

几种封闭除草剂两个时期用药效果对比及其交互作用分析

杨永杰¹, 张慧泉¹, 金文涌¹, 糜学江², 张建萍¹,
于晓玥¹, 唐伟^{1*}, 陆永良^{1*}

(1. 中国水稻研究所水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006; 2. 浙江省桐乡石泾粮油农机专业合作社, 嘉兴 314503)

摘要 通过田间小区试验评价了前期筛选的几种适用“播喷同步”的封闭除草剂对水稻的安全性及对直播田杂草的防效,明确了“播喷同步”技术与常规播后4 d封闭的差异,以及施药时期×除草剂种类交互作用及对控草效果的影响,优化水稻直播田杂草防控策略。试验结果表明,播种当天(播喷同步)或播种后4 d(常规方法)喷施120 g/L噻草酮 EC 360 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²(有效剂量,下同)、33%噻吡嘧磺隆 WG 74.25 g/hm²+300 g/L丙草胺 EC 450 g/hm²、60%丁草胺 EC 1 350 g/hm²+10%吡嘧磺隆 WP 30 g/hm²、35%吡嘧·嘧草·丙 OD 525 g/hm²、300 g/L丙草胺 EC 450 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²,5组除草剂处理对直播稻均无可见药害,各“播喷同步”处理的杂草防除效果不低于常规播后4 d用药;同步喷施33%噻吡嘧磺隆 WG+300 g/L丙草胺 EC防效最高,药后35 d对禾本科、莎草科、阔叶草防效达到98.3%及以上;水稻直播4 d后喷药,水稻成苗率提高但35 d的禾本科杂草防效低,33%噻吡嘧磺隆 WG+300 g/L丙草胺 EC处理受喷药时间影响小;复合双因子方差分析表明,单一因子会对水稻安全性、杂草防效产生显著影响,用药时期×除草剂种类交互对水稻安全性无显著影响,对控草效果影响显著。因此,直播田封闭除草剂宜尽早施药提高防治效果,同时应选用安全高效的除草剂,33%噻吡嘧磺隆 WG+300 g/L丙草胺 EC处理,可于播种当天到播种后4 d内用药,保障直播田杂草防治效果的同时兼顾水稻安全。

关键词 播喷同步; 杂草; 除草剂; 直播田; 水稻

中图分类号: S482.4 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwbh.2021436

Comparison of weed management with several pre-emergence herbicides under two application periods and analysis their interactions in weed control

YANG Yongjie¹, ZHANG Huiquan¹, JIN Wenyong¹, MI Xuejiang², ZHANG Jianping¹,
YU Xiaoyue¹, TANG Wei^{1*}, LU Yongliang^{1*}

(1. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China;
2. Zhejiang Tongxiang Shijing Grain and Oil Agricultural Machinery Professional Cooperatives, Jiaxing 314503, China)

Abstract Rice safety and weed control efficacies with several pre-emergence herbicides, which were preliminary screened basing on “seeding spray synchronous technology” (ST), were evaluated in direct rice seeding field (DRS). Difference of impacts on weed control under two application periods of ST and four days after sowing (conventional treatment, CT) were analyzed, effects of herbicides×application periods and their interaction were investigated, and weed control strategy in DRS were optimized. Field plot experiment showed that rice were safe when being sprayed with five compound herbicides of 360 g/hm² oxadiazon 120 g/L EC (active ingredient, the same below) + 30 g/hm² bensulfuron-methyl 10% WP, 74.25 g/hm² metazosulfuron 33% WG + 450 g/hm² pretilachlor 300 g/L EC, 1 350 g/hm² butachlor 60% EC + 30 g/hm² pyrazosulfuron-ethyl 10% WP, 525 g/hm² pyrazosulfuron-ethyl · pyriminobac-methyl · pretilachlor 35% OD, 450 g/hm² pretilachlor 300 g/L EC + 30 g/hm²

收稿日期: 2021-08-12 修订日期: 2021-09-15

基金项目: 浙江省基础公益研究计划(LGN21C140003);国家自然科学基金(31801304);中央级公益性科研院所所基本科研业务费专项资金(CPSIBRF-CNRI-202124);国家水稻产业技术体系(CARS-01)

* 通信作者 E-mail: 唐伟 tangwei@caas.cn;陆永良 luyongliang@caas.cn

bensulfuron methyl 10% WP, and the weed control efficacy was higher with ST than that of CT. The treatment of metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC under ST had the highest effect in controlling Gramineae, Cyperaceae and broad-leaved grass, with the efficacy of more than 98.3% 35 days after application. Moreover, compared with ST, the rice seedling rate was enhanced under CT, but control efficacy against gramineous weed was decreased 35 days after application. However, application time had less effect on control efficacy of metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC treatment. Compound two-way ANOVA showed that single factor had significant impact on rice safety and weed control efficacy, and two factors interaction had no effect on rice safety but had significant effect on weed control. Therefore, we should select the safe and effective pre-emergence herbicides and apply early to improve the weed management in DRS. Moreover, for the herbicides of metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC, they should be applied during 0—4 d after sowing to ensure the weed control efficacy and rice safety.

