福建农业学报 2021,36（1）:53−58 http://www.fjnyxb.cn
Fujian Journal of Agricultural Sciences doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2021.01.007

李永春，赵美荣，张智. 臭椿生物碱对 5 种植物病原真菌的抑制作用［J］. 福建农业学报，2021，36（1）：53−58.
LI Y C, ZHAO M R, ZHANG Z. Inhibitory Effects of *Ailanthus altissima* Alkaloids on Pathogenic Fungi［J］. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*，2021，36（1）：53−58.

臭椿生物碱对 5 种植物病原真菌的抑制作用

李永春[1,2]，赵美荣[2]，张　智[1*]

（1. 东北林业大学林学院，黑龙江　哈尔滨　150040；2. 赤峰学院化学与生命科学学院，内蒙古　赤峰　024000）

摘　要：【目的】 探索臭椿生物碱在植物病原真菌防治中的应用。**【方法】** 以臭椿树皮为原料，通过乙醇浸提法提取臭椿粗生物碱，并利用真空液相色谱技术对臭椿粗生物碱进行分离。采用菌丝生长速率法测定臭椿生物碱对黄瓜枯萎病菌（*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*）、禾谷镰刀菌（*Fusarium graminearum*）、冬瓜枯萎病菌（*Fusarium oxysporum* f. sp. *benincasae*）、芍药灰霉病菌（*Botrytis paeoniae*）、牡丹炭疽病菌（*Gloeosporium* sp.）等 5 种供试植物病原真菌的抑制活性。**【结果】** 除芍药灰霉病菌外，粗生物碱和单碱铁屎米-6-酮对其他 4 种供试真菌都产生较强的抑制作用，尤其对牡丹炭疽病菌、禾谷镰刀菌抑制效果明显。粗生物碱和单碱铁屎米-6-酮对禾谷镰刀菌的毒力都最强，EC_{50} 值分别为 0.31 、20.32 μg·mL^{-1}。**【结论】** 臭椿生物碱对多种植物病原真菌有较强的抑制作用，单碱铁屎米-6-酮的抑菌效果要优于粗生物碱，在开发新型绿色植物抗菌剂方面具有一定的潜力。

关键词： 臭椿；生物碱；植物病原真菌；抑制作用

中图分类号： S 482.2　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1008-0384（2021）01−0053−06

Inhibitory Effects of *Ailanthus altissima* Alkaloids on Pathogenic Fungi

LI Yongchun[1,2], ZHAO Meirong[2], ZHANG Zhi[1*]

（1. *School of Forestry*, *Northeast Forestry University*, *Harbin*, *Heilongjiang*　150040, *China*; 2. *College of Chemistry and Life Science*, *Chifeng University*, *Chifeng*, *Inner Mongolia*　024000, *China*）

Abstract: 【Objective】 Possibility of applying *Ailanthus altissima* alkaloids for controlling 5 plant pathogenic fungi was studied. 【Method】 Crude ethanol extract of alkaloids from the bark of *A. altissima* was obtained. Extract was separated using the vacuum liquid chromatography. Antifungal activities of the crude alkaloids and the elution fractions on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum, F. graminearum, F. oxysporum* f. sp. *benincasae, Botrytis paeoniae*, and *Gloeosporium* sp. were determined according to the fungal mycelium growth rate. 【Result】 The crude ethanol-extracted alkaloids and canthin-6-one fraction exhibited inhibitory effects on the tested fungi, except *B. paeoniae*. The antimicrobial effects were particularly strong on *Gloeosporium* sp. and *F. graminearum* and especially toxic toward the latter with EC_{50} values of 0.31 mg·mL^{-1} by the crude alkaloids and 20.32μg·mL^{-1} by canthin-6-one. 【Conclusion】 The ethanol-extracted alkaloids from *A. altissima* barks could inhibit the growth and/or be lethal toward a variety of plant pathogenic fungi. Although the antifungal effect was not as potent as that of canthin-6-one, the crude extract perse appeared promising to be a new source for the development of a plant-based biocontrol agent.

