四种杀虫剂对豆天蛾幼虫的田间防效*

李晓峰[1**] 樊继伟[1] 李克斌[2] 尹 娇[2] 郭明明[1***]

（1. 连云港市农业科学院，徐淮地区连云港农业科学研究所，连云港 222000；
2. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘 要 【**目的**】为探究不同杀虫剂对豆天蛾 *Clanis bilineata* 幼虫的田间防效。【**方法**】选取敌敌畏（Dichlorvos）、甲维虫螨腈（Chlorfenapyr）、高效氯氟氰菊酯（Lambda-cyhalothrin）和吡虫啉（Imidacloprid）4 种常用杀虫剂，按产品使用说明推荐浓度处理豆天蛾卵及 1-5 龄幼虫，观察、统计及计算经 4 种农药处理后卵的孵化率，以及在处理 1、3 和 7 d 后 1-5 龄豆天蛾幼虫的虫口减退率和校正防效。【**结果**】豆天蛾卵经吡虫啉处理后受影响最小，卵孵化率为 61.11%，其次为虫螨腈、敌敌畏和高效氯氟氰菊酯，经此 3 种农药处理后的豆天蛾卵孵化率分别为 57.78%、15.56%和 2.22%。经高效氯氟氰菊酯处理后的豆天蛾卵孵化率显著低于其它 3 个处理（$P<0.05$）；施药处理 7 d 后，高效氯氟氰菊酯对 1-5 龄豆天蛾幼虫在 4 种农药中防效最高，而吡虫啉防效却最低。具体表现为，对 1 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（100%）>敌敌畏（99.76%）>甲维虫螨腈（93.81%）>吡虫啉（65.48%）；对 2 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（99.05%）>敌敌畏（90.31%）>甲维虫螨腈（82.03%）>吡虫啉（50.59%）；对 3 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（98.00%）>敌敌畏（71.59%）>甲维虫螨腈（64.22%）>吡虫啉（35.11%）；对 4 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（95.71%）>敌敌畏（78.53%）>甲维虫螨腈（71.37%）>吡虫啉（38.24%）；对 5 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（94.21%）>甲维虫螨腈（55.69%）>敌敌畏（55.29%）>吡虫啉（41.12%）。【**结论**】在 4 种农药中，高效氯氟氰菊酯对豆天蛾卵孵化率的影响及对幼虫防效均最强，而吡虫啉最弱。此结果对防治豆天蛾提供了重要的参考价值。

关键词 豆天蛾；杀虫剂；卵孵化率；防效

Effectiveness of four insecticides against *Clanis bilineata* larvae in the field

LI Xiao-Feng[1**] FAN Ji-Wei[1] LI Ke-Bin[2] YIN Jiao[2] GUO Ming-Ming[1***]

(1. Lianyungang Academy of Agricultural Sciences, Institute of Lianyungang Agricultural Science of Xuhuai Area, Lianyungang 222000, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effectiveness of four insecticides on *Clanis bilineata* larvae in the field. **[Methods]** Four commonly used insecticides; Dichlorvos, Chlorfenapyr, Lambda-cyhalothrin and Imidacloprid, were tested on *C. bilineata* eggs and 1st to 5th instar larvae, in accordance with the manufacturer's instructions. The hatch rate of eggs, rate of population decline, and the corrected control effect on larvae after 1, 3 and 7 days, were measured and compared. **[Results]** The hatchability of eggs treated with Imidacloprid, Chlorfenapyr, Dichlorvos or Lambda-cyhalothrin, was 61.11%, 57.78%, 15.56% and 2.22%, respectively. Eggs treated with Lambda-cyhalothrin had a significantly lower hatch rate than those treated with the other pesticides ($P<0.05$). After 7 days, the control effect on 1st instar larvae treated with Lambda-cyhalothrin, Dichlorvos, Chlorfenapyr or Imidacloprid was 100%, 99.76%, 93.81% and 65.48%, respectively, that on 2nd instar larvae was 99.05%, 90.31%, 82.03% and 50.59%, respectively, that on 3rd instar larvae was 98.00%, 71.59%, 64.22% and 35.11%, respectively, that on , 4th instar larvae was 95.71%, 78.53%, 71.37% and 38.24%, respectively, and that on 5th

*资助项目 Supported projects：苏北科技专项[SZ-LYG202139]；连云港市财政局专项资金（QNJJ2204；QNJJ2313）

**第一作者 First author，E-mail：2275638093@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：gmm30277@163.com

收稿日期 Received：2022-06-20；接受日期 Accepted：2023-04-09

instar larvae was 94.21%, 55.69%, 55.29% and 41.12%, respectively. **[Conclusion]** Lambda-cyhalothrin was the most effective of the four insecticides tested on eggs and larvae and imidacloprid was the least effective. These results provide an important reference for *C. bilineata* control.

