

牡丹皮提取物除草活性初步研究

贾 然¹, 田 赐¹, 李晶晶¹, 封英建¹, 赵雪萍², 牛文韬¹,
马树杰¹, 张利辉^{1*}, 董金皋¹

(1. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071001; 2. 邢台现代职业学校, 邢台 054000)

摘要 为明确牡丹皮(*Cortex Moutan Radicis*)的除草活性并初步探索其活性成分分离条件,采用平皿法、土壤喷雾法及茎叶喷雾法测定了牡丹皮不同极性溶剂萃取物对反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 和稗 *Echinochloa crus-galli* 的除草活性。平皿法测定结果显示,在 1 mg/mL 浓度下,牡丹皮正丁醇萃取物的除草活性最强,对反枝苋幼根和幼茎的抑制率分别为 67.88% 和 65.71%,对稗草幼根和幼茎的抑制率分别为 68.72% 和 71.32%;毒力测定结果表明,牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋幼根和幼茎的 IC_{50} 分别为 12.28 mg/L 和 19.67 mg/L,对稗草幼根和幼茎的 IC_{50} 分别为 43.35 mg/L 和 72.79 mg/L。土壤喷雾法和茎叶喷雾法测定结果显示,在 5 mg/mL 浓度下,牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋和稗草的鲜重抑制率最高,其中土壤喷雾法对反枝苋和稗草的鲜重抑制率分别为 81.43% 和 83.18%;茎叶喷雾法对两种杂草的鲜重抑制率分别为 80.83% 和 83.65%。由此可见,牡丹皮的除草活性成分主要集中在正丁醇萃取物中,值得进一步研究。

关键词 牡丹皮萃取物; 反枝苋; 稗; 除草活性; 植物源农药

中图分类号: S 482.49 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022176

A preliminary study of the herbicidal activity of the extracts from *Cortex Moutan Radicis*

JIA Ran¹, TIAN Ci¹, LI Jingjing¹, FENG Yingjian¹, ZHAO Xueping², NIU Wentao¹,
MA Shujie¹, ZHANG Lihui^{1*}, DONG Jingao¹

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;
2. Xingtai Modern Vocational School, Xingtai 054000, China)

Abstract In order to clarify the herbicidal activity of *Cortex Moutan Radicis* and preliminarily explore the separation conditions, the herbicidal activities of different extracts from the *Cortex Moutan Radicis* against *Amaranthus retroflexus* and *Echinochloa crus-galli* were determined by bioactivity assay in the laboratory. The plating method showed that the *n*-butanol extracts of the *Cortex Moutan Radicis* (1 mg/mL) had the strongest herbicidal activity, with an inhibition rate of 67.88% and 65.71% against young roots and stems of *A. retroflexus*, and 68.72% and 71.32% against young roots and stems of *E. crus-galli*, respectively. Further toxicity assays showed that the IC_{50} values of *n*-butanol extracts of *Cortex Moutan Radicis* were 12.28 mg/L and 19.67 mg/L against young roots and stems of *A. retroflexus*, 43.35 mg/L and 72.79 mg/L against *E. crus-galli*, respectively. The soil spray method showed that the *n*-butanol extracts of *Cortex Moutan Radicis* (5 mg/mL) had the strongest herbicidal activity, with a fresh weight inhibition rate of 81.43% and 83.18% against *A. retroflexus* and *E. crus-galli*, respectively. The *n*-butanol extracts of *Cortex Moutan Radicis* also had the strongest activity by using the stem-leaf spray method, with a fresh weight inhibition rate of 80.83% and 83.65% against *A. retroflexus* and *E. crus-galli*, respectively. It suggested that the herbicidal active components of *Cortex Moutan Radicis* are mainly concentrated in the *n*-butanol extracts, and the active compounds are worth further investigation.

