应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2025, 62(4): 1001−1013. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2025.093

不同品种豇豆挥发物鉴定、种类分析及蓟马危害程度*

田厚军** 陈 峥 陈艺欣 郑月琴 林 硕 池新霖 陈 勇***

（福建省农业科学院植物保护研究所，福建省作物有害生物监测与治理重点实验室，农业部福州作物有害生物科学观测试验站，福州 350013）

摘 要 **【目的】** 明确不同豇豆品种蓟马的危害程度及挥发物组分差异，挖掘用于显著调控蓟马活动的行为调节剂，以期为蓟马的生态调控策略提供科学依据。**【方法】** 利用固相微萃取-气质联用技术（SPME-GC-MS）测定 4 个豇豆品种（大麻、肉麻、天瑞②和长麻）的挥发物组成，结合化合物含量进行种类分析，同时，采用 5 点实地调查法分析了不同品种间蓟马的危害程度。**【结果】** 4 个品种中肉麻受蓟马的危害程度最低，大麻受危害程度最高，危害长麻的蓟马种类最多，且均以豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 危害最为严重，其次为花蓟马 *Frankliniella intonsa*。4 个品种豇豆叶片（大麻 14 种、肉麻 17 种、天瑞②16 种、长麻 13 种）和花（大麻 11 种、肉麻 10 种、天瑞②12 种、长麻 17 种）挥发物共检测到 23 种，叶片和花挥发物中各有 8 个化合物为 4 个品种共有。苯甲醛和 β-紫罗兰酮在大麻、肉麻和长麻叶片中含量较高也较为稳定，显著高于天瑞②中的含量（$P<0.000\ 1$）。在 4 个品种叶片挥发物中脂肪酸衍生物含量最高，其次为苯环类化合物；但在大麻、肉麻和天瑞②花挥发物中，脂肪酸衍生物含量最高，其次为萜烯类化合物，而在长麻花挥发物中萜烯类化合物含量最高。**【结论】** 4 个品种叶片和花挥发物种类和含量上均有差异，通过对共有挥发物中主要化合物（苯甲醛和 β-紫罗兰酮为叶片共有，芳樟醇和棕榈酸甲酯为花共有）以及独有特征性化合物（乙酸叶醇酯为天瑞②叶片特有、十六醛为大麻叶片特有、1-辛烯-3-醇为大麻花特有、苯乙酮为长麻花特有、十八醛为肉麻花特有、植酮为天瑞花②特有）的分析对比，并结合危害程度及现有文献推测苯甲醛、芳樟醇、乙酸叶醇酯、β-紫罗兰酮、1-辛烯-3-醇、苯乙酮、苯丙醇、肉桂醛、氨茴酸甲酯和水杨酸甲酯可作为开发蓟马行为调控剂的重要化合物。

关键词 豇豆；挥发性物质；品种；蓟马；固相微萃取-气质联用技术

Identification and analysis of volatiles released by different cowpea, *Vigna unguiculata*, and damage levels to this crop caused by thrips

TIAN Hou-Jun** CHEN Zheng CHEN Yi-Xin ZHENG Yue-Qin LIN Shuo CHI Xin-Lin CHEN Yong***

(Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests of Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

Abstract **[Aim]** To identify volatile components of different cowpea *Vigna sinensis* (L.), assess and compare the degree of thrip damage on different cultivars, and investigate potential ecological control strategies for thrips. **[Methods]** Volatiles of four cowpea cultivars (Dama, Rouma, Tianrui②, Changma) were identified using SPME-GC-MS. The degree of thrip damage on each of the four cultivars was assessed in a 5-point field investigation. **[Results]** The Rouma cultivar had the lowest

*资助项目 Supported projects：福建省省属公益类科研院所基本科研专项（2024R1023001）；国家自然科学基金（32472657）；福建省自然科学基金杰出青年项目（2023J06040）；中央引导地方科技发展专项（2023L3021）；福建省农业科学院科技项目(CXTD2021004-3，XTCXGC2021011)

**第一作者 First author，E-mail：tianhoujunbest@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：cheny0903@163.com

收稿日期 Received：2024-10-12；接受日期 Accepted：2024-12-16

number of thrips, and the Dama cultivar the highest. The Changma cultivar had the greatest species diversity of thrips. The most serious plant damage was caused by *Megalurothrips usitatus*, followed by *Frankliniella intonsa*. Twenty-three kinds of volatiles were identified in the leaves (14 in Dama, 17 in Rouma, 16 in Tianrui②, 13 in Changma) and flowers (11 in Dama, 10 in Rouma, 12 in Tianrui②, 17 in Changma) of the four cultivars. Eight compounds in leaves and flowers were shared by all four cultivars. Benzaldehyde and β-ionone content was relatively high and stable in the leaves of the Dama, Rouma and Changma varieties, significantly higher than was found in the Tianrui② variety (P<0.000 1). Among the volatiles identified, fatty acid derivatives were the most abundant, followed by benzene compounds. Fatty acid derivatives were the most abundant volatiles of the Dama, Rouma, Tianrui② cultivars, followed by terpenes, which were the most abundant volatiles of the Changma cultivar. **[Conclusion]** The dominant thrip species and primary volatile compounds differed among four cowpea cultivars. Common volatiles, such as benzaldehyde and β-ionone, were common in leaves, whereas linalool and methyl palmitate were more common in flowers. Several cultivar-specific volatiles were identified, such as *cis*-3-hexenyl acetate, which was unique to leaves of the Tianrui② cultivar, hexadecanal, which was unique to leaves of the Dama cultivar, 1-octene-3-ol, which was unique to the flowers of the Dama cultivar, acetophenone, which was unique to the flowers of the Changma cultivar, stearaldehyde, which was unique to flowers of the Rouma cultivar, and phytone, which was unique to flowers of the Tianrui② cultivar. Combined with the level of damage found on each cultivar and information in the existing literature, it can be inferred that benzaldehyde, linalool, *cis*-3-hexenyl acetate, β-ionone, 1-octene-3-ol, acetophenone, benzenepropanol, 3-phenyl-2-propenal, 2-amino-methyl ester benzoic acid and 2-hydroxy-methyl ester benzoic acid, are potentially important compounds that influence the relative preference of thrips for these cultivars.

