

# 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫的防治效果及解毒酶活性的影响

任美凤<sup>1</sup>, 董晋明<sup>1</sup>, 李大琪<sup>1</sup>, 畅建武<sup>2</sup>, 郝晓娟<sup>1</sup>, 陆俊姣<sup>1\*</sup>

(1. 山西农业大学植物保护学院, 农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 太原 030031;

2. 山西省农业科学院农作物品种资源研究所, 太原 030031)

**摘要** 为明确不同种衣剂对华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Melolonthidae) 幼虫的防治效果和对解毒酶活性的影响, 本文通过室内盆栽接虫试验, 研究不同种衣剂对红芸豆的安全性和对华北大黑鳃金龟幼虫的防治效果, 采用酶动力学法检测不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫解毒酶的影响。盆栽试验结果表明: 4 种种衣剂对红芸豆均安全, 显著降低了红芸豆种子被害指数, 提高了出苗率和根重; 40% 溴酰·噻虫嗪悬浮种衣剂 (FSC) 对华北大黑鳃金龟幼虫防治效果最高, 为 74.81%, 50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 次之, 为 60.65%, 二者之间差异不显著。酶动力学结果表明: 处理 48 h 后 40% 溴酰·噻虫嗪 FSC、50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 抑制华北大黑鳃金龟幼虫谷胱甘肽 S-转移酶活力, 72~96 h 后与对照相比无显著差异; 处理 48 h 后 600 g/L 吡虫啉 FSC 抑制谷胱甘肽 S-转移酶活力, 96 h 后其活性显著高于对照; 处理 48~72 h 后 50% 吡虫·硫双威 FSC 对该酶活力的影响与对照相比无显著差异, 96 h 后其活性显著高于对照。4 种种衣剂对羧酸酯酶活力影响均表现为处理 48 h 后激活, 72 h 后抑制, 96 h 后 50% 吡虫·硫双威 FSC 和 40% 溴酰·噻虫嗪 FSC 对其作用不明显, 600 g/L 吡虫啉 FSC 和 50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 对其有激活作用。

**关键词** 华北大黑鳃金龟; 种衣剂; 防治效果; 解毒酶; 红芸豆

**中图分类号:** S 435.29 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019690

## Control efficacies of different kinds of seed-coatings and their effects on the activity of detoxification enzymes in *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Melolonthidae)

REN Meifeng<sup>1</sup>, DONG Jinming<sup>1</sup>, LI Daqi<sup>1</sup>, CHANG Jianwu<sup>2</sup>, HAO Xiaojuan<sup>1</sup>, LU Junjiao<sup>1\*</sup>

(1. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Taiyuan 030031, China; 2. Institute of Crop Germplasm Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

**Abstract** To determine the control efficiencies of different seed-coatings on *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Melolonthidae) and their effects on detoxifying enzymes, the pot tests were adopted to determine the safety of these seed-coatings on red kidney beans and their control efficiencies on *H. oblita*; the enzyme kinetic method was used to detect their effects on the activity of detoxification enzymes in *H. oblita*. The results of pot tests showed that four kinds of seed-coatings were all safe for the red kidney bean, which significantly increased the emergence rate and root weight and reduced the seed damage index. The control effects of cyantraniliprole·thiamethoxam 40% FSC was most effective (74.81%), followed by chlorantraniliprole 50% FSC (60.65%), without significant difference between the two treatments. The results of enzyme kinetic tests showed that cyantraniliprole·thiamethoxam 40% FSC, chlorantraniliprole 50% FSC inhibited glutathione S-transferase activity 48 h after treatment, but no significant change with control after 72—96 h. Imidacloprid 600 g/L FSC inhibited glutathione

收稿日期: 2019-12-13 修订日期: 2020-03-13

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201807, 2018YFD0200404, 2019YFC1710802-5); 公益性行业(农业)科研专项(201503124); 山西省农业科学院特色农业技术攻关项目(YGG17108); 山西省重点研发项目(201803D221012-1)

\* 通信作者 E-mail: lujunjiao@126.com

S-transferase activity 48 h after treatment but significantly increased glutathione S-transferase activity after 96 h compared with control. Thiodicarb · imidacloprid 50% FSC had no significant difference on glutathione S-transferase activity 48–72 h after treatment compared with control, but significantly increased glutathione S-transferase activity after 96 h compared with control. The activity of carboxyl esterase was induced 48 h after treatment but inhibited 72 h after treated with four kinds of seed-coatings; after 96 h, thiodicarb · imidacloprid 50% FSC and cyantraniliprole · thiamethoxam 40% FSC had no obvious effects, while imidacloprid 600 g/L FSC and chlorantraniliprole 50% FSC had an activation effect.

