

MINI-REVIEW

우리나라 제초제 등록현황 분석

이인용¹ · 김진원^{2*}

¹한경대학교, ²국립농업과학원

Current Status of Herbicides in Korea in 2020

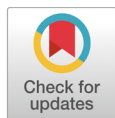
In-Yong Lee¹ and Jin-Won Kim^{2*}

¹School of Applied Science in Natural Resources & Environment, Hankyung National University, Ansong 17579, Korea

²Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract

Based on 'Guide book of Pesticide', 454 herbicide items were registered. Among them, paddy field herbicides were 301 items, followed by lawn herbicides (55 items), upland herbicides (54 items, including orchards) and non-crop land herbicides (35 items). Among 112 herbicidal ingredients registered, the most was acetolactate synthase (ALS) inhibitors (Group B) including sulfonylureas (26 ingredients) and followed by mitosis inhibitors (Group K3, 15 ingredients), PPO inhibitors (Group E, 12 ingredients). Sufficient herbicide items were registered in major crops such as rice, grass in lawn, soybean, hot pepper, and etc. However, herbicide items registered were imbalanced between pre- and post-emergence herbicide items in case of some minor crops (e.g., perilla). Authors suggested that herbicides should be registered based on the experimental crop-toxicity and -residue data for farmers' and end-users' safety and pre- and post-emergence herbicides in a crop should be balanced for the efficiency of weed management.



OPEN ACCESS

*Corresponding Author:

Tel) +82-63-238-3321
Fax) +82-63-238-3838
E-mail) its001@korea.kr

Received: June 15, 2021

Revised: June 22, 2021

Accepted: June 23, 2021

© 2021 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Key words: Herbicide items, Non-crop land, Pesticides guide book

서 언

작물보호제 지침서는 살균제, 살충제, 제초제, 생장조정제 등의 품목명과 상표명, 그리고 적용 대상 작물이 기재된 책이다. 한국작물보호협회에서 격년으로 전년도 등록 작물보호제를 기준으로 발간하며, 그 내용은 인터넷으로도 공개하고 있다(www.koreacpa.org). 각 작물보호제별로 수록할 내용이 많아 글자 크기가 작은 것이 흠이지만, 전국에 배포되어 농약판매점 및 농업인 등이 매우 유용하게 이용하고 있다. 특히, 잡초뿐만 아니라 작물도 죽일 수 있는 제초제의 약효 및 약해에 대한 주의사항이 상세하게 기록되어 있어 제초제 사용자에게 실질적인 도움을 주고 있다.

생산자는 작물보호제를 안전하게 사용하고, 소비자는 잔류농약으로부터 보호하고자 농약관리법 및 농약허용물질목록관리제도(PLS, positive list system)를 시행하고 있다. 이에 따라 농작물에는 해당 농작물에 등록된 작물보호제를 안전사용기준에 따라 사용하여야 한다. 등록된 작물보

호제가 최대잔류한계(MRL, maximum residue limit)이상으로 검출되거나, 등록되지 않은 작물보호제가 생산 및 유통단계에서 일정기준 이상(0.01 ppm)으로 검출될 경우, 해당 농산물은 전량 폐기될 수 있으며 벌금 혹은 과태료가 부과될 수 있다.

원활한 제도의 시행을 위해 각 작물에 안전한 작물보호제 목록 및 허용잔류량을 설정할 필요가 있었다. 살균제 및 살충제는 특성상 농작물 약해 가능성이 상대적으로 낮기 때문에, 다양한 조합의 검증실험을 통해 적용작물을 확대하였다. 그러나 제초제의 경우, 작물, 품종, 토양 및 처리환경 등에 따라 농작물 약해 가능성이 매우 높기 때문에 보다 철저한 검증이 필요했으며, 이로 인해 살균제 및 살충제보다 상대적으로 적은 수의 작물에 등록되었다. 2021년 현재, 들깨에는 토양처리제로 등록된 제초제가 없으며, 부추에는 정식 등록된 제초제가 전혀 없다. 작물에 사용이 가능한 제초제가 없다는 것은 MRL이 0.01 ppm으로 설정되어 있다는 것을 의미하며, 이로 인한 선의의 피해자가 나타날 가능성이 높다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 작물보호제 지침서에 기재된 약제를 분석하여 현재 제초제 등록현황을 파악하였으며, 적용작물을 조사 및 분석하여 실질적으로 등록이 필요한 농작물이 무엇인지를 알고자 하였다. 추가적으로 등록된 제초성분 등을 조사·분석하여, 제초제의 적용작물 확대를 위한 방안을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

본 논문에 사용된 여러 정보는 한국작물보호협회에서 발간한 ‘2020년 작물보호제(농약) 사용지침서’(KCPA, 2020)에 기재되어있는 품목명, 적용작물 등의 자료를 엑셀에 입력한 후 다양하게 분석하고 정리하였다.

