

◆ 药效与应用 ◆

小籽蔺草与冬小麦竞争临界期及其经济阈值与 高效化学防控技术研究

余梦林^{1,2}, 王 飞^{1,2}, 杨青云^{1,2}, 冯冬艳^{1,2}, 汤东生^{1,2*}

(1. 云南农业大学, 省部共建云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201; 2. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 为明确云南麦区入侵杂草小籽蔺草(*Phalaris minor* Retz.)的生态经济阈值及高效化学防除策略, 通过盆栽试验研究其与冬小麦的竞争关系, 并筛选安全高效的除草剂混用方案。结果表明: 小籽蔺草密度与小麦株高、有效穗数及产量显著负相关, 其化学防除经济阈值为7.94~14.54株/m², 小籽蔺草与冬小麦竞争临界期为小麦出苗后25.6~29.2 d。除草剂活性测定结果显示, 3%甲基二磺隆SC对1~3叶龄小籽蔺草的ED₅₀最低(3.904 mL/hm²), 4%啶磺草胺SC次之(4.899 mL/hm²)。5%唑啉草酯EC+15%炔草酯EW (26.25 mL/hm²+28.13 mL/hm²)、5%唑啉草酯EC+50%异丙隆WP (52.5 mL/hm²+975 g/hm²)的鲜重防效分别达87.50%、75.15%, E-E₀>10%, 且对小麦安全性较高。

关键词: 小籽蔺草; 冬小麦; 经济阈值; 竞争临界期; 除草剂混用

中图分类号: S 451.2 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2025.05.012

Ecological, economic thresholds and efficient chemical control techniques for *Phalaris minor* Retz. in winter wheat field

YU Menglin^{1,2}, WANG Fei^{1,2}, YANG Qingyun^{1,2}, FENG Dongyan^{1,2}, TANG Dongsheng^{1,2*}

(1. State Key Laboratory for the Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: To clarify the eco-economic thresholds and optimal chemical control strategies for the invasive weed *Phalaris minor* Retz. in Yunnan's winter wheat fields, the competitive relationship between *P. minor* and winter wheat was investigated through pot experiments, and safe, efficient herbicide mixtures were screened. The results indicated that *P. minor* density was significantly negatively correlated with wheat plant height, effective panicle number, and yield. The economic threshold for chemical control was determined as 7.94-14.54 plants per 1 m². The critical competition period between *P. minor* and winter wheat occurred 25.6-29.2 days after wheat emergence. The activity assays showed that mesosulfuron-methyl 3% SC exhibited the lowest ED₅₀ (3.904 mL/hm²) against 1-3 leaf-stage *P. minor*, followed by pyroxusulam 4% SC (4.899 mL/hm²). In mixture trials, the fresh weight control efficacies of pinoxaden 5% EC + clodinafop-propargyl 15% EW (26.25 mL/hm² + 28.13 mL/hm²), pinoxaden 5% EC + isoproturon 50% WP (52.5 mL/hm² + 975 g/hm²) were 87.50%, 75.15%, respectively. The values of E-E₀ were greater than 10%, and they were safe to winter wheat.

Key words: *Phalaris minor*; winter wheat; economic threshold; critical competition period; herbicide mixture

收稿日期: 2025-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160650), 云南省重大科技专项(202202AE090036)

作者简介: 余梦林(1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事杂草综合防控研究。E-mail: yumenglinjq@163.com

通信作者: 汤东生, 教授, 硕士生导师。研究方向: 杂草学。E-mail: tangds@ynau.edu.cn

小籽藨草(*Phalaris minor* Retz.)为禾本科藨草属一年生草本植物,是一种恶性杂草。其原产于地中海地区,现已广泛入侵南亚、非洲及拉丁美洲等多个小麦主产区。由于该杂草繁殖力强,生态幅广,并与作物竞争激烈,已成为全球麦田最具威胁的外来入侵杂草之一^[1-2]。近年来,受气候变化及耕作制度调整,小籽藨草在我国云南、四川等西南麦区快速扩散,局部田块种群密度高达400株/m²,导致小麦减产30%~65%,严重威胁区域粮食安全生产^[3]。因此,明确小籽藨草的生态竞争机制并制定高效防除策略,是当前麦田杂草治理的迫切需求。

