

新型酰胺类除草剂 NC1 的除草作用及对水稻的安全性

王俊平, 于佳星, 李俊, 董立尧*

(南京农业大学植物保护学院, 农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室, 南京 210095)

摘要 为了明确新型除草剂 NC1 的杀草谱、施药时期、使用剂量及对水稻的安全性, 采用种子生物测定法测定 34.5% NC1 悬浮剂对稗草的生物活性, 并与 30% 丙草胺乳油进行比较; 采用室内整株生物测定法测定 34.5% NC1 SC 不同时期处理对禾本科杂草的控制作用和对水稻的安全性, 并进行田间验证。结果表明: NC1 对稗草种子的生物活性优于对照药剂丙草胺, 且用量低。播后苗前用有效成分用量 30 g/hm² NC1 SC 土壤处理, 对供试敏感和抗性禾本科杂草的鲜重抑制率均高于 93.26%, 对水稻的选择性指数为 4.12~27.82, 对水稻安全; 在杂草 2.5~3.5 叶期用有效成分用量 144 g/hm² NC1 SC 茎叶喷雾处理, 对稗属敏感杂草的鲜重抑制率均高于 90.57%, 对稗属抗性杂草、千金子、马唐的鲜重抑制效果稍差。9~144 g/hm² NC1 SC 茎叶喷雾对 1.5~3.5 叶期的水稻安全, 其鲜重与对照相比无显著差异。田间试验表明: 34.5% NC1 SC 在直播水稻田播后苗前以有效成分用量 60~75 g/hm² 土壤处理或杂草 1.5~2 叶期以有效成分用量 100~112.5 g/hm² 茎叶处理, 对禾本科杂草的防效均高于 92.47%, 且目测对水稻生长均无影响。NC1 可以有效防除水稻田一年生禾本科杂草且对水稻安全。

关键词 杂草防除; 水稻; 酰胺类除草剂; 禾本科杂草; 施药时期; 安全性

中图分类号: S451.21 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020663

Herbicidal activity of the new-type amide herbicide NC1 and its safety on rice

WANG Junping, YU Jiaxing, LI Jun, DONG Liyao*

(College of Plant Protection, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract To clarify the weed spectrum, application period, application dosage and safety to rice of NC1, herbicidal activity of NC1 34.5% SC against *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* was determined using seed bioassay, and the pretilachlor 30% EC was used as a control. A whole-plant bioassay was conducted to determine the herbicidal activity of NC1 34.5% SC on annual gramineous weeds and safety to rice, and field trials were then performed to confirm its performance in the control of annual gramineous weeds and rice safety. The results revealed that the bioactivity of NC1 to the seeds of *E. crus-galli* var. *crus-galli* was better than that of pretilachlor 30% EC (the control) at much lower dosage. As a pre-emergence herbicide at a dose of 30 g/hm², the fresh weight inhibition rates of NC1 34.5% SC against the susceptible and resistant annual gramineous weeds were all above 93.26%; the selectivity index (Z) of rice ranged from 4.12 to 27.82, and it was safe to rice. At the 2.5- to 3.5-leaf stages of grass weeds, the fresh weight inhibition rates of 144 g/hm² NC1 to susceptible *Echinochloa* spp. were all above 90.57% after foliar spray treatment, but its effects to resistant *Echinochloa* spp., *Leptochloa chinensis* and *Digitaria sanguinalis* were slightly lower. It was safe for rice at the 1.5- to 3.5-leaf stage and there was no significant difference in fresh weight between 9~144 g/hm² NC1 treatment and control. Field test results showed that, when NC1 was treated with the dose of 60 and 75 g/hm² as a pre-emergence herbicide, or by foliar spray treatment at the 1.5- to 2-leaf stage at the dose of 100 and 112.5 g/hm², the control efficacies of annual gramineous weeds were both higher than 92.47% and no negative effect on the growth of rice seedlings was observed by visual inspection. NC1 could be applied in rice fields to

收稿日期: 2020-12-10 修订日期: 2020-12-28

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200300)

* 通信作者 E-mail: dly@njau.edu.cn

effectively control annual gramineous weeds and was safe to rice seedlings.

Key words weed control; rice; amide herbicide; gramineous weed; application period; safety

水稻是世界三大粮食作物之一,也是我国最主要的粮食作物,其播种面积占全国粮食播种面积的 30%左右,产量占 50%左右^[1-2]。水稻作为重要的农作物,保障其生产安全具有重要的意义,但杂草是影响水稻产量和品质的重要因素之一^[3-4]。据统计,我国水稻每年因杂草危害造成的产量损失约 1 000 万 t,平均损失率在 15%左右,危害严重时造成水稻减产 50%以上^[5]。近年来,随着农村劳动力的减少,水稻从传统的移栽方式向直播方式转变^[6-7],稻田禾本科杂草演变为以稗 *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*、无芒稗 *E. crus-galli* var. *mitis*、西来稗 *E. crus-galli* var. *zelayensis*、硬稗稗 *E. glabrescens*、千金子 *Leptochloa chinensis*、马唐 *Digitaria sanguinalis* 等多种杂草种群混生危害,给稻田杂草防除提出了新的挑战^[8-9]。

