

我国大豆农药产品登记现状及存在问题与展望

杨园园¹ 李凯楠¹ 石伟山² 陈长军¹ 叶文武^{1*} 王源超¹

(1. 南京农业大学植物保护学院, 农业农村部大豆病虫害防控重点实验室, 南京 210095;

2. 江苏艾津作物科技集团有限公司, 南京 211511)

摘要: 病虫害害是大豆 *Glycine max* 生产安全和品质安全的重要威胁, 科学合理地使用农药是减少病虫害发生与危害、提高大豆产量与品质的重要手段。截至2023年12月31日, 我国已登记用于大豆病虫害防控的农药产品共1 529个, 其中除草剂1 366个、杀菌剂74个、杀虫剂(含杀线虫剂)106个和植物生长调节剂19个。该文对我国大豆农药产品研发和应用现状进行整理分析, 发现存在主要防控对象缺乏药剂、现有农药产品同质化严重并有抗药性风险和药害隐患, 以及农药先进剂型与技术应用滞后等问题, 并从补充扩大登记产品种类、发掘新药剂有效成分、增加先进剂型应用、延缓现有药剂抗药性等方面进行了展望, 以期为我国大豆农药产品的研发和应用提供参考。

关键词: 大豆; 农药登记; 杀菌剂; 杀虫剂; 除草剂; 植物生长调节剂

Present situation, existing problems, and prospects of soybean pesticide product registration in China

Yang Yuanyuan¹ Li Kainan¹ Shi Weishan² Chen Changjun¹ Ye Wenwu^{1*} Wang Yuanchao¹

(1. Key Laboratory of Soybean Disease and Pest Control of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu Province, China; 2. Jiangsu Aijin Crop Technology Group Co., Ltd., Nanjing 211511, Jiangsu Province, China)

Abstract: Diseases, pests, and weeds are important threats to soybean production and quality safety. Scientific and rational application of pesticides is an important technical means to reduce the occurrence and harm of these biological disasters, and improve soybean yield and quality. As of December 31, 2023, there have been 1 529 pesticide products registered on soybean in China, including 1 366 herbicides, 74 fungicides, 106 insecticides (including nematocides), and 19 plant growth regulators. This article reviews and analyzes the current situation of the research and application of soybean pesticide products in China, and finds that few pesticides are available for the main pests (prevention and control targets), and the existing pesticide products are severely homogenized and have resistance risks and potential hazards of pesticide damage, and the application of advanced pesticide formulations and technologies is relatively lagging behind. Therefore, prospects, including supplementing and expanding the types of registered pesticide products, exploring new effective ingredients of pesticides, increasing the application of advanced dosage forms, and delaying the resistance of existing pesticides, are provided, with the aim of providing a reference for the research and application of soybean pesticide products in China.

Key words: soybean; pesticide registration; fungicide; insecticide; herbicide; plant growth regulator

大豆 *Glycine max* 是植物蛋白、食用油脂和蛋白 饲料的重要来源, 在我国居民饮食消费和畜禽养殖

中占有重要地位。随着人民生活水平不断提高,我国大豆需求量快速增长,然而2000年至2023年间,国内大豆平均年产量仅1 716万t,进口量则从2000年的1 042万t上升到2020年的10 031万t,翻了近10倍,大豆需求约85%依赖进口(<https://data.stats.gov.cn>)。我国的大豆生产主要集中在东北,总体呈北方多、南方少,北方聚集、南方分散的特点,除了种植面积受限外,最主要的制约因素是单产水平偏低(韩晓增等,2023;胡壮壮等,2023;于文波和李忠孝,2023),其中病虫害频繁发生是制约大豆单产水平提升的一个关键问题。

我国大豆上危害较严重的病虫害有50余种,既有多年常发的根腐病、胞囊线虫病、病毒病、炭疽病、地下害虫、烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* 等,也有近年来新发或日趋严重的症青、锈病、拟茎点种腐(茎枯)病和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 等(叶文武等,2023)。这些病虫害给大豆生产造成的直接经济损失一般为15%~30%,严重田块甚至绝收(李琼和张晓明,2018)。此外,大豆田普遍混生着稗 *Echinochloa crus-galli*、狗尾草 *Setaria viridis*、苍耳 *Xanthium strumarium* 和反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 等数十种单、双子叶杂草,不仅与大豆争夺营养与水分,还增加了农田生态的复杂性,促进了病虫害的传播与危害(许艳丽等,2003;石家兴和陈申宽,2022)。因此,有效预防和控制大豆病虫害的发生与危害,是提高大豆产量和品质的必要保障。

科学合理地使用农药是预防和控制大豆病虫害的重要手段,而准确了解现有农药产品的登记信息是制订农药使用技术方案和研发农药新产品的重要基础。本文旨在统计梳理我国大豆农药产品的登记现状,对大豆农药产品研发和应用中存在的问题进行分析,并从扩大登记产品种类、发掘新药剂有效成分、增加绿色先进剂型应用以及农药产品规范使用等方面进行展望,以期为我国大豆病虫害防控技术与产品的合理布局、研发及科学应用提供参考。

1 大豆农药产品登记现状

截至2023年12月31日,中国农药信息网(<https://www.chinapesticide.org.cn>)上记录登记用于大豆病虫害的、有效期内的农药产品共有1 529个,其中杀菌剂74个,占4.8%;杀虫剂(含杀线虫剂)106个,占6.9%;除草剂1 366个,占89.3%;植物生长调节剂19个,占1.2%。

1.1 杀菌剂的登记情况

登记用于大豆的杀菌剂有74个,涉及16种有效成分。其中,单剂有16个,涉及精甲霜灵、吡唑醚菌酯、咯菌腈、啞菌酯、代森锰锌、噁霉灵、宁南霉素和乙蒜素8种有效成分,其中乙蒜素为植物仿生农药有效成分,宁南霉素为农用抗生素;复配剂有58个,登记数量排在前10位的有效成分组合依次是多·福·克·噁虫·咯·霜灵、精甲·咯菌腈、唑醚·氟环唑、苯醚·咯·噁虫、噁虫·福·萎锈、萎锈·福美双、阿维·多·福、苯甲·丙环唑和苯甲·啞菌酯,占复配剂总数的82.8%(表1)。由于复配剂中不只含有杀菌的有效成分,有35个产品的登记类别为杀虫剂/杀菌剂,另有杀线虫剂/杀菌剂和杀菌剂/植物生长调节剂各1个。复配剂使用的苯醚甲环唑、丙环唑、多菌灵、氟环唑、氟唑环菌胺、福美双、萎锈灵和甲霜灵这8种有效成分,未在大豆上以单剂形式登记。

在防治对象方面,用于防治根腐病的产品最多(61个,占82.4%),还有用于防治叶斑病(7个)、锈病(3个)、炭疽病(1个)、立枯病(1个)和紫斑病(1个)的产品。在剂型方面,以种子处理剂为主,包括悬浮种衣剂(48.6%)、种子处理悬浮剂(21.6%)、悬浮剂(8.1%)、乳油(6.8%)和其他剂型(14.9%)(表1)。在毒性方面,低毒产品有42个,占56.8%;高毒和中毒产品各有14个,均占18.9%;微毒产品4个,占5.4%。高毒产品的有效成分主要是克百威,多·福·克的21个产品中有13个为高毒,8个为中毒。在施用方式方面,以种子处理为主,包括种子包衣、拌种、播前拌种、浸种等方法,涉及产品有63种,占85.1%,主要是多·福·克·精甲·咯菌腈和噁虫·咯·霜灵等;其余是喷雾方式,涉及产品共11种,占14.9%,如吡唑醚菌酯和唑醚·氟环唑等。

