



## 울무 종자의 *Fusarium* 속 진균 저감화를 위한 약제선발 및 방제시기 연구

황호섭<sup>1,2</sup> · 안태진<sup>3</sup> · 이윤지<sup>4</sup> · 이은송<sup>5</sup> · 임흥빈<sup>6\*</sup> · 이정훈<sup>7†</sup>

### Optimal Control Period and Selection of Pesticides for Reduction of *Fusarium* spp. in *Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* (Rom.Caill.) Stapf

Ho Sop Hwang<sup>1,2</sup>, Tae Jin An<sup>3</sup>, Yun Ji Lee<sup>4</sup>, Eun Song Lee<sup>5</sup>, Heung Bin Lim<sup>6\*</sup> and Jeong Hoon Lee<sup>7†</sup>

#### ABSTRACT

**Received:** 2020 November 13  
**1st Revised:** 2020 November 30  
**2nd Revised:** 2021 January 5  
**3rd Revised:** 2021 January 19  
**Accepted:** 2021 January 19

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Background:** Adlay [*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* (Rom.Caill.) Stapf] is a nutritionally superior resource, but food hygiene problems are emerging due to mycotoxin contamination. It is difficult to predict the source and timing of mycotoxin contamination. Prevention and reduction methods for mycotoxins are important. Experiments were conducted to determine the optimal time for spraying pesticides and to select pesticides effective in the reduction of mycotoxins.

**Methods and Results:** Metconazole and fludioxonil were sprayed onto the test field during the three growth stages, i.e., before the flowering stage, after the flowering stage, and at the maturing stage. Experiments were conducted on fungal density, seed yield, and mycotoxin evaluation of fumonisin (FUM), deoxynivalenol (DON), and zearalenone (ZEN). The harvested adlay seeds were analyzed for residual pesticides. Seed yield, fungal density and mycotoxins were better than in other treatments when metconazole was administered after flowering. The residual pesticides increased over time; after flowering, metconazole (1.25 mg·kg<sup>-1</sup>) was up to 1.3 times higher than fludioxonil (0.96 mg·kg<sup>-1</sup>). Spraying in the after-flowering stage was superior to other growth stages, and metconazole was more effective than fludioxonil in reducing mycotoxins.

**Conclusions:** It is considered most effective to treat adlay with metconazole after the flowering phase to reduce fungal toxins in *Fusarium* spp.

**Key Words:** *Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* (Rom.Caill.) Stapf, *Fusarium*, Deoxynivalenol, Fludioxonil, Fumonisin, Metconazole, Seeds, Zearalenone

#### 서 언

울무 [*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* (Rom.Caill.) Stapf]는 화분과에 속하는 1년생 초본식물로서 주로 열대, 아 열대, 온대남부에서 재배 된다 (Lee *et al.*, 2002). 우리나라에서는 전국에서 411 ha 가 재배되고 있으며, 그 대부분이 경기도 연천군에서 재배되고 있다 (MAFRA, 2018).

울무는 다른 곡류에 비해 단백질 함량 및 지질 함량이 높을 뿐만 아니라 칼슘, 철분, 비타민 B1, 비타민 B2 등을 다량 함유하고 있어 영양적으로 우수하고 건강보조식품이나 대체 식량자원으로 적합하다 (Lim, 2008). 또한 울무에는 coixol, coixenolide, lactams 등의 생리활성물질이 함유되어 있어 항산화, 항염증 및 항고혈압 등에 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 그 중 coixol과 coixenolide는 항암 및 진통효과가 있

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5670 (E-mail) artemisia@korea.kr

<sup>\*</sup>Co-corresponding author: (Phone) +82-43-271-0413 (E-mail) heungbin@chungbuk.ac.kr

<sup>1)</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구원 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>2)</sup>충북대학교 특용식물학과 석사과정생 / Master's degree student, Department of Industrial Plant Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea.

<sup>3)</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>4)</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>5)</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>6)</sup>충북대학교 특용식물학과 교수 / Professor, Department of Industrial Plant Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea.

<sup>7)</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

어 최근 항암제로 개발되고 있다 (Lee *et al.*, 2019).

하지만 수확 후 일부 울무 종자에서 deoxynivalenol (DON), zearalenone (ZEN)과 같은 곰팡이 독소가 검출된 사례가 보고되고 있고, fumonisin (FUM)은 옥수수, 조, 벼 등의 곡류에서 흔히 발생하며 이들의 가공식품에서도 검출사례가 보고되고 있다 (Sydenham *et al.*, 1991; Choi *et al.*, 2014). 이 같은 곰팡이 독소는 *Fusarium* 속 진균에 의해 생성되며 식품위생상 문제로 대두되고 있다 (Yoshizawa and Morooka, 1973; Leslie *et al.*, 1992).

