



## ORIGINAL ARTICLES

선택성 제초제 fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 유제의 우엉 증  
잔류 및 식이섭취 위해도오경열<sup>1,†</sup> · 강상우<sup>1,†</sup> · 서성준<sup>1</sup> · 김진성<sup>1</sup> · 김진호<sup>1\*</sup><sup>1</sup>경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS) 응용생명과학부 농화학과Residue and Dietary Exposure Risk of Fluazifop-p-butyl and  
Sethoxydim as Selective Herbicides on Burdock (*Arctium lappa* L.)Kyeong-Yeol Oh<sup>1,†</sup>, Sang-Woo Kang<sup>1,†</sup>, Sung-Jun Seo<sup>1</sup>, Jin-Seong Kim<sup>1</sup>, Jin-Hyo Kim<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

(Received on May 15, 2023. Revised on May 26, 2023. Accepted on June 8, 2023)

**Abstract** The residual and dietary exposure risks of fluazifop-p-butyl and sethoxydim, selective herbicides, were investigated on the young leaves and roots of burdock (*Arctium lappa* L.). Fluazifop-p-butyl 17.5% emulsifiable concentrate (EC) and sethoxydim 20% EC were applied twice to the soil with a 20-day interval in the crop field, and the residues were analyzed using tandem mass spectrometry after a 20-day period following the final treatment. The residues of the two pesticides in all leaf and root samples were found to be below 0.01 mg kg<sup>-1</sup> and were not detected except for sethoxydim in the leaf. Sethoxydim was qualitatively detected only in the leaf samples. Consequently, the suggested maximum residue limits were set at 0.01 mg kg<sup>-1</sup>. The theoretical maximum daily intakes (TMDI) of fluazifop-p-butyl and sethoxydim were estimated to be 10.8% and 4.5% of the acceptable daily intakes (ADIs), respectively.

**Key words** Burdock, Dietary exposure risk, Residue, Fluazifop-p-butyl, Sethoxydim.

## 서 론

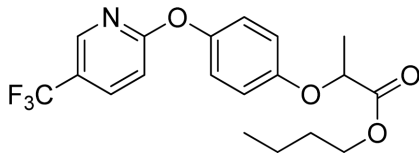
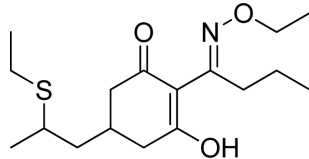
국내에서 소면적 작물은 재배 면적이 넓지 않아 재배기술이 표준화되지 않은 경우가 많고, 농약등록 시 경제성이 낮아 병해충을 방제할 수 있는 농약이 많지 않다. 또한 농약허용기준 강화 제도(positive list system, PLS) 등 안전관리 정책이 강화되어 병해충이 발생했을 때 적절한 방제가 쉽지 않다(Jeong et al., 2020; Oh et al. 2021; Oh et al. 2022). 최근 유통 농산물에 대한 잔류농약 조사 연구에서 PLS 시행 이후 전체 부적합 건에서 미등록 농약이 검출된 부적합 빈도가 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다(Kim et al., 2021; Song et al., 2021). 이에 따라, 농촌진흥청에서는 소

면적 재배작물의 안전한 생산을 위해 안전성 평가가 완료된 원제를 활용한 품목을 대상으로 농약직권등록사업을 실시하고 있다. 이 사업에서는 소면적 재배작물의 병해충에 대한 약해와 방제가를 산출하고, 작물잔류 안전성을 평가하여 기존 약제의 적용작물을 확대하고 있다. 이를 통해, 소면적 작물 재배에서 발생하는 병해충을 방제할 때 농가의 농약 선택권을 보장하고 농약의 안전한 사용을 유도하고 있다(Ahn et al., 2014; Oh et al., 2021; Lee et al., 2022a; Lee et al., 2022b; Son et al., 2022).