作物与杂草的竞争临界期和经济阈值是制定科学防控策略的核心依据。竞争临界期反映了杂草对作物产量形成的关键干扰时段,而经济阈值则量化了杂草密度与相应经济损失之间的平衡点,二者共同决定了精准施药的时间窗口与防控强度^[4-5]。目前,关于麦田常见杂草如野燕麦(*Avena fatua*)、播娘蒿(*Descurainia sophia*)等的竞争模型已有较多报道^[6-7]。但小籽藨草因其独特的生物学特性,如分蘖能力强、种子休眠期短,其竞争动态及阈值参数显著区别于其他杂草。此外,云南高原麦区独特的亚热带季风气候(年均温14.9℃、年降雨量约1 000 mm)可能进一步改变杂草与作物互作模式,而针对这一区域化特征的研究尚属空白。

化学防治仍是当前麦田杂草治理的主要措施,但长期单一用药导致小籽藨草对乙酰辅酶A羧化酶(ACCase)、乙酰乳酸合成酶(ALS)抑制剂类除草剂的抗性日益突出^[8-9]。除草剂科学混配可通过多靶标作用机制延缓抗性发展,同时减少单剂用量^[10]。然而,现有混配研究多聚焦于阔叶杂草,针对小籽藨草的增效组合筛选及作物安全性评价缺乏系统数据,尤其是在云南地区高湿、弱光等特殊气候条件下,除草剂的药效稳定性亟待验证。

为此,本研究以云南麦区小籽藨草-冬小麦系统为研究对象,通过盆栽模拟试验,解析不同杂草密度、共存时间对小麦生长及产量的竞争效应,构建基于生态经济阈值的防控模型,结合除草剂生物活性测定及混配增效评价,筛选高效低风险的混用方案,以期为区域麦田小籽藨草的绿色防控提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

冬小麦品种:云麦39号。

供试杂草:小籽藨草,种子采集于云南省玉溪市易门县六街镇(102.23°E、24.86°W)。

供试除草剂:5%唑啉草酯乳油,瑞士先正达作物保护有限公司;15%炔草酯水乳剂,安徽美程化工有限公司;50%异丙隆可湿性粉剂,吴忠领航生物药业科技有限公司;10%精噁唑禾草灵乳油,安徽华星化工有限公司;3%甲基二磺隆可分散油悬浮剂、10%氟唑磺隆可分散油悬浮剂,山东康乔生物科技有限公司;4%啶磺草胺可分散油悬浮剂,中农立华农用化学品有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 小籽藨草与冬小麦的经济阈值研究

试验采用整株盆栽法,在云南农业大学试验基地(102.75°E、25.13°N)进行,土壤类型均为红壤土。分别设0、25、50、100、200和400株/m²(即0、1、2、4、8、16株/盆)6组小籽藨草密度处理,小麦每盆2株。每处理重复4次,共计24盆。小籽藨草与小麦于2023年10月15日同时播种,出苗后每盆(高22 cm×内径20.5 cm)按照试验设计密度,均匀拔除多余的小籽藨草幼苗。

试验材料置于田间管理,期间人工拔除其他杂草,定期施肥、浇水,预防田间病虫害发生。

经济危害允许水平(LEI/%)参照公式(1)计算^[11]。

$$LEI/\% = \frac{100C + FE}{PVE} \times 100 \quad (1)$$

式中:C表示杂草防除费用(元/hm²);V为小麦预期产量(kg/hm²);P为小麦市场价格(元/kg);E为杂草防除效果/%;F为杂草在生态经济阈值水平上所产生的经济效益(元/hm²)。

1.2.2 小籽藨草与冬小麦的竞争临界期研究

小籽藨草与小麦竞争临界期的测定参照褚建君等^[12]的方法。设小籽藨草与小麦共存时间为0、15、30、45、60、75、90 d和150 d(小麦整个生育期),小籽藨草密度为150株/m²(6株/盆),小麦为每盆2株。每处理4次重复。整个试验过程中,定期检查盆内小麦和小籽藨草的生长情况,及时对缺失或长势较差的麦苗进行补充和替换,并人工拔除盆内其他杂草。盆内管理措施均保持一致,小麦成熟后按面积推算产量。按照公式(2)计算产量损失率(%)。

$$\text{产量损失率}/\% = \frac{\text{对照产量} - \text{处理产量}}{\text{对照产量}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.3 防除小籽藨草的除草剂混用配方研究

1.2.3.1 不同除草剂对小籽藨草的生物活性测定

采用整株盆栽法进行试验,小籽藨草于2024年

10月10日播种 ,每盆均匀播施小籽藜草各20粒后覆土0.5 cm ,小籽藜草出苗后定苗 ,保持每盆10株小籽藜草 ,拔除多余幼苗及其他杂草。室外栽培 ,定期浇水。采用7种不同除草剂 ,5个剂量(分别为推荐有