化学防除仍是目前稻田杂草治理最经济有效的方法,为水稻丰产丰收作出了巨大的贡献^[10]。但是随着除草剂长时间大量使用也带来了杂草抗药性、杂草群落演替、常规药剂防效不理想、水稻药害等问题^[11],特别是稻田杂草抗药性问题发生严重,据报道,全球已经有 164 种稻田杂草生物型对 9 种不同作用机理的除草剂产生了抗药性^[12]。

农民为了有效防除田间抗性杂草,随意提高除草剂用量的现象普遍存在,这样不仅提高了稻田杂草化学防除的成本,而且导致水稻药害严重,甚至颗粒无收,还会严重破坏生态系统的平衡^[13-15]。针对稻田杂草发生新形势以及防除现状,研发新型高效、安全、可有效防除稻田杂草的除草剂具有重要的意义^[16-18]。

NC1 是一种能有效防除水稻田禾本科杂草、阔叶草和莎草无效的新型酰胺类除草剂。目前尚无任何关于 NC1 的除草活性及其对作物安全性的报道。本文的主要目的:1)明确 NC1 防除稻田禾本科杂草的使用剂量和时期;2)田间试验评价 NC1 对水稻田禾本科杂草的作用,以期为该药剂的推广使用提供理论依据及实践指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试杂草:杂草种子采集信息见表 1。敏感和抗性的杂草种子均采自农田,后置于阴凉处自然风干,随后装入种子袋中,将其储存在 4℃ 冰箱里待用,每年繁种以保持种子活力。抗性种群每年繁种时用相应的药剂处理,使其保持抗性。

表 1 供试杂草信息
Table 1 The collection information of weed seeds

供试种子 Test seed	采集时间/年-月 Collection time	采集地点 Collection site	抗性 Resistant
稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	2012-10	江苏省连云港市赣榆县	敏感
西来稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i>	2010-10	江苏省农业科学院	敏感
硬稗稗 <i>E. glabrescens</i>	2015-10	江苏省扬州市江都区	敏感
无芒稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	2012-10	安徽省宣城市宣州区	敏感
千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	2013-10	江苏省淮安市淮安区	敏感
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	2015-10	江苏省江浦农场	敏感
稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i> (R)	2012-10	安徽省宣城市宣州区	抗五氟磺草胺
西来稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (R)	2010-10	上海市松江区	抗二氟喹啉酸
硬稗稗(R) <i>E. glabrescens</i> (R)	2015-10	上海市青浦区天恩桥村盈浦街道	抗五氟磺草胺
无芒稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i> (R)	2012-10	江苏省江阴市马镇工业园区	抗五氟磺草胺
千金子(R) <i>L. chinensis</i> (R)	2014-10	浙江省杭州市余杭区	抗氰氟草酯

供试水稻:籼稻‘早优 73’、粳稻‘徐稻 9 号’、糯稻‘大华 1 号’于 2017 年购买于市场,粳稻‘淮稻 5 号’由农户提供。

1.2 供试药剂

34.5% NC1 悬浮剂(SC),南京农业大学植物

保护学院除草剂毒理与抗药性实验室提供;30% 丙草胺乳油(EC),江苏东宝农药化工股份有限公司;40% 苄嘧·丙草胺可湿性粉剂(WP),浙江天一农化有限公司市售产品;60 g/L 五氟·氰氟草可分散油悬浮剂(OD),科迪华农业科技有限责任

公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 种子生物测定法测定 NC1 对稗草的生物活性

参照徐洪乐的种子生物测定法,并略作改动^[19],将 15 粒已解除休眠的稗草种子放于铺有两层定性滤纸直径为 9 cm 的培养皿中,每个处理 4 次重复,加入 5 mL 0.025、0.05、0.1、0.2、0.4、0.8 mg/L 的 NC1(浓度根据预试验确定,均为有效成分用量),以丙草胺作为对照药剂。加盖保持湿润,并封上封口膜,置于光照培养箱内(昼夜温度 30℃/25℃;光照周期:L/D=12 h/12 h,光照强度为 8 000 lx)。10 d 后测量稗草的根(芽)长,计算根(芽)长抑制率。

1.3.2 NC1 土壤处理对禾本科杂草的生物活性

根据前期预试验药剂剂量,设置 34.5% NC1 SC 有效成分用量 1.875、3.75、7.5、15、30、60 g/hm²,以清水喷雾为对照,每个处理设置 4 个重复。参照 Fang 等的室内整株生物测定法^[20],将取自南京城郊的农田土和江苏兴农基质科技公司的有机栽培基质肥按质量比 1:1 混匀,过筛并高温灭菌,混合土 pH 为 6.1,有机质含量为 1.4%。将混合土装入规格为 7 cm×7 cm×7 cm 且底部打孔的小白盒中,底部吸水至土壤水分饱和,分别播种 20 粒已经解除休眠的杂草种子,并覆上 1~2 cm 的细土,播后 3 d 保持土壤湿润,杂草未出芽时进行土壤喷雾。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进行喷雾,喷头型号为 TP6501E 扇形喷头,流量为 390 mL/min,有效喷幅 350 mm,行走距离 1 340 mm,行走速度 432 mm/s,喷液压力为 0.3 MPa,喷雾高度 200 mm,喷雾面积 0.312 m²。按公式(1)称取药剂质量(*m*)并稀释到所需要的剂量;按公式(2)计算喷液量(*V*),其中喷雾塔喷液量与田间喷液量 45 L/667m² 保持一致,建议喷施 20 mL。待药剂晾干后,放入温室培养(模拟田间生长环境,光照为自然光照),需要时从小白盒底部浇水以保持土壤湿润。施药后 30 d,剪下杂草地上部分称鲜重,按公式(3)计算鲜重抑制率。