근채류인 우엉(*Arctium lappa* L.)은 국내 재배면적이 142 ha 수준인 소면적 재배작물로서, 남부지역에서는 늦가을 파종하여 월동 후 초여름에 수확하며, 중부지역은 초봄에 파종하여 가을에 수확하고, 어린 잎과 뿌리 부위를 식용으로 사용하고 있다(Lee et al., 2015; KOISIS, 2022). 특히 우엉 뿌리는 고혈압과 심혈관질환 예방, 항암, 항노화 등 건강기능성이 알려져, 소비자 관심이 증가하는 작물 중 하나

<sup>†</sup>Equally contributed as the first author\*Corresponding author  
E-mail: jhkim75@gnu.ac.kr

**Table 1.** Structure, MOA, physicochemical properties, and ADI of fluazifop-p-butyl and sethoxydim<sup>a)</sup>

	Fluazifop-p-butyl	Sethoxydim
Structure		
Mode of action	ACCCase inhibitor	ACCCase inhibitor
m.w.	383.4	327.5
log K <sub>ow</sub>	4.5	4.51 (pH 5)
ADI	0.01 mg kg <sub>bw</sub> <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	0.14 mg kg <sub>bw</sub> <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>

<sup>a)</sup> The data was obtained from International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Pesticide Properties DataBase (PPDB, 2023).

이다(Lee et al., 2015; Lee and Kim, 2016). 2023년 현재 우영의 병해충 및 잡초 방제에 등록된 유효성분은 총 51종으로, 이 중 재배 시 사용 가능한 제초제는 비선택성 제초제인 glufosinate로 제한되어 있다(KCPA, 2023; RDA, 2023). 따라서, 파종 후 경작초기 화분과 잡초를 방제하기 위해 선택성이 높은 제초제의 등록 필요성이 꾸준히 제기되었다.

Fluazifop-p-butyl은 aryloxyphenoxypropionate계 제초제이며 sethoxydim은 cyclohexene oxime계 제초제로, 두 성분 모두 장쇄지방산 생합성과정의 초기 단계에서 acetyl CoA carboxylase (ACCCase)를 저해하며(PPDB, 2023), 화분과 잡초인 바랭이, 독새풀, 강아지풀, 피 등에 대한 선택성이 높은 약제로 알려져 있다(KCPA, 2023). 특히, 이들 약제 모두 토양과 수계 잔류반감기가 10일 이내로 길지 않으며, 두 성분의 1일 섭취허용량(acceptable daily intake, ADI)은 fluazifop-p-butyl이 0.01 mg kg<sub>bw</sub><sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>, sethoxydim이 0.14 mg kg<sub>bw</sub><sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>으로 알려져 있다(Table 1). 이에 따라, 본 연구에서는 우영 생육초기에 화분과 잡초의 효율적 방제를 위해 사용 가능한 선택성 제초제 중 환경 잔류성이 낮은 fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 두 약제에 대해 우영의 가식부에 대한 작물 잔류성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 표준품 및 시약

Fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 표준품과 formic acid는 Sigma-Aldrich® (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)에서 구입하여 사용하였으며, 분석용 용매인 acetonitrile (ACN)과 methanol, water는 HPLC 등급의 Burdick & Jackson™ (Honeywell International Inc, Morris Plains, NJ, USA) 제품을 사용하였다.

### 시험포장 및 약제 처리

포장시험은 경상남도 진주에서 11월 파종하여 이듬해까

지 월동한 우영을 대상으로 수행하였으며, 시험기간 동안 시험포장의 일일 평균 온도는 11.8-27.3°C이었고, 일 최대 강수량은 59.6 mm이었다. 잔류 시험 품종은 유천이상(Jeilseed Co., Jeungpyeong, Republic of Korea)이었다. 시험포장의 시험구는 10.8 m<sup>2</sup> (4 m × 2.7 m)로 3반복 배치하였고, 시험구간 3 m의 완충구를 두었다. Fluazifop-p-butyl 17.5% 유제(HankookSamGong Co. Ltd, Seoul, Korea)와 sethoxydim 20% 유제(NongHyup Chemical Co. Ltd., Seongnam, Republic of Korea)를 1000 m<sup>2</sup> 당 각각 100 mL와 150 mL가 되도록 가압식 수동 분무기를 사용하여 수확 40일 전과 20일 전 각각 2회 토양 처리하였다. 잔류분석 부위 시료채취 규정(Park et al. 2022)에 따라 우영 잎 시료는 1.0 kg, 뿌리는 2.0 kg 이상을 수확하였으며, 시료는 드라이 아이스와 함께 곱게 분쇄한 후 잔류분석 전까지 냉동 보관하였다.