登记用于防治大豆根腐病的产品中数量最多的是多·福·克·噁虫·咯·霜灵和精甲·咯菌腈,分别占总数的34.4%、13.1%和11.5%。这几类产品以复配剂为主(86.8%),剂型以悬浮种衣剂为主(59.0%)。与2008年相比(朱春雨等,2010),到2023年防治大豆根腐病的杀菌剂增加了17个,其中新增的有效成分包括苯醚甲环唑、啞菌酯、吡唑醚菌酯、氟唑环菌胺和宁南霉素。杀菌剂产品的有效成分中,精甲霜灵和甲霜灵主要用于防治由疫霉 *Phytophthora* 和腐霉 *Pythium* 等卵菌引起的大豆根腐病,多菌灵、咯菌腈、萎锈灵和氟唑环菌胺等主要用于防治由镰孢菌 *Fusarium* 等真菌引起的大豆根腐病。啞菌酯和苯甲·丙环唑在大豆上登记用于防治锈病;吡唑醚菌

酯、唑醚·氟环唑和丙环·嘧菌酯用于防治叶斑病;吡唑醚菌酯兼具植物保健作用(赵健钦等,2023)。

表1 用于大豆的杀菌剂登记情况
Table 1 Registration of fungicides on soybeans

有效成分或组合 Effective ingredient or combination	总数 Total	有效成分含量及剂型(数量) Content and dosage form of active ingredient (quantity)	防治病害 Targeted disease
多·福·克 Carbendazim·thiram·carbofuran	21	35% FSC (7); 30% FSC (7); 25% FSC (3); 28% FSC (1); 26% FSC (1); 38% SCA (1); 25% SCA (1)	根腐病 Root rot
精甲·咯菌腈 Metalaxyl-M·fludioxonil	9	62.5 g/L FSC (4); 63 g/L FS (5)	根腐病 Root rot
噻虫·咯·霜灵 Thiamethoxam·fludioxonil·metalaxyl-M	8	25% FS (5); 25% FSC (2); 29% FSC (1)	根腐病 Root rot
精甲霜灵 Metalaxyl-M	4	350 g/L ES (4)	根腐病 Root rot
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	3	250 g/L EC (3)	叶斑病 Leaf spot
咯菌腈 Fludioxonil	3	25 g/L FSC (2); 25 g/L FS (1)	根腐病 Root rot
唑醚·氟环唑 Pyraclostrobin·epoxiconazole	3	17% SC (3)	叶斑病 Leaf spot
苯醚·咯·噻虫 Difenoconazole·fludioxonil·thiamethoxam	2	22% FSC (1); 22% FS (1)	根腐病 Root rot
嘧菌酯 Azoxystrobin	2	250 g/L SC (2)	锈病 Rust
噻虫·福·萎锈 Thiamethoxam·thiram·carboxin	2	12% FS (1); 35% FSC (1)	根腐病 Root rot
萎锈·福美双 Carboxin·thiram	2	400 g/L SC (2)	根腐病 Root rot
阿维·多·福 Abamectin·carbendazim·thiram	1	35.6% FSC (1)	根腐病 Root rot
苯甲·丙环唑 Difenoconazole·propiconazol	1	300 g/L EC (1)	锈病 Rust
苯甲·嘧菌酯 Difenoconazole·azoxystrobin	1	1% FS (1)	根腐病 Root rot
吡唑醚·精甲霜·甲维 Pyraclostrobin·metalaxyl-M·abamectin-aminomethyl	1	2.9% FS (1)	根腐病 Root rot
丙环·嘧菌酯 Propiconazol·azoxystrobin	1	18.7% SE (1)	叶斑病 Leaf spot
代森锰锌 Mancozeb	1	75% WG (1)	炭疽病 Anthracnose
丁硫·福美双 Carbosulfan·thiram	1	25% FSC (1)	根腐病 Root rot
多·福·毒死蜱 Carbendazim·thiram·chlorpyrifos	1	38% FSC (1)	根腐病 Root rot
多·福·甲维盐 Carbendazim·thiram·emamectin benzoate	1	20.5% FSC (1)	根腐病 Root rot
噁霉灵 Hymexazol	1	70% DS (1)	立枯病 <i>Rhizoctonia</i> root rot
氟环·咯·精甲 Sedaxane·fludioxonil·metalaxyl-M	1	11% FS (1)	根腐病 Root rot
福·克 Thiram·carbofuran	1	30% FSC (1)	根腐病 Root rot
甲霜·多菌灵 Metalaxyl·carbendazim	1	13% FSC (1)	根腐病 Root rot
宁南霉素 Ningnanmycin	1	2% AS (1)	根腐病 Root rot
乙蒜素 Ethylicin	1	80% EC (1)	紫斑病 Purple seed stain

FSC: 悬浮种衣剂; SCA: 种衣剂; FS: 种子处理悬浮剂; ES: 种子处理乳剂; EC: 乳油; SC: 悬浮剂; SE: 悬乳剂; WG: 水分散粒剂; DS: 种子处理干粉剂; AS: 水剂。FSC: Flowable concentrate for seed coating; SCA: seed coating agent; FS: flowable concentrate for seed treatment; ES: emulsion for seed treatment; EC: emulsifiable concentrate; SC: aqueous suspension concentrate; SE: aqueous suspo-emulsion; WG: water dispersible granule; DS: powder for dry seed treatment; AS: aqueous solution.

1.2 杀虫剂的登记情况

登记用于大豆的杀虫剂(含杀线虫剂)有106个,涉及27种有效成分。其中,单剂有39个,涉及苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis*、高效氯氟氰菊酯、

敌百虫、溴氰菊酯、毒死蜱、噻虫嗪、S-氰戊菊酯、倍硫磷、哒嗪硫磷、克百威、氯虫苯甲酰胺、马拉硫磷、氰戊菊酯和亚胺硫磷14种有效成分,其中只有苏云金芽胞杆菌属于生物农药有效成分;复配剂有67个,

登记数量排在前10位的有效成分组合依次是多·福·克·噻虫·咯·霜灵、甲氰·氧乐果·高氯·辛硫磷、苯醚·咯·噻虫、甲维·毒死蜱·氯虫·高氯氟·氯氰·毒死蜱·氰戊·氧乐果·噻虫·高氯氟和噻虫·福·萎锈,占复配剂总数的82.1%(表2)。复配剂中有36个产品不止含有杀虫的有效成分,其中35个登记类别为杀虫剂/杀菌剂,另有1个登记类别为杀线虫剂/杀菌剂。复配剂中使用的吡虫啉、丁硫克百威、高效氯氟氰菊酯、阿维菌素、甲氨基阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、甲氰菊酯、氯氰菊酯、灭多威、杀虫双、辛硫磷和氧乐果这12种有效成分,未在大豆上以单剂形式登记,其中阿维菌素、甲氨基阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐属于生物农药有效成分。

