·生物科学·

引用格式:李嘉龙,刘宇,白朕卿,等. 当归田常见杂草高效安全除草剂配方筛选[J]. 延安大学学报(自然科学版),2026,45(3):24-31. [LI J L, LIU Y, BAI Z Q, et al. Screening of efficient and safe herbicide formulations for common weeds in *Angelica sinensis* fields[J]. Journal of Yan'an University(Natural Science Edition),2026,45(3):24-31.] **DOI**:10.13876/J.cnki.ydnse.250138

当归田常见杂草高效安全除草剂配方筛选

李嘉龙[1],刘　宇[2],白朕卿[3*],陈国梁[1]

(1. 延安大学 生命科学学院;2. 延安市环境保护监测站,陕西 延安 716000;3. 内蒙古农业大学 草业学院,内蒙古自治区 呼和浩特 010018)

摘　要:研究通过盆栽试验筛选对苗期当归(*Angelica sinensis*)安全且能高效防除田间杂草的除草剂复配方案。试验评价了8.8%精喹禾灵乳油、250 g/L氟磺胺草醚水剂和51%丙炔氟草胺水分散粒剂对马唐、狗尾草、冰草、苦苣、蒲公英、马齿苋6种常见杂草的防效及其对当归幼苗的安全性,并通过复配减量筛选最优配方。结果表明,精喹禾灵对禾本科杂草防效显著,但对阔叶杂草防效较差;氟磺胺草醚和丙炔氟草胺可有效防控阔叶杂草,却对当归幼苗造成的药害较重。复配方案中,79.50 g·hm^{-2}精喹禾灵与75.00 g·hm^{-2}氟磺胺草醚复配(复配组2)对6种供试杂草防效均达100%,当归幼苗死亡率仅为15.00%,显著低于单剂及其他复配处理。该复配方案兼顾杂草防效与当归安全性,可为当归田间杂草安全高效防控提供依据。

关键词:除草剂;当归;杂草;减量复配;协同增效;安全性

中图分类号:S482.4　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1004-602X(2026)03-0024-08

在中药材规范化种植体系中,杂草危害已成为影响药材产量与品质的关键生物胁迫因子。杂草与药用植物竞争光照、水分及土壤养分,还为病虫害提供栖息与传播环境,间接增加农残风险[1-3]。近年来,免耕覆盖、化感抑草等生态防控技术虽在一定程度上缓解了化学除草剂的使用压力,但如何精准协调除草效果与作物安全,仍是当前中药材生产中亟待解决的技术瓶颈[4]。

当归(*Angelica sinensis*)作为根用类大宗中药材,育苗期及移栽初期对杂草胁迫尤为敏感。当归主产区多属高寒阴湿气候,杂草易快速滋生,引发草荒,导致产量显著下滑[5-6]。已有研究表明,杂草竞争不仅抑制当归根系生物量积累,还会干扰次生代谢过程,降低阿魏酸等药用成分含量[7-8]。此外,田间若混杂菊科、苋科等有毒有害杂草进行采收,可能引入生物碱类有毒物质或诱发霉变,进一步加大质量安全风险[9-10]。传统人工除草成本高、效率低,且易损伤当归幼嫩根系。目前生产上多在移栽返青前喷施除草剂防控杂草[11-13],但适用于当归苗期的登记除草剂种类较少。

基于上述问题,本研究选取3种已合规登记的代表性茎叶处理除草剂——精喹禾灵(Quizalofop-p-ethyl)、氟磺胺草醚(Fomesafen)与丙炔氟草胺(Flumioxazin)。其中,精喹禾灵作为乙酰辅酶A羧化酶抑制剂,对禾本科杂草具有高效防除特性[14-15];氟磺胺草醚和丙炔氟草胺属于原卟啉原氧化酶抑

收稿日期:2025-11-26

基金项目:延安市药用植物资源保育与开发利用科技创新团队项目(YAU202506417);延安大学研究生科研与实践创新计划资助项目(YCX2024027)

作者简介:李嘉龙(2000—),男,硕士研究生,主要从事中草药栽培研究。

*通信作者　E-mail:shanxibzq@163.com

制剂，对阔叶杂草具有广谱防除作用[16-21]。本研究以当归田间常见的马唐、狗尾草、冰草、苦苣、蒲公英、马齿苋6种杂草为对象，通过盆栽试验系统评价单剂及复配处理的杂草防除效果和当归幼苗安全性，旨在筛选出高效且安全的复配方案，为苗期当归田间杂草的精准防控及药材安全生产提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试材料

供试当归幼苗为陕北地区当归种子繁育而来，培养条件为温度(25±1)℃，湿度 60%，光照时间 14 h/d，光照强度为 3 000 lx。

1.1.2　药品及试剂

供试除草剂：8.8%精喹禾灵(商品名：京博卢矛净，剂型：乳油，生产企业：山东京博农化科技股份有限公司，生产批号：20240507303)；250 g/L氟磺胺草醚(商品名：斗逗虎，剂型：水剂，生产企业：济南天邦化工有限公司，生产批号：PD20250318)；51%丙炔氟草胺(商品名：封庆，剂型：水分散粒剂，生产企业：四川利尔作物科学有限公司，生产批号：20240802B08)；培养基质由湖南农业大学湘晖农业技术研究所研发，由泥炭、秸秆发酵料、珍珠岩、蛭石等按比例混合。

