

三种苗前除草剂对茅苍术杂草防治效果及安全性评价

段功豪¹, 王萌¹, 陈雷¹, 姜美玲¹, 黄晓¹, 徐建中²,
汪文杰¹, 余坤^{1*}

(1. 湖北中医药大学药学院, 武汉 430065; 2. 湖北卫尔康现代中药有限公司, 黄冈 438000)

摘要 为了筛选出防效好、残留少且对环境影响较小的茅苍术苗前除草剂, 选取常用的3种苗前除草剂乙草胺、乙氧氟草醚和二甲戊灵, 研究其除草效果, 对叶绿素荧光参数的影响, 农药残留情况及其对土壤微生物真菌和细菌群落的影响。结果表明, 乙草胺的除草效果较好, 株防效和鲜重防效都达到了80%以上, 对茅苍术叶绿素荧光参数影响较小, 农残较少, 对土壤细菌和真菌群落无显著性影响; 乙氧氟草醚和二甲戊灵对叶绿素荧光参数有影响, 短时间内有一定的土壤农残。综合防效和安全性, 优选乙草胺作为茅苍术的苗前除草剂。

关键词 茅苍术; 除草剂; 叶绿素荧光参数; 农药残留; 土壤微生物

中图分类号: S 482.4 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2023035

Effects of three pre-emergence herbicides on weed control in *Atractylodes lancea* and their safety evaluation

DUAN Gonghao¹, WANG Meng¹, CHEN Lei¹, JIANG Meiling¹, HUANG Xiao¹, XU Jianzhong²,
WANG Wenjie¹, YU Kun^{1*}

(1. College of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China;

2. Hubei Weierkang Modern Traditional Chinese Medicine Co. Ltd., Huanggang 438000, China)

Abstract This study aimed to screen pre-emergence herbicides with good control effect, low residue, and less environmental impact in *Atractylodes lancea* field. Three pre-emergence herbicides including acetochlor 50% EC, oxyfluorfen 24% EC, and pendimethalin 33% EC were selected and used after sowing of *A. lancea* in field experiment. Their efficiency of weed control and effects on chlorophyll fluorescence parameters of *A. lancea* were investigated, meanwhile, pesticide residues and effects on soil microbial communities were also determined. The results showed that acetochlor had the better effect for weed control, with the plant control efficacy and fresh weight control efficacy of more than 80%. It had less effect on chlorophyll fluorescence parameters of *A. lancea*, less pesticide residues, and no significant effect on soil bacteria and fungal communities. Oxyfluorfen and pendimethalin had impact on chlorophyll fluorescence parameters, and there were certain soil pesticide residues in short time. In contrast, the safety and stability of acetochlor are higher than those of the other two herbicides. Acetochlor can be used for pre-emergence herbicide in *A. lancea* due to its control effect, low residue, and less environmental impact.

Key words *Atractylodes lancea*; herbicide; chlorophyll fluorescence parameter; pesticide residue; soil microorganism

茅苍术 *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC. 为菊科多年生草本植物, 是2020版《中国药典》规定的

中药苍术的基原植物之一, 药用部位为根状茎^[1], 具有燥湿健脾、祛风散寒、明目的功效, 在治疗湿温、暑

收稿日期: 2023-01-30

修订日期: 2023-02-19

基金项目: 科技部“科技助力经济2020”重点专项(2020YFF0413299); 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划(T2022020); 湖北省重点研发计划(2021BBA261)

* 通信作者 E-mail: yukun_hbctm@163.com

湿证, 风寒痹证, 夜盲等方面广泛应用^[2]。近年来, 随着市场对茅苍术的需求增加和野生资源的逐渐枯竭, 人工种植成为茅苍术药材的主要来源。经过近 20 年的人工种植发现, 茅苍术田杂草类型丰富, 危害严重, 已成为种植过程的关键问题。杂草在与茅苍术竞争养分和作为病虫害的传播媒介的过程中, 造成药材品质和产量下降及农业投入增加, 也对生态环境造成潜在威胁。