药剂质量=(药剂设置有效成分剂量×喷雾面积×配置体积)/(制剂质量×10 000×喷液量) (1)

喷液量=田间每平方米用水量×喷雾面积 (2)

鲜重抑制率=(对照组鲜重-处理组鲜重)/对照组鲜重×100% (3)

1.3.3 NC1 茎叶处理对禾本科杂草的生物活性

根据前期预试验药剂剂量,设置 34.5% NC1 SC 的有效成分用量 9、18、36、72、144、288 g/hm²,以清水喷雾为对照。每盆播种已经解除休眠的杂草种子 20 粒左右,培养方法同 1.3.2。待杂草长至 2.5~3.5 叶期时,每盆定苗至长势一致杂草 10 株且每个处理 4 盆。喷雾塔参数为行走速度 291 mm/s,喷雾高度 300 mm,喷雾面积 0.469 m²,喷雾塔喷液量与田间喷液量 45 L/667m² 保持一致,建议喷施 30 mL。药后 21 d,将杂草地上部分剪下称鲜重,并计算鲜重抑制率。

1.3.4 NC1 对不同类型水稻的安全性

选取 3 种不同类型的水稻:籼稻‘早优 73’、粳稻‘徐稻 9 号’、糯稻‘大华 1 号’室内模拟旱直播的条件,每盆播种水稻种子 15 粒左右,并与杂草(稗属杂草、千金子、马唐)同时播种。水稻播后 3 d 进行土壤处理,施药方法及药后培养条件同 1.3.2。计算水稻与杂草的选择性指数(*Z*),当 $Z < 2$ 表示对作物不安全;当 $2 < Z < 4$ 表示对作物相对安全;当 $Z > 4$ 表示对作物安全^[21]。

$Z = \text{抑制水稻 } 10\% \text{ 的剂量} / \text{抑制杂草 } 90\% \text{ 的剂量}$ 。

1.3.5 NC1 对不同叶龄水稻的安全性

间隔一定时间播种 3 种不同类型的水稻,待水稻分别生长到 1.5、2.5、3.5 叶期时进行茎叶喷雾,其他条件同 1.3.3。

1.3.6 NC1 土壤处理田间试验

田间试验于 2018 年 6 至 8 月在江苏省扬州市江都区宜陵镇同心村进行,试验地前茬为小麦,试验地主要发生稗、千金子等一年生禾本科杂草。水稻(‘淮稻 5 号’)于 2018 年 6 月 19 日播种,播后 3 d 喷雾处理,34.5% NC1 SC 的有效成分用量 60、75、90、150 g/hm²,以 40% 苄嘧·丙草胺 WP 有效成分用量 480 g/hm² 为对照药剂。每个处理设 3 个重复,随机区组排列,每个小区面积 20 m² (4 m×5 m)。喷雾使用新加坡利农 HD400 手动喷雾器(容量为 16 L),配除草剂专用扇形喷头,喷雾压力为 450 kPa,喷液量为 45 L/667m²。施药时田块平整,保证供试各小区畦面无明显积水,施药后确保土壤湿润。调查采取随机取样计数法,于药后 45 d 每个小区取 3 个点,每个点 0.25 m²,分别记录样方内的禾本科杂草株数并称取鲜重,计算株防效和鲜重防效。

1.3.7 NC1 茎叶处理田间试验

于杂草 1.5~2 叶期喷雾处理,34.5% NC1 SC 有效成分用量 100、112.5、125、250 g/hm²,以 60 g/L 五氟·氰氟草 OD 有效成分用量 180 g/hm² 为对照药剂,施药时先排除多余田水,保持水膜或 1~2 cm 浅水层;药后 24 h 回水正常管理,确保不没秧心。其他条件同 1.3.6。

1.4 数据分析

试验数据通过 DPS 15.10、Excel 2010 进行统计分析,并用 Duncan 氏新复极差法($P<0.05$)进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 种子生物测定法测定 NC1 对稗草的生物活性

由表 2 可知:34.5% NC1 SC 处理稗草种子后 10 d,对敏感和抗性稗草芽长的 EC₉₀ 分别为 0.15 mg/L 和 0.36 mg/L,对根长的 EC₉₀ 分别为 0.09 mg/L 和 0.15 mg/L;30%丙草胺 EC 处理稗草种子,对敏感和抗性稗草芽长的 EC₉₀ 分别为 0.25 mg/L 和 0.60 mg/L,对根长的 EC₉₀ 分别为 0.16 mg/L 和 0.33 mg/L。NC1 对稗草根长抑制作用优于芽长,与对照药剂丙草胺抑制作用一致,但 NC1 的用量更低。