Key words seeding spray synchronous technology; weed; herbicide; direct rice seeding field; rice

机直播“播喷同步”封闭除草技术是一种新型封闭除草技术,即在水稻机械直播的过程中,同步机械喷施封闭除草剂,防治水稻机械直播生产中的杂草危害,具有节本、高效、安全、操作简单的特点,能够解决水稻田集约化、轻简化、机械化种植中的杂草防控问题,在长江中下游及宁夏地区已有较大面积的推广^[1]。在技术应用中,选用适宜的配套除草剂是“播喷同步”成功的关键,本研究团队研发“播喷同步”封闭除草技术后同时筛选出多种安全高效的配套除草剂产品。王在满等^[2]在播种时同步喷施 300 g/L 丙草胺 EC 有效成分剂量(下同)450 g/hm²后,对稻田土壤中除草剂消解动态进行了分析,认为同步用药较常规播后 3 d 用药的土壤中除草剂有效成分含量高,其效果优于 33%二甲戊灵 EC 742.5 g/hm²和 40%丙·苄 WP 420 g/hm²,其最终产量与播后 3 d 喷药差异不显著,节省了一次人工用药成本。300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²可用于开展“播喷同步”用药技术,并在宣城等地开展同步试验,药后 26 d 杂草防效均高于 93.0%,认为该配方安全高效,优于 25 g/L 五氟磺草胺 OD 30 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²^[4-5]。在水稻机械直播时,同步喷施 120 g/L 噁草酮 EC 360 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²,药后 48 d 对稗草、阔叶草、莎草的密度和鲜重防效达 95%以上,该除草剂配方能够有效管理杂草,具有节工省本、杀草谱广、持效期长的特点,具有一定的推广应用价值^[1]。姜心禄等^[6]采用 60%丁草胺 EC 900 g/hm²+10%吡嘧磺隆 WP 30 mg/hm²,同步均匀施药后 20 d 株防效和鲜重防效超过和接近 90%,防效和安全性显著高于 40%丙·苄 WP 480 g/hm²、12.5%噁草酮 EC 375 g/hm²、330 g/L 二甲戊灵 EC

495 g/hm²处理。研究还发现,同步施用 99.0 g/hm²的 33%噻吡嘧磺隆 WG,能够显著提高水稻的出苗率,20 d 出苗率为 96.2%,48 d 对稗草、阔叶草和莎草植株的密度和鲜重防效均达 97.7%及以上,显著高于 300 g/L 丙草胺 EC 382.5 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 25.5 g/hm²、25 g/L 五氟磺草胺 OD 19.1 g/hm²+50%丁草胺 EC 412.5 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 25.5 g/hm²处理^[7]。筛选出的这 5 种除草剂组合具有显著的应用优势。

除草剂科学合理配伍对水稻安全性和靶标杂草防除起决定性作用,应避免应用安全性差和防效不佳的除草剂,对“播喷同步”优势除草剂组合不断优化比对筛选,以满足水稻直播田对除草剂的需求^[8]。另外,“播喷同步”技术对早期禾本科杂草,以及随后发生的阔叶草和莎草,均有较好的防治效果,而目前农户多采用常规的封闭方法,一般在播后 3~5 d 进行除草剂封闭^[9-10]。相对滞后用药是否会降低对杂草的防效,未见研究报道。因此,本研究采用大田试验,分别采用同步封闭和常规播后 4 d 用药,对比 120 g/L 噁草酮 EC 360 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²、33%噻吡嘧磺隆 WG 74.25 g/hm²+300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm²、60%丁草胺 EC 1 350 g/hm²+10%吡嘧磺隆 WP 30 g/hm²、35%吡嘧·噻草·丙 OD 525 g/hm²、300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm²+10%苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²这 5 种组合/复配除草剂的优劣,明确各除草剂在两个时期用药的效果差异,厘清用药时期与除草剂种类交互作用对水稻安全性和杂草防除效果的影响,为进一步完善“播喷同步”封闭除草技术及直播田科学除草提供理论依据。

1 材料与方法

本研究于 2020 年在中国水稻研究所试验基地 (119.93°E, 30.08°N) 开展田间试验, 试验田为砂性黏壤土, pH 5.98, 有机质含量 3.10%, 多年来用于开展杂草治理试验, 试验田稗草 *Echinochloa crus-galli*、异型莎草 *Cyperus difformis*、碎米莎草 *C. iria*、水苋菜 *Ammannia baccifera*、丁香蓼 *Ludwigia prostrata*、鸭舌草 *Monochoria vaginalis* 等危害严重, 适宜开展杂草重度危害防治试验。试验田前茬作物为上年单季稻, 冬季闲田。

采用小区试验, 于 2020 年 4 月 7 日整地, 整平田地后排水并沉降 48 h, 避免有大水坑, 4 月 9 日做小区, 每个小区长 5 m、宽 4 m, 面积为 20 m², 小区之间起垄 25 cm 避免串灌, 试验共 11 个处理, 每个处理重复 3 次。试验采用裂区试验设计, 不同时间处理设为主区, 不同除草剂处理设为副区, 小区周围设保护行。采用早稻品种‘中嘉早 17’, 于 2020 年 4