Key words *Vigna unguiculata*; volatiles; cultivars; thrips; SPME-GC-MS

豇豆 *Vigna unguiculata* 别名角豆，属豆科 Leguminosae 蝶形花亚科 Papilionaceae 豇豆属 *Vigna*，是我国广泛种植的大宗蔬菜之一，也是南方冬季瓜菜输出的主要蔬菜。豇豆上蓟马危害严重，过量多次不合理施用农药，导致豇豆农残超标，为此，2023 年农业农村部出台了《关于加强豇豆病虫害防控指导的通知》的文件，解决豇豆农残问题迫在眉睫。蓟马是危害豇豆最重要的蔬菜害虫，主要为豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 和花蓟马 *Frankliniella intonsa*（郭霞等，2021）。研究发现，蓟马会对不同品种的豇豆表现出不同程度的抗性或容忍性，除了豇豆内在的物理防御性和营养成分外（黎庭耀等，2017），其不同器官释放的挥发物也是导致蓟马偏好性取食的重要因素（吴圣勇等，2024）。

植物在生长发育过程中能够持续不断地释放大量的挥发性次生代谢物质，并通过这些物质来调节植物、植食性昆虫及其天敌三者间的相互作用关系，通过不同的作用类型和程度（贾志飞等，2022；吕金言和孟昭军，2022），达到防御植食性昆虫取食为害的目的，这在害虫生态防控中是极其重要的一个组成部分（张艳军等，2024）。植物释放的挥发物从数十种到数百种之多，通常影响昆虫取食或寻找产卵场所的化合物仅有一种或几种。植物次生代谢物作为昆虫与植物之间信息交流的重要枢纽，能发挥其对昆虫行为的调节作用并有效降低昆虫的危害程度，从而达到害虫生态防控的目的（Hamilton *et al.*，2005；Koschier，2008；Nishida，2014）。然而，当前在应用植物次生代谢物质防控害虫过程中存在作用效果不稳定的问题，究其原因是这种行为调控作用会受化合物剂量、配比、背景颜色和背景气味等因素的影响。因此，明确化合物在寄主植物挥发物中的实际比例和剂量大小是提高昆虫行为调控效率的关键（李晓维等，2022）。

蓟马作为危害豇豆、四季豆、番茄、辣椒等蔬菜的一类最重要害虫，是农业生产中入侵性重大农业害虫的典型代表，但是利用基于化学生态学方法开发研制的行为调节剂在蓟马生态调控中的研究较少。如何采集、鉴定和筛选植物挥发物则成为制约昆虫行为调节剂开发应用的重要因素。因此，本研究通过调查不同豇豆品种上蓟马的危害程度，进一步开展不同品种豇豆挥发物组分鉴定、含量及种类差异分析，明确豇豆不同

品种间的特征性差异化合物，挖掘用于显著调控蓟马行为的复合物，以期为蓟马生态调控策略的制定提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试植株

在测定叶片挥发性气味试验时，豇豆植株在人工气候箱（MGC350HP-2）内单株培育（基质为泥炭土与腐殖质混合物），温度（25±0.5）℃，光周期 12 L∶12 D，相对湿度 70%±5%。供试植株均选择长至 15 d 的健康未受伤害的植株，选取长势均匀的植株叶片作为测试对象。在测定花的挥发性气味试验时，豇豆植株种植于福建省农业科学院植物保护研究所温室大棚内（26°07′30.74″ N, 119°18′23.98″ E, 海拔 6.8 m），在花期选取大小均匀的花作为测试对象。供试豇豆品种分别为大麻、肉麻、长麻和天瑞②，为福建地区性主栽品种，均购自于福州鑫大自然种业公司。

1.2　蓟马发生程度调查

调查地点位于三明市将乐县万安镇万安村（26°54′40.31″ N, 117°28′46.59″ E）。豇豆生育期为开花结荚期，4 个品种分别种植在不同的温室大棚内。参照谭永安等（2012）危害程度调查方法对 4 个品种豇豆（大麻、肉麻、天瑞②和长麻）上蓟马危害情况进行调查，并对其进行适当调整：采用 5 点取样法，每点调查 5 株，每点 5 株随机取生长点以下幼嫩叶片 8 片和 5 朵花进行调查，记录成虫数和若虫数。对寄主植物上蓟马成虫和若虫，根据蓟马发生程度依次将其划分为 4 个等级：平均每叶或每朵花<5 头的为 1 级，记作“+”；15 头< 2 级≥5 头 ，记作“+ +”；30 头<3 级≥15 头的为，记作“+ + +”；4 级>30 头，记作“+ + + +”。

1.3　蓟马标本鉴定

本实验室常年饲养豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus*、花蓟马 *Frankliniella intonsa*、黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 和棕榈蓟马 *Thrips palmi* 等种群，已具备熟练掌握相关蓟马的形态特征条件。前期标本的制作参考张宏瑞等（2006）、Mirab-Balou 和陈学新（2010）及郑雪等（2015）的方法，从离心管中将室内饲养的蓟马挑出放入 5% KOH 溶液中，冷浸 12-24 h（按虫体形态大小及颜色深浅而定），将虫体内脂肪等内含物除去以便于形态观察，并适度褪色。待标本的翅及附肢都伸展开，即可制成玻片，以供鉴定。鉴定采用 Priesner（郑雪等，2015）建立的 2 亚目、3 总科、5 科的分类系统。

1.4　实验仪器

SPME 萃取柄（Supleco 公司），65 μm 聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯（PDMS/DVB）萃取头（Supleco 公司），安捷伦 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪（GC-MS）（Agilent Technologies Co., Ltd.，America）。

1.5　实验方法

1.5.1　挥发性物质萃取　利用固相微萃取技术（Solid phase micro extraction, SPME）富集豇豆叶片和花的挥发性物质（陈梅春等，2023）。使用前将固相微萃取萃取头旋出萃取柄，用乙醇浸泡 30 min 后，于 270 ℃老化 30 min，备用。

不同品种豇豆叶片气味的收集：每次试验采集 1 片叶片，大麻平均每个叶片重约为（0.905±0.085）g，肉麻平均每个叶片重约为（0.927±0.042）g，天瑞②平均每个叶片重约为（0.917±0.056）g，长麻平均每个叶片重约为（0.885±0.082）g。每次试验将叶片放置于 20 mL 玻璃样品瓶中，将带有硅胶塞的 SPME 萃取头插入玻璃样品瓶中，在 50 ℃烘箱中顶空采样 2 h，气味收集结束后将 SPME 在气相色谱-质谱联用仪上进行检测，在进样口热解析 5 min，每个试验 3 个生物学重复。

不同品种豇豆花的气味收集：每次试验采集 1 朵花，大麻平均每花朵重约为（0.490±0.018）g，肉麻平均每朵花重约为（0.486±0.010）g，天瑞②平均每朵花重约为（0.474±0.010）g，长麻平均每朵花重约为（0.468±0.014）g。每次试验将花朵放置于 20 mL 玻璃样品瓶中，将带有硅胶塞的

SPME 萃取头插入玻璃样品瓶中，在 50 ℃烘箱中顶空采样 1 h，气味收集结束后将 SPME 在 GC-MS 上进行检测，在进样口热解析 5 min，每个试验 3 个生物学重复。

化合物的定性鉴定：将采集的挥发性物质质谱图于 NIST17 和 WILEY7 谱库中进行检索获得匹配度大于 80 的化合物名称后，结合文献报道的挥发性物质保留时间和已知某些化合物标准品对测定的叶片和花的挥发性物质进行鉴定。

