

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.03.022

张袁泉, 吕建华, 白春启, 等. 新型包装材料对3种储粮害虫幼虫防治效果研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(3): 195-200.

ZHANG Y Q, LV J H, BAI C Q, et al. Study on the controlling effect of new packaging materials on the larvae of three stored grain insects[J].

Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(3): 195-200.

# 新型包装材料对3种储粮害虫幼虫防治效果研究

张袁泉<sup>1</sup>, 吕建华<sup>1</sup>✉, 白春启<sup>1</sup>, 韩志强<sup>2</sup>, 张峰<sup>2</sup>, 陈金身<sup>1</sup>

(1. 河南工业大学 粮食和物资储备学院 粮食储藏安全河南省协同创新中心, 河南 郑州 450001;

2. 中山市粮食储备经营管理有限公司, 广东 中山 528447)

**摘要:** 为明确不同包装材料对常见储粮害虫的防虫效果, 在27~29℃、70%~80% RH条件下, 研究了经平行和垂直两种穿透方式处理不同时间后, 3种储粮幼害虫(赤拟谷盗、杂拟谷盗、烟草甲)对7种有不同浓度溴氰菊酯的高密度聚乙烯薄膜的钻蛀情况和试虫存活情况。研究表明, 参试薄膜都有一定的防虫能力, 但对不同种类害虫的防虫能力不同。处理9d后, 6种含有药剂的新型薄膜的防虫能力均高于空白对照薄膜, 其中1% A(含质量分数5%溴氰菊酯的高密度聚乙烯颗粒)薄膜、3% A薄膜、1% B(含质量分数5%溴氰菊酯和质量分数2%的增效醚的高密度聚乙烯颗粒)薄膜和3% B薄膜在两种穿透方式下对3种试虫的抗穿透率均为100%。3种幼虫的存活率均随处理时间延长而降低。平行穿透处理9d后, 3% B薄膜上3种试虫的存活率显著低于其他薄膜, 其中烟草甲幼虫存活率最低可降至10%。从总体来看, 3% B薄膜的防虫效果最佳。

**关键词:** 储粮害虫; 防虫包装; 幼虫钻蛀; 包装材料

中图分类号: S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)03-0195-06

网络首发时间: 2024-05-10 09:57:21

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20240509.1128.020>

## Study on the Controlling Effect of New Packaging Materials on the Larvae of Three Stored Grain Insects

ZHANG Yuan-quan<sup>1</sup>, LV Jian-hua<sup>1</sup>✉, BAI Chun-qi<sup>1</sup>, HAN Zhi-qiang<sup>2</sup>,  
ZHANG Feng<sup>2</sup>, CHEN Jin-shen<sup>1</sup>

(1. Henan Collaborative Innovation Center for Grain Storage Security, School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China;

2. Zhongshan Grain Reserve Management Co., Ltd, Zhongshan, Guangdong 528447, China)

**Abstract:** In order to clarify the controlling effect of different packaging materials on common storage pests, the penetration and survival of 7 kinds of high density polyethylene films with different concentrations of deltamethrin by the larvae of 3 common species of stored grain pests (*Tribolium castaneum* (Herbst), *Tribolium confusum* Duval and *Lasioderma serricorne* (Fabricius)) were investigated after being treated by

收稿日期: 2023-12-05

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD2100604)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China (No.2021YFD2100604)

作者简介: 张袁泉, 女, 1999年出生, 在读硕士生, 研究方向为储粮害虫综合治理及储粮品质控制。E-mail: 764089638@qq.com

通讯作者: 吕建华, 男, 1971年出生, 博士, 教授, 研究方向为储粮害虫综合治理及储粮品质控制。E-mail: jianhly@163.com

two penetration methods for different times at 27~29 °C and 70%~80% RH. The results showed that all the tested new insect-proof films had certain insect resistance capabilities, which were different based on species of stored grain insects. In addition, the insect resistance capability of the 6 kinds of new films containing chemicals was higher than that of the control films after 9 days of treatment, and the anti-penetration rate of 1% A (HDPE particle containing 5% deltamethrin by mass) film, 3% A film, 1% B (HDPE particle containing 5% deltamethrin and 2% isoethers by mass) film and 3% B film was 100% under two penetration modes. The survival rate of all three species larvae decreased with increasing treatment time. After 9 days of parallel penetration treatment, the survival rate of three species of larvae on 3%B film was significantly lower than that of other films, and the survival rate of *L. serricornis* larvae reduced to 10% at the lowest. According to the penetration resistance and larvae survival rate of the test insects on the films, 3% B film had the best insect control effectiveness.

