



살균제 Fludioxonil 및 Metconazole의 밀 부위별 잔류 양상

강자균 · 황정인 · 이상협 · 전상오 · 곽세연 · 박준홍¹ · 김장억*

경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부, ¹경상북도 농업기술원 농업환경연구과

Residual Patterns of Fungicides Fludioxonil and Metconazole in Different Parts of Wheat

Ja-Gun Kang, Jeong-In Hwang, Sang-Hyeob Lee, Sang-Oh Jeon, Se-Yeon Kwak, Jun-Hong Park¹ and Jang-Eok Kim*

School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Republic of Korea

¹Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Daegu 702-708, Korea

(Received on November 3, 2016. Revised on November 28, 2016. Accepted on November 29, 2016)

Abstract Residual patterns of fungicides fludioxonil and metconazole applied 2 or 3 times on wheat were investigated with consideration for their distribution rates in each compartment of wheat. Wheat samples collected at harvesting day were divided into three compartments such as grain, hull and straw, and the pesticide residue analysis was individually carried out to such compartments of wheat. The analytical methods of fungicide residues in wheat were acceptable, with recoveries of 84.3 to 113.3% and correlation coefficients of 0.1 to 4.7%. Due to the systemic characteristics, the residual amounts of metconazole in the grain part of wheat were greater as 0.13–0.17 mg/kg than those amounts (0.01–0.03 mg/kg) for fludioxonil. To absolute residue amounts of the fungicides in one wheat plant, their distribution rates in each compartment of wheat were the highest in straws (68.5–70.7%), followed by hulls (29.0–31.0%) and grains (0.2–0.8%).

Key words Fludioxonil, metconazole, pesticide residue amount, wheat

<< ORCID

Jang-Eok Kim

<http://orcid.org/0000-0003-1412-9393>

서론

식생활의 서구화에 따라 우리나라의 지난 30년간 쌀 소비량은 지속적으로 감소하는 반면 1인당 밀 소비량은 증가하여 2014년 기준 연간 31.7 kg으로 쌀 다음으로 많이 소비되고 있다(MAFRA, 2015). 그렇지만 국내 밀 재배면적은 2015년 기준 10,076 ha로 쌀(799,344 ha)과 보리(44,292 ha)의 재배면적에 비해 크게 작으며(KOSIS, 2016), 밀 재배 시 사용 가능한 농약도 6품목으로 다른 작물과 비교하였을 때 상대적으로 많이 적은 편이다(KCPA, 2016).

밀은 대부분 탈곡 및 제분 공정을 거쳐 밀가루로 가공한 후 식품의 원료로 사용하지만 밀기울을 포함한 겉껍질과 짚 부위는 가축의 사료나 퇴비용으로 사용되기도 한다(Song et al., 1998). 밀을 재배하는 과정에서 살포된 농약은 밀의 각 부위에 다르게 잔류할 수 있는데, 특히 침투이행성 농약들은 밀의 가식부로 침투하여 잔류될 가능성도 있다(Seo et al., 2013). Bakore 등(2004)은 인도 라자스탄의 자이푸르 지역에서 유통되는 밀가루를 계절별로 구입하여 aldrin을 포함한 유기염소계 농약 4종의 총 잔류량을 산출한 결과 우기(rainy period)에 구입한 밀가루에서 최대 38.3 mg/kg의 잔류량을 확인하였다.

작물 중 농약의 잔류양상은 농약의 이화학적 특성과 제형, 작물의 생육형태, 재배환경 등 다양한 요인에 의해 달라질

*Corresponding author

E-mail: jekim@knu.ac.kr

수 있으며(Kwon et al., 2004; Yu et al., 2008), 작물의 부위에 따라서도 살포된 농약의 잔류양상이 다르게 나타날 수 있다(Lee and Hwang, 2009; Hwang and Kim, 2014; Hwang et al., 2014). 또한 몇몇 연구에서 살포 후 토양에 잔류하는 농약이 작물체의 뿌리를 통해 흡수되어 작물의 각 부위에 다르게 잔류한다는 보고도 있다(Hwang et al., 2014; 2015). 따라서 잔류농약의 안전성 확보를 위해 사람에게 식용으로 사용되거나 다른 용도로 사용될 수 있는 작물의 부위를 구별하여 농약의 잔류양상을 이해하는 것이 요구된다.

Fludioxonil은 phenylpyrrole계통의 비침투성 살균제로서 액상수화제, 수화제, 입상수화제, 과립혼연제 등 다양한 제형으로 생산되고 있으며 밀과 보리 등의 재배 시 발생하는 붉은 곰팡이병, 키다리병 등을 방제하기 위해 사용되고 있다(KCPA, 2016). 한편, 액상수화제 및 입제 형태로 생산되는 metconazole은 *cis*와 *trans* 이성질체로 구성된 침투성의 triazole계 살균제로 최근 밀의 붉은 곰팡이병 방제를 위해 적용을 검토한 바 있다(RDA, 2014). Metconazole의 분자량(319.8 g/mol)과 수중 용해도(30.4 mg/L)는 fludioxonil의 분자량(248.2 g/mol)과 수중 용해도(1.8 mg/L) 보다 더 크며(Macbean, 2012), 이러한 물리화학적 차이는 작물 중 두 농약의 다른 잔류양상을 초래할 수 있다.