月 8 日浸种, 在人工气候培养箱 (GXZ-300C, 宁波东南仪器有限公司) 中 32℃ 浸种 48 h, 于 2020 年 4 月 10 日播种, 播种时种子破胸露白未出芽, 待种子晾干表面水分后, 按 1:100 (药: 种) 的比例伴施 35% 丁硫克百威种子处理干粉剂 (美国富美实公司), 防治麻雀和地下害虫危害。试验采用人工撒播, 种子播种量为 75.0 kg/hm²。

试验分“播喷同步” (seeding spray synchronous technology, ST) 和常规播后 4 d 施药 (conventional treatment, CT) 两个施药时期。种子撒播结束后, 立刻用电动喷雾器模拟“播喷同步”方法喷施除草剂, 选用“播喷同步”装置 ST110-01 型号喷头, 试验所用各除草剂及用量如表 1 所示, 除草剂兑水量为 120 L/hm², 施药时田表湿润, 田沟有水。常规播后处理于 4 月 14 日 (播后 4 d) 进行常规封闭处理, 施药方法、器械、土壤环境同“播喷同步”, 两次施药当天均为阴天, 风力 2 级, 气温 16~24℃, 药后 7 d 内未出现暴雨, 偶尔有小雨, 播后田间正常水肥、病虫害管理。

表 1 供试除草剂田间试验处理及用量
Table 1 Herbicides and doses applied in field experiment

除草剂 Herbicide	有效成分用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingredient dose	制剂 667m ² 用量 Dose per 667m ²	生产厂家 Product manufacture
120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP oxadiazon 120 g/L EC+bensulfuron-methyl 10% WP	360+30	200 mL+20 g	江苏省南通同济化工有限公司; 浙江天一生物科技有限公司
33% 噻吡嘧磺隆 WG+300 g/L 丙草胺 EC metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC	74.25+450	15 g+100 mL	日产化学株式会社; 先正达 (苏州) 作物保护有限公司
60% 丁草胺 EC+10% 吡嘧磺隆 WP butachlor 60% EC+pyrazosulfuron-ethyl 10% WP	1 350+30	150 mL+20 g	江苏省南通南沈植保科技开发有限公司; 日产化学工业株式会社
35% 吡嘧 · 嘧草 · 丙 OD pyrazosulfuron-ethyl · pyriminobac-methyl · pretilachlor 35% OD	525	100 mL	安徽圣丰生化有限公司
300 g/L 丙草胺 EC+10% 苄嘧磺隆 WP pretilachlor 300 g/L EC+bensulfuron-methyl 10% WP	450+30	100 mL+20 g	先正达 (苏州) 作物保护有限公司; 浙江天一生物科技有限公司
对照 CK	—	—	—

分别于药后 7 d 和 14 d 调查水稻损伤及症状, 目测水稻药害标准参考农药室内生物测定试验准则^[11], 播后 14 d 测量水稻株高和统计成苗率, 每个小区随机调查 0.25 m², 记录水稻株数并重复 3 次, 以小区平均水稻株数与对照小区的比值计算成苗率, 株高测定方法参见文献^[12]。药后 14 d 和 35 d 调查杂草防效, 方法参见农药田间药效试验准则^[13]。根据对照区杂草种群及总量, 计算杂草防治效果, 0% 表示无防效 (与对照区杂草发生情况相当), 100% 防效表示无杂草。数据采用 SAS 9.1 软件统计分析, 采用单因子方

差分析统计各处理间差异显著性, 采用复合双因子方差分析施药时期×除草剂种类两者的交互作用。

2 结果与分析

2.1 播喷同步用药或常规施用除草剂对水稻安全性的影响

药后 7 d 和 14 d 目测水稻药害症状, 药后 7 d, 早稻正处于出芽期, 水稻正常扎根出芽, “播喷同步”和常规处理均未见有明显的除草剂药害现象。药后 14 d, 水稻处于 2 叶 1 心期, 各处理的水稻均无明显

的可见药害发生。

播后 14 d 调查水稻成苗率,由表 2 可知,“播喷同步”处理后,与对照处理相比,120 g/L 噁草酮 EC 360 g/hm²+10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 和 33% 噻吡嘧磺隆 WG 74.25 g/hm²+300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm² 显著降低了水稻成苗率,降幅分别为 18.0 个百分点和 11.6 个百分点,60% 丁草胺 EC 1 350 g/hm²+10% 吡嘧磺隆 WP 30 g/hm²、35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 525 g/hm²、300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm²+10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 与对照成苗率差异不显著;常规处理(播后 4 d 用药)后,水稻

成苗率与“播喷同步”相比成苗率增加,各除草剂处理与对照处理相比无显著差异。

播后 14 d 调查水稻株高,如表 2 所示,“播喷同步”处理后,120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP 和 35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 处理显著降低了水稻株高,降幅分别为 28.3% 和 22.5%,其余处理与对照株高差异不显著;播后 4 d 用药后不同除草剂处理的水稻株高抑制程度均有所降低。与对照处理相比,120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP 处理显著抑制水稻株高,降幅为 21.6%,其余各处理与对照相比差异不显著。