**Key words:** stored grain insects; insect-proof packaging; penetration; packaging material

在粮食生产至消费各个环节时常因储粮害虫为害造成严重损失<sup>[1]</sup>。赤拟谷盗和杂拟谷盗是重要的世界性储粮害虫<sup>[2]</sup>，既能为害原粮，也能为害成品粮。近年来，国内外多用化学药剂防治储粮害虫，但长期依赖化学防治带来了诸多问题<sup>[3]</sup>，促使人们探寻绿色、高效、可持续的害虫防治措施。

高密度聚乙烯是由乙烯聚合而成的高分子化合物，具有优越的化学稳定性、机械强度和易加工成型等特点<sup>[4]</sup>。研究表明经过杀虫剂处理的包装可作为物理屏障阻挡害虫进入包装物<sup>[5]</sup>，将与包装接触的昆虫击倒或致死<sup>[6]</sup>，对储藏物昆虫的防控效果明显增强。溴氰菊酯<sup>[7]</sup>是一种 II 型合成拟除虫菊酯类农药，具有低毒、高效及低残留的特点，在储粮方面多作防护剂使用。当溴氰菊酯作为防虫包装药剂添加物使用时，缺乏对害虫幼虫的防治效果研究。实际上，储粮害虫幼虫通过取食造成的危害更大，如烟草甲主要以幼虫取食烟叶为主，其初孵幼虫虫体较小，较为活跃，为寻找食物会表现出较强的钻蛀行为<sup>[8]</sup>。

本研究通过吹膜方式生产制造了 7 种有不同含量溴氰菊酯的高密度聚乙烯薄膜，选用 3 种常见、难防治的储粮害虫幼虫为研究对象，以不添加药剂的高密度聚乙烯薄膜作为对照，观察在两种穿透方式下处理 1、3、5、7、9 d 后试虫对不同薄膜的钻蛀情况和试虫存活情况，对薄膜穿透率和试虫存活率进行分析，明确不同包装材料对 3 种储粮害虫幼虫的防虫效果，以期开发新型防虫包装材料提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

试验选取赤拟谷盗、杂拟谷盗、烟草甲 3 种常见重要储粮害虫幼虫为研究对象。所用试虫均在河南工业大学储粮害虫防治实验室人工纯化饲养 3 代以上。3 种试虫在 27~29 °C、60%~70% 相对湿度 (RH)、全暗环境下以过 80 目筛全麦粉与酵母按质量比 19 : 1 的比例混合后作为饲料饲养。为获得同一龄期的幼虫，先将 1 000 头试虫成虫放入 200 g 全麦粉中培养 24 h，再用 30 目筛网除去成虫，然后将含相同龄期虫卵饲料置于培养箱继续培养 15 d，最后用 60 目筛除去全麦粉，得到试虫幼虫。

### 1.2 试验材料

高密度聚乙烯颗粒：中国石油天然气股份有限公司；A 颗粒（含质量分数 5% 溴氰菊酯的高密度聚乙烯颗粒）、B 颗粒（含质量分数 5% 溴氰菊酯和质量分数 2% 的增效醚的高密度聚乙烯颗粒）：河南工业大学自制。

### 1.3 试验仪器

FBVI-20/28 型吹膜机：广州市普同实验分析仪器有限公司；SPX-250BX 型生化培养箱、101-E 型电热恒温鼓风干燥箱：北京市永光明医疗仪器厂；SZN 型连续变倍体视显微镜：舜宇光学科技有限公司；LYWSD03MMC 型温湿度计：北京小米科技有限责任公司；FS150 型热封机：永康市特力包装机械有限公司。