곰팡이독소는 곰팡이가 생산하는 2차 대사산물로 매우 적은 양으로도 사람과 가축에 심각한 해를 끼칠 뿐 아니라 곡물의 알곡에 발생하여 수량 및 품질을 저하시킨다 (Ham *et al.*, 2017; Choi *et al.*, 2019). 특히 곡류에 발생하는 붉은곰팡이병은 대표적인 *Fusarium* 독소를 생성하는 종으로서 DON, ZEN 등이 원인이 된다 (Lee *et al.*, 2014; Jang *et al.*, 2018). 이러한 곰팡이 독소는 사람에게 만성적 질병을 유발할 수 있기 때문에 국제식량농업기구 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO), 세계보건기구 (World Health Organization, WHO) 등은 곰팡이 독소를 식품 안전성 면에서 식품첨가물이나 잔류농약보다 더 큰 위험물질로 논의하였다 (Kang *et al.*, 2010). FUM은 식도암 유발 원인물질로 추정되고 있으며, 식도 세포의 변형을 유발하는 것으로 알려져 있다 (NIFDS, 2016). DON은 인체에 급성으로 노출되었을 때 오심, 구토, 설사, 복통, 두통, 현기증 및 발열 증상이 있는 것으로 알려져 있고, ZEN은 인간에게 성 조숙증, 이상 증식을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있다 (Luo, 1988; Boevre *et al.*, 2013).

곰팡이 독소는 구조적으로 안정적이기 때문에 보관, 제분, 가공, 조리 시 쉽게 파괴되지 않으므로 농작물의 재배 단계에서 원천적으로 곰팡이 발생을 저감함으로써 곰팡이 독소 오염을 최소화하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 울무의 곰팡이 독소 저감을 위한 약제 선발 및 방제 시기를 규명하여 재배 단계에서의 효과적인 독소 저감화 방법을 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 실험은 국립원예특작과학원 인삼특작부 시험포장 및 환경조절 온실에서 수행되었다. 파종 직전 두둑 형성기를 이용하여 고랑 사이를 160 cm 폭으로 두둑을 형성한 후 검은색 비닐 멀칭을 하고 한 처리구 당 50 cm × 30 cm 재식간격으로 2 열로 울무 [*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* (Rom.Caill.) Stapf] 품종 ‘조현’을 3 립씩 점파하였다. 출아 후 1 개체를 남기고 솎음 작업을 실시하였다. 그 후, 개화 전, 개화 후, 결실기 등 시기별로 약제를 처리하였으며, 사용 약제는

metconazole suspension concentrate (MSC), fludioxonil suspension concentrate (FSC) 2 품목을 사용하였다.

### 2. 수확 후 울무 종자의 진균 밀도

수확 후 처리구별 울무 종자를 500 g씩 채취 하였다. 그 후 멸균 증류수에 세척하고 건조기에서 40°C로 건조시킨 후 분쇄기를 이용하여 곱게 간 것을 시료로 사용하였다.

대한민국약전의 미생물한도시험법 (MFDS, 2019)에 의거하여 멸균 증류수에 희석하고 Streptomycin을 포함한 1/10 potato dextrose agar (PDA, BD Difco, Franklin Lakes, NJ, USA) 항생제 배지를 페트리디시 (100 mm × 15 mm, SPL Co., Ltd., Pocheon, Korea)에 제조 후 시료를 도말하고 25°C 항온기에 넣어 2 일간 배양하였다. PDA 배지상에 나타나는 균의 수를 조사하여 plate 당 총 진균수를 측정하였다.

### 3. 생육시기별 약제처리 효과

시험에 사용한 농약은 선행 연구를 통해 *Fusarium* 속 균 성장억제 효과가 인정되는 품목이다 (An *et al.*, 2016). Metconazole은 울무에서 분리되는 모든 *Fusarium* 균에 균사 생장을 억제하는 효과가 있으며 fludioxonil은 deoxynivalenol과 zearalenone의 생성균인 *Fusarium graminearum*에게 항균 효과가 있다고 보고되어 있다 (An *et al.*, 2016). 약제는 농약 사용지침서 (KCPA, 2019)에 등록된 기준 농도에 따라 희석하여 개화 전 (7월 17일), 개화 후 (8월 7일), 결실기 (9월 11일)에 일주일 간격 3 회 살포하였다 (Table 1).