Key words: *Ailanthus altissima*；alkaloids；plant pathogenic fungi；inhibition

0　引言

【研究意义】当前，大约 80% 的植物病害是由真菌引起的，施用化学药剂是植物病害防治的主要手段[1]。然而化学药剂的长期施用给生态安全和人类健康带来威胁，因而，从植物中寻找具有农药生物活性的天然代谢物，成为开发新型生物农药和发现先导化合物的一种有效途径[2−3]。【前人研究进

收稿日期： 2020−04−12 初稿；2020−09−13 修改稿

作者简介： 李永春（1980−），男，硕士，副教授，研究方向：植物资源开发与利用（E-mail：yongchun008@qq.com）

* 通信作者：张智（1964−），女，博士，教授，研究方向：植物产品及微生物应用（E-mail：dblydxzz@163.com）

基金项目： 内蒙古自治区高等学校科学研究项目（NJZY19215）；内蒙古赤峰市自然科学科研项目（SZR066）

展】臭椿 *Ailanthus altissima*（Mill.）Swingle，苦木科臭椿属植物，为我国本土树种，在国外被称为“天堂树”，是一种优势植物资源，在农业、医药等领域都有一定的开发利用价值[4]。臭椿的叶、茎皮、根皮、种子等常作为“土农药”，用于杀虫[5−6]、除草[7−8]、抗植物病害[9−10]等农业生产中。臭椿含有苦木素、生物碱、萜类化合物、黄酮类物质等多种活性成分[11]，其中生物碱是其主要活性成分之一，具有抗肿瘤、抗病毒、抗炎杀菌、抗寄生虫等作用[12−13]。近年来，臭椿生物碱的抑菌性能受到广泛关注，研究表明，臭椿生物碱对金黄色葡萄球菌、白色念珠菌、变形链球菌等有较强的抑菌活性[14−15]。【本研究切入点】此类抑菌研究多集中在医药领域，关于臭椿生物碱对植物病原真菌抑制作用的研究还鲜见报道。【拟解决的关键问题】为了探索臭椿生物碱在植物病原真菌防治中的应用，本研究以 5 种植物病原真菌为供试菌，分析臭椿粗生物碱及其分离物对供试真菌生长的影响，探讨其抑菌作用，以期筛选出抑菌活性成分，为开发环境友好型的绿色植物源抑菌剂提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂 供试材料：臭椿（干燥茎皮），购于安徽亳州中药材批发市场，粉碎至 60 目，备用。主要试剂：PDA 培养基（海博生物），95% 乙醇、氨水、盐酸、二氯甲烷、乙酸乙酯等均为分析纯。

1.1.2 供试菌种 黄瓜枯萎病菌（*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*）由中国工业微生物菌种保藏管理中心提供，禾谷镰刀菌（*Fusarium graminearum*）、冬瓜枯萎病菌（*Fusarium oxysporum* f. sp. *benincasae*）、芍药灰霉病菌（*Botrytis paeoniae*）、牡丹炭疽病菌（*Gloeosporium* sp.）由赤峰学院微生物学实验室提供，将 5 种供试真菌活化后，于 PDA 培养基上（25±2）℃ 培养 6 d，备用。

1.1.3 试验仪器 BSA224 型电子天平（赛多利斯科学仪器公司），RE-52A 型旋转蒸发器（上海亚荣生化仪器厂），TD5A-WS 型低速离心机（湖南沪康离心机有限公司），HVE-50 型高压灭菌器（HIRAYAMA 公司），VS-1300L-U 型超净工作台（苏州安泰公司），SHP-1500 型生化培养箱（金坛市金祥龙电子公司），SHZ-D（III）型循环水式真空泵（巩义予华仪器有限责任公司）。

1.2 试验方法

1.2.1 臭椿粗生物碱的提取 参考胡苗芬等[14]的提取方法。称取臭椿茎皮粉 500 g，加入 10 倍体积的 95% 乙醇浸泡 3 d，8 层纱布过滤后抽滤，滤液合并，减压浓缩得乙醇浸膏（E_a），将浸膏用 1% 盐酸溶液分散后，4 000 r·min^{-1} 离心 10 min，分层，得油相（E_b）和沉淀（E_c），取酸水液用氨水碱化至 pH 10 左右，加入二氯甲烷充分萃取，合并萃取液，减压浓缩后得粗生物碱（E_d）。