## 1.4 试验方法

### 1.4.1 试验薄膜的制备

分别称取 A、B 药剂颗粒，按照 0.5%、1%、3% 的质量分数加入高密度聚乙烯颗粒中配成 1 kg 粒料，此时溴氰菊酯浓度分别为 0.25、0.5、1.5 g/kg，充分混匀后备用。吹膜机机身温度分别为 185、200、200 °C，转速为 15.17 r/min，模头温度分别为 210、218 °C，向料斗中加入料粒开始吹制薄膜。将含有不同浓度药剂的薄膜分别命名为空白对照薄膜、0.5% A 薄膜、1% A 薄膜、3% A 薄膜、0.5% B 薄膜、1% B 薄膜、3% B 薄膜。

### 1.4.2 平行穿透试验

将试验薄膜剪成能够完全覆盖塑料杯口大小。称取 30.0 g 饲料装入塑料杯底部，将薄膜平铺盖住杯口，然后将 20 头试虫幼虫放在薄膜中心位置，用半圆形杯盖封口。将各试验组放在 27~29 °C、60%~70% RH、全暗环境下培养，1、3、5、7、9 d 后观察试虫对包装材料的钻蛀情况，记录包装材料两侧死虫数、活虫数。试验重复 3 次。

### 1.4.3 垂直穿透试验

用热封机将包装材料制成 5 cm×5 cm 大小、装有 30 g 饲料的包装袋。将包装袋贴壁放入塑料杯中，使包装袋垂直于塑料杯底部，然后向塑料杯内放入 20 头试虫幼虫。将各试验组放在 27~29 °C、60%~70% RH、全暗环境下培养，1、3、5、7、9 d 后观察试虫对包装材料的钻蛀情况，记录包装袋内外两侧死虫数、活虫数。试验重复 3 次。

## 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 软件对试验数据进行初步统计处理，计算各试验组的穿透率和存活率，然后使用 IBM SPSS Statistics 软件对各试验组的存活率数据进行方差分析，采用 Duncan's 新复极差法比较各处理间平均值的差异显著性。

其中，穿透率和存活率的计算见式(1)、(2)：

$$P = \frac{F_1}{F_2} \times 100\% \quad \text{式(1)}$$

$$S = \frac{I_1}{I_2} \times 100\% \quad \text{式(2)}$$

式中：P 为害虫对材料的穿透率，%； $F_1$  为被害虫穿透的薄膜数量，个； $F_2$  为每组试验的薄膜

数量，个；S 为试虫穿透处理后的存活率，%； $I_1$  为试虫穿透处理后仍存活的数量（试虫穿透薄膜视为存活），头； $I_2$  为每组试验所用试虫数量，头。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种储粮害虫幼虫对 7 种包装材料的穿透率

从表 1~2 可知，与空白对照薄膜相比，3 种储粮害虫幼虫对其他薄膜的穿透率极低。在平行穿透处理中，仅有空白对照薄膜被烟草甲幼虫穿透，穿透率最高为 33.33%；3 种试虫幼虫均无法穿透任何含有药剂的薄膜。在垂直穿透处理中，薄膜种类对害虫穿透率有显著影响 ( $P < 0.05$ )。空白对照薄膜可被 3 种试虫穿透，穿透率最高为 100%。含有药剂的薄膜除 0.5% A 薄膜、0.5% B 薄膜被赤拟谷盗幼虫、烟草甲幼虫穿透外，其余薄膜均无法被试虫穿透。总体来看，含有药剂的薄膜具有较强的防虫效果，特别是 1% A 薄膜、3% A 薄膜、1% B 薄膜、3% B 薄膜没有被任何一种试虫穿透，防虫性能更佳。

表 1 3 种害虫幼虫在平行穿透处理中 9 d 后对不同包装薄膜的穿透率

薄膜种类	杂拟谷盗	赤拟谷盗	烟草甲
空白对照	0.00±0.00a	0.00±0.00a	33.33±57.74a
0.5% A	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00b
1% A	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00b
3% A	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00b
0.5% B	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00b
1% B	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00b
3% B	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00b

注：表中数据为平均值±标准误；同一列数据后带有不同小写字母者表示数据间差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

Note: The data in the table were mean ± standard error; Different lowercase letters in the same column indicated significant differences at  $P < 0.05$ .

