

벼 재배환경에서 생육단계에 따른 제형별 살포농약의 분포특성

박병준* · 박상원 · 김진경 · 박경훈 · 김원일 · 권오경

농업과학기술원 농산물안전성부

(2008년 1월 5일 접수, 2008년 3월 7일 수리)

Distribution of Pesticide Applied with Different Formulations and Rice Growing Stages in Paddy Fields

Byung-Jun Park*, Sang-Won Park, Jin-Kyoung Kim, Kyung-Hun Park, Won-Il Kim and Oh-Kyung Kwon

National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

Abstract

To elucidate the exposure of pesticide in agricultural environment and to investigate distribution of pesticide in paddy fields. This experiment was carried out to clarify pesticide distribution in paddy fields applied with different formulations and growing stages. Initial dissipation rate of applied butachlor EW and oxadiazon EC before rice planting were more than 90% within 3 days in paddy fields. The distribution of a.i. in the pesticide formulations tested depended upon the elapsed time at each growing stage of rice plant after application. Most of pesticides applied within 15 days after transplanting of rice seedlings, more than 95%, were located in the surface water and soil regardless of pesticides; butachlor, thiobencarb and molinate GR. The distribution of iprobenfos GR, tricyclazole WP and phenthoate EC, after application 2 hours in middle growing stage (46 days after rice planting) were shown as 16.1, 48.9 and 38.9% in surface water, 83.6, 15.4 and 10.7% in soil, and 0.3, 35.7 and 50.4% in rice plants of paddy fields, respectively. Also tricyclazole WP and phenthoate EC, after application 2 hours in the late rice growing stage (90 days after rice planting) were distributed to 7.8 and 9.8% in surface water, and 21.7 and 5.1% in soil, and 70.5 and 85.1% in rice plants of paddy fields, respectively.

Key words paddy field, pesticide distribution, pesticide formulations, rice plant

서론

영농활동에서 농약 등 영농자재의 투입에 의해 토양, 수질 오염, 생태계파괴 등 환경에 대한 부작용에 관심이 증대되고 있다. 이 대책 중에 비점오염(Nonpoint source)원 관리방안이 도입되면서 본격적으로 비점오염관리에 대한 인식과 그 극복 방안으로서 환경 조화형 농업에 대한 관심이 증가되어 정부차원에서 친환경농업정책이 수립되었으며 1997년 이를 법적으

로 보장할 수 있는 환경농업육성법이 제정되었다 (Andrew 등, 2000; 윤 등, 2001). 비점오염원인 농약은 인축과 환경생물에 독성을 갖는 물질로써 주로 농경지 등의 개방계 지역에 살포되므로 환경 중 유출을 완전히 제어하기는 곤란하여 비의도적 오염으로 인해 비표적 생물계에 영향이 미친다는 점이다(Nicholls 등, 1988; Andrew 등, 2000; Eileen 등, 2004; Norbert 등 2005). 이러한 부작용을 최소화하기 위해 농약에 대한 작물과 환경 중 잔류성에 대한 연구 및 평가기법이 체계적으로 연구되고 있으며, 농약 관리의 차원으로 살포후의 행적과 살포외 지역으로 유출양상연구와 하천수계, 농업용지 하수, 지표수인 호소수 등에 대한 잔류농약모니터링이 지속

*연락처 : Tel. +82-31-290-0508, Fax. +82-31-290-0506
E-mail: bjpark@rda.go.kr

적으로 수행되고 있다(Ralf 등 2001; Hamilton 등 2003). 국내에서도 1998, 2003년 한강, 금강, 만경강, 영산강, 낙동강, 섬진강 수계에서 월별로 물 중 잔류량을 조사한 결과 농약사용 성수기에 주로 수도용 농약이 검출되고 있다(박 등, 1998; 농약공업협회, 2001). 농약의 행방은 휘산, 용탈, 흡착, 분해 등의 복합적인 과정을 걸쳐 결정되며 토양, 수질, 대기 및 작물체 중 잔류양상은 농약자체의 이화학적 특성, 작물자체의 특성, 작물의 재배조건 및 환경조건에 의해서 달라지게 된다. 농약자체의 특성으로는 농약의 화학 및 생화학적 안전성, 극성, 수용성, 휘발성 등 화합물의 고유의 물리화학적 특성과 작물체 표면에서 부착성 및 고착성 등의 제형에 관련된 물리적 특성과 약제의 형태, 희석배수 등의 사용방법에 의해서 잔류성이 차이를 보인다(Deuel 등, 1978; Imai 등 1984; Curry 등, 1989a; 박 등 2006). 따라서 본 연구는 수계에 검출빈도가 높은 수도용 농약에 대해서 벼 재배환경 중에 생육단계와 살포농약의 제형에 따라 경시적으로 논물, 토양, 작물체간의 농약 분포양상을 구명하여 환경 노출성 평가와 하천수 오염방지를 위한 유출안전기간 설정을 위해서 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