在防治对象方面,包括蚜虫(32个)、大豆食心虫(30个)、地下害虫(16个)、造桥虫(9个)、线虫(8个,其中胞囊线虫7个)、天蛾(8个)、甜菜夜蛾(7个)、蛴螬(5个)、金针虫(4个)、蓟马(3个)、地老虎(2个)、蝼蛄(2个)、美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae*(1个)、小

地老虎 *Agrotis ipsilon*(1个)和豆荚螟 *Etiella zinckenella*(1个)等15种害虫(或线虫)。在剂型方面,占比较大的是乳油产品(34.9%)和悬浮种衣剂产品(31.1%),其次是种子处理悬浮剂(8.5%)、可湿性粉剂(8.5%)、原药(6.6%)、微囊悬浮-悬浮剂(3.8%)和其他剂型产品(6.6%)。在毒性方面,微毒、低毒、中毒和高毒产品分别有1、44、36和25个,分别占总数的0.9%、41.5%、34.0%和23.6%(表2)。这些产品的有效成分中,原药为高毒的主要是克百威和氧乐果,原药为中毒的有丁硫克百威、甲氰菊酯、高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、毒死蜱、氰戊菊酯、倍硫磷和亚胺硫磷等。在施用方式方面,以喷雾方式为主,涉及60种产品,占56.6%,如甲氰·氧乐果、苏云金芽胞杆菌、高效氯氟氰菊酯等;其次是种子处理,涉及44种产品,占41.5%,如多·福·克·噻虫·咯·霜灵等;而沟施产品最少,仅涉及2种产品,占1.9%,分别为毒死蜱和苏云金芽胞杆菌 HAN055。

表2 用于大豆的杀虫剂登记情况

Table 2 Registration of insecticides on soybeans

有效成分或组合 Effective ingredient or combination	总数 Total	有效成分含量及剂型(数量) Content and dosage form of active ingredient (quantity)	防治害虫或线虫 Targeted pest or nematode
多·福·克 Carbendazim·thiram·carbofuran	22	35% FSC (8); 30% FSC (7); 25% FSC (2); 28% FSC (1); 26% FSC (1); 20% FSC (1); 38% SCA (1); 25% SCA (1)	地下害虫、蚜虫、蓟马、孢囊线虫 Subterranean pest, aphid, thrips, cyst nematode
苏云金芽胞杆菌 <i>Bacillus thuringiensis</i>	9	16 000 IU/mg WP (7); 8 000 IU/mg WP (1); 4 000 IU/mg FSC (1)	天蛾、孢囊线虫 Sphingidae, cyst nematode
噻虫·咯·霜灵 Thiamethoxam·fludioxonil·metalaxyl-M	8	25% FS (5); 25% FSC (2); 29% FSC (1)	蚜虫 Aphid
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	7	25 g/L EC (5); 25 g/L ME (1); 2.5% EW (1)	大豆食心虫 <i>Leguminivora glycinivorella</i>
甲氰·氧乐果 Fenpropathrin·omethoate	7	30% EC (5); 20% EC (1); 15% EC (1)	大豆食心虫、蚜虫 <i>L. glycinivorella</i> , aphid
敌百虫 Trichlorfon	6	97% TC (2); 90% TC (2); 97%, 90%, 87% TC (1); 97%, 90% TC (1)	造桥虫 Cankerworm
高氯·辛硫磷 Beta-cypermethrin·phoxim	4	20% EC (4)	甜菜夜蛾 <i>Spodoptera exigua</i>
溴氰菊酯 Deltamethrin	3	25 g/L EC (3)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
苯醚·咯·噻虫 Difenoconazole·fludioxonil·thiamethoxam	2	22% FSC (1); 22% FS (1)	蚜虫 Aphid
毒死蜱 Chlorpyrifos	2	0.5% GR (1); 40% EC (1)	大豆食心虫、蛴螬 <i>L. glycinivorella</i> , scarabaeoids
甲维·毒死蜱 Emamectin benzoate·chlorpyrifos	2	10% EC (2)	甜菜夜蛾 <i>S. exigua</i>
氯虫·高氯氟 Chlorantraniliprole·lambda-cyhalothrin	2	14% ZC (2)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
氯氰·毒死蜱 Cypermethrin·chlorpyrifos	2	50% EC (1); 522.5 g/L EC (1)	蚜虫、大豆食心虫 Aphid, <i>L. glycinivorella</i>
氰戊·氧乐果 Fenvalerate·omethoate	2	30% EC (2)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
噻虫·福·萎锈 Thiamethoxam·thiram·carboxin	2	35% FSC (1); 12% FS (1)	蚜虫 Aphid

续表2 Continued

有效成分或组合 Effective ingredient or combination	总数 Total	有效成分含量及剂型(数量) Content and dosage form of active ingredient (quantity)	防治害虫或线虫 Targeted pest or nematode
噻虫·高氯氟 Thiamethoxam·lambda-cyhalothrin	2	22% ZC (2)	蚜虫、造桥虫 Aphid, cankerworm
噻虫嗪 Thiamethoxam	2	30% FS (1); 48% FSC (1)	蚜虫 Aphid
S-氰戊菊酯 Esfenvalerate	1	50 g/L EC (1)	蚜虫、大豆食心虫 Aphid, <i>L. glycinivorella</i>
阿维·毒死蜱 Abamectin·chlorpyrifos	1	10% EC (1)	甜菜夜蛾 <i>S. exigua</i>
倍硫磷 Fenthion	1	50% EC (1)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
吡唑酯·精甲霜·甲维 Pyraclostrobin·metalaxyl-M·abamectin-aminomethyl	1	2.9% FS (1)	孢囊线虫 Cyst nematode
哒嗪硫磷 Pyridaphenthione	1	20% EC (1)	蚜虫 Aphid
敌百虫原粉 Trichlorfon	1	TC (1)	造桥虫 Cankerworm
丁硫·福美双 Carbosulfan·thiram	1	25% FSC (1)	地下害虫 Subterranean pest
多·福·毒死蜱 Carbendazim·thiram·chlorpyrifos	1	38% FSC (1)	地下害虫 Subterranean pest
多·福·甲维盐 Carbendazim·thiram·emamectin benzoate	1	20.5% FSC (1)	孢囊线虫 Cyst nematode
福·克 Thiram·carbofuran	1	30% FSC (1)	地下害虫 Subterranean pest
高氯·吡虫啉 Beta-cypermethrin·imidacloprid	1	4% EC (1)	蚜虫 Aphid
克百威 Carbofuran	1	9% FSC (1)	地下害虫 Subterranean pest
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	1	200 g/L SC (1)	豆荚螟(菜用大豆) <i>Etiella zinckenella</i> (vegetable soybean)
氯氰·辛硫磷 Cypermethrin·phoxim	1	20% EC (1)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
氯氰·氧乐果 Cypermethrin·omethoate	1	21.5% EC (1)	蚜虫、大豆食心虫 Aphid, <i>L. glycinivorella</i>
马拉硫磷 Malathion	1	45% EC (1)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
氰戊·马拉松 Fenvalerate·malathion	1	21% EC (1)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
氰戊菊酯 Fenvalerate	1	20% EC (1)	蚜虫、豆荚螟、大豆食心虫 Aphid, <i>Etiella zinckenella</i> , <i>L. glycinivorella</i>
杀双·灭多威 Bisultap·methomyl	1	23% SL (1)	美洲斑潜蝇 <i>Liriomyza sativae</i>
苏云金芽胞杆菌 HAN055 <i>Bacillus thuringiensis</i> HAN055	1	200 亿 CFU/g WP (1)	孢囊线虫、美洲斑潜蝇 Cyst nematode, <i>Liriomyza sativae</i>
亚胺硫磷 Phosmet	1	20% EC (1)	大豆食心虫 <i>L. glycinivorella</i>
阿维·多·福 Abamectin·carbendazim·thiram	1	35.6% FSC (1)	孢囊线虫 Cyst nematode