Key words *Cortex Moutan Radicis* extracts; *Amaranthus retroflexus*; *Echinochloa crus-galli*; herbicidal activity; botanical pesticide

收稿日期: 2022-04-03 修订日期: 2022-06-30

基金项目: 河北省自然科学基金(C2020204036)

* 通信作者 E-mail: zhanglihui@hebau.edu.cn

杂草是农业生产过程中的最大威胁,它们与植物竞争水分、营养和光照,造成了巨大的经济损失^[1-2]。施用化学除草剂是杂草防除的有效办法,然而除草剂的大量使用会对环境和人类健康造成负面影响,并增加杂草的抗药性。面对每年数以百计的抗性杂草增长,研发新型除草剂以解决杂草的抗药性问题十分重要^[3-4]。植物源除草剂是新型除草剂创制的重要来源。目前已在 30 多种植物中发现了千余种除草活性物质^[5]。这些植物源除草活性物质大多经有机溶剂提取分离获得,毛茛茶茱萸 *Icacina trichantha* 的乙酸乙酯提取物 icacinol 对双子叶杂草具有较好的种子萌发抑制活性^[6];刺苞菜蓟 *Cynara cardunculus* 甲醇提取物对绞三叶 *Trifolium incarnatum*、水飞蓟 *Silybum marianum* 和川杜若 *Polia miranda* 的苗前苗后抑制活性均与商业化除草剂壬酸相当,并首次从中分离到除草活性物质杨梅素^[7];中国粗榧 *Cephalotaxus sinensis* 乙醇提取物中的生物碱等均具有较好的除草活性^[8]。已有研究表明,植物精油中也存在大量的除草活性物质,葛缕子 *Carum carvi* 精油主要成分香芹酮和柠檬烯对稗草 *Echinochloa crus-galli* 具有较高的除草活性^[9];此外,松科 Pinaceae 植物精油中的 α -蒎烯和 β -蒎烯类化合物^[10],芸香科 Rutaceae 植物精油中的柠檬烯和柠檬醛^[11]都具有良好的除草活性。许多来源于植物的除草活性成分可作为先导化合物,以紫苏 *Perilla frutescens* 植物中提取的紫苏醛为先导,衍生合成的 *sec-p*-menthane-7-amine 系列化合物,对稗草的除草活性与草甘膦和敌草隆相当^[12]。可见,具有除草活性的植物提取物及其活性成分具有开发成新型植物源除草剂的潜力。

筛选和评价植物资源的除草活性,是植物源农药研发的重要基础性工作^[13]。牡丹皮(Cortex Moutan Radicis)在中药学中称“丹皮”,来源于毛茛科植物牡丹 *Paeonia × suffruticosa* 的干燥根皮,素有保肾护肝,安神定气的功效^[14]。近期研究发现牡丹皮可以保护神经系统免受帕金森诱导药物伤害^[15],促进血液循环等^[16]。牡丹皮乙酸乙酯萃取物对根结线虫 *Meloidogyne* spp. 具有毒杀活性^[17],丙酮萃取物对番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 等具有抑制作用^[18];牡丹皮内的丹皮酚对玉米象 *Sitophilus zeamais*、锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* 和马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 等的幼虫具有忌避作用^[19-20]。在除草活性研究上,已有关

于牡丹不同器官粉末对反枝苋和稗草的抑制活性报道^[21-22]。实验室前期通过对 100 余种植物提取物除草活性筛选,发现牡丹皮提取物对反枝苋等杂草具有较好的除草活性,有进一步研究价值^[23]。然而,对牡丹皮提取物的盆栽除草活性未见系统研究。

因此,本研究以牡丹皮为研究对象,以反枝苋和稗草为供试杂草,采用平皿法、土壤喷雾法及茎叶喷雾法测定不同溶剂萃取物对反枝苋和稗草幼苗生长的影响及盆栽除草活性。研究结果可为牡丹皮的开发应用奠定基础,为新型植物源除草剂的研发提供资源。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植物样品

牡丹皮购自河北省安国市冷背药材有限公司;稗 *Echinochloa crus-galli* 和反枝苋 *Amaranthus retroflexus* 种子均采集于河北省保定市莲池区南二环路边荒地。