Key words　*Clanis bilineata*; insecticide; egg hatching rate; control effect

豆天蛾 *Clanis bilineata* 属鳞翅目（Lepidoptera）天蛾科（Sphingidae）云纹天蛾亚科（Ambulicinae）豆天蛾属（*Clanis*）（席景会等，2000）。在河北、山东、江苏、安徽 1 年发生 1 代，湖北武昌、江西南昌 1 年发生 2 代（田华和张义明，2009；樊继伟等，2019）。其幼虫俗称豆丹、豆虫（闫茂华，2001；孙中伟等，2019），主要寄主为大豆、洋槐、刺槐、藤萝及葛属和黎豆属等植物（吕飞等，2006；田华，2009）。豆天蛾幼虫是大豆生产上的爆发性害虫，初孵化幼虫有背光性，白天潜伏叶背，夜间取食，阴天整日为害。1-2 龄为害顶部咬食叶缘成缺刻，一般不迁移。3-4 龄食量大增，也可转株为害。5 龄幼虫是暴食阶段，约占幼虫期食量的 90%（刘志红等，2005）。7-8 月份降水充沛，分布均匀往往会导致严重的豆天蛾幼虫为害（吕飞等，2006）。

针对豆天蛾为害，化学农药防治仍是当前最主要且有效的控制手段，具有见效快，防治效果好等特点（陈景辉，2004）。生产上主要有拟除虫菊酯类、新烟碱类、有机磷类等（宋长贵等，2021）。但是，生产上对农药用量标准不一，使用频率也不尽相同，不仅增加了防治成本，而且还增强了豆天蛾的抗药性。而安全、合理、经济有效地使用杀虫剂防治该害虫，才能保护农作物免受其为害，改善和提高现有杀虫剂的使用效果，减少环境污染，克服害虫抗药性以及保持自然环境的生态平衡（刘坤峰，2020）。

为将田间常用杀虫剂对豆天蛾防治效果形成直观的量化指标，本研究选用了敌敌畏、甲维虫螨腈、高效氯氟氰菊酯和吡虫啉共 4 种常用杀虫剂，分别探究 4 种杀虫剂对豆天蛾卵的孵化率、施药 1、3 和 7 d 后对 1-5 龄幼虫虫口减退率和校正防效。系统地说明了常用杀虫剂对豆天蛾的防治效果，为生产上合理用药提供了重要的数据支撑，同时也为后续杀虫机理研究奠定了一定的数据支撑。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试虫源　本试验所用的豆天蛾卵均购自江苏省连云港市云台农场豆丹养殖基地。选择当日产的，外形圆润饱满，颜色鲜艳的豆天蛾卵，带回实验室放入 25 cm×15 cm×15 cm 带盖的塑料盒中，而后置于恒温培养箱于（25±1）℃条件下培养，待用。

1.1.2　供试大豆及农药　试验所用大豆品种为瑞豆 1 号（连云港瑞清种业有限公司），所用农药为敌敌畏（南通江山农药化工股份有限公司）、甲维虫螨腈（河南今越生物技术有限公司）、高效氯氟氰菊酯（河北中天邦正生物科技股份公司）、吡虫啉（江苏三山农药有限公司）。

1.1.3　供试仪器与耗材　恒温培养箱（杭州绿博仪器有限公司）、千分之一电子天平（深圳市奥特斯衡器有限公司）、200 mL 手动弥雾器（余姚市正宇喷雾器厂）、0.1 mm 孔径纱网。

1.2　方法

1.2.1　药剂配制　试验中所用的 4 种农药用量均按照杀虫剂说明书所推荐的用量进行配制，溶剂为清水，详见表 1。

1.2.2　4 种农药对豆天蛾卵孵化率的影响　6 月底选取地势较高，远离农药污染的田块进行大豆种植。大豆行距×株距=40 cm × 20 cm，苗期正常施药施肥，控制病虫草害，待大豆生长至 20 d 时，停止使用一切农药化肥，生长至 40 d 时即可开展试验。

将 4 种农药按推荐使用量分别取 6 m^2 所需剂量，而后溶于清水中，定容至 200 mL。在大豆田随机选取 5 个长×宽=3 m×2 m 的小区，以

表 1 4 种杀虫剂田间使用说明

Table 1 Application instructions of 4 insecticides in the field

杀虫剂类别 Insecticide category	有效成分及含量 Active ingredient and content	每 667 m^2 推荐用量 Suggested dosage per 667 m^2
敌敌畏 Dichlorvos	77.5%敌敌畏 77.5%Dichlorvos	50 mL
甲维虫螨腈 Chlorfenapyr	1%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 1% Emamectin benzoate；5%虫螨腈 5% Chlorfenapyr；	80 mL
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	5%氯氟氰菊酯 5% Lambda-cyhalothrin	15 mL
吡虫啉 Imidacloprid	10%吡虫啉 10% Imidacloprid	10 g