FSC: 悬浮种衣剂; SCA: 种衣剂; WP: 可湿性粉剂; FS: 种子处理悬浮剂; EC: 乳油; ME: 微乳剂; EW: 水乳剂; TC: 原药; GR: 颗粒剂; ZC: 微囊悬浮-悬浮剂; SC: 悬浮剂; SL: 可溶液剂。FSC: Flowable concentrate for seed coating; SCA: seed coating agent; WP: wettable powder; FS: flowable concentrate for seed treatment; EC: emulsifiable concentrate; ME: micro-emulsion; EW: emulsion oil in water; TC: technical materia; GR: granule; ZC: mixed formulations of CS and SC; SC: aqueous suspension concentrate; SL: soluble concentrate.

1.3 除草剂的登记情况

登记用于大豆的除草剂有 1 366 个, 涉及 53 种有效成分。其中, 单剂有 1 101 个, 占 80.6%, 登记数量排在前 10 位的有效成分是精喹禾灵、氟磺胺草醚、乙草胺、烯草酮、高效氟吡甲禾灵、灭草松、异噁草松、咪唑乙烟酸、乙羧氟草醚和噻吩磺隆, 占单剂总数的 77.1%; 复配剂有 265 个, 登记数量排在前 10 位

的有效成分组合依次是松·啞·氟磺胺、精喹·氟磺胺、氟醚·灭草松、乙·啞·滴辛酯、啞酮·乙草胺、氟·松·烯草酮、氟胺·烯禾啞、异松·乙草胺、灭·啞·氟磺胺和扑·乙, 占复配剂总数的 58.9% (表 3)。复配剂中有 1 个产品登记类别为除草剂/植物生长调节剂。复配剂中使用的西草净、2 甲 4 氯异辛酯、精噁啞禾草灵、啞啞磺草胺、甲草胺、甲氧咪草烟、灭草松钠

盐、氯酯磺草胺、氟吡甲禾灵、噁草酸、双氯磺草胺和噻草酸甲酯这12种有效成分,未在大豆上以单剂形式登记。

在防治对象方面,针对一年生禾本科杂草、一年生杂草和一年生阔叶杂草的产品分别有468、403和338个,占总数的34.3%、29.5%和24.7%。在剂型方面,乳油产品的数量最多(885个,64.8%),其次是水剂(229个,16.8%)、微乳剂(60个,4.4%)、可湿性粉剂(54个,3.9%)、水分散粒剂(49个,3.6%)和其他剂

型(89个,6.5%)产品。在毒性方面,绝大多数大豆除草剂为低毒产品(1332个,97.5%),微毒产品和中毒产品分别有33个和1个。在施用方式方面,以茎叶喷雾方式最多(59.7%),此外是土壤喷雾(19.0%)、播后苗前土壤喷雾(8.9%)、喷雾(8.6%)和其他施用方式(3.7%);以茎叶喷雾方式施用的药剂主要有精喹禾灵、氟磺胺草醚和高效氟吡甲禾灵等,以土壤喷雾方式施用的药剂主要有乙草胺、噻吩磺隆和异噁草松等。

表3 大豆上登记数量排在前10位的除草剂单剂与复配剂情况

Table 3 The top ten herbicide single agent and mixture registered on soybeans

有效成分或组合 Effective ingredient or combination	总数 Total	有效成分含量及剂型(数量) Content and dosage form of active ingredient (quantity)	防治杂草 Targeted weed
精喹禾灵 Quizalofop-P-ethyl	210	15% SC (3); 20% SC (2); 60% WG (1); 5% ME (2); 8% ME (3); 15% ME (1); 10.8% EW (5); 5% EW (2); 5% EC (78); 8.8% EC (17); 10% EC (67); 15% EC (14); 20% EC (8); 15.8% EC (1); 50 g/L EC (6)	一年生禾本科杂草、一年生杂草、禾本科杂草 Annual gramineous weeds, annual weeds, grassy weeds
氟磺胺草醚 Fomesafen	146	250 g/L AS (84); 25% AS (19); 42% AS (2); 16.8% AS (1); 48% AS (1); 280 g/L AS (1); 20% EC (12); 12.8% EC (2); 10% EC (1); 12.8% ME (7); 20% ME (5); 30% ME (2); 250 g/L SL (4); 25% SL (1); 48% SL (1); 75% WG (2); 90% SP (1)	一年生阔叶杂草、一年生杂草、阔叶杂草 Annual broadleaf weeds, annual weeds, broadleaf weeds
乙草胺 Acetochlor	115	900 g/L EC (35); 50% EC (31); 81.5% EC (23); 89% EC (11); 990 g/L EC (4); 90.5% EC (1); 40% EW (5); 48.5% EW (1); 900 g/L EW (1); 50% ME (2); 25% CS (1)	一年生杂草、一年生禾本科杂草及部分小粒种子阔叶杂草、部分阔叶杂草 Annual weeds, annual gramineous weeds and some small seed broadleaf weeds, part of broadleaf weeds
烯草酮 Clethodim	83	240 g/L EC (43); 120 g/L EC (20); 24% EC (11); 35% EC (4); 30% EC (3); 12% EC (1); 13% EC (1)	一年生禾本科杂草、禾本科杂草 Annual gramineous weeds, grassy weed
高效氟吡甲禾灵 Haloxypop-P-methyl	81	108 g/L EC (70); 10.8% EC (4); 22% EC (2); 48% EC (1); 158 g/L EC (1); 28% ME (2); 108 g/L EW (1)	一年生禾本科杂草、禾本科杂草、芦苇 Annual gramineous weeds, grassy weed, <i>Phragmites australis</i>
灭草松 Bentazone	54	480 g/L AS (34); 25% AS (5); 48% AS (3); 560 g/L AS (2); 40% AS (1); 480 g/L SL (6); 48% SL (1); 480 g/L LS (1); 80% SP (1)	一年生阔叶杂草、莎草科杂草、阔叶杂草、一年生杂草 Annual broadleaf weeds, Cyperaceae weeds, broadleaf weeds, annual weeds
松·喹·氟磺胺 Clomazone·quizalofop-P-ethyl·fomesafen	48	35% EC (21); 18% EC (14); 45% EC (6); 36% EC (2); 22% EC (1); 21% EC (1); 15% ME (1); 35% ME (1); 13.6% ME (1)	一年生杂草 Annual weeds
异噁草松 Clomazone	46	480 g/L EC (32); 48% EC (9); 360 g/L EC (3); 45% EC (1); 360 g/L CS (1)	一年生杂草、一年生禾本科杂草、部分阔叶杂草 Annual weeds, annual gramineous weeds, part of broadleaf weeds
咪唑乙烟酸 Imazethapyr	45	5% AS (16); 10% AS (12); 15% AS (5); 20% AS (2); 50 g/L AS (2); 16% AS (1); 100 g/L AS (1); 70% WP (2); 70% WG (2); 70% SP (1); 5% ME (1)	一年生杂草 Annual weeds
乙羧氟草醚 Fluoroglycofen-ethyl	38	10% EC (22); 20% EC (11); 15% EC (2); 10% ME (3)	一年生阔叶杂草、阔叶杂草 Annual broadleaf weeds, broadleaf weeds
噻吩磺隆 Thifensulfuron-methyl	33	75% WG (17); 15% WP (7); 25% WP (4); 20% WP (2); 75% WP (1); 70% WP (1); 75% DF (1)	一年生阔叶杂草、多年生阔叶杂草、一年生杂草 Annual broadleaf weeds, perennial broadleaf weed, annual weeds

