



农田杂草安全高效防控技术与应用

# 除草剂安全剂 及其应用

—— 柏连阳 主编 ——



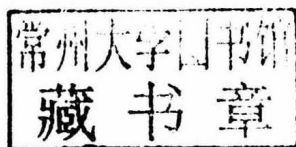
科学出版社



农田杂草安全高效防控技术与应用

# 除草剂安全剂及其应用

柏连阳 主编



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以现有除草剂安全剂的结构类型和来源作为分类依据,对除草剂安全剂的研究进展进行了详细介绍和系统梳理,主要包括除草剂安全剂的化学特征、合成、生物活性、作用机制、应用范围、代谢与降解等内容。

本书内容较为系统、全面,信息量大,可供高等院校和农业科研院所的师生、农业企业的科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

除草剂安全剂及其应用/柏连阳主编. —北京:科学出版社,2019.9  
(农田杂草安全高效防控技术与应用)

ISBN 978-7-03-060928-1

I. ①除… II. ①柏… III. ①除草剂—研究 IV. ①TQ457

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第052837号

责任编辑:陈新 闫小敏 / 责任校对:郑金红  
责任印制:吴兆东 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年9月第一版 开本:720×1000 1/16

2019年9月第一次印刷 印张:17

字数:343 000

定价:138.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 序

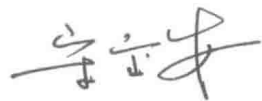
在农作物生长过程中，通常有杂草伴生，杂草与作物竞争阳光、土壤有机质、水分、肥料等环境资源，使得有限的环境资源不足以全部供于农作物的生长发育，从而导致农作物减产、降质。化学防除是最为便捷有效的农田杂草防控手段，对农作物丰产具有重要意义。然而，大部分除草剂在使用过程中容易对作物产生药害，需要搭配相应的除草剂安全剂才能安全使用，从而达到防除杂草、保护作物的目的。

《除草剂安全剂及其应用》的作者对除草剂安全剂的创制及其作用机制开展了创新性研究，在梳理总结自身研究及国内外同行相关成果的基础上，编著了该书。该书介绍了现今主要的商品化除草剂安全剂，以及植物源除草剂安全剂的种类、化学特征、合成、生物活性、作用机制、应用范围、降解与代谢，从而为合理选择使用除草剂安全剂、提高除草剂的使用范围和使用效率提供指导。

该书较全面地归纳、总结和展示了当前除草剂安全剂研究中的前沿成果，内容丰富，逻辑清晰，要点突出，实用性强，可供高等院校和科研院所的师生、科技人员作为参考书籍。

在该书脱稿之际，谨以此为序并表示祝贺。

中国工程院院士



2019年3月6日

## 前 言

除草剂从发现到推广应用至今，为全世界的农业生产做出了重大贡献，但由于对除草剂的选择存在一定的局限性，其容易对敏感作物产生药害，限制了它在田间的进一步应用。解决除草剂的药害问题主要有三种方法：①开发具有选择性的除草剂；②培育具有除草剂抗性的作物植株；③在除草剂中加入能提高其选择性的安全剂。前两者投入大，不确定性因素多，对相应的技术要求较高。因此，使用除草剂安全剂是解决除草剂药害问题最为直接、有效的方法。

除草剂安全剂 (safener) 又称为保护剂 (protectant)、解毒剂 (antidote)，是一类在不影响除草剂对靶标杂草除草活性的前提下，有选择地保护作物抵抗除草剂的药害，进而增强作物的耐药性、提高除草剂的安全性、改进杂草防治效果的化合物。从 20 世纪 60 年代开始，已经有 20 多种除草剂安全剂被开发和应用，如 1,8-萘二甲酸酐 (1,8-naphthalic anhydride, NA)、二氯丙烯酰胺 (dichlormid)、解草酮 (benoxacor)、解草胺腈 (cyometrinil)、解草腈 (oxabetrinil)、解草唑 (fenchlorazole)、解草啶 (fencloirim)、吡唑解草酯 (mefenpyr-diethyl)、解草胺 (flurazole)、氟草肟 (fluxofenim)、解毒唑 (cloquintocet-mexyl)、解草烷 (MG-191)、解草噁唑 (furilazole)、杀草隆 (dymron)、双苯噁唑酸 (isoxadifen-ethyl)、苯叉酰胺 (AD-67)、环丙磺酰胺 (cyprosulfamide) 等。除草剂安全剂已成为农业生产和杂草防控体系不可或缺的一部分。研发高效、低毒、副作用小且对环境相对友好的除草剂安全剂品种是当今安全剂研究的一个趋势。从环境相容性好的植物源天然产物中，已筛选出一些具有除草剂安全剂活性的混合物或者单体，如山椒素 (sanshool)、呋喃香豆素 (furocoumarin)、Z-藜本内酯 (Z-ligustilide)、洋川芎内酯 A (ligusticide A)、赤霉素 (gibberellin) 等。

