



# 五种杀虫剂对苜蓿种子田中主要害虫和传粉昆虫的影响

杨轩宇<sup>1</sup> 朱猛蒙<sup>2\*</sup> 史娟<sup>1\*</sup> 张蓉<sup>2</sup> 赵紫华<sup>3</sup> 张建新<sup>4</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 宁夏农林科学院植物保护研究所, 银川 750002; 3. 中国农业大学植物保护学院植物生物安全系, 北京 100193; 4. 宁夏平罗县草原管理站, 石嘴山 753400)

**摘要:** 为筛选高效、低毒的杀虫剂, 测定 1.5% 除虫菊素、0.3% 印楝素、4% 阿维·啶虫脒、2.5% 高效氯氟氰菊酯和 70% 吡虫啉 5 种杀虫剂对苜蓿种子田主要害虫牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* 和豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 的室内毒力和田间防效, 并分析这 5 种药剂对主要传粉昆虫数量及多样性指数的影响。结果显示, 0.3% 印楝素对牛角花齿蓟马和豌豆蚜的毒力相对较高,  $LC_{50}$  分别为 1.093 mg/L 和 2.864 mg/L。70% 吡虫啉以及 4% 阿维·啶虫脒对牛角花齿蓟马和豌豆蚜均有较高的防效, 最高防效均达到 85.00% 以上, 但这 2 种药剂对传粉昆虫威胁较大, 而 0.3% 印楝素则对传粉昆虫威胁较小。推荐花期苜蓿种子田使用 0.3% 印楝素 1 000 倍稀释液防控害虫, 而非开花期可交替使用 70% 吡虫啉 1 000 倍稀释液和 4% 阿维·啶虫脒 1 000 倍稀释液防控害虫。

**关键词:** 杀虫剂; 室内毒力; 防效; 豌豆蚜; 牛角花齿蓟马; 传粉昆虫

## Effects of five insecticides on main pests and pollinators in alfalfa seed fields

Yang Xuanyu<sup>1</sup> Zhu Mengmeng<sup>2\*</sup> Shi Juan<sup>1\*</sup> Zhang Rong<sup>2</sup> Zhao Zihua<sup>3</sup> Zhang Jianxin<sup>4</sup>

(1. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia Hui Autonomous Region, China; 2. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agricultural Sciences, Yinchuan 750002, Ningxia Hui Autonomous Region, China; 3. Department of Plant Biosafety, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 4. Grassland Management Station of Pingluo County, Shizuishan 753400, Ningxia Hui Autonomous Region, China)

**Abstract:** To identify pesticides with higher effectiveness and lower toxicity, the indoor virulence and field efficacy of five pesticides 1.5% pyrethrin, 0.3% azadirachtin, 4% abamectin·acetamiprid, 2.5% cyhalothrin, and 70% imidacloprid were assessed on the major pests of alfalfa seed fields, specifically *Odontothrips loti* and pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. The effects of these five insecticides on the abundance and diversity indices of major pollinators were also analyzed. The results showed that the toxicity of 0.3% azadirachtin was relatively high for *O. loti* and *A. pisum* with  $LC_{50}$  values of 1.093 mg/L and 2.864 mg/L, respectively. Both 70% imidacloprid and 4% abamectin·acetamiprid showed high efficacy against both *O. loti* and *A. pisum*, with the highest efficacy exceeding 85.00%. However these two pesticides posed a greater threat to pollinators, while 0.3% azadirachtin was less threatening to them. It was recommended to use 0.3% azadirachtin (diluted 1 000 times) for pest control in alfalfa during the flowering stage. Meanwhile, 70% imidacloprid (diluted 1 000 times) and 4% abamectin·acetamiprid (diluted 1 000 times) can be used alternatively during the non-flowering stage for pest control.

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发项目(2022BBF02028)

\* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: mn1979108@163.com, shi\_j@nxu.edu.cn

收稿日期: 2023-09-07

**Key words:** insecticide; indoor virulence; efficacy; *Acyrtosiphon pisum*; *Odontothrips loti*; pollinator

苜蓿是世界上最重要的豆科牧草之一,因其适应性广,产草量高,富含蛋白质、维生素和矿物质等营养物质被誉为“牧草之王”(耿华珠,1995)。苜蓿种子是生产绿色饲料的基础,生产过程中发生的虫害会对种子产量和品质产生很大的影响,因此需要对虫害进行防治。但与苜蓿草田相比,苜蓿种子田具有特殊性,采用农药防治时除了考虑对虫害的防治效果,还需要考虑对传粉昆虫的影响(张铁军等,2009)。我国已报道的苜蓿害虫共有297种(张奔等,2016),主要为蚜虫和蓟马(陈婧等,2022)。蚜虫群集于苜蓿茎叶上以刺吸式口器吸取苜蓿汁液,导致苜蓿叶卷缩,花蕾脱落,进而影响苜蓿的生长发育,其分泌的蜜露也可引起烟煤病(He & Zhang, 2006)。在苜蓿苗期及分枝期,蓟马以其锉吸式口器锉破植物幼嫩部位表皮,用下颚针将植物流出的汁液吸入体内,致使植株出现卷曲皱缩、矮小和叶片变黄等症状,严重时整株枯死(陈婧等,2022)。目前,我国对苜蓿种子田的害虫防治多以化学药剂为主,常用的杀虫剂包括有机磷类、有机氯类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类及多杀菌素等(Mouden et al., 2017)。虽然化学药剂有较好的防效,但大量和长期使用化学药剂一方面易导致苜蓿害虫产生抗药性,另一方面也不可避免杀死天敌昆虫及传粉昆虫等(黄庆超等,2021;武文卿等,2021)。因此在农业生产上急需筛选一种高效、低毒且安全的杀虫剂,该杀虫剂既能防治蓟马等害虫,又能最大程度降低其对传粉昆虫的影响(Gao et al., 2012)。

目前,用于防控苜蓿上主要害虫的药剂很多,如李楠等(2022)测定了70%吡虫啉、5%啶虫脒和25 g/L溴氰菊酯等药剂处理后牛角花齿蓟马*Odontothrips loti*、草木樨近绢蓟马*Sericothrips melilotus*、丽花蓟马*Frankliniella intonsa*和西花蓟马*F. occidentalis*体内各种解毒代谢酶活性,发现苜蓿上蓟马已经对新烟碱类、拟除虫菊酯类和苯甲酰胺类杀虫剂产生了中等水平抗性,推荐使用乙基多杀菌素、多杀菌素、螺虫乙酯和虫螨腈对其进行防控;樊锐等(2023)比较了2种CO<sub>2</sub>体积分数下9种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力差异,发现9种杀虫剂对2种蓟马的毒力大小均为氟虫腈>辛硫磷>阿维菌素>噻虫啉>丁硫克百威>高效氯氟氰菊酯>联苯菊酯>溴氰菊酯>氯虫苯甲酰胺,且CO<sub>2</sub>浓度升高可提高花蓟马和西花蓟马对9种杀虫剂的敏感性,花蓟马敏