품목명(item)은 한글화된 원제(ingredient)와 제형(formulation type)이 합쳐진 것이기 때문에, 같은 원제와 같은 제형의 제초제는 1개의 품목으로 처리되었으며, 조합이 다르거나 제형이 다른 경우는 각각 다른 품목으로 처리되었다. 농경지는 그 특성에 따라 논, 밭(과수원 포함), 잔디 및 비농경지로 구분하였다. 제초제 계통은 농약사용지침서에서 제시하고 있는 계열을 참고하였으며, 제시되지 않았거나 명확하지 않은 경우, Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) 홈페이지 내 제초제 검색을 활용하였다(<https://hracglobal.com/tools/classification-lookup>). 등록작물은 중복을 포함하여 조사하였으며, 일부 작물은 재배법 및 품종에 따라 다르게 등록된 것을 통합하여 조사하였다. 이앙벼(transplanting rice)는 ‘손이앙’과 ‘기계이앙’을 포함하였으며, 직파벼(direct sowing rice)는 건담직파, 담수직파 등을 포함하였다. 잔디는 잔디, 한국잔디, 서양잔디를 포함하였으며, 비농경지는 비농경지, 논둑, 조림지, 초지조성예정지 등을 포함하였다. 파는 파, 쪽파, 대파를 모두 포함하였고, 묘포는 소나무, 은행나무, 철쭉 등을 모두 포함하여 조사하였다. 작물의 영명은 국가표준식물 목록(www.nature.go.kr)을 참고하였으며, 영명이 없는 경우에는 학명으로 표기하였다.

결과 및 고찰

농경지별 등록 제초제 품목 현황

2020년 4월 30일 현재, 작물보호제 지침서에 기재되어 있는 제초제는 총 454품목이다(Table 1). 2007년의 297품목 및 2012년의 389품목과 비교해(Lee et al., 2012) 품목 증가세는 다소 감소하였다. 454품목 중 논이 310품목으로 전체 68.3%를 차지하며 가장 다양한 종류의 제초제가 등록되어있는 것으로 조사되었다. 2012년에는 논 제초제의 품목수가 전체의 70%를 차지하고 있었으며(Lee et al., 2012), 약 10년이 흐른 현재에도 비슷한 경향을 보이고 있었다(Table 1). 그 다음은 잔디 제초제가 55품목으로 전체의 12.1%이었다. 과수원을 포함한 밭 제초제는 54품목이었으며, 비농경지는 35품목이었다.

Table 1. Number of herbicide items in 2020.

Section	Crop lands				Total
	Paddy field	Upland field (including orchard)	Lawn	Non-crop land	
No. of herbicides item (%)	310 (68.3)	54 (11.9)	55 (12.1)	35 (7.7)	454 (100.0)

Source: Guide book of pesticides on 2020 (KPCA, 2020).

비농경지에 등록된 제초제는 35품목으로 전체의 7.7%를 차지하고 있었다(Table 1). 비농경지에 등록된 제초제는 대부분 비선택성 제초제로, 대부분은 과수원에 사용되나 일부는 비농경지에도 사용되고 있다. 작물을 재배하기 전, 비선택성 제초제를 사용하여 농경지에 발생한 잡초를 제거하는 방법을 번다운(burndown)이라고 하며, 주로 무경운재배에서 활용한다. 특히 벼 직파재배에서 잡초성벼(앵미, weedy rice)를 방제하기 위한 방법으로 제안되었으며, 방제효과는 90% 이상으로 방제효과가 높았다는 결과도 있다(Im et al., 2004; Kim et al., 2002). 그러나 이러한 방식으로 잡초성벼를 방제할 경우, 농약관리법 23조제5항을 위반하여 그 횟수에 따라 최고 300만원의 과태료가 부과될 수 있다. 농업용어사전(RDA, 1997)에서, 비농경지(非農耕地, non-crop land)는 ‘농경지 이외의 장소로서, 병해충이나 잡초를 방제하기 위하여 농약을 사용하는 도로변, 선로변, 공장 부지 등’으로 정의하고 있으며, 이를 전제로 했을 때, 비록 재배전이라고 하더라도 벼에 등록되지 않은 비농경지용 비선택성 제초제를 사용한 것이 되기 때문이다. 그러나 농업용어사전이 법적 효력이 있는 문서가 아니기 때문에 논란이 있을 수 있다. 따라서, 비농경지에 대한 명확한 법적 정의가 필요하다. 이를 통해 다양한 작물에서 활용할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이며, 이와 동시에 인간과 작물에 대한 안전사용기준 등을 제시하여 생산자와 소비자 모두의 안전을 보장해야 할 것이다.