### 2.2 3 种储粮害虫幼虫对 7 种包装材料平行穿透处理不同时间后的存活率

由表 3 可知，薄膜种类和处理时间及其交互作用对杂拟谷盗幼虫存活率均有显著影响。在所有种类薄膜中，随处理时间延长杂拟谷盗幼虫存活率显著降低 ( $P < 0.05$ )。在相同处理时间内，

表 2 3 种害虫幼虫在垂直穿透处理中 9 d 后对不同包装薄膜的穿透率

Table 2 Penetration rate of larvae of three stored-product insects to different packaging films after 9 days of vertical penetration treatment %

薄膜种类	试虫种类		
	杂拟谷盗	赤拟谷盗	烟草甲
空白对照	66.67±57.74Aa	66.67±57.74Aa	100.00±0.00Aa
0.5% A	0.00±0.00Bb	33.33±57.74ABb	100.00±0.00Aa
1% A	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba
3% A	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba
0.5% B	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Bb	33.33±57.74Ba
1% B	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba
3% B	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba

注：(1)表中数据为平均值±标准误；(2)同一列数据后带有不同大写字母者表示同一虫种不同薄膜间的数据差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )，同一行数据后带有不同小写字母者表示同一薄膜不同虫种间的数据差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )，下同。

Note: (1) The data in the table are mean ± standard error; (2) Different capital letters in the same column indicate the data between different films of the same insect species significant differences at  $P<0.05$ , different lowercase letters in the same row indicate data between different insect species of the same film significant differences at  $P<0.05$ . The same as below.

杂拟谷盗幼虫处理 9 d 后存活率达到最低，其中 3% B 薄膜上存活率最低，为 13.33%。

由表 4 可知，薄膜种类和处理时间对赤拟谷盗幼虫存活率均有显著影响。赤拟谷盗幼虫存活率随处理时间延长显著降低 ( $P<0.05$ )。处理 9 d 后，3% B 薄膜上赤拟谷盗幼虫存活率最低，存活率为 35.00%，但不同种类薄膜之间的存活率无显著性差异 ( $df=6, F=1.61, P>0.05$ )。

由表 5 可知，薄膜种类和处理时间对烟草甲幼虫存活率均有显著影响。在所有种类薄膜中，随处理时间延长烟草甲幼虫存活率显著降低 ( $P<0.05$ )。烟草甲幼虫处理 9 d 后存活率达到最低，其中 3% B 薄膜上存活率最低，为 10.00%。

### 2.3 3 种储粮害虫幼虫对 7 种包装材料垂直穿透处理不同时间后的存活率

由表 6 可知，薄膜种类和处理时间对杂拟谷

表 3 经历不同薄膜平行穿透处理不同时间后杂拟谷盗幼虫存活率

Table 3 Survival rate of *T. confusum* larvae after parallel penetration treatment through different films for different times %

薄膜种类	1 d	3 d	5 d	7 d	9 d
空白对照	100.00±0.00Aa	96.67±1.67Aa	78.33±1.67Ab	65.00±2.89Ac	50.00±5.77Ad
0.5% A	96.29±1.85ABa	81.85±5.19Ba	64.26±4.82Bb	59.07±6.73ABb	55.56±5.56Ab
1% A	93.33±1.67Ba	81.67±3.33Ba	43.33±4.41Cb	48.33±9.28ABb	43.33±9.28Ab
3% A	86.67±1.67Ca	55.00±2.89DEb	43.33±3.33ABc	41.67±1.67Bc	36.67±1.67Ab
0.5% B	86.67±1.67Ca	75.00±5.00BCab	71.67±3.33ABab	60.00±5.77Ab	41.67±8.33Ac
1% B	91.67±1.67BCa	63.33±4.41CDb	48.33±1.67Cbc	41.67±4.41Bc	33.33±9.28ABc
3% B	93.33±3.33Ba	43.33±4.41Eb	30.00±2.89Dc	21.67±3.33Ccd	13.33±4.41Bd

表 4 经历不同薄膜平行穿透处理不同时间后赤拟谷盗幼虫存活率

Table 4 Survival rate of *T. castaneum* larvae after parallel penetration treatment through different films for different times %

