

双环磺草酮在我国稻田应用的现状、存在问题及对策建议

田志慧, 袁国徽, 高原, 沈国辉*

(上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403)

摘要 双环磺草酮是登记用于水稻移栽和直播田防除一年生杂草的对羟基苯基丙酮酸双氧化酶(HPPD)抑制剂类除草剂。本文简述了双环磺草酮的研发概况及其产品特性,并结合笔者近年来对双环磺草酮的研究以及在推广实践中了解掌握的情况,全面分析了双环磺草酮在我国稻区的应用现状,指出了存在的问题,提出了解决问题的对策建议,以期为双环磺草酮的科学使用提供参考。

关键词 双环磺草酮; 稻田; 应用现状; 存在问题; 对策建议

中图分类号: S482.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022298

Application status, problems and suggestions of benzobicyclon in rice field in China

TIAN Zhihui, YUAN Guohui, GAO Yuan, SHEN Guohui*

(Eco-Environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

Abstract Benzobicyclon is a 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD)-inhibiting herbicide registered for the control of annual weeds in transplanted and direct-seeding rice fields. In this paper, the research and development situation of benzobicyclon was reviewed, and the characteristics of benzobicyclon were systematically sorted. Combined with the author's research and practice on benzobicyclon in recent years, the application status of benzobicyclon in rice areas in China was comprehensively analyzed, the existing problems were pointed out, and the countermeasures and suggestions were put forward in order to provide guidance for the scientific application of benzobicyclon.

Key words benzobicyclon; rice field; application status; problem; countermeasures and suggestion

杂草抗性是一把双刃剑,它既困扰了农田杂草的有效防控,同时又推动了除草剂产品的更新换代^[1-2]。当前杂草抗性已成为一个全球性问题,据国际杂草抗性网报道,截至2022年5月20日,全球已有266种抗药性杂草的512种杂草生物型对31种已知除草剂作用机理中的21种产生了抗性,涉及165种除草剂品种。从作用类型看,杂草已对约占全球除草剂市场3/4份额的6类除草剂中的4类产品(ALS、PS II、EPSP、ACCCase)产生了较为严重的抗药性^[3],其中以ALS抑制剂类除草剂的抗性发展最为迅猛,高达167例杂草抗性报道,遥遥领先于其他各类除草剂,而对羟基苯基丙酮酸双氧化酶(HP-

PD)抑制剂类除草剂仅有4例。近年来,我国针对水稻田的已上市的除草剂产品多为乙酰乳酸合酶(ace-tolactate synthase, ALS, 或称为 acetohydroxyacid synthase, AHAS)和乙酰辅酶A羧化酶(acetyl CoA carboxylase, ACCase)抑制剂^[4],目前这两类产品都受到杂草抗性问题的困扰,市场迫切需要新作用机理的除草剂来替代,尤其是针对占据优势地位的抗性稗属杂草、抗性千金子等禾本科杂草防除的除草剂。开发新作用机理的除草剂品种,科学合理轮换使用不同类型与作用机制的除草剂是防除抗药性杂草的有效手段之一,由此,HPPD抑制剂类除草剂因其低抗性风险这一特质,加上这类除草剂在我国稻

收稿日期: 2022-05-25 修订日期: 2022-08-01

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(2020-02-08-00-12-F01490);上海市农业科学院卓越团队项目[农科创2018(B-01)]

* 通信作者 E-mail: zb5@saas.sh.cn

区几乎没有使用的历史,对同类除草剂不易产生交互抗性,对其他作用机理的除草剂也不存在多抗性,因而一登场就备受行业关注,成为解决抗性杂草最有潜力的除草剂品种^[5]。

从化学结构上看,HPPD 抑制剂类除草剂是一组不完全相关但又具有相同作用机理的化合物,包括三酮类、吡唑酮类和异噁唑酮类等化学结构类型^[6]。它们通过抑制 HPPD 的活性,使对羟基苯基丙酮酸转化为尿黑酸的过程受阻,影响生育酚及质体醌正常合成,进而影响靶标体内类胡萝卜素的生物合成,最终导致植株死亡^[7]。植株产生白化症状是这类除草剂发挥药效的一个最明显症状。HPPD 抑制剂类除草剂研发之初大多聚焦于玉米作物,近年来正在向水稻、谷物等作物拓展,目前我国水稻田已登记的品种主要有硝磺草酮(mesotrione)、三唑磺草酮(tripyrasulfone)、呋喃磺草酮(tefuryltrione)、双环磺草酮(benzobicyclon)等,这些品种为我们治理稻田抗性杂草提供了丰富的资源和有效应对策略。