1.2.2 臭椿粗生物碱的抑菌活性初筛 抑菌活性测定采用菌丝生长速率抑制法[16]。称取 E_a、E_b、E_c 和 E_d 等 4 种粗分离物，分别溶于 1% 的二甲基亚砜（DMSO）溶液，超声使其完全溶解，经 0.22 μm 无菌滤膜过滤，在无菌条件下加入到灭菌的 PDA 培养基中，制成 2 mg·mL^{-1} 的含药培养基。分别在培养 6 d 的供试菌落边缘取直径 6 mm 的菌饼，接种在含不同药液的 PDA 平板中央，以不含药液的 PDA 平板作对照，每个处理设置 3 个重复。菌丝面向下，于（25±2）℃ 条件下培养。72 h 后十字交叉法测定菌落直径，并计算菌丝生长抑制率。菌落直径/mm= 测量菌落直径−菌饼直径，抑制率/%=（对照菌落平均直径−处理菌落平均直径）/对照菌落平均直径×100。

1.2.3 粗生物碱对供试病原菌的毒力测定 将粗生物碱分别配制为 0.062 5、0.125 0、0.250 0、0.500 0、1.000 0 mg·mL^{-1} 的含药 PDA 培养基，接种供试菌，培养，计算菌丝生长抑制率，配制方法和抑菌活性操作同 1.2.2。将抑制率换算为几率值 y、药剂质量浓度（mg·mL^{-1}）换算为对数值 x，并进行毒力回归分析，计算各供试病原真菌的 EC_{50} 值[17]。

1.2.4 粗生物碱 E_d 的分离及抑菌活性测定 粗生物碱分离采用真空液相色谱法（VLC）[18−19]。称取 5 g E_d 溶于二氯甲烷，拌入薄层层析用硅胶 H 粉，充分混匀后除去溶剂，干法上样，洗脱剂从正己烷开始，依次用二氯甲烷、二氯甲烷:乙酸乙酯（9:1、8:2、7:3、6:4），最后用乙酸乙酯梯度洗脱，每 100 mL 收集 1 份，共收集 21 份，薄层色谱跟踪活性成分，将单一斑点的溶液混合，减压浓缩后，获得 S_1、S_2、S_3、S_4 等共 4 种组分，分别称取 4 种组分，无菌条件下配制成 25 μg·mL^{-1} 的含药 PDA 培养基，并进行抑菌活性分析。配制方法和抑菌活性操作同 1.2.2。

1.2.5 分离物 S_2 对供试病原菌的毒力及纯化鉴定 无菌条件下将 S_2 分别配制为 1.562 5、3.125 0、6.250 0、12.500 0、25.000 0、50.000 0 μg·mL^{-1} 的含药 PDA 培养基，接种供试菌，培养，抑菌活性测定。配制方法和抑菌活性操作同 1.2.2，毒力回归分析同 1.2.3。将一定质量的 S_2 用丙酮溶解，4 ℃ 条件下重结晶，

使用高效液相色谱（HPLC），通过面积归一法检测结晶的纯度，色谱条件参照文献 [20]，并利用核磁共振波谱（NMR）对其进行初步鉴定。

1.2.6 数据处理　数据处理使用 DPS15.10 软件，差异显著性分析采用 Tukey test 和 one-way ANOVA 法在 a=0.05 水平下进行。

2 结果与分析

2.1 臭椿提取物的抑菌活性

臭椿提取物对供试菌的抑菌效果（图 1、表 1）表明，在 2 mg·mL^{-1} 的条件下，4 种提取物对 5 种病原菌菌丝生长的影响不同，其中，E_a、E_b、E_c 对黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌菌丝生长均有明显抑制作用，但抑制率不高，均低于 25%，对芍药灰霉病菌菌丝生长抑制作用不显著（P＞0.05）。与 E_a、E_b、E_c 的抑菌效果相比，E_d 对供试菌的抑制作用更显著，对芍药灰霉病菌的抑制作用明显优于其他 3 种粗提物，抑制率为 24.18%，对黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌的抑制率都在 50% 以上，其中对牡丹炭疽病菌、禾谷镰刀菌抑菌作用最强，抑制率达到 90% 以上。