化合物的定量方法：采用面积归一化法，即各挥发性物质相对含量（%）表示为各挥发性物质的峰面积占物质总峰面积的比值。

1.5.2 GC-MS 分析条件 色谱条件：采用 HP-5MS 色谱柱（柱长 30 m，内径 0.25 mm，液膜 0.25 μm），进样口温度 250 ℃，起始柱温为 50 ℃，保持 2 min；以 8 ℃/min 升至 200 ℃；然后以 20 ℃/min 升至 280 ℃，保持 2 min。载气为氦气，纯度>99.999%，流速 1 mL·min^{-1}，不分流进样。质谱条件：离子源 EI 为 70 eV；EMV 模式为相对值；采集模式为全扫描，质量扫描范围：35.00-550.00 amu；离子源 230 ℃，MS 四级杆 150 ℃，GC-MS 接口温度 280 ℃。

1.6 数据分析

豇豆挥发物成分通过气质联用仪自带谱库（NIST17 和 WILEY7），根据检索匹配度和质谱峰型以及特征离子峰信息的吻合程度进行计算机检索并辅以人工识别确定化合物，按照面积归一化法计算各化学成分的相对含量，定量分析在 Excel（Excel 2016）软件上进行。数据采用平均值±标准误表示。采用 SPSS 22.0（SPSS, Inc., Chicago, IL）软件进行单因素方差分析（One-way ANOVA），不同品种挥发物各组分均采用邓肯氏新复极差法进行多重比较检验其显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同品种豇豆蓟马发生程度调查

如表 1 所示，蓟马危害程度调查表明，4 个豇豆品种共鉴定出蓟马种类 4 种，分别为豆大蓟马、花蓟马、黄胸蓟马和棕榈蓟马。肉麻受蓟马的危害程度最低，每片叶及每朵花的蓟马数量均少于 5 头，大麻受危害程度最高，每片叶及花的蓟马均超过 30 头，而危害长麻的蓟马种类也相对最多。在 4 个品种中以豆大蓟马的为害最为严重，其次为花蓟马。

表 1 不同品种豇豆蓟马发生危害程度

Table 1 Occurrence degree of different cultivars of *Vigna unguiculata*

品种 Cultivar	调查叶片数 Number of investigate leave	发生程度 Occurrence degree	调查花数 Number of investigate flowers	发生程度 Occurrence degree	主要蓟马种类及数量分布（头） Species and quantity distribution of main thrips (ind.)
大麻 Dama	8	+++	5	++++	豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus*（180），花蓟马 *Frankliniella intonsa*（110），黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis*（70）
肉麻 Rouma	8	+	5	++	豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus*（60），花蓟马 *Frankliniella intonsa*（42）
天瑞② Tianrui	8	++	5	+++	豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus*（100），花蓟马 *Frankliniella intonsa*（80）和黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis*（34）
长麻 Changma	8	++	5	+++	豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus*（87），花蓟马 *Frankliniella intonsa*（65），黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis*（35）和棕榈蓟马 *Thrips palmi*（24）

++++：大于等于 30 头 30 or more inds.；+++：大于等于 15 头小于 30 头 15 or more but fewer than 30 inds.；++：大于等于 5 头小于 15 头 5 or more but fewer than 15 inds.；+：小于 5 头 Fewer than 5 inds.

2.2　不同品种豇豆叶片挥发物组分及含量

如表 2 中结果显示，不同品种豇豆叶片中共检测出 23 种挥发物，其中只有 8 种化合物为 4 个品种共有，分别为苯甲醛、2-硝基苯酚、顺-己酸-3-己烯酯、茉莉酮、α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮、6,8-二氯-2-[4-氯苯基]-4-溴乙酰基喹啉和十八醛。

大麻叶片挥发物组分有 14 种，含量最高的化合物为苯甲醛（30.43%），其次为 β-紫罗兰酮（21.78%）和芳樟醇（10.04%），这 3 种挥发物含量均在 10%以上，十六醛（8.79%）和 β-环柠檬醛（6.55%）的含量也都在 5%以上，含量较高的还有 α-紫罗兰酮（4.92%）。

肉麻叶片挥发物组分有 17 种，含量最高的化合物也是苯甲醛（28.27%），其次为 β-紫罗兰酮（23.55%）和芳樟醇（9.04%），与大麻中的含量相当。除了以上 3 种化合物外，β-环柠檬醛（5.95%）和 α-紫罗兰酮（7.54%）含量也在 5%以上。同时，茉莉酮（4.61%）、间甲基苯腈（4.27%）和顺-己酸-3-己烯酯（4.59%）的含量也超过了 4%。

天瑞②叶片挥发物组分有 16 种，其中乙酸叶醇酯的含量最高，达到 81.08%，接下来依次为苯甲醛（5.54%）、β-紫罗兰酮（4.98%）、顺-己酸-3-己烯酯（3.15%）和 β-环柠檬醛（1.28%），其中苯甲醛、β-紫罗兰酮和 β-环柠檬醛含量较大麻和肉麻均大幅下降。

长麻叶片挥发物组分有 13 种，为 4 个品种中释放的挥发物组分数量最少。苯甲醛（30.70%）和 β-紫罗兰酮（24.20）的含量较高，其次为芳樟醇（12.33%）和顺-己酸-3-己烯酯（8.29%），特别是顺-己酸-3-己烯酯的含量远超其它 3 个品种。α-紫罗兰酮和 6,8-二氯-2-[4-氯苯基]-4-溴乙酰基喹啉的含量也超过了 4%。

仅在大麻叶片挥发物中检测到水杨酸甲酯和十六醛，仅在肉麻叶片挥发物中检测到葵醛、邻甲基苯腈和 3-乙烯基-2-(3-苯乙氰)-氮-苯基-[1α,2Z(E),3α]- (9CI)-环戊烷羧酰胺，仅在天瑞②叶片挥发物中检测到乙酸叶醇酯和 2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛，仅在长麻叶片挥发物中检测到顺-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯。苯甲醛和 β-紫罗兰酮在大麻、肉麻和长麻 3 个品种叶片中的含量无显著差异，但均显著高于天瑞②叶片（$P<0.000\,1$）。

2.3　不同品种豇豆花的挥发物组分及含量

如表 3 所示，不同品种豇豆花共检测出 23 种挥发物，其中有 8 种组分为 4 个品种共有，分别为芳樟醇、2-溴十二烷、2,6-二叔丁基苯醌、柏木脑、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮、2,6,10,14-四甲十六烷、棕榈酸甲酯和 1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯。品种大麻花挥发物有 11 种，含量最高的化合物为 1-辛烯-3-醇（64.51%），其他化合物中仅有芳樟醇（9.48%）和 1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯（5.82%）含量超过 5%。