薄膜种类	1 d	3 d	5 d	7 d	9 d
空白对照	98.33±1.67Aa	93.25±4.39Aa	74.47±3.35Ab	62.72±4.34ABb	37.28±7.22Ac
0.5% A	94.91±0.09ABa	81.49±4.24ABb	71.23±3.14ABb	57.63±4.33ABCc	47.46±4.33Ac
1% A	89.82±0.18Ba	67.54±8.00BCab	59.12±6.55BCbc	48.95±8.37BCbc	40.44±10.10Ac
3% A	88.33±3.33Ba	65.00±5.77Cb	60.00±5.00Abc	53.33±3.33ABCbc	48.33±4.41Ac
0.5% B	96.67±1.67Aa	89.91±2.81Aab	76.40±4.16Abc	67.98±5.67Acd	56.14±6.14Ad
1% B	90.00±2.89Ba	65.00±0.00Cb	55.00±2.89Cbc	48.33±4.41BCd	46.67±6.01Ad
3% B	93.33±1.67ABa	55.00±2.89Cb	48.33±4.41Cbc	41.67±6.01Cbc	35.00±7.64Ac

表 5 经历不同薄膜平行穿透处理不同时间后烟草甲幼虫存活率

Table 5 Survival rate of *L. serricornis* larvae after parallel penetration treatment through different films for different times %

薄膜种类	1 d	3 d	5 d	7 d	9 d
空白对照	98.33±1.67Aa	94.81±2.89Aa	80.55±6.99Ab	57.04±3.53Ac	33.70±3.53Ad
0.5% A	94.91±0.09Aa	86.40±1.81Aa	59.39±4.72ABb	40.79±5.44ABCc	28.95±9.52ABc
1% A	94.99±0.14Aa	86.48±4.54Aa	62.85±8.39Bb	42.99±6.09ABCc	26.21±8.18ABc
3% A	95.00±2.89Aa	76.67±12.02Aab	55.00±12.58ABbc	38.33±8.82BCc	23.33±8.82ABc
0.5% B	96.67±1.67Aa	90.00±2.89Aa	70.00±5.77ABb	56.67±4.41ABc	36.67±1.67Ac
1% B	93.33±1.67Aa	85.00±5.77Aa	61.67±1.67ABb	43.33±4.41ABCc	23.33±4.41ABd
3% B	98.33±1.67Aa	88.33±6.01Aa	53.33±4.41Bb	26.67±4.41Cc	10.00±7.64Bd

表 6 经历不同薄膜垂直穿透处理不同时间后杂拟谷盗幼虫存活率

Table 6 Survival rate of *T. confusum* larvae after vertical penetration treatment through different films for different times

薄膜种类	1 d	3 d	5 d	7 d	9 d
空白对照	98.33±1.67Aa	95.00±2.89Aa	83.33±4.41ABab	73.33±4.41ABbc	60.00±7.64ABc
0.5% A	98.33±1.67Aa	95.00±5.00Aa	83.33±4.41ABa	68.33±3.33Bb	56.67±7.26ABb
1% A	100.00±0.00Aa	98.33±1.67Aa	90.00±2.89ABab	83.33±4.41Abc	75.00±7.64Ac
3% A	100.00±0.00Aa	93.33±1.67Ab	81.67±1.67Ac	73.33±1.67ABd	66.67±1.67ABe
0.5% B	100.00±0.00Aa	98.33±1.67Aa	86.67±1.67Ab	73.33±4.41ABc	63.33±6.01ABc
1% B	98.33±1.67Aa	90.00±2.89ABab	73.33±6.01Bbc	61.67±6.67Bcd	46.67±9.28Bd
3% B	95.00±2.89Aa	83.33±1.67Bb	73.33±1.67Bc	65.00±2.89Bcd	58.33±4.41ABd

盗幼虫存活率均有显著影响。在所有种类薄膜中, 随处理时间延长杂拟谷盗幼虫存活率显著降低 ( $P<0.05$ )。杂拟谷盗幼虫垂直穿透处理 7 d 后, 不同种类薄膜之间的存活率无显著性差异 ( $df=6$ ,  $F=2.79$ ,  $P>0.05$ )。在相同处理时间内, 杂拟谷盗幼虫处理 9 d 后存活率达到最低, 其中 1% B 薄膜上存活率最低, 为 46.67%。