田间杂草影响了茅苍术的生长、产量甚至质量, 特别是在出苗期, 而人工除草耗时耗力, 化学除草剂是常用的除草手段之一。目前, 茅苍术生产上缺乏一种防草效果好且安全的苗前除草剂, 而且有关茅苍术苗前除草剂的报道几乎没有。针对这一现状, 我们选用了生产上常用的 3 种苗前除草剂乙氧氟草醚、乙草胺和二甲戊灵, 综合考虑防效、叶绿素荧光参数、农药残留、土壤微生物变化情况等 4 个方面进行筛选, 以期筛选出防效较好, 且对作物和土壤影响较小的苗前除草剂, 为安全、高效地控制茅苍术草害提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

除草剂来源: 50%乙草胺 (acetochlor) 乳油, 山东中石药业有限公司; 24%乙氧氟草醚 (oxyfluorfen) 乳油, 一帆生物科技集团有限公司; 33%二甲戊灵 (pendimethalin) 乳油, 江苏龙灯化学有限公司。乙草胺、二甲戊灵和乙氧氟草醚标准品均购自上海市农药研究所有限公司, 其有效含量分别为 99.2%、98.5%、98.9%。

1.2 田间试验

试验地点: 湖北省英山县陶家河乡詹家河村, 属长江中下游北亚热带湿润季风性气候, 气候温暖湿润, 雨量充沛, 四季分明, 试验地肥力均匀一致, 地势平坦, 砂壤土。2021 年 3 月下旬播种育苗, 当年 12 月下旬, 待地上部分枯萎后, 逐行挖取地下根茎 (带须根), 选 3 g 以上的作种苗用, 并经湖北中医药大学余坤教授鉴定为菊科植物茅苍术 *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.。

试验设计: 人工移栽, 行距 30 cm, 株距 5 cm, 栽种深度 6~7 cm, 田间种植后 2 d, 以漫德莱背负式电动喷雾器 (3WBD-20 型) 喷施除草剂, 用水量为 375 kg/hm²。施药当天天气晴朗, 施药前后

4 d 无雨, 第 5 天后有阵雨。使用每种除草剂的推荐浓度 (商品量) 开展试验, 即 50%乙草胺 EC 750 g/hm²、24%乙氧氟草醚 EC 360 g/hm²、33%二甲戊灵 EC 495 g/hm²。试验采用随机区组设计, 分为乙草胺、乙氧氟草醚、二甲戊灵和空白对照 4 个处理, 每处理 3 个重复, 每个小区面积约为 2 m²。

1.3 防效测定

施用除草剂 30 d 后, 调查杂草株防效。调查杂草用 50 cm×50 cm 的正方形木框, 沿小区对角线取 3 次。使用除草剂 90 d 后, 再次调查杂草株防效和鲜重防效。防效计算方法参照纪宏亮等^[3]的方法: 株防效 = (对照区杂草株数 - 施药区杂草株数) / 对照区杂草株数 × 100%; 鲜重防效 = (对照区杂草鲜重 - 施药区杂草鲜重) / 对照区杂草鲜重 × 100%。

1.4 叶绿素荧光参数测定

施用除草剂 90 d 和 180 d 后, 从各处理组随机选取大小相同的茅苍术叶片 10 枚, 暗处理 20 min 后, 使用手持式叶绿素荧光仪 FluorPen FP110 (捷克 PSI 公司) 测定 F_0 (初始荧光)、 F_m (最大荧光产量)、 F_v (可变荧光)、 F_m/F_0 、 F_v/F_m 等叶绿素荧光参数。

1.5 农药残留测定

1.5.1 土壤农药残留测定

分别于施用除草剂 90、180 d 和 360 d 后, 从各除草剂处理组小区取土壤样品 6 个进行残留量检测。乙氧氟草醚的测定参考孙若晨等^[4]的方法采用高效液相色谱法测定, 乙草胺的测定参考刘博静等^[5]的方法采用气相色谱法测定, 二甲戊灵的测定参考闫车太等^[6]的方法采用高效液相色谱法测定。

1.5.2 整个药材及药材表面农药残留测定

使用除草剂 360 d 后, 从各除草剂处理组的每个小区沿 S 形挖取茅苍术根茎样品 6 个, 参考方旭元等^[7]的方法, 采用 QuEChERS-GC-MS 法检测农药残留量。

1.6 土壤微生物测定

在施用除草剂一年后, 参考王维静等^[8]的取样方法从各小区取耕层土壤样品 2 个, 用于测定土壤微生物细菌及真菌。方法如下: 使用 HiPure Soil DNA Kits 土壤 DNA 提取试剂盒提取土样 DNA, 2%琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 完整性。取适量质检合格样本 DNA 稀释之后, 根据所选测序区域, 用