1 双环磺草酮的研发概况及主要特性

1.1 双环磺草酮的研发概况

双环磺草酮(简称 BBC 或 BZB),化学名称 3-(2-氯-4-甲磺酰基苯甲酰基)-2-苯硫基双环[3.2.1]辛-2-烯-4-酮,是一种以 HPPD 为作用靶标的双环辛烷类除草剂,1992 年由日本史迪士(SDS)生物科学株式会社合成,1994 年开始进行田间试验,1998 年初步完成探索,2001 年在日本获准农药登记,用于直播水稻田和移栽水稻田杂草的防除,商品名 Show-Ace^[8]。围绕双环磺草酮,目前国外研发的产品以复配剂居多。2001 年,史迪士生物科学株式会社与日本科研制药株式会社联合开发了双环磺草酮与环戊噁草酮(pentoxazone)的大颗粒复配产品在日本登记并上市,商品名 Focus-Shot。接着,该公司与日本三共株式会社联合开发了双环磺草酮与丙草胺(pretilachlor)的复配产品并取得登记,用于防除抗磺酰脲类杂草,商品名 Kusakonto FL,双环磺草酮与吡唑酮(benzofenap)、四唑酰草胺(fentrazamide)的三元混剂,作为水稻田一次性使用除草剂,商品名 Smart FL。此外,还有双环磺草酮与唑草胺(cafenstrole)、杀草隆(dimuron)、氯吡啶

磺隆(halosulfuronmethyl)复配剂,商品名 Oukus;双环磺草酮与苄嘧磺隆(bensulfuron-methyl)、噁嗪草酮(oxaziclomefone)复配剂,商品名 Plus-one,等等^[9]。韩国是双环磺草酮最重要的应用市场,2007 年,双环磺草酮在韩国取得登记,商品名 Najima。2016 年,双环磺草酮在水稻上的销售额为 867 万美元,占其总市场的 86.7%,其中韩国 614 万美元,占 61.4%,日本 260 万美元,占 26.0%,两国合计占双环磺草酮全球市场的 87.4%。美国高文(Gowan)公司取得双环磺草酮在美国和欧盟水稻上独家销售权。2017 年,双环磺草酮与氯吡啶磺隆的复配颗粒剂获得美国环保署(EPA)登记批准,商品名 Butte,这也是第一个在美国南部水稻生产州登记用于水稻的 HPPD 抑制剂类除草剂,并将成为防除对其他稻田除草剂具有抗药性杂草的重要工具^[10-11]。此外,双环磺草酮在哥伦比亚的水稻田登记,商品名 Avanza 400 SC。双环磺草酮在意大利、希腊和葡萄牙也获得特殊使用批准。

在我国,2016 年 4 月 26 日,98%双环磺草酮原药和 25%双环磺草酮悬浮剂(SC)首次获得临时登记,喷雾法使用防除水稻移栽田一年生杂草;2018 年 4 月 23 日获得正式登记,登记证号分别为 PD20181594 和 PD20181275,登记有效期至 2023 年 4 月 22 日。此次登记扩大了使用范围,制剂从水稻移栽田扩大到了水稻直播田,用于防除一年生杂草,有效成分用量为 150~225 g/hm²(商品用量 600~900 mL/hm²),施药方法为喷雾法。虽然双环磺草酮的化合物专利已经到期,但由于新农药还处在保护期内,目前我国获得登记的含双环磺草酮有效成分的产品仅此 2 个,登记企业均为日本史迪士生物科学株式会社。

双环磺草酮的专利情况分别是:日本专利 JPH0625144,到期时间 2013 年 3 月 17 日;澳大利亚专利 AU672058,到期时间 2013 年 12 月 29 日;中国专利 CN1041916C,到期时间 2014 年 1 月 7 日;美国专利 US5525580,到期时间 2014 年 1 月 14 日。

1.2 双环磺草酮的主要特性

双环磺草酮属于三酮类 HPPD 抑制剂,对水稻田中抗磺酰脲类的阔叶杂草和莎草有显著效果,日本、韩国等国研发了以双环磺草酮、双唑草腈等产品为核心的一次性除草(one-shot)技术,较好地解决

了水稻田因长期使用 ALS、ACCase 抑制剂类除草剂而导致的抗性杂草危害,使之成为水稻田主要除草剂。双环磺草酮在我国的推广使用,同样有望成为解决当前稻田恶性杂草和抗 ALS、ACCase 抑制剂类除草剂杂草的重要产品。根据近年来笔者对双环磺草酮应用技术的的结果以及对相关文献资料的归纳梳理,认为双环磺草酮具有与其他除草剂产品不同的三大特色与亮点。