表 2 34.5% NC1 悬浮剂与 30%丙草胺乳油对稗草种子的生物活性(施药后 10 d)
Table 2 Bioactivity of NC1 34.5% SC and pretilachlor 30% EC against *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* by seed bioassay (10 d after treatment)

药剂 Herbicide	供试杂草 Test weed		根(芽)长抑制率/% Inhibition rate of root (shoot) length						EC ₉₀ (95% CL)/ mg • L ⁻¹	R
			0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8		
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
NC1 34.5% SC	稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	根	61.17	80.85	91.19	100.00	100.00	100.00	0.09(0.08~0.09)	0.998 9
		芽	52.23	67.57	81.68	93.81	100.00	100.00	0.15(0.13~0.18)	0.993 8
	稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i> (R)	根	45.70	67.55	82.12	94.04	100.00	100.00	0.15(0.13~0.16)	0.998 3
		芽	26.98	42.33	64.11	80.94	91.09	100.00	0.36(0.34~0.39)	0.999 2
30%丙草 胺 EC pretilachlor 30% EC	稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	根	34.96	52.65	78.32	93.81	100.00	100.00	0.16(0.14~0.19)	0.994 0
		芽	25.49	47.33	70.87	86.55	94.95	100.00	0.25(0.24~0.26)	0.999 6
	稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i> (R)	根	35.10	45.03	63.58	78.15	94.70	96.69	0.33(0.23~0.46)	0.979 7
		芽	10.11	30.71	41.76	60.11	81.09	95.13	0.60(0.47~0.76)	0.991 4

2.2 NC1 土壤处理对禾本科杂草的生物活性

由表 3 可知,药后 30 d,34.5% NC1 SC 土壤处理对稗属杂草、千金子、马唐均具有较高的生物活性,其 ED₉₀ 为 4.56~26.41 g/hm²。在有效成分用

量 7.5 g/hm² 时,对敏感千金子、马唐和抗性千金子的鲜重抑制率高于 93.66%;在有效成分用量 30 g/hm² 时,对稗属敏感和抗性的杂草鲜重抑制率均高于 93.26%。

表 3 34.5% NC1 悬浮剂土壤处理对禾本科杂草的生物活性(施药后 30 d)
Table 3 Bioactivity of NC1 34.5% SC against gramineous weeds under pre-emergence treatment (30 d after treatment)

供试杂草 Test weed	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight						ED ₉₀ (95% CL)/ g•(hm ²) ⁻¹	R
	1.875	3.75	7.5	15	30	60		
	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²		
稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	46.61	62.55	79.48	93.43	100.00	100.00	12.27(10.15~14.84)	0.992 9
西来稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i>	30.75	44.64	73.61	83.53	94.84	100.00	20.03(16.78~23.91)	0.993 7
硬稗稗 <i>E. glabrescens</i>	22.48	34.48	54.89	82.66	93.58	100.00	24.20(19.21~30.49)	0.991 2
无芒稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	13.70	34.35	51.09	75.43	93.26	100.00	26.41(22.19~31.44)	0.995 4
千金子 <i>L. chinensis</i>	52.86	80.95	98.00	100.00	100.00	100.00	4.56(4.01~5.19)	0.994 1
马唐 <i>D. sanguinalis</i>	41.31	78.64	93.66	100.00	100.00	100.00	5.95(5.21~6.79)	0.995 7
稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i> (R)	13.60	44.70	60.42	77.15	95.23	100.00	21.95(16.90~28.50)	0.991 5
西来稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (R)	20.38	42.13	81.77	92.01	96.88	100.00	12.44(9.89~15.65)	0.989 8
硬稗稗(R) <i>E. glabrescens</i> (R)	15.98	37.76	55.95	81.80	94.39	100.00	22.54(20.09~25.29)	0.997 6
无芒稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i> (R)	19.01	33.09	51.66	72.79	95.69	100.00	24.71(17.09~35.72)	0.998 5
千金子(R) <i>L. chinensis</i> (R)	64.66	76.69	95.21	100.00	100.00	100.00	5.51(3.88~7.83)	0.967 4

2.3 NC1 茎叶处理对禾本科杂草的生物活性

由表 4 可知,药后 21 d, 34.5% NC1 SC 茎叶处理对 2.5~3.5 叶期禾本科杂草的生物活性要弱于土壤处理,对抗性杂草的鲜重抑制效果要低于同种敏感杂草,其 ED₉₀ 为 118.34~274.86 g/hm²。对千金子、马唐的鲜重抑制效果较差。在有效成分用

量 144 g/hm² 时, 34.5% NC1 SC 对稗属敏感杂草的鲜重抑制率高于 90.57%;对稗属抗性杂草的鲜重抑制率为 71.39%~86.78%。在有效成分用量 288 g/hm² 时,对敏感千金子、马唐的鲜重抑制率分别为 88.43%和 93.07%;对抗性千金子的鲜重抑制率为 57.34%。

表 4 34.5% NC1 悬浮剂茎叶处理对禾本科杂草的生物活性(施药后 21 d)

Table 4 Bioactivity of NC1 34.5% SC against gramineous weeds under foliar treatment (21 d after treatment)