200 mL 清水为对照，将 4 组农药及对照通过手动弥雾器分别均匀喷洒在不同小区内的大豆叶片上。而后立取 4 种农药及对照处理后的大豆叶片均匀铺在 25 cm×15 cm×15 cm 带盖的塑料盒底部，每种农药及对照处理的大豆叶片放置 3 个盒中，每盒放置 6 个叶片，而后在盒内的叶片上各放入 60 粒豆天蛾卵，随后置于恒温培养箱培养，每日上午 9:00 及下午 5:00 记录盒内豆天蛾卵孵化情况。

1.2.3 4 种农药对不同龄期豆天蛾幼虫的防效 田间大豆种植方法如 1.2.2，待大豆生长至 40 d 时，将大豆田随机划分出长×宽=3 m×2 m 的小区共 75 个，小区间间隔 3 m，并在四周用纱网隔挡，防止幼虫逃逸。豆天蛾卵在恒温箱内培养 5 d 后，将其按 60 粒/袋装入一端可封口的小网袋中。然后将装有豆天蛾卵的小网袋挂在各个小区内的大豆叶片上，操作时将 3 片大豆植株中部的叶片轻轻塞入小网袋内，而后扎紧封口，防止卵散落。每个小区悬挂 3 个小网袋，共 180 粒豆天蛾卵。另在大豆田内留出 20 m^2，悬挂 10 个小网袋，作为后续各小区的虫源补充。

待卵整体孵化后，及时移除小网袋，保证初孵幼虫正常进食。随机挑选 15 个小区，补充虫源至每个小区初孵幼虫为 180 头。将 4 种农药按推荐剂量分别取 18 m^2 所需剂量，用清水稀释至 600 mL，配制完成后每种农药通过手动弥雾器喷洒 3 个小区，每个小区喷洒 200 mL，3 个对照小区喷洒等量清水。喷洒时尽量减小喷口与叶片的距离，防止雾滴飘散影响其他小区，还应将叶片正反两面均匀喷洒，使幼虫均匀着药。在喷药后第 1、3 和 7 天分别统计 15 个处理和对照小区内幼虫存活数，记录；在其他小区幼虫分别生长至 2-5 龄时，试验方法基本不变，首先补充各小区虫源至 180 头，而后进行喷药，统计喷药后 1、3 和 7 d 各小区幼虫存活数。计算各处理虫口减退率和农药校正防效，其公式分别为（王品舒等，2017）：

虫口减退率（%）=（施药前虫口数–施药后虫口数）/施药前虫口数×100；

校正防效（%）=（处理虫口减退率–对照虫口减退率）/（1–对照虫口减退率）×100%。

1.3 数据处理

本试验参数主要有孵化率、虫口减退率和校正防效。所有数据均由 Excel 2013 和 SPSS 17.0 处理。主要参数间的差异性采用 One-way ANOVA 方差分析；数据间的比较首先要进行反正弦平方根转换，然后采用 Duncan's 新复极差法进行不同处理之间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 4 种农药对豆天蛾卵孵化率的影响

经 4 种农药处理后豆天蛾卵的孵化率如图 1 所示，豆天蛾卵经吡虫啉处理后受影响最小，卵孵化率为 61.11%，其次为虫螨腈、敌敌畏和高效氯氟氰菊酯，经此 3 种农药处理后的豆天蛾卵孵化率分别为 57.78%、15.56%和 2.22%。经高效氯氟氰菊酯处理后的豆天蛾卵孵化率最低，显著低于其它 3 个处理（$P<0.05$）；经吡虫啉和甲维虫螨腈处理后的豆天蛾卵孵化率差异不显著（$P>0.05$），但显著高于其它两个处理（$P<0.05$）；