感性强于西花蓟马;刘慧等(2022)测定了7种生物源杀虫剂和1种昆虫生长调节剂对苜蓿叶象甲*Hypera postica*的室内毒力,结果显示苦参碱对苜蓿叶象甲幼虫的毒力最高,多杀菌素、印楝素和茶皂素次之,除虫菊素对苜蓿叶象甲幼虫的毒力最低,苏云金芽胞杆菌*Bacillus thuringiensis* G033A和昆虫生长调节剂抑食肼对苜蓿叶象甲幼虫的毒力均不理想;左太强等(2017)采用LC<sub>50</sub>剂量的啶虫脒、多杀菌素、高效氯氟氰菊酯和灭多威处理西花蓟马若虫和成虫,结果发现LC<sub>50</sub>剂量灭多威处理后的幼虫或成虫再经高温热激处理后的存活率最低。不同化学药剂对苜蓿上传粉昆虫的影响也不同,如2017年美国环保署评估了噻虫胺、噻虫啉和呋虫胺3种新烟碱类杀虫剂对传粉昆虫的影响,结果显示在喷洒过程中这3种杀虫剂对传粉昆虫的暴露水平都很低,达不到具有风险的浓度水平,但是可能农药残留对直接接触的蜜蜂有影响;武文卿等(2021)研究显示喷施阿维菌素5 d内西方蜜蜂*Apis mellifera*数量会减少,该药剂会导致蜜蜂急性死亡,随着剂量增加西方蜜蜂的死亡数量也增加;王烁等(2020)分别采用饲喂法和接触法测定了噻虫啉、噻虫胺、啶虫脒、吡虫啉、烯啶虫胺、呋虫胺、噻虫啉和氟吡呋喃酮8种新烟碱类杀虫剂对地熊蜂*Bombus terrestris*成年工蜂的急性接触毒性,发现噻虫啉、噻虫胺、吡虫啉、烯啶虫胺、呋虫胺这5种杀虫剂对传粉昆虫地熊蜂成年工蜂的毒性较高。不同杀虫剂的作用机理不同,防效差异也很大,因此需要筛选对苜蓿上主要害虫蚜虫和蓟马均有效又能保护传粉昆虫的杀虫剂。

为筛选既能控制苜蓿种子田主要害虫,又能保护天敌和传粉昆虫的杀虫剂,本研究选择生产中5种常用药剂新烟碱类药剂4%阿维·啶虫脒、70%吡虫啉、生物类药剂1.5%除虫菊素、0.3%印楝素和菊酯类药剂2.5%高效氯氟氰菊酯,测定这5种杀虫剂对苜蓿种子田主要害虫牛角花齿蓟马和豌豆蚜的室内毒力和田间防效,并分析这5种药剂对主要传粉昆虫数量及多样性指数的影响,以期为提高苜蓿种子产量提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试昆虫和植物:2022年于宁夏回族自治区(简称宁夏)石嘴山市平罗县苜蓿种子田采集生长发

育基本一致的牛角花齿蓟马和豌豆蚜成虫,于温度(25±1)℃、相对湿度(65±5)%、光周期16 L:8 D的培养箱中饲养,用野外采集的新鲜中苜4号苜蓿叶进行饲喂,饲养过程中不接触任何药剂,选择成虫供试。中苜4号种子,由宁夏平罗县千叶青农业科技发展有限公司提供,于2020年春季播种,宽行行距为100 cm,窄行行距为50 cm,株距30 cm,待苜蓿处于盛花期(7月22日)时取苜蓿叶供试。

杀虫剂及仪器:1.5%除虫菊素(pyrethrin),云南南宝生物科技有限责任公司;0.3%印楝素(azadirachtin),成都绿金高新技术股份有限公司;4%阿维·啉虫脒(abamectin·acetamiprid)、2.5%高效氯氟氰菊酯(cyhalothrin),河北中保绿农作物科技有限公司;70%吡虫啉(imidacloprid),上海沪联生物药业(夏邑)股份有限公司。SRX型生化培养箱,宁波江南仪器厂;WS-16型背负式喷雾器,山东卫士植保机械有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 5种杀虫剂对主要害虫的室内毒力测定

2022年6月17日采用浸叶法(吴益东等,1996)测定1.5%除虫菊素、0.3%印楝素、4%阿维·啉虫脒、2.5%高效氯氟氰菊酯和70%吡虫啉5种供试杀虫剂对苜蓿种子田中主要害虫牛角花齿蓟马和豌豆蚜的室内毒力。用无菌水将每种杀虫剂分别稀释至1 000倍、2 000倍、4 000倍和6 000倍,以无菌水为对照,共21个处理,每个处理重复3次。每种药剂每个浓度各取25 mL,将采集的盛花期新鲜苜蓿叶浸泡5 s,每个重复5片叶片,取出置于滤纸上晾干后放入培养皿中,挑取大小一致活泼的牛角花齿蓟马成虫20头和豌豆蚜成虫10头分别放在苜蓿叶上,将培养皿置于温度(25±1)℃、相对湿度(65±5)%、光周期16 L:8 D的培养箱中培养24 h,用挑针轻触虫体不动者视为死亡,记录死亡数量,通过SPSS 24.0软件拟合毒力回归方程,根据毒力回归方程计算各杀虫剂对2种害虫的半致死浓度 $LC_{50}$ 。

### 1.2.2 5种杀虫剂的田间药效测定

于2022年7月22日在宁夏石嘴山市平罗县高庄乡东风村苜蓿种子田测定1.5%除虫菊素、0.3%印楝素、4%阿维·啉虫脒、2.5%高效氯氟氰菊酯和70%吡虫啉这5种杀虫剂的田间药效。采用二次稀释法用蒸馏水将5种杀虫剂均稀释至1 000倍,对各小区进行喷雾处理,以清水处理为对照。每个处理4个小区,每个小区长6 m,宽6 m,小区间留2 m保护行,小区随机排列。每个小区种植中苜4号,宽

行行距100 cm,窄行行距50 cm,株距30 cm,田间常规管理,每小区施药量为10 L。施药前1 d和施药后1、3、5、7和14 d调查小区内牛角花齿蓟马、豌豆蚜和主要传粉昆虫的数量。每个小区随机选取5个样点,每个样点随机选择100株苜蓿进行调查,采用拍打法调查苜蓿上豌豆蚜和牛角花齿蓟马的数量并记录,计算虫口减退率和防效,虫口减退率=(药前虫口基数-药后活虫数)/药前虫口基数×100%,防效=(处理组虫口减退率-对照组虫口减退率)/(100-对照组虫口减退率)×100%;同时采用网扫法采集粉蝶科、中华蜜蜂*Apis cerana*和苜蓿切叶蜂*Megachile rotundata*等主要传粉昆虫,每个样点10复网,将其带回实验室进行鉴定,并统计数量。