供试杂草 Test weed	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight						ED ₉₀ (95% CL)/ g·(hm ²) ⁻¹	R
	9	18	36	72	144	288		
	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²	g/hm ²		
稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	13.42	28.34	51.35	73.39	92.38	95.21	135.51(117.33~156.51)	0.997 0
西来稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i>	17.21	31.16	55.90	71.11	90.57	95.12	142.21(127.52~184.61)	0.995 7
硬稗 <i>E. glabrescens</i>	12.48	43.58	63.56	78.48	91.08	95.11	122.18(90.90~164.24)	0.986 4
无芒稗 <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	22.53	46.71	60.71	84.61	91.40	100.00	118.34(96.80~144.66)	0.993 4
千金子 <i>L. chinensis</i>	6.06	18.87	25.01	48.02	68.43	88.43	379.91(285.78~505.03)	0.992 3
马唐 <i>D. sanguinalis</i>	4.55	18.53	25.34	44.27	71.28	93.07	259.92(205.07~329.44)	0.992 9
稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i> (R)	12.52	23.62	33.19	69.21	85.35	92.08	226.38(170.00~300.19)	0.988 8
西来稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (R)	23.91	43.43	66.06	75.79	86.78	94.51	172.79(147.76~202.07)	0.995 6
硬稗(R) <i>E. glabrescens</i> (R)	25.73	33.89	46.67	62.88	78.96	94.79	249.91(164.77~379.04)	0.977 8
无芒稗(R) <i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i> (R)	12.20	21.58	30.83	45.38	71.39	92.17	274.86(151.53~498.55)	0.989 2
千金子(R) <i>L. chinensis</i> (R)	11.22	24.95	34.59	38.19	48.96	57.34	>288.00	—

2.4 NC1 对不同类型水稻的安全性

施药后目测观察,各药剂处理土壤后水稻种子均能顺利萌发,且株高、叶色、叶片数均生长正常,未见药害。由表 5 可知,34.5% NC1 SC 土壤处理对水稻(籼稻‘早优 73’、粳稻‘徐稻 9 号’、糯稻‘大华 1 号’)和禾本科杂草(稗、西来稗、硬稗、无芒稗、千

金子、马唐)的选择性指数在 4.12~27.82 之间,大于 4,表明 34.5% NC1 SC 对供试水稻安全。在有效成分用量 60 g/hm² 时,对籼稻的抑制率为 7.14%,鲜重显著低于对照,且 NC1 各剂量处理对籼稻鲜重抑制率要高于粳稻和糯稻的鲜重抑制率。因此针对不同类型水稻施药时,要注意使用剂量。

表 5 34.5% NC1 悬浮剂土壤处理对不同类型水稻安全性¹⁾

Table 5 Safety of NC1 34.5% SC to rice seedlings of different varieties under pre-emergence treatment

有效成分用量/ g•(hm ²) ⁻¹ Dosage of active ingredient	粳稻‘徐稻 9 号’ Japonica ‘Xudao 9’		籼稻‘早优 73’ Indica ‘Hanyou 73’		糯稻‘大华 1 号’ Glutinous ‘Dahua 1’	
	鲜重/mg Fresh weight	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight	鲜重/mg Fresh weight	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight	鲜重/mg Fresh weight	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight
0	(2 385±148)a	0.00	(4 375±134)a	0.00	(1 808±46)a	0.00
1.875	(2 373±209)a	0.52	(4 305±784)a	1.60	(1 805±53)a	0.14
3.75	(2 368±97)a	0.73	(4 268±398)a	2.46	(1 795±57)a	0.69
7.5	(2 348±116)a	1.57	(4 185±376)a	4.34	(1 778±333)a	1.66
15	(2 298±266)a	3.67	(4 140±222)a	5.37	(1 755±72)a	2.90
30	(2 283±116)a	4.29	(4 105±419)ab	6.17	(1 738±71)a	3.87
60	(2 245±19)a	5.87	(4 063±182)b	7.14	(1 733±185)a	4.15
ED ₁₀ (95%CL)/ g•(hm ²) ⁻¹	122.34(72.82~205.56)		108.70(55.93~211.25)		126.85(49.09~327.80)	
选择性指数(Z) Selectivity index(Z)	4.12~27.82					

1) 表中数据为平均值±标准误。同列不同小写字母表示不同剂量间差异显著($P<0.05$)。下同。
Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level among different doses($P<0.05$). The same applies below.

2.5 NC1 对不同叶龄水稻的安全性

施药后目测观察,各药剂处理的水稻株高、叶色、叶片数均生长正常,未见药害。由表 6 可知,34.5% NC1 SC 有效成分用量 9~288 g/hm² 范围内茎叶处理,各处理 2.5、3.5 叶期的水稻(籼稻‘早优 73’、粳稻‘徐稻 9 号’、糯稻‘大华 1 号’)的鲜重与清水对照无显著差异,说明对供试水稻安全;有效成

分用量 9~144 g/hm² 时,1.5 叶期的 3 种水稻的鲜重与清水对照无显著差异,说明对供试水稻均安全,但当有效成分用量为 288 g/hm² 时,对籼稻、粳稻的抑制率分别为 7.80%、7.48%,鲜重显著低于清水对照,且 NC1 各处理剂量对 1.5 叶期水稻的鲜重抑制率要高于 2.5、3.5 叶期水稻的鲜重抑制率,因此早期施药时要注意使用剂量。