续表3 Continued

有效成分或组合 Effective ingredient or combination	总数 Total	有效成分含量及剂型(数量) Content and dosage form of active ingredient (quantity)	防治杂草 Targeted weed
精喹·氟磺胺 Quizalofop-P-ethyl· fomesafen	22	15% EC (4); 21% EC (2); 16% EC (1); 20% EC (1); 22% EC (1); 24% EC (1); 30% EC (1); 33.6% EC (1); 15% ME (8); 17% ME (1); 20% ME (1)	一年生杂草、一年生禾本科杂草及部分阔叶杂草 Annual weeds; annual gramineous weeds and some broadleaf weeds
氟醚·灭草松 Acifluorfen-bentazone	13	440 g/L AS (5); 40% AS (2); 47% AS (1); 55% SL (3); 440 g/L SL (2)	一年生阔叶杂草、阔叶杂草 Annual broadleaf weeds, broadleaf weeds
乙·嗪·滴辛酯 Acetochlor-metribuzin· 2,4-D-ethylhexyl	12	82% EC (10); 62% EC (2)	一年生杂草 Annual weeds
氟·松·烯草酮 Fomesafen-clomazone· clethodim	11	37% OD (6); 32% EC (3); 39% EC (1); 22% EC (1)	一年生杂草、一年生禾本科杂草及阔叶杂草 Annual weeds, annual gramineous and broadleaf weeds
嗪酮·乙草胺 Metribuzin-acetochlor	11	50% EC (4); 75% EC (2); 68.6% EC (1); 45% EC (1); 56% EC (1); 28% WP (2)	一年生杂草、一年生禾本科杂草及阔叶杂草 Annual weeds, annual gramineous and broadleaf weeds
氟胺·烯禾啉 Fomesafen-sethoxydim	10	20.8% EC (6); 32% EC (1); 31.5% EC (1); 22.5% EC (1); 20.8% ME (1)	一年生杂草 Annual weeds
灭·嗪·氟磺胺 Bentazone-quizalofop- P-ethyl-fomesafen	10	38% ME (3); 25% ME (1); 42% ME (1); 21% ME (1); 24% EC (3); 30% EC (1)	一年生杂草 Annual weeds
异松·乙草胺 Clomazone-acetochlor	10	45% EC (2); 58% EC (2); 80% EC (2); 81% EC (1); 50% EC (1); 67% EC (1); 35% WP (1)	一年生杂草、一年生禾本科杂草及阔叶杂草 Annual weeds, annual gramineous and broadleaf weeds
扑·乙 Prometryn-acetochlor	9	40% EC (6); 25% EC (1); 45% EC (1); 40% WP (1)	一年生杂草 Annual weeds
噻磺·乙草胺 Thifensulfuron-methyl· acetochlor	8	20% WP (4); 39% WP (1); 50% EC (2); 43.6% EC (1)	一年生杂草 Annual weeds
氟胺·灭草松 Fomesafen-bentazone	7	447 g/L AS (3); 44.7% AS (1); 54% AS (1); 50% AS (1); 30% AS (1)	一年生阔叶杂草及莎草科杂草 Annual broadleaf and Cyperaceae weeds
吡·噁·氟磺胺 Haloxypop-P-methyl· clomazone-fomesafen	5	35% OD (2); 36% ME (2); 37% EC (1)	一年生杂草 Annual weeds
咪乙·异噁松 Imazethapyr-clomazone	5	40% EC (1); 30% EC (1); 36% EC (1); 405 g/L EC (1); 20% ME (1)	一年生杂草 Annual weeds

SC: 悬浮剂; WG: 水分散粒剂; ME: 微乳剂; EW: 水乳剂; EC: 乳油; AS: 水剂; SL: 可溶液剂; SP: 可溶粉剂; CS: 微囊悬浮剂; LS: 液剂; WP: 可湿性粉剂; DF: 干悬浮剂; OD: 可分散油悬浮剂。SC: Aqueous suspension concentrate; WG: water dispersible granule; ME: micro-emulsion; EW: emulsion oil in water; EC: emulsifiable concentrate; AS: aqueous solution; SL: soluble concentrate; SP: water soluble powder; CS: aqueous capsule suspension; LS: liquid solution; WP: wettable powder; DF: dry flowable; OD: oil-based suspension concentrate (oil dispersion).

1.4 植物生长调节剂的登记情况

登记用于大豆的植物生长调节剂有19个,其中单剂9个,复配剂10个(乙·嗪·滴辛酯和萎锈·福美双分别还登记为除草剂和杀菌剂),共涉及20种有效成分。除了多唑·甲哌鎗、硝钠·萘乙酸和芸苔素内酯各有2个登记产品之外,其他有效成分或组合均只有1个登记产品(表4)。

在剂型方面,水剂产品的数量最多(6个,31.6%),其次是可湿性粉剂(4个,21.1%)、可溶液剂(3个,15.8%)和乳油产品(2个,10.5%),微乳剂、悬浮种衣剂、悬浮剂和可溶粉剂产品各1个(表4)。在毒性方面,所有产品均为低毒(17个,89.5%)或微毒(2个,10.5%)。在施用方式方面,主要是喷雾方式(18个,94.7%),其次是种子包衣方式,仅涉及1个产品。

