은 무시할 정도로 낮다는 사실⁴⁾을 확인해 주었다. Propiconazole의 물에 대한 용해도가 100 mg/kg으로 비교적 높기 때문에 토층에서 빠져나오는 용탈수에 어느 정도 용해되어 용탈수와 함께 용탈될 가능성이 있을 것으로 예측되었으나 용탈수에 상관없이 일정한 결과가 나타나는 것으로 보아, propiconazole은 처리 후 빠르게 토양에 흡착되며 일단 흡착이 되면 그 이동성이 극히 제한될 수 있음을 의미하였다. Propiconazole의 용탈실험 결과에서 김 등⁴⁾이 사용했던 lysimeter 토양의 특성은 본 실험에서 사용한 토양과 유기물 및 점토 함량에서 현저한 차이가 있다는 점을 고려해 볼 때 propiconazole의 용탈성에 주요인인으로 작용하는 것은 유기물과 점토 함량일 것으로 판단되었다.

Nichols의 보고⁶⁾에 의하면 토양중 농약의 용탈에서 $\log K_{ow}$ 값이 중요한 인자로 관여하며, 이 값이 1 보다 작으면 토양에 비교적 약하게 흡착되기 때문에 용탈 가능성이 높은 반면 대부분의 살균제들은 2~5 사이의 값을 가져 토양에 강하게 흡착되므로 용탈 가능성은 매우 낮다고 하였

다. 이러한 보고를 참고로 할 때 propiconazole의 $\log K_{ow}$ 값은 3.72⁷⁾로서 용탈보다는 흡착되는 경향이 높다는 것을 의미하므로 본 실험의 결과를 지지하여 주었다.

토심별 propiconazole의 분포

Lysimeter 토양의 토심별 약제의 방사능 분포 결과는 Table 2에 나타난 바와 같았다. 토층별 약제의 방사능은 1 년차 실험의 경우 토심 10cm까지 처리량의 73.4%가 10~20cm까지 처리량의 2.9%가, 그리고 그 이하의 깊이에서는 자연방사능 수준이었다. 또한, 2년차 실험의 경우 토심 10cm까지 처리량의 82.3%, 10~20cm까지 4.7%, 20~30cm까지 0.8%, 30~40cm까지 0.1%의 방사능이 검출되었으며, 그 이하의 토심에서는 모두 자연 방사능 수준으로 매우 낮았다. 토양중 방사능은 토심 10cm까지만 조사하여도 토양에 잔류하는 총방사능의 94% 수준으로서 처리된 대부분의 약제가 표층에 존재함을 의미하였다. 이와같은 결과는 propiconazole이 토양에 살포된 후 심토로 이동하는 경향보다는 토양 표층에서 흡착 및 고정되어 잔류할 가능성이 높음을 의미하여 앞서의 용탈 실험결과에서 얻은 판단을 지지하여 주었다. 특히, 본 실험에 사용된 토양과는 상이한 토양인 김 등⁴⁾의 결과에서 유기물 함량이 가장 높은 토심 10cm 이내의 결과만을 비교할 때 본 실험의 결과가 심지어 1.4 이상의 높은 방사능이 검출되었으며 토양중 전체적인 회수율도 비교적 높았다. 또한, 각각의 토심별 방사능의 결과를 비교하였을 때에도 유기물 함량이 높은 토심 10cm까지의 결과가 다른 토심에 비해 무려 25배 높은 결과를 보여 propiconazole의 토양중 잔류는 유기물 함량과 매우 밀접한 관계를 가질 수 있다는 점을 확인하여 주었다. Propiconazole의 토양중 잔류가 유기물 뿐만 아니라 점토의 영향도 무시할수 없을 것으로 판단되었으나, Celis 등⁸⁾의 보고에 의하면 농약의 토양중 흡착에서 약제의 물에 대한 용해도가 10^3M 이상이면 점토에 대부분 흡착이 된다고 하였는데, 이 보고를 참고로 할 때 propiconazole은 그 용해도가 $3 \times 10^{-3}\text{M}$ 로서⁹⁾ 비교적 낮아 점토보다도 유기물에 흡착이 잘 될 것으로 판단되어 본 실험의 결과에 대한 예측을 지지하였다. 이러한 propiconazole의 토심별 분포 결과를 통해 propiconazole은 토양에서 흡착 경향이 매우 높아 토양에서 용탈로 인한 지하수의 오염 가능성은 매우 낮을 것으로 판단되었으며, 토양중 잔류 반감기는 비교적 길 것으로 추측되었다.