**Key words** *Holotrichia obliqua*; seed-coating; control efficacy; detoxification enzyme; red beans

红芸豆,学名菜豆 *Phaseolus vulgaris* L.,经济价值较高,是山西小杂粮出口创汇的主要品种之一,每年出口量约 3 万 t,占中国红芸豆出口总量的 40% 以上<sup>[1]</sup>。农业生产中,根腐病严重危害红芸豆种植。由于蛴螬为害损坏种子,咬食根系,加剧病原菌入侵<sup>[2]</sup>,加重根腐病的发生,导致经济效益受损,降低农民种植的积极性。加之全球气候变暖及耕作模式的变化,导致地下害虫虫口基数加大,为害时期加长<sup>[3]</sup>。如何科学、高效防控蛴螬是当前红芸豆生产中急需解决的关键问题。

华北大黑鳃金龟 *Holotrichia obliqua* 是土栖性金龟子的优势种之一,是华北旱作区重要的地下害虫<sup>[4]</sup>,其幼虫(蛴螬)取食发芽种子和根系,食性广,为害重,为害时间长,防治非常困难<sup>[5]</sup>。目前,生产中对蛴螬的防治主要采用农药沟施、撒毒土、灌根、毒饵诱杀等方法<sup>[6]</sup>,费时费工,劳动成本较高。防治药剂主要是有机磷类、氨基甲酸酯类以及苯基吡唑类等传统药剂,如:克百威、甲拌磷、毒死蜱等<sup>[2,7–9]</sup>,此类药剂具有剧毒或高残留,被限制使用或禁止使用,导致市场上用于防治蛴螬的药剂比较缺乏<sup>[10–11]</sup>。因此,急需精准的施药方式和绿色、安全、高效的化学药剂。

种子包衣靶向性强,农药利用率高,保证有限的农药成分集中作用于种子和根部,精准化防治蛴螬,减少农药施用量,相比传统防治方法省时省力<sup>[12]</sup>。李进荣等<sup>[13]</sup>研究发现,噻虫嗪和吡虫啉种衣剂对大豆田蛴螬具有 75% 左右的防效;刘煜财等<sup>[14]</sup>研究表明氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪种衣剂对花生田蛴螬具有较高防效,但由于红芸豆对多种药剂敏感,目前尚无关于红芸豆田蛴螬防治药剂的相关研究。本研究选取 4 种悬浮种衣剂,采用室内盆栽方法,研究其对红芸豆的安全性和对华北大黑鳃金龟幼虫的防治效果,为其防治提供科学用药参考;采用酶学动力学测定对其解毒酶的影响,为华北大黑鳃金龟幼虫解毒机制的研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试昆虫:华北大黑鳃金龟成虫采自山西省汾阳市,室内饲养待其产卵,将卵放入装满灭菌土的培养皿中,保持土壤湿度 15% 左右,放于人工气候箱内,在温度(25±0.5)℃、光周期 L//D=16 h//8 h 的条件下饲养,待其孵化后,单头饲养,选择整齐一致的 3 龄幼虫待用。

供试作物:红芸豆,品种为‘品金芸 3 号’,由山西省农业科学院品种资源研究所提供。

供试药剂及仪器设备:50% 氯虫苯甲酰胺悬浮种衣剂(chlorantraniliprole)由美国杜邦公司提供;600 g/L 吡虫啉悬浮种衣剂(imidacloprid)由拜耳作物科学(中国)有限公司提供;40% 溴氰·噻虫嗪悬浮种衣剂(cyantraniliprole · thiamethoxam)(20% 溴氰虫酰胺,20% 噻虫嗪)由瑞士先正达作物保护有限公司提供;50% 吡虫·硫双威悬浮种衣剂(imidacloprid · thiodicarb)(37.5% 硫双威,12.5% 吡虫啉)由江苏龙灯化学有限公司提供;十二烷基硫酸钠、 $\alpha$ -萘酚、固蓝 B 盐、 $\alpha$ -乙酸萘酯、丙酮、还原性谷胱甘肽、1,2,4-二硝基苯、考马斯亮蓝 G-250 等购于生物工程(上海)股份有限公司。所用设备主要是 synergy HT 多功能酶标仪,美国佰腾仪器有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 供试药剂的防虫效果及种子被害情况评价

播种前,按各药剂的推荐使用剂量确定包衣量,本试验中 50% 氯虫苯甲酰胺 FSC、600 g/L 吡虫啉 FSC、40% 溴氰·噻虫嗪 FSC、50% 吡虫·硫双威 FSC 的包衣量分别为 3、4、3、4 mL/kg。先将各个药剂按剂量调成浆状液,然后将红芸豆种子和药液倒入塑料袋中充分翻拌,待种子均匀着药后,倒出摊开置于通风处,晾干后备用。空白对照(CK)用清水拌