생육단계는 수잉기, 출수기가 관찰되는 시기를 개화 전 (파종 후 84 일)으로 설정하였고, 꽃이 피는 시기부터 수정·수분이 이루어지는 시기를 개화 후 (파종 후 103 일)단계로, 열매가 생성되는 시기를 결실기 (파종 후 134 일)로 설정하였다 (Fig. 1).

### 4. 수확 후 처리구별 독소검정

*Fusarium* 속 곰팡이가 생성하는 균의 독소를 정량하기 위해 Enzyme-Linked Immunospecific Assay (ELISA)를 사용하였다. 키트는 ELISA Kit (AgraQuant®, Romer Labs Inc.,

**Table 1.** Comparisons of representative date, days after sowing and periods of pesticides treatment according to growth stage of Adlay.

Growth stage	Date	Days after sowing	Periods of pesticide treatment <sup>1)</sup>
Emergence	15 Jul.	84	17 Jul. - 31 Jul.
Heading	22 Jul.	91	17 Jul. - 31 Jul.
Flowering	3 Aug.	103	7 Aug. - 21 Aug.
Maturing	3 Sep.	134	11 Sep. - 25 Sep.

<sup>1)</sup>Pesticides were applied three times per week during the period.

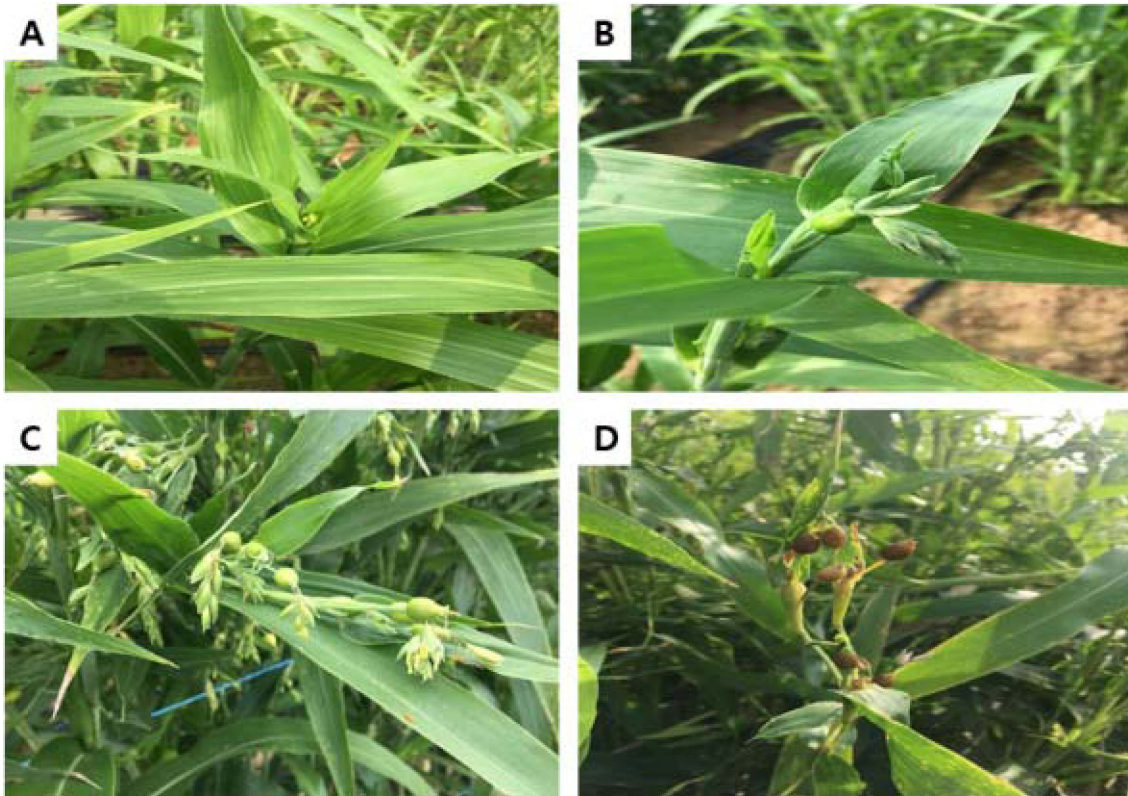


Fig. 1. Growth stage of Adlay. (A) emergency stage, (B) heading stage, (C) flowering stage, (D) maturing stage.