表4 用于大豆的植物生长调节剂登记情况

Table 4 Registration of plant growth regulator on soybeans

有效成分或组合 Effective ingredients or combination	总数 Total	有效成分含量及剂型(数量) Content and dosage form of active ingredient (quantity)	主要用途 Main application
多唑·甲哌鎗 Pacllobutrazol·mepiquat chloride	2	10% WP (2)	调节生长 Regulate growth
硝钠·萘乙酸 Sodium para-nitrophenolate·sodium ortho-nitrophenol·sodium 2,4-dinitrophenolate· α -sodium 1-naphthal acitic acid	2	2.85% AS (2)	调节生长 Regulate growth
芸苔素内酯 Brassinolide	2	0.15% EC (1); 0.01% SL (1)	调节生长、增产 Regulate growth, increase the production
24-表芸·三表芸 24-epibrassinolide	1	0.01% SL (1)	调节生长 Regulate growth
28-表高芸苔素内酯 28-epihomobrassinolide	1	0.001 6% AS (1)	调节生长 Regulate growth
胺鲜·甲哌鎗 Diethyl aminoethyl hexanoate·mepiquat chloride	1	27.5% AS (1)	调节生长 Regulate growth
苯胺胺酸 N-phenyl-phthalamic acid	1	20% SL (1)	调节生长 Regulate growth
二氢卟吩铁 Iron chlorin e6	1	0.02% SP (1)	调节生长 Regulate growth
几丁聚糖 Chltozan	1	0.5% FSC (1)	调节生长 Regulate growth
羟烯腺嘌呤 Oxyenadenine	1	0.000 1% WP (1)	调节生长 Regulate growth
三十烷醇 Triacontanol	1	0.1% ME (1)	调节生长 Regulate growth
萎锈·福美双 Carboxin·thiram	1	400 g/L SC (1)	调节生长 Regulate growth
烯腺·羟烯腺 Enadenine·oxyenadenine	1	0.000 2% AS (1)	调节生长、增产 Regulate growth, increase the production
乙·噻·滴辛酯 Acetochlor·metribuzin·2,4-D-ethylhexyl	1	82% EC (1)	调节生长 Regulate growth
吡啶丁酸 4-indol-3-ylbutyric acid	1	1.2% AS (1)	调节生长 Regulate growth

WP: 可湿性粉剂; AS: 水剂; EC: 乳油; SL: 可溶液剂; SP: 可溶粉剂; FSC: 悬浮种衣剂; ME: 微乳剂; SC: 悬浮剂。
WP: Wettable powder; AS: aqueous solution; EC: emulsifiable concentrate; SL: soluble concentrate; SP: water soluble powder; FSC: flowable concentrate for seed coating; ME: micro-emulsion; SC: aqueous suspension concentrate.

2 存在问题

2.1 主要防控对象缺乏登记药剂

登记用于大豆的农药产品总体数量不足,仅为登记用于水稻 *Oryza sativa* 的农药产品数量(近万种)的15%,且针对不同防治对象的药剂数量明显不均衡,近90%是除草剂,杀虫剂和杀菌剂分别仅为登记用于水稻的杀虫剂和杀菌剂的2%和3%。大豆上许多常发的重要病虫害目前尚没有适用的登记药剂,如菌核病、霜霉病、白粉病、细菌性斑点(斑疹)病、病毒病、茎枯病、烟粉虱、红蜘蛛、螨(如点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris*、筛豆龟蝽 *Megacopta cribraria*、稻绿蝽 *Nezara viridula*)、叶甲、豆秆黑潜蝇 *Melanagromyza sojae*、大豆高隆象甲 *Ergania doriae yunnanus* 和蜗牛等;而对于有登记药剂的防治对象,其登记药剂的数量仍普遍偏少,防治锈病的药剂只有3个,防治炭疽病、紫斑病、豆荚螟、美洲斑潜蝇和菟丝子 *Cuscuta chinensis* 等的药剂均只有1个。

2.2 现有药剂产品老化和同质化严重

登记用于大豆的农药产品中,尤其是杀菌剂和杀虫剂普遍存在有效成分种类少,产品更新慢、老化和同质化严重等问题。例如,防治大豆根腐病的61个登记产品中,有效成分含多菌灵的有29个,其中25个为多·福·克,与精甲霜灵和咯菌腈相关的登记产品有21个,2008年以来新登记的17个产品中,只新增了5种有效成分。此外,毒性较高的有效成分或产品占比仍然较高。例如,106个杀虫剂产品中,中毒和高毒杀虫剂产品共占57.6%;由于克百威是高毒的有效成分,多·福·克的21个产品中有13个为高毒,8个为中毒。

2.3 农药先进剂型与技术应用滞后

登记用于大豆的农药产品剂型以乳油最多(60.4%),乳油、水剂和可湿性粉剂等传统剂型累计占比超过80%。可分散油悬浮剂、微囊悬浮剂、微囊悬浮-悬浮剂等属于稳定性强、持效期长、绿色环保的先进剂型(胡帅等,2023),但登记用于大豆的农药

产品仍然很少,分别只有14、6和5个,主要涉及除草剂和杀虫剂。纳米农药具有颗粒小、分散程度好等优点(曹立冬等,2023;唐跃明等,2024),能够提高农药利用率,减少有效成分施用量,符合农业可持续发展的要求(张文博等,2023),但尚无登记用于大豆的此类农药。种子包衣是我国大豆上正在推广普及的一种简单高效、绿色节本的防控技术,对于根腐病等土传种传病害及蚜虫等苗期害虫的防治至关重要,但传统剂型的持效期一般在1个月左右,有待研发缓释、持效的新剂型及应用技术,推动大豆种子处理技术进一步提升。

2.4 现有药剂产品存在抗药性风险

我国已报道大豆田出现多种抗药性杂草,其中稗对精喹禾灵和精噁唑禾灵、铁苋菜 *Acalypha australis* 对氟磺胺草醚、反枝苋对氟磺胺草醚和咪唑乙烟酸均存在抗性(Huan et al., 2013; 李涛等, 2009; Huang et al., 2016)。多菌灵登记用于防治镰孢菌引起的大豆根腐病,在小麦 *Triticum aestivum* 等其他作物上已报道镰孢菌对其产生抗性(吴小美等,2023);目前全球大豆生产中普遍使用含精甲霜灵的种衣剂防治疫霉等卵菌引起的大豆根腐病,但在马铃薯 *Solanum tuberosum*、辣椒 *Capsicum annuum* 等作物上,同样是卵菌的晚疫病菌 *Phytophthora infestans* 和辣椒疫病菌 *Phytophthora capsici* 等已经对精甲霜灵产生了抗性;在美洲国家,由于长期使用和作用方式单一,大豆锈病菌对啞菌酯和吡唑醚菌酯等杀菌剂均产生了抗性(Klosowski et al., 2016; Simões et al., 2018; 高静和周明国,2022)。大豆蚜 *Aphis glycines* 属于孤雌生殖,世代周期短,防治药剂单一,已对有机磷类、拟除虫菊酯类(Xi et al., 2015; 毕锐,2016)、新烟碱类(杨帅,2012)和氨基甲酸酯类杀虫剂均产生了抗性(王芊等,2011)。

2.5 药剂使用存在残留及药害隐患

由于抗药性等问题,生产中经常存在过量使用农药的现象,进而造成农药残留超标,给环境生态和食品安全带来严重隐患(杨怡中等,2024),尤其是除草剂的过量使用及残留容易对大豆及下茬作物造成药害。咪唑乙烟酸为长残留性除草剂,对后茬水稻和玉米 *Zea mays* 等敏感作物容易造成减产(苏少泉,2011)。氟磺胺草醚半衰期较长,施药不均匀或剂量加倍时易对大豆、玉米和甜菜 *Beta vulgaris* 等后茬敏感作物产生药害(卢向阳和徐筠,2006;胡凡等,2014)。异噁草松对周围的小麦等敏感作物易产