种,方法同上。

试验共设 5 个处理,3 次重复,每个重复 10 盆(11.5 cm×17 cm×12 cm)。每盆播种大小均匀种子 3 粒,播深 4~5 cm,室温栽培,播时每盆接华北大黑鳃金龟 3 龄幼虫 1 头。播种 30 d 后,调查各处理种子被害情况、活虫数量,并测量豆苗的株高、根长、鲜重、干重等。被害情况分级标准如下:0 级,完好无损;1 级,种子被咬食 5% 以下;2 级,5%≤种子被咬食<10%;3 级,10%≤种子被咬食<25%;4 级,25%≤种子被咬食<50%;5 级,50%≤种子被咬食<sup>[14]</sup>。根据以下公式计算种子被害指数、虫口存活率和防治效果。

种子被害指数 =  $\sum(\text{各级被害株数} \times \text{相对级值}) / (\text{调查总株数} \times 5) \times 100$ ;

虫口存活率 =  $\text{处理后虫口数} / \text{处理前虫口数} \times 100\%$ ;

防治效果 =  $(\text{对照虫口存活率} - \text{药剂处理虫口存活率}) / \text{对照虫口存活率} \times 100\%$ 。

### 1.2.2 供试药剂对华北大黑鳃金龟幼虫谷胱甘肽 S-转移酶(GSTs)活性的影响

试验共设 5 个处理,将不同包衣处理的种子置于牙签盒内(每盒 3 颗种子)并放入相同体积的土壤(约占牙签盒体积 2/3),单头饲养华北大黑鳃金龟幼虫,分别于 48、72、96 h 后收集试虫,用去离子水清洗,吸水纸吸干水分,制备酶源。

取处理后试虫 5 头,称重,置于预冷的研钵中,按照 1:2(m/V) 比例加入预冷的 pH 为 7.0 的 66 mmol/L 磷酸缓冲液,冰浴条件下研磨匀浆,于 4℃,12 000 r/min 冷冻离心 20 min,用纱布过滤得上清液,再 4℃,12 000 r/min 冷冻离心 10 min,取上清液备用,用 66 mmol/L pH 7.0 的磷酸缓冲液稀释 50 倍作为待测酶液。

参照 Habig 等<sup>[15]</sup>的方法并加以改进,取 100 μL 酶液,加入 1.3 mL 66 mmol/L 的磷酸缓冲液(pH 7.0),加入 150 μL 50 mmol/L 还原性谷胱甘肽溶液,50 μL 0.03 mol/L CDNB,放入 24 孔板中,迅速混匀后于 340 nm 测出 5 min 内每隔 1 min 的 OD 值变化;对照组不加入酶液,缓冲液加 1.4 mL,其他试剂体积不变,如前述测定 OD 值的变化。依照公式计算酶活力。

GSTs 酶活力 =  $[\text{OD}/(\epsilon \times L)] \times V_{\text{反应}} / (c \times V_{\text{样品}})$ ;  
GSTs 酶活力单位为 μmol/(mg·min),OD 为每分

钟吸光度变化值,ε 为产物的消光系数  $[9.6 \times 10^3 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})]$ ,L 为光程(cm), $V_{\text{反应}}$  为测定酶活反应体积,c 为酶源中蛋白的质量浓度(mg/mL), $V_{\text{样品}}$  为酶液体积。

### 1.2.3 供试药剂对华北大黑鳃金龟幼虫羧酸酯酶(CarE)活性的影响

试验处理如 1.2.2,取处理后试虫 5 头,称重,置于预冷的研钵中,按照 1:2(m/V) 比例加入预冷的 pH 为 7.0 的 0.04 mol/L 磷酸缓冲液,冰浴条件下研磨匀浆,于 4℃,12 000 r/min 冷冻离心 20 min,用纱布过滤得上清液,再 4℃,12 000 r/min 冷冻离心 10 min,取上清液备用,用 0.04 mol/L pH 7.0 的磷酸缓冲液稀释 50 倍作为待测酶液。

参照 Van Aspern 等<sup>[16]</sup>的方法并加以改进,取 0.5 mL 酶源,2.5 mL  $3 \times 10^{-4}$  α-乙酸萘酯,30℃ 恒温水浴 30 min 后,加入 0.5 mL 显色剂,于室温静置 30 min,在波长 600 nm 下测定 OD 值。以 α-萘酚制作标准曲线,根据酶源蛋白含量测定结果,计算 CarE 活力[μmol/(mg·min)]。

### 1.2.4 蛋白含量测定

采用考马斯亮蓝(G-250)法<sup>[17]</sup>进行测定。

## 1.3 数据处理

采用 SPSS 21.0 对数据统计分析,处理间差异采用单因素方差分析,用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种衣剂对红芸豆出苗及生长的影响