1.2.1 作用机理有特点

三酮类除草剂最初是由 Staufer 公司发现和开发的 HPPD 抑制剂类化合物,20 世纪 90 年代初研究确定了植物中的 HPPD 是三酮类化合物的作用靶标^[12],对羟基丙酮酸(4-hydroxyphenylpyruvate, HPP)在植物体内被 HPPD 催化为尿黑酸(2,5-dihydroxyphenylacetate, HGA)^[13-14],而尿黑酸是植物光合作用中的一种重要中间体,它可以转化为质体醌和生育酚^[15-16]。与众不同的是,双环磺草酮本身是没有除草活性的,需要在水中水解形成具有除草活性的双环磺草酮水解物(benzobicyclon hydrolysate, BH),英文名为 3-[2-chloro-4-(methylsulfonyl) benzoyl] bicyclo[3.2.1]octane-2,4-dione。双环磺草酮被杂草吸收后,其水解物从杂草的根和茎基部内吸传导至全株,通过抑制 HPPD 的活性,阻碍 HPP 转化为 HGA,进而影响质体醌的合成,然后由质体醌对八氢番茄红素脱氢酶(PDS)作用,通过一系列反应最终影响类胡萝卜素的生物合成,从而影响植物光合作用,导致杂草中毒白化枯死^[17]。研究表明,双环磺草酮在碱性条件下可 100% 水解成为双环磺草酮水解物,它在水中具有很高的水解稳定性和较大的溶解度,pH 7 条件下在水中的溶解度为 146 mg/L,25℃ 时其半衰期大于 1 年。BH 在所有土壤中的吸附解吸参数均符合 Freundlich 模型,吸附常数在 0.066~4.728 之间^[18]。

由于双环磺草酮具有完全不同于 ALS 和 ACCase 酶的作用机制,对于解决水稻田难防恶性杂草和抗性杂草问题起到了积极作用,因而被除草剂抗性行动委员会(HRAC)归入 Group F2,同时被美国杂草科学学会(WSSA)归入 Group 27。

1.2.2 使用方法特别

水稻田使用苗后茎叶处理除草剂时,为了使杂草充分接触到除草剂药液,操作顺序一般为施药前

1 d 排干田间水层,施药后 1~2 d 灌水,并保持田间 3~5 cm 水层 5~7 d,使除草剂在有水的条件下更好发挥除草活性。然而双环磺草酮只有在与水接触后才能水解成具有除草活性的化合物,所以双环磺草酮必须在有水层的条件下喷雾施药,这一点至关重要。研究表明,在没有水层的情况下进行茎叶喷雾处理,双环磺草酮对杂草几乎没有除草活性,目测控草效果小于 18%;与之相比,在淹水条件下(under flooded conditions)施用,对杂草的防除效果超过 82%^[19]。

1.2.3 防除对象有特色

双环磺草酮具有杀草谱广、对恶性和抗性杂草效果突出、施药期宽、持效期长、对粳稻安全、环境友好等诸多优点^[20-21]。

1.2.3.1 杀草谱广

双环磺草酮属芽前、苗后除草剂,可有效防除由畦边向本田蔓延的假稻 *Leersia japonica*、秕壳草 *L. sayanuka* 和疣草 *Murdannia keisak* 等难除杂草^[22]。田间试验结果表明,水稻移栽后 7 d,25% 双环磺草酮悬浮剂有效成分用量(下同)168~252 g/hm²,采用带水层茎叶喷雾法均匀施药,可有效防除稗属杂草 *Echinochloa* spp.、异型莎草 *Cyperus difformis*、雨久花 *Monochoria korsakowii*、野慈姑 *Sagittaria trifolia* 等稻田主要杂草^[23]。

1.2.3.2 对抗性和恶性杂草效果突出

近年来,随着水稻直播等轻简化栽培技术的大面积推广,千金子、杂草稻等已成为南方直播稻区继稗属杂草后的主要优势杂草^[24-25]。由于连续大量使用氟草酯,千金子已对该类产品产生了较强抗性,市场上常用的除草剂品种或组合如氟草酯、氟草·吡啶酯(cyhalofop-butyl·florpyrauxifen)、噁唑·氟草(metamifop·cyhalofop-butyl)、五氟·氟草(penoxsulam·cyhalofop-butyl)等对抗性千金子防效均不理想^[26]。生产应用已证明,双环磺草酮无论对普通千金子还是抗性千金子、低龄千金子或大龄千金子以及李氏禾 *Leersia hexandra* 等恶性杂草都具有非常好的防效,已经成为直播稻田防除抗性千金子和上述恶性杂草的首选补治除草剂品种,还可通过与其他除草剂复配来进一步扩大杀草谱,并延缓杂草抗药性的产生^[27-29]。

