

马里超,黄 卉,陈芳芳,等. 咪唑乙烟酸对杂草稻等杂草的毒力及金粳 818 水稻的安全性[J]. 江苏农业科学,2025,53(2):171-175.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.02.024

咪唑乙烟酸对杂草稻等杂草的毒力 及金粳 818 水稻的安全性

马里超¹,黄 卉²,陈芳芳¹,于佳星²,董立尧²

(1. 光明食品集团上海农场有限公司种植业中心,江苏盐城 224151;

2. 南京农业大学植物保护学院/农业农村部华东作物有害生物综合治理重点实验室,江苏南京 210095)

摘要:为防除早直播水稻田杂草稻,探究咪唑乙烟酸能否在耐咪唑啉酮类除草剂水稻田中防除杂草稻等稻田常见杂草的问题。采用整株生物测定法测定咪唑乙烟酸对杂草稻等稻田杂草的毒力以及对不同叶龄的耐咪唑啉酮水稻金粳 818 的安全性。结果表明,咪唑乙烟酸茎叶处理抑制稻田杂草鲜质量 90% 的有效成分量 (GR_{90}) 在 32.84 ~ 311.60 g a.i./hm² 范围内,对 3 个杂草稻种群 GR_{90} 在 210.90 g a.i./hm² 及以上,毒力最低。咪唑乙烟酸土壤处理和 1~2 叶期早期茎叶处理对杂草稻的毒力高于 3~4 叶期茎叶处理;而 3~4 叶期茎叶处理对金粳 818 的安全性高于土壤处理和 1~2 叶期茎叶处理,但咪唑乙烟酸对金粳 818 水稻的选择性指数为 0.18~1.30,均显著小于 4,表现为对金粳 818 水稻不安全。综合判断,咪唑乙烟酸可有效防除水稻田常见杂草,对杂草稻差,对当茬水稻金粳 818 的安全性低,不宜用在金粳 818 水稻田中防除杂草稻等杂草。

关键词:咪唑乙烟酸;杂草稻;金粳 818;毒力;安全性

中图分类号:S451.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)02-0171-05

早直播水稻因具有节约用水、节省劳动力等特点而得到快速发展^[1-3],但由于早直播稻苗期土壤表面没有水层,除草剂持效期减短,增加了杂草防

控难度,其中以杂草稻(*Oryza sativa* f. *spontanea*)危害尤为严重^[4-7]。杂草稻与栽培稻同源性高,生物学特性相近,目前水田茎叶除草剂均不能够安全有效地防除杂草稻^[8-10]。

咪唑啉酮类除草剂是美国 BASF 公司(原氰胺公司)于 20 世纪 90 年代开发的乙酰乳酸合酶(acetolactate synthase, ALS)抑制剂^[11],以咪唑乙烟酸(imazethapyr)和甲氧咪草烟(imazomox)为代表。这类除草剂具有杀草谱广、防效高、持效期长的特点^[12],主要用于防除大豆田杂草,尤其是东北地区,

收稿日期:2024-03-01

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:32202328)。

作者简介:马里超(1970—),男,安徽太湖人,硕士,高级农艺师,研究方向为农作物病虫害害预报与防治。E-mail:15862053761@163.com。

通信作者:董立尧,博士,教授,研究方向为除草剂毒理及抗药性。E-mail:dly@njau.edu.cn。

调控作用[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):109-111,116.

[36] 马晓慧,车喜庆,王井士,等. 稻蟹共作与常规稻田蜘蛛群落组成及多样性分析[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(8):1157-1162.

[37] 王雪芹,王光华,蒋月丽,等. 利用分子探针法研究稻田蜘蛛集团对褐飞虱的捕食作用[J]. 环境昆虫学报,2022,44(2):381-390.

[38] 张俊喜,成晓松,高 波,等. 江苏稻田蜘蛛控虫技术研究与运用[J]. 农学报,2019,9(4):39-42.