4 种种衣剂均对红芸豆安全,且显著提高了出苗率、根鲜重和根干重(表 1)。与对照相比,出苗率均显著增加 40 个百分点左右;根鲜重显著增加 50.00%~135.29%,50%吡虫·硫双威 FSC 和 600 g/L 吡虫啉 FSC 增幅最高,为 135.29%,50%氯虫苯甲酰胺 FSC 次之,为 88.24%,40%溴酰·噻虫嗪 FSC 增幅较低,为 50.00%;根干重显著增加 66.67%~133.33%,50%吡虫·硫双威 FSC 增幅最大,为 133.33%,600 g/L 吡虫啉 FSC 和 50%氯虫苯甲酰胺 FSC 次之,均为 100%,40%溴酰·噻虫嗪 FSC 增幅较低,为 66.67%。600 g/L 吡虫啉 FSC 和 50%吡虫·硫双威 FSC 可显著提高红芸豆的茎鲜重,其他 2 种种衣剂对其无显著性影响。50%吡虫·硫双威 FSC 和 40%溴酰·噻虫嗪 FSC 可显著提高红

芸豆的株高,其他 2 种种衣剂对其无显著性影响。4 种种衣剂对红芸豆的茎干重均无显著影响。

表 1 不同种衣剂对红芸豆出苗率(播后 15 d)及生长的影响(播后 30 d)<sup>1)</sup>

Table 1 Effects of different seed-coatings on the emergence rate (15 d after sowing) and growth of red beans (30 d after sowing)

| 处理<br>Treatment                                     | 根鲜重/g<br>Root fresh weight | 根干重/g<br>Root dry weight | 茎鲜重/g<br>Stem fresh weight |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 50%氯虫苯甲酰胺 FSC chlorantraniliprole 50% FSC           | (0.64±0.02)b               | (0.06±0.00)ab            | (2.43±0.12)c               |
| 600 g/L 吡虫啉 FSC imidacloprid 600 g/L FSC            | (0.80±0.01)a               | (0.06±0.00)ab            | (3.11±0.00)a               |
| 40%溴酞·噻虫嗪 FSC cyantraniliprole·thiamethoxam 40% FSC | (0.51±0.03)c               | (0.05±0.01)b             | (2.62±0.24)bc              |
| 50%吡虫·硫双威 FSC imidacloprid·thiodicarb 50% FSC       | (0.80±0.01)a               | (0.07±0.01)a             | (2.84±0.06)ab              |
| 对照 CK                                               | (0.34±0.01)d               | (0.03±0.00)c             | (2.28±0.06)c               |
| 处理<br>Treatment                                     | 茎干重/g<br>Stem dry weight   | 株高/cm<br>Plant height    | 出苗率/%<br>Emergence rate    |
| 50%氯虫苯甲酰胺 FSC chlorantraniliprole 50% FSC           | (0.25±0.03)a               | (19.30±0.71)ab           | (92.22±4.84)a              |
| 600 g/L 吡虫啉 FSC imidacloprid 600 g/L FSC            | (0.24±0.03)a               | (18.29±0.44)b            | (91.11±2.22)a              |
| 40%溴酞·噻虫嗪 FSC cyantraniliprole·thiamethoxam 40% FSC | (0.24±0.02)a               | (20.539±0.32)a           | (90.00±1.92)a              |
| 50%吡虫·硫双威 FSC imidacloprid·thiodicarb 50% FSC       | (0.23±0.01)a               | (21.00±0.57)a            | (94.44±2.94)a              |
| 对照 CK                                               | (0.21±0.01)a               | (17.71±0.99)b            | (54.45±7.78)b              |

1) 表中数据均为平均值±标准差。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。下同。  
The data are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same applies below.

2.2 不同种衣剂的防治效果及保种效果

如表 2 所示,40%溴酞·噻虫嗪 FSC 防治效果最好,为 74.81%,50%氯虫苯甲酰胺 FSC 次之,为 60.65%,二者差异不显著;50%吡虫·硫双威 FSC 和 600 g/L 吡虫啉 FSC 防治效果较低,分别为 29.32%、19.23%,其中 50%吡虫·硫双威 FSC 与 50%氯虫苯甲酰胺 FSC 差异不显著。

4 种种衣剂显著降低红芸豆种子被害指数,降

幅为 70.18%~74.92%。600 g/L 吡虫啉 FSC 种子被害指数最低,为 6.96,40%溴酞·噻虫嗪 FSC 种子被害指数次之,为 8.25,二者差异不显著;50%吡虫·硫双威 FSC 和 50%氯虫苯甲酰胺 FSC 次之,分别为 11.19、11.70,但与 40%溴酞·噻虫嗪 FSC 差异不显著。

4 种种衣剂都可显著抑制华北大黑鳃金龟幼虫的生长,平均体重减轻 0.07~0.21 g,而空白对照体重平均增加 0.14 g。

表 2 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫生长的影响和防治效果(播后 30 d)