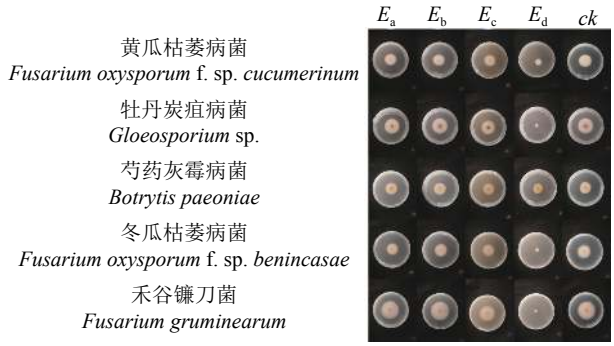

图 1　5 种植物病原真菌在不同臭椿提取物的 PDA 培养基上生长情况

Fig. 1　Growth of 5 plant pathogenic fungi on PDA medium in presence of fractions of *A. altissima* alkaloids extract

表 1　臭椿粗提物对 5 种植物病原真菌的抑制效果

Table 1　Inhibitory effects of crude extracts of *A. altissima* on 5 plant pathogenic fungi

提取物 Extracts	牡丹炭疽病菌 *Gloeosporium* sp.		芍药灰霉病菌 *Botrytis paeoniae*		禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum*		黄瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*		冬瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *benincasae*	
	菌落直径 Colony diameter/mm	抑制率 Inhibition rate/%	菌落直径 Colony diameter/mm	抑制率 Inhibition rate/%	菌落直径 Colony diameter/mm	抑制率 Inhibition rate/%	菌落直径 Colony diameter/mm	抑制率 Inhibition rate/%	菌落直径 Colony diameter/mm	抑制率 Inhibition rate/%
CK	38.73+0.53 a		24.57+0.67 ab		42.78+0.58 a		28.38 +0.35 a		28.71+1.53 a	
E_a	33.03+0.81 b	14.73	25.48+0.77 a	−3.72	39.84+0.23 b	6.87	25.04+0.53 b	11.76	22.99+1.02 b	19.93
E_b	32.27+0.06 b	16.67	25.08+0.34 ab	−2.08	39.85+0.54 b	6.85	24.59+0.38 b	13.35	23.99+0.38 b	16.43
E_c	30.36+1.03 c	21.60	23.53+0.29 b	4.25	33.64+0.61 c	21.37	23.98+0.75 b	15.50	22.47+0.74 b	21.75
E_d	3.71+0.56 d	90.43	18.63+1.03 c	24.18	3.30+0.28 d	92.29	11.68+0.32 c	58.86	4.18+0.10 c	85.43

注：菌落直径是平均值±标准差，同列不同字母表示差异显著（P＜0.05）。表3同。

Note: Colony diameter were means±SD, and different letters in the same column mean significant difference (P＜0.05)。The same as table 3.

2.2 粗生物碱对供试病原菌的毒力分析

抑菌活性初筛结果表明，粗生物碱 E_d 对 4 种植物病原真菌表现出明显的抑菌作用，继而用浓度梯度法建立了 E_d 对供试病原真菌的毒力回归方程，进一步分析 E_d 对供试真菌的抑制能力。由表 2 可知，E_d 对黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌都表现出了良好的抑菌性能，其 EC_{50} 分别为 0.55、0.41、0.35、0.31 mg·mL^{-1}。此外，在

表 2　E_d 对供试病原真菌的毒力

Table 2　Toxicity of E_d against tested fungi

供试真菌 Tested fungi	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC_{50}/(mg·mL^{-1})
黄瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*	$y = 0.6577x + 5.3921$	0.996 3	0.55
牡丹炭疽病菌 *Gloeosporium* sp.	$y = 0.8492x + 5.755$	0.977 3	0.41
冬瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *benincasae*	$y = 0.6188x + 5.6506$	0.991 9	0.35
禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum*	$y = 1.1354x + 6.3194$	0.976 3	0.31