肉麻花挥发物有 10 种，含量较高的化合物有芳樟醇（23.88%）和茉莉酮（21.83%），其余的挥发物中柏木脑（8.14%）、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮（6.41%）、十八醛（10.93%）、棕榈酸甲酯（8.35%）和 1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯（10.04%）的含量均超过 5%，特别是十八醛和 1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯含量都在 10%以上。

品种天瑞②花挥发物有 12 种，芳樟醇（16.90%）含量最高，油醇（12.24%）、植酮（11.74%）、1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯（11.84%）的含量都在 10%以上，柏木脑、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮和 2,6,10,14-四甲十六烷的含量均超过了 5%。

长麻花挥发物数量最多，有 17 种，含量最高的化合物为苯乙酮（24.38%），其它化合物含量均未超过 10%，芳樟醇（9.93%）、3-苯乙醇（8.18%）、肉桂醛（5.87%）、茉莉酮（6.84%）、柏木脑（6.41%）、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）- 丙酮（8.92%）和棕榈酸甲酯（7.69%）的含量均超过了 5%。

仅在大麻花挥发物中检测到 1-辛烯-3-醇，仅在肉麻花挥发物中检测到十八醛，仅在天瑞②花挥发物中检测到油醇、植酮和 7,9-二叔丁基-1-氧杂螺[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮。而仅存在于长麻花的挥发物数量最多，有 8 种，依次为苯乙酮、

苯丙醇、肉桂醛、氨茴酸甲酯、α-柏木烯、2-(十四氧基)乙醇、2,4-二叔丁基苯酚和 1-碘-2-甲基十一烷。柏木脑在肉麻、天瑞②和长麻 3 个品种花中的含量无显著差异（$P>0.05$），但均显著高于长麻花（$P<0.006$）。

2.4 不同品种豇豆叶片及花的挥发物种类的差异

图 1 结果显示，大麻叶片挥发物中脂肪酸衍生物和苯环类化合物含量较高，其次为醛类化合物和萜烯类化合物。肉麻叶片挥发物种类含量与大麻类似，也是脂肪酸衍生物>苯环类化合物>醛类化合物>萜烯类化合物>含 N-和 NS-化合物。而天瑞②叶片挥发物中脂肪酸衍生物（乙酸叶醇酯）含量超过 80%，远高于其他种类化合物。长麻叶片挥发物中，化合物种类含量依次为脂肪酸衍生物>苯环类化合物>萜烯类化合物>醛类化合物>含 N-和 NS-化合物，其中脂肪酸衍生物含量超过 40%。

图 2 结果显示，大麻花挥发物中，脂肪酸衍生物含量最高，接近 80%，其次为萜烯类化合物和苯环类化合物。在肉麻花挥发物中，各种类化合物含量依次为脂肪酸衍生物>萜烯类化合物>苯环类化合物>醛类化合物。天瑞②花挥发物种类含量高低与肉麻类似，脂肪酸衍生物>萜烯类化合物>苯环类化合物。而长麻花挥发物中苯环类化合物含量最高，超过 40%，其它种类化合物含量依次为脂肪酸衍生物、萜烯类化合物、醛类化合物、含 N-和 NS-化合物。

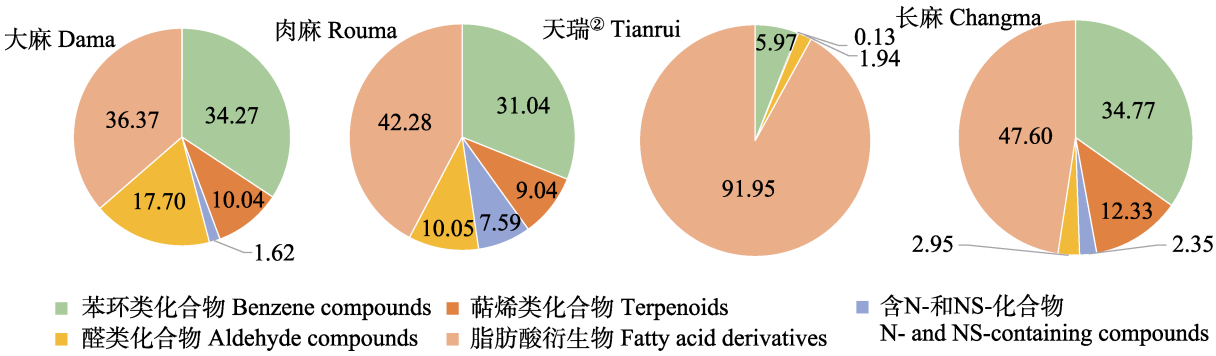

图 1 不同品种豇豆叶片释放挥发物种类含量比较（%）

Fig. 1 Comparison of volatiles released from leave of different cultivates of cowpea (%)

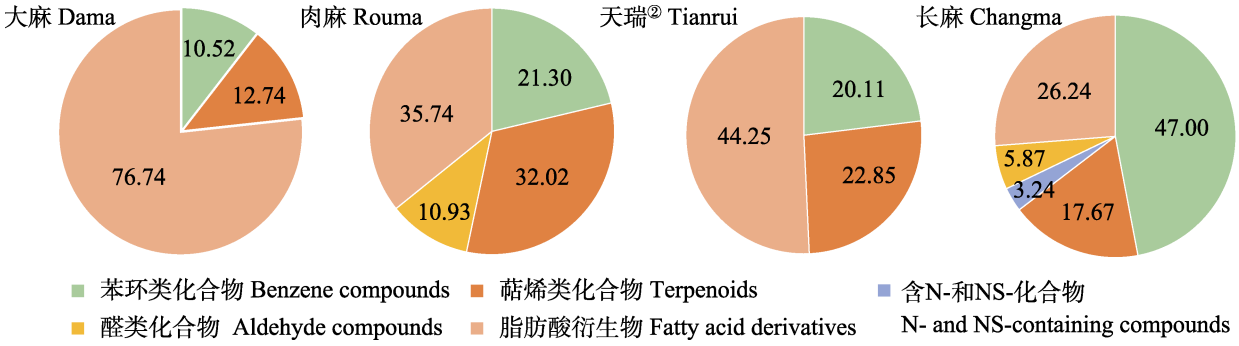

图 2 不同品种豇豆花释放挥发物种类含量比较（%）

Fig. 2 Comparison of volatiles released from flowers of different cultivates of cowpea (%)

3 结论与讨论

本研究结果表明，4 个豇豆品种中肉麻受蓟马的危害程度最低，大麻受危害程度最高，危害长麻的蓟马种类最多，这除了与豇豆品种本身的抗虫性有关外（潘飞等，2021），可能也与不同品种间的挥发物组分含量和种类有关（Nazeer, 2017），如长麻花挥发物种类最多，可能与其遭受危害蓟马种类多有直接关系。虽然 4 个品种豇豆叶片和花均检测到 23 种挥发物，但 4 个品种