Table 2 Effects of different seed-coatings on the growth of *Holotrichia oblita* and their control efficacies (30 d after sowing)

| 处理<br>Treatment                                     | 防治效果/%<br>Control efficacy | 种子被害指数<br>Damage index of seeds | 蛴螬重量平均变化量/g<br>Change in insect weight |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| 50%氯虫苯甲酰胺 FSC chlorantraniliprole 50% FSC           | (60.65±15.05)ab            | (11.70±0.59)b                   | (-0.16±0.033)b                         |
| 600 g/L 吡虫啉 FSC imidacloprid 600 g/L FSC            | (19.23±9.15)c              | (6.96±0.53)c                    | (-0.21±0.066)b                         |
| 40%溴酞·噻虫嗪 FSC cyantraniliprole·thiamethoxam 40% FSC | (74.81±9.96)a              | (8.25±1.47)bc                   | (-0.07±0.028)b                         |
| 50%吡虫·硫双威 FSC imidacloprid·thiodicarb 50% FSC       | (29.32±9.52)bc             | (11.19±1.22)b                   | (-0.11±0.018)b                         |
| 对照 CK                                               | —                          | (81.88±2.78)a                   | (0.14±0.033)a                          |

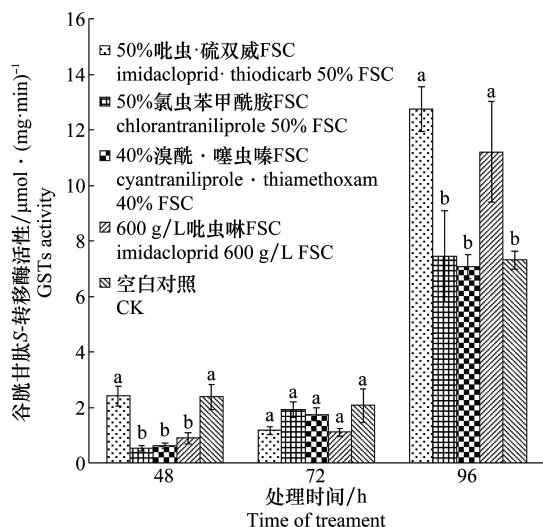
2.3 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫解毒酶活性的影响

2.3.1 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫谷胱甘肽 S-转移酶(GSTs)活性的影响

如图 1 所示,经 50%氯虫苯甲酰胺 FSC 和 40%溴酞·噻虫嗪 FSC 处理 48 h 时,华北大黑鳃金龟幼虫体内谷胱甘肽 S-转移酶活力显著低于对照,72、96 h 后酶活逐渐上升,与对照差异不显著。经

600 g/L 吡虫啉 FSC 处理 48 h 时 GSTs 酶活显著低于对照,72、96 h 时逐渐提升,96 h 时显著高于对照。经 50%吡虫·硫双威 FSC 处理 48 h 和 72 h, GSTs 酶活力与对照无显著差异;96 h 时显著高于对照。结果说明:40%溴酞·噻虫嗪 FSC、50%氯虫苯甲酰胺 FSC 和 600 g/L 吡虫啉 FSC,在 48 h 均可显著降低谷胱甘肽 S-转移酶酶活以起到毒杀作用,但随着处理时间的延长,谷胱甘肽 S-转移酶

活力均逐渐升高,且600 g/L吡虫啉 FSC 对其诱导作用较显著;600 g/L 吡虫啉 FSC 和 50%吡虫·硫双威 FSC 处理 96 h 均可诱导华北大黑鳃金龟幼虫提高谷胱甘肽 S-转移酶酶活以降解杀虫剂增加存活率。



不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平差异显著。下同

Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same applies below

图1 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫谷胱甘肽 S-转移酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different seed-coatings on glutathione S-transferase activity in *Holotrichia obliqua*

### 2.3.2 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫羧酸酯酶 (CarE) 活性的影响

如图2所示,4种药剂处理48 h后华北大黑鳃金龟幼虫羧酸酯酶活性均显著高于对照;处理72 h后,各处理 CarE 酶活性均显著低于对照;处理96 h后 CarE 酶活性均大于等于对照,其中50%氯虫苯甲酰胺 FSC、600 g/L 吡虫啉 FSC 显著高于对照,50%吡虫·硫双威 FSC、40%溴酞·噻虫嗪 FSC 与对照差异不显著。结果说明:处理48、72 h后,4种种衣剂对羧酸酯酶活性表现为先激活后抑制;96 h时50%吡虫·硫双威 FSC 和40%溴酞·噻虫嗪 FSC 对羧酸酯酶活性作用不明显,600 g/L吡虫啉 FSC 和50%氯虫苯甲酰胺 FSC 对其有激活作用。酶活的波浪形变化曲线表明,华北大黑鳃金龟幼虫动态调整羧酸酯酶酶活以抵抗4种种衣剂的不良胁迫作用。