1.1.3　仪器设备

方形培养盘(①46×46×10 cm^3，②34.5×28×10 cm^3)；优普系列纯水机(UPD-I-100L)；便携式手持喷壶。

1.2　试验方法

1.2.1　试验样品处理

当归种子播于湿润的培养基质(厚约 7 cm)，覆土约 1 cm。幼苗 3~4 叶期播撒杂草种子，杂草 2~4 叶期与当归一并移栽至培养盘，当归和杂草各移栽 30 株。缓苗一周后，当归 3~4 叶，杂草高约 5 cm。复配处理采用①号培养盘，杂草与当归间种，当归株行距约 7.5 cm×8.0 cm，杂草约 2.5 cm×3.0 cm；单剂处理采用②号培养盘，每盘种植一类杂草或当归，当归株行距约 6.0 cm×7.0 cm，杂草约 3.0 cm×3.0 cm。称取目标施药量(每盆)溶于 100 mL RO 水，使用手持喷壶进行除草剂喷施处理，每个处理 3 次重复。单剂筛选与复配试验分两批独立进行，每批次设 3 个区组(即 3 次重复)，区组内各处理随机排列。

1.2.2　除草剂浓度设置

单剂按表 1 浓度喷施，第 7 d 记录死亡数并筛选最适浓度。以最适浓度再次喷施，观察 14 d 评估除草效果与当归安全性。基于单剂药害程度调整复配浓度，喷施后观察 14 d 记录死亡数。

表 1　单除草剂喷施浓度配比　单位：$g \cdot hm^{-2}$

处理组	除草剂浓度
T1(精喹禾灵-低浓度)	66.00
T2(精喹禾灵-中浓度)	79.50
T3(精喹禾灵-高浓度)	93.00
T4(氟磺胺草醚-低浓度)	300.00
T5(氟磺胺草醚-中浓度)	375.00
T6(氟磺胺草醚-高浓度)	450.00
T7(丙炔氟草胺-低浓度)	61.50
T8(丙炔氟草胺-中浓度)	91.50
T9(丙炔氟草胺-高浓度)	123.00

1.2.3　数据处理与分析

记录喷施后 0~14 d 当归及杂草死亡数，经式(1)、(2)、(3)计算得出死亡率和净死亡率。使用 SPSS 24.0 分析数据，因死亡率数据正态性较差，采用 Mann-Whitney U 检验对各处理组与同期对照组进行比较，$P<0.05$ 表示差异显著。为比较不同处理间当归药害程度，对第 14 d 各处理当归净死亡率进行 Kruskal-Wallis H 检验，以 Dunn 检验(Bonferroni 校正)进行两两比较。使用 Graphpad Prism 10.1.2 作图。各处理组杂草和当归的半数致死时间(LT50)以 R 软件 drc 包拟合三参数 log-logistic 模型计算；处理 14 d 后杂草净死亡率的主成分分析与层次聚类以 prcomp 和 pheatmap 函数完成。

$$\text{杂草死亡率} = \frac{\text{杂草死亡数}}{\text{移栽杂草总数}} \times 100\%, \quad (1)$$

$$\text{当归死亡率} = \frac{\text{当归死亡数}}{\text{移栽当归总数}} \times 100\%, \quad (2)$$

净死亡率=处理组死亡率-对照组死亡率。(3)

2　结果与分析

2.1　单除草剂最适浓度筛选

3 种除草剂不同浓度喷施 7 d 后杂草及当归死亡率见表 2。综合除草效果和当归安全性，确定处理 2、4、7 为单剂最适浓度。

2.2　除草剂单用喷施效果分析

79.50 $g \cdot hm^{-2}$精喹禾灵处理组杂草和当归死亡率见图 1(精喹禾灵组)。喷施后第 2 d，禾本科杂草马唐、

冰草和狗尾草的死亡率分别为10%、10%和5%,均显著高于对照组(P<0.05)。第14 d,马唐与冰草的死亡率均达100%,狗尾草为65.00%;阔叶杂草的死亡率在观察期内始终低于15%。此外,当归在喷施后第4 d出现5.00%的死亡率,最终升至25.00%(最大值:26.67%,最小值:23.33%,变异系数:5.45%)。