带有 barcode 的特异引物扩增,引物对应区域为 16S V3-V4 (341F 和 806R) 和 ITS (ITS3_KYO2 和 ITS4)。对扩增的产物进行纯化定量之后使用 Illumina NovaSeq 6000 测序。

土壤微生物测序得到 raw reads 之后,对低质量 reads 进行过滤,然后进行组装,将双端 reads 拼接为 tag,过滤后的 clean tag 进行聚类以去除嵌合体 tag,得到的数据为 effective tag,基于 effective tag 进行 OTU 丰度统计。微生物群落组成分析堆积条形图、 α 和 β 多样性分析中 ACE、Simpson 的均匀度指数计算由 QIIME2^[9] (版本 2022.3) 软件完成。

1.7 数据处理及分析

数据处理使用 SPSS 25.0、GraphPad Prism 8.0.1 等软件,进行单因素方差分析 (One-way ANOVA),平均值的显著性水平用最小显著性差异 (least significant difference, LSD) 在 0.05 水平下进行检验。

2 结果与分析

2.1 株防效及鲜重防效

在喷洒除草剂 30 d 后,发现田间杂草较少。通过调查株防效,乙氧氟草醚处理几乎没有杂草,乙草胺处理只有一两株杂草存在,二甲戊灵处理组的杂草最多(表 1)。这说明 3 种除草剂在喷洒后的 30 d 内防草效果都达到了理想的效果,需要后续继续观察和统计。

在喷洒除草剂 90 d 后,继续调查 3 种除草剂的株防效并调查鲜重防效,可以看到 90 d 后各处理的株防效开始减弱,但是乙氧氟草醚和乙草胺处理的株防效仍然保持在 80% 以上,二甲戊灵处理的株防效最差。鲜重防效方面也跟株防效结果一致,乙氧氟草醚和乙草胺的鲜重防效较好,也保持在 80% 以上,二甲戊灵的鲜重防效较差。总的来说,3 种除草剂的防草效果在 90 d 内除二甲戊灵外都较为理想,其中乙氧氟草醚的防效最佳,乙草胺次之(表 1)。

表 1 杂草的株防效和鲜重防效¹⁾

Table 1 Control efficiency for plant and fresh weight of weeds

处理 Treatment	施用剂量/ (g/hm ²) Dosage	药后 30 d 30 d after application		药后 90 d 90 d after application		
		平均株数/株 Average number of plants	株防效/% Efficacy for each plant	平均株数/株 Average number of plants	株防效/% Efficacy for each plant	鲜重防效/% Efficacy for fresh weight
24%乙氧氟草醚 EC oxyfluorfen 24% EC	360	0d	(100.00±0.00)a	(3.0±1.0)d	(93.91±0.02)a	(93.94±0.01)a
50%乙草胺 EC acetochlor 50% EC	750	(1.0±1.0)c	(96.54±0.03)b	(7.7±2.5)c	(83.77±0.04)b	(81.51±0.01)b
33%二甲戊灵 EC pendimethalin 33% EC	495	(4.3±1.2)b	(85.79±0.00)c	(11.7±1.2)b	(76.26±0.02)c	(68.00±0.01)c
对照 CK	—	(29.0±2.0)a	—	(49.3±1.2)a	—	—

1) 表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。下同。

Data in the table are mean ± standard error, and different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 叶绿素荧光参数

在喷洒除草剂 90 d 后,测定各处理组茅苍术的叶绿素荧光参数。由表 2 可以得知,二甲戊灵与乙氧氟草醚的 F_0 、 F_m 、 F_v 3 个参数显著低于空白对照组,乙草胺仅在 F_m 中显著低于空白对照组,而在 F_m/F_0 、 F_v/F_m 中各处理组与空白对照组无显著差异。在喷洒除草剂 180 d 后,乙草胺中 F_m 与空白对照组无显著差异,其余结果与 90 d 保持一致(表 3)。

2.3 农药残留情况

为了搞清 3 种除草剂的土壤农药残留情况,分别

于喷洒 90、180、360 d 后测定其土壤农药残留。可见随着时间的推移,乙氧氟草醚的土壤残留从 180 d 后开始减少至安全浓度,二甲戊灵虽然土壤残留没有明显减少,但是农残较低,乙草胺在 90 d 后就已经测定不出土壤残留(表 4),这说明 3 种除草剂中乙草胺和二甲戊灵是较为安全的苗前除草剂。