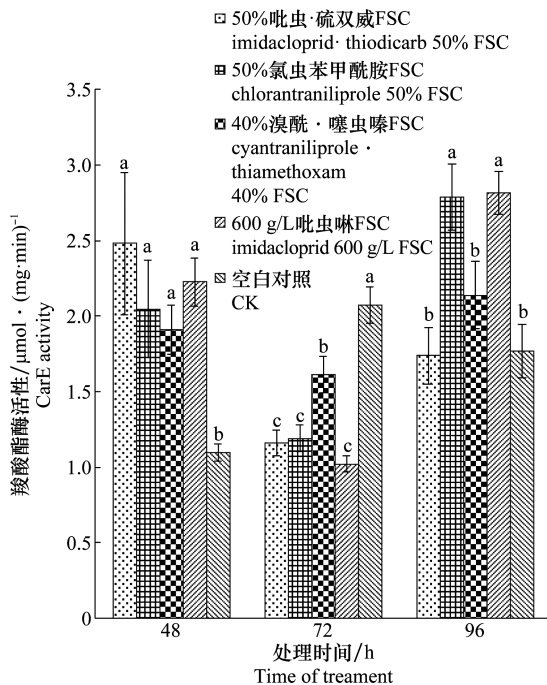


图2 不同种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫羧酸酯酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different seed-coatings on carboxylesterase activity in *Holotrichia obliqua*

## 3 讨论

目前,国内外关于红芸豆的研究主要集中于营养价值开发和品种选育,种衣剂的研究甚少。高效种衣剂推广应用的前提和关键是对作物的安全性,本研究结果表明,4种种衣剂均对红芸豆安全,能显著提高其出苗率、根鲜重和根干重。段强等<sup>[18]</sup>研究发现吡虫啉种衣剂促进玉米根长、根数等增加;尚栋亮等<sup>[19]</sup>使用40%溴酞·噻虫嗪 FSC 对玉米种子包衣,发现其促进玉米生长,对幼苗生长安全无害;何发林等<sup>[10]</sup>经研究证实2.40、3.20 g/kg 种子剂量的氯虫苯甲酰胺对花生出苗安全,以上研究均与本研究结果一致。

王猛等<sup>[20]</sup>研究发现,溴氰虫酰胺对甜菜夜蛾、玉米螟和小地老虎的毒力比氯虫苯甲酰胺高,与噻虫嗪复配后增加杀虫谱,提高防虫效果,与本研究结果相似,40%溴酞·噻虫嗪 FSC 防效最高,为74.81%,50%氯虫苯甲酰胺 FSC 次之,为60.65%。何发林等<sup>[3,10]</sup>经室内盆栽和大田试验证实了高剂量氯虫苯甲酰胺对玉米和花生地下害虫的防效高于吡虫啉,在本研究中也得到验证,50%氯虫苯甲酰胺

FSC 防治效果显著高于吡虫啉。复配种衣剂的防治效果高于单剂,与前人研究结果一致,50% 吡虫·硫双威 FSC 防效高于 600 g/L 吡虫啉 FSC,并且能够有效减缓抗性的发展进程。因此在生产中应首选复配制剂防治华北大黑鳃金龟幼虫。本研究中,4 种种衣剂对华北大黑鳃金龟幼虫的防治效果较其他研究低,可能是因为试验用虫虫龄较大,抵抗力较强,需在田间进行进一步试验。

近年来,山西省红芸豆根腐病发生较为严重,分析其原因,主要是由于连茬种植,导致病原菌数量增多,其次是由于土壤中地下害虫数量逐年累积,咬食种子及根部,增加病原菌入侵机会,进而增加根腐病发病率,因此,降低蛴螬为害率对防治根腐病具有重要意义。本研究中,4 种种衣剂显著降低红芸豆种子被害指数,究其原因可能是由于吡虫啉对蛴螬有驱避作用<sup>[21-22]</sup>或者氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺作用于鱼尼丁受体,破坏昆虫的肌肉收缩功能,导致其出现拒食现象,进而降低对种子的危害程度。建议在蛴螬发生严重的地块选用 40% 溴酰·噻虫嗪 FSC 和 50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 2 种种衣剂,在发生较轻的地方选择 50% 吡虫·硫双威 FSC 和 600 g/L 吡虫啉 FSC 2 种种衣剂,降低蛴螬为害率,减少病原菌入侵机会。