Newark, DE, USA)를 사용하였으며 deoxynivalenol (DON, COKAQ4000), zearelanone (ZEN, COKAQ5000) 및 fumonisin (FUM, COKAQ3000)을 제품 안내서에 설명된 지침에 따라 분석하였다.

모든 시료는 분쇄기로 곱게 갈아서 0.5 mm 체를 통과해 얻은 미세 분말을 이용하였다. 처리구 당 샘플을 FUM, ZEN의 분석을 위해 70% 메탄올 50 ml에 혼합하였고 DON 분석을 위해서 증류수 50 ml에 혼합하여 3 분간 블렌더에서 고속으로 균질화 하였다. 여과지 (Whatman, Maidstone, England)로 추출물을 여과한 후 모든 샘플을 pH 7로 조정하였다.

DON 분석의 경우 여과액 1 ml를 증류수 3 ml에, ZEN의 경우 여과액 1 ml를 70% 메탄올 4 ml에, FUM의 경우 여과액 0.1 ml를 증류수 1.9 ml에 각각 혼합 희석하였다. 200 µl의 conjugate를 희석웰에 분주하고 100 µl의 시료와 표준물질이 포함된 희석웰에 분주하여 잘 혼합하였다. 이후 항체가 코팅되어 있는 웰에 100 µl를 다시 분주한 뒤 DON의 경우는 15 분, FUM, ZEN의 경우는 10 분간 상온에서 배양하였다. 이후 DON은 버퍼 용액으로 5 회 세척, FUM, ZEN은 증류수로 5 회 웰을 세척하고 100 µl 기질액 분주 후 5 분간 상온 배양하고 100 µl 정지액 분주 후 ELISA 96 플레이트 리더기 (VERSAmax Tunable

Microplate Reader, Molecular Devices, San Jose, CA, USA)를 사용하여 450 nm에서 결과 값을 측정하여 균 독소 농도를 정량하였다.

### 5. 처리구별 농약잔류 분석

본 시험에 사용된 기기분석 조건은 Table 2과 같다. 농약 처리구에서 수확한 울무종자를 마쇄하여 균질화 하였다. 시료 5 g을 취하여 acetonitrile 10 ml, 4 g magnesium sulfate, sodium chloride 1 g, sodium citrate tribasic dihydrate 1 g, sodium citrate dibasic sesquihydrate 0.5 g를 가한 뒤 혼합하고 30 분간 추출하였다. 그 후 5°C에서 4,200 rpm으로 원심분리 한 뒤, 상등액에 1 ml를 취하여 PSA 25 mg, magnesium sulfate 150 mg, C18e 25 mg를 넣어둔 tube에 옮겨 담은 뒤 교반기에서 1 분간 혼합하고 3 분간 원심분리시킨 후 필터 (0.2 µm)하여 LC-MS/MS에 5 µl 주입하여 나타난 크로마토그램상의 피크면적을 측정하여 표준 검량선에 의해 함유농도를 산출하였다.

Fludioxonil, metconazole standard 1,003 mg/l, 991 mg/l acetonitrile의 stock solution을 acetonitrile으로 각각 희석하여 0.005, 0.010, 0.050, 0.100, 0.500, 1.000 mg/l의 working solution을 만든 후 1 ml를 취하여 질소농축기로 완전 농축,

**Table 2.** Operating conditions for the HPLC-MSMS analysis of Metconazole and Fludioxonil.

Instrument	SHISEIDO NANOSPACE SI2		
Column	Imtakt Unison UK-C18 (100 mm × 2.0 mm, 3 μm)		
Detector	TSQ Quantum Discovery Max. U.S.A.		
Injection volumn	5 μl		
Flow rate	0.3 ml/min		
Temperature	40°C		
Mobile phase	Solvent A : Deionized water with 5 mM ammonium formate and 0.1% formic acid		
	Solvent B : Methanol with 5 mM ammonium formate and 0.1% formic acid		
Gradient conditions	Time (min)	Solvent A (%)	Solvent B (%)
	(Initial)	95.0	5.0
	1.0	95.0	5.0
	3.0	50.0	50.0
	5.0	50.0	50.0
	10.0	30.0	70.0
	12.0	30.0	70.0
	14.0	2.0	98.0
	17.0	2.0	98.0
	20.0	95.0	5.0
Spray voltage	Positive polarity 3,800		
Transfer capillary temperature	270°C		
Sheath gas pressure	35 psi		
Aux gas pressure	10 psi		

**Table 3.** Calibration curve equations of Metconazole and Fludioxonil.

Pesticides	Equation <sup>1)</sup>	Correlation coefficient (r <sup>2</sup> )
Metconazole	y = 1,439,188x + 7,436	0.9999
Fludioxonil	y = 1,200,613x + 44,185	0.9998

<sup>1)</sup>Equation (y; peak area, x; concentration of standard solution). Correlation coefficient for five data points in the calibration curve.