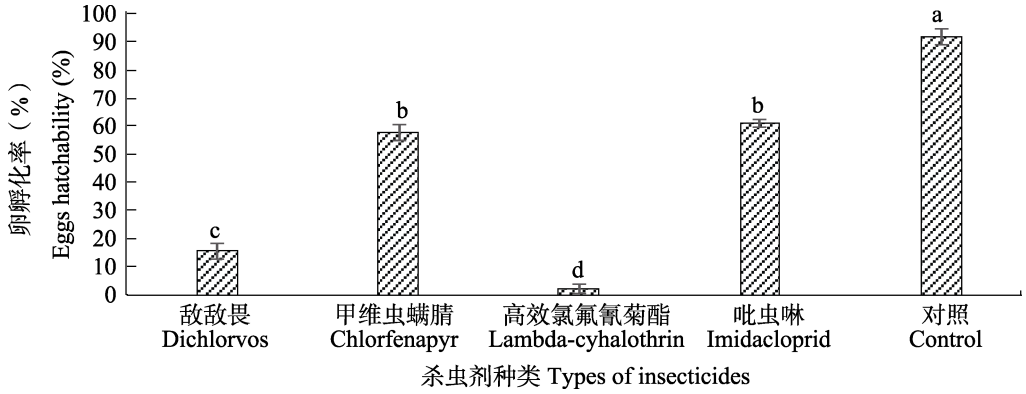

图 1　4 种杀虫剂处理后豆天蛾卵的孵化率比较

Fig. 1　Comparison of eggs hatchability of *Clanis bilineata* treated with 4 insecticides

柱子上标有不同字母表示经 Duncan’s 新复极差法检验差异显著(P<0.05)。

The different letters above bars indicate significant differences by Duncan's new multiple range test (P<0.05).

4 个处理豆天蛾卵孵化率均显著低于对照（92.22%）(P<0.05)。

2.2　敌敌畏对不同龄期豆天蛾幼虫的防效

敌敌畏对不同龄期豆天蛾幼虫防效如表 2 所示。敌敌畏对 1-5 龄豆天蛾幼虫用药后 1 d 防效为 87.38%-50.94%，用药后 3 d 防效范围为 98.93%-52.59%，用药后 7 d 防效范围为 99.76%-55.29%。敌敌畏对不同龄期豆天蛾幼虫均表现出随着用药时长增加而防效上升的趋势。在表 2 中还可看出，用药时长相同时，随着幼虫龄期增加敌敌畏表现出对幼虫的防效降低的情况；用药后 1、3 和 7 d 时，敌敌畏对 5 龄幼虫防效均最小，分别为 50.94%、52.29%和 55.29%，均显著小于敌敌畏对其它龄期的防效（P<0.05）。

2.3　甲维虫螨腈对不同龄期豆天蛾幼虫的防效

甲维虫螨腈对不同龄期豆天蛾幼虫的防效如表 3 所示。甲维虫螨腈对 1-5 龄豆天蛾幼虫用药 1 d 后校正防效范围为 68.19%-41.57%；用药 3 d 后校正防效范围为 89.74%-49.71%；用药 7 d 后校正防效范围为 93.81%-55.69%。甲维虫螨腈对 5 个龄期幼虫的防效均表明，随着用药时间的增加，甲维虫螨腈的防效不断增强。在用药时长相同时，幼虫龄期增加，甲维虫螨腈对幼虫的防效降低。从表 3 中可看出，用药 1 d 后，甲维虫螨腈对 1 龄幼虫防效为 68.19%，而对 5 龄幼虫防效为 41.57%；用药 3 d 后，甲维虫螨腈对 1

表 2　敌敌畏对不同龄期豆天蛾幼虫防效

Table 2　Control effect of dichlorvos on different instar larvae of *Clanis bilineata*

幼虫龄期 Instar of larvae	药后 1 d 1 day after application		药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application	
	虫口减退率（%） Decline rate of larvae (%)	校正防效（%） Correction control effect (%)	虫口减退率（%） Decline rate of larvae (%)	校正防效（%） Correction control effect (%)	虫口减退率（%） Decline rate of larvae (%)	校正防效（%） Correction control effect (%)
1	85.56±1.96 a	85.14±2.00 a	99.07±3.98 a	98.93±4.27 a	99.81±2.49 a	99.76±2.82 a
2	87.59±4.96 a	87.38±5.01 a	90.56±2.77 b	85.66±2.67 b	92.41±2.02 b	90.31±2.30 b
3	75.19±0.94 b	74.48±0.95 b	78.70±0.60 c	74.89±1.89 c	79.81±0.23 c	71.59±4.81 c
4	77.04±1.30 b	76.22±1.31 b	79.44±3.27 c	76.98±3.23 c	80.56±3.32 c	78.53±3.54 c
5	51.48±2.48 c	50.94±2.55 c	57.59±3.19 d	52.59±1.94 d	58.52±3.39 d	55.29±3.61 d

数据为平均数±标准误；同列数据后标有不同字母表示经 Duncan’s 新复极差法检验差异显著(P<0.05)，表 3-表 5 同。

Data are mean±SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant differences by Duncan's new multiple range test (P<0.05). The same for table 3-table 5.