双环磺草酮对目前难以防控的稻田恶性杂草杂

草稻 *Oryza sativa* f. *spontanea* 显示出很好的防除前景,已有研究结果表明,双环磺草酮施用剂量为 371 g/hm^2 时,对温室内的 22 个供试杂草稻品种至少造成 80% 的死亡率,对田间的 30 个品种至少有 80% 的防治效果^[30]。笔者的研究结果同样显示, $150\sim 375 \text{ g/hm}^2$ 的剂量下分别于杂草稻萌芽期、立针期、1~2 叶期和 2~3 叶期采用喷雾法施药,对杂草稻的株防效可达 83.0%~100%,且喷雾法效果明显优于毒土法施药^[31]。

1.2.3.3 施药期宽

双环磺草酮兼备封杀双重作用,从出苗前到出苗后施用对一年生禾草、莎草和阔叶杂草均表现出广谱活性,使用期宽而灵活。双环磺草酮苗后使用时会随着杂草叶龄增大对部分杂草防效下降,但防除敏感杂草如萤蔺 *Scirpus juncooides* 时,在杂草萌芽前至 5 叶期内使用均可取得很好的防除效果,对高叶龄、花茎伸长期的敏感杂草也能抑制其花芽形成,破坏杂草结籽繁衍,这是其他水田除草剂难以达到的^[32]。

1.2.3.4 持效期长

虽然双环磺草酮的除草速度稍缓,但因其具有缓释效果和封杀双重作用,在水中的土壤持效期可达 6~8 周。研究结果表明,双环磺草酮在高温 (25°C) 下比在低温 (15°C) 下控制萤蔺的速度更快,且除草活性不受萤蔺出苗深度 (0~3 cm) 和土壤类型 (黏壤土、壤土、轻黏土、砂壤土和重黏土) 的影响,对萤蔺的残留活性至少持续 8 周^[32]。

1.2.3.5 对粳稻安全

国内外研究结果一致表明,双环磺草酮可安全应用于粳稻品种,美国南部热带粳稻自交系和杂交种淹水条件下施用,不会对水稻造成伤害,但某些粳稻品种对其较为敏感,有时会造成严重伤害,表现为水稻抽穗延迟和产量受损,因而不宜在粳稻品种上使用^[33];在 720 g/hm^2 剂量下对供试的 2~3 叶期水稻‘皖垦糯 1 号’、‘皖稻 68’和‘绿早粳 1 号’3 个粳稻品种较安全^[34]。笔者开展的温室盆栽试验也表明,在水稻 1~2 叶期、2~3 叶期和 3~4 叶期,浅水层条件下按 $150\sim 375 \text{ g/hm}^2$ 施用 25% 双环磺草酮 SC,对‘南粳 46’、‘沪软 1212’、‘松香粳 1018’3 个常规粳稻品种和杂交粳稻‘申优 26’生长安全。目前双环磺草酮仅限于粳稻种植区域使用,禁止用于籼稻品种,也不建议用于糯稻品种。

1.2.3.6 对环境友好

双环磺草酮与环境相容性高,对鱼类及哺乳动物低毒。由于双环磺草酮具有双环及苯硫醚的独特结构和对靶标酶逐步释放的化学特性,因而水溶性大幅下降,且由于其强土壤吸附性改变了向下移行,可有效防止药剂向水田外流失。

2 双环磺草酮在我国稻田的应用现状

双环磺草酮因具有与生产上现有主流除草剂品种不一样的作用机理,以及诸多突出的优点,加上稻田杂草种群演替以及抗性杂草上升导致防除问题突出,近年来双环磺草酮正在被越来越多的用户所认识,市场正在逐步打开。