1.1.2 化学试剂

95%乙醇,分析纯石油醚(petroleum ether, PE; 沸程 60~90℃),分析纯乙酸乙酯(ethyl acetate, EA)购自天津市福晨化学试剂厂;分析纯正丁醇(*n*-butanol, NBA)购自天津新通精细化工有限公司;吐温-80 购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司;50%乙草胺乳油(EC),购自山东侨昌现代农业有限公司。

1.1.3 试验仪器

CP214 电子天平,购自奥豪斯仪器(上海)有限公司;YE6K815351 移液枪,购自大龙兴创实验仪器有限公司;HWS 型恒温恒湿培养箱,购自宁波东南仪器有限公司;RE-300 旋转蒸发仪,购自上海亚荣生化仪器厂;SHD-III 型循环水式多用真空泵,购自浙江南光泵业有限公司;3WP-2000 型行走式喷雾塔,购自北京金洋万达科技有限公司。

1.2 牡丹皮不同溶剂萃取物的制备

取干燥牡丹皮 10 kg 粉碎,加入 2 倍 95%乙醇浸提 72 h,重复提取 3 次;滤液在 50℃减压蒸馏浓缩,得到牡丹皮乙醇浸膏。将上述浸膏,用少量乙醇溶解后用水捏溶,用等量的石油醚、乙酸乙酯和正丁醇依次萃取 24 h,萃取物分别浓缩制得石油醚浸膏、乙酸乙酯浸膏和正丁醇浸膏。

1.3 不同溶剂萃取物除草活性测定

1.3.1 平皿法测定萃取物对杂草幼根和幼芽的抑制活性

在直径 9 cm 的平皿中放入两层滤纸,将杂草种子平铺于滤纸上,加入适量蒸馏水,使种子充分吸水,置于温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度 $(40 \pm 7)\%$, $L/D=16\text{ h}/8\text{ h}$ 的恒温恒湿培养箱内培养至种子露白时使用。取不同溶剂萃取物 0.01 g 加入 10 mL 0.5% 吐温-80 水溶液中,配制为浓度 1 mg/mL 的药液备用。在直径为 9 cm 的平皿上放入两层滤纸,选取露白的杂草种子 20 粒放在滤纸上,加入 5 mL 1 mg/mL 萃取物药液。乙草胺 10 mg(有效成分,下同)加入 10 mL 0.5% 吐温-80 水溶液中为阳性对照,0.5% 吐温-80 水溶液为空白对照,每处理重复 3 次。培养 7 d 后测定根长、茎长,计算抑制率。

抑制率 = $[\text{对照组根(芽)长} - \text{处理组根(芽)长}] / \text{对照组根(芽)长} \times 100\%$ 。

将活性最高的萃取物稀释为 100、50、25、12.5 mg/L 和 6.25 mg/L;对照药剂 50% 乙草胺 EC 稀释为 40、20、10、5 mg/L 和 2.5 mg/L,进一步测定其对杂草幼根幼芽的抑制毒力。

1.3.2 土壤喷雾法测定萃取物对杂草的鲜重抑制率

取不同溶剂萃取物 0.05 g 加入 10 mL 0.5% 吐温-80 水溶液中,配成 5 mg/mL 的药剂备用;对照药剂 50% 乙草胺 EC 根据田间推荐剂量配制成 2.75 mg/mL 的药液备用。将土壤过筛风干后装入直径 20 cm 的花盆中,将露白的反枝苋和稗草种子各 10 粒分别均匀播撒于土壤表面,覆盖 0.5~1 cm 的细土。播种后保持土壤湿润 24 h,使用 3WP-2000 型行走式喷雾塔进行土壤喷雾,同时设空白对照(0.5% 吐温-80 水溶液),每处理 3 个重复。培养期间通过底部渗漏法补水,在温度 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度 $(40 \pm 5)\%$ 的温室中常规培养。培养 7 d 后,稗草长至 2~3 叶期,反枝苋长至 2 叶期。称取杂草鲜重,计算鲜重抑制率。