본 연구는 살균제 fludioxonil 및 metconazole을 밀 생육 시기에 살포하였을 때 약제의 특성에 따른 밀의 부위별 잔류양상을 조사하여 밀 이용 시에 농약의 안전성 확보를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

농약 및 시약

시험농약 fludioxonil (99.0%)과 metconazole의 *cis* (98.0%)

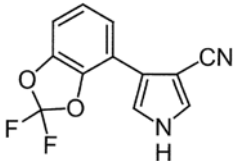
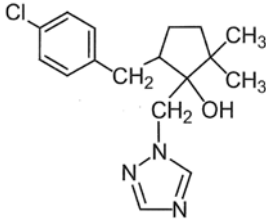
및 *trans* (98.0%) 이성질체 표준품은 Wako Pure Chem Co. Ltd. (Osaka, Japan)의 것을 사용하였으며, 시험농약의 구조 및 물리화학적 성질은 Table 1과 같다. 살포된 농약의 제형은 fludioxonil의 경우 20% 액상수화제(신젠타, 사파이어), metconazole의 경우 20% 액상수화제(동방아그로, 살림꾼)이었다. 잔류농약 분석에 사용된 acetone, acetonitrile, dichloromethane, ethyl acetate 및 *n*-hexane은 Burdick & Jackson Inc. (Muskegon, MI, USA)로부터, florisil (F9127, 60-100 mesh)은 Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, USA)으로부터 구입하여 사용하였다. Sodium chloride (GR급)와 sodium sulfate (GR급)는 Junsei Chemical Co. (Tokyo, Japan) 제품을 사용하였다.

포장시험 및 시료전처리

시험포장은 경상북도 칠곡군 왜관읍 삼청리에 위치한 밀의 노지포장 이었으며 품종은 조은밀 이었다. 약제 처리구는 4.0×2.5 m의 면적이 되도록 3반복 배치하되, 각 처리구 간에 2.0 m의 완충구를 두었다. 밀의 재식밀도는 10×10 cm 이었으며 재배방법은 농가의 관행적인 재배방법을 따랐다. 약제살포는 안전사용기준에 따라 fludioxonil과 metconazole 제품을 각각 10 L의 물에 1,000배 및 1,500배 희석한 후, 밀 수확 21일을 기준으로 2회 또는 3회 살포하였으며, 동력식 분무기(40 psi)를 사용하여 처리구 전체에 10 a 당 유효성분이 fludioxonil의 경우 0.04 kg, metconazole의 경우 0.027 kg이 되도록 균일하게 살포하였다.

밀 시료는 처리구 당 알곡의 양이 1 kg, 쥘의 양이 500 g 이상이 되도록 채취하였으며, 채취된 시료는 처리구별로 포장하여 즉시 실험실로 운반하였다. 밀 시료는 밀알(grain), 겉껍질(hull) 및 쥘(straw)으로 분리하여 무게를 측정한 후 음지에서 풍건하였으며, 건조된 시료는 각각의 부위별로 분

Table 1. Physico-chemical properties of fludioxonil and metconazole

Pesticide	Fludioxonil	Metconazole
Structure		
Chemical name	4-(2,2-difluoro-1,3-benzodioxol-4-yl)pyrrole-3-carbonitrile	(1R,5R;1R,5SR)-5-(4-chloro-benzyl)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)cyclopentanol
Molecular weight	248.2	319.8
Log K_{ow}	4.12	3.85
Solubility	In water 1.8 mg/L (25°C). In acetone 190, ethanol 44, toluene 2.7, <i>n</i> -octanol 20, hexane 0.01 g/L (25°C)	In water 30.4 mg/L (20°C). In methanol 403, acetone 363 (both in g/L, 20°C)
Stability	Practically no hydrolysis at 70°C between pH 5 and 9	Good thermal and hydrolytic stability

쇄기(GM-8000, GOLD MILL Co. Ltd., Korea)를 이용하여 40 mesh 이상으로 분쇄한 후 이를 폴리에틸렌 비닐 백에 밀 봉하여 -20°C 냉동고에서 보관하였다.

잔류농약분석법

밀 중 fludioxonil 및 metconazole의 잔류분석방법은 식품공전 잔류농약 분석법을 변형하여 사용하였다(MFDS, 2015). 밀알은 10 g, 걸겉질 및 짚은 5 g을 각각 칭량하여 40 mL 증류수와 함께 30분간 습윤화 후, 일정량의 acetonitrile과 함께 homogenizer로 12,000 rpm으로 3분간 균질화하였다. 추출액을 감압여과하고 증류수와 포화식염수가 첨가된 분액여두에 옮긴 후 dichloromethane으로 50 mL씩 2회 분배·추출하였다. 분배된 유기용매층은 sodium sulfate에 탈수시켜 40°C 수욕상에서 감압농축 후 *n*-hexane에 재용해하여 정제하였다. Florisil 10 g과 sodium sulfate 2 g을 차례로 습식 충전한 glass column (16 mm i.d.×40 cm, PTFE 부착)을 100 mL *n*-hexane으로 씻어 내리고, 앞서 재용해한 시료액을 부하하였다. Fludioxonil의 경우 column의 상부에 80 mL *n*-hexane/ethyl acetate (90/10, v/v)로 흘려 버린 후 100 mL *n*-hexane/ethyl acetate (80/20, v/v)를 용출시켜 받아 농축하고 일정량의 acetonitrile에 재용해하여 GL Sciences Inertsil C8 [4.6 mm×250 mm i.d., 5 µm] column을 장착한 HPLC-UVD (Shimadzu Prominence, Japan)로 분석하였고,