除草剂安全剂按照研发途径可以分为化学合成安全剂、植物源安全剂。按照除草剂的结构差异可将其分为萘二甲酸酐类、二氯乙酰胺类、磺酰脲(胺)类、芳杂环类、脲醚类等。根据安全剂的作用方式与作用原理，则可分为以下 4 种类型：①结合型。安全剂与除草剂或其产生的有毒物质结合，减轻或消除其对敏感作物的药害。②分解型。使除草剂或其产生的有毒物质发生分解而丧失毒性。③拮抗型。不同除草剂之间存在一定的拮抗作用，根据这种特性来开发拮抗型安全剂，如燕麦灵与 2,4-D、2,4-D 与甲草胺之间存在拮抗作用。④补偿型。除草剂使用后通过造成作物体内缺乏某种成分来产生药害时，可通过补充该种成分减轻或消除药害。

目前，现有的除草剂安全剂能有效保护玉米、水稻、大麦、小麦、高粱、大豆、花生等作物抵抗燕麦敌、禾草丹等氨基甲酸酯类除草剂，2,4-D、啶禾灵等苯

氧羧酸类除草剂，烯草酮等环己烯酮类除草剂，甲草胺、乙草胺、精异丙甲草胺、丁草胺等酰胺类除草剂，氯嘧磺隆、吡嘧磺隆等磺酰脲类除草剂，氟乐灵等二硝基苯胺类除草剂，五氟磺草胺等杂环类除草剂等产生的药害。由于除草剂安全剂具体的结构不同，其保护作物抵抗除草剂药害的作用效果也不同。而由于敏感作物的种类不同，同一种安全剂发挥的保护作用也不相同。例如，解草啞可以作为丙草胺在水稻田中的特效安全剂，解草胺可以作为甲草胺在高粱地中的特效安全剂，解草酮可以作为异丙甲草胺在玉米田中的特效安全剂。在高粱地中使用氟草肟对高粱幼苗遭受来自异丙甲草胺的损伤具有较好的保护作用。但在玉米田中使用安全剂 CGA-133205 处理玉米幼苗，对其具有致死作用。

目前，除草剂安全剂的作用机制主要有以下几种：①结构活性机理论。该理论证明安全剂的结构与其活性高度相关，与除草剂结构相似的化合物具有相对较好的解毒活性，硫代氨基甲酸酯类除草剂与其安全剂 *N,N*-二取代-2,2-二氯乙酰胺及其衍生物在结构上就具有高度相似性。②谷胱甘肽耦合作用理论。谷胱甘肽在谷胱甘肽-S-转移酶的催化下与除草剂发生耦合作用，产生无毒性的耦合物，使作物免受除草剂的药害。安全剂通过提高还原型谷胱甘肽的浓度及谷胱甘肽-S-转移酶等酶的活性来达到解毒效果。③细胞色素 P450 催化代谢理论。除草剂经过植物细胞 P450 催化而加速发生羟基化及脱烷基化等反应，达到消除药害的目的，安全剂通过提高细胞色素 P450 的活性，从而使这些生物代谢反应速率提高。④安全剂与除草剂作用位点的相互作用。安全剂可以通过干扰除草剂与作物作用位点的结合来保护作物。⑤对除草剂吸收和转移产生影响。在除草剂被吸收进入作物的过程中，安全剂可能与除草剂发生交互作用，达到解毒的目的。⑥其他作用机制。例如，除草剂安全剂对 ABC 转运体 (ATP-binding cassette transporter) 和谷胱甘肽转运体的诱导等。研究清楚除草剂安全剂的作用机制，对开发除草剂安全剂具有重要的意义，目前已有相应的研究根据结构活性机理论等作用机制开发除草剂安全剂产品。