[39] 覃如霞. 半自然生境异质性和稻田异质性对蜘蛛多样性的影响[D]. 重庆:西南大学,2022:19-33.

[40] Tillman G, Mullinix B. Grain sorghum as a trap crop for southern green stink bug in cotton [C]//National Cotton Council of America.

Proceedings of the Belt Wide Cotton Conferences. San Antonio, 2003:1-4.

[41] Getu E, Overholt W A, Kairu E, et al. Evidence of the establishment of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of cereal stemborers, and its host range expansion in Ethiopia[J]. Bulletin of Entomological Research, 2003, 93(2):125-129.

[42] Taylor R M, Pfannenstiel R S. Nectar feeding by wandering spiders on cotton plants [J]. Environmental Entomology, 2008, 37(4):996-1002.

[43] Eubanks M D, Styrsky J D. Effects of plant feeding on the performance of omnivorous “predators” [M]//Wäckers F L, van Rijn P C J, Bruin J, et al. Plant-provided food for carnivorous insects. Cambridge: Cambridge University Press, 2005:148-177.

在 2000 年前后成为最主要的大豆田除草剂,在黑龙
江和内蒙古地区 2005 年用量就已经达 5 000 t^[13]。
1996 年,美国路易斯安那州立大学(LSU)的
Croughan 为防除杂草稻利用化学诱变手段培育出耐
咪唑啉酮类除草剂的 Clearfield® 系列水稻^[14-15],从
此在美洲地区大范围使用咪唑啉酮类除草剂防除
水稻田杂草稻。截至 2021 年,LSU 和 BASF 公司已
推出超过 40 个 Clearfield® 水稻品种^[16-18]。咪唑
乙烟酸因其持效期长、杀草谱广成为 Clearfield® 生
产模式中最常用的咪唑啉酮类除草剂。

因此,开发具有自主知识产权的耐咪唑乙烟酸
作物品种具有十分重要的意义^[19-22]。2014 年,我
国天津市农作物研究所(天津市水稻研究所)选育
出对咪唑啉酮类除草剂有耐药性的粳型常规栽培稻
品种金粳 818,其耐药机理与耐咪唑啉酮 Clearfield®

水稻相似,都是 ALS 的第 653 位氨基酸由丝氨酸突
变为天冬酰胺^[24]。2018 年来部分地区已使用咪唑
乙烟酸防除金粳 818 水稻田杂草^[25-26],但当前国内
没有咪唑乙烟酸对杂草稻毒力及金粳 818 水稻安全
性的详细报道,为了从技术层面上明确咪唑乙烟酸
能否用于金粳 818 水稻田防除杂草稻等杂草,本试
验系统研究了咪唑乙烟酸对杂草稻等水稻田杂草的
毒力及金粳 818 水稻的安全性,以期为咪唑乙烟酸在
耐咪唑啉酮类水稻田中使用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试杂草种群的采集地点见表 1。金粳 818
(*O. sativa* subsp. *japonica*)种子由江苏省金地种业科
技股份有限公司提供。

表 1 供试杂草种群来源

种群	采集地	种群采集日期(年-月)
杂草稻 JHHY-3	江苏省淮安市淮阴区刘老庄镇杨庄村 G25 桥下	2017-10
杂草稻 JYFN-5	江苏省盐城市阜宁县三灶	2017-10
杂草稻 JLGY-8	江苏省连云港市赣榆区海头镇东胡村直播水稻田内	2017-10
千金子(<i>Leptochloa chinensis</i>)	江苏省无锡市新吴锡左大道	2017-10
稗(<i>Echinochloa crus-galli</i>)	江苏省南京市江浦农场水稻田	2017-10
马唐(<i>Digitaria sanguinalis</i>)	江苏省连云港市赣榆区罗阳镇后罗阳村	2017-11
异型莎草(<i>Cyperus difformis</i>)	江苏省徐州市新庄基地	2017-11
水苋菜(<i>Ammannia baccifera</i>)	江苏省徐州市新庄基地	2017-11
丁香蓼(<i>Ludwigia prostrata</i>)	江苏省连云港市沙河镇李村	2017-11
水竹叶(<i>Murdannia triquetra</i>)	江苏省徐州市新庄基地	2017-11