이때 검출기의 흡광파장은 254 nm이었으며 이동상 용매는 acetonitrile/water (55/45, v/v)를 사용하여 1.0 mL/min의 유속으로 흘려 주었다. Metconazole의 경우 시료액을 부하한 column의 상부에 80 mL *n*-hexane/acetone (90/10, v/v)으로 흘려 버리고 70 mL *n*-hexane/acetone (70/30, v/v)으로 용출시켜 받아 농축한 후 일정량의 acetone에 재용해하여 DB-5 [30 m×0.25 mm i.d., 0.25 µm (film thickness)] capillary column을 장착한 GC-MS (Shimadzu GC 2010, Japan)로 분석하였다. Electron impact (EI) mode로 이온화 된 metconazole의 125 및 250 m/z의 fragment ion을 선택하여 selective ion monitoring (SIM) 분석을 실시하였다. 0.1~10.0 mg/L의 표준회석용액을 이용하여 얻어진 표준검량선의 직선회귀식으로부터 시료 중 fludioxonil 및 metconazole의 잔류량을 산출하였다. Metconazole은 *cis* 및 *trans* 이성질체 각각의 잔류량을 산출하고 두 이성질체의 합으로써 잔류량을 평가하였다.

밀의 부위별 두 농약의 회수율 시험은 밀알에 대해 0.2 및 1.0 mg/kg, 밀짚과 밀겉질에 대해 0.4 및 2.0 mg/kg의 농도로 각 농약을 처리하고 상기의 잔류농약분석법에 따라 실시하였으며 metconazole에 대한 matrix matched 검량선은 각각의 무처리 시료를 상기 분석법에 따라 전처리하고 이 시료에 metconazole 표준용액을 0.1~10.0 mg/L가 되도록 첨가한 후 기기분석하여 작성하였다.

Table 2. Recoveries and limits of detection (LOD) of fludioxonil and metconazole in each compartment of wheat

Pesticide	Wheat part	Fortification level (mg/kg)	Recovery (%) ^{a)} ± SD	LOD ^{b)} (mg/kg)	MDA ^{c)} (ng)
Fludioxonil	Grain	0.2	111.7 ± 2.8	0.02	2.0
		1.0	102.5 ± 2.9		
	Straw	0.4	85.2 ± 1.3	0.04	
		2.0	100.4 ± 0.5		
	Hull	0.4	88.4 ± 0.9	0.04	
		2.0	100.8 ± 0.5		
<i>cis</i> -Metconazole	Grain	0.2	102.1 ± 3.4	0.02	0.1
		1.0	94.8 ± 1.6		
	Straw	0.4	89.3 ± 0.2	0.04	
		2.0	86.3 ± 0.6		
	Hull	0.4	85.8 ± 1.3	0.04	
		2.0	90.3 ± 0.4		
<i>trans</i> -Metconazole	Grain	0.2	105.3 ± 5.0	0.02	0.1
		1.0	105.0 ± 1.8		
	Straw	0.4	95.3 ± 0.5	0.04	
		2.0	96.6 ± 0.9		
	Hull	0.4	97.0 ± 1.0	0.04	
		2.0	93.2 ± 0.9		

^{a)} Mean of triplication. ^{b)} LOD (Limit of Detection) for fludioxonil, LOQ (Limit of Quantification) for metconazole.

^{c)} MDA (Minimum Detectable Amount)