目前发现一些商品化除草剂安全剂在使用过程中对环境具有潜在的威胁，如水生植物对解草酮与解草啞特别敏感，解草酮对水生自养生物具有高毒性，对水生动物如鱼类具有中等毒性，除草剂安全剂的环境行为值得进一步关注。此外，环境中安全剂有可能会通过降解或是代谢作用产生毒性比本体更大的产物，如二氯乙酰胺除草剂安全剂可以在厌氧条件下，与铁或铁的氧化物进行还原脱氧反应，得到一氯产物，一氯产物的毒性相对二氯化合物较大。因此，研究除草剂安全剂在环境中的代谢及降解十分重要。但关于除草剂安全剂代谢和降解的机制目前国内研究报道的不多，有待进一步研究。

我国农药行业相对于美国等国家来说起步较晚，但近年来发展迅速，已经相继研发出若干农药品种，如抗病毒免疫激活剂毒氟磷，杀虫剂硝虫硫磷、氯氟醚

菊酯、氯噻啉、戊吡虫胍、环氧虫啉、啉虫啉、四氯虫酰胺、呋喃虫酰胺等，杀菌剂氟吗啉、烯肟菌酯、丁吡吗啉、噻菌铜、丁香菌酯，除草剂单嘧磺隆、丙酯草醚、双甲胺草磷、氯酰草膦、喹草酮和甲基喹草酮等，植物生长调节剂苯哒嗪丙酯、乙二醇缩糠醛、菊胺酯和呋苯硫脲等。相对于其他农药，我国的除草剂安全剂研究工作相对落后，大部分的商品化除草剂安全剂是由国外的农药公司如拜耳、先正达等开发。国内目前鲜有商品化除草剂安全剂开发成功的报道，与此相对应，自主知识产权也相对比较缺乏。另外，关于除草剂安全剂机制的研究很少，而除草剂安全剂环境行为方面的研究几乎是空白。

本书是“农田杂草安全高效防控技术与应用”丛书中的一部，是本人从事杂草防控研究工作 30 年来的系统总结。希望借本书的出版，进一步提高植物保护科研工作者、杂草防控科研工作者，以及农药学特别是农药合成专业的研究者及学生对除草剂与安全剂的认识和了解，加快杂草防控技术的研究与发展，保障粮食质量与安全，促进粮食品质向优化的方向发展。

感谢国家自然科学基金面上项目(31772182)、杂草生物学及安全防控湖南省重点实验室(2015TP1016)、农田杂草安全高效防控湖南省农业科学院创新团队(2017GC-01)、农田杂草安全高效防控农业科研杰出人才及其创新团队、国家现代农业产业(麻类)技术体系杂草与综合防控项目(CARS-16-E19)、中央支持地方科技发展项目(2019CT5009)及杂交水稻国家重点实验室对相关研究工作的资助。

作 者

2019年1月10日

# 目 录

第 1 章 除草剂概述	1
1.1 氨基甲酸酯类除草剂	1
1.2 苯氧羧酸类除草剂	4
1.3 二硝基苯胺类除草剂	9
1.4 环己烯酮类除草剂	10
1.5 二苯醚类除草剂	12
1.6 取代脲和磺酰脲类除草剂	17
1.7 酰胺类除草剂	27
1.8 有机磷类除草剂	34
1.9 杂环类除草剂	36
1.10 其他类除草剂	50
参考文献	53
第 2 章 萘二甲酸酐类除草剂安全剂	61
2.1 1,8-萘二甲酸酐	61
2.2 1,8-萘二甲酸酐类似物	65
参考文献	68
第 3 章 二氯乙酰胺类除草剂安全剂	70
3.1 二氯丙烯酰胺	70
3.2 R-28725	76
3.3 R-29148	81
3.4 解草噁唑	88
3.5 苯叉酰胺	91
3.6 解草酮	94
3.7 解草烯	97
3.8 解草烷	98
参考文献	105
第 4 章 脲醚类除草剂安全剂	109
4.1 解草胺脲	109