시험농약

벼 농사용 농약인 butachlor 유타제(EW), butachlor·pyrazolate 입제(GR), thiobencarb·simetryn 입제, pyrazosulfuron-ethyl·molinat 입제, iprobenfos 입제, tricyclazole 수화제(WP), oxadiazon 유제(EC), phenthoate 유제, hexaconazole 유제, fenitrothion 유제, chlorpyrifos-methyl 유제를 사용하였다.

시험장소 및 농약살포

경기도 이천시 부발면에 위치한 농업과학기술원 이천시시험지 벼 포장에 벼 이앙 3일전에 이앙전 처리제인 butachlor 유타제와 oxadiazon 유제를 표준사용량인 235, 48g(a.i.)/10a을 각각의 시험구에 살포하였다. butachlor·pyrazolate 입제, thiobencarb·simetryn 입제 및 pyrazosulfuron-ethyl·molinat 입제는 각각 105, 210 및 150 g(a.i.)/10a을 벼 이앙 후 12일(생육 초기)에 관행 살포하였다. 이앙 후 46일(생육 중기)에 tricyclazole 수화제, phenthoate 유제, hexaconazole 유제, fenitrothion 유제 및 chlorpyrifos-methyl 유제는 각각 60, 76, 16, 80 및 50 g(a.i.)/10a을 1000배로 희석하여 동력살포기로, tricyclazole 입제는 680 g(a.i.)/10a의 약량으로 관행 살포하였다. 또한 이앙 후 98일(생육 후기)에도 생육 중기와

동일한 방법으로 농약을 살포하였다.

시료채취

벼 이앙 3일전에 이앙전 처리제인 butachlor 유타제와 oxadiazon 유제는 살포 후 2시간, 3, 7, 13, 17, 23, 31, 40일에, 벼 생육초기에 살포한 butachlorpyrazolate 입제, pyrazosulfuron-ethyl·molinat 입제 및 thiobencarb 입제는 살포 후 2시간, 1, 3, 7, 15, 23, 42일에, 벼 생육중기에 살포한 tricyclazole 수화제, phenthoate 유제, hexaconazole 유제, fenitrothion 유제 및 chlorpyrifos-methyl 유제는 살포 후 2시간, 1, 4, 8, 18, 37, 44일에, 벼 생육 후기에 살포한 농약은 2시간, 1, 5, 13, 29, 50일에 논물, 토양 및 식물체를 각각 채취하여 농약 잔류량을 분석하였다.

토양 중 잔류농약 분석방법

담수상태의 젖은 토양을 500 mL의 원심분리용 bottle에 넣고 15분간 6000 rpm으로 원심분리하여 상정액을 따라내고 토양을 일정량 칭량하여 삼각플라스크에 넣고 0.2N-NH₄Cl를 30 mL 가한 후 30분간 정치시키고 acetone 100 mL를 첨가하여 1시간 동안 200 rpm에서 진탕시킨 후 여지(Whatman[®] No. 2, England)를 깔 Büchner funnel 상에서 흡인여과 하였다. 용기 및 잔사를 여분의 acetone으로 다시 씻어 내려 앞서의 여액과 합하였다. 또한 원심분리한 토양 일부는 수분정량하여 분석치를 건토기준으로 보정해 주었다. 합친 여액은 separatory funnel에 옮겨 포화 NaCl 50 mL, dichloromethane 50 mL를 넣고 3분간 격렬하게 흔든 후 정치하여 dichloromethane층을 분리하였고 위의 과정을 반복 추출하였다. Dichloromethane층은 Anhydrous sodium sulfate을 통과시켜 40°C에서 감압 농축한 뒤 잔류물을 n-hexane 10 mL로 정용하여 정제시료로 하였으며, 단 tricyclazole의 분석은 용매추출량과 dichloromethane 양을 1:1(v/v)로 조절해서 분배하였다.

정제는 칼럼크로마토그래피법을 이용하였다. 직경 1 cm의 pyrex glass column 하단부를 탈지면으로 막고 130°C에서 24시간 동안 활성화시킨 florisil 10 g을 가하여 충전하고 그 위에 무수 Na₂SO₄를 1.5 cm 높이로 깔고 n-hexane 50 mL를 흘려보낸 다음 n-hexane에 녹인 시료액을 loading 한 후 아래와 같이 6단계로 용매의 극성을 증가시켜 가면서 분획별로 50 mL 용출시켜 40°C에서 감압농축 후 n-hexane 5 mL로 재용해하여 GLC로 분석하였으며, tricyclazole은 정제과정을 거치지 않고 GLC로 분석하였으며 GLC 분석조건은 Table 1과 같다.