表 2 不同药剂“播喷同步”及播后 4 d 施药水稻成苗率及株高(播后 14 d)¹⁾

Table 2 Effects of ST and CT methods on rice seedling rate and plant height by spraying different herbicides (14 d after sowing)

处理 Treatment	药害症状 Damage symptom		成苗率/% Seedling rate		株高/cm Plant height	
	播喷同 步 ST	播后 4 d 施药 CT	播喷同 步 ST	播后 4 d 施药 CT	播喷同 步 ST	播后 4 d 施药 CT
120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP oxadiazon 120 g/L EC+bensulfuron methyl 10% WP	无	无	(82.0± 5.3)cA	(90.1± 12.3)bA	(4.52± 0.56)cB	(5.52± 0.73)cA
33% 噻吡嘧磺隆 WG+300g/L 丙草胺 EC metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC	无	无	(88.4± 4.6)bcB	(100.0± 3.9)abA	(5.68± 0.44)abB	(7.42± 0.66)abA
60% 丁草胺 EC+10% 吡嘧磺隆 WP butachlor 60% EC+pyrazosulfuron-ethyl 10% WP	无	无	(94.2± 7.0)abA	(98.2± 4.7)abA	(5.90± 0.80)aA	(6.82± 0.76)abA
35% 吡嘧·嘧草·丙 OD pyrazosulfuron-ethyl·pyriminobac-methyl·pretilachlor 35% OD	无	无	(95.3± 7.6)abA	(106.3± 14.3)abA	(4.88± 0.29)bcB	(6.50± 0.55)bcA
300 g/L 丙草胺 EC+10% 苄嘧磺隆 WP pretilachlor 300 g/L EC+bensulfuron methyl 10% WP	无	无	(97.1± 6.2)abA	(110.7± 12.3)aA	(6.28± 0.52)abB	(7.50± 0.97)aA
对照 CK	无	无	(100.0± 5.6)aA	(100.0± 11.5)abA	(6.30± 0.93)aA	(7.04± 0.79)abA

1) ST:播喷同步;CT:常规播后 4 d 施药。数据为平均值±标准误,同列数据后不同小写字母表示各处理指标在 0.05 水平差异显著;同行数据后不同大写字母表示两个时期处理指标在 0.05 水平差异显著;下同。
ST: Seeding spray synchronous technology; CT: Conventional treatment. Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. Different capital letters in same row indicate significant difference between ST and CT at 0.05 level. The same below.

2.2 播喷同步用药或常规施用除草剂对杂草的防除效果

药后 14 d 目测各处理对杂草的防除效果,对照小区的稗草、丁香蓼、异型莎草、陌上菜 *Lindernia procumbens*、鸭舌草、水苋菜等大量发生。与对照处理相比,无论是“播喷同步”用药技术还是常规播后 4 d 用药,33% 噻吡嘧磺隆 WG 74.25 g/hm²+300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm²、60% 丁草胺 EC 1 350 g/hm²+10% 吡嘧磺隆 WP 30 g/hm²、35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 525 g/hm²、300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm²+10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 处理小区杂草得到有效控制,禾本科、阔叶草、莎草科杂草防效均在 90.3% 及以上(表 3)。同步喷施

120 g/L 噁草酮 EC 360 g/hm²+10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm²,药后 14 d 对禾本科和阔叶草防效与其他各除草剂处理无显著差异,对莎草防效显著低于其他各除草剂处理。

如表 3 所示,播后 4 d 喷施 120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP,14 d 禾本科和莎草科杂草防效显著低于其他各除草剂处理。较播后 4 d 用药,几个除草剂处理采用“播喷同步”用药显著提高了不同靶标杂草防效,其中 120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP 显著增加了禾本科、莎草科杂草防效,增幅分别为 8.3% 和 15.6%,“播喷同步”用药显著提高了 60% 丁草胺 EC+10% 吡嘧磺隆 WP 和 35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 对阔叶杂草的防除效果。

表 3 不同药剂“播喷同步”及播后 4 d 施药药后 14 d 目测杂草防效

Table 3 The weed plants control efficacies by spraying different herbicides under ST and CT methods (14 d after treatment)