원제 계열별 등록 제초제 품목 현황

2020년에 발간한 작물보호제 사용지침서에 포함된 제초제 454품목은 총 112종의 유효성분을 사용하고 있었다(Table 2; Suppl. Table 1). Lee et al. (2012)의 조사에 의하면, 제초제 유효성분은 1971-1980년까지 23종, 1996-2012년까지는 58종 늘어나서 2011년에 사용 중인 유효성분은 105종이었으며, 이를 감안했을 때 원제의 종류가 증가하는 추세는 감소하는 것으로 판단된다. 112종의 제초제 유효성분 중에 imazaquin과 같이 그룹 B (acetolactate synthase [ALS] inhibitor)에 속한 원제가 26종으로 가장 많았다(Table 2). 세포분열 저해제(그룹 K3, mitosis inhibitor)과 protoporphyrinogen 산화효소 저해제(그룹 E, PPO inhibitor)에 속한 원제가 각각 15 및 12종으로 그 뒤를 이었으며, 합성옥신계 제초제(그룹 O, synthetic auxin)는 10종이었다(Table 2).

주로 논제초제로 사용하고 있는 설폰닐우레아(SU, sulfonylurea)계열의 제초제는 18종으로 조사되었다(Table 3). 비록, 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 제초제 저항성 잡초가 가장 많은 계열이기는 하지만, SU계열의 제초제는 면적당 처리약량이 상대적으로 매우 적어 환경부하가 적고, 스펙트럼이 다양한 특징이 있어, 특수작물의 잡초방제에 활용이 가능하다고 판단된다.

K1 그룹을 대표하는 디나이트로아닐린(DA, dinitroaniline)계열과 그룹 K3를 대표하는 클로로아세트아마이드(CA, chloroacetamide)계열의 제초제는 두 계열 모두 6종씩이었다(Table 3). 두 그룹은 대표적인 밭 토양처리제이다. 잡초종마다 약효의 차이가 있지만 스펙트럼이 넓고(Barrentine and Warren, 1971), 가격이 상대적으로 저렴하여, 다양한 밭작물에서 사용하고 있다(Talcott, 2013). 일부 약해가 있기는 하지만 들깨 등 재배기간이 상대적으로 긴 작물에서 관행적으로 폭 넓게 사용되어 온 특징이 있다. 따라서, 적용작물을 확대할 때, 재배기간이 긴 작물 재배에서 관행적으로 사용된 K1 그룹과 K3 그룹의 제초제 사용을 가장 먼저 고려해야 할 것으로 판단된다. 다만, 토양잔류기간이 길기 때문에(Walker et al., 1992), 재배기간이 상대적으로 짧은 엽채류 등에서는 약해가 발생할 가능성이 있으며, 약해 여부와 관계없이 식물체 내에 잔류할 가능성도 존재한다. 따라서, 엽채류 등에서는 약해와 작물 잔류에 관한 면밀한 검토가 이루어진 후에 확대 적용해야 할 것으로 판단된다.

Table 2. Number of registered herbicide ingredients by mode of action groups.

Herbicide group (HRAC code)	Mode of action	No. of ingredient
A	ACCase inhibitor	8
B	ALS inhibitor	26
C1	PSII inhibitor (site A)	3
C2	PSII inhibitor (site A, different behavior)	4
C3	PSII inhibitor (site B)	2
E	PPO inhibitor	12
F2	4-HPPD inhibitor	6
F3	DOXPS inhibitor	1
G	EPSPS inhibitor	3
H	GS inhibitor	2
I	DHP inhibitor	1
K1	Microtubule assembly inhibitor	7
K3	Mitosis inhibitor	15
L	Cell wall synthesis inhibitor	5
N	Lipid synthesis inhibitor	3
O	Synthetic auxin	10
Z	Unknown	4
Total		112

Source: Guide book of pesticides on 2020 (KPCA, 2020).

HRAC: Herbicide Resistance Action Committee; ACCase: Acetyl CoA carboxylase; ALS: Acetolactate synthase; PSII: Photosystem II; PPO: Protoporphyrinogen IV oxygenase; 4-HPPD: 4-hydroxyphenyl-pyruvate dioxygenase; DOXPS: 1-deoxy-D-xylose 5-phosphate synthase; EPSPS: 5-enol-pyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase; GS: Glutamine synthase; DHP: 7,8-dihydropteroate.

Table 3. List of herbicidal ingredients in 5 major chemical families.