生飘移药害,且残效期长,易对后茬的小麦、大麦 *Hordeum vulgare* 以及谷子 *Setaria italica* 等敏感作物产生药害(黄春艳,2009;黄春艳等,2022)。

3 展望

农药在防控农作物病虫害、保障农作物生产与品质安全等方面发挥着不可替代的作用,未来我国大豆农药产品的研发与应用急需从补充扩大登记产品种类、发掘新药剂有效成分、增加先进剂型应用和延缓现有药剂抗药性等方面发展,以解决当前存在的问题。

在研发方面,需要加快新有效成分和农药产品的登记与应用。登记用于大豆根腐病的现有防治药剂中,作用于疫霉和腐霉等卵菌的有效成分主要是精甲霜灵(或甲霜灵),种类单一,一旦产生抗药性,将面临无药可施的境地;大豆上尚缺少登记药剂的重要病虫害包括霜霉病、菌核病、病毒病、细菌性叶部病害、点蜂缘蝽和烟粉虱等,也急需登记药剂产品。此外,农药产品的研发需要继续向低毒化、绿色化方向发展。农业农村部2023年12月发布了第736号公告,决定禁用氧乐果、克百威、灭多威、涕灭威4种高毒农药,自2024年6月1日起,撤销制剂产品的登记,禁止生产;自2026年6月1日起,禁止销售和使用。该公告执行后将有效减少大豆杀菌剂和杀虫剂中高毒农药的占比。除了有效成分的低毒化之外,剂型的低毒化也非常关键。目前大豆农药产品的剂型以乳油占比较大,由于使用大量有机溶剂为介质,对环境和人类健康存在风险,因此有待加强稳定性强、持效期长、绿色环保的先进剂型(如可分散油悬浮剂、微囊悬浮剂和微囊悬浮-悬浮剂等)的研发。同时,苏云金芽胞杆菌、宁南霉素等生物农药产品的研发与应用也将促进大豆植保的绿色可持续发展。

在应用方面,须注意规范使用药剂,按照合理用量,在适宜的用药时期采用正确的施药方式进行防治,如防治蚜虫应在始盛期用药;防治杂草优先进行播后苗前土壤封闭处理,苗后除草在出苗期和幼苗期进行防治;根腐病和地下害虫主要采用种子包衣技术进行防控等。对于已经产生抗药性或抗药性风险较高的有效成分,注意不同作用机理的药剂轮换使用,以延缓抗药性的发展。在蚜虫的抗药性治理中,还可以使用增效剂来抑制蚜虫的解毒机制,促进杀虫剂发挥作用(汤秋玲等,2016)。在使用除草剂

时,不可随意增加药量,尤其是氟磺胺草醚、咪唑乙烟酸和异噁草松等残留期较长的除草剂,且在施药后下一茬应避免种植敏感作物。在大豆-玉米复合种植田,除草剂的选用需要因地制宜,对于易产生飘移药害的除草剂,采用物理隔断方式对大豆与玉米区别施药。

近年来,由于农田复种指数高、重茬连作普遍,加上气候条件变化、种植模式变革、品种更新与布局、农药不合理使用和外来生物入侵等多重因素的影响,我国大豆生产中病虫害草害频发,并伴随着重大病虫害蔓延加重或再猖獗、次要病虫害上升为主要病虫害等新问题。本研究系统分析了我国大豆现有农药产品的登记信息,以期为制订大豆病虫害防控技术方案和研发农药新产品提供参考。

参 考 文 献 (References)

- Bi R. 2016. The resistance molecular mechanism and comparative proteomic analysis of *Aphis glycines* Matsumura to lambda-cyhalothrin. PhD thesis. Changchun: Jilin University (in Chinese) [毕锐. 2016. 大豆蚜抗高效氯氟氰菊酯的分子机制及差异蛋白质组学分析. 博士学位论文. 长春: 吉林大学]
- Cao LD, Zhao PY, Cao C, Li FM, Huang QL. 2023. Research progress and development prospect of nanopesticide. *Modern Agrochemicals*, 22(2): 1-10 (in Chinese) [曹立冬, 赵鹏跃, 曹冲, 李凤敏, 黄敬良. 2023. 纳米农药的研究进展及发展趋势. *现代农药*, 22(2): 1-10]
- Gao J, Zhou MG. 2022. Research progress of SDHIs and QoIs fungicide resistance. *Modern Agrochemicals*, 21(5): 7-12, 33 (in Chinese) [高静, 周明国. 2022. SDHIs和QoIs杀菌剂抗性研究进展. *现代农药*, 21(5): 7-12, 33]
- Han XZ, Zou WX, Zhang Q, Cui GJ, Cai ZW, Sun YC, Liu YH. 2023. Characteristics, technology requirements and production suggestions of soybean production in Heilongjiang Province under the soybean expansion plan. *Soybean Science & Technology*, (2): 1-5, 20 (in Chinese) [韩晓增, 邹文秀, 张谦, 崔贵军, 才卓伟, 孙义春, 刘月辉. 2023. 大豆扩种计划下黑龙江省大豆生产特点、技术需求及生产建议. *大豆科技*, (2): 1-5, 20]
- Hu F, Piao Y, Wang HW, Pan YQ, Fu YC, Song WF. 2014. Investigation on residue herbicide application and residue phytotoxicity in Heilongjiang Province. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (6): 50-56 (in Chinese) [胡凡, 朴英, 王洪武, 潘亚清, 傅迎春, 宋伟丰. 2014. 黑龙江省长残留除草剂应用及残留药害情况调查. *黑龙江农业科学*, (6): 50-56]
- Hu S, Shanguan WJ, Cheng XJ, Li BX, Huang QL, Cao LD. 2023. Preparation, development status and prospect of oil-based suspension concentrate of pesticide. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 25(3): 537-550 (in Chinese) [胡帅, 上官文杰, 程雪健, 李北兴, 黄敬良, 曹立冬. 2023. 农药可分散油悬浮剂的制备、发展现状及展望. *农药学报*, 25(3): 537-550]
- Hu ZZ, Wang LL, Jiang XB, Yin MZ, Jiang L, Li JB, Shen WL. 2023. Analysis and countermeasure of soybean industry development status in China. *Soybean Science & Technology*, (4): 1-11 (in Chinese) [胡壮壮, 王路路, 姜雪冰, 尹毛珠, 姜磊, 李进步, 沈维良. 2023. 我国大豆产业发展现状分析及对策. *大豆科技*, (4): 1-11]
- Huan ZB, Xu Z, Lv DZ, Wang JX. 2013. Determination of ACCase sensitivity and gene expression in quizalofop-ethyl-resistant and-susceptible barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) biotypes. *Weed Science*, 61(4): 537-542
- Huang CY. 2009. Present situation, problems and suggestions on the occurrence and control of weeds in farmland in Heilongjiang Province. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (3): 71-73 (in Chinese) [黄春艳. 2009. 黑龙江省农田草害发生防治现状、问题和建议. *黑龙江农业科学*, (3): 71-73]
- Huang CY, Guo YL, Jiang W, Wang Y, Luo C, Cong KQ, Zhang YL. 2022. Types and control measures of herbicide injury in Heilongjiang Province. *Modernizing Agriculture*, (7): 5-8 (in Chinese) [黄春艳, 郭玉莲, 姜威, 王宇, 罗婵, 丛克强, 张玉磊. 2022. 黑龙江省除草剂药害类型及防控措施. *现代化农业*, (7): 5-8]
- Huang ZF, Chen JY, Zhang CX, Huang HJ, Wei SH, Zhou XX, Chen JC, Wang X. 2016. Target-site basis for resistance to imazethapyr in redroot amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 128: 10-15
- Klosowski AC, May De Mio LL, Miessner S, Rodrigues R, Stammer G. 2016. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. *Pest Management Science*, 72(6): 1211-1215
- Li Q, Zhang XM. 2018. Effect of diseases and insect pests on soybean yield in the top five soybean producing countries: a review. *Journal of Agriculture*, 8(4): 23-27 (in Chinese) [李琼, 张晓明. 2018. 病虫害对5个大豆主产国产大豆产量影响的概述. *农学学报*, 8(4): 23-27]
- Li T, Shen GH, Qian ZG, Chai XL, Wen GY. 2009. Study on control technique of glyphosate-resistant weeds. *Acta Agriculturae Shanghai*, 25(3): 54-58 (in Chinese) [李涛, 沈国辉, 钱振官, 柴晓玲, 温广月. 2009. 耐草甘膦杂草控制技术研究. *上海农业学报*, 25(3): 54-58]
- Lu XY, Xu J. 2006. Addressing the problem of fomesafen crop injury. *Agrochemicals*, 45(5): 350-352 (in Chinese) [卢向阳, 徐筠. 2006. 氟磺胺草醚对作物的药害及解决措施. *农药*, 45(5): 350-352]
- Shi JX, Chen SK. 2022. Investigation and countermeasures on the harmful situation of weed *Amaranthus retroflexus* in soybean field. *Journal of Hulunbuir University*, 30(1): 119-122 (in Chinese) [石家兴, 陈申宽. 2022. 大豆田杂草反枝苋的危害情况调查与治理对策. *呼伦贝尔学院学报*, 30(1): 119-122]
- Simões K, Hawlik A, Rehfus A, Gava F, Stammer G. 2018. First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125(1): 21-26