表 3 甲维虫螨腈对不同龄期豆天蛾幼虫防效

Table 3 Control effect of chlorfenapyr on different instar larvae of *Clanis bilineata*

幼虫龄期 Instar of larvae	药后 1 d 1 day after application		药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application	
	虫口减退率（%）Decline rate of larvae (%)	校正防效（%）Correction control effect (%)	虫口减退率（%）Decline rate of larvae (%)	校正防效（%）Correction control effect (%)	虫口减退率（%）Decline rate of larvae (%)	校正防效（%）Correction control effect (%)
1	69.07±1.45 a	68.19±1.48 a	91.11±1.70 a	89.74±1.84 a	95.19±1.53 a	93.81±1.75 a
2	60.74±0.83 b	60.08±0.84 b	83.15±1.08 b	80.17±1.19 b	85.93±0.70 b	82.03±0.81 b
3	56.85±2.46 b	55.62±2.52 b	63.33±2.39 c	60.24±2.56 c	70.19±1.01 c	64.22±1.16 d
4	59.63±1.97 b	58.95±2.00 b	67.04±1.30 c	65.30±1.35 c	74.07±2.17 c	71.37±2.32 c
5	42.22±1.62 c	41.57±1.65 c	52.22±0.85 d	49.71±0.89 d	58.89±1.49 d	55.69±1.59 e

龄幼虫防效为 89.74%，而对 5 龄幼虫防效为 49.71%；用药 7 d 后，甲维虫螨腈对 1 龄幼虫防效为 93.81%，而对 5 龄幼虫防效为 55.69%；用药后 1、3 和 7 d 均可看出，甲维虫螨腈对 1 龄幼虫的防效均显著高于对其它龄期防效（$P<0.05$），而对 5 龄幼虫防效均显著低于对其它龄期的防效（$P<0.05$）。

2.4 高效氯氟氰菊酯对不同龄期豆天蛾幼虫的防效

高效氯氟氰菊酯对不同龄期豆天蛾幼虫的防效如表 4 所示。对 1-5 龄豆天蛾幼虫用药 1 d 后校正防效范围为 95.81%-87.08%；用药 3 d 后校正防效范围为 99.78%-91.03%；用药 7 d 后校正防效范围为 100%-94.21%。高效氯氟氰菊酯对 5 个龄期幼虫的防效均表明，随着用药时间的增加，高效氯氟氰菊酯的防效不断增强。在用药时长相同时，幼虫龄期增加，对幼虫的防效降低。从表 4 中可看出，用药 1 d 后，高效氯氟氰菊酯对 1 龄幼虫防效为 95.81%，而对 5 龄幼虫防效为 87.08%，但 5 个处理间无显著性差异（$P>0.05$）。用药 3 d 后，高效氯氟氰菊酯对 1 龄幼虫防效为 99.78%，而对 5 龄幼虫防效为 91.03%。用药 7 d 后，高效氯氟氰菊酯对 1 龄幼虫防效为 100%，与对 2 龄防效（99.05%）无显著性差异（$P>0.05$），但显著高于其它处理（$P<0.05$）；而对 5 龄幼虫防效为 94.21%，与对 4 龄幼虫防效（95.71%）无显著差异，但显著低于其它处理（$P<0.05$）。

2.5 吡虫啉对不同龄期豆天蛾幼虫的防效

吡虫啉对不同龄期豆天蛾幼虫的防效如表 5 所示。对 1-5 龄豆天蛾幼虫用药 1 d 后校正防效范围为 59.05%-26.02%；用药 3 d 后校正防效范围为 61.75%-37.43%；用药 7 d 后校正防效范围为 65.48%-41.12%。高效氯氟氰菊酯对 5 个龄期幼虫的防效均表明，随着用药时间的增加，高效氯氟氰菊酯的防效不断增强。在用药时长相同时，幼虫龄期增加，对幼虫的防效降低。从表 5 中可看出，用药 1 d 后，吡虫啉对 1 龄幼虫防效最大，为 59.05%，而对 5 龄幼虫防效最小，为

表 4 高效氯氟氰菊酯对不同龄期豆天蛾幼虫的药效

Table 4 Control effect of Lambda-cyhalothrin on different instar larvae of *Clanis bilineata*

幼虫龄期 Instar of larvae	药后 1 d 1 day after application		药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application	
	虫口减退率（%）Decline rate of larvae (%)	校正防效（%）Correction control effect (%)	虫口减退率（%）Decline rate of larvae (%)	校正防效（%）Correction control effect (%)	虫口减退率（%）Decline rate of larvae (%)	校正防效（%）Correction control effect (%)
1	95.93±2.04 a	95.81±2.07 a	99.81±2.49 a	99.78±2.67 a	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a
2	93.70±4.77 a	93.60±4.82 a	97.96±5.87 ab	97.60±6.37 ab	99.26±3.75 ab	99.05±4.24 ab
3	94.63±9.62 a	94.48±9.76 a	97.59±6.46 ab	97.39±6.73 ab	98.33±5.45 bc	98.00±5.97 bc
4	88.70±1.07 a	88.51±1.08 a	93.70±1.66 bc	93.37±1.70 bc	96.11±1.68 cd	95.71±1.77 cd
5	87.22±2.73 a	87.08±2.75 a	91.48±0.87 c	91.03±0.90 c	94.63±1.46 d	94.21±1.52 d

