

氮气气调联合使用脱氧剂对烟草螟的控制效果研究

刘思琦¹, 吕建华^{*1}, 马冰慧¹, 宋纪真^{*2}, 奚家勤², 李玉娥³

(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, 郑州 450001; 2. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001; 3. 吉林烟草工业有限责任公司, 吉林延吉 133001)

摘要: 为明确不同体积分数氮气与不同剂量脱氧剂对烟草螟 *Ephesia elutella* 死亡率的影响, 本研究以 4 种虫态的烟草螟为研究对象, 分别研究不同氮气体积分数与脱氧剂联合处理对烟草螟的控制作用效果。研究表明: 不同氮气体积分数联合不同脱氧剂剂量和不同处理时间对烟草螟死亡率有显著影响。在氮气体积分数相同条件下, 烟草螟各虫态死亡率总体上均随脱氧剂剂量增加和时间延长而升高。在氮气体积分数、脱氧剂剂量和处理时间相同条件下, 烟草螟各虫态死亡率为: 成虫 > 幼虫 > 卵 > 蛹。

关键词: 充氮气调; 脱氧剂; 烟草螟; 死亡率

Effect of combining modified atmosphere with nitrogen and deoxidizer on the survival of *Ephesia elutella*

LIU Si-Qi¹, LYU Jian-Hua^{*1}, MA Bing-Hui¹, SONG Ji-Zhen^{*2}, XI Jia-Qin², LI YU'e³

(1. Henan Collaborative Innovation Center for Grain Storage Security, School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China; 3. Jilin Tobacco Industry Co., LTD, Yanji 133011, Jilin Province, China)

Abstract: To assess the impact of nitrogen concentration and deoxidizer dosage on the mortality of *Ephesia elutella*, the effects of combined treatments involving varying nitrogen concentrations and deoxidizer levels was evaluated. The results showed that, the mortality rate of *E. elutella* was significantly affected by the nitrogen concentration, deoxidizer dosage, and the duration of exposure. Within a fixed nitrogen concentration, the mortality rate increased with higher deoxidizer doses and longer exposure times. At consistent nitrogen levels, deoxidizer dosages, and exposure durations, the mortality rates across the life stages of *E. elutella* were highest in adults, followed by larvae, eggs, and pupae.

Key words: Modified atmosphere with nitrogen; oxygen absorber; *Ephesia elutella*; mortality

粮食是国之大事, 是我国国民经济稳定发展的重要储备物资 (尹博等, 2024)。粮食安

基金项目: 中国烟草总公司科技项目 (110202202029); “十四五”国家重点研发计划项目 (2021YFD2100604)

作者简介: 刘思琦, 女, 硕士研究生, 研究方向为储粮害虫综合治理及储粮品质控制, E-mail: 1012219509@qq.com

*通讯作者 Author for correspondence: 吕建华, 男, 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;

宋纪真, 女, 研究员, 研究方向为仓储技术及质量评价, E-mail: 1063067425@qq.com

收稿日期 Received: 2024-07-15; 接受日期 Accepted: 2024-09-24

全作为治国理政的头等大事，是保证国家安全的重要基石（宋小青和欧阳竹，2012）。我国每年粮食损耗量高达 700 亿斤以上，而在储藏过程粮食的损失中，储粮害虫为害是造成的损失的重要原因之一，储粮害虫为害造成粮食的损失占全球粮食总重量的 10%~40%，严重影响安全储粮（胡建国，2017；Wang *et al.*, 2018；朱俊峰，2023）。

烟草螟 *Ephestia elutella*，属鳞翅目 *Lepidoptera* 螟蛾科 *Pyralidae*，在中国分布广泛。烟草螟可为害烟叶、卷烟，也取食谷物、燕麦、小麦、面粉、大豆、花生豆、蚕豆、可可豆、豌豆等（王雪梅等，2024）。其不仅可造成商品严重损失，而且其产生的粪便、虫尸、皮蜕、身体碎屑以及其他分泌物可污染储粮（陈卓等，2021；张飞豪等，2022）。目前，对烟草螟的防治方法主要包括化学防治（如化学熏蒸剂和菊酯类杀虫剂等）（袁敏等，2018）、物理防治（如灯光诱捕器诱捕等）（韩开宇等，2017；孙建锋等，2020）和生物防治（如利用天敌对其进行防控）（王健强等，2020；罗云等，2021；刘文靖，2023）。国内外大多使用化学防治防治烟草螟，但是由于长期不规范、大规模使用化学药剂，造成农药残留、害虫抗药性、环境污染等负面问题。因此，亟需研发绿色可持续、安全、高效的储粮害虫防治方法来替代化学防治。