表2 不同单除草剂处理下杂草和当归的死亡率 单位:%

处理组	马唐	冰草	狗尾草	蒲公英	马齿苋	苦苣	当归
CK	6.63±2.74	5.56±1.56	2.22±1.56	4.44±1.56	5.56±1.56	4.44±1.56	1.11±1.56
T1	25.50±1.56*	25.53±3.16*	25.50±1.56*	12.20±1.56*	11.10±1.56*	12.20±1.56*	5.50±1.56*
T2	28.87±1.60*	28.83±3.16*	28.87±1.60*	16.63±2.74*	12.20±1.56*	15.50±1.56*	3.30±0.00*
T3	25.50±1.56*	24.40±1.56*	22.20±1.56*	12.20±1.56*	9.97±2.74*	12.20±1.56*	5.56±1.56*
T4	24.40±1.56*	18.87±1.60*	17.77±3.16*	32.20±1.56*	28.87±1.60*	32.20±1.56*	4.40±1.56*
T5	25.50±1.56*	14.40±1.56*	14.40±1.56*	27.73±1.60*	27.73±1.60*	27.73±1.60*	7.73±1.60*
T6	24.40±1.56*	15.50±1.56*	11.07±3.16*	25.50±1.56*	25.50±1.56*	25.50±1.56*	6.60±0.00*
T7	18.87±1.60*	12.20±1.56*	9.43±3.41*	28.87±1.60*	27.73±1.60*	28.87±1.60*	4.40±1.56*
T8	15.50±1.56*	7.73±4.16*	9.97±2.74*	26.60±0.00*	25.50±1.56*	26.60±0.00*	7.73±1.60*
T9	17.73±1.60*	9.97±2.74*	8.87±1.60*	24.40±1.56*	26.63±2.74*	24.40±1.56*	6.63±2.74*

注:*代表该处理组死亡率(n=3)与对照组相比P<0.05(Mann-Whitney U检验),数据以均值±标准差表示,处理组浓度同表1。

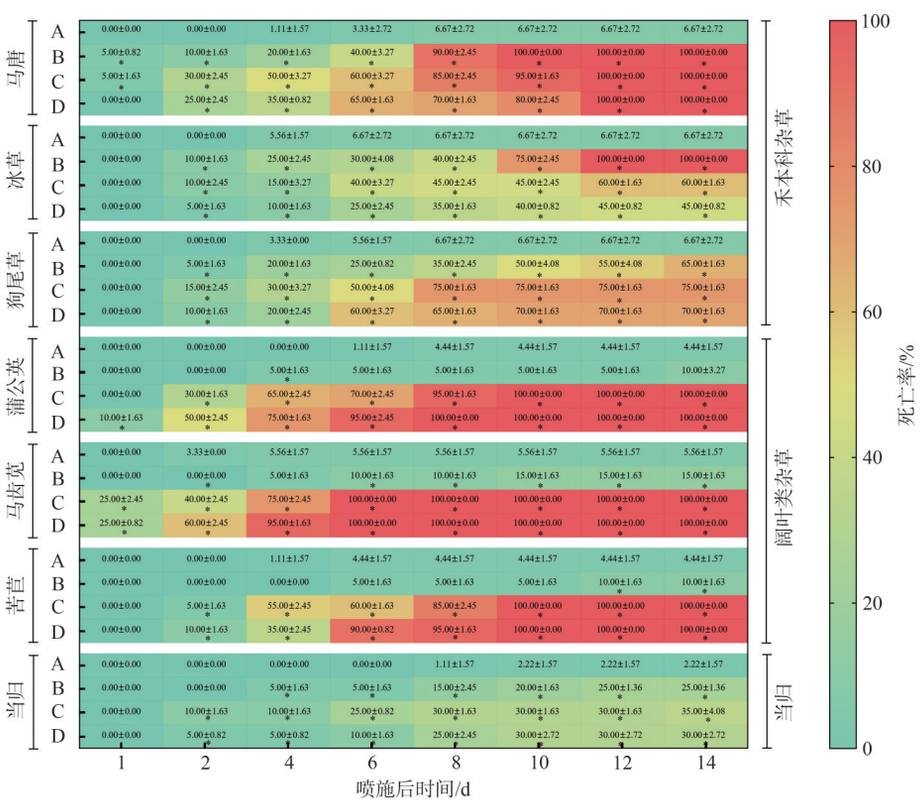


图1 最适浓度的单除草剂喷施后对当归和田间杂草的防控效果

注:A为对照组;B为79.50 g·hm^{-2}的精喹禾灵组;C为300.00 g·hm^{-2}的氟磺胺草醚组;D为61.50 g·hm^{-2}的丙炔氟草胺组。*表示与对照组(n=3)相比P<0.05 (Mann-Whitney U检验)。

300.00 g·hm^{-2}氟磺胺草醚处理组杂草和当归死亡率见图1(氟磺胺草醚组)。喷施后第2 d,所有杂草死亡率均显著高于对照(P<0.05)。喷施后第4 d,阔叶杂草死亡率均超过50%。喷施后14 d,阔叶杂草全部死亡,禾本科杂草马唐死亡率亦达100%,冰草与狗尾草分别为60.00%与75.00%。在喷施第2 d即引起当归显著死亡(P<0.05),最终死亡率达35.00%(最大值:40.00%,最小值:30.00%,变异系数:14.30%)。

61.50 g·hm^{-2} 51%丙炔氟草胺处理组杂草和当归死亡率见图1(丙炔氟草胺组)。喷施后第2 d即对所有供试杂草产生显著致死效果(P<0.05)。第14 d阔叶类杂草及马唐的死亡率均达到100%,冰草

与狗尾草分别为45.00%和70.00%。在喷施第2 d即引起当归显著死亡（P<0.05），最终达30.00%（最大值：33.33%，最小值：26.67%，变异系数：9.07%）。