效成分用量的1/4、1/2、1、2、4倍) ,在小籽藜草的不同叶龄进行茎叶喷雾处理 ,以清水为对照 ,见表1。每个处理重复3次 ,药后21 d ,计算鲜重抑制率。利用DPS软件进行除草剂毒力回归分析。

表 1 除草剂用量及施药时期

除草剂	有效成分用量/(mL, g/hm ²)	施药时期
5%唑啉草酯EC	13.13、26.25、52.50、105.00、210.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄
15%炔草酯EW	14.06、28.13、56.25、112.50、225.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄
50%异丙隆WP	243.75、487.50、975.00、1 950.00、3 900.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄
10%精噁唑禾草灵EC	22.50、45.00、90.00、180.00、360.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄
3%甲基二磺隆SC	3.38、6.75、13.50、27.00、54.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄
4%啶磺草胺SC	3.00、6.00、12.00、24.00、48.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄
10%氟唑磺隆SC	9.38、18.75、37.50、75.00、150.00	1~3叶龄 ,4~6叶龄

1.2.3.2 除草剂混用评价

根据Gowing法^[13]进行除草剂A(唑啉草酯)和除草剂B(炔草酯、异丙隆)混用联合作用测定 ,分别设置5个除草剂A和B有效剂量梯度 ,除草剂A、B进行交叉组合 ,设清水为空白对照 ,每个处理4次重复。在小籽藜草1~3叶期进行茎叶喷雾处理 ,参照《农药室内生物测定试验准则 第4部分:除草剂活性测定试验 茎叶喷雾法》(NY/T1155.4—2006)进行。按照试验设计的剂量于傍晚太阳落山后进行茎叶喷雾处理 ,喷雾压力为0.2 MPa ,喷液量为450 L/hm²。药后10、20、30 d ,观察并记录杂草受害症状。药后30 d ,剪取杂草地上部分茎叶 ,称量鲜重 ,计算杂草鲜重防效。通过公式(3)计算出各混配处理对小籽藜草的理论防效(%)。

$$E_0=[X+Y(100-X)]/100 \quad (3)$$

式中 :X为除草剂A单剂防效(%) ;Y为除草剂B单剂防效/% ;E₀为A、B混剂的理论防效(%) ;E为A、B混剂的实际防效(%)。当E-E₀>10%时为增效作用 , -10%<E-E₀<10%时为相加作用 , E-E₀<-10%时为拮抗作用。

1.2.3.3 混用配方对小麦安全性的评价

采用整株生测法评价唑啉草酯与炔草酯、唑啉草酯与异丙隆混配小麦生长的安全性。小麦与小籽藜草共同生长条件下 ,于小籽藜草1~3叶期 ,小麦4~6叶期进行茎叶喷雾处理。施药后30 d ,记录小麦的株高及杂草鲜重 ,并计算株高抑制率和鲜重防效。

株高抑制率/%= $\frac{\text{空白对照株高}-\text{施药处理株高}}{\text{空白对照株高}} \times 100 \quad (4)$

鲜重防效/%= $\frac{\text{空白对照鲜重}-\text{施药处理鲜重}}{\text{空白对照鲜重}} \times 100 \quad (5)$

1.3 数据处理

采用Excel 2020软件对数据进行处理 ,数据用“平均值±标准误”表示。采用SPSS19.0统计分析软件对数据进行差异显著性分析 ,不同英文小写字母表示处理间差异达显著水平(P<0.05)。利用DPS软件进行各除草剂毒力回归分析。

2 结果与分析

2.1 小籽藜草与小麦的经济阈值和竞争临界期研究结果

2.1.1 不同密度小籽藜草对小麦经济阈值的影响

不同密度的小籽藜草对小麦株高及产量构成因素的影响见表2所示。在小麦全生育期内 ,随着小籽藜草密度的增加 ,小麦的株高、有效穗和小麦产量均呈现较明显的降低趋势。对照组小麦株高与小籽藜草密度200、400株/m²处理的小麦株高差异显著。对照组小麦有效穗与小籽藜草密度50株/m²以上处理的有效穗差异显著。小籽藜草密度25株/m²以上处理的小麦产量均与对照组差异显著 ;小籽藜草密度≥100株/m²时 ,产量损失率趋于稳定(61.78%~65.41%) ,原因可能是资源竞争达到饱和状态。