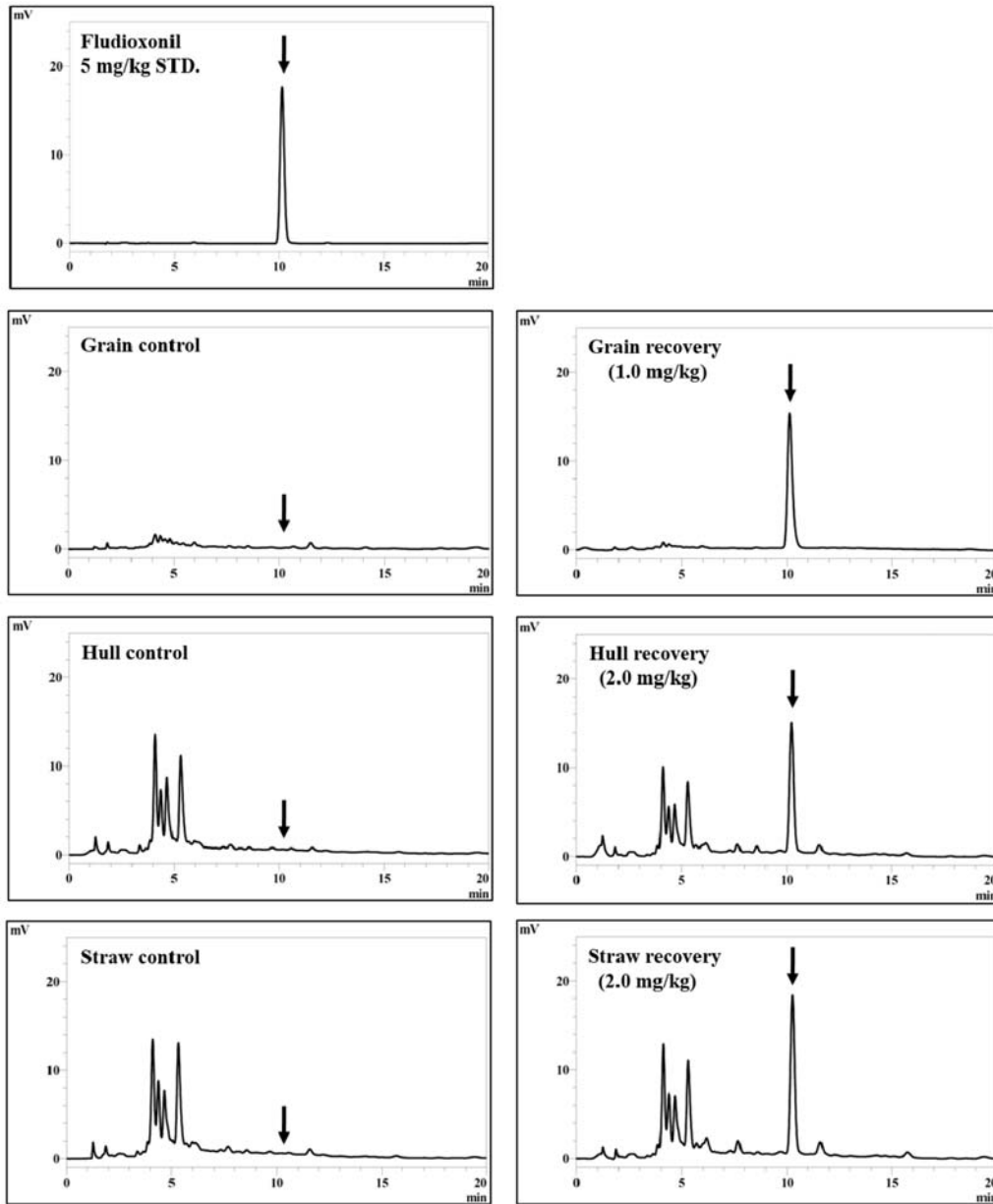


Fig. 1. HPLC-UVD chromatograms for recovery tests of fludioxonil in each compartment of wheat.

결과 및 고찰

회수율시험

HPLC-UVD로 분석된 fludioxonil과 GC-MS로 분석된 metconazole의 표준품에 대한 표준검량선은 0.999 이상의 상관계수(r^2)를 나타내었다. 밀의 부위별 두 농약의 확립된 시험법에 의한 회수율 시험 결과는 Table 2와 같았다. Fludioxonil의 회수율은 밀알에 대해 0.2 및 1.0 mg/kg 처리농도에서 102.5~111.7%, 밀짚 및 밀껍질에 대해 0.4 및 2.0 mg/kg 처리농도에서 85.2~102.1%로 나타났다. 또한 metconazole의 회수율은 밀알에 대해 0.2 및 1.0 mg/kg 처리농도에서 94.8~105.3%, 밀짚 및 밀껍질에 대해 0.4 및 2.0

mg/kg 처리농도에서 85.8~97.0%로 나타나 두 농약 모두 잔류농약분석 기준인 70~120% 회수율을 만족하였다. 뿐만 아니라 두 농약의 밀 부위별 회수율에 대한 변이계수는 0.1~4.7%로 20% 이내이었다. Fludioxonil 및 metconazole의 최소검출량(Minimum Detectable Amount, MDA)은 각각 2.0 및 0.1 ng이었으며, 밀 시료 중 fludioxonil의 검출한계(Limit of Detection, LOD)와 metconazole의 정량한계(Limit of Quantification, LOQ)는 밀알에서 0.02 mg/kg, 겉껍질 및 짚에서 0.04 mg/kg으로 동일하였다. 밀 부위별 두 농약의 분석 크로마토그램 상에 간섭피크는 Fig. 1 및 2와 같이 존재하지 않았다.