供试病原真菌中，发现 E_d 对镰刀菌属的病原真菌都表现出抑制作用，其中对禾谷镰刀菌的毒力作用最强，EC_{50} 为 0.31 mg·mL^{-1}。

2.3 臭椿生物碱分离物对供试病原菌的抑菌活性

为了进一步分析抑菌活性成分，使用真空液相色谱法将 E_d 分离，得到 S_1、S_2、S_3、S_4 等共 4 种组分。以 5 种植物病原真菌为供试菌，对 4 种分离组分进行了抑菌活性测定，抑菌效果见图 2、表 3。在 25 μg·mL^{-1} 条件下，4 种分离物对供试真菌的作用效果不同。与对照相比，S_1 对冬瓜枯萎病菌菌丝的生长有一定的促进作用，对其他 4 种供试菌菌丝生长没有明显的影响，S_3 和 S_4 对 5 种供试菌的影响也无显著差异（$P<0.05$），表明这 3 种组分没有明显的抑菌活性。除芍药灰霉病菌外，S_2 对其他 4 种供试菌都表现出了明显的抑制活性，对黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌，菌丝生长抑制率分别为 34.07%、36.55%、21.67%、62.28%。

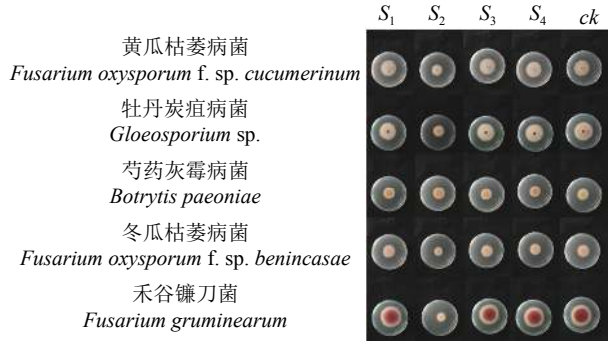

图 2 5 种植物病原真菌在不同粗碱分离物的 PDA 培养基上生长情况

Fig. 2 Growth of 5 plant pathogenic fungi on PDA medium in presence of separated components of *A. altissima* alkaloids extract

表 3 粗碱分离物对 5 种植物病原真菌的抑制效果

Table 3 Inhibitory effects of separated components on 5 plant pathogenic fungi

分离物 Separated components	菌落直径 Colony diameter/mm				
	黄瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*	牡丹炭疽病菌 *Gloeosporium* sp.	芍药灰霉病菌 *Botrytis paeoniae*	冬瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *benincasae*	禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum*
CK	36.45+0.35 a	40.89+5.27 a	26.02+0.57 ab	24.49+3.89 b	49.89+2.20 a
S_1	36.38+0.12 a	43.14+0.56 a	26.73+0.76 a	29.49+0.54 a	42.65+6.87 a
S_2	24.03+0.15 b	25.94+0.39 b	26.64+0.24 a	19.18+0.72 c	18.82+4.88 b
S_3	35.63+0.34 a	41.21+2.07 a	25.33+0.33 ab	28.37+0.66 ab	47.03+0.48 a
S_4	35.92+0.45 a	41.81+0.62 a	24.07+1.48 b	26.52+0.94 ab	46.70+1.03 a

2.4 臭椿分离物 S_2 对供试病原菌的毒力分析

臭椿生物碱分离组分 S_2 对供试菌的毒力分析见表 4，试验结果进一步表明了组分 S_2 对供试的 4 种病原真菌菌丝生长都具有良好的抑制作用，且抑制作用均与 S_2 浓度呈正相关，其中对禾谷镰刀菌的毒力作用最强，EC_{50} 为 20.32 μg·mL^{-1}，其后依次为牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌和黄瓜枯萎病菌。

表 4 S_2 对供试病原真菌的毒力

Table 4 Toxicity of S_2 against tested fungi

供试真菌 Tested fungi	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC_{50}/(μg·mL^{-1})
黄瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*	$y = 0.5298x + 2.9071$	0.9686	51.95
牡丹炭疽病菌 *Gloeosporium* sp.	$y = 0.5517x + 2.9082$	0.9108	44.33
冬瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *benincasae*	$y = 0.6198x + 2.618$	0.9642	46.67
禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum*	$y = 0.6606x + 3.0105$	0.9144	20.32