Table 1. GLC operating parameters for the analysis of pesticide

Instrument : HP 6890
Detector : NPD, ECD
Column : HP-1, Capillary 30.0m × 320 μm (i.d) × 0.25 μm (film thickness)
Temperature : Column oven ; 60°C (2min.) - 5/min. → 120°C-15/min. → 270°C (15min.)
Injection port ; 250°C
Detector ; 280°C
Gas flow rate : Carrier N ₂ ; 1.3 mL/min.
Hydrogen ; 3.7 mL/min.
Air ; 60 mL/min.
Make-up N ₂ ; 3.7 mL/min.

- (1) C₁; dichloromethane : n-hexane (50/50, v/v) 50 mL
- (2) C₂; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile (50/49.35/0.65) 50 mL
- (3) C₃; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile (50/48.5/1.5) 50 mL
- (4) C₄; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile (50/45/5) 50 mL
- (5) C₅; dichloromethane : acetonitrile (50/50) 50 mL
- (6) C₆; acetonitrile 50 mL

물 중 잔류농약 분석방법

물 시료는 Whatman[®] No. 2 여지를 깐 Büchner funnel 상에서 흡인여과 하여 부유물질을 제거하고 separatory funnel에 일정량(500~700 mL)을 취해서 포화 NaCl 50 mL, dichloromethane 50 mL를 넣고 3분간 격렬하게 흔든 후 정지하여 dichloromethane층을 분리하였고 위의 과정을 반복 추출하였다. 이하 농축과 정제과정은 상기의 토양분석법과 동일하게 수행하였다.

식물체 중 잔류농약 분석방법

식물체 시료를 가위로 일정하게 잘게 자른 후 잘 섞고 일정량(20~30 g)을 칭량하여 homogenizer bottle에 넣고 Hyflo supercel[®] 20 g과 acetone 100 mL을 첨가한 후 homogenizer로 5분 동안 5,000 rpm에서 마쇄한 후 Whatman[®] No. 2 여지를 깐 Büchner funnel 상에서 흡인여과 하였으며, 단 tricyclazole의 분석은 용매추출량과 dichloromethane양을 1:1(v/v)로 조절해서 분배하였다. 이후 추출과 정제과정은 상기의 토양분석법과 동일하게 수행하였다.

결과 및 고찰

벼 이앙전 처리제 농약의 분포와 잔류성

벼 이앙전 처리제로 제초제인 butachlor 유타제와 oxadiazon 유타제의 사용이 점점 증가함에 따라 하천수 모니터링에서도 검출빈도가 높아지고 있는 추세이다. 따라서 논 씨레질한 후 이앙 2일 전에 농약을 처리하여 토양과 논물 중 두 농약의 잔류양상은 Fig. 1과 같다. 유타제 형태로 살포된 butachlor의 논물 중 잔류양상은 처리 3일 후에 초기처리량의 90% 이

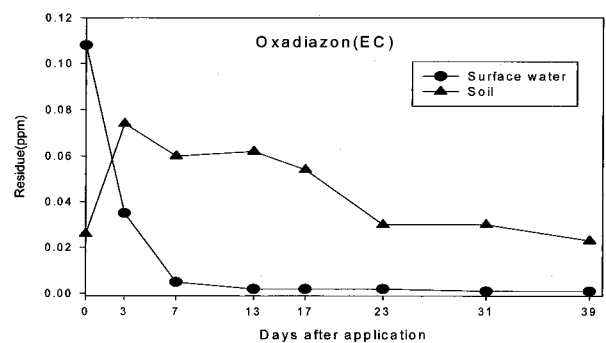
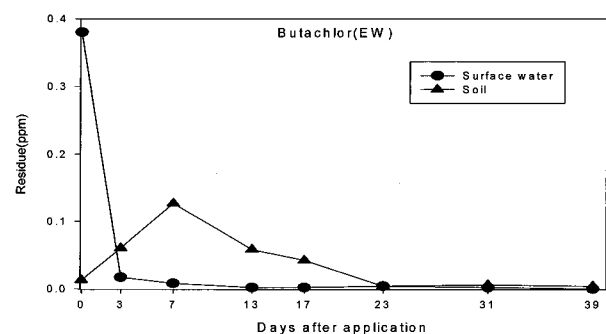


Fig. 1. Dissipation pattern of applied herbicides before rice transplanting in surface water and soil in paddy fields.