Herbicide group	Chemical family	No. of ingredient	Ingredients
B	Sulfonylureas	18	azimsulfuron, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, flazasulfuron, flucetosulfuron, foramsulfuron, halosulfuron-methyl, imazosulfuron, iodosulfuron-methyl sodium, matazosulfuron, metazosulfuron, nicosulfuron, orthosulfamuron, propyrisulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, rimsulfuron, thifensulfuron-methyl, trifloxysulfuron-sodium
A	Aryloxyphenoxy-Propionates	6	cyhalofop-butyl, fenoxaprop-P-ethyl, fluazifop-P-butyl, haloxyfop-R-methyl, metamifop, propaquizafop
K3	Choroacetamides	6	alachlor, butachlor, metazachlor, metolachlor, pretilachlor, S-metolachlor
K1	Dinitroanilines	6	benfluralin, ethalfluralin, oryzalin, pendimethalin, prodiamine, trifluralin
O	Phenoxy acetic acids	6	2,4-D, 2,4-D ethylester, MCPA, MCPB, mecoprop, mecoprop-P

Source: Guide book of pesticides on 2020 (KPCA, 2020).

MCPA: 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid; MCPB: 4-(4-chloro-2-methylphenoxy)butanoic acid.

광엽 작물에서 화본과잡초를 선택적으로 방제할 수 있는 그룹 A의 제초제 중, 아릴옥시페녹시프로피오네이트(AOPP, aryloxyphenoxy propionate)계열의 제초제는 6종이었다. 같은 그룹 A의 사이클로헥산디온(CHD, cyclohexanedione)계열의 제초제보다 상대적으로 안전하다는 평가를 받고 있다. 최근에는 단자엽식물인 백합과 부추에 대하여 AOPP계열의 cyhalofop-butyl의 안전성과 잔류량을 근거로 하여 확대적용 가능성이 제시된 바 있다(Jeon et al., 2019). 다만, Jeon et al. (2019)이 제시했듯이, AOPP 및 CHD계열의 제초제는 광엽잡초를 방제하지 못하기 때문에, 광엽잡초를 방제할 수 있는 추가적인 접근이 필요하다. 따라서, 화본과를 제외한 발작물에 대하여 AOPP 및 CHD계열 제초제의 약해 및 잔류량 평가를 통해 사용 가능한 제초제 목록을 우선 확대해야 할 것이며, 추가적이고 지속적인 연구를 통해 광엽잡초를 안전하고 효율적으로 방제할 수 있는 방법을 제시해야 할 것이다.

광엽잡초에 대하여 강한 선택성을 보이는 합성옥신계(그룹O)에 속한 원제는 총 10종이었으며(Table 2), 이 중 페녹시(PA, phenoxy acetic acid)계열의 원제는 6종이었다(Table 3). PA계열의 제초제는 토양처리효과보다는 경엽처리효과가 강하며 주로 잔디밭에 등록되어있으나, 2,4-D의 경우 벼에 등록되어 있다. 화본과 곡류를 제외한 대부분의 발작물이 광엽식물이고, 주요 고추 등 가지과 작물이나 포도 등 과수 작물에서 낮은 농도로도 약해를 입힐 수 있기 때문에 적용작물의 확대로 활용하기에는 어려울 것으로 판단된다. 하지만, 도로변, 경사면 등의 비농경지에서 큰 문제를 야기하고 있는 칩이나 잡목 방제용으로 활용한다면 비농경지에 대한 정의를 공고히 할 수 있을 것으로 판단된다. 실제로 칩 방제에서 비선택성 제초제 혹은 합성옥신계 제초제를 국부처리 하거나 예취 후 1/2농도로 살포했을 때 90% 이상의 방제효과를 보였다는 보고가 있다(Pyon et al., 2005; Pyon et al., 2006). 비록 법적으로 산림에서 사용할 수 있는 제초제의 종류가 다르지만, 미국에서도 그룹O에 속하는 triclopyr나 fluroxypyr와 같은 제초제를 사용하여 칩을 방제하고자 하였으며, 완전제거(eradication)에는 실패하였지만, 90%이상의 방제효과를 보이기도 하였다(Weaver et al., 2015). 다만, 합성옥신계 제초제의 경우, 토양 내 이동성이 매우 강하고, 농작물을 포함한 주변 생태계에 미칠 수 있는 영향력이 매우 강하기 때문에, 앞서 언급했던 국부처리 등을 통해 피해를 최소화하는 연구가 동시에 진행되어야 할 것이다.