2.1 应用范围由移栽稻田向直播稻田延伸

近年来,随着水稻栽培方式由传统的移栽模式逐渐向直播、机插秧、抛秧等新型轻简化栽培模式转变,尤其是水稻直播技术的大面积推广应用,杂草危害日趋严重,千金子迅速蔓延为直播田的优势杂草种群^[35-36],部分田块其危害已经超过了稗属杂草^[37-39]。大量使用 ACCase 抑制剂类苗后处理除草剂氟氟草酯进行防除,导致千金子对其陆续产生了抗药性^[40-41],由于目前市场上使用的茎叶处理除草剂普遍对抗性千金子防效不佳,因此人们把目光转移到了与氟氟草酯作用机理不同的双环磺草酮上,用于苗后茎叶喷雾补治抗性千金子一举成功,成为农户最受欢迎的除草剂产品之一。2018 年,双环磺草酮取得正式登记时,已由原来的仅移栽稻田扩展到了水稻直播田。

2.2 应用时间由芽前处理向茎叶处理拓展

从我国水稻田登记的除草剂品种和产品来看,芽前封闭除草剂的数量明显多于苗后茎叶处理除草剂。但从用户端来看,农户更喜欢使用“看得见”的苗后茎叶处理除草剂来防除杂草。由于双环磺草酮目前还处于专利保护期内,使用成本相对较高,虽然其具有很高的芽前处理活性,但在水稻芽前处理除草剂市场中并不具有很强的竞争优势。当下,在直播稻田杂草种群演替以及恶性杂草和抗性杂草危害呈上升趋势且防除处于“束手无策”的背景下,寻找治理抗 ALS 和 ACCase 抑制剂类除草剂杂草的具有不同作用机理的除草剂新品种成为必然,双环磺草酮无疑成了人们关注的首选品种之一,市场需求

为双环磺草酮奠定了广阔的应用基础。

2.3 应用方法由单一施用向复配施用并进

任何一个除草剂品种不管其杀草谱有多广,针对面广量大的稻田杂草种群而言,其总会或多或少存在不足或缺陷,双环磺草酮也不例外。基于双环磺草酮具有良好的混配性,国内一些农药企业正在进行研发,如南京高正农用化工有限公司开发并正处于登记过程中的双环磺草酮与双唑草腈复配的大粒剂就是一款很有特色的产品。现阶段,在没有双环磺草酮复配登记产品的情况下,不少用户正通过桶混的办法来扩大杀草谱,达到一次使用防除稻田3大类杂草的目的,相信随着双环磺草酮新农药保护期到期,更多的复配剂会投放市场,以满足农户的需要。

3 双环磺草酮推广应用中存在的主要问题及对策建议

3.1 存在的主要问题

虽然双环磺草酮登陆中国市场已近6年,也是未来非常具有潜力的稻田除草剂品种,但从笔者近年来的跟踪情况看,其还存在着一些技术层面的问题,需要不断加以深化和完善。

3.1.1 应用技术研究还不深透

在“中国知网”以双环磺草酮为关键词进行查询,截至目前仅有中文文献29篇,其中与应用技术相关的仅有13篇,且都是关于除草活性、杀草谱和移栽水稻安全性方面的,研究内容较为单一,研究深度有限。在应用中,农户有时反映双环磺草酮药效和安全性不稳定,造成用户对双环磺草酮褒贬不一,笔者认为其中的深层次原因,是环境因子对双环磺草酮药效和安全性影响的研究不深入,如施药时或施药前后的温度、光照、降雨、水浆管理、土壤性质等对药效和水稻安全性的影响,直播水稻田用药时水稻叶龄、用药剂量、水浆管理与水稻安全性和药效的关系等,目前鲜有这方面的研究报道,有待于进一步深入研究。

3.1.2 应用技术普及还不到位

使用双环磺草酮必须带水层施药并保水,这个已经是非常明确的应用技术操作要领。然而遗憾的是,上述13篇研究文献,多数试验方法还是停留在施药前1d排水,施药后1~2d灌水、保水的传统方

法上,这样的试验研究方法难以保证试验结果的科学性和准确性。如果技术研究层面对双环磺草酮的应用技术还没有一个全面正确的了解,那么在指导用户使用过程中出现差错和问题也就不足为奇了。这种现状不改变,就有可能影响一个好品种的市场生命力甚至将其毁掉。