表 5　吡虫啉对不同龄期豆天蛾幼虫的防效

Table 5　Control effect of Imidacloprid on different instar larvae of *Clanis bilineata*

幼虫龄期 Instar of larvae	药后 1 d 1 day after application		药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application	
	虫口减退率（%） Decline rate of larvae (%)	校正防效（%） Correction control effect (%)	虫口减退率（%） Decline rate of larvae (%)	校正防效（%） Correction control effect (%)	虫口减退率（%） Decline rate of larvae (%)	校正防效（%） Correction control effect (%)
1	60.19±1.30 a	59.05±1.35 a	66.85±2.56 a	61.75±2.87 a	73.15±2.08 a	65.48±2.48 a
2	48.15±1.21 b	47.27±1.24 b	53.70±0.67 b	45.53±0.79 b	61.30±1.06 b	50.59±1.32 b
3	30.56±2.42 c	28.57±2.78 c	36.30±2.26 c	30.92±2.54 c	45.93±2.37 c	35.11±2.96 c
4	28.70±1.03 c	27.50±1.18 c	35.93±1.18 c	32.55±1.27 cd	44.07±1.13 c	38.24±1.28 c
5	26.85±2.08 c	26.02±3.20 c	40.56±0.87 c	37.43±0.93 d	45.37±0.93 c	41.12±1.01 c

26.02%。用药 3 d 后，对 1 龄幼虫防效最大，为 61.75%，而对 5 龄幼虫防效最小，为 37.43%。用药 7 d 后，对 1 龄幼虫防效最大，为 65.48%，而对 5 龄幼虫防效最小，为 41.12%。用药 1、3 和 7 d 后，吡虫啉对 1 龄幼虫防效均显著大于同期其他处理（$P<0.05$）。

从表 2-表 5 还可看出，用药 7 d 后，高效氯氟氰菊酯对 1-5 龄豆天蛾幼虫在 4 种农药中防效最高，而吡虫啉防效却最低。具体表现为，在用药 7 d 后，对豆天蛾 1 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（100%）>敌敌畏（99.76%）>甲维虫螨腈（93.81%）>吡虫啉（65.48%）；对豆天蛾 2 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（99.05%）>敌敌畏（90.31%）>甲维虫螨腈（82.03%）>吡虫啉（50.59%）；对豆天蛾 3 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（98.00%）>敌敌畏（71.59%）>甲维虫螨腈（64.22%）>吡虫啉（35.11%）；对豆天蛾 4 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（95.71%）>敌敌畏（78.53%）>甲维虫螨腈（71.37%）>吡虫啉（38.24%）；对豆天蛾 5 龄幼虫防效高效氯氟氰菊酯（94.21%）>甲维虫螨腈（55.69%）>敌敌畏（55.29%）>吡虫啉（41.12%）。

3　讨论

本文系统探究了敌敌畏、甲维虫螨腈、高效氯氟氰菊酯和吡虫啉 4 种常用杀虫剂对豆天蛾卵的孵化率影响及对幼虫的防效。采用田间试验评价不同药剂对豆天蛾的防效，因药剂和害虫种群均在自然条件下，获得的试验结果更准确。比较了 4 种杀虫剂对豆天蛾卵孵化率、不同龄期幼虫校正防效的差异，得出 4 种农药均可显著降低豆天蛾卵的孵化率；高效氯氟氰菊酯对不同龄期豆天蛾的校正防效在 4 种农药中均达到最大值，而吡虫啉均为最小值，表明豆天蛾对高效氯氟氰菊酯抗性最小，而对吡虫啉有较强的抗性。与之相似地，宋长贵等（2021）研究表明，吡虫啉在最优浓度下对朱砂叶螨的防效为 66.30%，显著低于其它 5 种参试药剂，朱砂叶螨同样对吡虫啉有较强的抗性。