应用SPSS22.0软件 ,选取5种可能的数学模型对小麦产量损失率和小籽藜草密度之间的关系进行回归分析和模型拟合。由表3可知 ,综合各回归模型的R²、F值显著性及曲线的拟合效果 ,并结合田间的实际情况 ,认为对数函数Y=-0.382+11.669lnX (R²=0.647 ,F=35.859 ,P=0)对小麦产量损失率与不同小籽藜草密度之间的关系拟合效果最佳。

根据当地小麦实际生产情况 ,设小麦产量(V)为7 000 kg/hm² ,小麦市场价格(P)为1.5~2.6元/kg ,

杂草防除费用(C)为600元/hm²,防除效果(E)为80%,在生态经济阈值水平上所产生的经济效益(F)为35元/hm²。由经济危害允许水平公式计算得出:化学防除小籽藨草的经济危害允许水平为4.31%~7.48%。根据小麦产量损失率与小籽藨草的函数模型 $Y=11.669\ln X-3.382$ 得出其化学防除经济阈值为7.94~14.54株/m²,即小籽藨草密度为7.94~14.54株/m²时需进行化学防除,以控制杂草危害。

表 2 不同密度小籽藨草对小麦产量性状的影响

种植密度/(株/m ²)		株高/cm	有效穗/(穗/m ²)	产量/(kg/hm ²)	产量损失率/%
小籽藨草	小麦				
0	50	56.00±1.96a	407.89±40.91a	7 940.15±185.24a	
25	50	50.00±3.63ab	342.11±10.74a	5 469.18±315.37b	31.12
50	50	46.75±4.33abc	223.11±16.56b	4 002.99±336.05c	49.59
100	50	46.75±3.42abc	217.68±22.79b	3 034.74±237.65d	61.78
200	50	43.75±2.29bc	197.37±22.79b	3 025.85±236.66d	61.89
400	50	38.25±0.63c	100.00±10.74c	2 746.44±259.89d	65.41

注:表中数据为平均值±标准误。同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 小籽藨草不同密度对小麦产量损失率的回归分析

拟合方式	回归模型	R^2	F	显著性(P)
线性	$Y=0.063X+43.689$	0.383	12.785	0.002
对数	$Y=11.669\ln X-3.382$	0.647	35.859	0
二次曲线	$Y=-0.000\ 4X^2+0.264X+31.822$	0.599	15.220	0
幂函数	$Y=15.740X^{0.255}$	0.579	27.098	0
指数	$Y=41.519e^{0.001x}$	0.316	9.788	0.006

2.1.2 小籽藨草与小麦竞争临界期的研究结果

回归分析结果见表4。3种拟合模型的 R^2 依次为二次曲线(0.381)>线性(0.363)>指数(0.236),线性函数模型的 F 值最大(29.694),且3种模型均能较好地表示出小籽藨草、小麦共存时间与小麦产量损失率之间的关系。

综合各回归模型的 R^2 、 F 值、显著性以及曲线与实测值的拟合效果,并结合农业生产实际情况,二

次曲线函数模型 $Y=-2.194\ 2X^2+0.006\ 0X+0.030\ 1$ ($R^2=0.381$ 、 $F=15.723$ 、 $P=0$)能更好地拟合小籽藨草、小麦共存时间与小麦产量损失率间的关系。

由2.1.1中小麦田杂草经济危害允许水平4.31%~7.48%,得出小籽藨草与冬小麦竞争临界期为25.6~29.2 d,即在小籽藨草与小麦竞争临界期前进行防除才能将小麦田的产量损失控制在经济危害允许水平以内。

表 4 小籽藨草与小麦共存时间与小麦产量损失率的回归分析

拟合方式	回归模型	R^2	F	显著性(P)
线性	$Y=0.003X+0.076\ 1$	0.363	29.694	0
二次曲线	$Y=-2.194\ 2X^2+0.006\ 0X+0.030\ 1$	0.381	15.723	0
指数	$Y=0.037\ 8e^{0.020\ 4X}$	0.236	16.101	0