表 2　不同品种豇豆叶片释放挥发物的组成和含量

Table 2　Composition and content of volatiles released from leaves of cultivars of *Vigna unguiculata*

序号 Sequence no.	保留时间（min）Retention time (min)	化合物 Compound	CAS 号 CAS no.	挥发物相对含量（%）Relative contents of volatiles (%)			
				大麻 Tianma	肉麻 Rouma	天瑞② Tianrui	长麻 Changma
1	8.00	苯甲醛 Benzaldehyde	100-52-7	30.43±0.64 a	28.27±1.10 a	5.54±0.40 b	30.70±1.59 a
2	8.92	乙酸叶醇酯 *cis*-3-Hexenyl acetate	3681-71-8	-	-	81.08±0.73	-
3	10.83	芳樟醇 Linalool	78-70-6	10.04±1.00 ab	9.04±0.51 b	-	12.33±0.64 a
4	11.60	2-硝基苯酚 2-Nitro phenol	88-75-5	2.03±0.15 b	1.66±0.04 b	0.18±0.02 c	2.81±0.34 a
5	12.79	水杨酸甲酯 2-Hydroxy-methyl ester benzoic acid	119-36-8	1.81±0.20	-	-	-
6	12.91	癸醛 Decanal	112-31-2	-	1.55±0.07	-	-
7	13.32	β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	432-25-7	6.55±0.55 a	5.95±0.09 a	1.28±0.05 b	-
8	13.47	顺-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯 *cis*-3-Hexenyl-2-methylbutyrate	53398-85-9	-	-	-	1.59±0.19
9	14.02	2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛 2,6,6-Trimethyl-1-cyclohexene-1-acetaldehyde	472-66-2	-	-	0.22±0.02	-
10	14.55	乙酸异龙脑酯 Isobornyl acetate	125-12-2	1.17±0.47 ab	-	0.15±0.02 b	1.44±0.35 a
11	14.66	间甲基苯腈 3-Methylbenzonitrile	620-22-4	1.62±0.49 b	4.27±0.07 a	-	2.35±0.21 b
12	14.78	邻甲基苯腈 2-Methylbenzonitrile	529-19-1	-	0.75±0.02	-	-
13	16.05	顺-己酸-3-己烯酯 (*Z*)-Hexanoic acid, 3-hexenyl ester	31501-11-8	2.28±0.49 c	4.59±0.46 b	3.15±0.15 c	8.29±0.26 a
14	16.48	茉莉酮 *cis*-Jasmone	488-10-8	2.93±0.44 b	4.61±0.09 a	0.48±0.05 c	3.09±0.29 b
15	16.96	α-紫罗兰酮 α-Ionone	127-41-3	4.92±0.24 b	7.54±0.90 a	0.96±0.06 c	4.62±0.32 b
16	17.93	β-紫罗兰酮 β-Ionone	79-77-6	21.78±1.96 a	23.55±0.60 a	4.98±0.26 b	24.20±1.43 a
17	18.23	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-bis(1,1-Dimethylethyl) phenol	96-76-4	-	1.11±0.06 a	0.25±0.03 b	1.26±0.17 a
18	22.44	6,8-二氯-2-[4-氯苯基]-4-溴乙酰基喹啉 6,8-Dichloro-2-[4-chlorophenyl]-4-bromoacetylquinoline	1000255-89-2	3.30±0.21 b	1.42±0.07 c	0.98±0.05c	4.38±0.33a
19	22.64	N-(2-三氟甲基苯)-3-吡啶甲酰胺肟 N-(2-trifluoromethylphenyl)-pyridine-3-carboxamide, oxime	288246-53-7	-	0.63±0.10 a	0.13±0.03 b	-
20	22.90	十六醛 Hexadecanal	629-80-1	8.79±0.52	-	-	-
21	23.34	棕榈酸甲酯 Hexadecanoic acid, methyl ester	112-39-0	-	0.56±0.06 a	0.16±0.02 b	-

续表 2 (Table 2 continued)

序号 Sequence no.	保留时间（min） Retention time (min)	化合物 Compound	CAS 号 CAS no.	挥发物相对含量（%）Relative contents of volatiles (%)			
				大麻 Tianma	肉麻 Rouma	天瑞② Tianrui	长麻 Changma
22	23.76	3-乙烯基-2-(3-苯乙氰)-氮-苯基-[1α,2*Z*(*E*),3α]- (9CI)-环戊烷羧酰胺 3-Ethenyl-2-(3-pentenylidene)-N-phenyl-, [1α,2*Z*(*E*),3α]- (9CI)-Cyclopentanecarboxamide	136091-23-1	-	1.93±0.19	-	-
23	24.07	十八醛 Octadecanal	638-66-4	2.36±0.19 b	2.55±0.07 ab	0.44±0.07 c	2.95±0.27 a

- 表示未检出。表中数据为平均值±标准误，同一行不同小写字母表示不同豇豆品种间在 0.05 水平上差异显著（邓肯氏新复极差法）。下表同。

- indicates not detected. Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate the significant difference among different cultivars of cowpea at the 0.05 level (Duncan's multiple range test). The same below.

表 3 不同品种豇豆花释放挥发物的组成和含量

Table 3 Composition and content of volatiles released from flowers of cultivars of *Vigna unguiculata*

序号 Sequence no.	保留时间（min） Retention time (min)	化合物 Compound	CAS 号 CAS no.r	挥发物相对含量（%）Relative contents of volatiles (%)			
				大麻 Tianma	肉麻 Rouma	天瑞② Tianrui	长麻 Changma
1	8.32	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	3391-86-4	64.51±1.99	-	-	-
2	10.19	苯乙酮 Acetophenone	98-86-2	-	-	-	24.38±1.90
3	10.80	芳樟醇 Linalool	78-70-6	9.48±0.53 c	23.88±1.79 a	16.90±0.61 b	9.93±0.95 c
4	13.47	苯丙醇 Benzenepropanol	122-97-4	-	-	-	8.18±0.68
5	14.21	肉桂醛 3-Phenyl-2-propenal	104-55-2	-	-	-	5.87±0.26
6	15.48	氨茴酸甲酯 2-Amino-methyl ester benzoic acid	134-20-3	-	-	-	3.24±0.32
7	15.83	2-溴十二烷 2-Bromo dodecane	13187-99-0	0.97±0.05 d	2.77±0.10 b	2.04±0.28 c	3.76±0.18 a
8	16.46	茉莉酮 *cis*-Jasmone	488-10-8	2.81±0.16 b	21.83±2.34 a	-	6.84±0.78 b
9	16.83	α-柏木烯 α-Cedrene	469-61-4	-	-	-	1.33±0.16
10	17.17	2-(十四氧基)乙醇 2-(Tetradecyloxy)- ethanol	2136-70-1	-	-	-	1.36±0.02
11	17.60	2,6-二叔丁基苯醌 2,6-bis(1,1-Dimethylethyl)-2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione	719-22-2	0.99±0.05 d	4.85±0.19 a	2.96±0.22 b	1.66±0.11 c
12	18.19	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-bis(1,1-Dimethylethyl) phenol	96-76-4	-	-	-	2.00±0.10

