



고추 재배 포장 라이시메타를 이용한 Azoxystrobin의 유출 평가

김찬섭* · 이희동 · 손경애 · 길근환 · 임양빈

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부

Runoff of Azoxystrobin Applied in Pepper Field-lysimeter

Chan-Sub Kim*, Hee-Dong Lee, Kyeong-Ae Son, Geun-Hwan Gil and Yang-Bin Ihm

Department of Agro-Food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

(Received on September 2, 2016. Revised on September 22, 2016. Accepted on September 28, 2016)

Abstract To investigate runoff losses of azoxystrobin from the field by rainfall, the influence of slope degree and length on runoff rate of azoxystrobin from the pepper field were measured. The SC type formulation was applied at the pepper field lysimeter in 2004 and 2005. The azoxystrobin washed down from plant were from 21% to 68% of what the applied. Concentrations of azoxystrobin in the first runoffs were less than $50 \mu\text{g L}^{-1}$. Runoff losses were from 0.26% to 0.59% for 10% slope-plots, from 0.66% to 0.96% for 20% slope-plots, and from 0.84% to 1.78% for 30% slope-plots. Then they decreased with increasing slope-length. Runoff loss of azoxystrobin was closely related to volume of runoff, it was reduced by the ridge and the mulching effect.

Key words Azoxystrobin, runoff, slope, slope-length, wash-off.

서 론

고추 재배 시에는 탄저병, 역병 등의 병해를 방제하기 위하여 대부분의 농가에서는 지속적으로 살균제 농약을 사용하고 있다. 그 중 azoxystrobin은 사과, 배, 감귤, 감, 복숭아, 포도, 자두, 매실, 머루, 대추, 석류, 체리, 키위, 무화과 등 대부분의 과수와 고추, 오이, 수박, 참외, 가지, 딸기, 호박, 배추, 시금치, 상추, 근대, 취나물, 쑥갓, 갓, 인삼, 감자, 고구마, 양파, 마늘 및 파 등 주요 작물에 발생하는 탄저병, 역병, 더텡이병, 갈색무늬병, 겹무늬썩음병, 점무늬낙엽병, 검은별무늬병, 둥근무늬낙엽병, 모무늬낙엽병, 잣빛무늬병, 노균병, 흰가루병, 덩굴마름병, 점무늬병, 잎마름병, 뿌리혹병 등의 방제 목적으로 사용되며, 액상수화제, 유제, 수화제, 입상수화제, 유현탁제, 미탁제 등이 시판되고 있다(Korea Crop Protection Association, 2016a). Azoxystrobin은 다양한 희석제형의 단제와 chlorothalonil, cyproconazole, difenocona-

zole, dimethomorph, fludioxonil, fluazinam, hexaconazole, metalaxyl, propiconazole, tebuconazole, thiophanate-methyl을 함유한 혼합제가 시판되고 있으며, 유효성분 기준 출하량으로 azoxystrobin 함유품목의 대부분을 차지하는 액상수화제의 최근 5년간 출하량 평균은 유효성분량으로 17,849 kg이었고, 고추에 사용 등록된 품목들의 2015년 출하량은 azoxystrobin으로 22,582 kg이었다(Korea Crop Protection Association, 2016b). Azoxystrobin의 물에 대한 용해도는 6.7 mg L^{-1} 이고 유기탄소기준흡착계수(Koc)는 약 430 L kg^{-1} , 포장 토양잔류 반감기의 기하평균은 28일로 알려져 있다(EFSA, 2010; MacBean, 2012).

작물재배 과정에서 살포된 농약은 살포할 때에 토양에 직접 도달하거나 작물체에 부착되었던 농약이 강우나 이슬 등에 의하여 씻겨 내려 토양표면에 도달하게 된다(Leonard, 1990; Kim et al., 2005). 이렇게 토양에 도달한 농약은 다양한 분해대사와 이동 현상의 대상이 되는데, 토양에 잔류하는 농약은 강수량이 토양의 침투능력을 초과하는 경우에는 토양 표면유출에 의하여 지표수계로 흘러들어가게 된다(Leonard, 1990; Jarvis et al., 1997). 농약의 지표유출은 물

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

에 녹거나 부유 토양입자에 흡착된 두 가지 형태로 일어나게 된다(Reonard, 1990; Kim et al., 2005; FOCUS, 2004; Kim et al., 1997). 따라서 농약의 흡착성과 잔류성이 표면유출에 크게 영향을 미치며(McCall et al., 1980; Roberts, 1996; FOCUS, 2004), 기후 요인으로는 강우의 시기, 강도 및 강우량 등 강우 양상(FOCUS, 2004), 토양 요인으로는 유출이 일어나는 포장의 경사도, 경사의 길이 및 토양의 투수성 등을 들 수 있다(Wischmeier and Smith, 1978).