表 6 34.5% NC1 悬浮剂茎叶处理对不同叶期水稻安全性
Table 6 Safety of NC1 34.5% SC to rice at different leaf stages under foliar treatment

水稻类型 Type of rice	有效成分用量/ g·(hm ²) ⁻¹ Dosage of active ingredient	1.5 叶期 1.5-leaf stage		2.5 叶期 2.5-leaf stage		3.5 叶期 3.5-leaf stage	
		鲜重/mg Fresh weight	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight	鲜重/mg Fresh weight	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight	鲜重/mg Fresh weight	鲜重抑制率/% Inhibition rate of fresh weight
粳稻‘徐稻 9 号’ Japonica ‘Xudao 9’	0	(2 170±83)a	0.00	(2 403±142)a	0.00	(3 503±127)a	0.00
	9	(2 150±71)a	0.92	(2 398±93)a	0.14	(3 500±95)a	0.09
	18	(2 123±74)a	2.19	(2 390±169)a	0.43	(3 493±60)a	0.29
	36	(2 100±67)a	3.23	(2 365±193)a	1.13	(3 467±39)a	1.05
	72	(2 068±159)a	4.72	(2 360±211)a	1.70	(3 447±152)a	1.62
	144	(2 048±170)ab	5.64	(2 325±171)a	3.26	(3 403±246)a	2.85
	288	(2 008±53)b	7.48	(2 285±198)a	4.82	(3 387±129)a	3.33
籼稻‘早优 73’ Indica ‘Hanyou 73’	0	(2 468±203)a	0.00	(3 010±39)a	0.00	(3 390±117)a	0.00
	9	(2 440±114)a	1.11	(2 983±222)a	0.91	(3 373±132)a	0.52
	18	(2 408±178)a	2.43	(2 955±71)a	1.83	(3 338±96)a	1.55
	36	(2 378±156)a	3.65	(2 945±98)a	2.16	(3 325±186)a	1.92
	72	(2 345±145)a	4.96	(2 913±53)a	3.24	(3 305±378)a	2.51
	144	(2 325±150)ab	5.78	(2 883±148)a	4.24	(3 255±210)a	3.98
	288	(2 275±135)b	7.80	(2 840±91)a	5.65	(3 230±63)a	4.72
糯稻‘大华 1 号’ Glutinous ‘Dahual’	0	(1 998±217)a	0.00	(2 393±225)a	0.00	(2 713±180)a	0.00
	9	(1 988±168)a	0.50	(2 383±13)a	0.42	(2 705±125)a	0.28
	18	(1 965±135)a	1.63	(2 365±37)a	1.15	(2 685±133)a	1.01
	36	(1 950±67)a	2.38	(2 340±112)a	2.19	(2 660±125)a	1.94
	72	(1 925±104)a	3.63	(2 338±142)a	2.30	(2 653±158)a	2.21
	144	(1 923±153)a	3.75	(2 325±89)a	2.82	(2 638±119)a	2.76
	288	(1 898±113)a	5.01	(2 308±101)a	3.55	(2 618±121)a	3.50

2.6 NC1 土壤处理田间药效试验结果

34.5% NC1 SC 土壤处理后 45 d,对直播水稻田禾本科杂草的株防效和鲜重防效较好,且目测对水稻生长没有影响。由表 7 可知,在有效成分用量 75 g/hm² 的中剂量下对稗草的株防效和鲜重防效均为 100.00%,均显著高于对照药剂 40%苄嘧·丙草胺 WP 480 g/hm² 的株防效(88.01%)和鲜重防效(86.37%),而与其他处理无显著差异;对千金子的株防效和鲜重防效分别为 97.85%和 99.45%,显著高于对照药剂 40%苄嘧·丙草胺 WP 480 g/hm² 的防效(分别为 66.59%和 77.06%),而与其他处理无显著差异。

2.7 NC1 茎叶处理田间药效试验结果

34.5% NC1 SC 茎叶处理后 45 d,对直播水稻田 1.5~2 叶期禾本科杂草的株防效和鲜重防效较好,且目测对水稻生长没有影响。由表 8 可知,在有效成分用量 112.5 g/hm² 的中剂量下对稗草的株防效和鲜重防效分别为 98.44%和 99.30%,均显著高于低剂量 100 g/hm² 的防效(分别为 96.78%和 98.58%),而与对照药剂 60 g/L 五氟·氰氟草 OD 180 g/hm² 的防效(分别为 98.44%和 99.40%)及高剂量 125 g/hm² 的防效(分别为 99.71%和 99.88%)无显著差异;对千金子的株防效和鲜重防效均为 100.00%,均显著高于对照药剂 60 g/L 五氟·氰氟草 OD 180 g/hm²

的防效(分别为 80.87%和 88.47%),而与其他处理 无显著差异。

表 7 34.5% NC1 悬浮剂土壤处理对水稻田一年生禾本科杂草的防除效果(施药后 45 d)
Table 7 Control efficacy of NC1 34.5% SC against annual gramineous weeds under pre-emergence treatment in paddy fields (45 d after treatment)