1.2 试验试剂

5%咪唑乙烟酸水剂(AS),山东先达农化股份
有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 咪唑乙烟酸对杂草稻等杂草的毒力测定方
法 本试验于 2020—2021 年在南京农业大学植物
保护学院除草剂毒理及抗药性实验室进行。采用
整株生物测定的方法,在 7 cm×7 cm×7 cm 塑料盆
钵中装入土肥比 2:1 的土壤,底座吸水至土壤湿润
(土壤水分饱和度为 60%~80%),在各个盆钵中均
匀播种杂草种子 15 粒。播种后放入室外自然光照
温室内培养,温室温度为白天(30±5)℃,夜晚(25±
5)℃,光—暗周期约 10 h—14 h。待杂草长至 2.0~
2.5 叶期,选择长势一致的杂草定苗至 10 株/盆。
根据预试验结果,药剂茎叶喷雾剂量设置为 0、
14.06、28.13、56.25、112.50、225.00 g a.i./hm²。

做等量清水对照处理,每处理重复 4 次,整体试验重
复 2 次。喷雾采用农业农村部南京农业机械化研究
所生产的 3WP-2000 型行走式生测喷雾塔,主轴转
动速度 96 r/min,喷雾高度 300 mm,喷头有效喷幅
350 mm,喷头流量 390 mL/min,行走距离 1 340 mm,
药液体积 30 mL。施药后放入温室继续培养。

1.3.2 咪唑乙烟酸对金粳 818 水稻安全性的研究
方法 试验以整株生物测定法测定咪唑乙烟酸对
金粳 818 和杂草稻 JYFN-5 的室内毒力,用药时期
设计播后苗前、1 叶期、2 叶期、3 叶期和 4 叶期。在
10 cm×10 cm×10 cm 的白色塑料盆钵中装土肥比
2:1 的土壤,加水浸湿土壤,播种金粳 818 水稻和杂
草稻 JYFN-5 种子,每盆 15 粒,然后再覆一层细土。

苗前土壤处理在播种后 1 d 进行,按
300 kg/hm² 的用水量配制药液进行喷雾处理,以清
水作为空白对照,设置参数同“1.3.1”节。

茎叶处理待植株长至所需叶龄后定苗至 10 株/盆后进行,按 450 kg/hm² 的用水量配制药液进行喷雾处理,以清水作为空白对照,设置参数同“1.3.1”节。

剂量设置为 0、56.25、112.50、225.00、450.00 g a.i./hm²。每处理重复 4 次,整体试验重复 2 次。

1.4 数据处理

药后观察各杂草和水稻的受害情况,并于药后 21 d 调查称取植株地上部分鲜重,按照下列公式计算鲜重抑制率。

鲜重抑制率 = $\frac{\text{对照鲜重} - \text{处理鲜重}}{\text{对照鲜重}} \times 100\%$ 。

对试验数据进行总结和统计分析。以咪唑乙烟酸剂量为横坐标,鲜重抑制率为纵坐标,在 DPS 15.10 软件中进行线性拟合和方差分析,算得 GR₁₀、GR₉₀ 以及它们的 95% 置信区间。

除草剂对水稻选择性指数(Z)计算公式:

选择性指数 = $\frac{\text{作物 } GR_{10}}{\text{杂草 } GR_{90}}$ 。

式中:GR₁₀表示抑制作物生长 10% 的剂量;GR₉₀表示抑制杂草生长 90% 的剂量。

依据选择性指数规定:选择性指数(Z)≤2 表示对作物不安全,2 < Z ≤ 4 表示对作物相对安全,Z > 4 表示对作物安全^[26]。

2 结果与分析

2.1 咪唑乙烟酸对杂草稻等杂草的毒力

根据试验结果观察发现,施药后杂草出现生长停滞、叶片变黄的状况,但杂草稻的受害症状出现迟 3~7 d。结合表 2 数据可知,供试杂草种群均对咪唑乙烟酸较为敏感,咪唑乙烟酸在 225.00 g a.i./hm² 的剂量下对杂草的防除效果均在 85% 以上。从防除效果来看,咪唑乙烟酸对稗、千金子、马唐、丁香蓼、水苋菜和异型莎草均有较好的防除效果,在 112.50 g a.i./hm² 的剂量下防除效果均在 90% 以上,对杂草稻的毒力低于其他稻田杂草,3 个杂草稻种群在 14.06 g a.i./hm² 的低剂量下鲜重抑制率接近 50%,而 112.50 g a.i./hm² 处理的鲜重抑制率仅达到 80% 左右。咪唑乙烟酸对水竹叶的毒力稍差,但在 112.50 g a.i./hm² 剂量下鲜重抑制率也达到了 81.09%。从 GR₉₀ 值的结果看,咪唑乙烟酸对稻田常见杂草的毒力从高到低依次为千金子、丁香蓼、稗、水苋菜、马唐、异型莎草、水竹叶、杂草稻。

表 2 咪唑乙烟酸对杂草稻及其他常见稻田杂草的毒力

杂草	鲜重抑制率(%)					GR ₉₀ 的 95% 置信区间 (g a.i./hm ²)
	14.06 g a.i./hm ²	28.13 g a.i./hm ²	56.25 g a.i./hm ²	112.50 g a.i./hm ²	225.00 g a.i./hm ²	
杂草稻 JHHY-3	45.93	68.34	73.69	78.48	87.40	311.60(173.95~558.16)
杂草稻 JYFN-5	55.75	69.64	72.99	83.14	91.71	210.90(150.20~296.12)
杂草稻 JLGY-8	41.62	66.11	73.94	75.69	90.33	251.07(137.35~458.95)
稗	76.70	80.00	89.17	95.96	100.00	53.01(39.17~71.74)
马唐	38.96	71.25	88.79	97.00	100.00	60.76(56.42~65.44)
千金子	76.55	85.72	95.63	98.26	99.76	32.84(28.43~37.93)
丁香蓼	73.81	89.14	94.95	98.43	100.00	32.88(30.43~35.52)
异型莎草	40.00	66.43	73.57	92.86	96.43	105.37(84.97~130.66)
水苋菜	67.57	76.28	90.39	100.00	100.00	59.04(39.13~89.07)
水竹叶	—	67.23	79.31	81.09	94.54	156.61(94.90~258.45)

2.2 咪唑乙烟酸不同时期用药对杂草稻的毒力

采用整株生物测定的方法测定了咪唑乙烟酸对不同叶期杂草稻 JYFN-5 的毒力。根据表 3 结果可知,咪唑乙烟酸在播后苗前施药和在 1~3 叶期茎叶处理对杂草稻的防除效果均较好,在 112.50 g a.i./hm² 剂量下均超过 85%。在 4 叶期茎叶处理后,咪唑乙烟酸对杂草稻的鲜重抑制效果稍差,在 225.00 g a.i./hm² 剂量下鲜重抑制率仅能

达到 79.44%,但在 450.00 g a.i./hm² 剂量下也能达到 89.88%。根据 GR₉₀ 排序为播后苗前(26.29 g a.i./hm²) < 1 叶期(74.32 g a.i./hm²) < 2 叶期(189.39 g a.i./hm²) < 3 叶期(274.61 g a.i./hm²) < 4 叶期(562.34 g a.i./hm²)。结果表明咪唑乙烟酸在杂草稻叶龄越小时施用防除效果越好,反之叶龄越大抑制效果越差。