处理 Treatment	禾本科杂草防效/% Gramineae control efficacy		莎草科防效/% Cyperaceae control efficacy		阔叶草防效/% Broad-leaf weed control efficacy	
	播喷同步 ST	播后 4 d 施药 CT	播喷同步 ST	播后 4 d 施药 CT	播喷同步 ST	播后 4 d 施药 CT
120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP oxadiazon 120 g/L EC+bensulfuron methyl 10% WP	(95.0±3.0)abA	(87.7±2.5)cB	(86.7±2.9)bA	(75.0±5.0)bB	(97.7±2.5)aA	(97.3±2.1)aA
33% 噻吡嘧磺隆 WG+300g/L 丙草胺 EC metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC	(99.7±0.6)aA	(99.3±0.6)aA	(100.0±0.0)aA	(100.0±0.0)aA	(99.7±0.6)aA	(98.3±0.6)aA
60% 丁草胺 EC+10% 吡嘧磺隆 WP butachlor 60% EC+pyrazosulfuron-ethyl 10% WP	(95.3±3.5)abA	(97.3±2.1)abA	(100.0±0.0)aA	(100.0±0.0)aA	(99.3±0.6)aA	(98.7±1.2)aB
35% 吡嘧·嘧草·丙 OD pyrazosulfuron-ethyl·pyriminobac-methyl·pretilachlor 35% OD	(98.7±0.6)aA	(90.3±6.8)cA	(100.0±0.0)aA	(100.0±0.0)aA	(99.3±0.6)aA	(92.3±2.5)bB
300 g/L 丙草胺 EC+10% 苄嘧磺隆 WP pretilachlor 300 g/L EC+bensulfuron methyl 10% WP	(93.7±4.7)bA	(92.3±2.5)bcA	(100.0±0.0)aA	(99.7±0.6)aA	(97.7±2.3)aA	(99.0±1.0)aA
对照 CK	(0.0±0.0)cA	(0.0±0.0)dA	(0.0±0.0)cA	(0.0±0.0)cA	(0.0±0.0)bA	(0.0±0.0)cA

药后 35 d 目测各处理对杂草的防除效果如表 4 所示。对照小区杂草发生较为严重,稗草、莎草和丁香蓼为优势种群。药后 35 d,同步喷施 33% 噻吡嘧磺隆 WG 74.25 g/hm² + 300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm² 处理对禾本科杂草防效最高,60% 丁草胺 EC 1 350 g/hm² + 10% 吡嘧磺隆 WP 30 g/hm²、35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 525 g/hm²、300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm² + 10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 处理对禾本科杂草防效次之,这些除草剂处理对莎草和阔叶草防效均达 91.3% 及以上。同步喷施 120 g/L 噁草酮 EC 360 g/hm² + 10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 处理显著低于其他各除草剂处理,35 d 禾本科和莎草科杂草防效比 33% 噻吡嘧磺隆 WG + 300 g/L 丙草胺 EC 分别低 29.1% 和 19.8%。播后 4 d 用药后,33% 噻吡嘧磺隆 WG + 300 g/L 丙草胺 EC 对禾本科杂草防效最高,其次为 35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 和 60% 丁草胺 EC + 10% 吡嘧磺隆 WP 处理,120 g/L 噁草酮 EC + 10% 苄嘧磺隆 WP 和 300 g/L 丙草胺 EC + 10% 苄嘧磺隆 WP 处理对禾本科杂草防效最低;播后 4 d 用药后,除 120 g/L 噁草酮 EC + 10% 苄嘧磺隆 WP 外,其余所有处理对莎草科和阔叶草有较好的防除效果,防效达 91.3% 及以上。

如表 4 所示,与播后 4 d 用药效果相比,“播喷同步”处理提高了杂草防效特别是禾本科杂草的防

效。“播喷同步”用药处理显著提高了 120 g/L 噁草酮 EC 360 g/hm² + 10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 对禾本科、莎草科、阔叶杂草的防除效果;同步喷施 35% 吡嘧·嘧草·丙 OD 525 g/hm² 和 300 g/L 丙草胺 EC 450 g/hm² + 10% 苄嘧磺隆 WP 30 g/hm² 显著提高了禾本科杂草防效,增幅分别为 6.1% 和 60.0%。杂草萌发初期对除草剂极为敏感,充分利用该时期能够有效抑制杂草发生,提高除草剂对禾本科杂草的封闭效果。

2.3 除草剂种类和用药时间交互性影响差异分析

采用 2×6 复因子统计分析施药时期和除草剂种类的交互作用,结果如表 5 所示,施药时期对水稻成苗率、14 d 禾本科防效、14 d 阔叶草防效、35 d 莎草科防效影响显著,对株高、14 d 莎草科防效、35 d 禾本科防效、35 d 阔叶草防效有极显著影响,播后延迟用药会严重影响杂草防除效果。除草剂种类显著影响水稻成苗率,对株高、14 d 禾本科防效、14 d 莎草科防效、14 d 阔叶草防效、35 d 禾本科防效、35 d 莎草科防效、35 d 阔叶草防效影响极显著,除草剂种类对杂草防除极重要。施药时期×除草剂种类交互作用对成苗率和株高影响不显著,对 14 d 禾本科杂草防效、35 d 莎草科杂草防效影响显著,对 14 d 莎草科防效、14 d 阔叶草防效、35 d 禾本科杂草防效、35 d 阔叶草防效影响极显著,交互作用对杂草防除效果影响极显著。