우리나라에서는 시설재배 작물을 제외한 대부분의 밭작물이 경사지에서 재배되고 6~9월 사이에 강우 시기와 농약 사용시기가 겹쳐지게 되므로 집중강우에 의하여 농약이 수계로 유출될 가능성이 높을 것으로 예상된다. 그러나 농약에 의한 수계오염의 중요한 경로인 표면유출에 대한 연구 결과는 국내의 경우 소수(Moon et al., 1993; Kim et al., 1997; Kim et al., 2006)에 불과하다. 따라서 표면유출에 의한 수계오염성을 가늠하기 위해서 다른 작물보다 농약사용량이 많고 밭작물 중 가장 많은 면적을 차지하며 전국적으로 재배되고 있는 고추에 대한 포장수준에서의 농약유출연구가 다른 작물보다 선행되어야 할 것으로 판단하였고, 포장 lysimeter에서 고추 재배에 따른 농약의 유실 양상 차이를 파악하는 일련의 실험과정을 수행하여 농약의 표면유출 양상을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

실험농약 및 잔류분석

실험에 사용된 농약은 azoxystrobin 20% 액상수화제로 시중 농약상에서 구입하였고, 그 표준품(99.5%)은 Dr Ehrenstorfer사(Augsburg, Germany)에서 구입하였다. 분석에 사용된 acetonitrile, dichloromethane 등의 용매는 Merck사(Darmstadt, Germany)의 잔류농약분석용이나 HPLC급을 사용하였다. Sodium chloride와 sodium sulfate anhydrous, Celite 545는 Merck사(Darmstadt, Germany), Hyflo Super Cel은 Fluka사(Buchs, Switzerland) 제품을 사용하였다.

유출수와 wash-off 시료는 채취 즉시 실험실로 운반하여 감압 하에서 Whatman No.2 여지와 Hyflo Super Cel이나 Celite 545 등의 여과보조제를 통과시켜 부유입자 등을 제거한 후 여과액 500 mL에 포화식염수 50 mL를 넣고 dichloromethane 50 mL로 2회 분배하여 추출하였다. 유출수 시료 500 mL의 분배추출액을 농축하여 acetonitrile 5 mL에 녹여 분석시료액으로 사용하였으며 시료 중 불순물의 방해정도와 시료의 농도수준에 따라 필요시에는 희석하여 분석하였다.

Azoxystrobin의 분석에는 시료자동주입기가 장착된 Agilent 1100 series HPLC를 사용하였다. 분석용 컬럼은 C18 column (HP Zorbax XDB18, 4.6 mm × 25 cm)을 사용하였고 분석용 용출용매의 조성은 acetonitrile : water (45:55, v/v)로 5분간 유지하고 10분 동안 acetonitrile의 비율을 75/25 (v/v)로 증가시킨 후 15분간을 유지하는 조건이었으며 검출파장은 230, 254 및 272 nm를 사용하였는데 254 nm에서 측정된 값으로 정량하고 230 nm와 272 nm 측정값을 확인용으로 사용하였다. 유출수 분석법의 검출한계는 0.2 µg L⁻¹이었고, 처리농도 2 µg L⁻¹과 10 µg L⁻¹에서 확인한 회수율은 95.1~98.2% 수준이었다.

고추재배포장 유출실험

포장유출실험은 농업과학기술원 내의 경사지에 설치된 lysimeter 포장에서 실시하였다. Lysimeter 포장은 경사도 10, 20 및 30%와 경사장 5, 10 및 15 m의 9 조합의 처리구로 나누어지고, 각 처리구는 폭 2 m인 3개의 반복구로 구성되었다. 시험구 토양의 토성은 사양토에 해당하였고 유기물 함량은 1.9% 수준이었다(Kim et al, 2007).

2004년에는 4월 21일까지 경운, 퇴비사용, 요소비료 살포 및 정지작업을 마치고, 5월 4일까지 등고선방향 두둑작업과 흑색비닐 멀칭을 완료하였으며 5월 6일 고추품종 ‘마니파’를 75 cm × 40 cm 간격으로 정식하였다(35~36주/10 m²). Azoxystrobin 20% 액상수화제를 1,000배로 희석하여 6월 23일에 10 a 당 93 L, 8월 9일과 28일에 10 a 당 130 L의 비율로 살포하였다. 농약살포 후 6월 말까지는 비가 거의 내

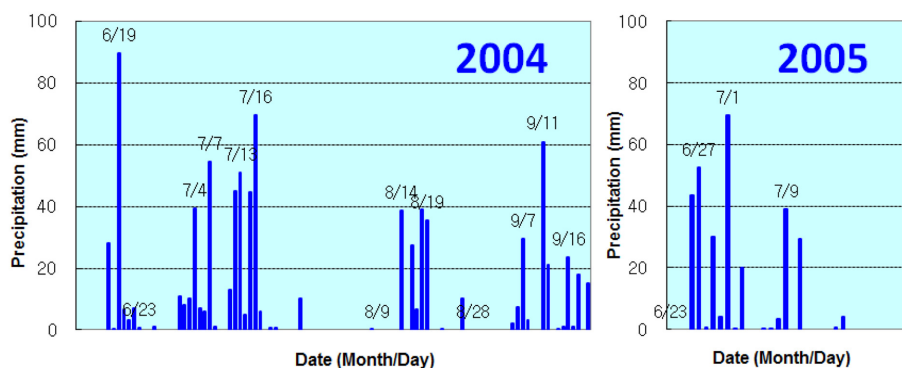


Fig. 1. Seasonal precipitation in Suwon in 2004 and 2005.