续表 3 (Table 3 continued)

序号 Sequence no.	保留时间（min）Retention time (min)	化合物 Compound	CAS 号 CAS no.	挥发物相对含量（%）Relative contents of volatiles (%)			
				大麻 Tianma	肉麻 Rouma	天瑞② Tianrui	长麻 Changma
13	18.60	1-碘-2-甲基十一烷 1-Iodo-2-methylundecane	73105-67-6	-	-	-	1.81±0.15
14	19.20	2-二甲基十六烷 2-Methyl-hexadecane	1560-92-5	2.18±0.11 b	-	3.30±0.17 a	-
15	19.74	油醇 Oleyl alcohol	143-28-2	-	-	12.24±6.95	-
16	19.90	柏木脑 Cedrol	77-53-2	3.26±0.19 b	8.14±1.27 a	5.95±0.30 a	6.41±0.21 a
17	20.19	1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮 1-(3,5-di-Tert-butyl-4-hydroxy-phenyl)-propan-1-one	14035-34-8	3.72±0.20 c	6.41±1.02 b	5.31±0.22 bc	8.92±0.41 a
18	21.18	十八醛 Octadecanal	638-66-4	-	10.93±1.21	-	-
19	21.66	2,6,10,14-四甲十六烷 2,6,10,14-Tetramethylhexdecane	502-69-2	2.75±0.16 c	2.80±0.99 c	5.77±0.24 a	4.78±0.29 b
20	22.63	植酮 Phytone	112-39-0	-	-	11.74±0.72	-
21	23.33	棕榈酸甲酯 Hexadecanoic acid, methyl ester	82304-66-3	3.52±0.20 b	8.35±0.90 a	4.90±0.47 b	7.69±0.65 a
22	23.40	7,9-二叔丁基-1-氧杂螺[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮 7,9-di-Tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	17851-53-5	-	-	4.24±0.10	-
23	23.70	1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	3391-86-4	5.82±0.34 b	10.04±1.11 a	11.84±1.05 a	1.86±0.10 c

叶片共有挥发物和花共有挥发物有显著差异。4 个品种叶片共有挥发物为苯甲醛、2-硝基苯酚、顺-己酸-3-己烯酯、茉莉酮、α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮、6,8-二氯-2-[4-氯苯基]-4-溴乙酰基喹啉和十八醛，各品种花共有挥发物则为芳樟醇、2-溴十二烷、2,6-二叔丁基苯醌、柏木脑、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮、2,6,10,14-四甲十六烷、棕榈酸甲酯和 1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯，但这些化合物在不同品种间的含量差异较大。上述实验结果表明，豇豆不同器官自身挥发物组分差异巨大，这也会导致害虫对不同植物器官的取食行为有差异，而且这种偏好行为也会受到其自身含氮量的显著影响（Nazeer, 2017）。

4 个品种叶片挥发物中苯甲醛、β-紫罗兰酮、芳樟醇、十六醛、β-环柠檬醛、顺-己酸-3-己烯酯和 α-紫罗兰酮的含量均在各自品种挥发物占有较高的比例。4 个品种花挥发物中 1-辛烯-3-醇，芳樟醇、茉莉酮、苯乙酮、十八醛、棕榈酸甲酯、1,2-苯二甲酸 2-甲基丙基丁酯、3-苯乙醇、肉桂醛和柏木脑在各自品种中的含量较高。其中，水杨酸甲酯和十六醛仅在大麻叶片挥发物中检测到，葵醛仅在肉麻叶片挥发物中检测到，乙酸叶醇酯和2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛仅在天瑞②叶片挥发物中检测到，顺-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯仅在长麻叶片挥发物中检测到。对于 4 个品种的花而言，1-辛烯-3-醇仅在大麻花挥发物中检测到，十八醛仅在肉麻花的挥发物中检测到，油醇和植酮仅在天瑞②花挥发物中检测到，而仅存在于长麻花的挥发物数量最多，有 8 种。大麻遭受蓟马危害最为严重，其叶片挥发物水杨酸甲酯和十六醛，以及花挥发物 1-辛烯-3-醇可能发挥了重要作用。长麻遭受危害的蓟马种类最多，其叶片挥发物顺-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯，以及花挥发物苯丙醇、肉桂醛、氨茴酸甲酯、α-柏木烯、2-(十四氧基)乙醇、2,4-二叔丁基苯酚等物质可能参与了重要角色。因此，可以进一步从上述这些化合物中筛选出具有诱集或趋避作用的活性物质制作引诱剂或趋避剂。

大麻挥发物中脂肪酸衍生物和苯环类化合物含量较高，而大麻受豆大蓟马危害最为严重，因此，脂肪酸衍生物和苯环类化合物在诱集蓟马取食危害大麻的过程中可能发挥了重要功能，而这些化合物中水杨酸甲酯、苯甲醛、顺-己酸-3-己烯酯、α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮、茉莉酮、棕榈酸甲酯、1-辛烯-3-醇、邻苯二甲酸丁基酯-2-乙基己基酯和 1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮占据绝对含量。长麻挥发物中也是苯环类化合物和脂肪酸衍生物含量较高，而危害长麻的蓟马种类最多，这些化合物中苯甲醛、顺-己酸-3-己烯酯、α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮、茉莉酮、棕榈酸甲酯、苯乙酮、苯丙醇、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮占据绝对含量。肉麻中也是脂肪酸衍生物、苯环类化合物和萜烯类化合物含量较高，这些化合物中苯甲醛、2,4-二叔丁基苯酚、顺-己酸-3-己烯酯、棕榈酸甲酯、α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮、茉莉酮、芳樟醇、柏木脑、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮、1,2-苯二甲酸-2-甲基丙基丁酯占据绝对含量。在天瑞②叶片中，脂肪酸衍生物占据绝对含量，特别是乙酸叶醇酯、顺-己酸-3-己烯酯和 β-紫罗兰酮。在天瑞②花中，脂肪酸衍生物、苯环类化合物和萜烯类化合物含量较高，在这些化合物中邻苯二甲酸丁基酯-2-乙基己基酯、1-（3,5-二叔丁基-4-羟苯基）-丙酮、芳樟醇、柏木脑、油醇、2,6,10,14-四甲十六烷、植酮、棕榈酸甲酯占据绝对含量。总体来说，不同品种中以脂肪酸衍生物、苯环类化合物和萜烯类化合物为主，大麻与长麻挥发物相比，差异物质分别为水杨酸甲酯、1-辛烯-3-醇、邻苯二甲酸丁基酯-2-乙基己基酯、苯乙酮和 3-苯乙醇。肉麻与长麻和大麻挥发物最大区别在于萜烯类物质的含量较高，如芳樟醇和柏木脑。天瑞与长麻和肉麻挥发物除了芳樟醇和柏木脑这 2 种萜烯类化合物外，脂肪酸衍生物中出现了乙酸叶醇酯、油醇、2,6,10,14-四甲十六烷和植酮等含量较高的化合物。这些差异物质可能与不同品种受蓟马危害程度和种类有一定的相关性，这也需要后续大量的行为学试验进行验证。