2.2 小籽藨草防除药剂筛选及混配联合作用

2.2.1 除草活性的测定结果

本研究采用盆栽试验法,测定了在小籽藨草1~3叶龄和4~6叶龄用药,其对7种常用茎叶处理剂的敏感性。由表5可知,不同除草剂对1~3叶龄小籽藨草的活性依次为3%甲基二磺隆SC(3.904 mL/hm²)>4%啶磺草胺SC(4.899 mL/hm²)>5%唑啉草酯EC(13.216 mL/hm²)>10%氟唑磺隆SC(18.438

mL/hm²)>15%炔草酯EW(18.900 mL/hm²)>10%精噁唑禾草灵EC(62.554 mL/hm²)>50%异丙隆WP(223.282 g/hm²)。对4~6叶龄小籽藨草的除草活性依次为3%甲基二磺隆SC(4.211 mL/hm²)>4%啶磺草胺SC(8.129 mL/hm²)>5%唑啉草酯EC(15.550 mL/hm²)>10%氟唑磺隆SC(44.585 mL/hm²)>10%精噁唑禾草灵EC(63.491 mL/hm²)>15%炔草酯EC(65.054 mL/hm²)>50%异丙隆WP(687.408 g/hm²)。

表 5 7 种药剂对小籽藨草的生物活性测定

叶龄	药剂	毒力回归方程	相关系数	ED ₅₀ /(mL, g/hm ²)	95%置信限/(mL, g/hm ²)
1~3叶龄	5%唑啉草酯EC	y=2.48x-2.70	0.930	13.216	6.377~18.604
	15%炔草酯EW	y=1.85x-2.32	0.948	18.900	9.930~27.308
	50%异丙隆WP	y=2.15x-4.91	0.881	223.282	91.512~328.004
	10%精噁唑禾草灵EC	y=1.95x-0.35	0.997	62.554	42.426~86.653
	3%甲基二磺隆SC	y=1.28x-0.74	0.957	3.904	1.078~6.684
	4%啶磺草胺SC	y=0.92x-0.63	0.925	4.899	0.807~9.231
	10%氟唑磺隆SC	y=1.34x-1.69	0.902	18.438	11.055~26.058
4~6叶龄	5%唑啉草酯EC	y=1.79x-2.09	0.975	15.550	9.496~21.087
	15%炔草酯EW	y=1.60x-2.86	0.908	65.054	48.089~90.619
	50%异丙隆WP	y=2.07x-5.80	0.789	687.408	51.372~2150.250
	10%精噁唑禾草灵EC	y=0.93x-1.68	0.875	63.491	32.057~103.187
	3%甲基二磺隆SC	y=1.13x-0.69	0.896	4.211	1.734~6.653
	4%啶磺草胺SC	y=1.00x-0.90	0.965	8.129	4.245~12.824
	10%氟唑磺隆SC	y=0.59x-0.97	0.955	44.585	40.423~248.014

2.2.2 唑啉草酯、炔草酯混用配方的筛选及安全性

由表6和表7可知,药后30 d,单独使用5%唑啉草酯EC的鲜重防效随用量的增加逐渐升高,从25%上升至55%,显示出一定的防效,单独使用15%炔草酯EW的鲜重防效在11%~48%,同样显示出一定的防效,且防效随用量增加而升高。两单剂混用对小籽藨草的鲜重防效为56.25%~87.50%, $E-E_0$ 在-35.94%~37.50%,表明5%唑啉草酯EC与15%炔草酯EW混用对小籽藨草的防除效果同时存在拮抗作用、相加作用和增效作用。当15%炔草酯EW+5%唑啉草酯EC有效成分用量分别为14.06 mL/hm²+

26.25 mL/hm²、14.06 mL/hm²+52.50 mL/hm²、14.06 mL/hm²+105.00 mL/hm²、14.06 mL/hm²+210.00 mL/hm²、28.13 mL/hm²+13.13 mL/hm²、28.13 mL/hm²+26.25 mL/hm²、28.13 mL/hm²+52.50 mL/hm²、56.25 mL/hm²+13.13 mL/hm²、56.25 mL/hm²+26.25 mL/hm²时, $E-E_0>10\%$,表现出增效作用。由以上结果可以得出,5%唑啉草酯EC 26.25 mL/hm²与15%炔草酯EW 14.06~56.25 mL/hm²混用,适配性良好。在保证防除效果的同时考虑对小麦的安全性及降低除草剂用量等原则,推荐将5%唑啉草酯EC 26.25 mL/hm²与15%炔草酯EW 28.13 mL/hm²混用。

表 6 唑啉草酯与炔草酯混用对小籽藨草的鲜重防效(药后 30 d)