表 4 不同药剂播喷同步及播后 4 d 施药后 35 d 杂草防效

处理 Treatment	禾本科杂草防效/% Gramineae control efficacy		莎草科防效/% Cyperaceae control efficacy		阔叶草防效/% Broad-leaf weed control efficacy	
	播喷同步 ST	播后 4 d 施药 CT	播喷同步 ST	播后 4 d 施药 CT	播喷同步 ST	播后 4 d 施药 CT
120 g/L 噁草酮 EC+10%苄嘧磺隆 WP oxadiazon 120 g/L EC+bensulfuron methyl 10% WP	(70.0±5.0)cA	(38.3±16.1)cB	(80.0±5.0)cA	(66.7±5.8)cB	(98.7±1.2)aA	(91.7±2.9)bB
33%噻吡嘧磺隆 WG+300g/L 丙草胺 EC metazosulfuron 33% WG+pretilachlor 300 g/L EC	(98.7±0.6)aA	(95.7±4.0)aA	(99.7±0.6)aA	(99.7±0.6)aA	(98.3±2.9)aA	(99.7±0.6)aA
60%丁草胺 EC+10%吡嘧磺隆 WP butachlor 60% EC+pyrazosulfuron-ethyl 10% WP	(85.0±5.0)bA	(75.0±5.0)bA	(99.7±0.6)aA	(96.3±2.3)abA	(99.3±1.2)aA	(98.7±0.6)aA
35%吡嘧·嘧草·丙 OD pyrazosulfuron-ethyl·pyriminobac-methyl·pretilachlor 35% OD	(86.7±2.9)bA	(81.7±10.4)abB	(98.3±2.9)aA	(96.0±1.7)abA	(99.3±0.6)aA	(93.3±2.9)bB
300 g/L 丙草胺 EC+10%苄嘧磺隆 WP pretilachlor 300 g/L EC+bensulfuron methyl 10% WP	(82.7±6.8)bA	(51.7±7.6)cB	(91.3±7.1)bA	(93.3±2.9)bA	(98.3±0.6)aA	(92.7±4.6)bA
对照 CK	(0.0±0.0)dA	(0.0±0.0)dA	(0.0±0.0)dA	(0.0±0.0)dA	(0.0±0.0)bA	(0.0±0.0)cA

表 5 施药时期×除草剂种类交互作用方差分析 F 值¹⁾

Table 5 F value of variance analysis with application period×herbicide type and their interaction

指标 Indicator	施药时期 Application period	除草剂种类 Herbicide	施药时期×除草剂种类 Application period×herbicide
成苗率 Seedling rate	7.57 *	3.08 *	0.51 ns
株高 Plant height	46.91 **	10.73 **	0.86 ns
14 d 禾本科防效 Gramineae control efficacy 14 d after treatment	6.83 *	1 053.05 **	3.14 *
14 d 莎草科防效 Cyperaceae control efficacy 14 d after treatment	11.92 **	3 176.20 **	11.14 **
14 d 阔叶草防效 Broad leaf weed control efficacy 14 d after treatment	7.17 *	4 300.17 **	5.70 **
35 d 禾本科防效 Gramineae control efficacy 35 d after treatment	33.48 **	147.16 **	6.39 **
35 d 莎草科防效 Cyperaceae control efficacy 35 d after treatment	5.93 *	742.15 **	3.70 *
35 d 阔叶草防效 Broad leaf weed control efficacy 35 d after treatment	17.79 **	2 070.24 **	4.30 **

1) ns,不显著($P>0.05$); * 和 * * 分别表示在 $0.01<P\leq0.05$ 和 $P\leq0.01$ 水平上差异显著。
ns, not significant ($P>0.05$); * and * * are significant difference at $0.01<P\leq0.05$ and $P\leq0.01$, respectively.

3 讨论

水稻生产效益低、农村劳动力紧张,水稻轻简化机械化种植备受青睐,直播技术免去育秧、拔秧、插秧等生产环节,具有成本低、省工省力、方便集约化管理等特点,种植面积及规模迅速扩大^[14]。然而,直播田前期采用干湿交替的管理方式,导致杂草发生周期长、程度重、治理难,直播田杂草治理是水稻种植户最需要解决的难题,已成为水稻高产稳产的关键^[15]。水稻机械直播“播喷同步”封闭除草技术

省工节本高效,能有效控制直播田杂草并大幅度降低后期杂草治理压力,然而,“播喷同步”封闭除草技术推广过程中,随意选择和使用问题除草剂的现象极为严重,亟待优化除草剂配伍以满足生产需求,厘清用药时期×除草剂种类交互作用对水稻安全性和杂草防治效果的影响。

用药时间点极为关键,在萌发敏感期施除草剂能提高杂草防效,延迟封闭降低了水稻直播田杂草防除效果。稗草等多属于喜热植物,一定温度范围内与发芽所需天数成负相关,当有效积温超过 33.8

~49.5℃(生物零度为 10℃)时,往往于播后 1~3 d 便出现大量稗草,当延迟施用 25% 杀草丹 EC 和 50% 除草醚 WP 时,防除稗草效果显著降低^[16]。本试验条件下,同步喷施 120 g/L 噁草酮 EC+10% 苄嘧磺隆 WP、35% 吡嘧·啉草·丙 OD、300 g/L 丙草胺 EC+10% 苄嘧磺隆 WP 时,稗草等杂草正处于萌发期,对除草剂高度敏感,此时喷施上述组合提高了防除效率,其对禾本科和阔叶类杂草的防效优于常规播后 4 d 喷药处理。因此,在保证水稻安全成苗的条件下,建议尽早封闭提高对稗草、丁香蓼、水苋菜等杂草的防除效果,把杂草杀死在萌芽状态,延迟封闭会降低禾本科特别是稗草的防除效果。