4.2 解草腈	115
4.3 氟草肟	120
参考文献	124
<b>第5章 芳杂环类除草剂安全剂</b>	125
5.1 解草胺	125
5.2 解草啶	131
5.3 解草唑	139
5.4 双苯噁唑酸	143
5.5 吡唑解草酯	147
5.6 解毒啉	148
参考文献	149
<b>第6章 脲类、硫代氨基甲酸酯类、磺酰胺类除草剂安全剂</b>	152
6.1 杀草隆	152
6.2 哌草丹	154
6.3 环丙磺酰胺	156
参考文献	161
<b>第7章 植物源除草剂安全剂</b>	163
7.1 山椒素类化合物	163
7.2 紫锥菊烷基酰胺类化合物	171
7.3 藁本内酯及洋川芎内酯	175
7.4 佛手柑内酯	179
7.5 赤霉素	181
7.6 芸苔素内酯	182
7.7 水杨酸类化合物	186
参考文献	188
<b>第8章 除草剂安全剂的作用机制</b>	191
8.1 结构相似构效理论	191
8.2 影响除草剂代谢	200
8.3 影响除草剂吸收与转运	228
8.4 其他机制	231
参考文献	234
<b>第9章 除草剂安全剂的代谢及降解</b>	242
9.1 二氯丙烯酰胺	242

9.2 解草噁唑	246
9.3 解草腈	247
9.4 解草酮	249
9.5 解草胺	251
9.6 解草啉	252
9.7 双苯噁唑酸	254
9.8 吡唑解草酯	254
参考文献	258

# 第 1 章 除草剂概述

杂草分布在世界各地，且多数会对农业生产造成严重危害，不仅使作物产量大幅度下降，还会使作物质量降低，成为影响农业生产的重要因素。近年来，通过农药的使用来提高粮食及其他作物的产量是提升人类生活质量的重要措施之一。杂草的防除对提高作物产量起着至关重要的作用，给社会带来巨大经济效益，因此，除草剂成为当今世界三大类农药之一，市场需要量逐年增长。20 世纪 50~60 年代，国内外开发的除草剂品种主要有氨基甲酸酯类、苯氧羧酸类、二硝基苯胺类、酰胺类；到了 80 年代，高效磺酰脲类除草剂研发成为热点。目前在新型除草剂的研发中，杂环类除草剂因其超高除草活性、高选择性成为热门。

我国已经登记使用的除草剂产品有上百种，磺酰脲类、苯氧羧酸类、酰胺类是其中最主要的品种，这与我国是农业大国，除草剂主要用于粮食与蔬果作物密切相关。在水稻中使用的除草剂主要有丁草胺、二氯喹啉酸、吡嘧磺隆等，在小麦中使用的除草剂主要有苯磺隆、2,4-D、百草敌等，在大豆中使用的除草剂主要有豆磺隆、咪唑啉酮类及精噁唑禾草灵等，在玉米中使用的除草剂主要有乙草胺、莠去津等，这些除草剂的使用基本都是为了防除作物田中的阔叶杂草与禾本科杂草，如苍耳、苘麻、稗草、千金子、马唐等。

## 1.1 氨基甲酸酯类除草剂

稗草畏（图 1-1）是 1982 年由日本东商公司和宇都宫大学共同研究发现，并由东商公司开发成功的。其用于防除稻田中杂草如稗草、异型莎草、鸭舌草、一年生阔叶杂草、萤蔺、水莎草、矮慈姑、眼子菜等。在水田条件下，其对稗属、异型莎草和鸭舌草有较高的活性；在旱田条件下，其对稗草、马唐属和狗尾草等禾本科杂草的活性较高（Unger, 1996; Tsukuda et al., 2000）。