大量研究表明，相同挥发物对不同的蓟马作

用效果不同。如水杨酸甲酯对烟蓟马 *Thrips tabaci* 雌成虫的驱避效果较为显著（李彩虹等，2022），但对新西兰花蓟马 *Thrips obscuratus* 具有诱集活性（李晓维等，2022）。芳樟醇对西花蓟马 *F. occidentalis* 具有一定的趋避活性，但对豆大蓟马有引诱活性，马鞭草烯酮对花蓟马的趋避作用明显，但对西花蓟马和棕榈蓟马具有诱集活性（李晓维等，2022）。桉树脑对西花蓟马和棕榈蓟马具有趋避活性，但对西花蓟马有引诱活性（李晓维等，2022）。苯甲醛对豆大蓟马具有趋避活性（李钊阳等，2021），但对西花蓟马、花蓟马、新西兰花蓟马和烟蓟马具有引诱活性（Koschier *et al.*，2000）。同时，相同的植物挥发物对不同的蓟马也有着相似的引诱力。如烟酸乙酯对花蓟马和豆大蓟马具有显著的引诱作用（韩云等，2015；唐良德等，2015）。马鞭草烯酮对西花蓟马和棕榈蓟马具有较高的诱集活性（Abdullah *et al.*，2015）。香叶醇则对黄胸蓟马（Kirk，1985）和烟蓟马具有较高的引诱活性（李彩虹等，2022）。豆大蓟马对芳樟醇、邻茴香醛、橙花醇、β-石竹烯的趋向行为较为明显（唐良德等，2015；李钊阳等，2021），而花蓟马则对水杨醛、邻茴香醛、芳樟醇等挥发物的偏好性更强，西花蓟马对植物源化合物丁香酚、香叶醇、橙花醇（Koschier *et al.*，2000），邻茴香醛（Koschier，2008），壬醛（Avellaneda *et al.*，2021），1-辛烯-3-醇（张治科等，2023）等均具有显著的趋向性。因此，通过对 4 个豇豆品种挥发物相对含量及组成比例的分析，重点关注比例高、活性强、共有及独有的化合物以及对受蓟马危害严重的豇豆品种挥发物中选取代表性的物质开展行为试验验证，然后选取 2-3 种化合物进行复合物配制，这将有助于提升引诱剂或趋避剂单体的防治效果（Tian *et al.*，2022）。

如何在田间管理中运用植物源挥发物对害虫进行“推-拉”调控是发挥生态防控效果的关键（da Silva *et al.*，2022）。诱捕器作为害虫生态防治的重要组成部分，可以结合驱避剂和引诱剂的推拉模式，进一步发挥害虫种群管理的功能（Han *et al.*，2020）。本研究通过初步分析不同豇豆品种挥发物种类和组分差异，并结合已有文献报道的具有行为活性的化合物，推测潜在的蓟马行为调控剂，为后续开展活性气味化合物的功能鉴定提供了重要材料，也为蓟马的生态调控策略提供了重要科学依据。

参考文献 (References)

Abdullah ZS, Greenfield BPJ, Ficken KJ, Taylor JW, Wood M, Butt TM, 2015. A new attractant for monitoring western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in protected crops. *SpringerPlus*, 4(1): 89.

Avellaneda J, Díaz M, Coy-Barrera E, Rodríguez D, Osorio C, 2021. Rose volatile compounds allow the design of new control strategies for the western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*). *Journal of Pest Science*, 94(1): 129–142.

Chen MC, Deng YJ, Chen Z, Zhu YJ, Li CN, Wang JP, Liu B, 2023. Morphological characteristics and volatile component diversity of the *Jasminum* germplasm resources. *Acta Horticulturae Sinica*, 50(11): 2435–2452. [陈梅春, 邓英杰, 陈峥, 朱育菁, 李春牛, 王阶平, 刘波, 2023. 素馨属种质资源形态特征与挥发物多样性研究. 园艺学报, 50(11): 2435–2452.]

da Silva VF, dos Santos A, Silveira LCP, Tomazella VB, Ferraz RM, 2022. Push-pull cropping system reduces pests and promotes the abundance and richness of natural enemies in *Brassica* vegetable crops. *Biological Control*, 166: 104832.

Guo X, Li DX, Huang DM, Shi DN, Tian M, 2021. Repellent effect of 16 kinds of essential oils against cowpea thrips. *China Cucurbits and Vegetables*, 34(2): 68–70. [郭霞, 李敦禧, 黄丹懋, 史丹妮, 田蜜, 2021. 16 种精油对豇豆蓟马的趋避作用. 中国瓜菜, 34(2): 68–70.]

Hamilton JGC, Hall DR, Kirk WDJ, 2005. Identification of a male-produced aggregation pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 31(6): 1369–1379.

Han SJ, Wang MX, Wang YS, Wang YG, Cui L, Han BY, 2020. Exploiting push-pull strategy to combat the tea green leafhopper based on volatiles of *Lavandula angustifolia* and *Flemingia macrophylla*. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(1): 193–203.

Han Y, Liu K, Wu JH, Tang LD, 2015. The behavioral response of

Frankliniella intonsa (Trybom) to eleven different chemicals. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 36(9): 1646–1649. [韩云, 刘奎, 吴建辉, 唐良德, 2015. 花蓟马对 11 种挥发性化合物的室内趋性. 热带作物学报, 36(9): 1646–1649.]

Jia ZF, Qiu YX, Zhao YC, Yan XY, Xue M, Zhao HP, 2022. Advances of research on repellency and attraction of plant volatiles to insects. *Shandong Agricultural Sciences*, 54(7): 164–172. [贾志飞, 仇延鑫, 赵永超, 闫雪艳, 薛明, 赵海朋, 2022. 植物挥发物对昆虫的驱避和引诱作用研究进展. 山东农业科学, 54(7): 164–172.]

Kirk WDJ, 1985. Effect of some floral scents on host finding by thrips (Insecta: Thysanoptera). *Journal of Chemical Ecology*, 11(1): 35–43.

Koschier EH, 2008. Essential oil compounds for thrips control-a review. *Natural Product Communications*, 3(7): 1171–1182.