건고시켰다. 시료분석 과정을 거친 무처리 시료 1 ml 로 재용해하여 matrix matched standard solution을 만든 후 5 μl 씩 LC-MS/MS에 주입하여 나타난 크로마토그램상의 피크면적을 기준으로 검량선을 작성하였다.

표준 검량선의 결정계수 (R<sup>2</sup>)는 metconazole, fludioxonil 모두 0.99 이상으로 높은 직선성을 보였으며, 잔류농약 정량 분석의 적합함을 확인하였다 (Table 3).

## 6. 통계처리

통계분석은 SAS 프로그램 (ver. 9.1; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하였으며, 5% 수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의성 검정을 실시하였다 (p < 0.05).

## 결과 및 고찰

### 1. 올무 종자 수량 및 균 밀도

Metconazole, fludioxonil의 2 품목 약제를 생육시기별로 살포하였을 때의 *Fusarium* 균 오염정도와 처리구별 종자의 수확량을 확인하였다. 생육시기에 따른 결과는 개화 후 처리구에서 *Fusarium* 균 오염 밀도가 다른 처리구에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 약제 처리에 따른 *Fusarium* 균 오염 밀도는 metconazole 처리구가 fludioxonil 처리구에 비해 최대 6 배 낮게 나타났다 (Table 4).

본 결과는 생육시기별 농약 살포에 따른 *Fusarium* 생성 독소 (DON, FUM, ZEN) 검출 결과와도 경향성이 일치한다. 처리구별 올무 [*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* (Rom.Caill.) Stapf] 종자 수확량은 무처리구에 비해 개화 후 metconazole 처리에서 약 61.5% 증수되어, 처리구에 따른 metconazole의 농약살포가 유의적인 차이를 보였다 (Table 5). 이는 생육기 농약 살포로 인한 올무의 수분, 수정 등 결실에 대한 약해가 미비한 것으로 보여진다. 올무를 재배할 경우 metconazole, fludioxonil 중 metconazole 처리를 했을 때 효과가 우수하며, 시기별로는 개화 후 농약살포가 효과가 있음을 보여준다.

Tateishi 등 (2014)은 metconazole 약제를 개화기 중기 (mid-flowering stage)에 처리하였을 때 *Fusarium* 균에 의한 이삭마름병 방제 및 곰팡이 독소 저감에 효과적으로 보고하였고, Park 등 (2012)은 metconazole이 밀에서 주로 발생하는 붉은곰팡이병에서 높은 방제효과를 규명하였다. 또한 Pirgozliev 등 (2003)은 metconazole이 *Fusarium* 속 균의 번식 억제 효과와 DON의 농도 감소에 효과가 있는 것으로 보고하고 있는데 이러한 결과는 metconazole 약제와 같은 triazole계 살균제가 식물친화성과 침투이행성이 높은 에르고스테롤 생합성 저해제이기 때문으로 판단된다 (Seo et al., 2009).

따라서 본 연구의 결과는 이전의 유사연구와 비슷한 연구경향을 보였으며 metconazole 약제가 *Fusarium* 균 활성을 억제 시킴으로서 곰팡이 독소 저감 및 종자 수확량을 증가시킨 것으로 판단된다.

### 2. 농약 처리시 수확한 올무 (종자)에 잔류하는 *Fusarium* 독소

올무의 곰팡이독소 허용기준은 식품공전 (MFDS, 2020)에서

DON은 1 ppm 이하, FUM은 2 ppm 이하, ZEN은 100 ppb 이하로 규정하고 있다. 곡류 내 *Fusarium* 균 오염으로 인한 곰팡이 독소의 발생은 세계적으로 꾸준히 보고되고 있으며, 전 세계 곡물 생산의 25%가 곰팡이 독소에 오염되고 있는 것으로 추정하고 있다 (Ryu *et al.*, 2011). 처리구에 따른 종자의 독소를 검정한 결과, DON은 모든 처리구에서 허용 기준치 미만으로 나타났고, FUM은 1 개, ZEN은 4 개의 처리구에서 허용 기준치를 초과하는 값이 나타났다 (Table 6).