同步用药需严格采用高效安全的除草剂。不能随意使用未经试验的除草剂,如 33% 二甲戊灵 EC 等会产生严重水稻药害,不宜用于“播喷同步”除草技术^[2]。团队前期研究认为同步喷施 360 g/hm² 的 120 g/L 噁草酮 EC 对杂草的防除效果好,但对田块平整度和土表水分有较高要求,而且对水稻种子要求也较高,对浸种 36 h 的水稻出苗安全,而对常规浸种 2 d 催芽 1 d 的种子安全性差,出苗率仅为 42.3%^[17]。因此,对存在安全隐患的除草剂组合,应严格控制用药程序防止药害事故发生。采用“播喷同步”技术机械喷施 300 g/L 丙草胺 EC+10% 苄嘧磺隆 WP,在安徽宣城单季稻田对杂草防效较好、效果稳定,而在湖南大通湖试验区采用不同品牌丙草胺,其效果不稳定^[4, 18]。丙草胺产品生产厂家较多,其持效期和解毒能力以及价格相差较大,应根据成本和安全性区别对待。同步喷施 35% 吡嘧·啉草·丙 OD 525 g/hm²、60% 丁草胺 EC+10% 吡嘧磺隆 WP 处理,对杂草早期防效较好,但持效期短,后期防效会降低。

经过筛选,33% 噻吡嘧磺隆 WG+300 g/L 丙草胺 EC 可作为首选药剂,其 35 d 杂草防除效果好、持效期长、杀草谱广,可以在生产上推广应用。本研究发现,可以在播后 0~4 d 内随时施用该配方,对杂草防除效果影响小,拓宽了封闭用药时间,也丰富了同步用药的概念和内容。目前,无人机水稻播种技术已成为新兴技术并发展迅速,常在播种后 0~4 d 内选择好的天气进行封闭除草,本研究为无人机早期封闭提供了除草剂选择。另外,该配方对磺酰脲类除草剂抗性杂草防效良好,对蜚薹 *Schoenoplec-*

tiella juncooides、雨久花 *Monochoria korsakowii*、野荸荠 *Eleocharis dalcis*、野慈姑 *Sagittaria trifolia*、蕹草 *Schoenoplectus triqueter* 等难治理杂草防效明显。同步喷施 33% 噻吡嘧磺隆 WG,在降低 20% 用量下没有显著降低杂草防效,助力实现农药使用零增长计划^[7]。

复合双因子方差分析表明,用药时期和除草剂种类单一因子均会对水稻安全性、杂草防效产生显著影响,除草剂配伍极为重要,并非所有除草剂都能用于同步施药,应选择安全高效的除草剂组合。用药时期×除草剂种类交互对水稻安全性无显著影响,对控草效果影响显著,证实除草剂都有自己的独特属性,施用时间点和除草剂配合,才有好的防除效果。然而,“播喷同步”在实际水稻生产中,一次用药还是不能将直播田全部杂草杀死,但是选用优化的除草剂能够尽可能多地降低杂草发生数量,显著减轻后期杂草治理压力,大幅度降低直播田杂草治理难度。

参考文献

- [1] 张建萍,唐伟,于晓明,等. 机直播水稻“播喷同步”机械化除草新技术[J]. 杂草学报, 2018, 36(1): 37-41.
- [2] 王在满,王宝龙,张明华,等. 同步喷施除草技术及除草剂消解动态规律[J]. 农业工程学报, 2016, 32(16): 59-64.
- [3] 杨永杰,张建萍,唐伟,等. 水稻“播喷同步”和“插喷同步”封闭除草技术[J]. 中国稻米, 2020, 26(5): 48-52.
- [4] 张建萍,黄建兵,黄一飞,等. 机直播水稻“播喷同步”机械化除草新技术在安徽单季稻生产中的应用[J]. 上海农业学报, 2020, 36(1): 94-97.
- [5] 张建萍,朱晓群,唐伟,等. 丙草胺在机直播稻“播种同步”机械化除草新技术中的应用[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(12): 2187-2189.
- [6] 姜心禄,黄明波,蒋继承,等. 四川省水稻机直播田杂草防控技术研究[J]. 中国稻米, 2018, 24(5): 78-82.
- [7] 张建萍,朱晓群,唐伟,等. 33% 噻吡嘧磺隆水分散剂在机直播稻“播喷同步”机械化除草新技术中的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2018(7): 54-57.
- [8] TSHEWANG S, SINDEL B M, GHIMIRAY M, et al. Weed management challenges in rice (*Oryza sativa* L.) for food security in Bhutan: a review [J]. Crop Protection, 2016, 90: 117-124.
- [9] SINGH M, BHULLAR M S, GILL G. Integrated weed management in dry-seeded rice using stale seedbeds and post sowing herbicides [J]. Field Crops Research, 2018, 224: 182-191.

点及原因分析[J]. 广西植保, 2009, 22(1): 34-35.

[7] 陈洪存, 张淑贤, 张汉友, 等. 唐海县水稻胡麻斑病的发生与防治措施[J]. 植物医生, 2010, 23(1): 4-6.