综合分析表明，精喹禾灵对禾本科杂草防效突出但对阔叶杂草基本无效，对当归毒性相对较低；氟磺胺草醚与丙炔氟草胺虽对阔叶杂草防效突出，但对当归药害显著。3种单剂均无法兼顾广谱除草与当归安全，故需复配优化。

2.3　除草剂混用喷施效果分析

2.3.1　两种除草剂混用喷施效果分析

氟磺胺草醚和丙炔氟草胺对当归毒害较大，丙炔氟草胺抑制10%作物生长剂量（GR_{10}）普遍低于22.50 g·hm^{-2}[22]，氟磺胺草醚安全剂量约375.00 g·hm^{-2}[23]，故在复配试验中将氟磺胺草醚和丙炔氟草胺有效成分浓度分别降低至75.00 g·hm^{-2}和31.50 g·hm^{-2}，与79.50 g·hm^{-2}精喹禾灵进行两两复配。

79.50 g·hm^{-2}精喹禾灵与31.50 g·hm^{-2}丙炔氟草胺复配后杂草和当归死亡率见图2（复配组1）。喷施后第2 d，当归死亡率显著高于对照组（P<0.05），喷施后14 d当归死亡率达45.00%（最大值：50.00%，最小值：40.00%，变异系数：11.11%）。

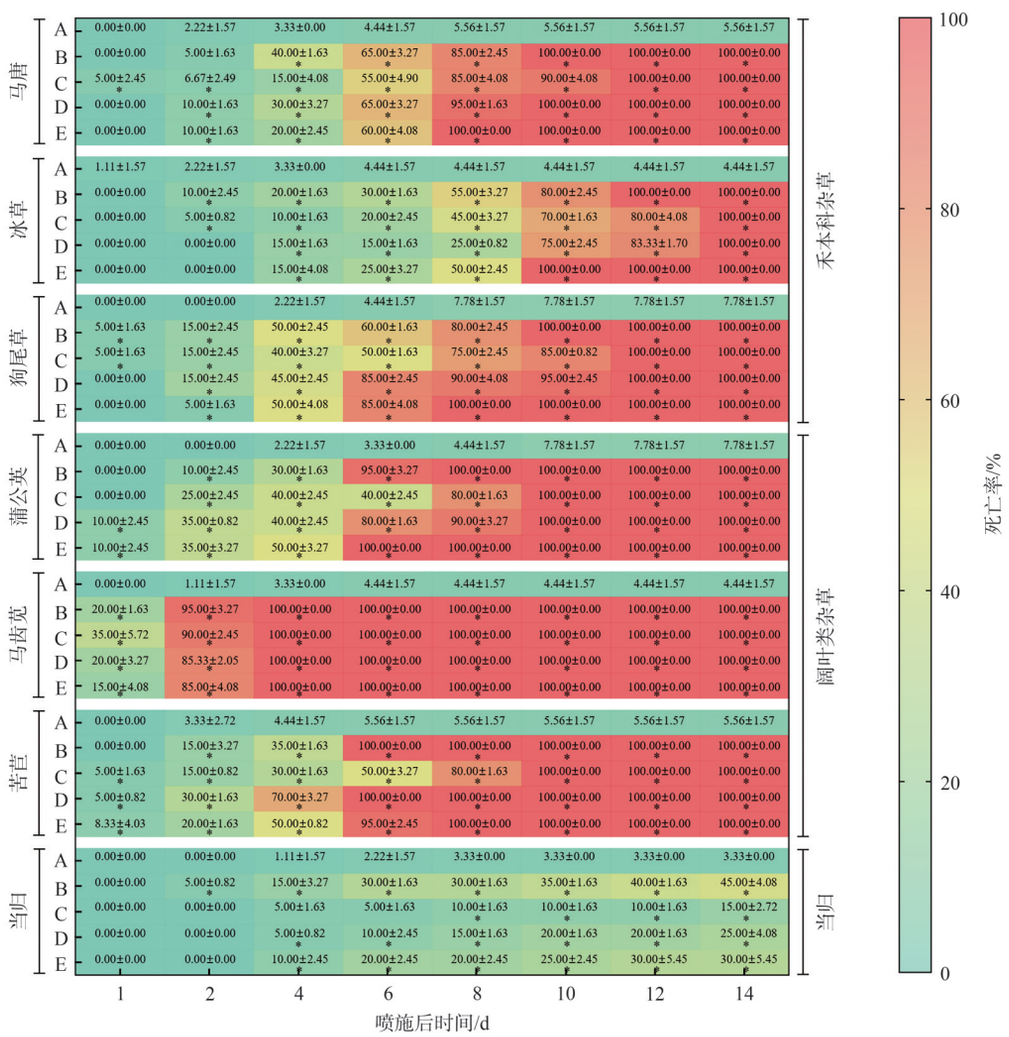


图2　除草剂复配处理对当归和田间杂草的防控效果

注：A为对照组；B为精喹禾灵（79.50 g·hm^{-2}）和丙炔氟草胺（31.50 g·hm^{-2}）的复配组1；C为精喹禾灵（79.50 g·hm^{-2}）和氟磺胺草醚（75.00 g·hm^{-2}）的复配组2；D为丙炔氟草胺（31.50 g·hm^{-2}）和氟磺胺草醚（75.00 g·hm^{-2}）的复配组3；E为精喹禾灵（40.50 g·hm^{-2}）、氟磺胺草醚（300.00 g·hm^{-2}）和丙炔氟草胺（31.50 g·hm^{-2}）的复配组4。*表示与对照组相比差异显著（n=3，P<0.05，Mann-Whitney U检验）。