鲜重抑制率 = $(\text{对照组杂草鲜重} - \text{处理组杂草鲜重}) / \text{对照组杂草鲜重} \times 100\%$ 。

1.3.3 茎叶喷雾法测定萃取物对杂草的鲜重抑制率

试验药剂及用量与土壤喷雾法相同。将露白的反枝苋和稗草种子各 10 粒分别点种在小花盆(7 cm ×

7 cm × 10 cm) 中,培养至 2~4 叶期,使用 3WP-2000 型行走式喷雾塔进行茎叶喷雾,设空白对照(0.5% 吐温-80 水溶液),每处理 3 个重复。培养期间通过底部渗漏法补水,在温度 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度 $(40 \pm 5)\%$ 的温室中常规培养。定期观察记载供试杂草的生长状态,14 d 后称取地上部分鲜重并计算抑制率。

1.3.4 统计与分析

采用 SPSS 22.0 软件的 Probit 分析法求出抑制中浓度(IC_{50})、置信区间等相关参数。

2 结果与分析

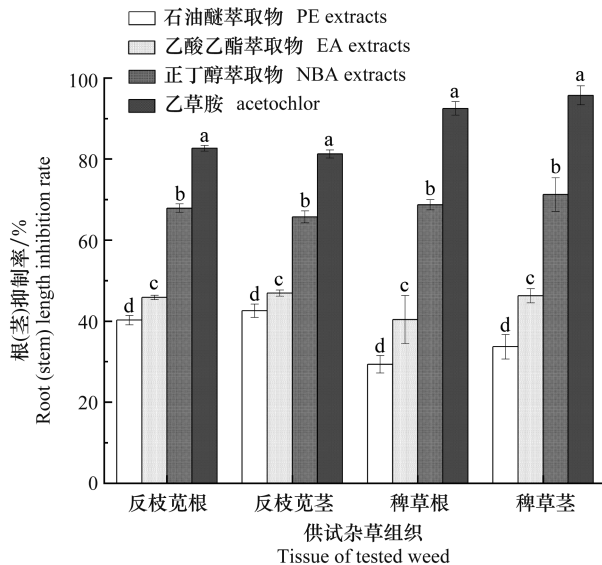
2.1 牡丹皮不同溶剂萃取物

牡丹皮 10 kg 经乙醇室温提取得浸膏 805 g,产率 8.05%;所得浸膏经不同溶剂萃取,分别得石油醚浸膏 235 g,产率 2.35%;得乙酸乙酯浸膏 243 g,产率 2.43%;得正丁醇浸膏 231 g,产率 2.31%。

2.2 不同溶剂萃取物除草活性

2.2.1 对反枝苋和稗草幼苗生长的影响

平皿法测定结果如图 1 所示。在 1 mg/mL 浓度下,牡丹皮不同极性萃取物对反枝苋和稗草幼苗生长均具有一定的抑制作用。石油醚萃取物、乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对反枝苋幼根的抑制率分别为 40.23%、45.83% 和 67.88%,对反枝苋幼茎



图中同种杂草组织的数据标有不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Different small letters in the same group indicate significant differences among different treatments. The same applies below.

图 1 牡丹皮不同溶剂萃取物对反枝苋和稗草幼苗生长的影响

Fig. 1 Effects of different extracts from Cortex Moutan Radicis on the growth of *Amaranthus retroflexus* and *Echinochloa crus-galli*

的抑制率分别为 42.57%、46.91%和 65.71%；3 种有机溶剂萃取物对稗草的抑制活性中以正丁醇萃取物的活性最高，对稗草幼根幼芽的抑制率分别为 68.72%和 71.32%，仅次于对照药剂 5% 乙草胺 EC。由此可见，牡丹皮的除草活性成分主要集中在正丁醇萃取物中。

进一步测定活性最强的正丁醇萃取物对反枝苋和稗草幼根、幼芽的毒力，结果(表 1)显示，牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋幼根、幼芽均具有较强的抑制作用， IC_{50} 分别为 12.28 mg/L 和 19.67 mg/L，与对照药剂乙草胺的抑制作用相当；对稗草幼根、幼芽的 IC_{50} 值分别为 43.35 mg/L 和 72.79 mg/L，略低