不同苗前除草剂处理后的苍术根茎及表皮样品中均未检测出农药残留,这说明在使用除草剂 360 d 后除草剂在土壤中降解的过程中并没有向苍术根茎及表皮转移。

表 2 施用不同苗前除草剂 90 d 后对茅苍术叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effect of different pre-emergence herbicides on chlorophyll fluorescence parameters of *Atractylodes lancea* after 90 days of application

处理 Treatment	F_0	F_m	F_v	F_m/F_0	F_v/F_m
对照 CK	(3 768.7±385.7)a	(20 474.7±3 245.7)a	(17 731.7±1 311.7)a	(5.62±0.43)a	(0.81±0.04)a
33%二甲戊灵 EC pendimethalin 33% EC	(3 603.8±187.2)b	(19 117.5±2 149.1)b	(15 740.3±1 869.7)b	(5.21±0.55)a	(0.81±0.02)a
50%乙草胺 EC acetochlor 50% EC	(3 703.6±389.3)ab	(18 986.0±3 307.0)b	(17 068.6±1 442.1)ab	(5.49±0.40)a	(0.80±0.04)a
24%乙氧氟草醚 EC oxyfluorfen 24% EC	(3 538.1±417.4)b	(18 785.6±2 733.0)b	(15 846.9±1 241.6)b	(5.39±0.44)a	(0.81±0.01)a

表 3 施用不同苗前除草剂 180 d 后对茅苍术叶绿素荧光参数的影响

Table 3 Effect of different pre-emergence herbicides on chlorophyll fluorescence parameters of *Atractylodes lancea* after 180 days of application

处理 Treatment	F_0	F_m	F_v	F_m/F_0	F_v/F_m
对照 CK	(3 297.1±178.6)a	(17 827.9±1 160.8)a	(14 970.9±1 022.6)a	(5.43±0.05)a	(0.83±0.01)a
33%二甲戊灵 EC pendimethalin 33% EC	(2 988.5±158.5)b	(15 787.9±806.1)b	(12 907.9±697.6)b	(5.31±0.09)a	(0.81±0.01)a
50%乙草胺 EC acetochlor 50% EC	(3 241.3±148.0)a	(16 997.3±704.8)a	(14 248.8±275.1)a	(5.33±0.12)a	(0.81±0.01)a
24%乙氧氟草醚 EC oxyfluorfen 24% EC	(2 867.9±191.8)b	(14 999.1±1 106.07)b	(12 165.4±781.9)b	(5.39±0.17)a	(0.81±0.01)a

表 4 不同苗前除草剂的土壤农药残留

Table 4 Residue of pre-emergence herbicides in soil

处理 Treatment	药后 90 d/(mg/kg) 90 d after application	药后 180 d/(mg/kg) 180 d after application	药后 360 d/(mg/kg) 360 d after application
24%乙氧氟草醚 EC oxyfluorfen 24% EC	55.06±5.66	0.26±0.06	ND
50%乙草胺 EC acetochlor 50% EC	ND	ND	ND
33%二甲戊灵 EC pendimethalin 33% EC	0.07±0.003	0.06±0.002	0.05±0.002

1) ND:未检出。

ND: Not detected.

2.4 土壤微生物

2.4.1 高通量测序数据特征

乙草胺、二甲戊灵、乙氧氟草醚和对照处理的土壤样品中,细菌平均获得有效序列分别为 213 872、233 960、228 098、222 918 条,真菌平均获得 132 474、94 217、110 290、104 768 条(表 5)。根据香农指数曲线可以评判每个样本不同测序数量时的微生物多样性。当曲线趋向平坦时,说明测序数据量足够大,特征种类不会再随测序量增加而增长。4 组土壤样品对应的 16 个样品香农指数曲线趋于平坦,说明取样比较合理,能够比较真实地反映出样品的微生物群落。

2.4.2 细菌和真菌群落 α 与 β 多样性

所有除草剂处理的土壤样品中细菌和真菌丰富度指数(ACE)、多样性指数(辛普森指数)与对照土壤样品均无显著性差异(表 6),说明施用除草剂 1 年后对土壤细菌和真菌群落 α 多样性无显著影响。