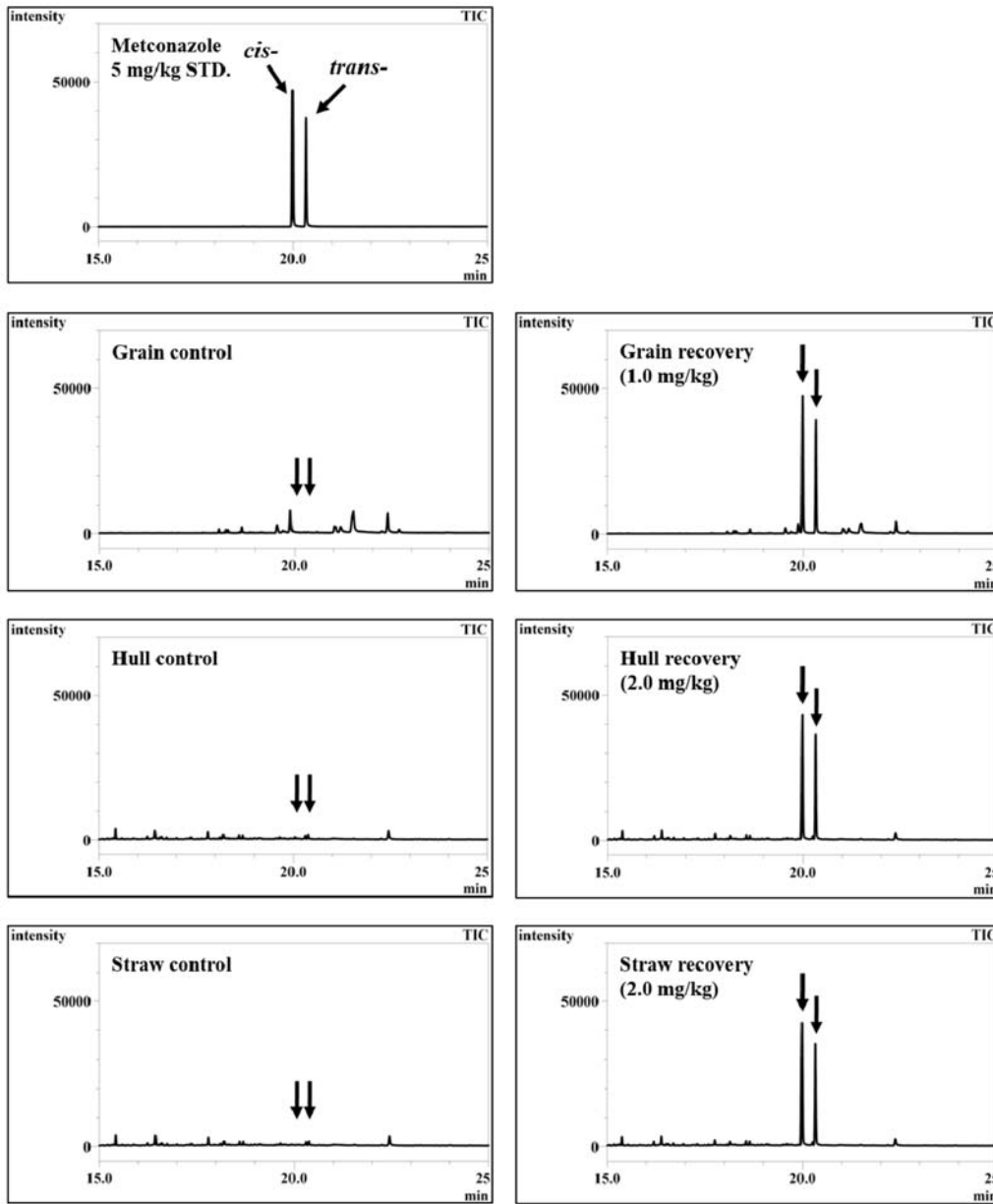


Fig. 2. GC-MS chromatograms for recovery tests of metconazole in each compartment of wheat.

밀 부위별 농약 잔류량

밀의 각 부위별 시료 중 fludioxonil 및 metconazole의 잔류량은 Table 3과 같다. 밀의 겉껍질 중 fludioxonil의 평균 잔류량은 2회 처리구에서 6.6 mg/kg, 3회 처리구에서 11.5 mg/kg으로 나타나 3회 처리구에서 약 1.7배 더 많았으며, 밀짚에서 fludioxonil의 잔류량 역시 3회 처리구의 평균 잔류량(9.9 mg/kg)이 2회 처리구의 평균 잔류량(5.2 mg/kg) 보다 약 1.9배 더 많았다. 하지만 밀알에서 fludioxonil의 잔류량은 살포농도와 상관없이 두 처리구 모두에서 0.02~0.03 mg/kg으로 비슷하게 나타났다. 한편, 이성질체들의 합으로 계산된 metconazole의 밀 겉껍질 중 평균 잔류량은 3회 처리구에서 22.2 mg/kg, 2회 처리구에서 13.4 mg/kg으로 3회

처리구에서 약 1.7배 더 높았으며, 밀짚에서 평균 잔류량 역시 3회 처리구(19.3 mg/kg)에서 2회 처리구(10.7 mg/kg) 보다 1.8배 더 높았다. 밀알 중 metconazole의 평균 잔류량은 0.14~0.16 mg/kg으로 fludioxonil의 잔류경향과 마찬가지로 두 처리구 모두에서 비슷하였다. 이 잔류량은 fludioxonil의 밀알 중 잔류량 보다 최대 7배 더 많았으며, metconazole 이성질체 각 성분의 잔류량으로 비교해도 fludioxonil의 잔류량 보다 2배 이상 더 많이 밀알에 잔류하였다.

포장시험에 사용된 두 약제가 동일한 함량(20%) 및 제형(액상수화제)이었고 metconazole 약제의 희석배수가 1,500 배로 fludioxonil 약제의 희석배수인 1,000배 보다 더 컸음에도 불구하고 밀알 중 metconazole의 잔류농도가 더 높은

Table 3. Residual amounts of fludioxonil and metconazole in each compartment of wheat

Pesticide	Pre-harvest application interval	Residual amount ^{a)} (mg/kg) ± SD				
		Compartments of wheat				
		Grain	Straw	Hull	Whole	
Fludioxonil	30-21	0.02 ± 0.01	6.55 ± 0.51	5.24 ± 0.34	11.82 ± 0.84	
	40-30-21	0.03 ± 0.00	11.53 ± 0.03	9.92 ± 0.16	21.48 ± 0.13	
Metconazole	<i>cis</i> -	30-21	0.09 ± 0.01	11.20 ± 0.13	8.89 ± 0.35	20.18 ± 0.37
		40-30-21	0.11 ± 0.00	18.35 ± 1.15	15.82 ± 0.82	34.28 ± 1.13
	<i>trans</i> -	30-21	0.05 ± 0.01	2.17 ± 0.02	1.83 ± 0.07	4.05 ± 0.08
		40-30-21	0.05 ± 0.01	3.85 ± 0.22	3.44 ± 0.14	7.33 ± 0.14
	Sum ^{b)}	30-21	0.14 ± 0.01	13.38 ± 0.13	10.72 ± 0.43	24.23 ± 0.45
		40-30-21	0.16 ± 0.01	22.20 ± 1.36	19.26 ± 0.95	41.61 ± 1.27

a) Mean of triplication. b) Sum of *cis*- and *trans*-metconazole

이유는 침투성 농약인 metconazole이 비침투성 농약인 fludioxonil 보다 밀의 겉껍질을 침투하여 밀알로 이동하기 용이하였기 때문인 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 살포 후 밀짚에 부착되거나 토양에 떨어진 metconazole 잔류물들이 밀의 표면이나 뿌리를 통해 침투 및 흡수되어 밀알로 이동되었을 가능성도 있다. 우리나라 식품의약품안전처에서 밀의 가식부 중 두 농약의 잔류허용기준(Maximum Residue Limit, MRL)은 fludioxonil에 대해 0.02 mg/kg, metconazole에 대해 0.3 mg/kg으로 설정되어 있으며(MFDS, 2016), 본 연구의 결과에 따르면 전체 처리구에서 밀알 중 fludioxonil의 잔류량은 설정된 MRL을 초과하였다.