由表 7 可知, 薄膜种类和处理时间对赤拟谷盗幼虫存活率均有显著影响。在所有种类薄膜中, 随处理时间延长赤拟谷盗幼虫存活率显著降低

( $P<0.05$ )。在相同处理时间内, 赤拟谷盗幼虫处理 9 d 后存活率达到最低, 其中 0.5% A 薄膜上存活率最低, 为 38.33%; 空白对照薄膜上存活率最高, 为 65.56%。

由表 8 可知, 薄膜种类和处理时间对烟草甲幼虫存活率均有显著影响。在所有种类薄膜中, 随处理时间延长烟草甲幼虫存活率显著降低 ( $P<0.05$ )。在相同处理时间内, 烟草甲幼虫处理 9 d 后存活率达到最低, 其中 1% B 薄膜上最低, 为 65.00%。

表 7 经历不同薄膜垂直穿透处理不同时间后赤拟谷盗幼虫存活率

Table 7 Survival rate of *T. castaneum* larvae after vertical penetration treatment through different films for different times

薄膜种类	1 d	3 d	5 d	7 d	9 d
空白对照	98.33±1.67ABa	92.78±1.95ABab	82.04±2.18Abc	74.82±4.12Acd	65.56±7.40Ad
0.5% A	98.33±1.67ABa	88.33±6.01ABa	70.00±5.00Ab	51.67±1.67Cc	38.33±4.41Bd
1% A	98.33±1.67ABa	90.00±2.89ABab	81.67±1.67Ab	68.33±1.67ABc	56.67±4.41ABd
3% A	95.00±2.89ABa	90.00±5.77ABab	78.33±6.01Abc	68.33±3.33ABcd	61.67±3.33ABd
0.5% B	100.00±0.00Aa	96.67±1.67Aa	81.67±1.67Ab	66.67±1.67ABc	55.00±2.89ABd
1% B	95.00±2.89ABa	85.00±5.77ABab	73.33±6.01Abc	61.67±7.26BCcd	48.33±6.01BCd
3% B	91.67±1.67Ba	76.67±7.26Bb	71.67±4.41Ab	56.67±1.67BCc	48.33±1.67BCc

表 8 经历不同薄膜垂直穿透处理不同时间后烟草甲幼虫存活率

Table 8 Survival rate of *L. serricornis* larvae after vertical penetration treatment through different films for different times

薄膜种类	1 d	3 d	5 d	7 d	9 d
空白对照	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	95.00±2.89Aab	88.33±4.41Abc	83.33±4.41Ac
0.5% A	100.00±0.00Aa	96.67±1.67ABab	93.33±1.67ABb	85.00±2.89ABc	83.33±1.67Ac
1% A	98.33±1.67Aa	90.00±5.77ABab	85.00±2.89ABb	76.67±4.41ABbc	70.00±5.77ABc
3% A	100.00±0.00Aa	89.44±3.38Bbc	84.26±3.55ABbc	80.74±5.15ABc	77.04±8.47ABc
0.5% B	100.00±0.00Aa	95.00±2.89ABab	91.67±3.33ABab	86.67±3.33ABbc	80.00±2.89ABc
1% B	96.67±1.67Aa	95.00±2.89ABa	85.00±2.89ABb	75.00±2.89Bc	65.00±2.89Bd
3% B	96.67±1.67Aa	95.00±0.00ABa	83.33±4.41Bb	75.00±2.89Bbc	70.00±5.00ABc