当昆虫受到化学药剂胁迫时,会调节体内的解毒酶活性来抵御逆境胁迫毒害,而使其存活。何发林等<sup>[23]</sup>发现,溴氰虫酰胺可提高小地老虎体内谷胱甘肽 S-转移酶的活性,但对羧酸酯酶活性表现为前期诱导后期抑制,而余慧灵等<sup>[24]</sup>报道溴氰虫酰胺对甜菜夜蛾幼虫体内解毒酶活性有不同程度的抑制作用。本研究中,4 种种衣剂对两种解毒酶的影响也不相同。40% 溴酰·噻虫嗪 FSC、50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 和 600 g/L 吡虫啉 FSC,在 48 h 对谷胱甘肽 S-转移酶活力的影响均表现为抑制作用,随着处理时间的延长,96 h 时 600 g/L 吡虫啉 FSC 和 50% 吡虫·硫双威 FSC 诱导其活性显著增加。处理 48、72 h 后,4 种种衣剂对羧酸酯酶活性表现为先激活后抑制;96 h 时 50% 吡虫·硫双威和 40% 溴酰·噻虫嗪 FSC 对羧酸酯酶活性作用不明显,600 g/L 吡虫啉 FSC 和 50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 对其有激活作用。说明不同药剂可能由于作用方式、作用机理不同,而对同种昆虫相同或不同解毒酶有不同影响,昆虫调节不同解毒酶应对不同药剂胁迫。因此,在生产中用药时一定要轮换使用,减缓抗性的产生,提高防效。

综上所述,4 种种衣剂可显著降低种子被害指数,增加出苗率,促进植物根系生长,并且 40% 溴酰·噻虫嗪 FSC 和 50% 氯虫苯甲酰胺 FSC 对华北大黑鳃金龟幼虫具有良好的防治效果。建议在红芸豆生产中根据虫情针对性推广应用,并与其他药剂轮换使用,以期对根腐病综合防控提供技术参考,为红芸豆高效种植提供技术支撑。

## 参考文献

- [1] 任美凤,陆俊姣,李大琪,等. 4 种种衣剂对红芸豆根腐病的防治效果[J]. 中国农学通报, 2019, 35(24): 133-137.
- [2] 张美翠,尹姣,李克斌,等. 地下害虫蛴螬的发生与防治研究进展[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(10): 20-28.
- [3] 何发林,孙石昂,于灏泳,等. 氯虫苯甲酰胺拌种对 3 种玉米地下害虫的防治效果[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 253-261.
- [4] 李晓峰,曹雅忠,尹姣,等. 华北大黑鳃金龟植物源引诱剂配方筛选及引诱效果[J]. 植物保护学报, 2020, 47(1): 35-45.
- [5] 马艳华,李雪,曹雅忠,等. 华北大黑鳃金龟幼虫对 3 种寄主植物根系分泌物的趋性反应[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3838-3846.
- [6] 王淑枝,刘顺通,段爱菊,等. 不同药剂对铜绿丽金龟卵和幼虫室内药效及毒力测定[J]. 山西农业科学, 2014, 42(6): 603-605.
- [7] 刘小民,郭巍,李瑞军,等. 12 种药剂对蛴螬的田间药效评价[J]. 花生学报, 2010, 39(3): 12-15.
- [8] 宋化稳,陈泽龙,杨来景. 13 种杀虫剂对暗黑蛴螬的毒力研究[J]. 农药科学与管理, 2002(2): 23-24.
- [9] 雷书声,杨爱梅,韩桂中,等. 30% 甲拌磷粉剂对甘薯地下害虫的防效[J]. 农药, 1990(2): 61.
- [10] 何发林,姜兴印,尚佃龙,等. 氯虫苯甲酰胺种子处理对花生地上及地下害虫的防治效果[J]. 植物保护学报, 2019, 46(1): 239-248.
- [11] 郭庆海,吕卫东,张秀成,等. 2 种种衣剂拌种对马铃薯蛴螬的防治效果[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(5): 54-58.
- [12] 袁会珠. 种子包衣优势分析及有效规避药害研究[J]. 种子科技, 2016, 34(11): 106-107.
- [13] 李进荣,王家军,于佰双,等. 6 种药剂对大豆田蛴螬的田间药效试验[J]. 大豆科技, 2017(5): 19-23.
- [14] 刘煜财,张伟,张金花,等. 8 种药剂对花生蛴螬的田间防效及安全性评价[J]. 东北农业科学, 2016, 41(5): 76-78.
- [15] HABIG W H, PABST M J, JAKOBY W B. Glutathione S-transferases: the first enzymatic step in mercapturic acid formation [J]. Journal of Biological Chemistry, 1974, 249(22): 7130-7139.
- [16] VAN ASPEREN K. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method [J]. Journal of Insect Physiology, 1962, 8(4): 401-416.
- [17] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quan-

tification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72: 248–254.

- [18] 段强, 赵国玲, 姜兴印, 等. 吡虫啉拌种对玉米种子活力及其幼苗生长的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 63–69.
- [19] 尚栋亮, 于慧敏, 张金良, 等. 鲜食玉米种子包衣对地下害虫的防控以及苗期生长发育的影响[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(1): 31–36.
- [20] 王猛, 王凯, 刘峰, 等. 溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺对三种鳞翅目害虫的毒力作用比较[J]. 植物保护学报, 2014, 41(3): 360–366.
- [21] 管磊, 任玉鹏, 王晓坤, 等. 四种新烟碱类杀虫剂种子包衣对

花生安全性及防治蛴螬效果评价[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(3): 344–348.