于对照药剂乙草胺对稗草幼根(IC_{50} = 29.58 mg/L)和幼芽(IC_{50} = 10.99 mg/L)的抑制作用。

2.2.2 对反枝苋和稗草植株的活性—土壤喷雾法
牡丹皮不同极性萃取物对反枝苋和稗草幼苗生长均具有一定的抑制作用，石油醚萃取物、乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对反枝苋鲜重抑制率分别为 53.61%、61.25%和 81.43%；对稗草的抑制率分别为 58.25%、62.46%和 83.18%。由此可见，正丁醇萃取物对两种杂草的苗前除草活性最强，仅次于对照药剂乙草胺对反枝苋(93.35%)和稗草(96.16%)的活性(图 2)。

表 1 牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋和稗草幼根幼芽的生长抑制毒力

Table 1 Growth-inhibitory virulence of NBA extracts of Cortex Moutan Radicis on young roots and shoots of <i>Amaranthus retroflexus</i> and <i>Echinochloa crus-galli</i>					
供试药剂 Tested chemical	供试杂草 Tested weed	部位 Part	斜率±标准误 Slope±SE	抑制中浓度(95%置信限)/mg·L ⁻¹ IC_{50} (95%FL)	χ^2 (df=4)
正丁醇萃取物 NBA extracts	反枝苋	根	2.23±0.21	12.28(9.18~15.50)	0.32
		茎	2.31±0.21	19.67(15.94~23.75)	4.14
乙草胺 acetochlor		根	2.57±0.22	18.89(15.92~22.59)	1.58
		茎	3.07±0.28	4.43(3.62~5.25)	0.93
正丁醇萃取物 NBA extracts	稗	根	2.47±0.22	43.35(36.36~52.00)	2.09
		茎	2.52±0.23	72.79(60.81~89.11)	3.98
乙草胺 acetochlor		根	1.96±0.20	29.58(23.72~38.38)	4.52
		茎	2.61±0.22	10.99(9.22~13.01)	2.80

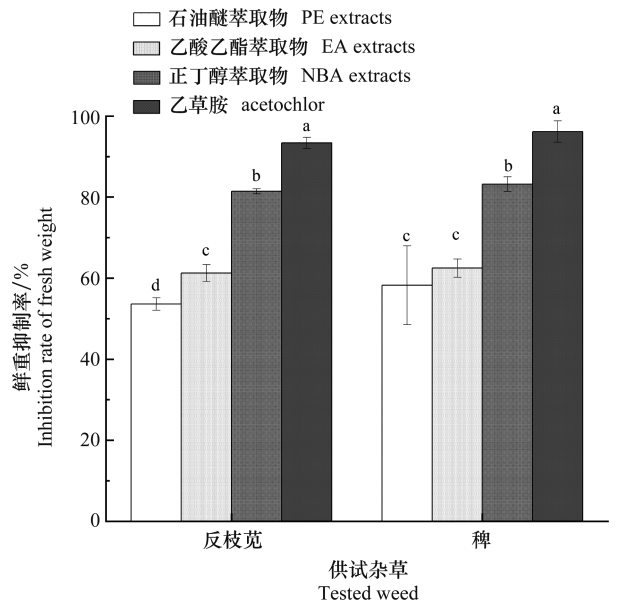


图 2 牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋和稗草植株的活性(土壤喷雾法)
Fig. 2 Activity of the NBA extracts of Cortex Moutan Radicis on *Amaranthus retroflexus* and *Echinochloa crus-galli* plants (soil spray method)