表 3 咪唑乙烟酸对不同叶龄杂草稻的毒力

叶龄	鲜重抑制率(%)				GR ₉₀ 的95%置信区间 (g a. i./hm ²)
	56.25 g a. i./hm ²	112.50 g a. i./hm ²	225.00 g a. i./hm ²	450.00 g a. i./hm ²	
播后苗前	96.81	99.11	99.81	100.00	26.29(25.90~26.68)
1 叶期	88.97	90.91	96.42	100.00	74.32(45.50~121.41)
2 叶期	71.62	85.95	91.43	95.82	189.39(166.86~214.96)
3 叶期	85.35	86.57	87.95	93.71	274.61(254.81~295.96)
4 叶期	66.67	71.61	79.44	89.88	562.34(334.38~945.72)

2.3 咪唑乙烟酸不同时期用药对金粳 818 水稻的毒力

通过对金粳 818 水稻播后苗前施用咪唑乙烟酸发现,水稻植株较对照生长缓慢,植株出现矮化的现象,茎叶处理施药后金粳 818 植株在不同剂量处理下均出现植株生长受阻、老叶叶缘枯黄的症状,但低剂量下的药害能够恢复,新叶正常生长,而 450.00 g a. i./hm² 剂量下受到的药害基本无法恢

复。根据表 4 咪唑乙烟酸对不同叶龄金粳 818 的鲜重抑制率可知,咪唑乙烟酸对 2 叶期及以前的金粳 818 的 GR₁₀分别为 34.29、51.82、61.89 g a. i./hm²,而对 3 叶期和 4 叶期用药的 GR₁₀分别为 134.28、101.19 g a. i./hm²,表明咪唑乙烟酸播后苗前施用和在金粳 818 水稻 1~2 叶期茎叶喷雾容易导致金粳 818 水稻产生药害。

表 4 咪唑乙烟酸对不同叶龄金粳 818 的毒力

叶龄	鲜重抑制率(%)				GR ₁₀ 的95%置信区间 (g a. i./hm ²)
	56.25 g a. i./hm ²	112.50 g a. i./hm ²	225.00 g a. i./hm ²	450.00 g a. i./hm ²	
播后苗前	13.32	21.50	32.60	38.67	34.29(24.30~48.39)
1 叶期	7.81	35.58	53.13	64.90	51.82(29.52~90.25)
2 叶期	9.88	19.62	30.60	61.12	61.89(44.97~85.18)
3 叶期	0.09	25.04	27.22	61.25	134.28(80.96~222.71)
4 叶期	2.22	20.06	27.42	42.69	101.19(65.23~156.97)

2.4 咪唑乙烟酸不同时期用药对金粳 818 水稻的选择性指数

根据表 3 咪唑乙烟酸对不同叶龄杂草稻的毒力(GR₉₀)、表 4 咪唑乙烟酸对不同叶龄的金粳 818 的毒力(GR₁₀)及选择性指数计算公式,求出咪唑乙烟酸对不同叶龄金粳 818 的选择性指数(表 5)。结果发现,咪唑乙烟酸对不同叶龄金粳 818 的选择性指数分别为 1.30、0.70、0.33、0.49、0.18,都<4,说明金粳 818 水稻对咪唑乙烟酸不安全。尽管杂草稻叶龄越小,咪唑乙烟酸的鲜重抑制率越高,但金粳 818 水稻的叶龄越小,其安全性越差。

表 5 咪唑乙烟酸不同时期用药对金粳 818 水稻的选择性指数

叶龄	杂草 GR ₉₀ (g a. i./hm ²)	金粳 818 GR ₁₀ (g a. i./hm ²)	选择性指数
播后苗前	26.29	34.29	1.30
1 叶期	74.32	51.82	0.70
2 叶期	189.39	61.89	0.33
3 叶期	274.61	134.28	0.49
4 叶期	562.34	101.19	0.18