이는 Kim 등 (2013)이 보고한 백미, 보리, 옥수수과 같은 곡물에서 FUM, ZEN이 DON보다 상대적으로 높은 오염율을 보였던 선행결과와 유사한 결과 값을 보였다. 또한 DON, FUM, ZEN은 fludioxonil 처리구보다 metconazole 처리구가 독소 검출량이 낮았으며, 특히 개화 후 metconazole 약제를 처리했을 때 다른 시기 처리구보다 곰팡이독소 검출량이 낮게 나타나는 경향을 보였다.

본 결과는 생육시기별 농약 살포에 따른 울무 종자 수확량 및 균 밀도 검출 결과와도 경향성이 일치하였다. 따라서 곰팡이 독소 저감 및 건전한 종자를 생산하기 위해서는 개화 후 metconazole 약제를 살포하는 것이 효과적이라고 판단된다.

### 3. 수확 된 울무의 농약 잔류분석

처리구에 따른 울무 종자에 대하여 LC-MS/MS를 이용하여 metconazole 및 fludioxonil의 잔류량을 확인하였다. 시기별로 약제를 살포하였을 때 개화 전 metconazole과 fludioxonil 모두 평균 잔류량이 0.01 mg/kg 미만으로 나타났으며 시기가 지날수록 약제의 잔류량이 증가하는 것을 확인하였다 (Table 7). 특히 metconazole을 처리하였을 때 개화 후 (0.08 mg·kg<sup>-1</sup>)에서 결실기 (1.25 mg·kg<sup>-1</sup>) 사이에 약 15.6 배의 급격한 증가를 보였다.

또한 Metconazole과 fludioxonil 두 약제 간의 농약 잔류량은 개화 전, 개화 후에는 비슷하였으나 결실기에는 metconazole이 fludioxonil보다 약 1.3 배 더 높은 농약 잔류량이 검출되었다. 이러한 결과는 metconazole이 *cis*와 *trans* 이성질체로 구성된 침투성의 triazole계 살균제로서 phenylpyrrol계통의 비침투성인 fludioxonil보다 작물 잔류성이 더 높다고 보고된 바와 같다 (Kang *et al.*, 2016).

Choung 등 (2016)은 농산물 재배기간 중 살포한 농약의 잔류량이 작물의 생육으로 인한 생체중 증가, 약제의 물리화학적 특성, 약제처리 방법, 기상조건 및 약제 살포 후 경과일수

**Table 4.** Density of *Fusarium* spp. in growth stage of Adlay.

Pesticides	Density of <i>Fusarium</i> spp. according to growth stage (cfu·g <sup>-1</sup> )			NC
	Before flowering	After flowering	Maturing	
Metconazole	2.85 × 10 <sup>4a</sup>	1.65 × 10 <sup>4a</sup>	3.75 × 10 <sup>4ab</sup>	8.25 × 10 <sup>4bc</sup>
Fludioxonil	9.45 × 10 <sup>4c</sup>	1.00 × 10 <sup>5c</sup>	4.65 × 10 <sup>4ab</sup>	

NC, not treated control. <sup>a</sup>The different letters indicate a significant difference by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, *p* < 0.05).

**Table 5.** Adlay seed yield by Pesticide treatment.

Pesticides	Seed yield according to growth stage (g·plant <sup>-1</sup> )			NC
	Before flowering	After flowering	Maturing	
Metconazole	90.8 <sup>ab</sup>	116.7 <sup>a</sup>	111.0 <sup>ab</sup>	71.8 <sup>b</sup>
Fludioxonil	83.1 <sup>ab</sup>	93.8 <sup>ab</sup>	102.2 <sup>ab</sup>	

NC, not treated control. <sup>a</sup>The different letters indicate a significant difference by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, *p* < 0.05).