3 讨论与结论

臭椿作为一种优势资源植物，在抑制植物病原真菌方面有着较大的潜力。许多研究发现臭椿提取物具有抑制植物病原菌菌丝生长的作用。Balkan 等[21]研究发现臭椿叶片提取物具有抑制某些谷物病原真

菌的能力。张燕宁等[22]采用生长速率法测定了 56 种植物甲醇提取物的抑菌活性，结果发现，臭椿的甲醇提取物具有较强的抑菌活性，对 5 种植物病原真菌的生长抑制率均在 80% 以上。周江鸿等[9]研究了 16 种园林植物粗提物对黄栌枯萎病菌的抑制作用，发现臭椿叶提取物对黄栌枯萎病菌菌丝生长有较强的抑制作用，抑菌效果达 98.53%。生物碱作为臭椿的主要成分之一，其抑菌性能备受关注。刘继梅等[23]研究结果表明，含有效成分生物碱的臭椿提取物对番茄霜霉病菌、西瓜枯萎病菌等显示较强的抑菌活性。本研究结果也发现，臭椿粗生物碱对 5 种供试菌，黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、芍药灰霉病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌等的抑制效果明显优于臭椿乙醇提取物（$P<0.05$），除芍药灰霉病菌外，臭椿粗生物碱对其余 4 种供试真菌都具有较强的抑制活性，其中对牡丹炭疽病菌、禾谷镰刀菌抑制率达到 90% 以上。

为了进一步分析臭椿生物碱的抑菌活性成分，对臭椿生物碱进行单一组分的分离并测定分离组分的抑菌活性。本试验采用了快速、高效的 VLC 法初步分离臭椿粗生物碱，得到 4 种单一组分。单一分离组分的抑菌活性分析结果发现，仅组分 S_2 表现出抑菌活性，且抑菌效果明显。通过毒力测试，发现 S_2 对黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌的 EC_{50} 分别为 51.95、44.33、46.67、20.32 $\mu g \cdot mL^{-1}$，与生物碱粗提物（E_d）相比，单碱的抑菌能力要优于粗生物碱。用 HPLC法测得 S_2 的纯度为 95.6%，重结晶后含量大于 98%。经 NMR 鉴定且与文献[23–24]比较，该化合物为铁屎米-6-酮生物碱。

另外，研究发现，单一成分的生物碱对芍药灰霉病菌菌丝生长没有明显的影响，粗生物碱对芍药灰霉病菌虽有一定的抑制作用，但相比其他 4 种供试菌，抑制效果不大。无论是单一成分还是粗生物碱对黄瓜枯萎病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌等镰刀菌和牡丹炭疽病菌都表现出较强的抑制作用，这一结果说明臭椿生物碱对植物病原真菌生长抑制作用具有选择性。

综上所述，臭椿粗生物碱以及单一成分铁屎米-6-酮生物碱对黄瓜枯萎病菌、牡丹炭疽病菌、冬瓜枯萎病菌、禾谷镰刀菌都产生较强的抑菌活性，在抑制植物病原真菌方面表现出一定的应用潜力。然而，臭椿的活性成分复杂多样，其抗菌活性成分并不唯一。赵春超等[25]研究发现，臭椿种子含有的黄酮类化合物和木脂素类物质也具有抗菌作用。王乐飞等[26]也报道从臭椿根皮中分离得到的臭椿萜酮对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌显示较弱的抑制活性。因而对于臭椿中其他抗菌物质成分，还有待进一步探索，臭椿作为植物源抑菌剂的潜在应用价值还需做深入的研究。

参考文献：

[1] 刘佳. 三种中药对植物病原真菌抑制作用研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
LIU J. The inhibitory effect of three kinds of Chinese herbal medicine on plant pathogenic fungi[D]. Chengdu: Xihua University, 2013. (in Chinese).