리지 않았으나 7월에는 382 mm, 8월에는 157 mm, 9월 12일까지 124 mm의 비가 내렸고 그 기간 동안에 표면 유출수를 7차례 수집하여 분석하였다. 2005년에는 4월 25일까지 경운, 퇴비시용, 복합비료 살포 및 정지작업을 마쳤고, 5월 10일까지 등고선방향 두둑작업과 흑색비닐 멀칭을 완료하고 5월 12일에 고추를 정식하였으며 6월 23일에는 axystrobin 20% 액상수화제 1,000배 희석액을 10 a 당 100 L로 살포하였다. 농약살포 3일후부터 6월말까지 130 mm의 비가 내렸고, 그 후부터 7월 11일까지 약 160 mm의 비가 내렸다.

작물에 부착된 농약이 지표면으로 이동되는 정도를 알아보기 위하여 작물체 아래에 stainless-steel pan (35 cm × 31 cm)을 경사도별로 3반복으로 설치하여 빗물을 수집하였다. 강우가 끝난 뒤 반복별로 물량을 기록하고 그 중 1 L (부족 시에는 전량)를 수집하여 분석시료로 사용하였다. 유출수는 lysimeter 시험구 하단에 설치된 폭 80 cm, 길이 100 cm, 깊이 45 cm의 1차 저수조와 폭 80 cm, 길이 80 cm, 깊이 90 cm의 2차 저수조를 이용하여 수집하였다. 저수조가 넘치지 않는 경우에는 강우직후에 시료채취 및 유출량을 측정하였고 강우량이 많아 저수조가 넘칠 경우에는 강우 중에도 유출량을 측정하고 시료를 채취한 다음 저수조를 비워 유출수를 받았다. 유출수는 수심을 측정하여 물량을 계산하였고 초자재질의 용기에 1~4 L 정도를 채취하되 두 저수조에 수집된 물량의 비율대로 채수하여 함께 섞었다(Kim et al, 2007).

결과 및 고찰

작물체 부착 농약의 강우에 의한 wash-off

작물체에 부착된 농약이 강우에 의하여 씻겨 내리는 양상을 Table 1~2에 나타내었다. 2004년 6월 23일 첫 번 살포 후 9일까지 19 mm의 강우에 의해 씻겨 내린 wash-off 중 azoxystrobin의 농도는 69~422 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준으로 살포량의 21.3%에 해당하였고, 그 후 3일까지의 49.5 mm 강우에 의하여 씻겨 내린 azoxystrobin의 농도는 11 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준으로 살포량의 2.8%에 해당하였으며, 살포 15일 후에는 검출한계(2 $\mu\text{g L}^{-1}$) 미만으로 감소하였다. 두 번째 살포의 경우는 살포 후 3일까지 38.5 mm의 강우에 의해 살포량의 66.8%에 해당하는 azoxystrobin이 259~802 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준으로 씻겨 내렸고, 그 다음 3일 후 58 mm의 강우에 의해 검출한계 미만에서 9 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준으로 처리량의 0.7%에 해당하는 azoxystrobin이 씻겨 내렸으며, 그 후 7일까지 씻겨 내린 azoxystrobin의 농도는 검출한계 미만이었다. 세 번째 살포 시에는 살포 후 9일까지 10 mm 미만의 강우에 의해 azoxystrobin 살포량의 35.9%가 1 mg L^{-1} 수준의 농도로 씻겨 내렸고, 그 후 2일까지 32.5 mm의 강우에 의해 살포량의 8.6%에 해당하는 azoxystrobin이 씻겨 내렸으며 그 농도는 36~113 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준이었다(Table 1).

2005년에는 azoxystrobin을 2004년 첫 번째 살포일과 같은 날에 살포하였다. 살포 후 5일까지 96.5 mm의 강우에 의

Table 1. Wash-off pattern of azoxystrobin deposited on the pepper plant in 2004

	Sampling date (Month/Day)								
	7/2	7/5	7/8	8/6	8/19	8/26	9/6	9/8	9/13
Precipitation (mm)	19.0	49.5	68.5	38.5	58.0	10.3	9.5	32.5	82.0
Min. concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	422	15	<2	802	9	<2	1,251	113	<2
Max. concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	69	7	<2	259	<2	<2	687	36	<2
Mean concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	208	11	<2	451	3	<2	981	69	<2
Wash-off (%) ^{a)}	21.3	2.8	-	66.8	0.7	-	35.9	8.6	-

- Application : 18.6 mg m^{-2} on June 23, 26.0 mg m^{-2} on August 9 and 28

^{a)} $[\text{Concentration}(\text{A } \mu\text{g L}^{-1})] \times \{\text{Precipitation}(\text{B mm})\} / [\text{Application rate}(\text{C mg m}^{-2})] \times 100 = 0.1 \cdot \text{AB/C}(\%)$.