상이 소실되는 것으로 나타났으며 이는 물에 대한 용해도가 20 mg/L(20°C) 낮아 주로 토양에 흡착되었기 때문이며, 반면 토양에서는 처리직후부터 butachlor의 잔류량이 증가하여 7일에 최고 농도를 나타낸 후 점차 감소되는 추세였다. 문 (1990)은 우리나라 논토양 사양토 조건에서 butachlor 반감기는 9일이며 주요 분해요인은 미생물에 의한 것으로 보고하고 있다. 유제형태로 살포된 oxadiazon 역시 논물에서 butachlor와 비슷한 소실양상을 보였으나. 처리 3일에 토양에서 최고 농도를 보였는데 이는 물에 대한 용해도가 1.0 mg/L(20°C) 낮고, Kow값이 63,100으로 매우 높아 빠르게 토양이나 유기물에 강하게 흡착되기 때문이라 생각되며, 또한 혐기적 조건 토양에서의 소실은 서서히 이루어지는 양상으로 일본 논토양 양토조건에서 반감기는 55~90일로 대체적으로 반감기가 긴 농약이다. 김 등(2006)은 이양전 처리제의 유출원인을 방지하는 방법은 농약을 씨레질과 동시에 처리함으로써 토양이나 유기물에 농약성분이 흡착되어 상대적으로 논물 중 농약 잔류량이 낮게 분포함으로써 유출 방지 효과가 있고 살포 후 논물 중 농약성분은 처리 5일에 초기 최고 잔류량의 1/2이하로 감소되므로 농약 살포 후 적어도 5일 이상 가두어 뒤야 한다고 보고하고 있다.

벼 생육 초기 살포농약의 분포와 잔류성

벼 생육 초기 살포 농약은 주로 벼 이양 후 15일 이내에 처리하는 농약으로 제형은 주로 입제형태의 농약들이 사용된다. 이러한 농약들은 벼 식물체에 부착되지 않고 거의 논물과 토양에 분포되므로 살포의 지역인 소수계나 하천유출의 중요한 원인이 된다. 벼 농사용 중기제초제로 대부분 사용되고 있는 butachlor, thiobencarb 및 molinate을 실제 논포장 벼 생육조건에서 실험한 결과는 Fig. 2와 같다. 입제형태로 살포된 butachlor와 thiobencarb는 수용해도가 각각 20, 30 mg/L (20°C)으로 낮고 thiobencarb의 Kow 2,630으로 높아 토양과 유기물에 중에 흡착이 잘되어 시간이 지나도 논물보다 토양 중에 다 많이 잔류되는 양상이었고, 이러한 약제는 수용해도가 높은 농약보다 논물에 상대적으로 적게 녹기 때문에 하천 유출이 상대적으로 적을 것으로 생각되었다. 그러나 molinate는 수용해도가 980 mg/L(20°C)로 높아 입제형태로 살포되었지만 처리 2시간 후에 토양보다 논물에 더 많이 분포하였다. 박 등(2005)에 따르면 논물 중 반감기는 3.7일로 $Y=1.9258 \times e^{-0.1865X}$ ($r=-0.9402$)이다. 또한 살포직후 논물 중 molinate 농도의 90% 이상이 5일 후면 소실 되기 때문에 농약살포 후 5일 동안만 논물을 가두어 농약이 배수로나 소수계로 유출되지 않게 한다면 molinate에 의한 하천수의 오염

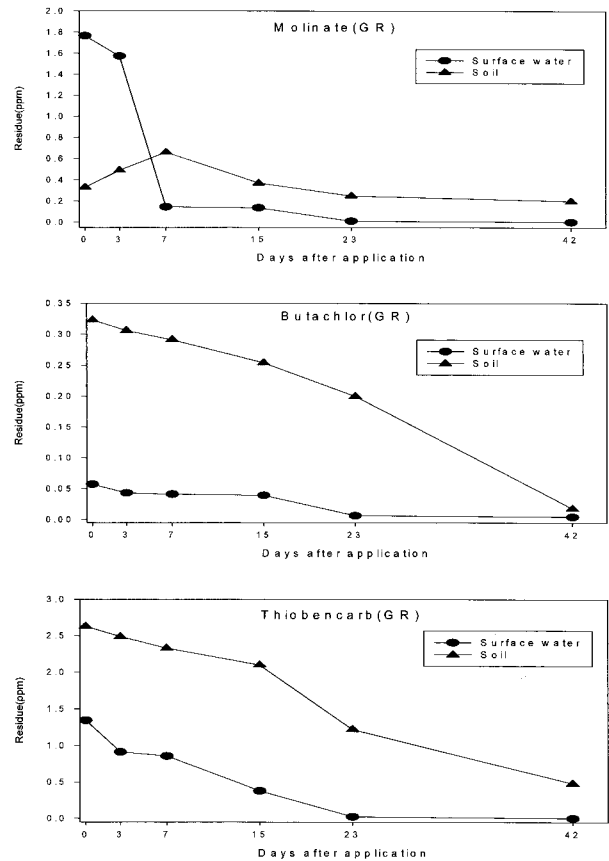


Fig. 2. Dissipation pattern of applied herbicides 12 days after rice transplanting in surface water and soil in paddy fields.