在 PCoA 分析中,细菌 PC1(第一主成分)解释了 14.33% 的方差,PC2(第二主成分)解释 6.10% 的方差(图 1a);而真菌 PC1 解释了 6.03% 的方差,PC2 解释了 5.13% 的方差(图 1b)。由图 1 可知施用的 3 种除草剂对土壤的细菌及真菌群落结构无显著性影响。

表 5 高通量测序数据概况

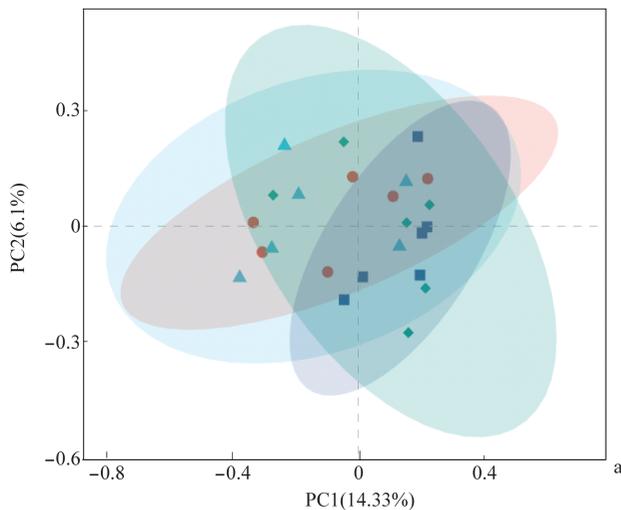
Table 5 Overview of high-throughput sequencing data

处理 Treatment	细菌 Bacterium			真菌 Fungus		
	原始序列/条 Original sequence	有效序列/条 Significant sequence	有效率/% Effective rate	原始序列/条 Original sequence	有效序列/条 Significant sequence	有效率/% Effective rate
	50%乙草胺 EC acetochlor 50% EC	231 135	213 872	92.53	150 083	132 474
33%二甲戊灵 EC pendimethalin 33% EC	253 558	233 960	92.27	107 437	94 217	87.70
24%乙氧氟草醚 EC oxyfluorfen 24% EC	247 079	228 098	92.32	127 648	110 290	86.40
对照 CK	241 141	222 918	92.42	127 201	104 768	82.36

表 6 不同苗前除草剂处理后土壤微生物群落 α 多样性指数Table 6 Soil microbial community α diversity index after treatments with different pre-emergence herbicides

处理 Treatment	细菌 Bacterium		真菌 Fungus	
	ACE 指数 ACE index	辛普森指数 Simpson index	ACE 指数 ACE index	辛普森指数 Simpson index
	50%乙草胺 EC acetochlor 50% EC	(2 991.0 \pm 853.4)a	(0.996 \pm 0.002)a	(603.3 \pm 405.6)a
33%二甲戊灵 EC pendimethalin 33% EC	(3 693.5 \pm 1 115.7)a	(0.997 \pm 0.001)a	(513.0 \pm 109.4)a	(0.876 \pm 0.073)a
24%乙氧氟草醚 EC oxyfluorfen 24% EC	(2 637.6 \pm 741.4)a	(0.994 \pm 0.003)a	(522.1 \pm 98.1)a	(0.800 \pm 0.110)a
对照 CK	(2 355.4 \pm 515.4)a	(0.995 \pm 0.001)a	(434.5 \pm 86.3)a	(0.893 \pm 0.040)a

● 乙草胺 acetochlor ▲ 二甲戊灵 pendimethalin
◆ 乙氧氟草醚 oxyfluorfen ■ 对照 CK



a: 细菌; b: 真菌。
a: Bacterium; b: Fungus.