Table 2. Wash-off pattern of azoxystrobin deposited on the pepper plant in 2005

	Sampling date (Month/Day)				
	6/28	6/30	7/4	7/10	7/12
Precipitation (mm)	96.5	34.0	89.8	42.7	29.5
Min. concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	49	3.0	1.4	0.7	0.5
Max. concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	133	12.9	3.1	1.4	0.9
Mean concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	104	8.0	2.1	1.1	0.7
Wash-off (%) ^{a)}	50.1	1.4	0.9	0.2	0.1

- Application : 20.0 mg m^{-2} on June 23

^{a)} $[\text{Concentration}(\text{A } \mu\text{g L}^{-1})] \times \{\text{Precipitation}(\text{B mm})\} / [\text{Application rate}(\text{C mg m}^{-2})] \times 100 = 0.1 \cdot \text{AB/C}(\%)$.

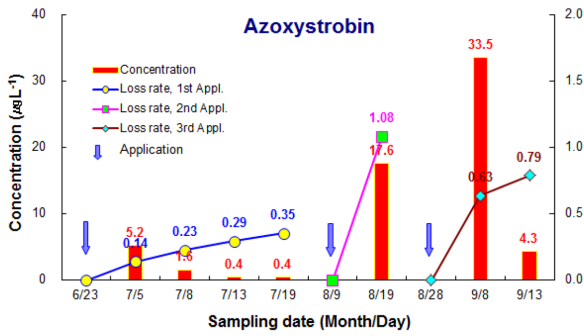


Fig. 2. Average accumulated losses of azoxystrobin through runoff from pepper field lysimeter plots.

하여 49~133 µg L⁻¹의 농도로 살포량 대비 50.1%에 해당하는 작물체에 부착된 azoxystrobin이 씻겨 내렸다. 그 이후까지 34 mm의 강우에 씻겨 내린 azoxystrobin은 살포량의 1.4%에 불과하였고 그 농도는 3~13 µg L⁻¹ 수준이었다. 그 후 12일간의 162 mm의 강우에 의하여 살포량의 1.2%에 해당하는 azoxystrobin이 추가로 씻겨 내렸으며 그 농도는 대부분 1~2 µg L⁻¹ 수준이었다(Table 2).

유출수에 의한 농약의 유실

2004년에 유출수에 의해 고추재배포장으로부터 유실된 azoxystrobin의 농도와 유실률의 평균을 Fig. 2로 나타내었다. Azoxystrobin 첫 번 살포 후 8일부터 11일, 12일과 14일 사이, 18일과 20일 사이 및 21일부터 24일까지의 각각 69 mm, 68 mm, 109 mm, 및 125 mm의 강우에 의하여 유출이 발생하였다. 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 첫 유출 시 1.9~13 µg L⁻¹, 두 번째에 0.7~1.5 µg L⁻¹, 세 번째와 네 번째 유출 시는 0.2~1.1 µg L⁻¹ 수준이었고 처리량 대비 경사도-경사장별 유실률은 네 차례 유출의 합이 0.09~1.30% 수준이었다. 두 번째 살포 후 5~10일 사이에 발생한 147 mm 강우에 의하여 발생한 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 12~26 µg L⁻¹ 수준이었으며 유실률은 0.42~1.71%이었다. 세 번째 살포 후 8~10일 사이의 39 mm, 14~15일 사이에 발생한 82 mm 강우에 의하여 발생한 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 각각 24~41 및 0.1~8.4 µg L⁻¹ 수준이었고 처리량 대비 두 차례 유출의 합이 0.27~2.33%이었다.

경사도 10%의 첫 번 살포 후 발생한 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 첫 유출 시 2.0, 1.9, 3.2 µg L⁻¹, 두 번째 유출 시 0.7, 0.8, 1.4 µg L⁻¹, 세 번째와 네 번째 유출 시는 0.3, 0.3, 0.3~0.4 µg L⁻¹이었다. 두 번째 살포 후 유출수 중 경사장별 azoxystrobin의 농도는 19.9, 26.2, 21.3 µg L⁻¹ 수준이었고. 세 번째 살포 후 발생한 두 번의 유출수 중 경사장별 azoxystrobin의 농도는 각각 31.4, 28.9, 34.1 µg L⁻¹ 및 7.6, 6.2, 1.3 µg L⁻¹이었다. 경사장별 처리량 대비 유실률은 첫 번 살포의 경우 네 차례