### 1.2.3 5种杀虫剂对传粉昆虫群落多样性的影响

采用物种个体数、物种数、Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀性指数和Simpson集中性指数对传粉昆虫进行群落多样性分析。Margalef丰富度指数 $= (S-1)/\ln N$ , Shannon-Wiener多样性指数 $= -\sum (P_i \ln P_i)$ , Pielou均匀性指数 $= -\sum (P_i \ln P_i) / \ln S$ , Simpson集中性指数 $= \sum P_i^2$ ,式中, $S$ 为物种数; $N_i$ 为第*i*个物种个体数; $N$ 为群落全部物种总个体数; $P_i$ 为第*i*个物种个体数 $N_i$ 占群落全部物种的总个体数 $N$ 的比例。均匀性指数反应个体在群落中的分布情况,随总体数量的变化而变化。丰富度指数决定群落的多样性,群落的丰富度指数越高,物种间数量差异越小,多样性指数就越高。

## 1.3 数据分析

采用SPSS 24.0软件对试验数据进行统计分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 5种杀虫剂对主要害虫的室内毒力

#### 2.1.1 对牛角花齿蓟马的室内毒力

在5种药剂中,0.3%印楝素对牛角花齿蓟马的室内毒力最强, $LC_{50}$ 为1.093 mg/L;1.5%除虫菊素、2.5%高效氯氟氰菊酯和4%阿维·啉虫脒对牛角花齿蓟马的室内毒力次之, $LC_{50}$ 分别为3.065、6.185和12.013 mg/L;70%吡虫啉对牛角花齿蓟马的室内毒力最弱, $LC_{50}$ 为190.931 mg/L(表1)。

#### 2.1.2 对豌豆蚜的室内毒力

在5种药剂中,0.3%印楝素对豌豆蚜的室内毒力最强, $LC_{50}$ 为2.864 mg/L;1.5%除虫菊素、2.5%高效氯氟氰菊酯和4%阿维·啉虫脒对豌豆蚜的室内毒力次之, $LC_{50}$ 分别为2.896、8.642和9.589 mg/L;

70% 吡虫啉对豌豆蚜的室内毒力最弱,  $LC_{50}$  为 291.376 mg/L(表2)。

表1 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马的室内毒力

Table 1 Indoor toxicity of five insecticides to *Odontothrips loti*

| 药剂<br>Insecticide                  | 斜率±标准误<br>Slope±SE | $LC_{50}$ /<br>(mg/L) | 95% 置信限<br>95% confidence limit/(mg/L) | $\chi^2$ | <i>df</i> |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------|--|----------|-----------|
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 1.541±0.304        | 3.065                 | 1.946–4.018                            | 4.260    | 10        |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 1.419±0.288        | 1.093                 | 0.814–1.453                            | 2.584    | 10        |
| 4% 阿维·啶虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 2.512±0.328        | 12.013                | 10.045–14.117                          | 4.364    | 10        |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 1.278±0.289        | 6.185                 | 3.811–8.335                            | 7.231    | 10        |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 1.724±0.305        | 190.931               | 109.631–271.904                        | 18.799   | 10        |

表2 5种杀虫剂对豌豆蚜的室内毒力

Table 2 Indoor toxicity of five insecticides to *Acyrtosiphon pisum*

| 药剂<br>Insecticide                  | 斜率±标准误<br>Slope±SE | $LC_{50}$ /<br>(mg/L) | 95% 置信限<br>95% confidence limit/(mg/L) | $\chi^2$ | <i>df</i> |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------|--|----------|-----------|
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 0.978±0.405        | 2.896                 | 0.148–5.008                            | 2.243    | 10        |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 1.202±0.411        | 2.864                 | 1.720–19.075                           | 1.222    | 10        |
| 4% 阿维·啶虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 1.113±0.404        | 9.589                 | 2.511–15.479                           | 4.261    | 10        |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 2.190±0.440        | 8.642                 | 6.504–11.319                           | 3.502    | 10        |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 1.065±0.396        | 291.376               | 155.056–675.153                        | 1.477    | 10        |

## 2.2 5种杀虫剂对主要害虫的田间防效

### 2.2.1 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马的田间防效

药后1 d, 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马的防效介于57.59%~76.65%之间, 其中70%吡虫啉对牛角花齿蓟马的防效最好, 显著高于其他4种杀虫剂( $P<0.05$ ), 4%阿维·啶虫脒的防效次之, 0.3%印楝素、2.5%高效氯氟氰菊酯和1.5%除虫菊素的防效较差, 显著低于其他2种杀虫剂( $P<0.05$ )。药后3 d和5 d, 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马的防效均有所增加, 分别介于64.07%~78.90%和67.30%~85.62%之间, 仍是70%吡虫啉的防效最好, 显著高于其他4种杀虫剂( $P<0.05$ ), 4%阿维·啶虫脒的防效次之, 0.3%印楝素、2.5%高效氯氟氰菊酯和1.5%除虫菊素的防效较差, 显著低于其他2种杀虫剂( $P<0.05$ )。药后7 d, 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马的防效均有所增加, 介于70.41%~86.36%之间, 其中4%阿维·啶虫脒和70%吡虫啉的防效均较好, 超过85.00%, 两者之间差异不显著, 但均显著高于其他3种杀虫剂( $P<0.05$ )。药后14 d, 除1.5%除虫菊素和4%阿维·啶虫脒的防效较药后7 d降低外, 其他3种杀虫剂的防效仍是随着施药时间增加而升高, 5种杀虫剂的防效介于73.35%~85.79%之间, 其中4%阿维·啶虫脒、70%吡虫啉和2.5%高效氯氟氰菊酯的防效均较好, 前两者防效均超过85.00%, 三者之间差异不显