● 乙草胺 acetochlor ▲ 二甲戊灵 pendimethalin
◆ 乙氧氟草醚 oxyfluorfen ■ 对照 CK

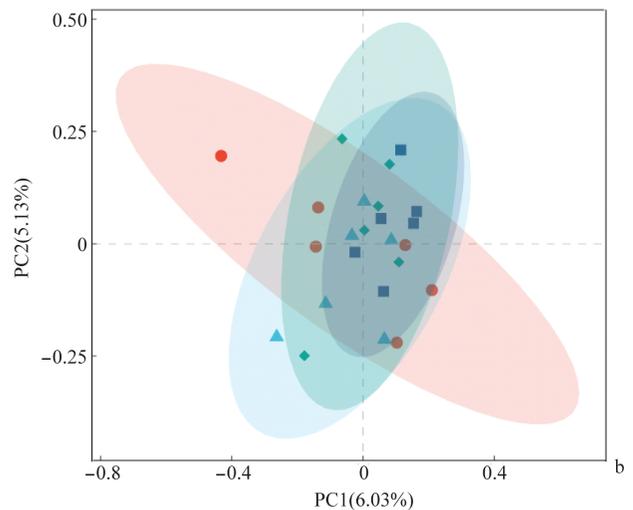


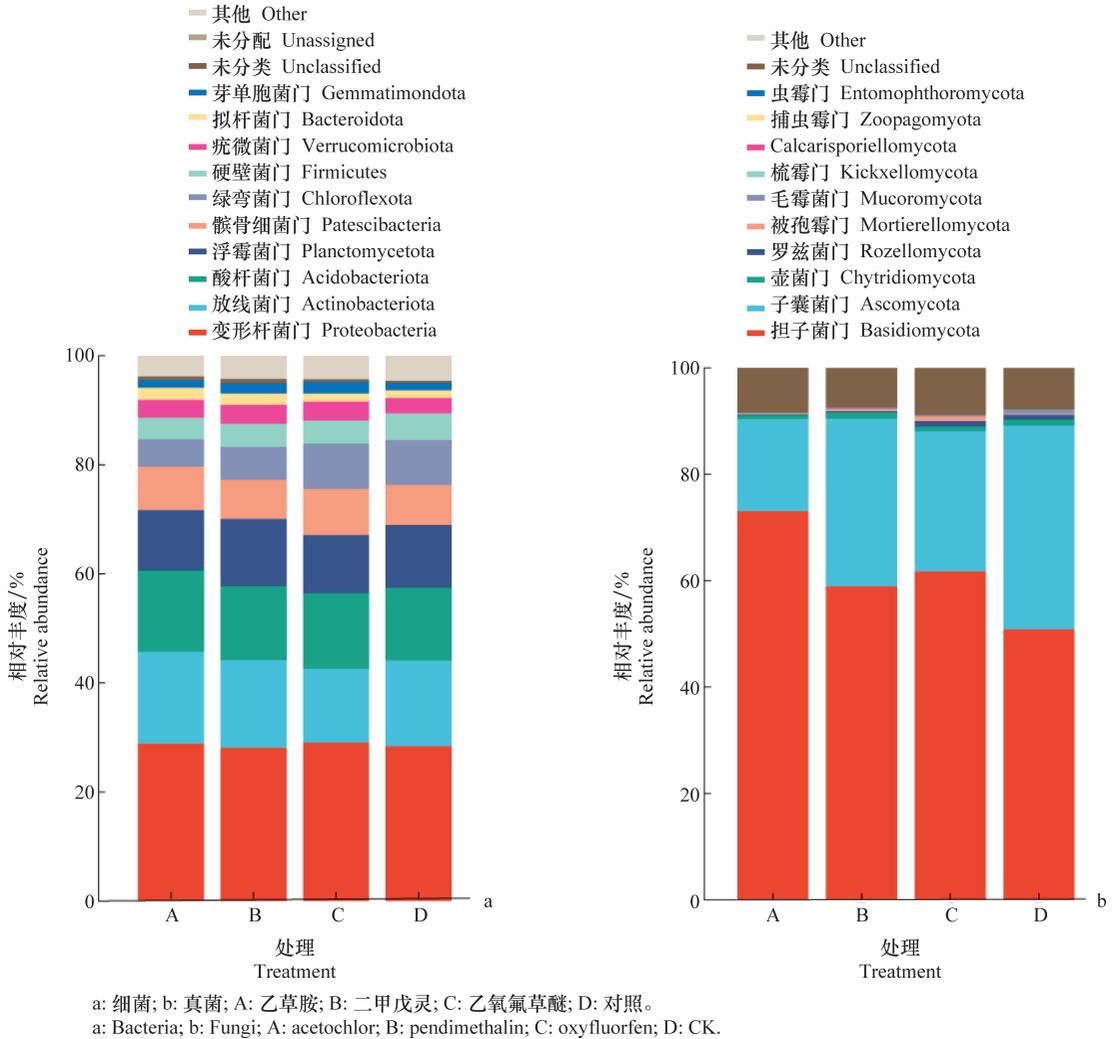
图 1 不同苗前除草剂处理后土壤微生物 PCoA 主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis of soil microbial PCoA after treatments with different pre-emergence herbicides