- Su SQ. 2011. Application and change of soybean herbicides. *Modern Agrochemicals*, 10(6): 10–14 (in Chinese) [苏少泉. 2011. 大豆田除草剂使用与变迁. *现代农药*, 10(6): 10–14]
- Tang QL, Ma KS, Gao XW. 2016. Current status and management strategies of insecticide resistance in aphids on the vegetable crops. *Plant Protection*, 42(6): 11–20 (in Chinese) [汤秋玲, 马康生, 高希武. 2016. 蔬菜蚜虫抗药性现状及抗性治理策略. *植物保护*, 42(6): 11–20]
- Tang YM, Tian DJ, Zhang C, Li J. 2024. Research progress of nanopesticides. *World Pesticide*, 46(3): 20–25 (in Chinese) [唐跃明, 田大军, 章超, 李俊. 2024. 纳米农药研究进展. *世界农药*, 46(3): 20–25]
- Wang Q, Xu WJ, Yan SC. 2011. Research on insecticide resistance of *Aphis glycines* in Heilongjiang Province. *Journal of Northeast Agricultural University*, 42(4): 137–140 (in Chinese) [王芊, 徐伟钧, 严善春. 2011. 黑龙江省大豆蚜抗药性研究. *东北农业大学学报*, 42(4): 137–140]
- Wu XM, Wang HX, Yun YZ, Ma ZH. 2023. Research progresses on fungicide resistance in plant pathogenic fungi. *Plant Protection*, 49(5): 243–259 (in Chinese) [吴小美, 王海霞, 云英子, 马忠华. 2023. 植物病原真菌对杀菌剂抗性的研究进展. *植物保护*, 49(5): 243–259]
- Xi JH, Pan YO, Bi R, Gao XW, Chen XW, Peng TF, Zhang M, Zhang H, Hu XY, Shang QL. 2015. Elevated expression of esterase and cytochrome P450 are related with lambda-cyhalothrin resistance and lead to cross resistance in *Aphis glycines* Matsumura. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 118: 77–81
- Xu YL, Li ZL, Li CJ. 2003. Soybean rotation and continuous cropping system effects on weed population. *Soybean Science*, 22(4): 283–286 (in Chinese) [许艳丽, 李兆林, 李春杰. 2003. 连作、迎茬和轮作大豆对田间杂草群落变化的影响. *大豆科学*, 22(4): 283–286]
- Yang S. 2012. Study on monitoring and mechanisms of imidacloprid resistance in soybean aphid, *Aphis glycines* (Matsumura). PhD thesis. Harbin: Northeast Agricultural University (in Chinese) [杨帅. 2012. 大豆蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理研究. 博士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学]
- Yang YZ, Chen Y, Zhang YC, Fan YY, He WZ, Shen Q, Wang Y, Wang C, Liu FJ. 2024. Research progress on the quality safety risks and control strategies for soybeans and their derivatives. *Science and Technology of Food Industry*, 45(10): 364–375 (in Chinese) [杨怡中, 陈悦, 张雨晨, 范盈盈, 何伟忠, 沈琦, 王艳, 王成, 刘峰娟. 2024. 大豆及其制品质量安全风险及控制措施研究进展. *食品工业科技*, 45(10): 364–375]
- Ye WW, Liu WC, Wang YC. 2023. Occurrence status and whole-process green control technologies for soybean diseases and pests in China. *Journal of Plant Protection*, 50(2): 265–273 (in Chinese) [叶文武, 刘万才, 王源超. 2023. 中国大豆病虫害发生现状及全程绿色防控技术研究进展. *植物保护学报*, 50(2): 265–273]
- Yu WB, Li XZ. 2023. The contradiction analysis between soybean supply and demand and countermeasures under the background of planting expansion. *Soybean Science & Technology*, (6): 1–8 (in Chinese) [于文波, 李孝忠. 2023. 扩种背景下大豆供需矛盾分析及对策建议. *大豆科技*, (6): 1–8]
- Zhang WB, Pan XL, Wu XH, Xu J, Dong FS, Zheng YQ. 2023. Research advance of nanopesticide risk assessment. *Modern Agrochemicals*, 22(2): 36–39, 44 (in Chinese) [张文博, 潘兴鲁, 吴小虎, 徐军, 董丰收, 郑永权. 2023. 纳米农药风险评估研究进展. *现代农药*, 22(2): 36–39, 44]
- Zhao JQ, Jin J, Chen J. 2023. Research progress on application and resistance of QoI fungicides. *World Pesticide*, 45(7): 19–30 (in Chinese) [赵健钦, 金京, 陈杰. 2023. QoI类杀菌剂应用与抗性机制研究进展. *世界农药*, 45(7): 19–30]
- Zhu CY, Wu XP, Liu XL, Li JQ. 2010. Present situation and developing strategies for registered agrochemicals used for the control of soybean diseases. *Plant Protection*, 36(1): 9–14 (in Chinese) [朱春雨, 吴新平, 刘西莉, 李健强. 2010. 防控大豆病害的农药登记现状及发展对策. *植物保护*, 36(1): 9–14]

(责任编辑:李美娟)