著, 但均显著高于其他2种杀虫剂( $P<0.05$ , 表3)。

### 2.2.2 5种杀虫剂对豌豆蚜的田间防效

药后1 d, 5种杀虫剂对豌豆蚜的防效介于57.96%~76.87%之间, 其中4%阿维·啶虫脒、70%吡虫啉和2.5%高效氯氟氰菊酯对豌豆蚜的防效较好, 均高于70.00%, 三者之间差异不显著, 均显著高于其他2种杀虫剂( $P<0.05$ ), 0.3%印楝素的防效最差, 显著低于其他4种杀虫剂( $P<0.05$ )。药后3 d和5 d, 5种杀虫剂对豌豆蚜的防效均有所增加, 分别介于64.19%~81.88%和70.83%~88.54%之间, 仍是4%阿维·啶虫脒、70%吡虫啉和2.5%高效氯氟氰菊酯对豌豆蚜的防效较好, 均高于80.00%, 三者之间差异不显著, 均显著高于其他2种杀虫剂( $P<0.05$ ), 0.3%印楝素的防效最差, 显著低于其他4种杀虫剂( $P<0.05$ )。药后7 d, 5种杀虫剂防治效果均有所增加, 防效介于78.77%~96.04%之间, 其中4%阿维·啶虫脒和70%吡虫啉的防效较好, 超过94.00%, 显著高于其他3种杀虫剂( $P<0.05$ ), 0.3%印楝素的防效最差, 显著低于其他4种杀虫剂( $P<0.05$ )。药后14 d, 除2.5%高效氯氟氰菊酯和0.3%印楝素的防效较药后7 d增加外, 其他3种杀虫剂的防效均有所降低, 5种杀虫剂的防效介于79.70%~94.52%之间, 其中2.5%高效氯氟氰菊酯和70%吡虫啉的防效较好, 均超过92.00%, 显著高于其他3种杀虫剂( $P<0.05$ ), 而0.3%

印楝素和1.5%除虫菊素的防效最差,显著低于其他 3种杀虫剂( $P<0.05$ ,表4)。

表3 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马的田间防效  
Table 3 Control effects of five insecticides to *Odontothrips loti* in the field

| 药剂<br>Insecticide                     | 药后1 d<br>1 d after application |                        | 药后3 d<br>3 d after application |                        |                                  |                        |
|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                                       | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% |                                  |                        |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin              | 56.36                          | 57.59±1.69 d           | 65.29                          | 66.02±1.17 c           |                                  |                        |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin            | 62.21                          | 63.28±1.45 c           | 63.36                          | 64.07±1.79 c           |                                  |                        |
| 4% 阿维·啶虫脒<br>4% abamectin·acetamiprid | 70.43                          | 71.28±1.05 b           | 71.07                          | 71.61±1.57 b           |                                  |                        |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯<br>2.5% cyhalothrin      | 58.29                          | 59.51±0.97 d           | 64.36                          | 65.05±1.70 c           |                                  |                        |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid              | 75.93                          | 76.65±0.42 a           | 78.50                          | 78.90±1.39 a           |                                  |                        |
| 清水对照 Water (CK)                       | -4.00                          | -                      | 0.86                           | -                      |                                  |                        |
| 药剂<br>Insecticide                     | 药后5 d<br>5 d after application |                        | 药后7 d<br>7 d after application |                        | 药后14 d<br>14 d after application |                        |
|                                       | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% | 虫口减退率<br>Insect decline rate/%   | 防效<br>Control effect/% |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin              | 71.43                          | 72.24±1.27 c           | 77.36                          | 76.44±1.24 b           | 72.79                            | 73.35±2.08 b           |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin            | 66.29                          | 67.30±1.12 d           | 71.64                          | 70.41±1.29 c           | 73.86                            | 74.40±2.32 b           |
| 4% 阿维·啶虫脒<br>4% abamectin·acetamiprid | 79.43                          | 80.01±0.98 b           | 87.07                          | 86.36±1.77 a           | 85.00                            | 85.32±1.12 a           |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯<br>2.5% cyhalothrin      | 69.93                          | 70.75±1.67 c           | 78.36                          | 77.46±0.67 b           | 83.43                            | 83.89±0.64 a           |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid              | 85.14                          | 85.62±0.61 a           | 85.64                          | 85.02±1.76 a           | 85.43                            | 85.79±0.85 a           |
| 清水对照 Water (CK)                       | -1.43                          | -                      | -2.86                          | -                      | -4.29                            | -                      |

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ ).

## 2.3 5种杀虫剂对田间传粉昆虫的影响

### 2.3.1 对传粉昆虫数量的影响

5种杀虫剂对5种传粉昆虫数量有不同的影响(图1)。施用1 d后,除1.5%除虫菊素处理后的橙黄豆粉蝶 *Colias fieldii* 数量与对照差异不显著外,其他药剂处理后的橙黄豆粉蝶、斑缘豆粉蝶 *Colias erate*、菜粉蝶 *Pieris rapae*、苜蓿切叶蜂和中华蜜蜂数量均显著低于对照( $P<0.05$ )。4%阿维·啶虫脒、70%吡虫啉和2.5%高效氯氟氰菊酯施用3 d后,橙黄豆粉蝶、斑缘豆粉蝶、菜粉蝶、苜蓿切叶蜂和中华蜜蜂数量均显著低于对照( $P<0.05$ );而1.5%除虫菊素和0.3%印楝素施用3 d后,除橙黄豆粉蝶数量与对照差异不显著外,其他4种传粉昆虫数量均显著低于对照( $P<0.05$ )。5种杀虫剂施用5 d后,斑缘豆粉蝶、菜粉蝶和苜蓿切叶蜂数量均显著低于对照( $P<0.05$ );0.3%印楝素、1.5%除虫菊素和2.5%高效氯氟氰菊酯施用5 d后,橙黄豆粉蝶和中华蜜蜂数量与对照差异不显著,其他2种杀虫剂施用5 d后,这2种传

粉昆虫数量均显著低于对照( $P<0.05$ )。4%阿维·啶虫脒施用7 d后,除菜粉蝶数量显著低于对照( $P<0.05$ )外,其他4种传粉昆虫数量均与对照差异不显著;70%吡虫啉施用7 d后,除斑缘豆粉蝶数量与对照差异不显著外,其他4种传粉昆虫数量均显著低于对照( $P<0.05$ );2.5%高效氯氟氰菊酯使用7 d后,除菜粉蝶和苜蓿切叶蜂数量较对照显著减少( $P<0.05$ )外,其他3种传粉昆虫均与对照差异不显著;0.3%印楝素施用7 d后,5种传粉昆虫数量均与对照差异不显著;1.5%除虫菊素施用7 d后,除中华蜜蜂数量较对照显著减少( $P<0.05$ )外,其他4种传粉昆虫数量均与对照差异不显著。5种杀虫剂施用14 d后,斑缘豆粉蝶、菜粉蝶和中华蜜蜂数量均与对照差异不显著;除2.5%高效氯氟氰菊酯施用14 d后,橙黄豆粉蝶数量较对照处理显著减少( $P<0.05$ ),其他4种杀虫剂施用14 d后橙黄豆粉蝶数量均与对照差异不显著;除4%阿维·啶虫脒和70%吡虫啉施用14 d后,苜蓿切叶蜂数量较对照显著减少( $P<0.05$ )外,其