3.1.3 科企推用合作还不紧密

双环磺草酮刚引入我国时只限于东北稻区用于防除移栽稻田恶性杂草水葱 *Scirpus validus*,后来逐渐辐射到长江流域粳稻栽培区,现在应用范围已从原来的移栽稻田扩展到了直播稻田,使用时间从芽前处理拓展到了苗后茎叶处理,防除对象从抗磺酰胺类除草剂的阔叶杂草和莎草科杂草扩大到了抗性千金子、李氏禾等恶性禾本科杂草,这些认识的深化和应用技术的完善都是在应用推广的实践过程中逐步发现、总结完善的,也是农药生产企业、科研院所、农技推广部门和用户共同合作的结果。但笔者也注意到,近年来双环磺草酮之所以市场占有率上升缓慢,与科企推用没有充分形成紧密的合力有一定关系,应用过程中发现的一些问题没有及时研究查找原因,推广得不到有效明晰的技术支撑和培训,而相关问题得不到解决又导致经销商不敢大胆推广,从而影响了产品的推广应用和市场竞争力。

3.2 对策建议

针对双环磺草酮在推广应用中存在的一些不足和问题,笔者从应用技术层面提出以下几点对策建议。

3.2.1 完善应用技术,更好服务于产品

双环磺草酮在日本、韩国等国家水稻田除草剂中有很高的市场占有率,但以移栽稻田应用为主,我国当前也主要应用于移栽稻田。随着农业机械化的发展和农村劳动力的紧缺,未来几年水稻直播栽培面积将呈现稳步上升趋势。因此,摸清双环磺草酮在直播稻田的应用技术,对于扩大产品的应用范围和市场占有率,延长产品市场生命期至关重要。现阶段亟须明确的应用技术可以从以下几方面着手,一是环境因子对双环磺草酮药效和水稻安全性的影响,包括温度、土壤湿度、降雨、土壤微生物、土壤有机质、水浆管理措施等,以及高温干旱等逆境条件下对水稻的安全性;二是用药时间对直播水稻生长的影响,产生药害的极限剂量;三是双环磺草酮水解物

(BH)的环境行为,以及主要机理和动力学,在我国稻田土壤中的消解和流失路径;四是生产上有效防控杂草稻的应用技术;五是防除假稻、李氏禾等恶性杂草和千金子等抗性杂草的最佳剂量和用药时间,药后返青复活问题的解决办法;六是可与双环磺草酮形成最佳配伍的有效成分和增效助剂、安全剂筛选,等等。

3.2.2 发挥产品特色,更好服务于生产

当前稻田杂草治理中最亟须解决的问题是抗性杂草和恶性优势杂草,这两方面的问题恰好是双环磺草酮的优势所在。如何把优势发挥好,使产品准确定位,让产品有用武之地,帮助用户解决好生产中碰到的杂草防除难题,是当下我们要重点思考的问题。稻田有害生物绿色防控是植物保护的基本方针,因此,需积极向行业主管部门推介,宣传产品的特色以及生产上急需解决的问题的重要性,尽可能使产品进入当地政府部门的推荐除草剂品种名录,甚至上升到绿色认证除草剂品种,以充分发挥主渠道的带动作用 and 示范效应。

3.2.3 强化技术培训,更好服务于用户

农技推广的“最后一公里”是否到位对科学技术的普及和产品的影响力乃至市场生命力至关重要,应根据农业技术推广传播的特点和规律,通过线上线下技术培训、召开现场观摩会、指导用户试用等多种渠道把稻田杂草防控新技术、新产品有效推介给用户。推广工作中既要授之以鱼更要授之以渔,尤其要把稻田杂草抗性产生的原因说明白,让用户从思想上、认识上自觉接受和运用避免或延缓稻田杂草抗性产生的农事操作措施和防控技术。就双环磺草酮推广应用而言,可选择对科学种田和试用新产品有兴趣的大农户作为示范展示点,技术人员现场给予指导,把带水层喷雾施药的技术要领讲清楚,确保用户看到新产品在抗性杂草补治和恶性难治杂草防除方面的优势,这种成功将对产品在周围农户中辐射具有事半功倍作用,从而一传十、十传百,达到不推自广和抢占市场的目标。