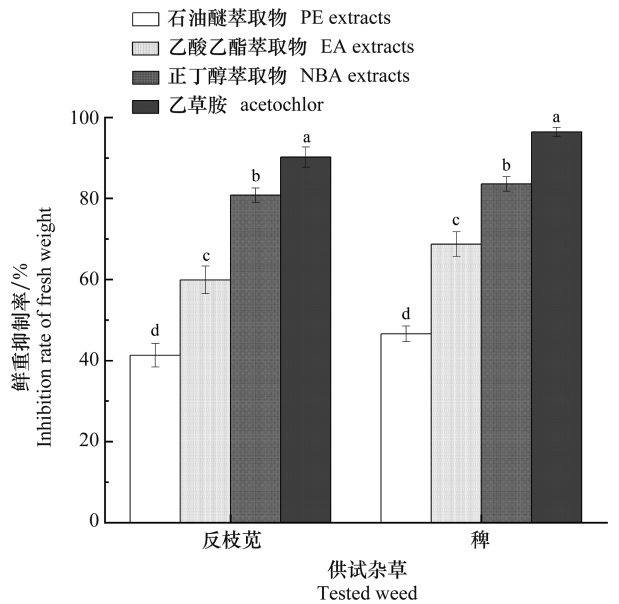


图 3 牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋和稗草植株的活性(茎叶喷雾法)
Fig. 3 Activity of the NBA extracts of Cortex Moutan Radicis on *Amaranthus retroflexus* and *Echinochloa crus-galli* (stem and leaf spray method)

2.2.3 对反枝苋和稗草植株的活性—茎叶喷雾法

牡丹皮石油醚萃取物、乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对反枝苋鲜重抑制率分别为 41.37%、59.92%和 80.83%;对稗草的鲜重抑制率分别为 46.66%、68.75%和 83.65%。正丁醇萃取物对两种杂草的鲜重抑制率最高,仅次于对照药剂乙草胺对反枝苋(90.21%)和稗草(94.46%)的鲜重抑制率。

3 结论与讨论

牡丹皮不同溶剂萃取物对双子叶杂草反枝苋和单子叶杂草稗草均具有较好的除草活性,其中正丁醇萃取物的除草活性最强。大量研究表明,许多植物提取物及萃取物具有较好的除草活性,Mekky 等发现罗勒 *Ocimum basilicum* 的甲醇提取物对苋属 *Amaranthus* 杂草的 IC_{50} 为 200 mg/L^[24];孙永艳等发现虎刺楸木 *Aralia armata* 的甲醇提取物对香丝草 *Erigeron bonariensis* 的 IC_{50} 为 409 mg/L^[25];石蝉草 *Peperomia blanda* 乙醇提取物对苘麻 *Abutilon theophrasti* 和稗草根长的 IC_{50} 分别为 730 mg/L 和 800 mg/L^[26]。此外,从具有除草活性的植物中分离出许多活性成分,这些化合物具有较好的除草活性。张城嘉等在棉籽壳的乙醇提取物中分离得到亚油酸,对稗草的 IC_{50} 为 14.5 mg/L^[27];卢海博等从黄皮 *Clausena lansium* 甲醇提取物中分离得到的黄皮素内酯 II 对稗草根、茎的 IC_{50} 分别为 66.9、78.4 mg/L^[28]。Shao 等鉴定了白茎绢蒿 *Seriphidium terrae-albae* 中 β -侧柏酮在 20 mg/L 时对反枝苋根长的抑制率为 70.6%^[29]。本研究发现牡丹皮正丁醇萃取物对反枝苋幼根和幼芽的 IC_{50} 分别为 12.28 mg/L 和 19.67 mg/L,与对照药剂乙草胺效果相当;对稗草幼根和幼芽的 IC_{50} 分别为 43.35 mg/L 和 72.79 mg/L,可见牡丹皮正丁醇萃取物具有开发成新型植物源除草剂的潜质,值得进一步研究。

牡丹皮除草活性成分主要集中在正丁醇萃取物中,可能为极性较大的大分子化合物。目前已报道的植物源除草活性物质主要包括萜烯类、生物碱类、香豆素类和醌类等^[5]。已有研究表明,牡丹皮的主要化学成分为酚类、萜类、甾醇类和黄酮类