Son 등(2012)에 의하면 대부분의 경우 침투성 농약은 작물체 내로 흡수되어 작물 표면에서의 잔류량이 줄어드는 반면 비침투성 농약은 작물의 표면이나 큐티클 층에 부착되어 잔류할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 밀짚과 겉껍질 둘 다에서 침투성 농약인 metconazole의 잔류량이 비침투성 농약인 fludioxonil의 잔류량 보다 두 배 이상 더 많았다. 이는 비침투성의 특성 때문에 밀의 표면에 잔류하던 대부분의 fludioxonil이 광분해 및 휘산과 같은 외부 환경요인에 의해 더 빨리 소실되었기 때문일 수 있다. 반면에, 작물체 내로 침투된 농약은 외부 환경요인에 의한 소실에 비교적 영향을 적게 받기 때문에(Jeong et al. 2004; Kwon 2007) 작물체 내로 침투된 metconazole은 fludioxonil 보다 더 오랜 시간 잔류할 가능성이 있다. 몇몇 연구에 따르면 시금치, 사과를 포함한 다양한 작물 중 metconazole의 소실 반감기는 10.0~13.3일, fludioxonil의 소실 반감기는 3.0~7.6일로 나타나 metconazole의 작물 잔류성이 fludioxonil보다 더 높은 것으로 보고되고 있다(Garau et al., 2002; Deb et al., 2010; Bae et al., 2012; Kim et al., 2012).

또한 metconazole의 *cis* 및 *trans* 이성질체 사이에 밀 부위별 잔류양상이 다르게 나타났다. Metconazole의 환산 잔류량에 대한 *cis* 이성질체의 잔류비율은 밀 겉껍질에서 82.1

~82.9%로 밀짚에서의 잔류비율인 82.7~83.7%과 비슷했다. 하지만 밀알에서의 *cis* 이성질체의 잔류비율은 64.3~68.8%로 다른 부위에서 보다 낮았다. 이러한 결과는 *trans* 이성질체의 침투성이 *cis* 이성질체 보다 더 용이함을 보여줄 수 있는 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 *cis* 이성질체의 잔류비가 더 높은 이유는 metconazole 제품 중 *cis*와 *trans* 이성질체의 함량비가 최소 80:20으로(Health Canada, 2011; EFSA, 2013) *cis* 이성질체가 더 많이 존재하기 때문으로 생각된다.

밀 부위별 농약잔류 분포

밀의 부위별 농약잔류 분포양상을 확인하기 위해, 밀 한 개체에 대한 부위별 평균무게를 측정하였다. 밀의 가식부는 한 개체당 60개의 알곡을 기준으로 탈곡 후 무게를 측정하였으며, 탈곡한 겉껍질도 무게를 측정하였다. 그 결과, 밀알의 평균무게는 2.6 g으로 가장 높았고, 겉껍질과 짚의 평균무게는 각각 2.3 및 1.2 g이었다.

이러한 무게를 이용하여 계산된 fludioxonil 및 metconazole의 밀 부위별 잔류량은 Fig. 3에 나타내었다. 밀 한 개체에 잔류된 농약의 절대량은 fludioxonil의 경우 2회 처리구에서 21.1 µg, 3회 처리구에서 38.5 µg이었으며, metconazole의 경우 2회 처리구에서 44.0 µg, 3회 처리구에서 74.6 µg이었다. 농약 살포횟수 및 최종살포시기에 따라 밀 한 개체당 잔류된 fludioxonil의 절대량은 서로 달랐지만 짚 부위 중 fludioxonil의 분포율은 68.9~70.7%로 전체 처리구에서 비슷한 수준으로 유지되었다. 또한 밀의 겉껍질에서 fludioxonil의 분포율은 29.0~30.9%로 짚에서와 마찬가지로 일정한 수준에서 유지되었으며 가식부인 밀알에서 분포율은 0.2~0.4%로 다른 부위에 비해 낮은 수준에서 분포하였다. 한편, *cis* 및 *trans* 이성질체의 합으로써 계산된 metconazole의 밀 한 개체 중 잔류절대량에 대한 부위별 분포율을 조사한 결과, metconazole의 짚에서 분포율은 68.5~69.9%, 겉껍질에

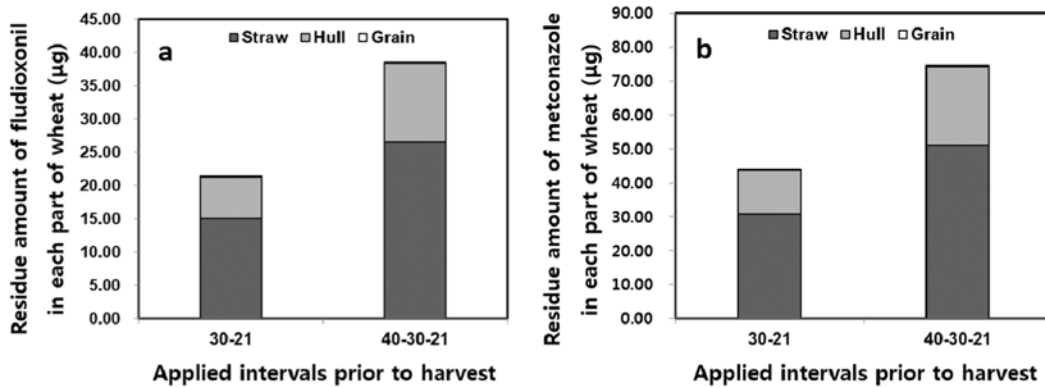


Fig. 3. Distribution patterns of fludioxonil (a) and metconazole (b) in each compartment of wheat.