토양중 잔류 방사능의 미생물에 의한 biomass

토양중 잔류하는 propiconazole의 생물학적 biomass를 조사한 결과는 Fig. 2와 같았다. 토양중 가장 높은 방사능을 함유한 토심 0~10cm와 10~20cm의 토양중 잔류 방사능의 biomass 양은 토심 0~10cm에서 4.9%였으며, 토심 10~

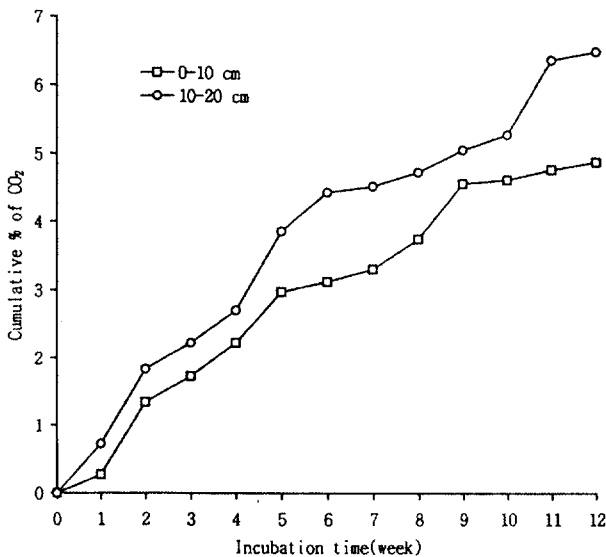


Fig. 2. Cumulative percent of ¹⁴CO₂ released from the different soil layer of lysimeter during incubation.

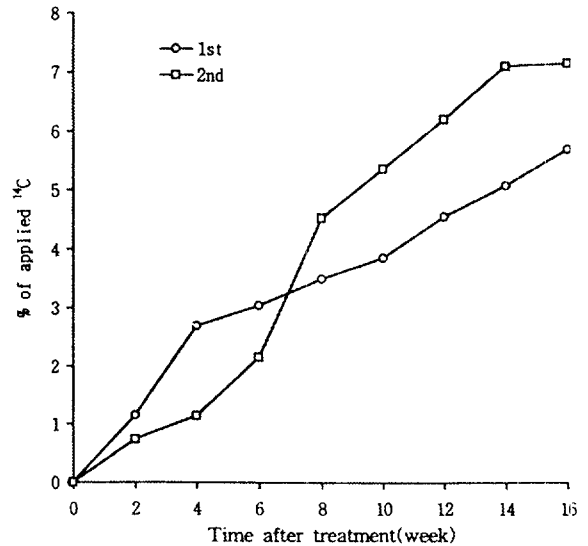


Fig. 3. Cumulative percent of ¹⁴CO₂ released from the lysimeter soil.

20cm에서 6.5%로서 유기물 함량이 낮은 토양에서 높았다. 일반적으로 유기물 함량이 높은 토양에서는 미생물의 활성도 높아 약제의 생물학적인 분해가 훨씬 잘 진행되므로 그에 따라 발생된 ¹⁴CO₂의 양도 높을 것으로 예측되었으나, 본 실험에서는 유기물 함량이 낮은 토심에서 높았다. 이러한 결과는 propiconazole의 토양중 흡착성과 깊은 관련이 있을 것으로 판단되었다. 즉, 유기물 함량이 상대적으로 높은 토심의 토양에서는 잔류하는 방사능이 비록 높기는 하지만 약제를 강하게 흡착 및 고정하고 있으므로 미생물의 접근이 용이하지 못하여 분해가 잘 일어나지 않은데서 기인한 결과로 생각되었다. 또한, 배양 기간동안 발생하는 ¹⁴CO₂의 양도 일정하게 증가하여 시험기간 중에 미생물 활성의 급격한 증가로 인한 propiconazole의 현저한 분해는 없었던 것으로 판단되었다. 이는 또한 예비실험을 통해 배양전 측정된 미생물의 총균수는 배양 후에도 큰 차이가 없음을 통해 알 수 있었다.

이상의 결과를 통해 작물이 재배된 토양에 살포된 propiconazole은 작물이 수확된 후 다음의 작물 재배시기까지 토양을 호기적인 상태로 건조시키는 기간에 생물학적인 혹은 화학적인 분해로 인한 소실 가능성은 매우 낮을 것으로 판단되었다.