79.50 g·hm^{-2}精喹禾灵与75.00 g·hm^{-2}氟磺胺草醚复配组杂草和当归死亡率见图2（复配组2）。喷施后第8 d，当归死亡率显著高于对照组（P<0.05），喷施后14 d当归死亡率为15.00%（最大值：18.33%，

最小值:11.67%,变异系数:22.20%)。

75.00 g·hm^{-2}氟磺胺草醚与31.50 g·hm^{-2}丙炔氟草胺复配后杂草和当归死亡率见图2(复配组3)。喷施后第4 d,当归死亡率显著高于对照组(P<0.05),喷施后14 d当归死亡率为25.00%(最大值:30.00%,最小值:20.00%,变异系数:20.00%)。

截至观察末期,两种除草剂复配对供试杂草的防效均达到100%,弥补了单剂除草谱窄的不足。精喹禾灵和氟磺胺草醚复配对当归伤害最小且毒害发生缓慢,喷施后8~12 d当归死亡率增长平缓期。

2.3.2 3种除草剂混用喷施效果分析

两种除草剂喷施处理表明"减量减毒"策略在当归苗期杂草防除中的必要性,但能否通过3种除草剂的组合实现更极致的杂草防控,是这一阶段的研究目标。以40.50 g·hm^{-2}精喹禾灵、300.00 g·hm^{-2}氟磺胺草醚和31.50 g·hm^{-2}丙炔氟草胺进行复配处理,以评估在三元体系中药效的叠加或拮抗效应,以及高剂量下对作物的综合影响。

3种除草剂复配处理杂草和当归死亡率见图2(复配组4)。喷施后第8 d冰草的死亡率达到50.00%,其余5种杂草的死亡率达到100%;喷施后14 d供试杂草死亡率均达到100%,除草效果优于两种除草剂复配。喷施后第4 d,当归的死亡率为10.00%,显著高于对照组(P<0.05),观察末期当归的死亡率为30.00%(最大值:36.67%,最小值:23.33%,变异系数:22.20%),对当归药害较重。

2.3.3 半数致死时间(LT50)

单剂筛选与复配试验分两批进行,为减少批次差异,以下分析均基于净死亡率(处理组死亡率-同批次对照组死亡率)。

各处理组杂草和当归的半数致死时间(LT50)拟合结果见表3。复配组2对阔叶杂草马齿苋和苦苣的LT50分别为1.13 d和6.31 d,对禾本科马唐和冰草的LT50为5.87 d和9.81 d。虽然对冰草的致死速度慢于其他复配组,但复配组2处理后14 d当归净死亡率为11.67%,低于复配组1(41.67%)、复配组4(26.67%)和复配组3(21.67%)。复配组1虽对狗尾草和冰草起效更快(LT50为5.43 d和9.04 d),对阔叶杂草LT50亦较短(1.19~4.28 d),但当归死亡率高达41.67%,安全性最差。复配组2在防效与安全性间平衡最优。

表3 不同处理对杂草的半数致死时间(LT50,d)及当归第14 d净死亡率 单位:%

处理组	马唐	狗尾草	冰草	马齿苋	苦苣	蒲公英	当归14 d净死亡率
复配组2	5.87	—	9.81	1.13	6.31	—	11.67±3.06
复配组1	5.05	5.43	9.04	1.19	4.18	4.28	41.67±5.77
复配组3	5.15	3.90	9.07	1.32	2.88	—	21.67±4.16
复配组4	5.52	3.96	7.85	1.38	3.80	—	26.67±5.13
氟磺胺草醚组	5.78	4.78	—	2.41	4.75	3.28	32.78±2.55
丙炔氟草胺组	—	4.64	—	1.63	4.37	2.09	27.78±2.00
精喹禾灵组	6.10	—	—	—	—	—	22.78±3.06

注:处理组浓度同图1和图2;"—"表示处理后14 d净死亡率未达到50%,LT50无法拟合;数据基于净死亡率拟合LL.3模型,n=3。当归净死亡率以均值±标准差表示。

各处理组第14 d当归净死亡率Kruskal-Wallis H检验显示组间差异显著(P<0.05)。Dunn检验(Bonferroni校正)表明,仅复配组2净死亡率显著低于复配组1(校正后P<0.05),其余两两比较未达显著水平(P>0.05)。受每组3次重复的限制,复配组2虽在数值上低于其他处理,但差异未达统计显著。

2.3.4 当归净死亡率时间动态

当归净死亡率的时间动态曲线见图3,复配组2的死亡率上升趋势最为平缓,且在第8~12 d呈现出明显的平台期;其他处理组死亡率持续快速升高。

2.3.5 杂草净死亡率的聚类与主成分分析

施药14 d后杂草净死亡率的聚类与主成分分析见图4。单剂处理存在靶标选择性:精喹禾灵仅对禾本科杂草有效,氟磺胺草醚与丙炔氟草胺对阔叶杂草防效突出但对禾本科杂草防效有限。复配处理对全部杂草均表现高防效。