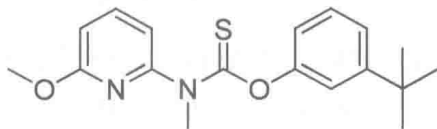


图 1-1 稗草畏结构式

禾草灵（图 1-2）是 20 世纪 70 年代由联邦德国赫斯特（Hoechst）公司开发的一种苗后处理剂。其主要用于小麦、大麦、大豆、花生、油菜、向日葵、

甜菜、马铃薯、亚麻等作物，防除一年生禾本科杂草，如稗草、马唐、毒麦、野燕麦、看麦娘、早熟禾、狗尾草、画眉草、千金子、牛筋草等（刘维屏等，2008）。

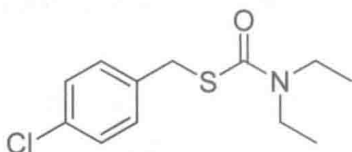


图 1-2 禾草灵结构式

禾草敌（图 1-3）是 20 世纪 50 年代由美国施多福化学公司开发的一种内吸选择性除草剂。其适用于水稻田防除稗草、牛毛草、异型莎草等。禾草敌能被杂草的根和芽吸收，尤其易被杂草的芽鞘吸收，适用时期较长，杀草谱窄，对稗草防除效果特别好（Mueller and Oelke, 1965）。

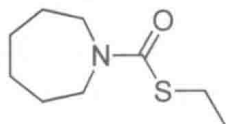


图 1-3 禾草敌结构式

磺草灵（图 1-4）是 1958 年由西南化工研究设计院开发的一种内吸传导型除草剂。可用于甘蔗、棉花、大豆、谷物等作物田及甜菜、番茄、洋葱等蔬菜地，防除看麦娘、野燕麦、马唐、牛筋草、千金子、双穗雀稗、早熟禾、蒹蓄、皱叶酸模、鸭跖草、鸡眼草、眼子菜等，还可以防除剪股颖、狗尾草、狗牙根、田蓟、蒲公英、问荆等（胡渝华等，1992；郑宏海等，1994）。

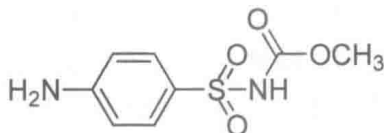


图 1-4 磺草灵结构式

氯苯胺灵（图 1-5）于 1951 年由 Witman 等报道了其除草活性，同年被开发成为商品。其可用于苜蓿、小麦、玉米、大豆、向日葵、马铃薯、甜菜、水稻、胡萝卜、菠菜、洋葱等作物田，能有效防除一年生禾本科杂草和某些阔叶杂草，如稗草、野燕麦、早熟禾、荠菜、苋菜、燕麦草、多花黑麦草、繁缕、粟米草、蒹蓄、马齿苋、田野菟丝子等（张路，2011）。

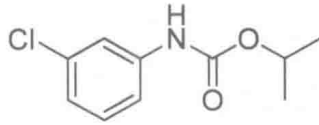


图 1-5 氯苯胺灵结构式

甜菜宁(图 1-6)是 1968 年由德国先灵公司开发的一种苗后除草剂。适用于甜菜、草莓等作物,防除藜属、豚草属、牛舌草、鼬瓣花、野芝麻、野萝卜、繁缕、荞麦蔓等多种阔叶类杂草(朱锦贤和钱叶华, 2011)。

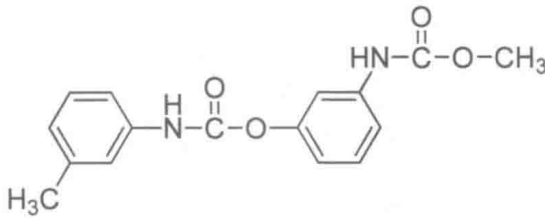


图 1-6 甜菜宁结构式

甜菜安(图 1-7)是 1968 年由德国先灵公司开发的一种苗后除草剂。适用于甜菜,特别是糖甜菜,通常与甜菜宁混用,用于防除荞麦属、藜属、芥菜、苋属、豚草属等(朱锦贤和钱叶华, 2011; 王新星等, 2017)。