**Table 6.** Detection of Mycotoxins by growth period and pesticides.

Pesticides	Growth stage	Content of Mycotoxin		
		DON <sup>1)</sup> (mg·kg <sup>-1</sup> )	FUM <sup>2)</sup> (mg·kg <sup>-1</sup> )	ZEN <sup>3)</sup> (mg·kg <sup>-1</sup> )
Metconazole	Before flowering	0.23 - 0.43	N.D. <sup>5)</sup> - 0.47	N.D. - 88.80
	After flowering	0.21 - 0.26	N.D.	N.D. - 21.40
	Maturing	0.26 - 0.50	N.D. - 0.65	N.D. - 103.10
Fludioxonil	Before flowering	0.33 - 0.95	0.25 - 1.89	N.D. - 424.50
	After flowering	0.28 - 0.62	1.34 - 2.41	N.D. - 88.80
	Maturing	0.73 - 0.92	0.49 - 1.40	71.45 - 560.20
NC <sup>4)</sup>		0.49 - 0.84	N.D. - 0.43	51.60 - 116.10

<sup>1)</sup>DON; Deoxynivalenol, <sup>2)</sup>FUM; Fumonisin, <sup>3)</sup>ZEN; Zearalenone. NC; not treated control, N.D.; not detected.

**Table 7.** Amount of pesticide residue by treatment (Metconazole and Fludioxonil).

Pesticides	Residual amount of pesticides according to growth stage <sup>1)</sup> (mg·kg <sup>-1</sup> )		
	Before flowering	After flowering	Maturing
Metconazole	< 0.01	0.08 ± 0.01	1.25 ± 0.02
Fludioxonil	< 0.01	0.10 ± 0.03	0.96 ± 0.18

<sup>1)</sup>Each value represents the mean of three replicate in treatment.

등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다고 하였는데, 이는 초기에 약제 살포 후 시간이 경과함에 따라 약제의 분해 및 휘발이 이루어지고 날씨, 관수처리 등에 의해 세척되어 농약의 잔류량이 감소할 것으로 본 연구의 농약살포에서도 비슷한 경향이 예상된다.

하지만 살포시기가 늦을수록 농약 잔류량이 증가하며 특히 결실기에 급격히 증가하기 때문에 재배 시 이를 고려하여 방제하는 것이 식품안전성에 유리할 것으로 판단된다. 또한 Lee 등 (2012)은 곡류가 탈곡과정을 거치기 때문에 엽채류나 과채류와 다르게 농약 검출률이 매우 낮다는 보고처럼 울무 역시 탈곡과정을 거친 후 종피가 제거한 후 한약재 및 식품에 이용되므로 농약 잔류량이 더 낮게 검출될 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ0142512021)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

An TJ, Kim YG, Kim YI, Lee ES and Jung CS. (2016). Seed disinfectants selection for control of *Fusarium* genus fungi contaminated in adlay(*Coix lachryma-jobi* L.) seed. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 24(supplement2):138-138.

Boevre MD, Jacxsens L, Lachat C, Eeckhout M, Mavungu JDD, Audenaert K, Maene P, Haesaert G, Kolsteren P, Meulenaer BD and Saeger SD. (2013). Human exposure to mycotoxins and their masked forms through cereal-based foods in Belgium. Toxicology Letters. 218:281-292.

Choi HJ, An TJ, Kim JI, Park SH, Kim DW, Ahn YS and Moon YS. (2014). Postharvest strategies for deoxynivalenol and zearalenone reduction in stored adlay(*Coix lachryma-jobi* L.) grains. Journal of Food Protection. 77:466-471.

Choi JH, Nah JY, Jin HS, Lim SB, Paek JS, Lee MJ, Jang JY, Lee T, Hong SK, Choi HY and Kim JS. (2019). Occurrence of *Fusarium* species in Korean Sorghum grains. Research in Plant Disease. 25:213-219.

Choung MG, Ahn KG, Kim GP, Hwang YS, Kwon CH, Kang IK and Lee YD. (2016). Dissipation pattern of a fungicide mandipropamid in Korean cabbage at different harvest times under greenhouse conditions. Korean Journal of Horticultural Science and Technology. 34:644-654.

Ham HH, Baek JS, Lee MJ, Lee T, Hong SK and Lee SD.

(2017). Change of fungi and mycotoxin in hulled barley under different conditions and period. Korean Journal of Food Preservation. 24:857-864.

Jang JY, Kim SS, Jin HS, Baek SG, O SJ, Kim KT, Kim JS and Lee T. (2018). Occurrence of toxigenic *Fusarium* spp. and zearalenone in scabby rice grains and healthy ones. Research in Plant Disease. 24:308-312.

Kang JG, Hwang JI, Lee SH, Jeon SO, Kwak SY, Park JH and Kim JE. (2016). Residual patterns of fungicides fludioxonil and metconazole in different part of wheat. Journal of Pesticide Science. 20:341-348.