研究发现，经 4 种药剂处理后，随着龄期增长，幼虫对药剂的抗药性存在差异（表 2-表 5）。例如，用敌敌畏处理幼虫 7 d 后，敌敌畏对 1-5 龄幼虫校正防效分别为 99.76%、90.31%、71.59%、78.53%和 55.29%。除 3 和 4 龄所对应的防效差异不显著外，敌敌畏对不同龄期豆天蛾幼虫防效两两间差异显著，即高龄期幼虫对敌敌畏抗性显著高于低龄期的抗性。豆天蛾不同龄期幼虫对其他 3 种药剂的抗性表现与敌敌畏相似。与本研究结果类似地，兰亦全（2004）研究表明，甜菜夜蛾抗性谱广，抗性发展速度快。不同龄期幼虫抗药性存在显著差异，且随着龄期的增长抗药性不断增强。当药剂作用于昆虫后，昆虫能够通过调控其体内解毒代谢酶的活性来降低药剂对自身的损伤（Perry *et al.*，2011；Wan *et al.*，2016），昆虫解毒代谢方面的酶系主要是谷胱甘肽-*S*-转移酶（GST）、羧酸酯酶（CarE）和细胞色素 P450（CYP450）等（王芙蓉和吴薇，2009）。如果昆虫对药剂的解毒代谢能力增强可能会引

发昆虫对药剂抗性增强（French-Constant *et al.*，2007；Li *et al.*，2007）。因此，下步工作要继续开展不同龄期豆天蛾幼虫经药剂处理后体内 3 种解毒酶活性研究，从而揭示幼虫龄期增长农药抗性增强的生理生化机制。

本研究初步探究了几种杀虫剂对豆天蛾卵孵化率的影响和对不同龄期幼虫的田间防效，下步工作还将开展施药后时间推移对田间农药残留量的影响，得出不同药剂对豆天蛾幼虫的有效作用时长，为建立科学施药周期提供参考；还将进行杀虫剂原药对幼虫的室内毒力测定，得到毒力回归曲线，计算致死中浓度、亚致死浓度等指标，系统探究不同药剂亚致死浓度处理幼虫后，幼虫体内 3 种解毒酶在不同时间的活性及相关解毒基因表达情况，从而为豆天蛾幼虫的高效绿色防治提供一定的理论依据。

通过生物防治手段也可有效控制田间豆天蛾为害。核型多角体病毒可特异性感染豆天蛾幼虫，感染后幼虫往往出现倒挂死亡现象（朱姗颖等，2014；李晓峰等，2022）。故下一步工作可深入开展此方面的研究，寻找田间病毒源，测定核型多角体病毒对不同龄期幼虫的致死浓度；在分子角度着手，探究幼虫感染病毒前后转录组差异，筛选差异性表达的功能基因，验证基因功能，解释核型多角体病毒对豆天蛾幼虫的致病机理，为实现核型多角体病毒防治豆天蛾幼虫提供理论依据和技术支撑。

参考文献 (References)

Chen JH, 2004. Preliminary study on the integrated control techniques of *Bactrocera dorsalis* (Hensel). *Entomological Journal of East China*, 13(1): 107–110. [陈景辉, 2004. 桔小实蝇综合防治技术的初步研究. 华东昆虫学报, 13(1): 107–110.]

Fan JW, Sun ZW, Li Q, Wang KJ, Zhang GX, Zhao XJ, Chen F, Guo MM, 2019. Research progress on biological characteristics and application of *Clanis bilineata tsingtauica* population in Lianyungang. *Agricultural Development and Equipment*, 2004(2): 170–172. [樊继伟, 孙中伟, 李强, 王康君, 张广旭, 赵雪君, 陈凤, 郭明明, 2019.豆天蛾连云港种群生物学特性及应用研究进展. 农业开发与装备, 2004(2): 170–172.]

French-Constant RH, 2007. Which came first: Insecticides or resistance? *Trends Genet*, 23(1): 1–4.

Lan YQ, 2004. Resistance and mechanism of *Spodoptera exigua* to pyrethroids. Doctor dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [兰亦全, 2004. 甜菜夜蛾对拟除虫菊酯类杀虫剂抗药性及其机理研究. 博士学位论文. 福州: 福建农林大学.]

Liu KF, 2020. Screening of stomach toxicity insecticides and the effects of detoxifying enzymes activity in *Bactrocera dorsalis* under sublethal doses of three insecticides. Master dissertation. Guangxi: Guangxi University. [刘坤峰, 2020. 橘小实蝇胃毒剂筛选及三种胃毒剂亚致死剂量对解毒酶活性影响. 硕士学位论文. 广西: 广西大学.]

Liu ZH, Li GT, Wu FZ, Wu ZT, 2005. Research Progress of *Clanos bilineata*(walker). *Journal of Anhui Agricultural Science*, 30(6): 1101–1102.[刘志红, 李桂亭, 吴福中, 吴振廷, 2005. 豆天蛾的研究进展. 安徽农业科学, 30(6): 1101–1102.]