他3种杀虫剂施用14 d后苜蓿切叶蜂数量均与对照 差异不显著(图1)。

表4 5种杀虫剂对豌豆蚜的田间防效

Table 4 Control effects of five insecticides to *Acyrtosiphon pisum* in the field

| 药剂<br>Insecticide                     | 药后1 d<br>1 d after application |                        | 药后3 d<br>3 d after application |                        |                                  |                        |
|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                                       | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% |                                  |                        |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin              | 66.31                          | 66.02±2.72 b           | 67.38                          | 71.22±2.04 b           |                                  |                        |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin            | 58.08                          | 57.96±2.18 c           | 59.30                          | 64.19±1.65 c           |                                  |                        |
| 4% 阿维·啶虫脒<br>4% abamectin·acetamiprid | 76.98                          | 76.87±1.38 a           | 79.27                          | 81.78±3.32 a           |                                  |                        |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯<br>2.5% cyhalothrin      | 70.88                          | 70.54±1.31 ab          | 79.27                          | 81.88±1.84 a           |                                  |                        |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid              | 70.43                          | 70.07±0.53 ab          | 78.51                          | 81.19±0.46 a           |                                  |                        |
| 清水对照 Water (CK)                       | -5.49                          | -                      | -20.12                         | -                      |                                  |                        |
| 药剂<br>Insecticide                     | 药后5 d<br>5 d after application |                        | 药后7 d<br>7 d after application |                        | 药后14 d<br>14 d after application |                        |
|                                       | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% | 虫口减退率<br>Insect decline rate/% | 防效<br>Control effect/% | 虫口减退率<br>Insect decline rate/%   | 防效<br>Control effect/% |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin              | 77.90                          | 80.96±1.55 b           | 82.01                          | 84.12±2.81 c           | 76.22                            | 79.70±3.23 c           |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin            | 66.46                          | 70.83±0.73 c           | 76.07                          | 78.77±0.93 d           | 77.29                            | 80.62±0.38 c           |
| 4% 阿维·啶虫脒<br>4% abamectin·acetamiprid | 82.16                          | 84.46±1.72 ab          | 95.58                          | 96.04±0.39 a           | 90.70                            | 91.98±0.57 b           |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯<br>2.5% cyhalothrin      | 86.43                          | 88.35±0.61 a           | 88.72                          | 90.70±0.39 b           | 93.60                            | 94.52±0.62 a           |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid              | 86.59                          | 88.54±1.07 a           | 93.45                          | 94.22±0.39 a           | 91.62                            | 92.81±0.71 ab          |
| 清水对照 Water (CK)                       | -11.59                         | -                      | -14.63                         | -                      | -14.63                           | -                      |

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ ).

### 2.3.2 对传粉昆虫群落多样性指数的影响

药后1 d, 70%吡虫啉处理后传粉昆虫的丰富度指数最低, 为0.450, 其余处理的丰富度指数均相同, 均为0.900; 4%阿维·啶虫脒和2.5%高效氯氟氰菊酯处理后的个体数较少, 所以均匀性指数和集中性指数均最高, 分别为1.000和0.800。药后3 d, 传粉昆虫物种数相同, 所以丰富度指数也相同, 均为0.845; 1.5%除虫菊素处理后的均匀性指数和集中性指数均最高, 分别为0.990和0.794。药后5 d, 传粉昆虫物种数相同, 所以丰富度指数也相同, 均为0.789; 1.5%除虫菊素和0.3%印楝素处理后的多样性指数较高, 分别为2.316和2.318, 均匀性指数也较高, 分别为0.998和0.999。药后7 d, 传粉昆虫物种数相同, 所以丰富度指数也相同, 均为0.762; 70%吡虫啉处理后的多样性指数最低, 为2.285。药后14 d, 1.5%除虫菊素和0.3%印楝素处理后传粉昆虫的个体数最高, 分别为43和39; 物种数相同, 所以丰富度指数也相同, 均为0.737; 70%吡虫啉处理后的多样

性指数、均匀性指数和集中性指数均最高, 分别为2.318、0.998和0.799(表5)。

## 3 讨论

本研究通过室内毒力试验发现5种杀虫剂对牛角花齿蓟马和豌豆蚜的室内毒力不同, 其中0.3%印楝素对牛角花齿蓟马和豌豆蚜的室内毒力最高, 常用杀虫剂吡虫啉的表现较差, 推测可能是吡虫啉的大量施用导致害虫产生抗药性。沈登荣等(2020)测定了4种植物源杀虫剂对烟蓟马 *Thrips tabaci* 的室内毒力, 结果表明印楝素对烟蓟马的毒力最高, 与本研究结果一致。张晓明等(2018)通过室内毒力试验也发现常用杀虫剂吡虫啉的表现较差, 与本研究结果一致。本研究通过田间防效试验发现, 5种杀虫剂对牛角花齿蓟马和豌豆蚜均有一定的防效, 其中70%吡虫啉和4%阿维·啶虫脒的防效较高, 0.3%印楝素防效较差。胡昌雄等(2020)通过田间防效试验发现啶虫脒对牛角花齿蓟马的防效最高, 施药后7 d

防效为 80%~95%, 与本研究结果一致。李鑫等 (2021) 通过田间防效试验发现, 20% 啉虫脒和 20% 吡虫啉对核桃黑斑蚜 *Chromaphis juglandicola* 的防效均在 90% 以上, 与本研究结果一致。此外, 本研究结果显示 0.3% 印楝素对牛角花齿蓟马和豌豆蚜

的室内毒力最高, 但在大田试验中效果却不理想, 这可能是因为 0.3% 印楝素的有效浓度偏低, 影响了药效, 此外大田环境与室内试验条件差异较大, 这可能也是室内试验结果与田间试验结果差异较大的主要原因。