主成分分析显示,禾本科与阔叶杂草分别分布于PCA图上下区域;单剂作用方向分别指向对应杂草类型,复配处理则位于两者之间,表明其广谱防效。

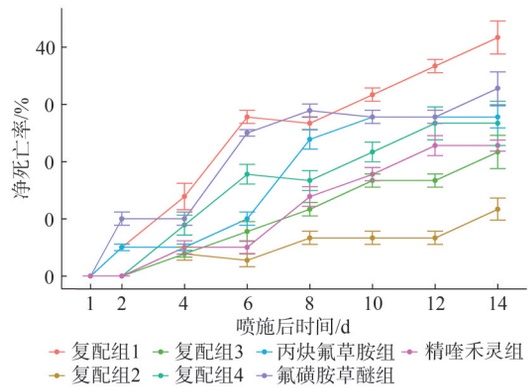


图 3　各处理组当归净死亡率随时间变化

注：精喹禾灵组的浓度为 79.50 g·hm^{-2}；氟磺胺草醚组的浓度为 300.00 g·hm^{-2}；丙炔氟草胺组的浓度为 61.50 g·hm^{-2}；复配组 1 为精喹禾灵(79.50 g·hm^{-2})和丙炔氟草胺(31.50 g·hm^{-2})；复配组 2 为精喹禾灵(79.50 g·hm^{-2})和氟磺胺草醚(75.00 g·hm^{-2})；复配组 3 为丙炔氟草胺(31.50 g·hm^{-2})和氟磺胺草醚(75.00 g·hm^{-2})；复配组 4 为精喹禾灵(40.50 g·hm^{-2})、氟磺胺草醚(300.00 g·hm^{-2})和丙炔氟草胺(31.50 g·hm^{-2})。

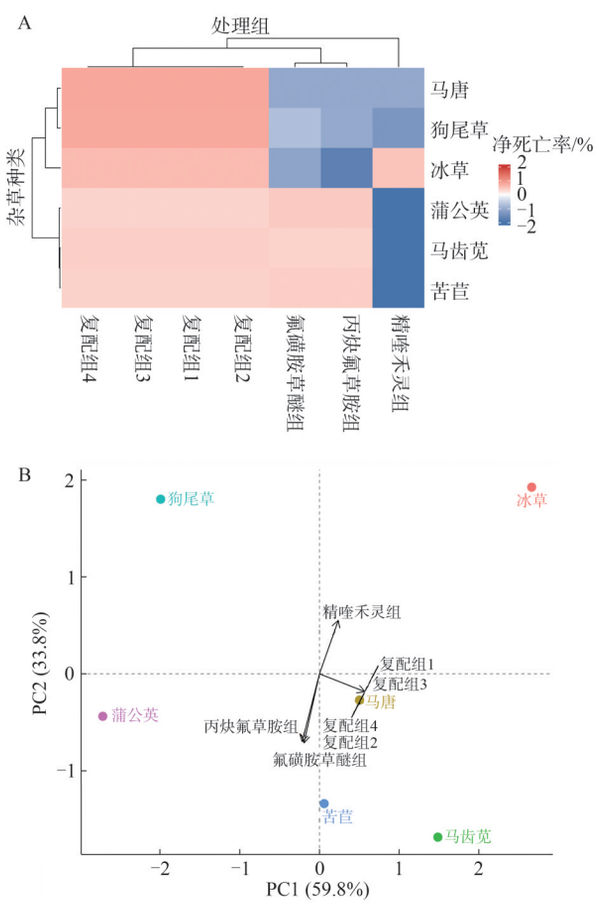


图 4　杂草净死亡率聚类分析(A)与主成分分析(B)

注：(A)净死亡率执行行标准化(每行数据减去该行均值后除以标准差)，使用欧式距离计算样本间距离，并用最长距离法进行层次聚类；(B)点代表杂草，箭头代表处理；各处理组浓度设置同图 3。

3　讨论与结论

单剂处理难以在当归苗期同时兼顾广谱除草与作物安全。精喹禾灵对马唐、狗尾草等禾本科杂草防效较好，致死率可达 65%~100%，但对阔叶杂草防效不足 15%，这与其作为 ACCase 抑制剂的作用靶标有关[14-15]。氟磺胺草醚与丙炔氟草胺对马齿苋、苦苣等阔叶杂草防效突出，致死率均达 100%，与 PPO 抑制剂的广谱特性相符[18-19,21]。但两种药剂对当归幼苗的伤害也较明显，净死亡率分别为 32.8% 和 27.8%，表明 PPO 抑制剂在伞形科植物上存在药害风险[17,20,28]。

药用植物对除草剂的敏感性因科属不同而差异较大。豆科黄芪在氟磺胺草醚推荐剂量下药害较轻[26]；五加科人参在特定除草剂处理下可维持正常生长[27]。本研究中伞形科当归对 PPO 抑制剂较为敏感，可能与植株体内原卟啉 IX 的累积水平及代谢解毒能力有关[24-25]。因此，当归田使用 PPO 抑制剂时应适当降低剂量。已有研究表明丙炔氟草胺 GR10 普遍低于 22.50 g·hm^{-2}[22]，氟磺胺草醚安全剂量阈值约 375.00 g·hm^{-2}[23]，进一步表明控制 PPO 抑制剂用量的必要性。