은 감소될 것으로 판단되었다. 반면 논토양에서의 molinate의 농도는 처리직후에서부터 점차 증가하다 7일 후에는 최고 농도를 나타냈고 시간이 지남에 따라 감소하는 경향으로 초기에 물 중에 존재하던 molinate 성분이 공기중으로 휘산(박 등, 2006)되거나 토양과 유기물에 흡착되어 토양과 물과의 평형상태가 유지되기 때문인 것으로 생각된다.

벼 생육 중기 살포농약의 분포와 잔류성

농약의 벼 재배 환경 중 행방은 벼 식물체의 생육상황, 즉 농약살포 당시의 작물의 canopy 정도, 작물표면의 형태에 따라서 유출의 직접원인이 되는 논물과 토양에 도달 하는 양이 차이가 난다. 생육 중기에 살포되는 농약은 주로 유제나 수화제와 같은 희석제농약이 사용되고 있으나 입제형태의 제형들도 사용되고 있다. 벼 중기에 살포되는 대표적인 농약인 유제 제형의 phenthoate와 hexaconazole, 수화제 제형의 tricyclazole, 입제 제형의 iprobenfos의 경시적 잔류양상은 Table 2와 같다. Phenthoate는 처리당일 2시간 후에 논물에 0.265 mg/kg, 토양에 0.029 mg/kg, 식물체에 15.45 mg/kg 수준으로 검출되

었으나, 처리 4일 후에는 잔류량이 논물, 토양, 식물체 모두에서 초기 농도의 95%이상 감소되어 분해가 빨라 실제논물에 잔류되는 양은 PEC(2.03 mg/kg)의 1/7.7배 낮은 수준으로 잔류되었고, 토양이나 물에 투하되는 것보다는 식물체에 부착량이 많은 것으로 나타났다. 수화제 형태로 살포된 tricyclazole은 처리 초기에 논물에 0.571 mg/kg이 잔류되었으나 처리 4일째에는 분석법의 검출한계이하로 불검출 되었으며, 반면에 토양 중에는 초기에 0.072 mg/kg에서 처리 4일에 0.468 mg/kg으로 최고농도를 보였으나 논물과 토양 중 PEC에 못 미치는 수준이었다. 유제 형태로 살포된 hexaconazole은 살포 2시간 후 논물에서 0.123 mg/kg으로 가장 높은 농도를 보였으나 시간이 지나면서 빠르게 소실되는 경향이었고, 반

면 토양 중에서는 1일 후에 최고농도를 나타냈으며 이후 서서히 잔류량이 감소되었다. 또한 논물에서 실측치는 PEC인 0.42 mg/kg보다 낮게 나타났으나, 논토양에서는 처리 1일 후부터 높게 나타나 논물에 잔류한 성분이 빠르게 토양에 흡착되는 것으로 판단되었다. 입제형태로 살포된 iprobenfos는 논토양에 처리 2시간 후 6.36, 논물 3.06, 식물체에 2.51 mg/kg 수준으로 분포되었으며 1일 후에는 토양 중에서는 5.76 mg/kg으로 감소된 반면 논물에 20.38 mg/kg, 식물체 5.91 mg/kg 수준으로 높은 잔류량을 보였으며 논물과 토양 모두 실측치가 PEC보다 높아 벼 재배 환경내 수서생물에 상대적으로 큰 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 위와 같이 식물체의 biomass가 높으면 희석제의 경우 식물체에 많은 양의 농약성분이 부착

Table 2. Changes in pesticide concentrations depended upon the elapsed time after applied in paddy fields in 46 days after rice transplanting