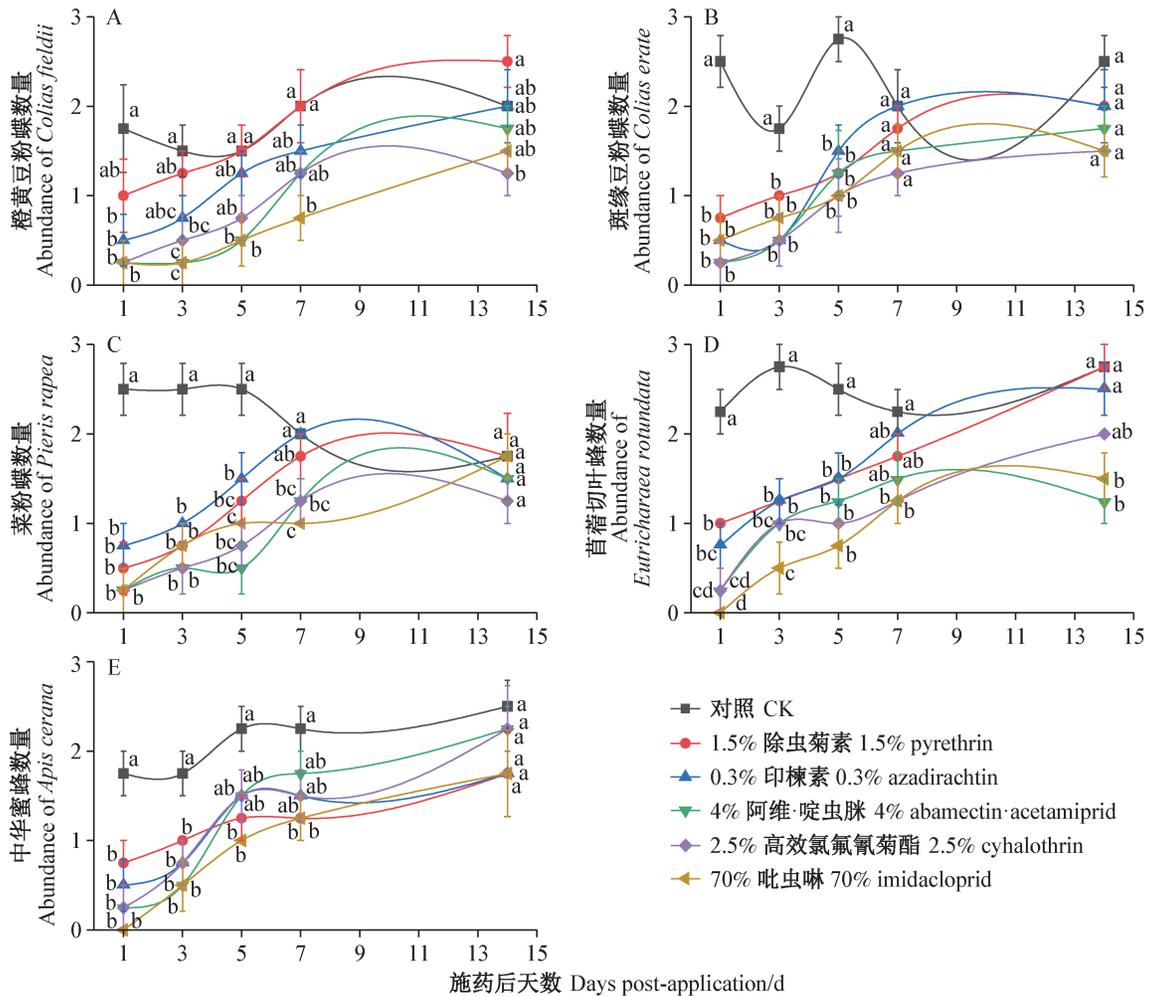


图1 5种杀虫剂对田间主要传粉昆虫数量的影响

Fig. 1 Effects of five insecticides on key pollinator populations in the field

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示相同时间不同处理之间经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ( $P < 0.05$ )。Data are mean±SD. Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments at the same time by Duncan's new multiple range test ( $P < 0.05$ ).

表5 喷施5种杀虫剂后传粉昆虫的  $\alpha$  多样性分析

Table 5  $\alpha$ -diversity analysis of pollinators after spraying five insecticides

| 处理<br>Treatment                    | 药后 1 d 1 d after application |                       |                         |                          |                           |                              |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                                    | 个体数<br>No. of individuals    | 物种数<br>No. of species | 丰富度指数<br>Richness index | 多样性指数<br>Diversity index | 均匀性指数<br>Uniformity index | 集中性指数<br>Concentration index |
| 清水对照 Water (CK)                    | 43                           | 5                     | 0.900                   | 2.304                    | 0.992                     | 0.795                        |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 16                           | 5                     | 0.900                   | 2.281                    | 0.982                     | 0.789                        |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 12                           | 5                     | 0.900                   | 2.293                    | 0.987                     | 0.792                        |
| 4% 阿维·啉虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 5                            | 5                     | 0.900                   | 2.322                    | 1.000                     | 0.800                        |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 5                            | 5                     | 0.900                   | 2.322                    | 1.000                     | 0.800                        |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 4                            | 3                     | 0.450                   | 1.500                    | 0.946                     | 0.625                        |

续表 5 Continued

| 处理<br>Treatment                    | 药后 3 d 3 d after application   |                          |                            |                             |                              |                                 |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                                    | 个体数<br>No. of<br>individuals   | 物种数<br>No. of<br>species | 丰富度指数<br>Richness<br>index | 多样性指数<br>Diversity<br>index | 均匀性指数<br>Uniformity<br>index | 集中性指数<br>Concentration<br>index |
| 清水对照 Water (CK)                    | 41                             | 5                        | 0.845                      | 2.282                       | 0.983                        | 0.789                           |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 21                             | 5                        | 0.845                      | 2.298                       | 0.990                        | 0.794                           |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 17                             | 5                        | 0.845                      | 2.257                       | 0.972                        | 0.782                           |
| 4% 阿维·啶虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 11                             | 5                        | 0.845                      | 2.187                       | 0.942                        | 0.760                           |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 13                             | 5                        | 0.845                      | 2.258                       | 0.972                        | 0.781                           |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 11                             | 5                        | 0.845                      | 2.231                       | 0.961                        | 0.777                           |
| 处理<br>Treatment                    | 药后 5 d 5 d after application   |                          |                            |                             |                              |                                 |
|                                    | 个体数<br>No. of<br>individuals   | 物种数<br>No. of<br>species | 丰富度指数<br>Richness<br>index | 多样性指数<br>Diversity<br>index | 均匀性指数<br>Uniformity<br>index | 集中性指数<br>Concentration<br>index |
| 清水对照 Water (CK)                    | 46                             | 5                        | 0.789                      | 2.295                       | 0.988                        | 0.793                           |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 27                             | 5                        | 0.789                      | 2.316                       | 0.998                        | 0.798                           |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 29                             | 5                        | 0.789                      | 2.318                       | 0.999                        | 0.799                           |
| 4% 阿维·啶虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 20                             | 5                        | 0.789                      | 2.186                       | 0.941                        | 0.765                           |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 20                             | 5                        | 0.789                      | 2.271                       | 0.978                        | 0.785                           |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 17                             | 5                        | 0.789                      | 2.278                       | 0.981                        | 0.789                           |
| 处理<br>Treatment                    | 药后 7 d 7 d after application   |                          |                            |                             |                              |                                 |
|                                    | 个体数<br>No. of<br>individuals   | 物种数<br>No. of<br>species | 丰富度指数<br>Richness<br>index | 多样性指数<br>Diversity<br>index | 均匀性指数<br>Uniformity<br>index | 集中性指数<br>Concentration<br>index |
| 清水对照 Water (CK)                    | 42                             | 5                        | 0.762                      | 2.320                       | 0.999                        | 0.799                           |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 34                             | 5                        | 0.762                      | 2.306                       | 0.993                        | 0.796                           |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 36                             | 5                        | 0.762                      | 2.308                       | 0.994                        | 0.796                           |
| 4% 阿维·啶虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 29                             | 5                        | 0.762                      | 2.310                       | 0.995                        | 0.797                           |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 26                             | 5                        | 0.762                      | 2.318                       | 0.998                        | 0.799                           |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 23                             | 5                        | 0.762                      | 2.285                       | 0.984                        | 0.790                           |
| 处理<br>Treatment                    | 药后 14 d 14 d after application |                          |                            |                             |                              |                                 |
|                                    | 个体数<br>No. of<br>individuals   | 物种数<br>No. of<br>species | 丰富度指数<br>Richness<br>index | 多样性指数<br>Diversity<br>index | 均匀性指数<br>Uniformity<br>index | 集中性指数<br>Concentration<br>index |
| 清水对照 Water (CK)                    | 46                             | 5                        | 0.737                      | 2.303                       | 0.992                        | 0.795                           |
| 1.5% 除虫菊素 1.5% pyrethrin           | 43                             | 5                        | 0.737                      | 2.297                       | 0.989                        | 0.795                           |
| 0.3% 印楝素 0.3% azadirachtin         | 39                             | 5                        | 0.737                      | 2.301                       | 0.991                        | 0.794                           |
| 4% 阿维·啶虫脒 4% abamectin·acetamiprid | 34                             | 5                        | 0.737                      | 2.295                       | 0.988                        | 0.792                           |
| 2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% cyhalothrin      | 33                             | 5                        | 0.737                      | 2.279                       | 0.982                        | 0.788                           |
| 70% 吡虫啉 70% imidacloprid           | 32                             | 5                        | 0.737                      | 2.318                       | 0.998                        | 0.799                           |