药剂 Herbicide	有效成分用量/ g·(hm ²) ⁻¹ Dosage of active ingredient	株防效/% Control efficacy against weeds		鲜重防效/% Control efficacy for fresh weight	
		稗草	千金子	稗草	千金子
		<i>Echinochloa</i> spp.	<i>L. chinensis</i>	<i>Echinochloa</i> spp.	<i>L. chinensis</i>
NC1 34.5% SC	60	(99.36±1.11)a	(92.47±8.12)a	(99.82±0.31)a	(97.93±2.56)a
	75	(100.00±0.00)a	(97.85±3.72)a	(100.00±0.00)a	(99.45±0.95)a
	90	(100.00±0.00)a	(98.92±1.86)a	(100.00±0.00)a	(99.61±0.68)a
	150	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a
40% 苄嘧·丙草胺 WP bensulfuron methyl·pretilachlor 40% WP	480	(88.01±0.67)b	(65.59±4.93)b	(86.37±0.80)b	(77.06±4.06)b

表 8 34.5% NC1 悬浮剂茎叶处理对水稻田一年生禾本科杂草的防除效果(施药后 45 d)
Table 8 Control efficacy of NC1 34.5% SC against annual gramineous weeds under foliar treatment in paddy fields (45 d after treatment)

药剂 Herbicide	有效成分用量/ g·(hm ²) ⁻¹ Dosage of active ingredient	株防效/% Control efficacy against weeds		鲜重防效/% Control efficacy for fresh weight	
		稗草	千金子	稗草	千金子
		<i>Echinochloa</i> spp.	<i>L. chinensis</i>	<i>Echinochloa</i> spp.	<i>L. chinensis</i>
NC1 34.5% SC	100	(96.78±1.55)b	(100.00±0.00)a	(98.58±0.60)b	(100.00±0.00)a
	112.5	(98.44±0.45)a	(100.00±0.00)a	(99.30±0.14)a	(100.00±0.00)a
	125	(99.71±0.29)a	(100.00±0.00)a	(99.88±0.12)a	(100.00±0.00)a
	250	(99.71±0.51)a	(100.00±0.00)a	(99.89±0.18)a	(100.00±0.00)a
60 g/L 五氟·氰氟草 OD penoxsulam·cyhalofop-butyl 60 g/L OD	180	(98.44±0.74)a	(80.87±10.86)b	(99.40±0.24)a	(88.47±6.20)b

3 结论与讨论

NC1 是一种新型的酰胺类除草剂,通过抑制杂草种子萌发过程中各种蛋白酶的合成,阻碍营养物质的运输,以此干扰蛋白质的合成,表现为幼芽受害、胚芽鞘变粗、叶片畸形等症状。本研究发现:34.5% NC1 SC 用作土壤处理剂时,有效成分用量 60 g/hm² 对室内和田间的禾本科杂草抑制效果均在 90%以上,说明 NC1 可以用于土壤处理。室内以有效成分用量 144 g/hm² 茎叶处理,对 2.5~3.5 叶期的敏感稗属杂草鲜重抑制率均高于 90.57%,但抗性稗属杂草、千金子的抑制效果稍差。由田间试验可知在杂草 1.5~2 叶期采用有效成分用量 100~112.5 g/hm² 茎叶处理,对禾本科杂草的防效高于 96.78%,说明 NC1 适宜于早期茎叶处理,可以在杂草出苗前或萌芽期到 2 叶期以前处理,与酰胺类除草剂的最佳除草时期一致^[22]。

NC1 作为土壤处理剂时,对抗五氟磺草胺的稗

属杂草、抗氰氟草酯千金子、抗二氯喹啉酸西来稗均具有较高的抑制效果,因此可以作为杂草抗性治理的候选药剂。目前,ALS 类、ACCase 类、激素类茎叶处理除草剂抗性发展速度快^[23-24],而苗前使用的酰胺类除草剂的抗性发展相对较慢^[25],为 NC1 推广和杂草抗药性治理提供了理论基础。随着传统移栽水稻向直播水稻的转变,马唐等旱生杂草加重,目前防除水稻田马唐的药剂主要为噁唑酰草胺(metamifop)^[26]。34.5% NC1 SC 有效成分用量 7.5 g/hm² 土壤处理对马唐的抑制效果达到 93.66%,可以作为旱直播水稻田防除马唐的候选药剂。同时,NC1 对水稻具有较好的安全性且用量低;NC1 土壤处理对不同类型的水稻均具有较好的选择性;NC1 对种子的抑制活性测定表明,其对稗草根长和芽长的抑制活性均高于对照药剂丙草胺,且用量低。目前水稻田苗前除草剂主要以丙草胺、丁草胺(butachor)、苯噻酰草胺(mefenacet)为主,但用量大,且使用不当会造成药害^[27-28];34.5% NC1 SC 有效成分用量

144 g/hm² 茎叶处理对不同类型的 1.5 叶期水稻均具有较好的安全性,因此可以抓住这个关键时期施药。目前水稻田茎叶处理剂一般对低龄水稻有危害,如二氯喹啉酸对低龄水稻药害严重,易形成葱管叶^[29]。