Pesticide	Matrix	Elapsed time (day)					PEC ^a
		0	1	4	8	18	
Phenthoate	Surface water	0.265	0.006	0.001	ND	ND	2.03
	Soil	0.029	0.047	0.003	0.002	ND	0.81
	Plant	15.45	1.850	0.214	0.113	0.011	-
Tricyclazole	Surface water	0.571	0.101	ND	ND	ND	1.60
	Soil	0.072	0.368	0.486	0.266	0.160	0.64
	Plant	18.85	6.780	1.290	0.073	0.004	-
Hexaconazole	Surface water	0.123	0.049	0.007	0.007	0.0004	0.42
	Soil	0.039	0.350	0.290	0.190	0.190	0.17
	Plant	11.77	3.465	0.976	0.710	0.187	-
Iprobenfos	Surface water	3.056	20.38	0.666	0.001	0.001	13.6
	Soil	6.360	5.760	3.760	4.107	3.730	5.44
	Plant	2.505	5.907	1.416	2.476	0.199	-

^a환경추정농도(predicted environmental concentration)

Table 3. Changes in pesticide concentrations depended upon the elapsed time after applied in paddy fields in 90 days after rice transplanting

Pesticide	Matrix	Elapsed time (day)					PEC
		0	1	5	13	29	
Phenthoate	Surface water	0.150	0.416	0.004	0.004	0.001	2.03
	Soil	0.031	0.022	0.006	0.001	0.001	0.81
	Plant	13.05	3.090	2.370	1.181	0.208	ND
Tricyclazole	Surface water	0.268	0.185	0.077	0.021	0.003	1.60
	Soil	0.297	0.303	0.360	0.489	0.509	0.64
	Plant	24.17	4.020	2.710	1.944	0.380	ND
Hexaconazole	Surface water	0.082	0.149	0.039	0.011	0.0002	0.42
	Soil	0.210	0.227	0.262	0.335	0.319	0.17
	Plant	7.430	2.360	2.560	1.260	0.322	ND

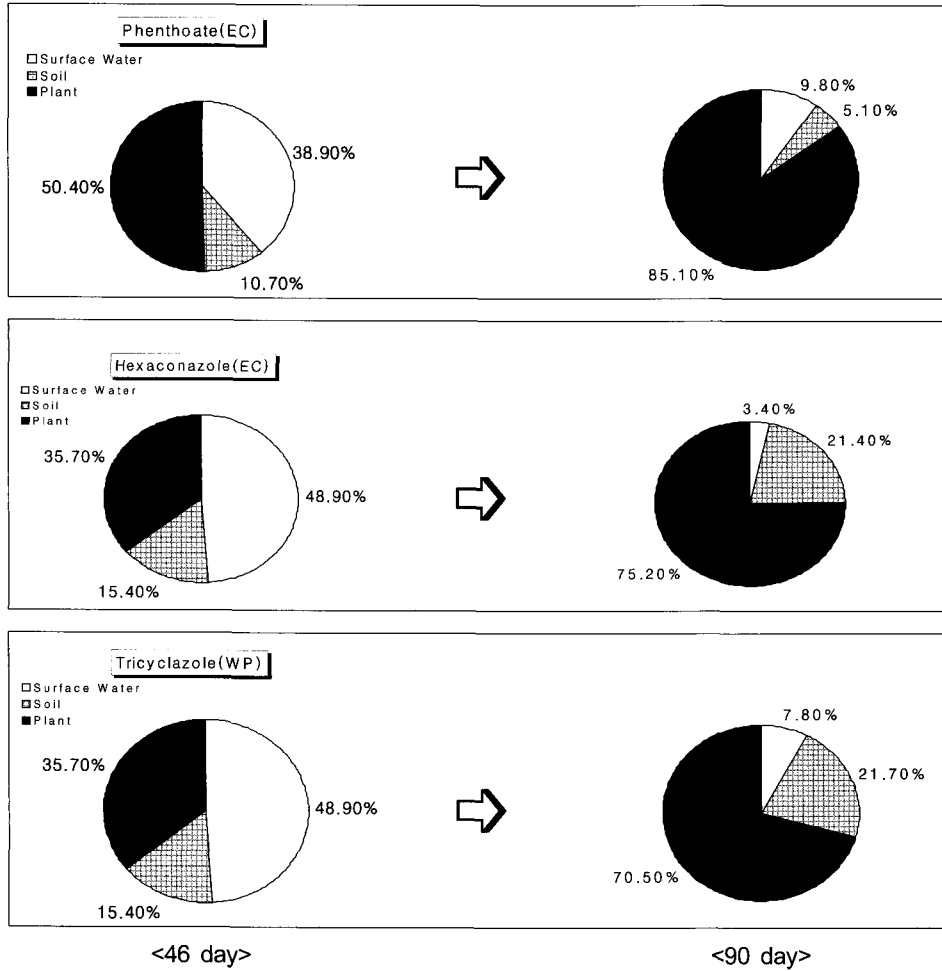


Fig. 3. Distribution rate pattern of pesticides depended upon different rice growing stages.