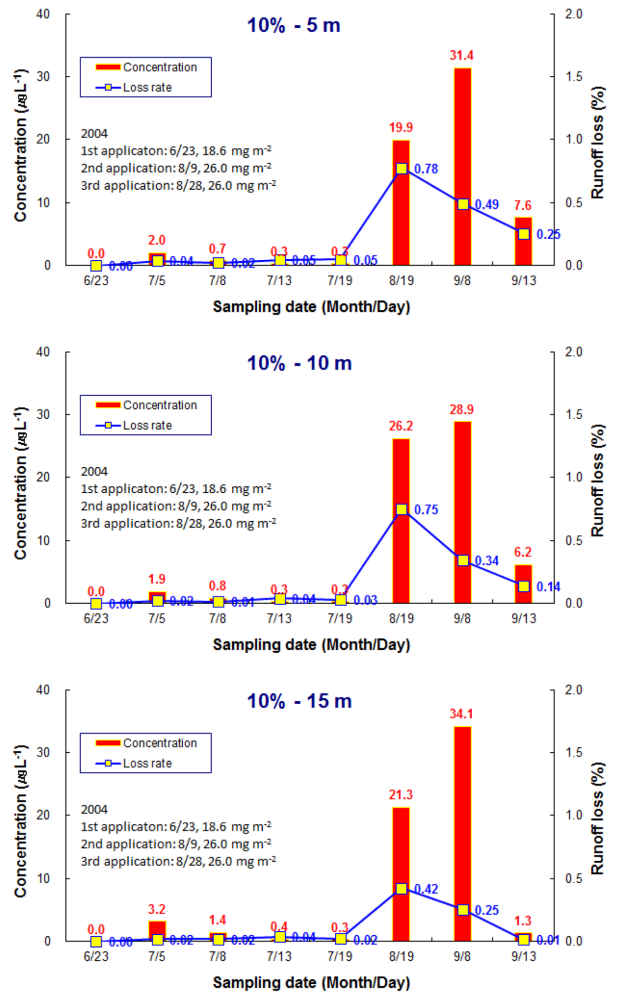


Fig. 3. Losses of azoxystrobin through runoff from 10% slope-lysimeter plots.

유출의 합이 0.09~0.15% 수준이었고, 2차 살포 후 유출에 의해 0.42~0.78%, 3차 살포 후 두 차례 유출의 합은 0.27~0.74%이었다(Fig. 3). 경사장별 유출률을 살포 차수별로 구분하여 비교하면 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 1차 살포는 0.15%, 0.11%, 0.09%, 2차 살포는 0.78%, 0.75%, 0.42%, 3차 살포는 0.74%, 0.48%, 0.27%이었고, 3회 살포 전체의 평균 유출률은 0.59%, 0.45%, 0.26%로 계산되어 경사장이 길어질수록 단위면적당 유출률이 줄어드는 것으로 나타났다. 한편 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 유출수량은 1차 살포 후 68.0 mm, 48.7 mm, 39.0 mm, 2차 살포 후 10.1 mm, 7.5 mm, 5.1 mm, 3차 살포 후 12.8 mm, 8.9 mm, 4.8 mm, 3회 살포 전체 90.9 mm, 65.1 mm, 48.9 mm로 나타나 단위면적당 유출수량도 경사장이 증가할수록 줄어드는 경향이었다(Table 3). 경사장에 따른 유출농도는 일정한 경향을 나타내지 않았으므로 단위면적당 유출수량이 유출률과 관계가 있을 것으로 생각되었다.

경사도 20%의 첫 번 살포 후 발생한 유출수 중 azoxy-

Table 3. Runoff pattern from pepper field lysimeter plots in 2004

Slope-length	Runoff water (mm)						
	7/5	7/8	7/13	7/19	8/19	9/8	9/13
10%-5 m	3.3	6.1	28.5	30.1	10.1	4.1	8.7
10%-10 m	2.1	3.4	24.8	18.4	7.5	3.1	5.8
10%-15 m	1.0	2.2	19.3	16.5	5.1	1.9	2.9
20%-5 m	3.7	10.4	46.4	37.9	26.7	6.3	7.8
20%-10 m	2.9	7.2	38.7	32.6	20.3	4.4	7.3
20%-15 m	3.4	9.2	27.6	23.7	17.0	4.7	7.6
30%-5 m	9.2	17.9	42.8	32.5	30.1	11.5	17.3
30%-10 m	7.3	16.4	42.8	34.3	26.6	9.6	11.3
30%-15 m	6.5	13.0	29.0	24.5	23.3	4.3	7.2

strobins의 농도는 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 첫 유출 시 3.9, 10.6, 6.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, 두 번째 유출 시 1.6, 2.5, 1.8 $\mu\text{g L}^{-1}$, 세 번째와 네 번째 유출 시는 0.4, 0.5, 0.4~0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 두 번째 살포 후 유출수 중 경사장별 azoxystrobin의 농도는 14.8, 16.8, 12.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준이었고. 세 번째 살포 후 발생한 두 번의 유출수 중 경사장별 azoxystrobin의 농도는 각각 24.1, 30.0, 41.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 및 0.1, 1.2, 4.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 경사장별 처리량 대비 유실률은 첫 번 살포의 경우 네 차례 유출의 합이 0.33~0.62% 수준이었고, 2차 살포 후 유출에 의해 0.78~1.52%, 3차 살포 후 두 차례 유출의 합은 0.58~0.90%이었다(Fig. 4). 경사장별 azoxystrobin의 살포량 대비 유출률을 살포 차수별로 구분하여 비교하면 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 1차 살포는 0.35%, 0.62%, 0.33%, 2차 살포는 1.52%, 1.46%, 0.77%, 3차 살포는 0.58, 0.79%, 0.90%이었다고, 3회 살포 전체의 평균 유출률은 0.82%, 0.96%, 0.66%로 계산되어 10% 경사구들과는 달리 경사장이 길어질수록 단위면적당 유출률이 줄어드는 경향은 뚜렷하지 않았다. 그러나 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 유출수량은 1차 살포 후 98.4 mm, 81.4 mm, 63.9 mm, 2차 살포 후 26.7 mm, 20.3 mm, 17.0 mm, 3차 살포 후 15.1 mm, 11.7 mm, 12.3 mm, 3회 살포 전체 140.2 mm, 113.4 mm, 93.2 mm로 나타나 10% 경사구와 동일하게 단위면적당 유출수량은 경사장이 증가할수록 줄어드는 것으로 확인되었고 (Table 3), 20% 경사구에서의 azoxystrobin의 유출률은 유출 농도에 의해 다소 영향을 받은 것으로 생각되었다.