4 展望

在未来较长一段时间内,HPPD 抑制剂类除草剂机遇与挑战并存。一方面,因稻田抗性杂草和杂草种群演替导致恶性杂草危害上升的趋势,将为

HPPD 抑制剂类除草剂产品提供广阔的应用市场,据 Phillips McDougall 公司预测,2024 年 HPPD 抑制剂类除草剂的销售额将增至 22.75 亿美元,2019 年—2024 年的复合年增长率为 4.9%(基于 2019 年的汇率)^[42];另一方面,因 HPPD 抑制剂类除草剂具有低抗性风险以及对抗 ALS 和 ACCase 抑制剂类除草剂杂草具有优异防除效果而将继续成为农药研发机构新产品开发的热门,国内外具有较强研发实力的企业已经或即将推出各具特色的新产品上市,如日本组合化学研发的 fenquino-trione(开发代号:KIH 3653),日本石原产业株式会社研发的 lancotri-one(开发代号:SL-261),山东青岛清原农冠抗性杂草防治有限公司即将上市的氟磺草胺(flusulfimam),山东先达农化股份有限公司即将推向市场的吡啶喹草酯(pyraquinat)等等,市场竞争也将日趋激烈。此外,近年来研发机构还不断推出其他作用机制的新型除草剂,如富美实公司即将在我国上市的四氟络草胺(tetflupyrolimet)、山东先达农化股份有限公司的苯丙草酮(pheprodim)等,这也将对水稻市场的 HPPD 抑制剂类除草剂形成竞争之势。有竞争就有创新,谁重视应用技术的研发和服务,谁就会在市场中脱颖而出、先拔头筹,企业是这样,产品也是这样。我们相信,HPPD 抑制剂类除草剂新产品的不断上市,将进一步优化我国稻田除草剂的产品结构,有效解决我国水稻生产中出现的杂草危害新问题。

参考文献

- [1] 张朝贤,黄红娟,崔海兰,等. 抗药性杂草与治理[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 99-102.
- [2] 邱芳心,杜桂萍,刘开林,等. 杂草抗药性及其治理策略研究进展[J]. 杂草科学, 2015, 33(2): 1-6.
- [3] 柏亚罗. HPPD 抑制剂类除草剂的产品研发及市场概况[J]. 世界农药, 2021, 43(5): 1-13.
- [4] 董立尧,高原,房加鹏,等. 我国水稻田杂草抗药性研究进展[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 69-76.
- [5] 吴云雨,肖宁,余玲,等. 我国抗除草剂水稻种质创制研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(4): 890-899.
- [6] 张一宾. HPPD 抑制剂类除草剂及其市场开发进展[J]. 现代农药, 2013, 12(5): 5-8.
- [7] 杨娜,孙健,吴翠霞,等. 除草剂新作用靶标—HPPD 综述[J]. 农药研究与应用, 2009, 13(2): 13-16.
- [8] 张一宾. 除草剂双环磺草酮的研究开发[J]. 世界农药, 2006, 28(2): 9-14.