3 讨论与结论

随着旱直播水稻的推广,杂草稻的危害日趋严重,近年以金粳 818 为代表的耐咪唑啉酮水稻和配套药剂咪唑乙烟酸开始在国内大面积种植和使用,但对杂草稻的防治效果及对作物的安全性未有定论。本研究发现,咪唑乙烟酸对大部分水稻田常见一年生杂草均有较高防效,在 112.50 g a. i./hm² 的剂量下防除效果可达到 90% 以上,对水竹叶和杂草稻的防除效果较差,在 225 g a. i./hm² 剂量下鲜重抑制率才能达到 90%。这可能和水竹叶对 ALS 抑制剂天然不敏感有关^[27-29]。同时,也有多个研究发现,杂草稻本身具有耐受性、抗逆性和解毒功能强的生存优势,Fogliatto 等研究发现,杂草稻对草甘膦和百草枯的敏感性较其他杂草更差^[30-31],1999 年在得克萨斯州也发现咪唑乙烟酸对杂草稻的除草剂效果不佳,在 70 g a. i./hm² 剂量下抑制率为 85%^[32]。但咪唑乙烟酸在金粳 18 水稻田的使用主要是为防除杂草稻,兼防其他水稻田杂草。且根据

安全性试验发现咪唑乙烟酸仍然会对金粳 818 产生药害, 112. 50 g a. i./hm² 剂量下鲜重抑制率为 19. 62% ~ 35. 58%, 整体上看施药的叶龄越大, 抑制率越低, 但对杂草稻的毒力随之降低, 导致咪唑乙烟酸对金粳 818 的选择性指数低。

综上所述, 咪唑乙烟酸对杂草稻的毒力较低, 对耐咪唑啉酮的水稻金粳 818 不安全, 不适用于耐咪唑啉酮水稻田防除杂草稻。

参考文献:

- [1] 辛明金, 任文涛, 宋玉秋, 等. 早直播对水稻生长及产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45 (2): 175 - 179.
- [2] Kumar V, Ladha J K. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs [J]. Advances in Agronomy, 2011, 111: 297 - 413.
- [3] 周锡跃, 徐春春, 李凤博, 等. 世界水稻产业发展现状、趋势及对我国的启示[J]. 农业现代化研究, 2010, 31 (5): 525 - 528.
- [4] 周燕芝, 王文霞, 陈丽明, 等. 直播稻田杂草发生与防除研究进展[J]. 作物杂志, 2019 (4): 1 - 9.
- [5] 陈永凡. 水稻早直播田杂草发生特点及化除技术[J]. 种业导刊, 2011 (6): 24 - 25.
- [6] 蔡建华, 焦骏森, 戴思金, 等. 早直播稻田杂草发生特点及化除技术[J]. 杂草科学, 2007, 25 (1): 41 - 42.
- [7] 沈素文, 李建伟, 邱光, 等. 江苏省直播稻田杂草的发生规律与综合防除技术研究[J]. 杂草科学, 2006, 24 (2): 18 - 20.
- [8] 陈雷, 金曼, 张维乐, 等. 杂草稻的特性及其危害与防治研究进展[J]. 作物学报, 2020, 46 (7): 969 - 977.
- [9] 代磊, 戴伟民, 宋小玲, 等. 江苏省杂草稻植物学性状的多样性[J]. 杂草科学, 2014, 32 (1): 10 - 18.
- [10] 张峥, 戴伟民, 章超斌, 等. 江苏沿江地区杂草稻的生物学特性及危害调查[J]. 中国农业科学, 2012, 45 (14): 2856 - 2866.
- [11] Mazur B J, Chui C F, Smith J K. Isolation and characterization of plant genes coding for acetolactate synthase, the target enzyme for two classes of herbicides [J]. Plant Physiology, 1987, 85 (4): 1110 - 1117.
- [12] Cole T A, Wehtje G R, Wilcut J W, et al. Behavior of imazethapyr in soybeans (*Glycine max*), peanuts (*Arachis hypogaea*), and selected weeds[J]. Weed Science, 1989, 37 (5): 639 - 644.
- [13] 苏少泉. 大豆田除草剂使用与变迁[J]. 现代农药, 2011, 10 (6): 10 - 14.
- [14] Croughan T P. Herbicide resistant rice: United States, O97/A41218 [P]. 1997 - 06 - 11.
- [15] Croughan T P. Herbicide resistant rice: United States, W000/27182 [P]. 2001 - 05 - 18.
- [16] Steele G L, Chandler J M, McCauley G N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone - tolerant rice (*O. sativa*) [J]. Weed Technology, 2002, 16 (3): 627 - 630.
- [17] Sudianto E, Beng - Kah S, Ting - Xiang N, et al. Clearfield® rice: its development, success, and key challenges on a global perspective [J]. Crop Protection, 2013, 49: 40 - 51.
- [18] Bzour M I, Zuki F M, Mispan M S. Introduction of imidazolinone herbicide and Clearfield® rice between weedy rice - control efficiency and environmental concerns[J]. Environmental Reviews, 2018, 26 (2): 181 - 198.
- [19] 陈竹锋, 王承旭, 柳威, 等. 水稻抗除草剂蛋白及其在植物育种中的应用: CN102586215B [P]. 2013 - 04 - 17.
- [20] 杨兴柏, 张文文, 甘国平, 等. 鄂中区域水稻洁田耕作模式技术规范[J]. 农业科技通讯, 2020 (9): 184 - 185.
- [21] 浦惠明, 高建芹, 龙卫华, 等. 油菜抗咪唑啉酮性状的遗传及其应用[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33 (1): 15 - 19.
- [22] 胡茂龙, 程丽, 郭月, 等. 油菜抗咪唑啉酮类除草剂基因标记的开发与应用[J]. 作物学报, 2020, 46 (10): 1639 - 1646.
- [23] 李梦臣, 冯志明, 崔傲, 等. 抗咪唑啉酮类除草剂基因 ALS627N 改良粳稻品种除草剂抗性研究[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (18): 263 - 269.
- [24] 陈涛, 张善磊, 赵凌, 等. ALS 抑制剂类除草剂抗性水稻功能标记的开发与验证[J]. 中国水稻科学, 2018, 32 (2): 137 - 145.
- [25] 新华日报. 一款除草剂让上万亩水稻遭殃, 除草剂为何变“除稻剂”? 监管何在? [J]. 农药市场信息, 2018 (26): 39, 66.
- [26] 王俊平, 于佳星, 李俊, 等. 新型酰胺类除草剂 NC1 的除草剂作用及对水稻的安全性[J]. 植物保护, 2022, 48 (1): 150 - 157.
- [27] 何锦豪, 周小军, 孙裕建, 等. 金华农区早稻直播田杂草的发生及防除[J]. 浙江农业学报, 2000, 12 (6): 331 - 334.
- [28] 田志慧, 沈国辉, 芦芳, 等. 麦稻田水竹叶发生特点及其化学防除技术研究[J]. 上海农业学报, 2015, 31 (4): 1 - 5.
- [29] 芦芳, 顾士光, 田志慧, 等. 金山区稻麦轮作田水竹叶发生动态及药剂防治技术初探[J]. 中国植保导刊, 2016, 36 (7): 29 - 32, 72.
- [30] Fogliatto S, Ferrero A, Vidotto F. How can weedy rice stand against abiotic stresses? A review [J]. Agronomy, 2020, 10 (9): 1284.
- [31] Kuk Y I, Burgos N R, Shivrain V K. Natural tolerance to imazethapyr in red rice (*Oryza sativa*) [J]. Weed Science, 2008, 56 (1): 1 - 11.
- [32] Noldin J A, Chandler J M, Ketchersid M L, et al. Red rice (*Oryza sativa*) biology. II. Ecotype sensitivity to herbicides [J]. Weed Technology, 1999, 13 (1): 19 - 24.