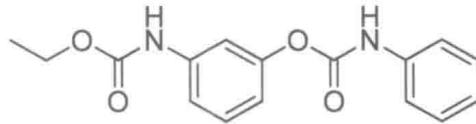


图 1-7 甜菜安结构式

嘧草丹(图 1-8)是 1985 年由日本三菱化学株式会社开发并独家生产的选择性内吸传导型稻田除草剂。一般与其他除草剂混用,其用于水稻田防除稗草和牛毛草(严海昌和丁成荣, 2006)。

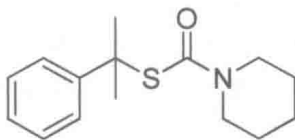


图 1-8 嘧草丹结构式

戊草丹(图 1-9)是 20 世纪 70 年代由瑞士诺华公司开发的一种稻田芽前、芽后除草剂。其用于防除一年生杂草稗草最迟至 2~5 叶期,还可以与苄嘧磺隆混用(Unger, 1996)。

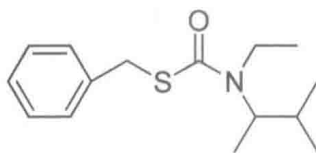


图 1-9 戊草丹结构式

燕麦敌 (图 1-10) 是美国孟山都公司于 20 世纪 60 年代初研发的一种条播前施用的除草剂。它可用于十字花科和甜菜等作物, 防除野燕麦, 可与西马津或敌草腈混用以扩大杀草谱 (张炳炎, 1983)。

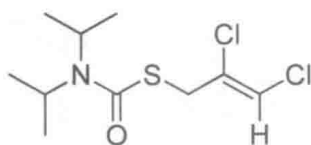


图 1-10 燕麦敌结构式

野麦畏 (图 1-11) 是美国孟山都公司于 20 世纪 60 年代初研发的一种选择性土壤处理剂。它适用于大麦、小麦、青稞、油菜、豌豆、蚕豆、亚麻、甜菜、大豆等作物, 防除野燕麦 (程亮等, 2008a; Kleemann et al., 2016)。

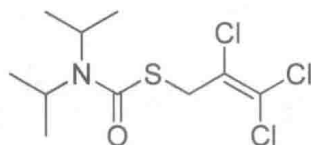


图 1-11 野麦畏结构式

## 1.2 苯氧羧酸类除草剂

吡氟禾草灵, 即 2-[4-(5-三氟甲基-2-吡啶氧基)苯氧基]丙酸丁酯 (图 1-12), 是 1980 年由日本石原产业株式会社开发的一种茎叶处理剂。其可用于阔叶植物, 如大豆、棉花、甜菜、马铃薯、甘薯、花生、豌豆、蚕豆、菜豆、烟草、亚麻、西瓜等多种作物, 以及橡胶和果树种植园、林业苗圃、幼林抚育等, 防除一年生和多年生禾本科杂草, 如看麦娘、狗尾草、马唐、牛筋草、早稗、野燕麦、雀麦、臂形草、芦苇、狗牙根、双穗雀稗等 (陆阳等, 2009)。

精吡氟禾草灵, 即 (*R*)-2-[4-(5-三氟甲基-2-吡啶氧基)苯氧基]丙酸丁酯 (图 1-13), 是 1987 年由日本石原产业株式会社开发的一种茎叶处理剂。它可用于马铃薯、大豆、花生、莲藕、棉花、油菜、甘薯、亚麻、胡麻、芝麻、烟草等大田作物及瓜果蔬菜类, 如西瓜、草莓、葡萄、黄瓜、冬瓜、甜瓜、南瓜、