Li XF, Chen F, Deng P, Li JL, Fan JW, Guo MM, 2022. Comparison of biological characteristics of different geographical populations of *Clanis bilineata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1428–1435. [李晓峰, 陈凤, 邓盼, 李俊领, 樊继伟, 郭明明, 2022. 豆天蛾不同地理种群若干生物学特征的比较. 应用昆虫学报, 59(6): 1428–1435.]

Li XC, Schuler MA, Berenbaum MR, 2007. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. *Annual Review of Entomology*, 52: 231–253.

Lü F, Liu YS, Wang ZP, Zhang XB, 2006. Advances in production and comprehensive utilization of *Clanis bilineata tsingtauica*. *Entomological Journal of East China*, 15(3): 192–195.[吕飞, 刘玉升, 王振鹏, 张秀波, 2006. 豆天蛾生产与综合利用的研究进展. 华东昆虫学报, 15(3): 192–195.]

Perry T, Batterham P, Daborn PJ, 2011. The biology of insecticidal activity and resistance. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(7): 411–422.

Song CG, Li C, Luo TM, Tan LF, Huang CS, 2021. Field control effect of six insecticides on main pests in mulberry garden. *Guangxi Sericulture*, 58(1): 32–37. [宋长贵, 李超, 罗太明, 谭伦富, 黄传书, 2021. 6 种杀虫剂对桑园主要害虫的田间防效. 广西蚕业, 58(1): 32–37.]

Sun ZW, Fan JW, Wang KJ, Li Q, Guo MM, Zhang GX, Chen F, 2019. Present situation and prospect of larval culture of *Clanis bilineata tsingtauica*. *Agricultural Development and Equipment*, 2019(5): 64–67. [孙中伟, 樊继伟, 王康君, 李强, 郭明明, 张

广旭, 陈凤, 2019. 豆天蛾幼虫养殖现状与展望. 农业开发与装备, 2019(5): 64–67.]

Tian H, 2009. Integrated control measures to the harms of soybean pest *Clanis bilineata tsingtauica* Mell. *Journal of Nanyang Normal University*, 8(6): 58–60. [田华, 2009. 大豆害虫豆天蛾的危害与综合防治. 南阳师范学院学报, 8(6): 58–60.]

Tian H, Zhang YM, 2009. Advances of integrated utilization on resource insect *Clanis bilineata tsingtauica*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 37(6): 111–113. [田华, 张义明, 2009. 资源昆虫豆天蛾综合利用研究进展. 贵州农业科学, 37(6): 111–113.]

Wan H, Zhan S, Xia XD, Xu PF, You H, Jin BR, Li JH, 2016. Identification and functional characterization of an epsilon glutathione S-transferase from the beet armyworm (*Spodoptera exigua*). *Pesticide Biochemistry and Physiolog*, 132: 81–88.

Wang FR, Wu W, 2009. Overview of insect resistance mechanisms in insecticides. *Shaanxi Agricultural Science* , 55(2): 109–111. [王芙蓉, 吴薇, 2009. 昆虫对杀虫剂的抗性机制概述. 陕西农业科学, 55(2): 109–111.]

Wang PS, Cao MX, Qiao Y, Yue J, Zhang JL, Dong J, Wang ZM, 2017. Control effect of six insecticides on Lepidoptera pests in cauliflower field. *China Plant Protection Guide*, 37(1): 62–65. [王品舒, 曹名鑫, 乔岩, 岳瑾, 张金良, 董杰, 王泽民, 2017. 6 种杀虫剂对花椰菜田鳞翅目主要害虫的防效. 中国植保导刊, 37(1): 62–65.]

Xi JH, Chen YJ, Zhang XR, 2000. A list of Sphingidae in Jilin province. *Journal of Jilin Agricultural University*, 22(2): 38–40. [席景会, 陈玉江, 张秀荣, 2000. 吉林省天蛾科昆虫名录. 吉林农业大学学报, 22(2): 38–40.]

Yan MH, 2001. *Clanis bilineata tsingtauica*-feed. *Journal of Biolog*, 18(2): 33. [闫茂华, 2001. 豆天蛾的人工饲养. 生物学杂志, 18(2): 33.]

Zhu SY, Wu XQ, Ge JJ, *He HG*, Wang WB, 2014. Functional analysis of photolyase genes from *Clanis bilineata* nucleopolyhedrovirus and *Theretra japonica* nucleopolyhedrovirus. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 30(6): 1299–1303. [朱姗颖, 吴晓倩, 葛娇娇, 何华纲, 王文兵, 2014. 豆天蛾核型多角体病毒和雀纹天蛾核型多角体病毒光解酶基因的功能鉴定. 江苏农业学报, 30(6): 1299–1303.]