적용작물별 등록 제초제 품목 현황

작물보호제 지침서에 기재된 제초제 454품목의 대상작물을 조사한 결과, 중복을 포함하여 총 74종이었다(Table 4). 이 양벼 및 직파벼에 등록된 제초제 품목 수는 처리시기에 따른 중복을 포함하여 각각 316 및 124로 가장 많았다. 우리나라 벼는 거의 모두 논에서 재배하기 때문에, 벼 제초제를 논 제초제로 봐도 무방하며, 논 제초제의 품목수(Table 1)나 벼에 등록된 제초제의 품목수(Table 4), 그리고 처리방법(Table 5) 및 처리시기에 따른 제초제의 종류(Table 4)로 판단했을 때, 벼 재배를 위한 제초제의 종류는 충분하다고 할 수 있다. 다만, 간편한 처리를 위한 제형의 개발이나 약효증진 및 사용량 절감을 위한 보조제 연구는 더욱 활성화되어야 한다고 판단된다.

잔디밭에 사용토록 등록된 제초제는 55품목이며(Table 1), 서양잔디 등 잔디 종류 별 품목수는 중복을 포함하여 총 79 품목이다(Table 4). 벼와 마찬가지로, 품목 수와 종류는 충분한 것으로 판단된다. 다만, 관련 제초제의 현실적 활용법에 대하여 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 임업 및 산촌진흥촉진법 제2조제3항에서 정의하고 있는 ‘임산물’에 ‘떼’가 포함되어 있어(산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행령 제2조제5항의4), 국립산림과학원 산림바이오소재연구소에서 한국잔디의 육종 및 재배에 관한 연구를 진행하고 있다. 잡초 및 제초제의 학술적, 산업적 가치를 부여하기 위해서는 해당기관 담당자를 중심으로 학계 및 산업계 등 관계자의 의견을 수렴하여 효과적인 활용법에 대한 방향성이 제시되어야 할 것이다.

Table 4. Number of registered herbicide items by crops.

No.	Crops	Post-emergence	Pre-emergence	Cultivated area (ha)	No.	Crops	Post-emergence	Pre-emergence	Cultivated area (ha)
1	Rice (transplanting)	270	46	729,814	38	Spinach	1	3	5,189
2	Rice (direct sowing)	118	6	729,814	39	Ballonflower	4	0	1,819
3	Grass	38	41	2,382	40	Cnidium officinale	3	1	125
4	Non-crop land	45	5	-	41	Chinese yam	1	3	733
5	Apple	31	5	32,954	42	Peanut	0	4	3,236
6	Soybean	11	19	58,537	43	Broccoli	0	3	-
7	Potato	9	20	26,829	44	Mulberry	0	3	-
8	Hot pepper	9	18	31,664	45	Gladiolus	0	3	-
9	Garlic	10	16	27,689	46	Citron	3	0	911
10	Tangerine	24	2	21,180	47	Perilla	3	0	37,377
11	Pear	21	2	9,615	48	Adlay	0	2	568
12	Onion	9	12	21,777	49	Oriental melon	2	0	3,648
13	Corn	6	13	14,840	50	Wheat	0	2	3,736
14	Leek	8	10	17,170	51	Lance asiabell	1	1	3,086
15	Kimchi cabbage	7	11	25,837	52	Cucumber	2	0	4,962
16	Grape	14	0	12,676	53	Raspberry	2	0	-
17	Radish	6	8	19,503	54	Red bean	0	2	5,853
18	Nursery of trees	5	7	-	55	Tomato	1	1	5,706
19	Persimmon	11	1	23,000	56	Kiwifruit	2	0	-
20	Sesame	7	4	25,159	57	Aster scaber	1	1	714
21	Barly	3	8	43,720	58	Mum	1	0	-
22	Peach	10	1	20,636	59	Broadleaf Liriope	0	1	31
23	Sweet potato	5	4	21,941	60	Orchard	1	0	-
24	Carrot	4	4	2,069	61	Bupleurum falcatum	0	1	13
25	Strawberry	4	3	6,462	62	Peony	0	1	192
26	Jujube	6	1	2,745	63	Tea-tree	1	0	2,844
27	Chestnut	7	0	16,900	64	Gojiberry	0	1	74
28	Japanese apricot	6	1	9,385	65	Red-root gromwell	0	1	-
29	Cabbage	3	4	6,980	66	Safflower	0	1	76
30	Water melon	5	1	11,972	67	Korean wild chive	0	1	-
31	Ginger	3	3	2,324	68	Head lettuce	1	0	-
32	Angelica	3	3	498	69	Sweet green pumpkin	1	0	-
33	Tobacco	3	3	4,101	70	Kohlrabi	0	1	-
34	Plum	5	1	7,100	71	Five-flavor berry	1	0	2,760
35	Grassland	3	3	-	72	Giant butterbur	0	1	-
36	Ginsang	5	0	22,165	73	Mongolian milkvetch	0	1	193
37	Korean angelica-tree	4	0	1,310	74	Korean black berry	1	0	1,287

Source: Guide book of pesticides on 2020 (KPCA, 2020).