### 3 讨论与结论

本研究结果表明, 6 种新型防虫薄膜都有一定防虫能力, 但对不同种类害虫的防虫能力不同。在本研究中, 相同处理时间内不同薄膜之间试虫存活率存在差异, 这是因为本研究包装材料中添加的药剂种类和含量不同, 这与 Lee 等<sup>[9]</sup>研究结果相似。处理 9 d 后, 平行穿透处理中试虫存活率均低于垂直穿透处理中试虫存活率, 这可能是因为平行穿透处理中试虫持续接触并钻蛀薄膜, 薄膜内的溴氰菊酯能够通过触杀和胃毒两种方式杀死害虫<sup>[7]</sup>, 而在垂直穿透处理中存在空白区域, 试虫钻蛀薄膜时仅头部与薄膜接触, 虫体胸腹部与薄膜接触较少, 触杀作用无法完全发挥, 溴氰菊酯本身也具有一定的驱避和拒食作用, 仅靠胃毒作用杀虫效果并不明显。但在垂直穿透处理 3 d 内, 不同种类薄膜之间的试虫存活率均无显著性差异。原因可能有两个方面: 一是实验选用杀虫剂对试虫幼虫毒杀活性低, 成虫和幼虫的身体结构差异大, 保护机制不同, 很多药剂对储粮害虫成虫的毒杀活性较好, 但对幼虫的效果却很弱; 二是试验中存在空白区域, 试虫受到溴氰菊酯的驱避作用, 在避免持续接触杀虫剂的情况下, 害虫即时死亡率很低, 但延迟击倒现象使得害虫最终死亡, 这与 Rumbosde 等<sup>[10]</sup>将实验组转移至空白区域继续培养的结果相似。

本研究所用薄膜原料来源广, 价格低, 有较强防虫能力, 有望成为一种制造工艺简单、成本低而且对包装物安全、无污染的新型防虫包装材料。但本实验条件与实际使用环境有所不同, 所用到薄膜的厚度也与实际工业化生产材料也存在一定差异, 这值得进一步验证包装材料在实际应用中的防虫效果。

#### 参考文献:

- [1] 白春启, 郭自强, 张凯智, 等. 储粮害虫危害研究进展[J/OL]. 中国粮油学报: 1-18. [2023-07-28].  
BAI C Q, GUO Z Q, ZHANG K Z, et al. Advances in insect pest impact on the stored grain[J/OL]. Journal of the Chinese Cereals and Oils: 1-18. [2023-07-28].
- [2] SCHEFF D S, ARTHUR F H. Fecundity of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* adults after exposure to deltamethrin packaging[J]. Journal of Pest Science, 2017.
- [3] KAUR R, SUBBARAYALU M, JAGADEESAN R, et al. Phosphine resistance in India is characterised by a dihydroliipoamide dehydrogenase variant that is otherwise unobserved in eukaryotes[J]. Heredity, 2015, 115(3): 188-194.
- [4] 陈黎敏. 食品包装技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.  
CHEN L M. Food packaging technology and application[M]. Beijing: Chemical industry press, 2002: 3-46.
- [5] CHUNG S K, SEO J Y, LIM J H, et al. Barrier property and penetration traces in packaging films against *Plodia interpunctella* (Hübner) larvae and *Tribolium castaneum* (Herbst) adults[J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(2): 101-105.
- [6] HERRERA J M, ZYGADLO J A, STRUMIA M C, et al. Biopesticidal silo bag prepared by co-extrusion process[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 28: 100645.
- [7] 罗守进. 溴氰菊酯应用的研究[J]. 农业灾害研究, 2012, 2(3): 45-48.  
LUO S J. Study on application of deltamethrin[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2012, 2(3): 45-48.
- [8] 郭亚飞, 吕建华, 郭建华, 等. 烟草甲初孵幼虫耐饥饿能力及其对包装材料的钻透率[J]. 烟草科技, 2021, 54(7): 29-34.  
GUO Y F, LV J H, GUO J H, et al. Starvation tolerance of newly hatched *Lasioderma serricorne* larvae and their penetration rates through different packaging materials[J]. Tobacco Science & Technology, 2021, 54(7): 29-34.
- [9] LEE S H, CHANG Y, NA J H, et al. Development of anti-insect multilayered films for brown rice packaging that prevent *Plodia interpunctella* infestation[J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 72: 153-160.
- [10] RUMBOS C I, SAKKA M, SCHAFFERT S, et al. Evaluation of Carifend, an alpha-cypermethrin-coated polyester net, for the control of *Lasioderma serricorne* and *Ephesia elutella* in stored tobacco[J]. Journal of Pest Science, 2018. 