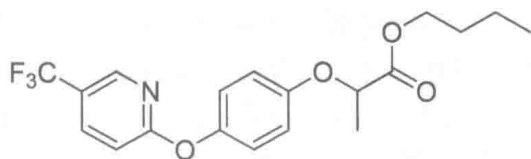


图 1-12 吡氟禾草灵结构式

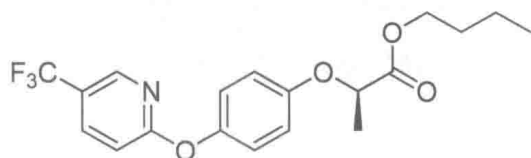


图 1-13 精吡氟禾草灵结构式

西葫芦、白菜、甘蓝、芥菜、萝卜、茄子、番茄、辣椒、胡萝卜、芹菜、香菜、茴香、洋葱、大蒜、韭菜、大葱、莴苣、菠菜、苋菜、甜菜、花椰菜等，还可用于苜蓿等花草类，防除一年生、多年生禾本科杂草，如野燕麦、狗尾草、旱稗、马唐、牛筋草、看麦娘、雀麦、臂形草等 (Rezende et al., 2012; 张梅凤, 2013)。

噁唑禾草灵，即 2-[4-(6-氯-2-苯并噁唑氧基)苯氧基]丙酸乙酯(图 1-14)，是 20 世纪 80 年代由联邦德国赫斯特公司研制的芽后茎叶处理剂。它可用于小麦、大豆、棉花、花生等旱田阔叶作物，防除一年生和多年生禾本科杂草，如看麦娘、鼠尾看麦娘、野燕麦、自生燕麦、不结籽燕麦、稗草、黍、宿根高粱、狗尾草等 (程亮等, 2008b; 吕波等, 2012)。

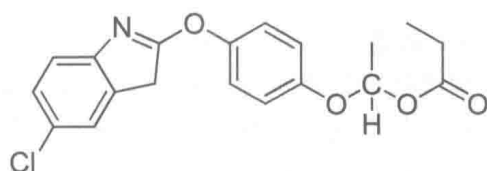


图 1-14 噁唑禾草灵结构式

精噁唑禾草灵，即 (*R*)-2-[4-(6-氯-2-苯并噁唑氧基)苯氧基]丙酸乙酯(图 1-15)，是 1985 年由联邦德国赫斯特公司研制的苗后除草剂。它可用于甜菜、亚麻、棉花、花生、油菜、马铃薯、大豆等作物，防除一年生和多年生禾本科杂草，如看麦娘、野燕麦等 (沈迎春和钱忠海, 2010)。

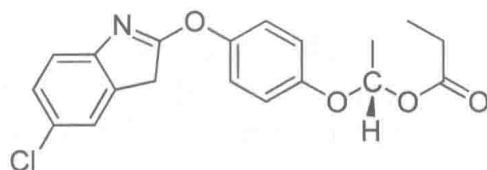


图 1-15 精噁唑禾草灵结构式

噁草醚(图 1-16)是 20 世纪 90 年代由日本北兴化学工业株式会社研制,后由其与美国罗姆-哈斯公司联合开发的芽后禾本科杂草防除剂。其可用于直播水稻、春小麦、硬粒小麦、大豆、棉花、甜菜、油菜等阔叶作物,防除鼠尾看麦娘、野燕麦、臂形草属、马唐属、稗属、千金子属和狗尾草属等禾本科杂草(郭胜,1996)。

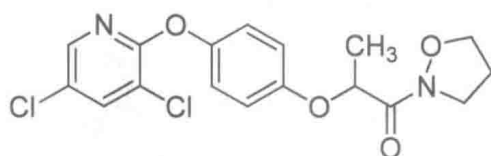


图 1-16 噁草醚结构式

氟吡甲禾草灵(*R,S*-吡氟乙草灵)(图 1-17)是 20 世纪 80 年代后由美国陶氏益农公司研制并生产的一种苗后除草剂。其可用于大豆、棉花、花生、油菜、亚麻等多种阔叶作物,防除马唐、看麦娘、牛筋草、稗草、狗尾草、千金子等一年生禾本科杂草和狗牙根、白茅等多年生禾本科杂草(马世营,2010)。

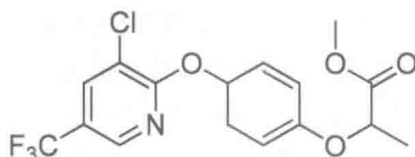


图 1-17 氟吡甲禾草灵结构式

高效氟吡甲禾草灵(*R*-吡氟乙草灵)(图 1-18)是 20 世纪 80 年代后由美国陶氏益农公司研发的超高活性选择性苗后除草剂。它可用于阔叶作物,如棉花、烟草、油菜、花生等,防除一年生及多年生禾本科杂草,如马唐、稗草、千金子、看麦娘、狗尾草、牛筋草、早熟禾、野燕麦、芦苇、白茅、狗牙根等。