[8] PHELPS R H, SHAND C R. Brown leaf spot disease and fertilizer interaction in irrigated rice growing on different soil types [J]. Fertilizer Research, 1995, 42(1-3): 117-121.

[9] 陈永萱, 任欣正, 方中达. 稻瘟病菌和胡麻斑病菌碳氮营养的比较研究[J]. 植物病理学报, 1964(2): 165-174.

[10] 瓮巧云, 张红杰, 张爱香, 等. 谷子胡麻斑病菌分离及室内药剂筛选试验[J]. 广东农业科学, 2012, 39(2): 74-75.

[11] 秦忠, 肖耀忠. 不同药剂防治水稻胡麻斑病试验简报[J]. 上海农业科技, 2012, 4(1): 109.

[12] 韩民利, 何永祥, 祁开利. 30%世苗乳油对稻胡麻斑病的防治效果[J]. 河北农业科学, 2007, 4(1): 55-56.

[13] 潘连富, 赖大欣. 70%安泰生可湿性粉剂对水稻纹枯病、胡麻叶斑病田间防治效果试验[J]. 广西农业科学, 2009, 40(9): 1160-1162.

[14] 赵朝明, 李品清. 晚稻穗期喷施 70%丙森锌可湿性粉剂防治水稻胡麻叶斑病和增产效应试验[J]. 广西农学报, 2011, 26(1): 14-16.

[15] 冯思琪, 张亚玲. 黑龙江水稻胡麻叶斑病病原菌的分离鉴定及生物学特性[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 17-23.

[16] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[17] 冯爱卿, 陈深, 朱小源, 等. 10 种杀菌剂对水稻稻叶褐条斑病菌的室内毒力[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 193-197.

[18] International Rice Research Institute. Standard evaluation system for rice [M]. 5th ed. Manila: IRRI, 2014: 21.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 347 页)

[10] TANG Wei, CHEN Jie, YU Xiaoyue, et al. Growth, fecundity, and competition between aryloxyphenoxy-propionate-resistant and-susceptible Asia minor bluegrass (*Polypogon fugax*) [J]. Weed Science, 2019, 67(5): 546-551.

[11] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 除草剂第 6 部分: 对作物的安全性试验 土壤喷雾法: NY/T 1155.6-2006 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[12] YANG Yongjie, CHEN Jiangmin, HUANG Qina, et al. Can liming reduce cadmium (Cd) accumulation in rice (*Oryza sativa*) in slightly acidic soils? A contradictory dynamic equilibrium between Cd uptake capacity of roots and Cd immobilization in soils [J]. Chemosphere, 2018, 193: 547-556.

[13] 中华人民共和国农业部. 农药田间药效试验准则(一)除草剂防治水稻田杂草: GB/T 17980.40-2000 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.

[14] 罗锡文, 廖娟, 胡炼, 等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 1-11.

[15] FAROOQ M, SIDDIQUE K H M, REHMAN H, et al. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities [J]. Soil & Tillage Research, 2011, 111(2): 87-98.

[16] 江荣昌. 稗草主要生物学特性及其防除[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(4): 366-373.

[17] 张建萍, 唐伟, 于晓玥, 等. 机直播稻“播喷同步”机械化除草技术中的种子处理方法[J]. 黑龙江农业科学, 2020(1): 74-77.

[18] 张建萍, 马国兰, 周治中, 等. 机直播水稻“播喷同步”机械除草技术在湖南早稻生产中的应用[J]. 湖南农业科学, 2018(4): 56-59.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 351 页)

[2] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10-19.

[3] PITRE H N, MULROONEY J E, HOGG D B. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants [J]. Journal of Economic Entomology, 1983, 76(3): 463-466.

[4] 杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 等. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 10-16.

[5] 徐丽娜, 胡本进, 苏卫华, 等. 安徽发现草地贪夜蛾为害早播小麦[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 87-89.

[6] 李艳朋, 李猛, 刘鸿恒, 等. 草地贪夜蛾在江苏北部早播麦田的发生与防治[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 212-215.

[7] 张智, 林培炯, 陈智勇, 等. 小麦中后期草地贪夜蛾为害特征观察[J]. 植物保护, 2021, 47(5): 297-301.

[8] 詹振亮. 关于小麦种子包衣防治病虫害技术的研究[J]. 种子科技, 2020, 38(19): 99-100.

[9] GREENE G L, LEPPLA N C, DICKERSON W A. Velvetbean caterpillar: A rearing procedure and artificial medium [J]. Journal of Economic Entomology, 1976, 69(4): 487-488.

[10] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 草地贪夜蛾对小麦的为害风险: 取食为害性及解毒酶活性变化初探[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 63-68.

[11] 李广兴, 袁会珠. 吡虫啉微囊种衣剂在小麦田中的剂量动态及对蚜虫防效研究[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(10): 13-17.

[12] 赵飞, 张苗, 李霞, 等. 不同浓度噻虫嗪种子处理悬浮剂防治小麦蚜虫效果研究[J]. 种子科技, 2016, 34(11): 116-117.

(责任编辑: 田 喆)