경사도 30%의 첫 번 살포 후 발생한 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 첫 유출 시 13.1, 11.5, 1.92 $\mu\text{g L}^{-1}$, 두 번째 유출 시 2.9, 2.6, 0.8 $\mu\text{g L}^{-1}$, 세 번째와 네 번째 유출 시는 0.8, 0.7, 0.2 $\mu\text{g L}^{-1}$ 및 1.1, 0.6, 0.2 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 두 번째 살포 후 유출수 중 경사장별 azoxystrobin의 농도는 19.9, 26.2, 21.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준이었고. 세 번째 살포 후 발생한 두 번의 유출수 중 경사장별 azoxystrobin의 농도는 각각 31.4, 28.9, 34.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ 및 7.6,

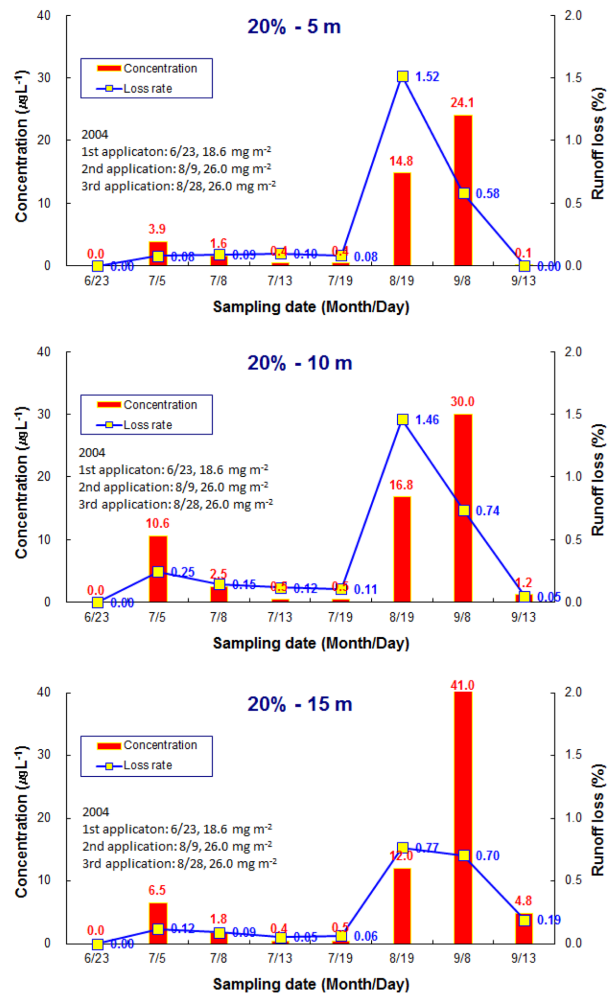


Fig. 4. Losses of azoxystrobin through runoff from 20% slope-lysimeter plots.

6.2, 1.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 경사장별 처리량 대비 유실률은 첫 번 살포의 경우 네 차례 유출의 합이 0.20~1.30% 수준이었고, 2차 살포 후 유출에 의해 1.33~1.71%, 3차 살포 후 두 차례 유출의 합은 0.62~2.33%이었다(Fig. 5). 경사장별 유출률을 살포 차수별로 구분하여 비교하면 경사장 5 m,

10 m, 15 m 순으로 1차 살포는 1.30%, 0.95%, 0.20%, 2차 살포는 1.70%, 1.33%, 1.71%, 3차 살포는 2.33%, 1.55%,

0.62%이었고, 3회 살포 전체의 평균 유출률은 1.78%, 1.28%, 0.84%로 계산되어 10% 경사구와 동일하게 경사장이 길어질수록 단위면적당 유출률이 줄어드는 것으로 나타났다. 한편 경사장 5 m, 10 m, 15 m 순으로 유출수량은 1차 살포 후 102.4 mm, 100.8 mm, 73.0 mm, 2차 살포 후 30.1 mm, 26.6 mm, 23.3 mm, 3차 살포 후 28.8 mm, 20.9 mm, 11.5 mm, 3회 살포 전체 161.3 mm, 148.3 mm, 107.8 mm로 나타나 단위면적당 유출수량도 경사장이 증가할수록 줄어드는 경향이었다(Table 3). 경사장에 따른 유출농도는 일정한 경향을 나타내지 않았고, 단위면적당 유출수량과 azoxystrobin의 유출률이 경사장의 증가에 따라 감소하는 양상이었으므로 유출수량과 azoxystrobin의 유출률이 밀접한 관계가 있는 것으로 드러났다.