针对水稻田多种禾本科杂草对 ALS 类、ACCase 类、激素类等除草剂产生了抗性的问题,建议可以将 NC1 作为选择性除草剂,在播后苗前以有效成分用量 60~75 g/hm² 进行土壤处理或杂草 1.5~2 叶期采用 100~112.5 g/hm² 茎叶喷雾处理,可以安全、有效地防除水稻田抗性禾本科杂草,应用前景广阔。

参考文献

- [1] 赵凌,赵春芳,周丽慧,等. 中国水稻生产现状与发展趋势[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 105-107.
- [2] 陈凤霞,吕杰,史元,等. 我国稻米质量安全生态环境的现状 & 发展对策[J]. 生态经济, 2015, 31(2): 109-112.
- [3] PENG Shaobing, TANG Qiyuan, ZOU Yingbin. Current status and challenges of rice production in China [J]. Plant Production Science, 2009, 12(1): 3-8.
- [4] ZHENG Yunfei, SUN Guoping, QIN Lin, et al. Rice fields and modes of rice cultivation between 5000 and 2500 BC in east China [J]. Journal of Archaeological Science, 2009, 36(12): 2609-2616.
- [5] 高彩霞. 水稻田杂草防除技术要点[J]. 农业与技术, 2016, 36(21): 128-129.
- [6] 汪和廷,董慧,齐龙昌,等. 种植方式及施氮量对水稻灌浆初期氮代谢关键酶活性和产量性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(9): 1210-1214.
- [7] MAHAJAN G, CHAUHAN B S, GILL M S. Dry-seeded rice culture in Punjab State of India: Lessons learned from farmers [J]. Field Crops Research, 2013, 144: 89-99.
- [8] 袁英国. 早直播稻田杂草综合防治技术[J]. 现代农业科技, 2019(9): 102.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] POWLES S B, YU Qin. Evolution in action: plants resistant to herbicides [J]. Annual Review of Plant Biology, 2010, 61(1): 317-347.
- [12] HEAP L. The international survey of herbicide resistant weeds [EB/OL]. [2020-12-10]. <http://www.weedscience.org>.
- [13] 闫冬. 五氟磺草胺和吡嘧磺隆混用配方筛选对水稻田安全性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [14] 倪青,王国荣,黄福旦,等. 2 种化学产品对直播水稻田除草剂药害的解除效果[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(3): 421-422.
- [15] 马秀臣,付永生,姜显国. 青冈县水田除草剂药害症状及预防措施[J]. 现代农业科技, 2018(15): 155.
- [16] KRAEHMER H, LABER B, ROSINGER C, et al. Herbicides as weed control agents: state of the art: I. weed control research and safener technology: the path to modern agriculture [J]. Plant Physiology, 2014, 166(3): 1119-1131.
- [17] DUKE S O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? [J]. Pest Management Science, 2012, 68(4): 505-512.
- [18] FUJINAMI M, TAKAHASHI Y, TANETANI Y, et al. Development of a rice herbicide, fenoxasulfone [J]. Journal of Pesticide Science, 2019, 44(4): 282-289.
- [19] 徐洪乐. 小麦田日本看麦娘 (*Alopecurus japonicus*) 对精噁唑禾草灵抗药性及靶标酶抗性机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [20] FANG Jiapeng, LIU Tingting, ZHANG Yuhua, et al. Target site-based penoxsulam resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) from China [J]. Weed Science, 2019, 67: 281-287.
- [21] 张洋洋,高原,欧阳萧哈,等. 啶磺草胺、唑啉草酯和异丙隆混配比筛选及防除小麦田一年生杂草的田间效果[J]. 南京农业大学学报, 2020, 43(2): 253-259.
- [22] 刘兴林. 我国水稻田稗草对丁草胺的抗药性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [23] GAO Yuan, PAN Lang, SUN Yu, et al. Resistance to quinclorac caused by the enhanced ability to detoxify cyanide and its molecular mechanism in *Echinochloa crus-galli* var. *zelayensis* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2017, 143: 231-238.
- [24] YAN Bojun, ZHANG Yuhua, LI Jun, et al. Transcriptome profiling to identify cytochrome P450 genes involved in penoxsulam resistance in *Echinochloa glabrescens* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2019, 158: 112-120.
- [25] SOMERVILLE G J, POWLES S B, WALSH M J, et al. Why was resistance to shorter-acting pre-emergence herbicides slower to evolve? [J]. Pest Management Science, 2017, 73(5): 844-851.
- [26] 程来品,曹方元,仇学平,等. 不同除草剂对直播稻田马唐等杂草的防效[J]. 杂草科学, 2013, 31(1): 64-65.
- [27] HU Lifeng, YAO Ying, CAI Ruwen, et al. Effects of fenclorim on rice physiology, gene transcription and pretilachlor detoxification ability [J/OL]. BMC Plant Biology, 2020, 20(1): 100. DOI: 10.1186/s12870-020-2304-y.
- [28] 李玉红. 水稻田主要除草剂药害的发生及预防缓解措施[J]. 现代农业科技, 2012(24): 157.
- [29] WANG Jian, LÜ Mengting, ISLAM F, et al. Salicylic acid mediates antioxidant defense system and ABA pathway related gene expression in *Oryza sativa* against quinclorac toxicity [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2016, 133: 146-156.

(责任编辑: 杨明丽)