### 잔류분석

균질화된 우영 시료 10.0 g에 4 g MgSO<sub>4</sub>, 1 g NaCl, 0.5 g Na<sub>3</sub>Citrate, 1 g Na<sub>3</sub>Citrate가 포함된 QuEChERS extraction kit과 10.0 mL ACN을 첨가한 후 30분간 진탕 및 초음파 추출하였다. 추출시료는 4000 rpm에서 10분간 원심분리(LABOGENE 1580R, Labogen™, Bio-Medical Science Co., Ltd, Seoul, Korea) 후, 상등액 1 mL에 150 mg MgSO<sub>4</sub>, 25 mg C18과 25 mg primary secondary amine (PSA)가 포함된 d-SPE kit (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, USA)과 25 mg ENVI-Carb™ (Supelco®, Sigma-Aldrich, Inc., Bellefonte, PA, USA)을 넣어 vortexing 하고, 원심분리 후 syringe filter (PTFE, 0.22 μm, BIOFACT Co., Ltd., Daejeon, Korea)로 여과하여 LC-TQD (LCMS-8050, Shimadzu Co. Ltd. Kyoto, Japan)로 정량분석하였다. Fluazifop-p-butyl과 sethoxydim의 분리에 사용된 고정상은 InfinityLab Poroshell 120 EC-C18 (2.1 × 100 mm, 2.7 μm, Agilent Technologies, Inc. Co. Ltd., Santa Clara, CA,

USA)이었으며, 이동상은 0.1% formic acid가 각각 포함된 water와 methanol을 사용하였다. 정량이온은 fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 각각 384.1 → 282.0  $m/z$ 과 327.9 → 178.1  $m/z$ 이었으며, 정성이온은 384.1 → 328.0  $m/z$ 과 327.9 → 282.1  $m/z$ 로 각각 설정하였으며, matrix-matched calibration 법으로 정량하였다.

### 분석법 검증

Fluazifop-p-butyl과 sethoxydim의 검량선은 ACN으로 제조한 100 mg L<sup>-1</sup> stock solution을 농약 무처리 시료의 추출물로 희석하여 matrix-matched standard를 제조하였다. 분석성분의 검량선은 0.005-0.500 mg L<sup>-1</sup>의 범위에서 작성하였고, signal/noise비 10이상을 기준으로 정량한계(limit of quantitation, LOQ)를 산출하였으며(Oh et al., 2021), 회수율 시험은 0.01 mg kg<sup>-1</sup>과 0.10 mg kg<sup>-1</sup>에서 3반복 수행하였다.

### 식이섭취 위험도 평가

Fluazifop-p-butyl과 sethoxydim의 식이섭취 노출 위험도 평가를 위한 이론적 일일최대섭취량(theoretical maximum daily intake, TMDI)은 식품의약품안전처의 잔류물질정보에 등록되어 있는 최대잔류허용기준(maximum residue limit, MRL) (MFDS, 2023)과 2020년 국민영양통계 중 전체 연령의 작물별 평균 섭취량과 평균 체중(55 kg)을 사용하여 아래의 식에 따라 산출하였다(KHIDI, 2020; Lee et al., 2021).

$$TMDI (mg kg_{bw}^{-1} day^{-1}) = \frac{MRL (mg kg^{-1}) \times daily\ intake (g day^{-1})}{body\ weight} \times \frac{1}{1000}$$

$$\%ADI = \frac{TMDI (mg kg_{bw}^{-1} day^{-1})}{ADI (mg kg_{bw}^{-1} day^{-1})} \times 100$$

## 결과 및 고찰

### 분석법 검증

Fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 검량선의 linearity ( $R^2$ )는 모두 0.999 이상이었으며, LOQ는 모두 0.005 mg kg<sup>-1</sup>이었다. 우영 잎과 뿌리에서 수행된 두 분석성분의 회수율은 LOQ의 2배와 20배 수준인 0.01 mg kg<sup>-1</sup>과 0.1 mg kg<sup>-1</sup>에서 각각 실시되었으며, fluazifop-p-butyl의 평균 회수율은 잎과 뿌리에서 90.8 – 102.9%로 나타났으며, sethoxydim은 83.5 – 99.0%로 확인되었다. 이들 성분에 대한 정량분석 변이계수(Coefficient of variation, CV)는 모두 7.0% 미만이었다.