토양중 ¹⁴CO₂ 및 휘발성 물질의 조사

시험 기간동안 Lysimeter의 토양에서 방출된 ¹⁴C-propiconazole의 ¹⁴CO₂의 양은 Fig.3에서 나타낸 바와 같이 1년차와 2년차 실험의 경우 각각 처리 방사능의 5.7%와 7.1%였다. 이 수준은 본 실험에서 사용된 토양과 상이한 토양에서 실시한 결과⁴⁾에 비해 1.7배 낮았다. 경시적인 ¹⁴CO₂ 발생량은 점점 증가하는 수준이었으나 시험기간 말기에는 그 발생량이 거의 일정한 수준이었다. 이는 시간이 경과함에 따라 토양에 강하게 흡착되어 고정된 약제의 양이 많아지면서 분해율의 감소로 인해 ¹⁴CO₂ 발생량도 감소했을 것으로 판단되었다. 또한, 시험년도별 결과에서 2차 처리 후에 ¹⁴CO₂의 발생률이 증가하였는데, 이는 1년차 실험에서 농약에 대한 내성이 생긴 미생물이 2년차에는 propiconazole을 더욱 잘 분해하는데서 기인한 결과⁹⁾로 판단되었다.

Table 2. Distribution of applied ¹⁴C in the soil segments of the lysimeter

Depth (cm)	% of applied ¹⁴ C	
	1st year	2nd year
0-10	73.4	82.3
10-20	2.9	4.7
20-30	BG*	0.8
30-40	-	0.1
40-50	-	BG
50-60	-	"
60-70	-	"
70-80	-	"
80-90	-	"
90-100	-	"
Total	76.3	87.9

* Background level

Table 3. Distribution of applied ¹⁴C from the rice plant grown in the lysimeter

Part	% of applied ¹⁴ C *	
	1st	2nd
rice straw	2.92	7.39
ear	0.03	0.12
chaff	0.04	0.06
brown rice	0.01	0.03
Total	3.70	7.60

* Activity of total dry weights

Table 4. Recovery of ¹⁴C radioactivity in the lysimeter

Distribution	% of applied ¹⁴ C	
	1st	2nd
soil	76.3	87.9
¹⁴ CO ₂	5.7	7.1
leachate	BG*	BG
rice plant	3.7	7.6
Total	85.7	102.6

* Background level

한편, 시험기간중 2N H₂SO₄ trap에 모아진 휘발성 물질의 생성율은 자연 방사능 수준으로 매우 낮아 propiconazole이 화학적으로 매우 안정한 화합물임을 보여 주었으며, 이 결과를 통해 propiconazole은 토양중에서 화학적인 분해보다 주로 생물학적인 분해가 용이할 것으로 판단되었다.

전체적인 결과로 볼 때 토양에 잔류하는 방사능에 비해 무기화되는 방사능의 정도는 무시할 정도로 매우 낮아 propiconazole은 분해나 용탈보다도 토양에 집적되는 경향이 높을 것으로 판단되었다.

벼에서의 잔류 방사능

Lysimeter 토양에서 재배된 벼의 각 부위별 방사능을 보면 Table 3에서 처럼 1 년차 실험의 경우 벧짚에 처리 방사능의 2.9%, 이삭, 왕겨 그리고 현미에서 각각 0.1% 이하였다. 또한, 2 년차 실험의 경우 이들은 벧짚에서 7.4%, 이삭에서 0.1%, 왕겨와 현미에서 모두 0.1% 수준이었다. 검출된 총방사능을 실험년도별로 볼 때 1 년차와 다시 처리된 2 년차가 각각 3.7%와 7.6%로서 2 년차의 경우가 2배 이상 높았다. 이러한 결과는 벼의 뿌리가 내릴 수 있는 토심 0~20cm의 토양에 존재하는 방사능이 1 년차에 비해 2 년차의 경우가 훨씬 높은 결과(Table 2)에서 기인한 것으로 판단되었다. 뿐만 아니라 본 실험에 사용된 토양과 토성이 상이한 토양에서 결과⁴⁾와 비교하였을 때 유기물 함량이 높은 본 실험의 토양에서 1.5 이상 낮은 방사능이 검출되었는데, 이는 유기물 함량이 높은 토양의 경우 약제를 강하게 흡착하여 벼의 흡수 및 이행을 제한하는데 기인한 결과로 생각되었다.