- [9] 闵祥芬. 新型除草剂双环磺草酮的分析总结与实验研究[J]. 中国农药, 2019(1): 29-31.
- [10] 刘洋. 未来水稻田除草剂登记的热点产品之双环磺草酮[J]. 农药市场信息, 2017, 17: 37-39.
- [11] YOUNG M L. Evaluation of benzobicyclon for use in mid-southern rice (*Oryza sativa*) systems [D]. Fayetteville: Conway Fayetteville University of Arkansas, 2017.
- [12] SCHULZ A, ORT O, BEYER P, et al. SC-0051, a 2-benzoylcyclohexane-1, 3-dione bleaching herbicide, is a potent inhibitor of the enzyme p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase [J]. FEBS Letters, 1993, 318(2): 162-166.
- [13] CROUCH N P, ADLINGTON R M, BALDWIN J E, et al. A mechanistic rationalisation for the substrate specificity of recombinant mammalian 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (4-HPPD) [J]. Tetrahedron, 1997, 53(20): 6993-7010.
- [14] 吕献海. 基于蛋白靶标新型取代吡唑衍生物的设计合成及生物活性评价[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [15] LEE D L, PRISBYLLA M P, CROMARTIE T H, et al. The discovery and structural requirements of inhibitors of p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase [J]. Weed Science, 1997, 45(5): 601-609.
- [16] PALLETT K, LITTLE J, SHEEKEY M, et al. The mode of action of isoxaflutole: I. Physiological effects, metabolism, and selectivity [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1998, 62(2): 113-124.
- [17] GARCIA I, JOB D, MATRINGE M. Inhibition of p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase by the diketonitrile of isoxaflutole: A case of half-site reactivity [J]. Biochemistry, 2000, 39(25): 7501-7507.
- [18] RAO Lei, LUO Juan, ZHOU Wenwen, et al. Adsorption-desorption behavior of benzobicyclon hydrolysate in different agricultural soils in China [J/OL]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 202: 110915. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110915.
- [19] BRABHAM C, NORSWORTHY J K, SANDOSKI C A, et al. Spray deposition, adjuvants, and physiochemical properties affect benzobicyclon efficacy [J]. Weed Technology, 2019, 33: 258-262.
- [20] 吴彦超, 胡方中, 杨华铮. HPPD抑制剂的研究进展[J]. 农药学报, 2001(3): 1-10.
- [21] SCHULTZ J L, WEBER M, ALLEN J, et al. Evaluation of weed management programs and response of FG72 soybean to HPPD-inhibiting herbicides [J]. Weed Technology, 2015, 29(4): 653-664.
- [22] KOMATSUBARA K I, SEKINO K, YAMADA Y, et al. Discovery and development of a new herbicide, benzobicyclon [J]. Journal of Pesticide Science, 2009, 34(2): 113-114.
- [23] 齐萌, 王亚楠, 康占海, 等. 25%双环磺草酮悬浮剂防除水稻移栽田杂草的效果与安全性[J]. 杂草科学, 2014, 32(1): 120-123.
- [24] SANUSAN S, POLTHANEE A, AUDEBERT A, et al. Suppressing weeds in direct-seeded lowland rainfed rice: effect of cutting dates and timing of fertilizer application [J]. Crop Protection, 2010, 29(9): 927-935.
- [25] 吴尚, 张纪利, 李保同, 等. 千金子对水稻生长的影响及其经济阈值[J]. 中国农业科学, 2015, 48(3): 469-478.
- [26] 应小军, 潘丽卿, 茅忠权, 等. 几种除草剂对抗性千金子的防除效果[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(12): 2601-2602.
- [27] WON O J, SIN H T, ROH S W, et al. Herbicidal efficacy of benzobicyclon up granule formulations in infant seeding machine transplanting of rice [J]. Weed & Turfgrass Science, 2016, 5(4): 225-229.
- [28] 毕亚玲, 戴玲玲, 王曹阳, 等. 双环磺草酮与氯氟吡啶酯复配的联合除草活性及对水稻的安全性评价[J]. 农药学报, 2020, 22(1): 68-75.
- [29] 胡尊纪, 吴希宝, 刘世超, 等. 双环磺草酮与五氟磺草胺复配对水稻直播田一年生杂草的防除效果[J]. 农药, 2020, 59(9): 698-702.
- [30] YOUNG M L, NORSWORTHY J K, SCOTT R C, et al. Benzobicyclon as a post-flood option for weedy rice control [J]. Weed Technology, 2018, 32: 371-378.
- [31] 田志慧, 盛光勇, 袁国徽, 等. 25%双环磺草酮悬浮剂防除杂草稻的使用策略[J]. 农药学报, 2020, 22(4): 635-641.
- [32] SEKINO K, KOYANAGI H, IKUTA E, et al. Herbicidal activity of a new paddy bleaching herbicide, benzobicyclon [J]. Journal of Pesticide Science, 2008, 33(4): 364-370.
- [33] YOUNG M L, NORSWORTHY J K, SCOTT R C, et al. Tolerance of southern US rice cultivars to benzobicyclon [J]. Weed Technology, 2017, 31: 658-665.
- [34] 毕亚玲, 王曹阳, 谷刚, 等. 双环磺草酮除草活性及对水稻的安全性研究[J]. 农药学报, 2018, 20(1): 18-24.
- [35] 唐利平, 黄益国, 李小芳, 等. 衡阳地区直播稻田千金子发生及综合防控策略[J]. 作物研究, 2021, 35(4): 401-404.
- [36] 吴长兴, 王强, 赵学平, 等. 直播稻田千金子发生规律及防除技术研究[J]. 浙江农业学报, 2000, 12(6): 335-337.
- [37] 董立尧, 张友明, 刘萍, 等. 水直播稻田千金子的生活史及出草规律研究[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(4): 65-67.
- [38] 程勤海, 丰青, 陆志杰, 等. 浙江省海宁市直播稻田千金子大发生原因及治理对策[J]. 杂草科学, 2011, 29(2): 60-62.
- [39] 田志慧, 陆俊尧, 袁国徽, 等. 千金子与异型莎草对直播水稻产量的影响及其生态经济阈值研究[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(3): 328-336.
- [40] 杨浩娜, 王立峰, 邬腊梅, 等. 稻田恶性杂草千金子的抗药性研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(5/6): 772-779.
- [41] 袁国徽, 田志慧, 高原, 等. 上海市水稻田千金子对3种乙酰辅酶A羧化酶抑制剂的抗性现状及酶突变机制[J]. 农药学报, 2022, 24(3): 492-500.
- [42] Phillips McDougall. Agriservice products section-2019 market [R]. [2022-05-25]. UK: Phillips McDougall. <https://philipsmcdougall.agribusiness.ihsmarkit.com>.