除草剂复配可减少单剂用量、提升防效，延缓抗药性产生[30]。精喹禾灵与氟磺胺草醚复配(复配组 2)对杂草的防效均达 100%，当归死亡率为 15.00%，显著低于各单除草剂(22.78%~32.78%)和其他复配(21.67%~41.67%)处理。该复配方案中氟磺胺草醚用量约为推荐剂量的 1/5，在保证广谱除草的同时将当归幼苗死亡率降至 15%，为目前报道的当归田安全高效除草方案之一。精喹禾灵与氟磺胺草醚复配的增效作用在大豆田中亦有报道[16,30]，其机制可能与 ACCase 和 PPO 抑制剂的靶标互补有关[31]。同为 PPO 抑制剂的丙炔氟草胺在与精喹禾灵复配时，当归死亡率为 45.00%，说明不同 PPO 抑制剂在复配体系中对当归的安全性存在明显差异。复配组 2 当归死亡率上升平缓(图 3)，第 8~12 d 出现平缓期，而其他复配处理的死亡率持续快速攀升表明其毒害效应显现缓慢。

本研究存在以下局限：第一，安全性评价仅依据死亡率，未测定株高、根长、生物量及阿魏酸等指标，对产量与品质的综合影响尚不明确；第二，未检测除草剂在土壤中的残留动态及对根际微生物的影响，而土壤农残的生态效应在中药材种植中亦需

关注[32-33];第三,试验在盆栽条件下完成,未能模拟田间多杂草共存及复杂环境条件,田间实际药效及安全性仍需进一步验证。后续研究可在当归主产区开展田间小区试验,同步测定生长与品质指标,监测土壤残留消解动态,设置多杂草共存小区以评估实际应用效果。

本研究通过盆栽试验筛选出当归苗期杂草防除的复配方案:79.50 g·hm^{-2} 8.8%精喹禾灵乳油与75.00 g·hm^{-2} 250 g/L氟磺胺草醚水剂复配施用。该方案对供试禾本科与阔叶杂草的总体防效达100%,当归死亡率为15.00%,杂草防效与当归安全性均优于单剂及其他复配处理。推荐于当归3~4叶期、杂草2~5叶期进行茎叶喷雾,严格按79.50 g·hm^{-2} 8.8%精喹禾灵乳油+75.00 g·hm^{-2} 250 g/L氟磺胺草醚水剂使用,严禁超量。

参考文献:

[1]KALARIYA K A, MEVADA R R, MEENA R P, et al. Biotic stress nexus: Integrating various physiological processes in medicinal and aromatic plants[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2024, 43: 100574-100589.

[2]ZHANG X Q, RAN Q S, HAN Y F, et al. The rhizosphere microecological mechanisms of stress-induced quality enhancement in medicinal plants[J]. Plant Stress, 2025, 17: 100965-100976.

[3]李艳娥,周世斌,刘世鹏.陕北春季玉米田杂草种子库研究[J].延安大学学报(自然科学版),2023,42(2):44-48.

[4]汪玉红.中药材草害及化学防除[J].内蒙古农业科技,2004,(S1):191-192.

[5]池秀莲,孙楷,王铁霖,等.中药生态农业中杂草对作物的影响及其生态防控[J].中国中药杂志,2021,46(8):1876-1882.

[6]梁伟,郭凤霞,陈垣,等.高寒区农茬口对当归田杂草群落特征的影响[J].草业学报,2017,26(11):35-46.

[7]何宝刚.高寒阴湿区当归黑地膜覆盖栽培技术[J].甘肃农业科技,2008,(9):62-63.

[8]王丽丽,夏会龙.我国中草药中农药残留的特点[J].中草药,2007,38(3):471-474.

[9]姜小凤,郭凤霞,陈垣,等.不同茬口对高寒阴湿区当归养分吸收特性和药材质量的影响[J].干旱地区农业研究,2023,41(6):190-199.

[10]马跃新,冯有龙,吴嫣艳,等.中草药中毒性吡咯里西啶类生物碱分析方法研究进展及控制现状[J].中草药,2021,52(24):7645-7657.

[11]刘慧,穆同娜,林立,等.新兴食品安全潜在风险因子生物碱成分的研究进展[J].食品工业科技,2023,44(8):485-494.

[12]梁伟.不同茬口当归田杂草群落特征及除草剂筛选研究[D].兰州:甘肃农业大学,2018.

[13]米永伟,龚成文,邵武平,等.覆膜对高寒阴湿区当归土壤质量、植株生长和杂草发生的影响[J].应用生态学报,2021,32(9):3152-3158.

[14]李佳欣.精喹禾灵等4种除草剂在蒲公英茶中残留分析方法的研究[D].长春:吉林农业大学,2023.

[15]枉靖宜.手性除草剂喹禾灵和精喹禾灵对大豆-黑土系统毒性效应研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2022.