[2] 沈建国, 张正坤, 吴祖建, 等. 臭椿抗烟草花叶病毒活性物质的提取及其初步分离 [J]. 中国生物防治, 2007, 23（4）：348−352.
SHEN J G, ZHANG Z K, WU Z J, et al. Extraction and preliminary isolation of antiviral substances from *Ailanthus altissima* against TMV [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23（4）: 348−352.（in Chinese）

[3] NGUVO K J, GAO X Q. Weapons hidden underneath: Bio-control agents and their potentials to activate plant induced systemic resistance in controlling crop *Fusarium* diseases [J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2019, 126（3）: 177−190.

[4] LEHMANN S, HERRMANN F, KLEEMANN K, et al. Extract and the quassinoid ailanthone from *Ailanthus altissima* inhibit nematode reproduction by damaging germ cells and *Rachis* in the model organism *Caenorhabditis elegans* [J]. *Fitoterapia*, 2020, 146: 104651.

[5] 吕建华, 华志鹏. 臭椿树皮提取物对锈赤扁谷盗的毒杀作用 [J]. 河南农业大学学报, 2011, 45（1）：71−74, 126.
LYU J H, HUA Z P. The controlling effect of *Ailanthus altissima* bark extract on *Cryptolestes ferrugineus* [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2011, 45（1）: 71−74, 126.（in Chinese）

[6] 周佳民, 黄文坤, 崔江宽, 等. 不同药用植物提取液对大豆孢囊线虫的控制作用 [J]. 植物保护, 2015, 41（5）：225−228.
ZHOU J M, HUANG W K, CUI J K, et al. Effects of different plant extracts on controlling *Heterodera glycines* [J]. *Plant Protection*, 2015, 41（5）: 225−228.（in Chinese）

[7] DEMASI S, CASER M, VANARA F, et al. Ailanthone from *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle as potential natural herbicide [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 257: 108702.

[8] CASER M, DEMASI S, CALDERA F, et al. Activity of *Ailanthus altissima* (mill.) swingle extract as a potential bioherbicide for sustainable weed management in horticulture [J]. *Agronomy*, 2020, 10（7）: 965.

[9] 周江鸿, 夏菲, 车少臣. 16种园林植物粗提物对黄栌枯萎病菌的抑制作用 [J]. 园林科技, 2015, 138（4）：30−34.
ZHOU J H, XIA F, CHE S C. Inhibitory Effects of Crude Extract of 16 Garden Plants against *Verticillium dahlia* [J]. *Science & Technology of Landscape Architecture*, 2015, 138（4）: 30−34.（in Chinese）

[10] 潘漫, 盛园园, 程傲星, 等. 8种中药提取物对植物病原真菌的抑制活性 [J]. 资源开发与市场, 2011, 27（5）：394−396.

PAN M, SHENG Y Y, CHENG A X, et al. Study on inhibition of 8 kinds of Chinese herbs extract to phytopathogenic fungi [J]. *Resource Development & Market*, 2011, 27（5）: 394−396.（in Chinese）

[11] 谭庆伟, 吴祖建, 欧阳明安. 臭椿化学成分及生物活性研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2008, 20（4）：748−755.

TAN Q W, WU Z J, OUYANG M G. Research progress in chemical constituents and bioactivities of *Ailanthus altissima* [J]. *Natural Product Research and Development*, 2008, 20（4）: 748−755.（in Chinese）

[12] 胡苗芬, 宋新波, 张丽娟. 臭椿吲哚生物碱成分及其生物活性研究进展 [J]. 药物评价研究, 2012, 35（6）：469−472.

HU M F, SONG X B, ZHANG L J. Research progress in indole alkaloids from *Ailanthus altissima* and their bioactivities [J]. *Drug Evaluation Research*, 2012, 35（6）: 469−472.（in Chinese）

[13] CHO S K, JEONG M, JANG D S, et al. Anti-inflammatory effects of canthin-6-one alkaloids from *Ailanthus altissima* [J]. *Planta Medica*, 2018, 84（8）: 527−535.

[14] 胡苗芬, 宋新波, 张丽娟, 等. 椿皮中铁屎米酮的分离及其体外抗菌活性研究 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2013, 15（12）：75−77.