Kang KJ, Kim HJ, Lee YG, Jung KH, Han SB, Park SH and Oh HY. (2010). Administration of mycotoxins in food in Korea. Journal of Food Hygiene and Safety. 25:281-288.

Kim DH, Jang HS, Choi GI, Kim HJ, Kim HJ, Kim HL, Cho HJ and Lee C. (2013). Occurrence of mycotoxins in Korean grains and their simultaneous analysis. Korean Journal of Food Science and Technology. 45:111-119.

Korean Crop Protection Association(KCPA). (2019). The pesticide manual. Korean Crop Protection Association. Seoul, Korea. p.98-99, 376-378.

Lee HJ, Lee JH, Jung JT, Lee YJ, Oh MW, Chang JK, Jeong HS and Park CG. (2019). Changes in free sugar, coixol contents and antioxidant activities of adlay sprout(*Coix lachryma-jobi* L. var. ma-yuen Stapf.) according to different growth stage. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 27:339-347.

Lee JE, Suh MH, Lee HG and Yang CB. (2002). Characteristics of Job's tear gruel by various mixing ratio, particle size and soaking time of Job's tear and rice flour. Korean Journal of Food and Cookery Science. 18:193-199.

Lee JH, Noh HH, Park SH, Jeong OS, Kim SH, Hong SM, Kim DH and Kyung KS. (2012). Monitoring of pesticide residues in the certificated organic and pesticide-free cereals and root vegetables. Korean Journal of Pesticide Science. 16:401-405.

Lee T, Lee SH, Kim LH and Ryu JG. (2014). Occurrence of fungi and *Fusarium* mycotoxins in the rice samples from rice processing complexes. Research in Plant Disease. 20:289-294.

Leslie JF, Plattner RD, Desjardins AE and Klittich CJR. (1992). Fumonisin B1 production by strains from different mating populations of *Gibberella fujikuroi*(*Fusarium* section liseola). Phytopathology. 82:341-345.

Lim SY. (2008). Inhibitory effects of methanol extracts from Korean *Oryza sativa* and *Coix lachryma-jobi* var. *ma-yuen* on mutagenicity and growth of human cancer cells. Journal of Life Science. 18:1415-1419.

Luo XY. (1988). Outbreaks of moldy cereals poisoning in China. In Issues in food safety. Toxicology Forum Inc. Washington

- DC. USA. p.56-63.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA).** (2018). Production record of cash crops. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.7.
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS).** (2019). Korean pharmacopoeia; General test, processes and apparatus. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju, Korea. p.18.
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS).** (2020). Food code. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju, Korea. p.42.
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation(NIFDS).** (2016). Risk assessment of Mycotoxins. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju, Korea. p.256.
- Park JM, Shin SH, Kang CS, Kim KH, Cho KM, Choi JS, Kim HM and Park JC.** (2012). Fungicide effects *in vitro* and in field trials on *Fusarium* head blight of wheat. *Research in Plant Disease*. 18:194-200.
- Pirgozliev SR, Edwards SG, Hare MC and Jenkinson P.** (2003). Strategies for the control of *Fusarium* head blight in cereals. *European Journal of Plant Pathology*. 109:731-742.
- Ryu JG, Lee SH, Son SW, Lee SH, Nam YJ, Kim MJ, Lee T and Yun JC.** (2011). Natural occurrence of *Fusarium* head blight and its mycotoxins in 2010-harvested barley and wheat grains in Korea. *Research in Plant Disease*. 17:272-279.
- Seo ST, Kim KH, Shin CH, Lee SH, Kim YM, Park JH and Shin SC.** (2009). Control efficacy of fungicides on cherry Witches' broom caused by *Taphrina wiesneri*. *Research in Plant Disease*. 15:13-16.
- Sydenham EW, Shephard GS, Thiel PG, Marasas WFO and Stockenstrom S.** (1991). Fumonisin contamination of commercial corn-based human foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 39:2014-2018.
- Tateishi H, Miyake T, Mori M, Sakuma Y and Saishoji T.** (2014). Effect of application timing of metconazole on *Fusarium* head blight development and mycotoxin contamination in wheat and barley. *Journal of Pesticide Science*. 39:1-6.
- Yoshizawa T and Morooka N.** (1973). Deoxynivalenol and Its Monoacetate: New Mycotoxins from *Fusarium roseum* and Moldy Barley. *Agricultural and Biological Chemistry*. 37:2933-2934.