[16]李冬刚,骆兰平,王汝明,等.不同除草剂防除夏大豆田一年生阔叶杂草的田间药效试验[J].现代农业科技,2018(17):98-99.

[17]李磊.除草剂氟磺胺草醚降解菌系筛选、组成分析及其降解特性研究[D].北京:中国农业科学院,2023.

[18]PAMUNGKAS R R U, CHANKAEW S, JONGRUNGKLANG N, et al. Performance of post-emergence herbicides for weed control and soybean yield in Thailand[J]. Agriculture, 2025, 15(20): 2148-2170.

[19]黄华树.丙炔氟草胺述评[J].农药,2016,55(10):778-780.

[20]KWON J W, ARMBRUST K L, GREY T L. Hydrolysis and photolysis of flumioxazin in aqueous buffer solutions[J]. Pest Management Science, 2004, 60(9): 939-943.

[21]陈森森,任文杰,滕应.农田土壤氟磺胺草醚残留特征、生态风险与消减研究进展[J].应用生态学报,2023,34(3):815-824.

[22]吴仁海,罗霄,徐洪乐,等.丙炔氟草胺对作物安全性及除草选择性研究[J].中国植保导刊,2022,42(12):58-68.

[23]卢向阳,徐筠.氟磺胺草醚对作物的药害及解决措施[J].农药,2006,45(5):350-352.

[24]李君君,戴玲玲,黄文化,等.原卟啉原氧化酶抑制剂的作用机制及抗性进展[J].农药,2019,58(10):703-707.

[25]SHERMAN T D, BECERRIL J M, MATSUMOTO H, et al. Physiological basis for differential sensitivities of plant species to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides[J]. Plant Physiology, 1991, 97: 280-287.

[26]牛树君,赵峰,余海涛,等.4种除草剂对黄芪田阔叶杂草的防效及安全性[J].农药,2022,61(3):225-229.

[27]YANG H, JIN H, DONG X, et al. Transcriptome and physiological analysis of the response mechanism of Panax ginseng to Benazolin of sulfonylurea herbicide[J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 43418-43428.

[28]牛树君,王玉灵,赵峰,等.氨氯吡啶酸、二氯吡啶酸和2,4-滴二甲胺盐在天然草原土壤和牧草中的消解动态[J].植物保护,2025,51(2):141-146.

[29]李秀秀,贾庭玮,白朕卿.北苍术苗期除草剂的筛选[J].

延安大学学报(自然科学版),2024,43(2):43-48.
[30]赵志刚,连金番,姬月梅,等. 宁夏灌区大豆田化学药剂除草效果评价研究[J]. 宁夏农林科技,2021,62(3):5-7.
[31]W. A. J M , L. M M. Improved management of Italian ryegrass (Lolium perenne ssp. multiflorum) with mixtures of tiafenacil and ACCase or glutamine synthetase inhibitors[J]. Weed Technology,2025,73(e11):1-14.
[32]陈玉坤,王治业,巩晓芳,等. 4种甘肃优势作物规模种植土壤农药残留及风险评估[J]. 生态与农村环境学报,2024,40(9):1260-1268.
[33]高帆,景琪,尹凯,等. 中草药种植土壤中农药残留的分析与降解研究现状[J]. 南方农机,2025,56(5):1-7.

[责任编辑　李晓霞　高小朋]

Screening of efficient and safe herbicide formulations for common weeds in *Angelica sinensis* fields

LI Jialong[1], LIU Yu[2], BAI Zhenqing[3*], CHEN Guoliang[1]

(1. School of Life Sciences, Yan'an University; 2. Yan'an Environmental Protection Monitoring Station, Yan'an 716000; 3. College of Grassland Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhehaote 010018, China)

Abstract: This study aimed to screen a safe and effective herbicide formulation for controlling common weeds in *Angelica sinensis* fields during the seedling stage through pot experiments. The efficacy of three herbicides—8.8% quizalofop-p-ethyl emulsifiable concentrate, 250 g/L fomesafen aqueous solution, and 51% flumioxazin water-dispersible granules—against six common weeds (*Digitaria sanguinalis*, *Setaria viridis*, *Agropyron cristatum*, *sonchus oleraceus*, *Taraxacum mongolicum*, and *Portulaca oleracea*) and their phytotoxicity to *A. sinensis* seedlings were evaluated. Optimal formulations were selected by reducing dosages through mixture combinations. The results showed that quizalofop-p-ethyl was highly effective against grass weeds but less so against broadleaf weeds, while fomesafen and flumioxazin effectively controlled broadleaf weeds but caused significant phytotoxicity to *A. sinensis* seedlings. Among the mixtures tested, the combination of 79.50 $g \cdot hm^{-2}$ quizalofop-p-ethyl and 75.00 $g \cdot hm^{-2}$ fomesafen (formulation 2) achieved 100% control of all six test weeds, with only a 15.00% mortality rate in *A. sinensis* seedlings, which was significantly lower than that caused by single herbicides or other mixtures. This formulation provides both excellent weed control and high safety for *A. sinensis*, offering a basis for safe and efficient weed management in *A. sinensis* fields.

Key words: herbicide; *Angelica sinensis*; weeds; reduced-dose mixture; synergistic effect; safety