Koschier EH, De Kogel WJ, Visser JH, 2000. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 26(12): 2643–2655.

Li CH, Zhang T, Lu YH, 2022. Behavioral responses of adult female *Thrips tabaci* to different plant volatiles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(1): 40–49. [李彩虹, 张涛, 陆宴辉, 2022. 烟蓟马成虫对不同植物挥发物的行为选择. 应用昆虫学报, 59(1): 40–49.]

Li TY, Li GH, Chen HC, Zhang Y, Guo JX, Lu ML, Tang WW, Liao LX, Shen Z, 2017. Nutritional quality analysis of different varieties of cowpea. *Guangdong Agricuhural Sciences*, 44(4): 32–37. [黎庭耀, 李桂花, 陈汉才, 张艳, 郭巨先, 陆美莲, 唐文武, 廖丽霞, 沈智, 2017. 不同豇豆品种资源的营养品质分析. 广东农业科学, 44(4): 32–37.]

Li XW, Cheng JH, Han HB, Lü YB, 2022. Behavioral manipulation of the plant secondary metabolites to *Thrips* and their application in *Thrips* management. *Acta Entomologica Sinica*, 65(9): 1222–1246. [李晓维, 程江辉, 韩海斌, 吕要斌, 2022. 植物次生代谢物质对蓟马的行为调控作用及其在蓟马防控中的应用. 昆虫学报, 65(9): 1222–1246.]

Li ZY, Han Y, Tang LD, Wu JH, Ali S, 2021. Behavioral responses of *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripoidae) to host plant and volatile compounds. *Journal of Environmental Entomology*, 43(6): 1566–1580. [李钊阳, 韩云, 唐良德, 吴建辉, Shaukat Ali, 2021. 普通大蓟马对寄主植物及其挥发物的行为反应. 环境昆虫学报，43(6): 1566–1580.]

Lü JY, Meng ZJ, 2022. The olfactory recognition mechanism of herbivore insects on plant volatiles: A review. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 38(15): 122–129. [吕金言, 孟昭军, 2022. 植食性昆虫嗅觉识别植物挥发物机制的研究进展. 中国农学通报, 38(15): 122–129.]

Mirab-Balou M, Chen XX, 2010. A new method for preparing and mounting thrips for miscroscopic examination. *Journal of Environmental Entomology*, 32(1): 115–121. [Mirab-Balou Majid, 陈学新, 2010. 一种用于显微观察的蓟马标本的制片新方法. 环境昆虫学报, 32(1): 115–121.]

Nazeer A, 2017. Resistance assessment of cabbage cultivars and herbivores induced volatiles released from cabbage cultivars affects host selection behaviour of green peach aphid. Doctor dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [Ahmed Nazeer, 2017. 不同品种甘蓝对桃蚜的抗性及其诱导性挥发物对桃蚜寄主选择行为的影响. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]

Nishida R, 2014. Chemical ecology of insect-plant interactions: Ecological significance of plant secondary metabolites. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 78(1): 1–13.

Pan F, Feng Q, Feng YJ, Li DM, Wang SY, 2021. Comparison and screening of resistance of different cowpea cultivars to *Liriomyza*. *Vegetables*, 2021(3): 43–47. [潘飞, 冯青, 冯玉洁, 李道敏, 王三勇, 2021. 不同豇豆品种对斑潜蝇的抗虫性比较和筛选. 蔬菜, 2021(3): 3–47.]

Tan YA，Xiao LB，Sun Y，Ji YH，Bai LX, 2012. Boitype identification and damage analysis of *Bemisia tabaci* in Jiangsu area. *Journal of Environmental Entomology*, 34(3): 277–282. [谭永安, 肖留斌, 孙洋, 季英华, 柏立新, 2012. 江苏烟粉虱生物型鉴定与危害程度分析. 环境昆虫学报, 34(3): 277–282.]

Tang LD, Han Y, Wu JH, Fu BL, Zhang RM, Qiu HY, Liu K, 2015. The effect of host plants and chemicals on behavioral response of *Megalurothrips usitatus* (Bagnall). *Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 1024–1029. [唐良德, 韩云, 吴建辉, 付步礼, 张瑞敏, 邱海燕, 刘奎, 2015. 豆大蓟马对寄主植物及挥发性化合物的趋性. 环境昆虫学报, 37(5): 1024–1029.]

Tian HJ, Chen YX, Chen Y, Chen XQ, Lin S, Zhang J, Yang G, Wei H, 2022. A mixture of p-anisaldehyde and ethyl nicotinate elicits positive antennal and behavioral responses in *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 170(7): 603–611.

Wu SY, Xie W, Liu WC, Lei ZR, Wang DJ, Ren XY, Zhang QK, Lü BQ, He Z, Tang LD, 2024. Research progress about thrips on Chinese cowpea and integrated control measures. *Plant Protection*, 50(2): 10–18. [吴圣勇, 谢文, 刘万才, 雷仲仁, 王登杰, 任小云, 张起恺, 吕宝乾, 贺振, 唐良德, 2024. 我国豇豆蓟马研究进展及综合防控措施. 植物保护, 50(2): 10–18.]

Zhang HR, Shji O, Amonnd L, 2006. Collecting and slide preparation methods of thrips. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(5): 725–728. [张宏瑞, Shji Okajima, Amound Laurence, 2006. 蓟马采集和玻片标本的制作. 昆虫知识, 43(5): 725–728.]

Zhang YJ, Yang DL, Wang H, Zhao JN, Zhang HF, He BC, Liu YX, Xiang ZY, Wang J, 2024. Research advances on ecological pest control of agricultural crops based on farmland habitat management. *Journal of Agricultural Resources & Environment*, 41(5): 997–1003. [张艳军, 杨殿林, 王慧, 赵建宁, 张海芳, 何北辰, 刘雨欣, 向子仪, 王杰, 2024. 基于农田生境管理的农作物害虫生态防控研究进展. 农业资源与环境学报, 41(5): 997–1003.]

Zhang ZK, Hu H, Shang XX, 2023. Effect of volatiles from *Phaseolus vulgaris* leaves on the orientation behavior of *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Shandong Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 54(2): 224–230. [张治科, 虎花, 尚小霞, 2023. 四季豆叶挥发性化学物质对西花蓟马趋向行为的影响. 山东农业大学(自然科学版), 54(2): 224–230.]

Zheng X, Li XY, Chen XY, Chen YD, Wu K, Liu CM, Xiao JH, Li HG, Zhang J, Dong JH, 2015. Correlation between tomato spotted wilting virus and the prevalence of thrips. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(5): 118–121. [郑雪, 李兴勇, 陈晓燕, 陈永对, 吴阔, 刘春明, 肖俊华, 李宏光, 张洁, 董家红, 2015. 番茄斑萎病毒与传毒蓟马发生流行的相关性. 江苏农业科学, 43(5): 118–121.]