- [22] GREWAL P S, POWER K T, SHETTLAR D J. Neonicotinoid insecticides alter diapause behavior and survival of overwintering white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) [J]. Pest Management Science, 2001, 57(9): 852–857.
- [23] 何发林, 姜兴印, 尚佃龙, 等. 溴氰虫酰胺胁迫对小地老虎保护酶和解毒酶活性的诱导效应[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 90–96.
- [24] 余慧灵, 向兴, 袁贵鑫, 等. 溴氰虫酰胺亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育及体内解毒酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2015, 58(6): 634–641.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 121 页)

- [8] 郭井菲, 何康来, 王振营. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 361–369.
- [9] 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 等. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 13–18.
- [10] JUÁREZ M L, SCHÖFL G, VERA M T, et al. Population structure of *Spodoptera frugiperda* maize and rice host forms in South America: are they host strains? [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2014, 152(3): 182–199.
- [11] DUMAS P, LEGEI F, LEMAITRE C, et al. *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two host strains or two distinct species? [J]. Genetica, 2015, 143(3): 305–316.
- [12] 吴正伟, 师沛琼, 曾永辉, 等. 3 种寄主植物饲养的草地贪夜蛾种群生命表[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 59–64.
- [13] 李定银, 邹军锐, 张涛, 等. 草地贪夜蛾对 4 种寄主植物的偏好性[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 50–54.
- [14] MURÚA M G, VERA M T, ABRAHAM S, et al. Fitness and mating compatibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations from different host plant species and regions in Argentina [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2008, 101(3): 639–649.
- [15] SCHEUNEMANN T, MANICA B R, NÖRNBERG S D, et al. Biology and fertility life tables for *Palpita forficifera* (Lepidoptera: Crambidae) reared on three olive cultivars and privet [J]. Journal of Economic Entomology, 2019(1): 450–456.
- [16] HE Limei, WANG Tengli, CHEN Yuchao, et al. Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(2): 2–10.
- [17] 鲁智慧, 和淑琪, 严乃胜, 等. 温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 27–31.
- [18] 喜超, 姜玉英, 木霖, 等. 草地贪夜蛾在云南的潜在适生区分析及经济损失预测[J]. 南方农业学报, 2019, 50(6): 1226–1233.
- [19] 林伟, 徐森锋, 权永兵, 等. 基于 MaxEnt 模型的草地贪夜蛾

适生性分析[J]. 植物检疫, 2019, 33(4): 69–73.

- [20] 姚苗苗, 杨茂发, 武承旭, 等. 不同寄主植物对斜纹夜蛾生长发育的影响[J]. 广东农业科学, 2016, 43(1): 93–97.
- [21] 李引, 冷春蒙, 胡迪, 等. 不同寄主植物对小菜蛾生长发育和繁殖的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(3): 475–480.
- [22] 范锦胜, 张李香, 王贵强, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾种群动态的影响[J]. 植物保护, 2012, 38(4): 33–37.
- [23] KARBAN R, AGRAWAL A A. Herbivore offense [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2002, 33: 641–664.
- [24] CHELSEA G T, LAUREN L K, JULIO S. B. Plant defense against fall armyworm in micro-sympatric maize (*Zea mays* ssp. *mays*) and Balsas teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2012, 145(3): 191–200.
- [25] 白淑敏. 三叶鬼针草化学成分及其生物活性研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2017.
- [26] GEISSBERGER P, SEQUIN U. Constituents of *Bidens pilosa* L.: Do the components found so far explain the use of this plant in traditional medicine? [J]. Acta Tropica, 1991, 48(4): 251–261.
- [27] 王沫, 姜敬, 孟昭军, 等. 美国白蛾生长发育对寄主植物不同次生代谢物质的适应性[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(3): 100–104.
- [28] 孙悦, 刘晓光, 吕国强, 等. 草地贪夜蛾在小麦和不同玉米品种上的种群适合度比较[J]. 植物保护, 2020, 46(4): 126–131.
- [29] 陈元生, 段德康, 陈超, 等. 光周期和温度对棉铃虫发育历期及蛹重的影响[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(4): 407–414.
- [30] LEUCK R E, PERKINS W D. A method of evaluating fall armyworm progeny reduction when evaluations control achieved by host-plant resistance [J]. Journal of Economic Entomology, 1972, 65(2): 482–483.
- [31] 杨安沛, 张航, 白微微, 等. 旋幽夜蛾对寄主植物选择偏好和种群适合度[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(3): 528–535.
- [32] 王桂花, 赵庆杰, 崔晋. 不同食料饲养斜纹夜蛾对其生长发育的影响[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(7): 72–74.

(责任编辑: 田 喆)