HU M F, SONG X B, ZHANG L J, et al. Isolation of canthin-6-one from bark of *Ailanthus altissima* and its antibiotic tests *in vitro* [J]. *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine*, 2013, 15（12）: 75−77.（in Chinese）

[15] 施瑶, 李定祥, 闵知大. 花椒属植物对口腔致病菌的抗菌活性 [J]. 中国天然药物, 2005, 3（4）：248−251.

SHI Y, LI D X, MIN Z D. Activity of *Zanthoxylum* species and their compounds against oral pathogens [J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2005, 3（4）: 248−251.（in Chinese）

[16] 朱奇奇, 张杰, 谢平, 等. 八角多酚提取物对植物病原真菌的抑制作用研究 [J]. 中国调味品, 2017, 42（5）：5−8.

ZHU Q Q, ZHANG J, XIE P, et al. Research on antibacterial effect of total polyphenols from anise on plant pathogenic fungi [J]. *China Condiment*, 2017, 42（5）: 5−8.（in Chinese）

[17] 冯小飞, 赵宁, 杨品辉, 等. 红花夹竹桃萃取物对植物病原真菌的抑菌活性 [J]. 福建农业学报, 2018, 33（8）：849−854.

FENG X F, ZHAO N, YANG P H, et al. Antimicrobial activities of *Nerium indicum* mill extracts on fungal pathogens [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33（8）: 849−854.（in Chinese）

[18] 陈业高, 张燕, 冯丽萍. 真空液相层析及其在生物活性天然产物分离中的应用 [J]. 云南化工, 2000, 27（5）：19−20, 21.

CHEN Y G, ZHANG Y, FENG L P. Vacuum liquid chromatography and its application in the isolation of bioactive natural products [J]. *Yunan Chemical Technology*, 2000, 27（5）: 19−20, 21.（in Chinese）

[19] 张玉军, 刘星. 天然产物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 29-30.

[20] 李永春, 赵美荣, 张智. HPLC法测定椿皮中铁屎米-6-酮生物碱的含量 [J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2020, 36（3）：39−40.

LI Y C, ZHAO M R, ZHANG Z. HPLC determination of canthin-6-one from bark of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle [J]. *Journal of Chifeng University (Natural Science Edition)*, 2020, 36（3）: 39−40.（in Chinese）

[21] BALKAN B, BALKAN S, AYDOGDU H, et al. Antifungal activities of *Ailanthus altissima* Swingle and Juglans regia L. leaves against some cereal fungi [J]. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 2014, 8（1）: 76−79.

[22] 张燕宁, 雷敏, 孙伟, 等. 56种植物对植物病原菌的生物活性 [J]. 农药, 2010, 49（4）：290−292.

ZHANG Y N, LEI M, SUN W, et al. Antifungal activities of 56 kinds of plant [J]. *Agrochemicals*, 2010, 49（4）: 290−292.（in Chinese）

[23] 刘继梅, 张中伟, 姚佳, 等. 臭椿树枝化学成分研究 [J]. 林产化学与工业, 2013, 33（4）：121−127.

LIU J M, ZHANG Z W, YAO J, et al. Chemical constituents of the branches of *Ailanthus altissima* swingle [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2013, 33（4）: 121−127.（in Chinese）

[24] ANDERSON L A, HARRIS A, PHILLIPSON J D. Production of cytotoxic canthin-6-one alkaloids by *Ailanthus altissima* plant cell cultures [J]. *Journal of Natural Products*, 1983, 46（3）: 374−378.

[25] 赵春超. 凤眼草和蓬子菜化学成分及生物活性研究[D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2007.

ZHAO C C. Studies on the Chemical Constituents and Biological Activities of Fruits of *Ailanthus altissima* Swingle and *Galium verum* L.[D]. Shenyang: Shengyang Pharmaceutical University, 2007. (in Chinese).

[26] 王乐飞, 赵军, 唐文照, 等. 臭椿根皮中1个新的达玛烷型三萜 [J]. 中草药, 2014, 45（2）：161−163.

WANG L F, ZHAO J, TANG W Z, et al. a new dammatane-type triterpene from root barks of *Ailanthus altissima* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2014, 45（2）: 161−163.（in Chinese）

（责任编辑：黄爱萍）