Table 5. Number of herbicide items by application method.

Section	Soil treatment herbicides			Foliar treatment herbicides			Total
	Paddy	Upland	Subtotal	Paddy	Upland	Subtotal	
No. of herbicide	287.0	68.0	355.0	23.0	76.0	99.0	454
Ratio (%)	63.2	15.0	78.2	5.1	16.7	21.8	100

Source: Guide book of pesticides on 2020 (KPCA, 2020).

논이나 잔디밭과는 다르게 밭에서는 매우 다양한 작물이 재배되며(Cho et al., 1986), 발생하는 잡초 또한 매우 다양하다(Lee et al., 2017). 그러나 실질적으로 밭에서 토양처리제로 사용할 수 있는 제초제는 K1, K3 및 E그룹의 제초제 등으로 제한되어 있으며, 작물에 따라 약해 여부나 그 정도가 각각 달라 다양한 작물에 제한적인 제초제를 일괄적으로 등록/적용하기에는 무리가 있다. 따라서, 재배면적 등 원칙에 따라 작물을 선정한 후, 선정된 작물에 대한 약해 및 잔류실험을 통해 안전성을 확보한 후에 등록 및 적용을 진행해야 할 것이다.

제초제가 등록된 74종의 작물 중, 발아전처리제(PRE, pre-emergence herbicide)가 등록되지 않은 작물은 18종이고, 발아후처리제(POST, post-emergence herbicide)가 등록되지 않은 작물은 17종이 있어, 활용할 수 있는 제초제 간의 불균형이 있는 것으로 나타났다(Table 4). 특히, 포도, 밤, 두릅 등 다년생 작물(과수 및 임산물) 등에서 발아전처리제의 등록이 없었으며, 브로콜리, 땅콩, 울무 등 주로 일년생 작물에는 발아후처리제가 등록되지 않았다. 밭작물 재배에서, ‘잡초발생 전 방지’와 ‘잡초발생 후 제거’는 모두 매우 중요하지만, 재료비나 노동력을 감안했을 때 가장 효율적인 것은 전자이다. 따라서, 약해 여부와 같은 생물학적 특성이나 온실재배와 같은 재배적 특성을 감안한다 하더라도, 안전한 농산물 생산을 위한 제초제의 안전사용을 목적으로 한다면, 최소한 1종 이상의 발아전처리제가 등록되어야 할 것으로 판단된다.

Authors Information

In-Yong Lee, Hankyung National University, Senior Researcher

Jin-Won Kim, <http://orcid.org/0000-0002-3245-3704>

References

- Barrentine, W.L. and Warren, G.F. 1971. Differential phytotoxicity of trifluralin and nitralin. *Weed Sci.* 19:31-37.
- Cho, J.Y., Youn, S.H. and Lee, D.U. 1986. *New principles of cultivation science*. p. 33. Hyangmunsa, Seoul, Korea. (In Korean)
- Im, I.B., Kang, J.G. and Kim, S. 2004. Physio-ecological characteristics and control of weedy rice in the rice paddy. *Kor. J. Weed Sci.* 24:56-63. (In Korean)
- Jeon, Y.H., Lee, J., Lee, I.Y. and Kim, J.W. 2019. Phyto-toxicity and residue of cyhalofop-butyl on garlic chives (*Allium tuberosum* ROTT.). *Proc. Kor. Weed Sci. Soc.* 39:37. (In Korean)
- KCPA (Korea Crop Protection Association). 2020. *Guide book of pesticides on 2020*. pp. 979-1395, 1639-1673. Sam Jung Press, Seoul, Korea. (In Korean)