炔草酯有效成分 用量/(mL/hm ²)	唑啉草酯有效成分用量/(mL/hm ²)					
	0	13.13	26.25	52.50	105.00	210.00
0		25.00±22.10cB	37.50±16.14bAB	50.00±20.41bA	53.75±6.25abA	55.00±17.68aA
14.06	11.00±25.00bB	56.25±15.73bcAB	81.25±11.97aA	87.50±7.22 aA	68.75±18.75abA	81.25±11.97aA
28.13	27.50±16.14abB	64.00±7.62aA	87.50±12.5aA	81.25±11.97aA	83.75±6.25aA	85.24±10.71aA
56.25	34.00±20.41abB	66.50±7.22abA	84.50±7.22aA	81.25±6.25aA	82.75±11.97abA	86.75±11.97aA
112.50	43.75±6.25abB	68.75±6.25abcAB	81.25±6.25aA	62.50±7.22abAB	50.00±10.21bAB	85.50±7.22aA
225.00	48.00±17.68aB	62.50±7.282abcAB	68.75±6.25aAB	75.00±23.00aA	75.00±10.21abA	82.25±6.25aA

注:表中数据为平均值±标准误,同列不同小写字母表示差异显著($P<0.01$),同行不同大写字母表示差异显著($P<0.01$)。下表同。

表 7 唑啉草酯与炔草酯混用对小籽藨草的 $E-E_0$

炔草酯有效成分 用量/(mL/hm ²)	唑啉草酯有效成分用量/(mL/hm ²)				
	13.13	26.25	52.50	105.00	210.00
14.06	7.81	37.50	29.69	12.50	17.69
28.13	36.99	34.38	16.41	9.38	4.46
56.25	21.88	25.00	9.38	-18.75	-23.88
112.50	7.42	3.44	-5.86	-35.94	-14.20
225.00	-20.31	-12.50	-10.94	-18.75	-15.06

2.2.3 唑啞草酯、异丙隆混用配方的筛选及安全性

在7种供试药剂中,50%异丙隆WP药后30 d对小籽藨草的鲜重防效最差,仅为6.25%~35.25%。但采用5%唑啞草酯EC与50%异丙隆WP混用,最高鲜重防效可达86.25%,见表8和表9。当5%唑啞草酯EC+50%异丙隆WP用量分别为26.25 mL/hm²+1 950.00 g/hm²、52.5 mL/hm²+975.00 g/hm²、52.5

mL/hm²+1 950.00 g/hm²、105.00 mL/hm²+487.50 g/hm²、105.00 mL/hm²+975.00 g/hm²、105.00 mL/hm²+1 950.00 g/hm²、210.00 mL/hm²+243.75 g/hm²时,E-E₀>10%,表现出增效作用。综合以上结果,在保证防除效果的同时考虑到对小麦的安全性及降低除草剂用量等原则,推荐将5%唑啞草酯EC 52.50 mL/hm²与50%异丙隆WP 975.00 g/hm²混用。

表 8 唑啞草酯与异丙隆混用对小籽藨草的鲜重防效(药后 30 d)

异丙隆有效成分 用量/(g/hm ²)	唑啞草酯有效成分用量/(mL/hm ²)					
	0	13.13	26.25	52.50	105.00	210.00
243.75	6.25±6.25cC	33.75±18.75abBC	48.75±11.97bAB	62.50±12.5aA	62.75±6.25abA	62.50±7.28abA
487.50	12.50±12.5bcB	42.50±7.22abA	62.50±23.94abA	66.25±6.25aA	68.25±6.25abA	70.75±6.25abA
975.00	25.00±10.21bB	52.50±7.22abAB	71.25±11.56aA	75.15±10.21aA	77.50±7.22aA	78.00±8.36aA
1 950.00	35.25±11.97aB	62.50±7.22aA	72.75±11.97aA	77.00±8.63aA	84.00±10.21aA	85.15±10.21aA
3 900.00	50.25±5.62aB	56.50±6.56 abAB	65.75±6.25abAB	76.55±6.59aA	84.50±7.22aA	86.25±6.25aA

表 9 唑啞草酯与异丙隆混用对小籽藨草的 E-E₀

异丙隆有效成分 用量/(g/hm ²)	唑啞草酯有效成分用量/(mL/hm ²)				
	13.13	26.25	52.50	105.00	210.00
243.75	9.06	2.66	9.38	1.48	14.06
487.50	8.13	7.19	0.23	10.47	9.38
975.00	5.75	8.13	12.65	14.69	6.25
1 950.00	3.44	19.53	15.63	19.45	-12.31
3 900.00	-12.50	-16.25	-12.23	-12.50	-19.75