### 우영의 제초제 fluazifop-p-butyl 및 sethoxydim 잔류량

Fluazifop-p-butyl 17.5% 유제와 sethoxydim 20% 유제 처리 후 우영 잎과 뿌리의 잔류량을 분석한 결과, 최종 약액 살포 20일 경과 후 우영 잎과 뿌리에서 fluazifop-p-butyl 및 sethoxydim의 잔류량은 모두 LOQ (0.005 mg kg<sup>-1</sup>) 미만이었다. 또한, fluazifop-p-butyl은 우영의 잎과 뿌리에서 모두 불검출 되었으나, sethoxydim은 우영 잎에서만 LOQ 미만에서 정성 검출되었다. 따라서, 모든 분석 시료에서 fluazifop-p-butyl과 sethoxydim이 모두 LOQ미만으로 확인하였기에 이들 두 성분에 대한 우영 중 경시적 잔류감소는 확인할 수 없었다.

### Fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 식이섭취 위험도 평가

Fluazifop-p-butyl은 24개 작물에 MRL이 설정되어 있으며, 국민건강영양통계에서 제공하는 2020년 농산물의 성인 평균 식이섭취량을 근거로 TMDI를 산출한 결과 1.08  $\mu g kg_{bw}^{-1} day^{-1}$  이었으며, 이는 ADI로 제시된 0.01 mg  $kg_{bw}^{-1} day^{-1}$ 의 10.8% 수준이었다. 또한, sethoxydim은 43건의 MRL이 설정되어 있으며, TMDI는 ADI (0.14 mg  $kg_{bw}^{-1} day^{-1}$ )의 4.5% 수준으로 식이섭취 노출 위험도는 높지 않았다. 따라서, 시험평가된 선택성 제초제 fluazifop-p-butyl과 sethoxydim에 대한 MRL은 수확 20일 전까지 2회 살포하는 것을 전제로 0.01 mg kg<sup>-1</sup>을 고려해 볼 수 있을 것이다.

## Author Information and Contributions

Kyeong-Yeol Oh, Department of Agricultural Chemistry, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Ph.D. student, Experimental design and analysis, <https://orcid.org/0000-0002-1699-4164>

Sang-Woo Kang, Department of Agricultural Chemistry, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Master course student, Field experiment and analysis, <http://orcid.org/0000-0001-8965-8340>

Sung-Jun Seo, Department of Agricultural Chemistry, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Master course student, Field experiment, <http://orcid.org/0000-0002-6558-4452>

Jin-Seong Kim, Department of Agricultural Chemistry, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Master course student, Field experiment, <http://orcid.org/0000-0001-5154-2561>

Jin-Hyo Kim, Department of Agricultural Chemistry,

Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Professor, Study design, writing paper and supervision, <https://orcid.org/0000-0002-0341-7085>

## Acknowledgment

This study was supported by the “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ016834052022)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Literature cited