- Kim, S.Y., Moom, B.C., Park, S.T., Shin, S.O., Yang, S.J., et al. 2002. Control of water foxtail (*Aleopecurus aequalis* var. *amurensis* Ohwi) and weedy rice (*Oryza sativa* L.) by paraquat and glyphosate in no-tillage dry seeded rice. *Kor. J. Weed Sci.* 22:343-349. (In Korean)
- Lee, I.Y., Lee, H.K., Kim, C.S. and Lee, J. 2012. Special edition of weed and herbicide. *Proc. Kor. Weed Sci. Soc.* 32:65-88. (In Korean)
- Lee, I.Y., Oh, Y.J., Park, J., Hong, S.H., Choi, J.K., et al. 2017. Occurrence characteristics of weed flora in arable fields of Korea. *Weed Turf. Sci.* 6:86-108. (In Korean)
- Pyon, J.Y., Ryu, H.J., Shen, X. and Kwon, K.W. 2005. Evaluation and efficacy of herbicides applied for kudzu (*Pueraria lobata* Ohwi) control in forest. *Kor. J. Weed Sci.* 25:304-309. (In Korean)
- Pyon, J.Y., Shen, X. and Kwon, K.W. 2006. Effects of cutting, mulching and spot application of herbicides to cut stumps on control of kudzu vine in forest. *Kor. J. Weed Sci.* 26:346-352. (In Korean)
- RDA (Rural Development Administration). 1997. Glossary of agriculture. RDA, Suwon, Korea.
- Talcott, P.A. 2013. Miscellaneous herbicides, fungicides, and nematocides. pp. 401-408. In: Peterson, M.E., Talcott, P.A. (Eds.). *Small Animal Toxicology* (Third Edition). W.B. Saunders, Saint Louis, USA.
- Walker, A., Moon, Y.H. and Welch, S.J. 1992. Influence of temperature, soil moisture and soil characteristics on the persistence of alachlor. *Pestic. Sci.* 35:109-116.
- Weaver, M.A., Hoagland, R.E. and Boyette, C.D. 2015. Kudzu response to foliar applied herbicides. *Am. J. Plant Sci.* 6:856-863.

Suppl. Table 1. List of registered ingredients in Republic of Korea (112 agents).

Herbicide group	Mode of action	Chemical group	Ingredient
A	ACCase inhibitor	Aryloxyphenoxy-propionate	cyhalofop-butyl
A	ACCase inhibitor	Aryloxyphenoxy-propionate	fenoxaprop-P-ethyl
A	ACCase inhibitor	Aryloxyphenoxy-propionate	fluzafop-P-butyl
A	ACCase inhibitor	Aryloxyphenoxy-propionate	haloxyfop-R-methyl
A	ACCase inhibitor	Aryloxyphenoxy-propionate	metamifop
A	ACCase inhibitor	Aryloxyphenoxy-propionate	propaquizafop
A	ACCase inhibitor	Cyclohexanedione	clethodim
A	ACCase inhibitor	Cyclohexanedione	sethoxydim
B	ALS inhibitor	Imidazolinone	imazaquin
B	ALS inhibitor	Pyrimidinyl(thio)benzoate	pyribenzoxim
B	ALS inhibitor	Pyrimidinyl(thio)benzoate	pyriftalid
B	ALS inhibitor	Pyrimidinylthioxybenzoate	bispyribac-sodium
B	ALS inhibitor	Pyrimidinylthioxybenzoic acid	pyriminobac-methyl
B	ALS inhibitor	Sulfonanilide	pyrimisulfan
B	ALS inhibitor	Sulfonanilide	triafamone
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	azimsulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	bensulfuron-methyl
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	cyclosulfamuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	flazasulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	flucetosulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	foramsulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	halosulfuron-methyl
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	imazosulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	iodosulfuron-methyl sodium
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	matazosulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	metazosulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	nicosulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	orthosulfamuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	propyrisulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	pyrazosulfuron-ethyl
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	rimsulfuron
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	thifensulfuron-methyl
B	ALS inhibitor	Sulfonylurea	trifloxysulfuron-sodium
B	ALS inhibitor	Triazolopyrimidine	penoxsulam
C1	PSII inhibitor (site A)	Triazine	dimethametryn
C1	PSII inhibitor (site A)	Triazine	simazine
C1	PSII inhibitor (site A)	Triazine	simetryn
C2	PSII inhibitor (site A, different behavior)	Amide	propanil
C2	PSII inhibitor (site A, different behavior)	Amide	pyraclonil
C2	PSII inhibitor (site A, different behavior)	Urea	linuron
C2	PSII inhibitor (site A, different behavior)	Urea	methabenzthiazuron
C3	PSII inhibitor (site B)	Benzothiadiazinone	bentazone
C3	PSII inhibitor (site B)	Benzothiadiazinone	bentazone-sodium
E	PPO inhibitor	Diphenylether	bifenox
E	PPO inhibitor	Diphenylether	oxyfluorfen
E	PPO inhibitor	N-phenylphthalimide	flumioxazin
E	PPO inhibitor	Oxadiazole	oxadiargyl
E	PPO inhibitor	Oxadiazole	oxadiazon
E	PPO inhibitor	Oxylolidine	pentoxazone
E	PPO inhibitor	Phenylpyrazole	pyraflufen-ethyl
E	PPO inhibitor	Pyrimidindione	saflufenacil
E	PPO inhibitor	Pyrimidindione	tiafenacil
E	PPO inhibitor	Thiadiazole	fluthiacet-methyl
E	PPO inhibitor	Triazolinone	carfentrazone-ethyl
E	PPO inhibitor	Triazolinone	fentrazamide
F2	4-HPPD inhibitor	Pyrazole	pyrazolate

Suppl. Table 1. List of registered ingredients in Republic of Korea (112 agents).