경사도와 경사장 조합이 살포농약의 유출률에 미치는 영향을 종합하면 농약의 유출률은 유출수량에 의해 결정되는데 경사도가 증가할수록 늘어나고, 경사장이 증가할수록 줄어드는 경향이었다. 이것은 콩밭에서 보고된 것과는 다른 결과인데 그 이유는 두둑과 멀칭에 의해 유출수 흐름의 속도가 줄어들고 소요시간이 증가되어 침투수량이 늘어났기 때문으로 생각된다.

2005년의 경우에는 azoxystrobin 살포 후 7일 까지 131 mm의 강우에 의하여 유출이 발생하였으나 측정하지 못하였다. 그 후 7월 1~3일 사이에 내린 90 mm의 강우에 의한 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 3.4~7.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, 7월 8~11일 사이에 내린 72 mm의 강우에 의한 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 1.9~4.71 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 처리량 대비 유출률은 첫 번째 유출에서는 확인하지 못하였고, 둘째, 셋째 유출에 의한 유출률은 각각 0.28~1.41%과 0.08~0.35% 범위였다. 첫 번째 유출수량과 유출농도를 측정하지 못해 경사도와 경사장에 따른 유출률의 증감에 대한 경향은 2004년과 달리 뚜렷하지 않았다(Table 4).

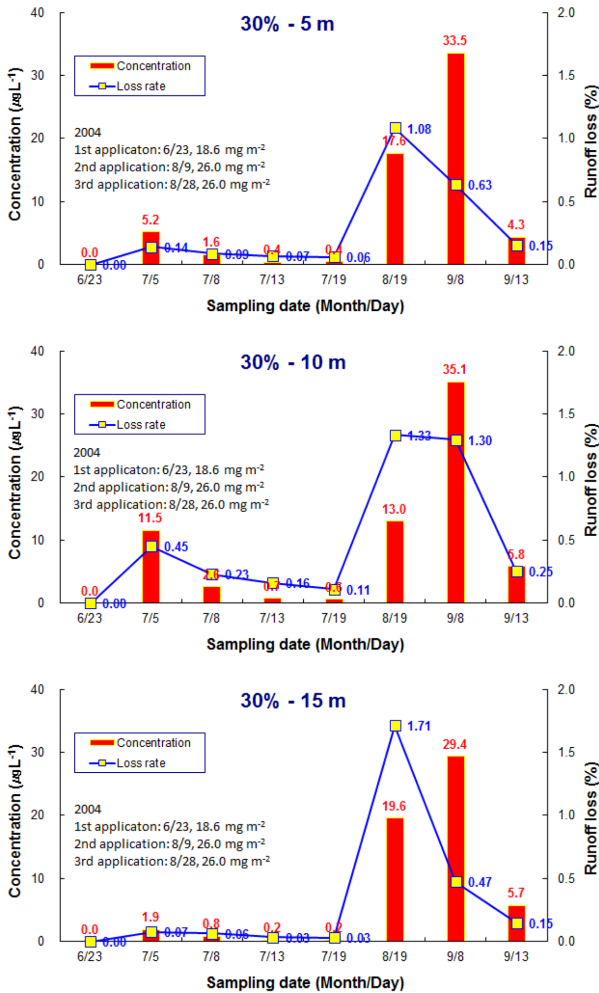


Fig. 5. Losses of azoxystrobin through runoff from 30% slope-lysimeter plots.

Table 4. Losses of azoxystrobin through runoff from pepper field lysimeter plots in 2005

Slope-length	Concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)			Runoff water (mm)			Loss rate (%) ^{a)}		
	~6/30	7/4	7/12	~6/30	7/4	7/12	~6/30	7/4	7/12
10%-5 m	NA ^{b)}	7.1	4.7	NS ^{c)}	17.2	8.8	NC ^{d)}	0.61	0.21
10%-10 m	NA	7.5	3.6	NS	10.1	7.1	NC	0.38	0.13
10%-15 m	NA	3.7	3.8	NS	15.9	4.7	NC	0.28	0.09
20%-5 m	NA	6.8	1.9	NS	41.5	8.8	NC	1.41	0.08
20%-10 m	NA	3.4	3.0	NS	23.4	6.4	NC	0.40	0.10
20%-15 m	NA	4.7	3.7	NS	26.9	6.6	NC	0.62	0.12
30%-5 m	NA	6.6	3.3	NS	33.9	21.1	NC	1.12	0.35
30%-10 m	NA	5.9	2.4	NS	44.1	11.9	NC	1.30	0.14
30%-15 m	NA	5.1	2.7	NS	39.6	11.5	NC	1.02	0.15

All data are averages of three replicates or values from composited samples.