随着水平的提高和对高品质生活的追求，人们对食品的关注重点也从数量转移到质量，“绿色储粮”、“精品储粮”、“储粮于地，储粮于技”等新兴概念越来越多地被提起（孙磊等，2023）。因此，为能够有效实施安全储粮，人们对气调储藏开展了一系列研究，通过利用生物降氧、人工降氧等方式，在粮堆内形成一个低氧、高氮或高二氧化碳的储粮环境，达到抑制粮食呼吸、杀虫抑菌、延缓粮食品质劣变的目的，从而实现绿色储粮（白春启等，2023）。研究表明，通过充氮技术将粮堆内氮气气体体积分数控制在一定范围，再加入一定剂量的脱氧剂，利用脱氧剂消除粮堆内剩余氧气，不仅能够有效的降低虫害引发的一系列问题，减少使用化学药剂防治产生的危害以及相关工作人员处理作业的危险性，同时可以降低储粮成本，提高经济效益（常亚飞等，2014）。陈菲等（2021）完成的科技成果“档案馆低氧气调技术杀虫抑菌性能的检测与评价”对氮气气调辅以脱氧剂防治黑毛皮蠹和花斑皮蠹的效果进行了研究。但使用氮气气调与脱氧剂联合处理的方式对烟草螟的防治效果尚未见报道。因此，本团队研究了氮气气调对烟草螟各虫态存活的影响，在此基础上进一步研究了氮气气调与脱氧剂联合处理对烟草螟各虫态存活的影响，为高效合理实施氮气气调杀虫提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

试验所用储粮害虫烟草螟 *Ephestia elutella* 在河南工业大学储藏物害虫防治实验室人工纯化饲养 3 代以上。烟草螟饲养于温度 $28^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\text{RH } 70\%\pm 5\%$ 、黑暗培养箱内，用混合饲料（50%麦麸、30%玉米糝、10%黄豆粉、5%甘油、5%蜂蜜水）喂养。

1.2 仪器设备

培养箱：HSX-250 型，河南捷隆科技有限公司；电热恒温鼓风干燥箱：GHG-9140A，上海精宏实验设备有限公司；冰箱：BCD-223WDPT，海尔智家股份有限公司；氮气体体检

测仪:GT-1000 型,深圳市科尔诺电子科技有限公司;人工气调箱:600 mm×350 mm×400 mm,陕西三匠亚克力实验仪器有限公司;温湿度计:MBS-7 型,缙云县伟创电子有限公司;钢瓶装氮气。

其他试验用品包括试虫培养瓶、150 目纱布、滤纸、漏斗、小毛笔、镊子、食盐等。

1.3 主要试剂

20 型脱氧剂(主要成分为铁粉),绿源干燥剂厂生产。

1.4 试验装置

试验在亚克力板材质人工密封气调箱(600 mm×350 mm×400 mm)内进行(图 1)。气调箱两侧分别设有进气口、出气口与相应的阀门和气泵。箱体一侧设有一双密闭乳胶手套操作口,用于实验操作;箱体另一侧设 1 直径 100 mm、长 200 mm 圆柱管制成的取虫缓冲仓,其两端可螺旋盖密闭,用于虫笼放置、取样等。气调箱内设饱和食盐水以调节湿度水平维持在 RH 70%±5%,并使用智能温湿度计监测记录气调箱内温湿度。气调箱使用前测定气密性正压 500 Pa 半衰期大于 120 s。气调箱内的氮气浓度是通过将空气从气调箱内冲洗出来,然后用气瓶中氮气代替,直到气调箱内氮气含量达到目标水平,随后每天监测 1 次氮气含量。