서 분포율은 29.2~31.0%로 나타나 fludioxonil의 밀 부위별 분포율과 비슷한 수준이었다. 또한 밀의 가식부에서 metconazole의 분포율(0.5~0.8%)은 fludioxonil의 결과와 마찬가지로 높지 않았다.

전체적으로 두 농약 모두 밀의 짚 부위에서 분포율이 가장 높았으며, 그 다음으로 겉껍질, 밀알 순으로 많았다. Lee 등 (2005)은 작물의 표면에 대한 농약의 부착성은 농약의 이화학적 성질과 제형뿐만 아니라 작물의 생육형태와 비표면적 차이 등에도 영향을 받는다고 언급하였다. 밀의 경우 살포된 농약의 대부분이 표면적이 넓은 짚 부위나 겉껍질에 부착될 수 있으며 부착된 농약 중 일부는 가식부인 밀알로 침투될 수도 있지만 상대적으로 밀 표면에 더 많이 잔류할 수 있다. Park 등(2009)은 chlorpyrifos를 포함한 6가지 농약의 혼합액에 2시간 동안 침지한 통밀을 제분공정을 통해 왕겨, 말분, 밀가루로 분리하고 잔류농약 분석을 실시한 결과 대부분의 농약들이 1.7~87.3 mg/kg의 잔류량과 함께 비식용 부위인 왕겨와 말분에 잔류하였으며, 밀가루에는 0.08~4.21 mg/kg의 상대적으로 낮은 농도로 잔류하였다고 보고한 바 있다.

본 연구의 결과와 비슷하게 Li 등(2008)은 유기인계 농약인 triazophos를 밀에 살포하여 밀 가식부와 짚에서 잔류량을 평가한 결과, 가식부에서의 잔류량이 0.08~1.97 mg/kg, 짚에서의 잔류량이 1.88~54.12 mg/kg으로 나타나 살포한 농약이 밀짚에 상당량 잔류하는 것을 확인하였다. 밀의 겉껍질과 짚 부위는 주로 가축의 사료로 사용된다. 따라서 작물은 사람에게 대해 식용으로 섭취하는 부분과 식용 이외의 용도로 사용하는 부분이 있기 때문에 잔류농약의 안전성 확보라는 차원에서 작물의 부위별 농약 잔류량을 조사하는 것은 꼭 필요하다고 할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 2015년도 경북대학교 복원 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

Literature Cited

- Bae, B. J., H. K. Lee, K. A. Son, G. J. Im, J. B. Kim, T. H. Kim, S. Chae and J. W. Park (2012) The residue property of fungicide boscalid and fludioxonil at the same time harvest leafy-vegetables. *Korean J. Pestic. Sci.* 16(2):98-108.
- Bakore, N., P. J. John and P. Bhatnagar (2004) Organochlorine pesticide residues in wheat and drinking water samples from Jaipur, Rajasthan, India. *Environ. Monit. Assess.* 98(1):381-389.
- Deb, D., B. A. Engel, J. Harbor, L. Hahn, K. J. Lim and T. Zhai (2010) Investigating potential water quality impacts of fungicides used to combat soybean rust in Indiana. *Water Air Soil Pollut.* 207(1):273-288.
- EFSA (European Food Safety Authority) (2013) Reasoned opinion on the modification of the existing MRLs for metconazole in barley and oats. *EFSA Journal* 11(4):3185.
- Garau, V. L., A. Angioni, A. A. Del Real, M. Russo and P. Cabras (2002) Disappearance of azoxystrobin, pyrimethanil, cyprodinil, and fludioxonil on tomatoes in a greenhouse. *J. Agric. Food Chem.* 50(7):1929-1932.
- Health Canada (2011) Metconazole, evaluation report. ERC2011-02, Health Canada, Ottawa, Ontario.
- Hwang, J. I. and J. E. Kim (2014) Residual patterns of acaricides, etoxazole and flufenoxuron in apples. *Korean J. Pestic. Sci.* 18(2):61-68.
- Hwang, J. I., S. E. Lee and J. E. Kim (2015) Plant uptake and distribution of endosulfan and its sulfate metabolite persisted in soil. *PLoS ONE.* 10(11): e0141728. doi: 10.1371/journal.pone.0141728.
- Hwang, J. I., S. O. Jeon, S. H. Lee, S. E. Lee, J. H. Hur, K. R. Kim and J. E. Kim (2014) Distribution patterns of organophosphorous insecticide chlorpyrifos absorbed from soil into cucumber. *Korean J. Pestic. Sci.* 18(3):148-155.
- Jeong, Y. H., Kim, J. E., Kim, J. H., Lee, Y. D., Im, C. H., Huh, J. Y. (2004) *Recent pesticide science*; Sigma Press Inc.: Seoul, Korea, pp. 189-190.
- KCPA (Korea Crop Protection Association) (2016) Registration