^{a)} $[\text{Concentration (A } \mu\text{g L}^{-1})] \times [\text{Runoff (B mm)}] / [\text{Application rate (C mg m}^{-2})] \times 100 = 0.1 \cdot \text{AB/C (\%)}$.

^{b)}Not analyzed. ^{c)}Not sampled. ^{d)}Not calculated.

결 론

Azoxystrobin의 경우 살포 10일 이내에 70 mm 정도의 강우가 오면 탈착 가능한 잔류분은 대부분 씻겨 내리는 것으로 나타났고, 고추밭 유출수 중 azoxystrobin의 농도는 50 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준에 미치지 않아 수서생물에 대한 영향 가능성은 낮을 것으로 생각되었다. Azoxystrobin의 유출률은 유출수량에 의해 결정되는데 경사도가 증가할수록 늘어나고, 경사장이 증가할수록 줄어드는 경향이였다. 두둑과 멀칭에 의해 유출수 흐름의 속도가 줄어들고 소요시간이 증가되어 침투수량이 늘어났기 때문으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2003년부터 2005년까지 수행한 농촌진흥청의 “고추재배 경사지 밭토양 중 농약의 이동성 연구”와 2015년부터 2017년까지 계획된 농촌진흥청의 “농약품목의 만성환경유해성 분야 물질분류 및 표시 체계 개선(과제번호 : PJ01098304)”의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

Literature Cited

- European Food Safety Authority (2010) Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance azoxystrobin. pp 110.
- FOCUS (2004) FOCUS surface water scenarios in the EU evaluation process under 91/414/EEC. pp 294.
- Jarvis, N. J., J. M. Hollis, P. H. Nicholls, T. Mayer and S. P. Evans (1997) MACRO_DB : A decision-support tool for assessing pesticide fate and mobility in soils. *Environmental Modelling & Software* 12:251-265.
- Kim, K., J. H. Kim and C. K. Park (1997) Pesticide runoff from soil surface by rainfall. *Korean J. Environ. Agric.* 16(3): 274-284.
- Kim, S. S., Kim, T. H. Kim, S. M. Lee, D. S. Park, Y. Z. Zhu and J. H. Hur (2005) Mobility of pesticides in different slopes and soil collected from Gangwon alpine sloped-land under simulated rainfall conditions. *Korean J. Pestic. Sci.* 9(4):316-329.
- Kim, C. S., Y. B. Ihm, Y. D. Lee and B. Y. Oh (2006) Runoff and erosion of alachlor, ethalfluralin, ethoprophos and pendimethalin by rainfall simulation. *Korean J. Environ. Agric.* 25(4):306-315.
- Kim, C. S., H. D. Lee, Y. B. Ihm and G. J. Im (2007) Runoff of endosulfan by rainfall simulation and from soybean-grown field lysimer. *Korean J. Environ. Agric.* 26(4):343-350.
- Korea Crop Protection Association. (2016a) Agrochemicals use guide book.
- Korea Crop Protection Association. (2016b) Agrochemicals year book.
- Leonard, R. A. (1990) Movement of pesticides into surface waters, In *Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling*. H. H. Cheng, (Ed.), Soil Science Society of America, Madison, WI. 303-349.
- MacBean, C. (ed.) (2012) *The pesticide manual* (16th ed.). British Crop Protection Council.
- McCall, P. J., R. L. Swann, D. A. Laskowski, S. M. Unger, S. A. Vrona and H. J. Dishburger (1980) Estimation of chemical mobility in soil from liquid chromatographic retention times. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 24:190-195.
- Moon, Y. H., Kim, Y. T. Kim, Y. S. Kim and S. K. Han (1993) Simulation and measurement of degradation and movement of insecticide ethoprophos in soil. *Korean J. Environ. Agric.* 12(3):209-218.
- Roberts, T. R. (1996) Assessing the environmental fate of agrochemicals. *J. Environ. Sci. Health.* B31:325-335.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978) Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook No. 537.

고추 재배 포장 라이시메타를 이용한 Azoxystrobin의 유출 평가

김찬섭* · 이희동 · 손경애 · 길근환 · 임양빈

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부

요 약 작물재배 관행과 지형에 의한 농약의 유실양상의 차이를 파악하고자 고추재배 경사지 포장에서 농약유출 실험을 수행하였다. Azoxystrobin 20% 액상수화제를 2004년과 2005년에 살포한 후 작물체를 씻어 내리는 빗물과 유출수 중 azoxystrobin의 잔류 양상을 추적하였다. 농약살포 후 작물체 표면에 부착되었던 azoxystrobin이 빗물에 씻겨 내리는 정도는 살포량의 24~68% 수준이었다. Azoxystrobin의 첫 번째 유출농도는 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ 미만이었으며, 10% 경사구의 유출률은 0.26~0.59%, 20% 경사구의 유출률은 0.66~0.96%, 30% 경사구의 유출률은 0.84~1.78%로 경사장의 증가에 따라 줄어들었다. Azoxystrobin의 유출률은 유출수량과 관계가 밀접하고, 단위면적당 유출수량은 두둑과 멀칭효과에 의해 감소하였다.

색인어 아зок시스트로빈, 유출, Wash-off, 경사도, 경사장