- Ahn CH, Kim YH, Eom HS, Lee GH, Ryu GH, 2014. A study on crop group for pesticide efficacy and crop safety of minor crops. *Korean J. Pestic. Sci.* 18(4):364-375.
- Jeong DK, Jeong WM, Goo YM, Kil YS, Sin SM et al., 2020. Study on residual characteristics of mandipropamid and Metalaxyl-M in *Cnidium officinale* Makino. *Korean J. Pestic. Sci.* 24(2):172-179.
- KCPA, 2023. Agrochemical use guide book, Korea Crop Protection Association. <https://www.koreacpa.org/ko/use-book/search/> (Accessed Mar. 31. 2023).
- KHIDI, 2020. Korea National Health & Nutrition Examination Survey. Korea Health Industry Development Institute, Cheongju, Republic of Korea. <https://www.khidi.or.kr/kps/dhraStat/result2?menuId=MENU01653&gubun=sex&year=2020> (Accessed Mar. 30. 2023).
- Kim J, Cho S, Song N, Han Y, Kim H, et al., 2021. Survey on pesticide residues and risk assessment in agricultural products at local food markets in Gwangju. *Korean J. Pestic. Sci.* 25(1):20-30.
- KOSIS, 2022. An Overview of Vegetable Production Performance. Korean Statistical Information Service. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT\\_114018\\_001&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=F1\\_AA\\_A\\_010&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114018_001&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F1_AA_A_010&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE) (Accessed Apr. 20. 2023).
- Lee D, Kim CY. 2016. Inhibition of advanced glycation end product formation by burdock root extract. *J. Nutr. Health* 49(4):233-240.
- Lee GY, Son YJ, Jeon Y, Kang HJ, Hwang IK, 2015. Changes in the physicochemical properties and sensory characteristics of burdock (*Arctium lappa*) during repeated steaming and drying procedures. *Korean J. Food Sci. Technol.* 47(3):336-344.
- Lee SY, Seo MH, Lee SC, Yoon JB, Yang CY, 2022a. Occurrence patterns and insecticidal effects of *Drosophila* spp. in Korean cherry orchards. *J. Pestic. Sci.* 26(4):300-306.
- Lee TH, Hwang KW, Jeong KS, Sun JH, Kim HJ, et al., 2022b. Residual patterns of dimethomorph and mandipropamid in mandarin. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(3):188-196.
- MFDS, 2023. Pesticide and Veterinary Drugs Information, Ministry of Food and Drug Safety. <https://residue.foodsafetykorea.go.kr/> (Accessed Mar. 31. 2023).
- Oh KY, Bae JY, Lee DY, Kim YJ, Lee DY, et al., 2021. Residual dissipation pattern of dichlorvos and etofenprox in squash under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 25(1):31-39.
- Oh KY, Lee DY, Song TB, Kim YJ, Kim JH, 2022. Residual dissipation pattern and the safety assessment of tebufenozide and teflubenzuron on black chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *Korean J. Pestic. Sci.* 26(2):95-102.
- Park SY, Kim JS, Kang NS, Bae JY, Lee JW, et al., 2022. Review of the crop classification groups for pesticide residue analysis in raw agricultural commodities on international organizations and the Korean national regulations. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(4):247-257.
- PPDB, 2023. PPDB: Pesticide Properties DataBase, University of Hertfordshire, United Kingdom. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm> (Accessed Mar. 31. 2023).
- RDA, 2023. National crop pest management system (NCPMS), Rural Development Administration (RDA). <https://ncpms.rda.go.kr/> (Accessed Mar. 31. 2023)
- Son KY, Hong JH, Park JH, Kim CS, Choi GH, et al., 2022. Comparative assessment of the pesticide residues in radish (*Raphanus sativus*) by the tillage depth after applying imicyafos GR. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(4):353-364.
- Song SH, Kim KY, Kim YS, Ryu KS, Kang MS, et al., 2021. Comparative analysis of pesticide residues in agricultural products in circulation in Gyeonggi-do before and after positive list system enforcement. *J. Food Hyg. Saf.* 36(3): 239-247.

## 선택성 제초제 fluazifop-p-butyl과 sethoxydim 유제의 우영 증 잔류 및 식이섭취 위해도

오경열<sup>1,†</sup> · 강상우<sup>1,†</sup> · 서성준<sup>1</sup> · 김진성<sup>1</sup> · 김진호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS) 응용생명과학부 농화학과

**요 약** ACCase 저해작용으로 화본과 잡초에 대한 선택성이 있는 17.5% Fluazifop-p-butyl과 20% sethoxydim 유제를 우영 경작지 처리 후 이들의 작물 가식부 잔류와 식이섭취 노출 위해도를 평가하였다. 약액 살포 20일 후 우영의 잎과 뿌리에서 두 약제 모두 정량한계 미만으로 식이섭취 잔류 위해도는 산출할 수 없었으나, sethoxydim의 경우 우영 잎에서 정성적 검출이 확인됨에 따라, MRL은 0.01 mg kg<sup>-1</sup> 수준에서 설정되어야 할 것으로 판단되었다. 또한, 이들 성분에 대한 TMDI 산출결과 fluazifop-p-butyl와 sethoxydim은 제안된 ADI에 대해 각각 10.8%와 4.5% 수준으로 식이섭취 노출 위해도가 높지 않았다.

**색인어** 플루아지포프-피-부틸, 세톡시딤, 식이섭취 위해도, 잔류안전성, 우영