3 讨论与结论

本研究系统探讨了小麦田优势杂草小籽藨草的竞争特点及化学防除策略,揭示了其与小麦的竞争临界期、经济阈值及高效除草剂组合,为区域性杂草防控提供了理论依据。结果表明,在经济允许危害水平4.31%~7.48%,根据小籽藨草不同共存时间与小麦产量损失率的最佳拟合曲线模型 $Y=-2.194\ 2X^2+0.006\ 0X+0.030\ 1$,得出小麦田小籽藨草的最佳防除临界期为25.6~29.2 d。

李儒海等^[14]研究发现,小麦田猪殃殃与冬小麦的竞争临界期为小麦苗后16~97 d,即此时为防除猪殃殃的最佳时期,小麦处于3叶期至8~9叶期,在此期间防除能保证猪殃殃造成的小麦产量损失率低于3%。夏国军等^[15]研究发现,播娘蒿与冬小麦的竞争临界期在冬小麦播种后150~170 d,在此期间除草1次,即可取得较大增产效果。本研究中小籽藨草的竞争临界期显著早于猪殃殃和播娘蒿等常见杂草,这可能与云南地区气候及生态适应性差异有关。竞争临界期的差异印证了作物种类、栽培模式

与杂草群落特征对竞争动态的协同影响,提示区域化杂草管理需结合本地优势种群生物学特性制定精准防除窗口。

在化学防除经济阈值方面,张绍明等^[16]以小麦田日本看麦娘、猪殃殃为研究对象进行小麦田经济阈值的研究,结果表明小麦田的混合防除指标为日本看麦娘45.6株/m²+猪殃殃6.8株/m²。宋爱颖等^[17]以芦苇为研究对象进行麦田经济阈值的研究,结果表明一般密度和较高密度下芦苇的经济危害允许水平分别为7.1%、14.2%,生态经济阈值分别为25.3、50.5株/m²。魏守辉等^[18]分别以不同品种小麦的田间优势杂草野燕麦为研究对象进行经济阈值研究。结果表明,当小麦品种为鄂麦35057时,野燕麦人工防除的经济阈值为3.77~9.04株/m²;而当小麦品种为郑麦9023时,相应的经济阈值为3.32~5.85株/m²。本研究在经济允许危害水平4.31%~7.48%,对数函数 $Y=-0.382+11.669\ln X(R^2=0.647,F=35.859,P=0)$ 对小麦产量损失率与不同小籽藨草密度之间的关系拟合效果最佳,计算得出小籽藨草的化学防除经济阈值为7.94~14.54株/m²,显著低于日本看麦娘与猪

殃殃的混合阈值及芦苇的经济阈值,表明其对小麦产量的敏感性更高。这一发现强调了针对特定优势杂草建立独立阈值模型的必要性,避免套用宽泛阈值导致防除滞后或过度用药。

除草剂筛选试验表明,3%甲基二磺隆SC与4%啶磺草胺SC虽对1~6叶期小籽藨草ED₅₀最低(3.904~8.129 mL/hm²),但对小麦存在严重的药害风险,与文献[19-21]报道的磺酰脲类除草剂选择性差异问题一致。因此,基于安全性考量,5%唑啉草酯EC+15%快草酯EW(26.25 mL/hm²+28.13 mL/hm²)、5%唑啉草酯EC+50%异丙隆WP(52.50 mL/hm²+975.00 g/hm²)混用被推荐为最优方案,其鲜重防效在75%~85%,具有一定推广潜力。

本研究的创新点在于首次构建了云南麦区小籽藨草动态竞争模型与经济阈值体系,并开发了适配区域性杂草抗性特征的低风险混用方案。然而,长期依赖化学防除可能导致小籽藨草抗性进化与群落演替,未来需结合生态调控与精准施药技术,构建可持续杂草治理体系。

参考文献

- [1] CHHOKAR R S, SHARMA R K. Multiple herbicide resistance in littleseed canarygrass (*Phalaris minor*): a threat to wheat production in India[J]. Weed Biology and Management, 2008, 8(2): 112-123.
- [2] 李儒海, 褚世海, 魏守辉. 外来入侵杂草小籽藨草的研究进展[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 501-510.
- [3] 张绍明, 李星月, 朱建义, 等. 云南省麦田杂草群落特征及小籽藨草危害现状[J]. 植物保护, 2022, 48(6): 89-95.
- [4] 魏守辉, 张朝贤, 黄红娟, 等. 作物-杂草竞争模型及其在综合治理中的应用[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4240-4248.
- [5] SWANTON C J, WEISE S F. Integrated weed management: the rationale and approach[J]. Weed Technology, 1991, 5(3): 657-663.
- [6] 夏国军, 李贵杰, 王克功, 等. 播娘蒿与冬小麦竞争临界期的研究

[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(2): 238-245.