2.4.3 微生物群落组成分析

不同苗前除草剂处理土壤微生物群落组成及相对丰度见图 2。不同苗前除草剂处理后各组土壤相对丰度排名前 10 的优势细菌门所占比例与对照相比无明显改变,为 95.02%~95.57%,主要优势菌门变形菌门、酸杆菌门和放线菌门占比也相近

(图 2a)。不同苗前除草剂处理土壤相对丰度排名前 10 的优势真菌门所占比例为 91.15%~92.52%,其中优势菌门担子菌门和子囊菌门的总和所占比例 88.14%~90.51%(图 2b),这说明除草剂处理对土壤的细菌及真菌群落组成并无显著性影响。



3 结论与讨论

除草剂的株防效和鲜重防效可以直观地判断除草剂的除草能力,本文结合 30 d 和 90 d 2 个时间段的统计,发现乙氧氟草醚和乙草胺的防草效果较好。这与纪宏亮等^[3]、罗志明等^[10]研究乙草胺对桔梗苗期杂草的防效较好、乙氧氟草醚对甘蔗田杂草防效较佳一致。在 90 d 之后持续的田间观察中,乙草胺组的杂草仍然少于空白对照组。这是因为除草剂的有效时间一般在 30~90 d,早春是茅苍术草害的高峰,乙草胺在这段时间有着较高的防效。

植物叶绿素吸收的光能主要用于光合电子传递、叶绿素荧光和热耗散这 3 种途径,这三者间有着此消彼长的关系,而叶绿素荧光参数的变化可以更好地反映出逆境下植物内在光能利用和热耗散情

况^[11]。初始荧光 F_0 反映植物叶片色素吸收的能量中以热和荧光形式散失部分^[12],最大荧光 F_m 表示的是通过 PS II 的电子传递状况,可变荧光 F_v 则表示 PS II 光化学活性的大小^[13]。本研究中二甲戊灵和乙氧氟草醚处理 90、180 d 后 F_0 、 F_v 、 F_m 减少,表明二甲戊灵和乙氧氟草醚可能在一定程度上对茅苍术光合作用造成了影响。乙草胺在 90 d 仅 F_m 降低,对茅苍术光合作用影响较其他 2 个除草剂小,180 d 后与空白对照组无显著性差异。在试验过程中,目测 3 个除草剂处理组茅苍术均无显著药害及生长异常情况。结合各项指标和农户约十年的除草剂使用经验看,使用乙草胺对茅苍术的正常生长基本没有影响。

农药污染是威胁中药材安全的重要因素之一。在病虫草害的化学防治过程中,田间施用的农药最

终会进入土壤环境并在其中转化积累,导致农田土壤环境污染。药用植物能够通过根部吸收土壤中的农药转运至植株的各个器官和组织中,造成中药材中的农药残留,影响中药材质量和安全^[14]。本文通过检测药后 90、180、360 d 3 个时间点的土壤农药残留和 360 d 后苍术根茎及表皮农药残留发现,二甲戊灵及乙氧氟草醚 360 d 后才在土壤中降到安全浓度,而乙草胺处理在 90 d 后土壤中检测不到农药残留,较为安全;360 d 后苍术根茎及表皮均未检出农药残留,这表明当土壤农残降解 360 d 到安全浓度后并未向苍术药材中转移。

土壤微生物能敏感反映土壤生态系统的变化,表征土壤的健康水平。本文检测使用除草剂 360 d 后的土壤微生物情况,发现除草剂处理组与空白对照组的土壤微生物群落多样性与组成并无显著性差异,结合土壤农药残留说明 3 种除草剂使用 360 d 后对土壤已经较为安全。

综上所述,综合考虑 3 种苗前除草剂杂草防效、叶绿素荧光参数、土壤微生物群落及农药残留,发现乙草胺是较为适宜的茅苍术苗前除草剂,可以作为一种相对高效、安全的苗前除草剂。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2020 年版(一部)[M]. 北京: 中国医药科学出版社, 2020.
- [2] 王建, 张冰. 临床中药学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- [3] 纪宏亮, 金钺, 张争, 等. 10 种苗前除草剂对桔梗田杂草的防

效及安全性评价[J]. 中药材, 2017, 40(4): 786-787.