되어 입제형태로 처리된 농약보다 논물이나 토양에 적은양이 도달됨으로 수서생물에는 영향이 적을 것으로 생각되었다.

벼 생육중·후기별 농약 살포직후 잔류분포 양상

벼 농사용 농약 살포 후 경시적 환경노출 기여도 평가를 위하여 생육단계에 따른 농약의 잔류분포는 Fig. 3, 4와 같다. 생육중기(이앙후 46일)의 phenthoate와 hexaconazole 유제는 각각 50.4와 54.2%가 식물체에, tricyclazole수화제는 논물에서 48.9%로 최고 분포율을 보였다. 생육후기(이앙후 90일)의 phenthoate, hexaconazole 유제 및 tricyclazole 수화제 분포는 각각 85.1, 75.22 및 70.5%로 식물체에 가장 높게 분포되었다. 이와 같은 결과는 희석제 처리시 식물체의 canopy가 증가 할수록 살포되는 농약은 식물체에 많이 부착되어 상대적으로 논물이나 논토양에 투하량이 적어 수서생물에 대한 영향은 물론 유출에 의한 환경 부하량을 줄일 수 있을 것으로 생각되었다.

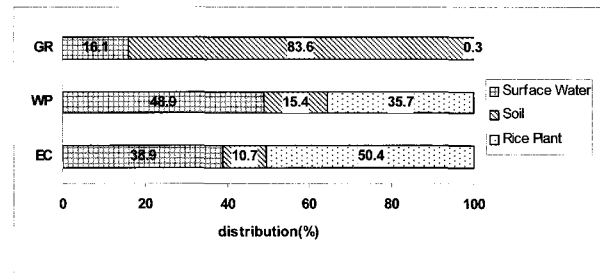


Fig. 4. Distribution rate of pesticide formulations after rice transplanting 46 days in paddy fields.

농약 제형간 분포 변화

벼 생육시 제형별 환경 노출성을 평가를 위하여 벼 생육중기(이앙후 46일)에 tricyclazole 입제, phenthoate와 hexaconazole 유제 및 tricyclazole 수화제를 살포하여 분포양상을 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 입제, 수화제 및 유제는 논물에서 16.1, 48.9 및 38.9%, 토양에서 83.6, 15.4, 10.7% 및 식물체에서 0.3, 35.7, 50.4%가 각각 분포되었다. 위와 같이 제형

별 농약분포율은 희석제인 유제와 수화제는 식물체와 논물에 주로 분포됨을 알 수 있었고, 입제는 토양과 논물에 주로 분포되어 벼 재배 환경내 수생생물에 영향을 크게 줄 뿐만 아니라 소하천 및 수계에 유출될 가능성이 높을 것으로 판단되었다. 실제 '98, '03년에 농과원에서 실시한 하천수 중 잔류농약모니터링에서도 입제형태로 살포된 수도용 농약이 주로 검출되었다(박 등, 1999). 이와 관련하여 하천수 오염우려가 높은 입제 농약의 하천 유출을 방지하고자 입제 농약 살포 후 유출 안전기간은 5일로 설정하였으며, 농약살포 후 5일 동안 담수를 유지시킴으로써 하천수의 오염을 방지 할 수 있을 것으로 생각된다.