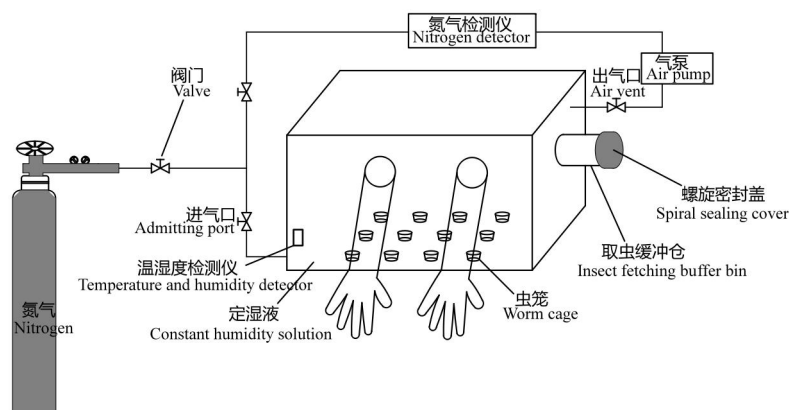


图 1 充氮气调装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the nitrogen charging and regulating device

1.5 试验方法

1.5.1 不同体积分数氮气处理对烟草螟的控制作用

在温度 28°C±1°C、相对湿度 RH 70%±5%、黑暗条件,设置氮气体积分数为 90%、95% 和 98%,以 78%氮气体积分数(大气压下)为对照,分别将烟草螟卵(1 日龄)、幼虫(18 日龄)、蛹(2 日龄)、成虫(5 日龄)置于上述处理过的气调箱内,密封后分别处理不同时间(2、4、6、8 d),每个处理 20 头,重复 3 次。将处理后烟草螟转移到正常饲养环境中继续培养,观察记录其存活情况。对处理后的卵以不能正常孵化视为死亡;幼虫用毛笔轻触腹末若无反应或虫体发黑视为死亡;处理后的蛹继续培养观察,以不能正常羽化视为死亡;成虫处理 24 h 后用毛笔轻触虫体若无反应视为死亡。根据统计结果计算不同体积分数氮气处理对烟草螟的防控效果,计算方法如下:

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{\text{死亡数}}{\text{供试总头数}} \times 100$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{100\% - \text{对照死亡率}} \times 100$$

1.5.2 氮气与脱氧剂联合处理对烟草螟的控制作用

由于脱氧剂主要成分是铁粉，根据 1 g Fe 能与 300 mL O₂ 反应，气调箱容积为 84 L，故在氮气体积分数为 90% 条件下加入 28 g 脱氧剂；在氮气体积分数为 95% 条件下加入 14 g 脱氧剂；在氮气体积分数为 98% 条件下加入 5 g 脱氧剂，设置温度为 28°C±1°C、RH 70%±5%、黑暗条件，分别将烟草螟卵（1 日龄）、幼虫（18 日龄）、蛹（2 日龄）、成虫（5 日龄）置于上述处理过的气调箱内，密封后分别处理不同时间（2、4、6、8 d），每个处理 20 头，重复 3 次。试虫存活情况观察和死亡率计算方法同 1.5.1。

1.6 数据处理

首先使用 Microsoft Excel 2019 软件对实验数据进行统计处理，然后采用 IBM SPSS Statistics 26 分别进行单因素方差分析，采用 ANOVA 中的 Duncan 法进行显著性分析（ $P < 0.05$ ）。

2 结果与分析

2.1 氮气处理和氮气与脱氧剂联合处理对烟草螟卵存活率的影响

烟草螟卵在经过相同氮气体积分数处理后校正死亡率随处理时间的延长呈逐步上升趋势（图 2）；烟草螟卵在经过不同体积分数氮气与不同剂量脱氧剂处理后校正死亡率随处理时间的延长逐渐升高（图 3）。在氮气体积分数和氮气体积分数与脱氧剂剂量相同条件下，卵处理时间越长，其校正死亡率越高。在氮气体积分数为 90% 时处理 2 d 后，卵校正死亡率最低，仅为 8.33%，说明在低体积分数氮气条件下处理短时间对卵造成的威胁较小，在氮气体积分数为 98% 时处理 8 d 后，卵校正死亡率最高，为 80.77%，说明在该虫态下若将其全部杀死，需要将氮气体积分数控制在 98% 以上或者延长处理时间；而在氮气体积分数与脱氧剂联合处理量为 98%+5 g 时处理 8 d 后，卵校正死亡率最高，为 90.92%，较单独使用氮气对卵进行处理相同时间后的校正死亡率有所提高，说明加入脱氧剂后，在处理相同时间条件下，卵更容易被杀灭。