- [4] 孙若晨. 二苯醚类除草剂土壤残留调查及其生物降解效果研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018.
- [5] 刘博静, 范小振, 田蜜. 超声萃取-气相色谱法测定土壤中乙草胺和莠去津残留量[J]. 农药, 2018, 57(11): 820-822.
- [6] 闫车太, 赵桂琴, 柴继宽, 等. 二甲戊灵在燕麦田土壤中的残留与消解动态[J]. 草原与草坪, 2018, 38(3): 23-27.
- [7] 方旭元, 夏高峰, 石巧巧, 等. QuEChERS-GC-MS 法检测当归中 9 种除草剂残留[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(6): 79-83.
- [8] 王维静, 杨理程, 苏思文, 等. 氟乐灵对土壤微生物、酶活性及作物生长的影响[J]. 农药, 2017, 56(7): 484-485.
- [9] BOLYEN E, RIDEOUT J R, DILLON M R, et al. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2 [J]. Nature Biotechnology, 2019, 37(8): 852-857.
- [10] 罗志明, 尹炯, 邓军, 等. 2 种土壤处理除草剂对蔗田杂草的防除效果及其安全性评价[J]. 农药, 2022, 61(8): 622-624.
- [11] 孙云飞, 张文明, 巢建国, 等. 盐胁迫对茅苍术叶绿素含量及叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(4): 146-149.
- [12] 唐婧文, 梁文斌, 邹辉, 等. 土壤水分胁迫对多花黄精光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(5): 110-116.
- [13] SCHEIBER U. Pulse-amplitude-modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method; an overview [C]// PAPA-GEORGIOU G, GOVINDJEE G, eds. Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis. Dordrecht: Springer, 2004: 279-319.
- [14] 马畅, 刘新刚, 吴小虎, 等. 农田土壤中的农药残留对农产品安全的影响研究进展[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 6-11.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 302 页)

- [19] DRY I B, KRAKE L R, RIGDEN J E, et al. A novel subviral agent associated with a geminivirus: the first report of a DNA satellite [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1997, 94(13): 7088-7093.
- [20] BEHJATNIA S A A, DRY I B, REZAIAN M A. Sequence divergence in new strains of tomato leaf curl virus resulting in replication specificity [J]. Australasian Plant Pathology, 2001, 30(4): 337-342.
- [21] 杨程. 云南烟区烟草病虫害的立体防治[J]. 植物医学, 2022, 1(3): 18-24.
- [22] 邱睿, 张昭, 李成军, 等. 烟蚜茧蜂对麦田蚜虫的防治效果[J]. 烟草科技, 2021, 54(7): 35-40.
- [23] 张丽芳, 赵兴能, 马美, 等. 抗烟草丛顶病转基因烟草的培育[J]. 分子植物育种, 2020, 18(5): 1605-1610.
- [24] MA Yan, TAN Songtao, LIU Qinli, et al. First report of tobacco vein distorting virus infecting *Eupatorium adenophorum* in China [J]. Plant Disease, 2018, 102(10): 2048.

- [25] 刘勇, 李凡, 李月月, 等. 侵染我国主要蔬菜作物的病毒种类、分布与发生趋势[J]. 中国农业科学, 2019, 52(2): 239-261.
- [26] LIU Qinli, LI Zhengnan, LUO Hengming, et al. First report of natural infection of tobacco bushy top virus on dahlia in China [J]. Plant Disease, 2019, 103(4): 778.
- [27] LI Yueyue, TAN Guanlin, XIAO Long, et al. A multiyear survey and identification of pepper- and tomato-infecting viruses in Yunnan province, China [J/OL]. Frontiers in Microbiology, 2021, 12(4): 623875. DOI: 10.3389/fmicb.2021.623875.
- [28] LI Yueyue, LIU Qinli, XIANG Dong, et al. First report of natural infection of tobacco bushy top virus on tomato and pepper in China [J]. Plant Disease, 2018, 102(7): 1466.
- [29] 杨馨, 孟钰, 李梅蓉, 等. 云南三七病毒病的发生及病毒种类检测[J]. 植物病理学报, 2019, 49(4): 456-464.
- [30] 马普权, 刘芳, 谭冠林, 等. 云南烟草丛顶病复合病原物的寄生范围[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2015, 30(3): 363-368.

(责任编辑: 田 喆)