이상의 lysimeter 실험의 결과를 요약하면 Table 4에 나타난 바와 같이 처리된 방사능에 대한 회수율이 85~103% 수준이었다. 결과에서 1년차의 것은 비록 전체의 토심을 모두 조사하지는 않았지만 회수율 결과만으로 판단하였을 경우 벼에 흡수 및 이행된 약제가 벼에서 무기화될 수 있는 가능성은 매우 낮을 것으로 판단되었다. 본 실험을 통해 담수상태의 토양환경중에 살포된 propiconazole은 용탈이나 생물학적인 분해보다 토양에 강하게 흡착되어 표층에 대부분 집적되는 경향이 높을 것으로 판단되었으며, 약제로 인한 지하수 오염의 가능성은 매우 낮으나 강우에 의한 표층의 유실시 잔류범위가 확대될 수 있는 가능성은 존재

하였다.

요 약

살균제 propiconazole의 벼 재배 lysimeter 토양중 행방을 조사하기 위한 실험을 수행하였다. Lysimeter의 토양은 미사질 식양토로 구성되었다. 벼 이앙 15일 후 propiconazole을 0.12 kg/10a 수준으로 lysimeter 토양표면에 년 1회씩 2년에 걸쳐 2회 처리한 다음 경시적인 약제의 용탈량, 토양중 분포량, ¹⁴CO₂ 생성량, 그리고 벼에 흡수 및 이행량을 조사하였다. 약제처리 후 16주 동안 lysimeter 토양에서 용탈된 방사능은 1 년차와 2 년차 실험 모두 자연 방사능 수준이었다. 시험 기간동안 lysimeter 토양에서 방출된 ¹⁴CO₂는 1 년차와 2 년차 실험에서 처리 방사능의 각각 5.7%와 7.8%였으며, 휘발성 물질의 생성율은 자연 방사능 수준으로 매우 낮아 propiconazole이 화학적으로 안정한 화합물임을 시사하였다. Propiconazole은 토양중에서 잔류방사능의 대부분이 토심 20cm 이내에 존재하여 지하수 오염의 가능성은 매우 낮았다. Lysimeter 토양중 재배된 벼에 흡수 및 이행된 propiconazole의 방사능은 1 년차 및 2 년차 실험에서 각각 처리 방사능의 3.7%와 7.6%였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구(971-0602-014-2)지원으로 수행되었으며, 이에 감사합니다.

참 고 문 헌

- Loeffler, R. S. T., and A. L. Hayes(1992) Effects of Sterol Biosynthesis Inhibitor Fungicides on Growth and Sterol Composition of *Ustilago maydis*, *Botrytis cinerea* and *Pyrenophorateres*, *Pestic. Sci.*, 36, 7-17
- Sancholle, M., J. D. Weete, and C. Montant(1984) Effects of Triazoles on Fungi: 1. Growth and Cellular Permeability. *Pesticide Biochem, Physiol.*, 21, 31-44
- Basarab, G. S., and M. Pifferitti(1991) The Chemistry and Biological Activity of a New Class of Azole Fungicides: 1-Amino-1,2,4-triazoles, *Pestic. Sci.*, 31, 403-417
- Kim, I. S. and Y. T., Suh(1998) Behaviour of Fungicide ¹⁴C-Propiconazole in a Lysimeter of Sandy Loam, *Agric. Chem. Biotechnol.*, 41, 253-257
- Lee, J. K, K. S. Kyung, and W. B. Wheeler(1991) Rice Plant Uptake of Fresh and Aged Residues of Carbofuran from Soil, *J. Agric. Food Chem.*, 39, 588-593
- Nicholls, P. H.(1988) Factors Influencing Entry of Pesticides into

- Soil Water, Pestic. Sci., 22, 123-137
7. Tomlin, C.(1994) The Pesticide Manual, 10th Edition, Crop Protection Public., UK
8. Celis, R., L. Cox, M. C. Hermosin, and J. Cornejo,(1997) Sorption of Thiazafurion by Iron- and Humic Acid-Coated Montmorillonite, J. Environ. Qual., 26, 472-479
9. Talbei, K. and H.W. Colin(1993) A Comparative Study of Carbofuran Metabolism in Treated and Untreated Soils, Pestic. Sci., 39, 65-69