等^[30]。基于牡丹皮正丁醇萃取物优异的除草活性,有必要针对牡丹皮中的高极性化合物进行进一步分离。

参考文献

- [1] VAN EVERT F K, FOUNTAS S, JAKOVETIC D, et al. Big data for weed control and crop protection [J]. *Weed Research*, 2017, 57(1): 218–233.
- [2] ARANITI F, MANCUSO R, LUPINI A, et al. Phytotoxic potential and biological activity of three synthetic coumarin derivatives as new natural-like herbicides [J]. *Molecules*, 2015, 20(10): 17883–17902.
- [3] FENG Gang, CHEN Min, YE Huochun, et al. Herbicidal activities of compounds isolated from the medicinal plant *Piper sarmentosum* [J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 132: 41–47.
- [4] DAYAN F E, OWENS D K, DUKE S O. Rationale for a natural products approach to herbicide discovery [J]. *Pest Management Science*, 2012, 68(4): 519–528.
- [5] VYVYAN J R. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals [J]. *Tetrahedron*, 2002, 58(9): 1631–1646.
- [6] ZHAO Ming, GUO B, ONAKPA M M, et al. Activity of icacinol from *icacina trichantha* on seedling growth of *Oryza sativa* and *Arabidopsis thaliana* [J]. *Journal of Natural Products*, 2017, 80(12): 3314–3318.
- [7] SOFIENE B K, RE B I B, HANAFI M, et al. Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of bioherbicide based on *Cynara cardunculus* [J]. *South African Journal of Botany*, 2019, 128: 67–76.
- [8] 马树杰, 刘琳, 芦小鹏, 等. 中国粗榧生物碱的除草活性[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(19): 3746–3753.
- [9] AGNIESZKA S, KATARZYNA M, AGNIESZKA K, et al. *Carum carvi* L. essential oil: A promising candidate for botanical herbicide against *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. in maize cultivation [J/OL]. *Industrial Crops & Products*, 2019, 140(8): 111652. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111652.
- [10] DE MARTINO L, MANCINI E, DE ALMEIDA L F R, et al. The antigerminative activity of twenty-seven monoterpenes [J]. *Molecules*, 2010, 15(9): 6630–6637.
- [11] FAGODIA S K, SINGH H P, BATISH D R, et al. Phytotoxicity and cytotoxicity of *Citrus aurantii folia* essential oil and its major constituents: limonene and citral [J]. *Industrial Crops and Products*, 2017, 108: 708–715.
- [12] ZHANG Hongmei, CHEN Yuxiang, XU Shichao, et al. Design, synthesis, and herbicidal activity of *sec-p*-menthane-7-amine derivatives as botanical herbicides [J]. *RSC Advances*, 2021, 11: 27207–27214.