>> 참 / 고 / 문 / 헌

- Andrew, T. Der (2000) Balancing Stream and wetland Preservation with nonpoint source pollution management. *Water Science and Technology*. 10:137-144.
- Curry, K. K., B. D. Riggle and R. E. Hoag (1989a) Ordrum[®] 15-G aquatic field dissipation study for aquatic use post flood. Report No.228-073, Department of Pesticide Regulation, Sacramento, California, U.S.A.
- Deuel, L. E., F. T. Turner, K. W. Brow and J. D. Price (1978) Persistence and factors affecting dissipation of molinate under flooded rice culture. *J. Environ. Qual.* 7:373-377.
- Eileen, Chen. D. Scott Mackay (2004) Effects of distribution-based parameter aggregation on a spatially distributed agricultural nonpoint source pollution model. *J. Hydrology*. 295:211-224.
- Erik, Romstad (2003) Team approaches in reducing nonpoint source pollution. *Ecological Economics*. 47:71-78.
- Hamilton, D. J. etc. (2003) Regulatory limits for pesticide residues in water. *Pure Appl. Chem.* 75:1123-1155.
- Imai, Y. and S. Kuwatsuka (1982) Degradation of the herbicide molinate in soils. *Journal of Pesticide Science*. 7:487-497.
- Imai, Y. and S. Kuwatsuka (1984) Uptake, translocation, and metabolic fate of the herbicide molinate in plants. *Journal of Pesticide Science*. 9:79-90.
- Johnson, W.G. and T. L. Lavy (1995) Persistence of carbofuran and molinate in flooded rice culture. *J. Environ. Qual.* 24:487-493.
- Nicholls, P. H. (1988) Factors influencing entry of pesticides into soil water. *Pestic. Sci.* 22:123-137.
- Norbert Berenzen, Thomas Kumke, Holger, K. Schulz and Ralf Schulz (2005) Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60:37-46.
- Ralf Schulz (2001) Comparison of spray drift-and runoff-related input of azinphos-methyl and endosulfan from fruit orchards into the Lourens River, South Africa. *Chemosphere*. 45: 543-551
- Ross, L. J. and R. J. Sava (1986) Fate of thiobencarb and molinate in rice fields. *Journal of Environmental quality*. 15(3):220-224.
- Soderquist, C. J., J. B. Bowers and D. G. Crosby (1977) Dissipation of molinate in a rice field. *J. Agric. Food Chem.* 25(4):940-945.
- USEPA. (2001) EFED's RED chapter for molinate (Reregistration Case #818845).U.S.A.
- 김진경, 박병준, 박상원, 이병무 (2005) 벼 이양전 살포농약의 유출 경감 연구. 농촌진흥청. 농업과학기술원 시험연구사업보고서 (농산물안전성연구) pp. 51-59.
- 金澤純 (1994) 農藥과 環境科學. 第 2 刷. 合同出版, p. 310.
- 농약공업협회 (2001) 제초제 Molinate의 잔류량 조사. 한국농약과학회.
- 문영희 (1990) 담수토양 중에 있어서 살균제 IBP의 분해속도에 미치는 각종 토양환경조건의 영향, 한국환경농학회지 33(2):133-137.
- 박경훈, 김찬섭, 이병무, 박병준 (1998) 주요 하천수 중 농약잔류량 조사. 농촌진흥청, 농업과학기술원 시험연구사업보고서(작물보호부편) pp. 826-831.
- 박병준, 박현주, 이병무, 임양빈, 최주현, 류갑희 (2005) 논토양 환경 중 제초제 molinate의 잔류성과 분해특성. 한국농약과학회지 9(1):60-69.
- 박병준, 김찬섭, 박경훈, 박현주, 임건재, 최주현, 심재한, 류갑희 (2006) 벼 재배 Lysimeter 환경에서 제초제 ¹⁴C-molinate의 분포 및 이동성 평가. 한국농약과학회지 10(3):172-182.
- 윤순강, 엄기철, 양재의, 김민경 (2001) 비점오염원 발생경감을 위한 농경지 관리 대책. 한국농촌환경학회 한일국제심포지엄 발표논문집 pp. 89-102.
- 정영호, 박영선 (1990) 농약학. 전국농업기술협회.

벼 재배환경에서 생육단계에 따른 제형별 살포농약의 분포특성

박병준* · 박상원 · 김진경 · 박경훈 · 김원일 · 권오경

농업과학기술원 농산물안전성부

요 약 벼 재배 환경에서 농약의 분포 및 유출특성과 농업환경으로의 노출성을 구명하기 위해서 살포농약의 제형과 벼 생육단계에 따른 경시적 분포양상 실험을 수행하였다. 벼 이앙전 처리제로 제초제인 butachlor 유타제와 oxadiazon 유제의 논물 중 잔류양상은 처리 3일 후에 초기처리량의 90%이상이 소실되는 것으로 나타났고, 벼 이앙 후 15일 이내에 처리한 butachlor, thiobencarb 및 molinate 입제의 농약성분의 95%이상이 논물과 토양에 분포되어, 비살포 지역으로 유출을 방지할 수 있는 유출안전기간은 농약살포 후 5일로 설정하였다. 벼 생육 중기에 살포된 iprobenfos 입제, tricyclazole 수화제, phenthoate 유제의 처리직후 2시간 후의 분포는 논물에서 16.1, 48.9와 38.9%, 토양에서 83.6, 15.4와 10.7%, 식물체에서는 0.3, 35.7과 50.4%가 각각 분포되었다. 또한 벼생육 후기 농약분포는 tricyclazole 수화제와 phenthoate 유제는 논물에서 7.8과 9.8%, 토양에서 21.7과 5.1%, 식물체에서 70.5와 85.1%가 각각 분포되어 식물체 biomass가 증가 할수록 농약 부착량이 식물체에 분포되어 논물과 토양에 적은 양이 분포되었다.

색인어 논토양, 농약제형, 농약분포, 벼, 부착량