- [7] 宋爱颖, 王金信, 杨龙, 等. 野燕麦与小麦竞争关系及经济阈值的研究[J]. 植物保护学报, 2015, 42(4): 661-667.
- [8] 禹田, 朱德慧, 马书芳. 不同类型除草剂对冬小麦田阔叶杂草防效[J]. 现代农药, 2022, 21(5): 65-69.
- [9] 刘伟堂, 王金信, 张宏军, 等. 中国麦田抗性杂草现状及治理策略[J]. 农药学报, 2019, 21(5): 733-742.
- [10] BECKIE H J, ASHWORTH M B, FLOWER K C. Herbicide resistance management: recent developments and trends[J]. Plants, 2019, 8(6): 161.
- [11] 高爽, 赵平. 除草剂混用及其药效评价方法[J]. 农药, 2007, 46(9): 61-62; 71.
- [12] 褚建君, 李扬汉. 苘草对小麦的竞争临界期[J]. 杂草科学, 2003(1): 21-22; 33.
- [13] 徐小燕, 陈杰, 台文俊, 等. 两种除草剂复配评价方法的研究[J]. 杂草科学, 2007(2): 27-30.
- [14] 李儒海, 褚世海, 魏守辉, 等. 麦田恶性杂草猪殃殃与冬小麦的竞争临界期研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(24): 6026-6029.
- [15] 夏国军, 胡刚元, 王文静, 等. 播娘蒿田间发生规律及其与冬小麦竞争临界期的初步研究[J]. 河南农业大学学报, 2000(3): 220-222.
- [16] 张绍明, 朱先敏, 彭程, 等. 稻茬冬小麦田日本看麦娘和猪殃殃混生的防除指标[J]. 杂草学报, 2021, 39(4): 29-33.
- [17] 宋爱颖, 孙家峰, 张瑞, 等. 麦田芦苇生态经济阈值初探[J]. 杂草科学, 2013, 31(2): 56-58.
- [18] 魏守辉, 张朝贤, 朱文达, 等. 野燕麦对不同小麦品种产量性状的影响及其经济阈值[J]. 麦类作物学报, 2008(5): 893-899.
- [19] 张维, 浦惠明, 胡茂龙, 等. 磺酰脲类除草剂对抗性油菜田间杂草的防除效果及安全性评价[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(2): 334-340.
- [20] 杨森, 吴勇, 刘洪明. 磺酰脲类除草剂的研究进展[J]. 现代农药, 2022, 21(2): 14-21.
- [21] 代倩子, 徐枫, 虞霖, 等. 太湖区域13种磺酰脲类除草剂污染特征[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(9): 1-6.

(编辑: 顾林玲)

创新除草剂异噁唑啉草胺将在澳大利亚申请登记

近日, 拜耳澳大利亚表示, 将于2026年向澳大利亚提交异噁唑啉草胺(icafofin-methyl)的登记申请。此前, 拜耳已向欧盟、巴西、加拿大和美国提交了该产品的登记申请。

异噁唑啉草胺是拜耳研发的新型除草剂, 具有全新作用机理。国际除草剂抗性行动委员会(HRAC)将其归入第23组: 异噁唑啉草胺类, 微管组织抑制剂。其通过抑制植物小管蛋白聚合, 干扰细胞的有丝分裂, 从而造成细胞凋亡, 导致杂草干枯死亡。异噁唑啉草胺是目前该组中首个有效成分, 也是唯一有效成分, 因此其与其他除草剂无交互抗性, 包括HPPD抑制剂、ALS抑制剂、PPO抑制剂、ACCase抑制剂类除草剂等。

异噁唑啉草胺杀草谱广, 用药量低, 可用于谷物、大豆、向日葵、油菜、梨、核果、坚果、葡萄、棉花、柑橘、园艺作物等, 防除禾本科杂草及部分阔叶杂草, 包括黑麦草、牛筋草等抗性杂草, 以及糙果苋等难防杂草。异噁唑啉草胺具有良好的安全性和可持续性, 是对草甘膦等现有除草剂的重要补充, 为抗性杂草防除增加了新的解决方案。

(来源: AgroPages等)