武文卿等(2021)研究发现喷施阿维菌素可导致蜜蜂急性死亡。王烁等(2020)发现噻虫嗪、噻虫胺、吡虫啉、烯啶虫胺和呋虫胺 5 种新烟碱类杀虫剂对地熊蜂成年工蜂的毒性较高。Cloyd & Bethke

(2001)和 Desneux et al.(2007)研究结果表明即使在低剂量下新烟碱类药剂仍对传粉昆虫有负面影响,因此欧洲已禁止在室外喷施吡虫啉等药剂。本研究通过田间防效试验发现 70% 吡虫啉和 4% 阿维·啶

虫脒虽然对苜蓿上主要害虫有较好的防效,但对传粉昆虫的影响也较大,施用后传粉昆虫数量显著减少,因此在生产上应谨慎使用。同一种药剂,施药时间不同,药效也不同。如张铁军等(2009)发现,与结荚期喷药相比,现蕾期喷药能显著提高苜蓿种子产量,有效减少害虫对种子产量的负面影响,因此通过改变药剂的施用时期,可以降低新烟碱类药剂对传粉昆虫的不良影响(张为丽等,2014)。

综合来看,在生产上推荐使用4%阿维·啉虫脒和70%吡虫啉1 000倍稀释液防治牛角花齿蓟马和豌豆蚜,但这2种药对传粉昆虫的威胁较大,影响传粉效率,不建议在开花期施用。开花期可交替喷施1.5%除虫菊素和0.3%印楝素的1 000倍稀释液。天然除虫菊提取物是高效低毒的生物农药,可以替代高毒、高残留化学合成农药在蔬菜生产中应用(王久兴等,2008)。刘亚南等(2015)通过田间药效试验发现氟啶虫胺腈和噻虫嗪对胡萝卜半蚜 *Semiaphis heraclei* 效果较好,下一步可以在苜蓿种子田中进行试验。苜蓿种子质量和产量除受病虫害影响外,还受气候、收获机械和清选设备、管理水平、种植模式等多种因素的影响;天气对大田试验影响较大,下一步可考虑在其他季节进行试验。