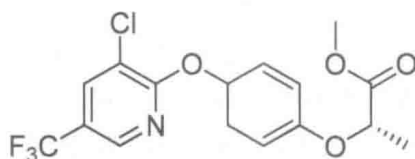


图 1-18 高效氟吡甲禾草灵结构式

喹禾灵,即 2-[4-(6-氯-2-喹啉氧基)苯氧基]丙酸乙酯(图 1-19),是 1979 年由日本日产化学工业株式会社开发的选择性芽后除草剂。它适用于大豆、棉花、蚕豆、油菜、甜菜、向日葵、亚麻、甘薯、豌豆、茄子、马铃薯、花生、草莓等 60 多种阔叶作物,防除看麦娘、野燕麦、臂形草、雀麦、狗牙根、野茅、马唐、稗草、蟋蟀草、匍匐冰草、画眉草、双穗雀稗、早熟禾、法氏狗尾草、金

狗尾草、千金子、芦苇、阿拉伯高粱等多种一年生及多年生禾本科杂草(Samant and Mishra, 2014)。

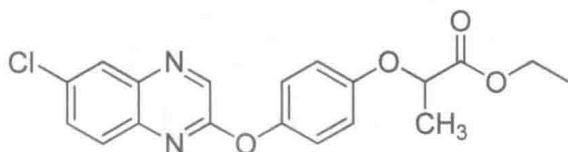


图 1-19 喹禾灵结构式

精喹禾灵, 即 (*R*)-2-[4-(6-氯-2-喹喔啉氧基)苯氧基]丙酸乙酯(图 1-20), 是日本日产化学工业株式会社在 20 世纪 80 年代合成喹禾灵的过程中去除了非活性光学异构体后的改良制品。其可用于大豆、马铃薯、亚麻、豌豆、蚕豆、烟草、西瓜、棉花、花生、苜蓿、阔叶蔬菜等多种作物, 以及果树、林业苗圃、幼林抚育等, 防除野燕麦、稗草、狗尾草、金狗尾草、马唐、野黍、牛筋草、看麦娘、画眉草、千金子、雀麦、大麦属、早熟禾、双穗雀稗、狗牙根、匍匐冰草等多种一年生及多年生禾本科杂草(袁庆东等, 2012; Mantzos et al., 2016)。

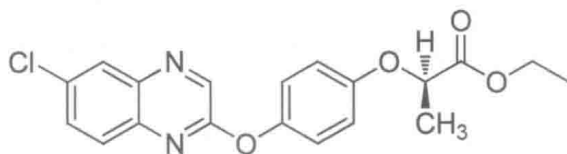


图 1-20 精喹禾灵结构式

禾草灵(图 1-21)最早是 1975 年由 Langeluddek 等报道其除草性质, 并由联邦德国赫斯特公司注册开发的一种苗后除草剂。它主要用于大麦、小麦、青稞、黑麦、大豆、花生、油菜、甜菜、亚麻、马铃薯等作物, 防除野燕麦、看麦娘、稗草、马唐、狗尾草、毒麦、画眉草、千金子、蟋蟀草等禾本科杂草(刘维屏等, 2008)。

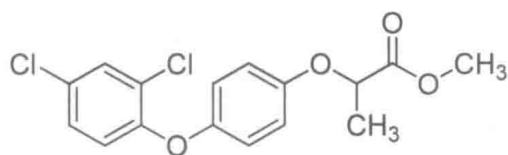


图 1-21 禾草灵结构式

炔草酯(图 1-22)是由瑞士汽巴-嘉基(Ciba-Geigy)公司于 1981 年开发的除草剂。一般用于小麦田, 防除禾本科杂草如鼠尾看麦娘、野燕麦、不实燕麦、臂形草、马唐、稗草、蟋蟀草、多花黑麦草、黍、普通早熟禾、金狗尾草、狗尾草、