- status of agrochemicals. <http://epmso.rda.go.kr/>. Accessed 23 May 2016.
- Kim, J. H., J. I. Hwang, Y. H. Jeon, H. Y. Kim, J. W. Ahn and J. E. Kim (2012) Dissipation patterns of triazole fungicides estimated from kinetic models in apple. *J. Appl. Biol. Chem.* 55(4):235-239.
- KOSIS (Korean statistical information system) (2016) Cultivation areas of food crops. http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01#SubCont. Accessed 23 May 2016.
- Kwon, C. H. (2007) Characterization of dissipation and distribution of pesticide residues in vegetables and fruits grown in the fields. Ph D. Thesis, Daegu University, Korea.
- Kwon, H. Y., J. B. Kim, H. D. Lee, Y. B. Ihm, K. S. Kyung, I. H. Park and J. Choi (2004) Estimate of pesticide residues in tomato varieties using ratio of surface area to weight. *Korean J. Pestic. Sci.* 8(1):30-37.
- Lee, H. D., Y. B. Ihm, H. Y. Kwon, J. B. Kim, K. S. Kyung, C. S. Kim, B. Y. Oh, G. J. Im and J. E. Kim (2005) Dissipation pattern of pesticide residues in/on different varieties of lettuce applied with foliar spraying under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 9(4):354-358.
- Lee, M. G. and J. M. Hwang (2009) Residue distribution of chlorothalonil, kresoxim-methyl and procymidone among different parts of hot pepper plants. *Korean J. Food Sci. Technol.* 41(6):722-726.
- Li, W., S. P. Qiu and Y. J. Wu (2008) Triazophos residues and dissipation rates in wheat crops and soil. *Ecotox. Environ. Safe.* 69(2):312-316.
- Macbean, C. (2012) *The pesticide manual*, 16th ed.; British Crop Production Council: Alton, Hampshire, UK, pp. 512-513, 744-745.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs) (2015) Major statistics data of agriculture, food and rural affairs; Hanla press: Sejong, Korea, p 298.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety) (2015) Food code; MFDS publication: Cheongju, Korea, pp. 711-714, 1000-1005.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety) (2016) Pesticide MRLs in Food. MFDS publication: Cheongju, Korea, pp. 256-257.
- Park, S. Y., K. S. Park, M. H. Im, H. Choi, M. I. Chang, C. H. Kwon, S. G. Kim, H. K. Lee, J. H. Shim and J. H. Kim (2009) Studies for the processing factors of pesticides during the milling of wheat grain. *Korean J. Pestic. Sci.* 13(2):70-78.
- RDA (Rural Development Administration) (2014) Residual pattern trials for pesticide authoritral registration of minor crop and export promising crops in 2014, Rural Development Administration. Jeonju, Korea.
- Seo, E. K., T. K. Kim, S. M. Hong, H. Y. Kwon, J. H. Kwon, K. A. Son, J. E. Kim and D. H. Kim (2013) Analysis of systemic pesticide imidacloprid and its metabolites in pepper using QuEChERS and LC-MS/MS. *Korean J. Pestic. Sci.* 17(4):264-270.
- Son, K. A., G. J. Im, S. M. Hong, J. B. Kim, Y. B. Ihm, H. S. Ko and J. E. Kim (2012) Comparison of pesticide residues in perilla leaf, lettuce and kale by morphological characteristics of plant. *Korean J. Pestic. Sci.* 16(4):366-342.
- Song, J. C., S. Y. Lee, N. K. Park, H. S. Hur and J. H. Nam (1998) Comparison of flour quality between domestic and imported wheat flour. *Korean J. Breed.* 30(2):156-161.
- Yu, J. H., G. J. Choi and H. T. Kim (2008) Effect of foliar uptake of azoxystrobin and kresoxim-methyl on fungicidal activity against cucumber powdery mildew. *Korean J. Appl. Biol. Chem.* 51(2):108-113.

살균제 Fludioxonil 및 Metconazole의 밀 부위별 잔류 양상

강자균 · 황정인 · 이상협 · 전상오 · 곽세연 · 박준홍¹ · 김장역*

경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부, ¹경상북도 농업기술원 농업환경연구과

요 약 밀의 재배기간 중 살포된 살균제 fludioxonil 및 metconazole의 부위별 잔류양상을 조사하였다. 밀 부위별 fludioxonil 및 metconazole (*cis* 및 *trans* 이성질체의 합)의 잔류분석 회수율은 84.3~113.3%이었으며 변이계수는 0.1~4.7%로 나타나 잔류농약분석 기준을 만족하였다. 두 농약 모두 처리구별 수확된 밀의 짚부위에 가장 많이 잔류되었으며 가식부인 밀알에서 잔류량이 가장 적었다. 밀의 가식부에 잔류하는 농약의 농도는 fludioxonil은 2회 및 3회 살포시 0.01~0.07 mg/kg, metconazole은 0.13~0.17 mg/kg로 나타났다. 침투성 농약인 metconazole은 fludioxonil 보다 더 낮은 농도로 살포되었음에도 불구하고 밀의 가식부로 침투량이 더 많았으며 *cis* 이성질체가 *trans* 이성질체 보다 많이 잔류되었다. 밀의 각 부위별 평균무게를 이용하여 밀 한 개체 당 농약의 잔류절대량을 산출하고 밀의 각 부위별 분포율을 산출한 결과, 두 농약 모두 짚 부위에서 68.5~70.7%의 분포율을 나타내었으며 가식부에서 분포율은 0.8% 미만이었다.

색인어 Fludioxonil, metconazole, 농약잔류량, 밀