### 参 考 文 献 (References)

- Chen J, Guo ZW, Pan CQ, Xiang P, Liu DW. 2022. Research status of alfalfa diseases, insect pests and weeds. *Journal of Grassland and Forage Science*, (1): 1-14 (in Chinese) [陈婧, 郭子雯, 潘春清, 项鹏, 刘大伟. 2022. 苜蓿病虫害研究现状. *草学*, (1): 1-14]
- Cloyd RA, Bethke JA. 2011. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interiorscape environments. *Pest Management Science*, 67(1): 3-9
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81-106
- Fan R, Fan ZF, Chen YP, Zheng QN, Sun ZX, He SQ, Gui FR. 2023. Toxicity of nine insecticides to *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* under the environment of elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 38(3): 368-376 (in Chinese) [樊锐, 樊宗芳, 陈亚平, 郑起楠, 孙仲享, 和淑琪, 桂富荣. 2023. CO<sub>2</sub>浓度升高环境下9种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力测定. *云南农业大学学报(自然科学)*, 38(3): 368-376]
- Gao YL, Lei ZR, Reitz SR. 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. *Pest Management Science*, 68(8): 1111-1121
- Geng HZ. 1995. *China alfalfa*. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [耿华珠. 1995. 中国苜蓿. 北京: 中国农业出版社]
- He CG, Zhang XG. 2006. Field evaluation of lucerne (*Medicago sativa* L.) for resistance to aphids in northern China. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(4): 471
- Hu CX, Du F, Liu HD, Chen GH, Zhang XM. 2020. Indoor biological activity and field control effect of three insecticides and different formulations on thrips of grape. *Agrochemicals*, 59(4): 296-299 (in Chinese) [胡昌雄, 杜飞, 刘浩东, 陈国华, 张晓明. 2020. 3种杀虫剂不同剂型对葡萄蓟马的室内生物活性及田间防效. *农药*, 59(4): 296-299]
- Huang QC, Dai CC, Zhang JP, Chen J, Lu YH. 2021. Toxicities of 21 pesticides against major cotton insect pests and their safety to variegated ladybird *Hippodamia variegata* in Xinjiang. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1114-1124 (in Chinese) [黄庆超, 戴长春, 张建萍, 陈静, 陆宴辉. 2021. 21种化学药剂对新疆棉田主要害虫毒力及对多异瓢虫的安全性. *植物保护学报*, 48(5): 1114-1124]
- Li N, Ma W, Hong B, Wang XP. 2022. Insecticide resistance monitoring of the field populations of thrips on alfalfa in Yinchuan area. *Agrochemicals*, 61(9): 687-692 (in Chinese) [李楠, 马雯, 洪波, 王新谱. 2022. 银川地区4种苜蓿蓟马田间种群对10种杀虫剂的抗药性测定. *农药*, 61(9): 687-692]
- Li X, Tai JR, Linghu W, Gao GZ. 2021. Field control effect of five insecticides on walnut black spot aphid. *China Plant Protection*, 41(10): 73-75 (in Chinese) [李鑫, 郜锦瑞, 令狐伟, 高桂珍. 2021. 5种杀虫剂对核桃黑斑蚜的田间防效. *中国植保导刊*, 41(10): 73-75]
- Liu H, Jin FQ, Liu YP, Huang RZ, Han XQ, Ma CH. 2022. Effect of toxicity and field efficacy of eight biopesticides to *Hypera postica* (Gyllenhal). *Acta Agrestia Sinica*, 30(2): 426-431 (in Chinese) [刘慧, 金富强, 刘亚朋, 黄嵘峥, 韩小强, 马春晖. 2022. 8种生物农药对苜蓿叶象甲的室内毒力测定及田间防效. *草地学报*, 30(2): 426-431]
- Liu YN, Dong J, Li Y, Zhang JL, Wang PS, Ding WL. 2015. Evaluation of field control efficiency of 25% thiamethoxam WG on honeysuckle aphid. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica: World Science and Technology*, 17(1): 249-253 (in Chinese) [刘亚南, 董杰, 李勇, 张金良, 王品舒, 丁万隆. 2015. 25%噻虫嗪水分散粒剂对金银花蚜虫的田间防效评价. *世界科学技术: 中医药现代化*, 17(1): 249-253]
- Mouden S, Sarmiento KF, Klinkhamer PG, Leiss KA. 2017. Integrated pest management in western flower thrips: past, present and future. *Pest Management Science*, 73(5): 813-822
- Shen DR, He C, Zhang R, Yuan SY, Tian XJ, Zhang HR. 2020. Toxicity effect of four botanical insecticides against grape thrips. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 29(11): 1751-1757 (in Chinese) [沈登荣, 何超, 张睿, 袁盛勇, 田学军, 张宏瑞. 2020. 4种植物源杀虫剂对葡萄蓟马的致毒作用. *西北农业学报*, 29(11): 1751-1757]
- Wang JX, Yan LY, Tao XJ, Feng ZH, Li XL. 2008. The control effect study of the extract of *Pyrethrum* on aphid. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36(13): 5502, 5526 (in Chinese) [王久兴, 闫

- 立英, 陶秀娟, 冯志红, 李晓丽. 2008. 天然除虫菊提取物对蚜虫的防治效果研究. 安徽农业科学, 36(13): 5502, 5526]
- Wang S, Xie LX, Chen H, Wu GA, Zhou H, Wang Y, Yu Y, Zheng L, Zhai YF, Yan Y. 2020. Toxicity and risk assessment of eight neonicotinoid insecticides to workers of *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apoidea). Acta Entomologica Sinica, 63(1): 29–35 (in Chinese) [王烁, 谢丽霞, 陈浩, 吴光安, 周浩, 王瑜, 于毅, 郑礼, 翟一凡, 闫毅. 2020. 八种新烟碱类杀虫剂对地熊蜂工蜂的毒性及风险评估. 昆虫学报, 63(1): 29–35]
- Wu WQ, He J, Song HL, Zhang YY, Wu M, Zhang XF, Fan XC, Guo Y. 2021. Effects of abamectin spraying on flowering alfalfa on *Apis mellifera* and wild pollinators. China Plant Protection, 41(12): 9–13 (in Chinese) [武文卿, 贺娟, 宋怀磊, 张云毅, 武敏, 张旭凤, 樊绪成, 郭媛. 2021. 苜蓿花期喷施阿维菌素对蜜蜂及野生传粉昆虫的影响. 中国植保导刊, 41(12): 9–13]
- Wu YD, Shen JL, Chen J, Lin XW, Li AM. 1996. Evaluation of two resistance monitoring methods in *Helicoverpa armigera*: topical application method and leaf dipping method. Plant Protection, 22(5): 3–5 (in Chinese) [吴益东, 沈晋良, 陈进, 林祥文, 李爱玫. 1996. 用点滴法和浸叶法监测棉铃虫抗药性的比较. 植物保护, 22(5): 3–5]
- Zhang B, Zhou MQ, Wang J, Pu Y, Zhang L, Yuan ML. 2016. Species checklist and research status of alfalfa insect pests reported in China. Pratacultural Science, 33(4): 785–812 (in Chinese) [张奔, 周敏强, 王娟, 蒲毅, 张丽, 袁明龙. 2016. 我国苜蓿害虫种类及研究现状. 草业科学, 33(4): 785–812]
- Zhang TJ, Geng ZG, Wang YW, Wang XG, Mao PS, Liu FY. 2009. Effects of pesticide application in insect pest control on alfalfa seed yield. Pratacultural Science, 26(11): 143–147 (in Chinese) [张铁军, 耿志广, 王赞文, 王显国, 毛培胜, 刘富渊. 2009. 施用杀虫剂防治害虫对紫花苜蓿种子产量的影响. 草业科学, 26(11): 143–147]
- Zhang WL, Yao HF, Zheng WW, Zhang HY. 2014. Screening of high efficient and low toxicity pesticides against *Thrips flavidulus*. Journal of Fruit Science, 31(6): 1134–1138 (in Chinese) [张为丽, 姚海峰, 郑薇薇, 张宏宇. 2014. 八节黄蓟马高效低毒防治药剂的筛选. 果树学报, 31(6): 1134–1138]
- Zhang XM, Liu Q, Li YR, Hu CX, Zhao HX, Chen GH, Zhang HR, Li ZY. 2018. Toxicity of six current commonly used pesticides on *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa*. Journal of Environmental Entomology, 40(1): 215–223 (in Chinese) [张晓明, 柳青, 李宜儒, 胡昌雄, 赵浩旭, 陈国华, 张宏瑞, 李正跃. 2018. 六种常见杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力测定. 环境昆虫学报, 40(1): 215–223]
- Zuo TQ, Li S, Zhang B, Zhang F, Wan FH, Zheng CY. 2017. Prevention and control of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* by treatment with low doses of pesticides and high temperatures. Journal of Plant Protection, 44(4): 687–692 (in Chinese) [左太强, 李帅, 张彬, 张芳, 万方浩, 郑长英. 2017. 低剂量杀虫剂与高温结合对西花蓟马种群的防控. 植物保护学报, 44(4): 687–692]

(责任编辑: 张俊芳)