- [13] 陈万义, 王明安. 对我国植物源农药研发的思考[J]. 现代农药, 2002(2): 1-4.
- [14] 胡云飞, 徐国兵. 牡丹皮及其主要成分丹皮酚的药理作用研究进展[J]. 安徽医药, 2014, 18(4): 589-592.
- [15] 朴颖, 宋艺兰, 李良昌, 等. 牡丹皮乙醇提取物对帕金森病模型小鼠多巴胺能神经元功能障碍的保护作用[J]. 延边医学院学报, 2021, 44(2): 89-92.
- [16] YANG Xiaolu, XUE Xingyang, LIN Yan, et al. Chemical constituents from the Moutan Cortex charcoal and their potential coagulation activities [J]. Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences, 2018, 27(9): 608-616.
- [17] 马喆. 10种植物提取物对南方根结线虫毒杀活性研究[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(6): 22-26.
- [18] 朱立成, 王祥胜, 刘文, 等. 牡丹皮等16种中草药提取物抑制植物病原菌的研究[J]. 植物保护, 2007, 33(3): 83-86.
- [19] 夏传国, 陈杰林, 李隆术, 等. 丹皮及其提取物对几种中药材仓储害虫的忌避作用研究[J]. 粮食储藏, 2000(1): 3-9.
- [20] 吴梅, 韩瑞, 周典, 等. 丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择及幼虫的忌避作用研究[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(2): 500-506.
- [21] 罗小勇. 牡丹不同器官的除草活性研究[J]. 植物保护, 2011, 37(2): 87-90.
- [22] 郭风, 罗小勇. 牡丹叶及其不同溶剂提取物对生菜等幼苗生长的抑制效应[J]. 杂草科学, 2012, 30(3): 21-26.
- [23] 李晶晶, 田赐, 王明思, 等. 113种植物的乙醇提取物对反枝苋和马唐种子萌发及生长的抑制活性[J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(2): 374-382.
- [24] MEKKY M S, HASSANIEN A, KAMEL E M, et al. Allelopathic effect of *Ocimum basilicum* L. extracts on weeds and some crops and its possible use as new crude bio-herbicide [J]. Annals of Agricultural Sciences, 2019, 64(2): 211-221.
- [25] 孙永艳, 桑晓清, 杨文杰, 等. 6种植物甲醇提取物对外来入侵杂草的除草活性[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(3): 346-350.
- [26] 闫超, 陈敏, 周颖, 等. 石蝉草乙醇提取物除草活性初探[J]. 植物保护, 2018, 44(2): 199-203.
- [27] 张城嘉, 李祖任, 柏连阳. 棉籽壳中除草活性物质提取及鉴定[J]. 农药学报, 2019, 21(2): 146-150.
- [28] 卢海博, 万树青. 黄皮甲醇提取物的除草活性及有效成分研究[J]. 农药, 2012, 51(7): 539-542.
- [29] SHAO Hua, HU Yunxia, HAN Caixia, et al. Chemical composition and phytotoxic activity of *Seriphidium terrae-albae* (krasch.) Poljakov (Compositae) essential oil [J/OL]. Chemistry & Biodiversity, 2018, 15(11): e1800348. DOI: 10.1002/cbdv.201800348.
- [30] 王祝举, 唐力英, 赫炎. 牡丹皮的化学成分和药理作用[J]. 现代药物与临床, 2006(4): 155-159.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 91 页)

- [10] 林敏, 王荣波, 陈庆河, 等. 亚磷酸钾对马铃薯晚疫病病原菌的作用机理[J]. 植物保护学报, 2018, 45(6): 1389-1395.
- [11] 张东昱, 夏叶, 张文斌, 等. 叶面喷施磷酸二氢钾对加工型马铃薯生长的影响[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(5): 298-300.
- [12] 李效超, 李茂富, 李绍鹏, 等. 磷酸二氢钾对香蕉幼苗抗冷性的影响[J]. 广东农业科学, 2009(9): 61-64.
- [13] 李娜, 房鑫, 王玉鑫. 磷酸二氢钾叶面肥在水稻上的应用效果[J]. 农业科技通讯, 2021(4): 57-60.
- [14] 刘文欢, 李胜楠, 候阁阁, 等. 不同营养复配剂叶面喷施对冬小麦干热风抗性及其产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1600-1606.
- [15] 农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则(一) 杀菌剂防治马铃薯晚疫病: GB/T 17980-34-2000 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [16] AQUINO-BOLANOS E N, MERCADO-SILVA E. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama [J]. Postharvest Biology Technology, 2004, 33(3): 275-283.
- [17] BOLLER T, GEHRI A, MAUCH F, et al. Chitinase in bean leaves induction by ethylene, purification, properties, and possible function [J]. Planta, 1983, 157(1): 22-31.
- [18] 傅俊范, 孙嘉曼, 周如军, 等. 茉莉酸甲酯对人参 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(9): 214-217.
- [19] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [20] 朱毅勇, 沈其荣, 谢学东, 等. 磷酸盐诱导黄瓜系统抗病中主要酶活性的变化[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(2): 50-54.
- [21] ATA A A, EI-SAMMAN M G, MOURS Y M A, et al. Inducing resistance against rust disease of sugar beet by certain chemical compounds [J]. Egyptian Journal of Phytopathology, 2008, 36(2): 113-132.
- [22] ALSCHER R G, ERTURK N, HEATH L S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(372): 1331-1341.
- [23] 王勇刚, 曾富华, 吴志华, 等. 植物诱导抗病与病程相关蛋白[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(2): 177-182.

(责任编辑: 杨明丽)