Herbicide group	Mode of action	Chemical group	Ingredient
F2	4-HPPD inhibitor	Pyrazole	tolpyralate
F2	4-HPPD inhibitor	Triketone	benzobicyclon
F2	4-HPPD inhibitor	Triketone	fenquino-trione
F2	4-HPPD inhibitor	Triketone	mesotrione
F2	4-HPPD inhibitor	Triketone	tefuryltrione
F3	DOXPS inhibitor	Isoxazolidinone	clomazone
G	EPSPS inhibitor	Glycine	glyphosate ammonium
G	EPSPS inhibitor	Glycine	glyphosate-isopropylamine
G	EPSPS inhibitor	Glycine	glyphosate-potassium
H	GS inhibitor	Phosphinic acid	glufosinate-ammonium
H	GS inhibitor	Phosphinic acid	glufosinate-P
I	DHP inhibitor	Carbamate	asulam sodium
K1	Microtubule assembly inhibitor	Dinitroaniline	benfluralin
K1	Microtubule assembly inhibitor	Dinitroaniline	ethalfluralin
K1	Microtubule assembly inhibitor	Dinitroaniline	oryzalin
K1	Microtubule assembly inhibitor	Dinitroaniline	pendimethalin
K1	Microtubule assembly inhibitor	Dinitroaniline	prodiamine
K1	Microtubule assembly inhibitor	Dinitroaniline	trifluralin
K1	Microtubule assembly inhibitor	Pyridine	dithiopyr
K3	Mitosis inhibitor	Acetamide	napropamide
K3	Mitosis inhibitor	Benzofuran	ethofumesate
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	alachlor
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	butachlor
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	dimethenamid-P
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	metazachlor
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	metolachlor
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	pretilachlor
K3	Mitosis inhibitor	Chloroacetamide	s-metolachlor
K3	Mitosis inhibitor	Isoxazoline	fenoxasulfon
K3	Mitosis inhibitor	Isoxazoline	pyroxasulfone
K3	Mitosis inhibitor	Other (Oxirane)	indanofan
K3	Mitosis inhibitor	Oxyacetamide	mefenacet
K3	Mitosis inhibitor	Triazole	cafenstrole
K3	Mitosis inhibitor	Triazolinone	ipfencarbazone
L	Cell wall synthesis inhibitor	Alkylazine	indaziflam
L	Cell wall synthesis inhibitor	Benzamide	isoxaben
L	Cell wall synthesis inhibitor	Isoxazole	methiozolin
L	Cell wall synthesis inhibitor	Nitrile	dichlobenil
L	Cell wall synthesis inhibitor	Triazolocarboxamide	flupoxam
N	Lipid synthesis inhibitor	benzofuran	benfuresate
N	Lipid synthesis inhibitor	Thiocarbamate	esprocarb
N	Lipid synthesis inhibitor	Thiocarbamate	thiobencarb
O	Synthetic auxin	Aryl picolinic acid	florpyrauxifen-benzyl
O	Synthetic auxin	Benzoic acid	dicamba
O	Synthetic auxin	Phenoxy acetic acid	2,4-D
O	Synthetic auxin	Phenoxy acetic acid	2,4-D ethylester
O	Synthetic auxin	Phenoxy acetic acid	MCPA
O	Synthetic auxin	Phenoxy acetic acid	MCPB
O	Synthetic auxin	Phenoxy acetic acid	mecoprop
O	Synthetic auxin	Phenoxy acetic acid	mecoprop-P
O	Synthetic auxin	Pyridine	fluoxypyr-methyl
O	Synthetic auxin	Pyridine	triclopyr-TEA
Z	Unknown	Amide	bromobutide
Z	Unknown	Oxazinone	oxaziclomefone
Z	Unknown	Phenylurea	daimuron
Z	Unknown	Quinone	quinoclamine

ACCCase: Acetyl CoA carboxylase; ALS: Acetolactate synthase; PSII: Photosystem II; PPO: Protoporphyrinogen IV oxygenase; 4-HPPD: 4-hydroxyphenyl-pyruvate dioxygenase; DOXPS: 1-deoxy-D-xylose 5-phosphate synthase; EPSPS: 5-enol-pyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase; GS: Glutamine synthase; DHP: 7,8-dihydropteroate.