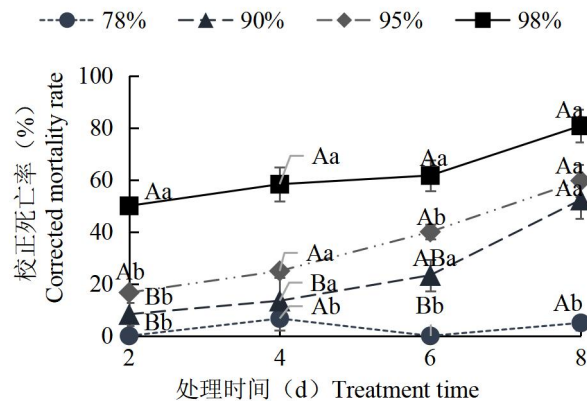


图 2 不同体积分数氮气处理后烟草螟卵校正死亡率

Fig. 2 Adjusted corrected mortality rate of eggs of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen

注：不同小写字母表示同一处理时间、不同处理条件下差异显著；不同大写字母表示同一处理条件、不同处理时间下差异显著 ($P < 0.05$)，下同。Note: Different lowercase letters indicated significant difference under the same treatment time and different treatment conditions; different capital letters indicated significant difference under the same treatment condition and different treatment times ($P < 0.05$). The same as below.

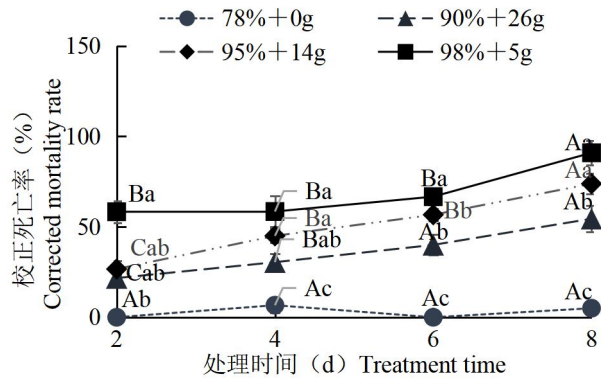


图3 不同体积分数氮气与脱氧剂联合处理后烟草螟卵校正死亡率

Fig. 3 Egg corrected mortality rate of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen and deoxidizer

2.2 氮气处理和氮气与脱氧剂联合处理对烟草螟幼虫存活率的影响

烟草螟幼虫在经过相同氮气体积分数处理后校正死亡率随处理时间的延长呈逐步上升趋势 (图 4)；烟草螟幼虫在经过不同体积分数氮气与不同剂量脱氧剂处理后校正死亡率随处理时间的延长逐渐升高 (图 5)。在氮气体积分数和氮气体积分数与脱氧剂剂量相同条件下，幼虫处理时间越长，其校正死亡率越高。在氮气体积分数为 98% 时处理 8 d 后，幼虫校正死亡率达到 100%，证明在高体积分数氮气胁迫下，处理 8 d 后对幼虫致死能力就可达到最大；在氮气体积分数与脱氧剂联合处理量为 98%+5 g 时处理 6 d 后，幼虫校正死亡率就可达 100%，在单独使用氮气条件下，需要处理 8 d 才可将幼虫全部消灭，说明利用氮气与脱氧剂联合处理可减少杀虫时间，提高杀虫效果。

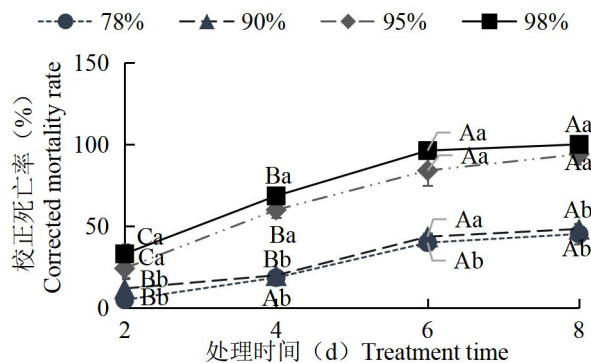


图 4 不同体积分数氮气处理后烟草螟幼虫校正死亡率

Fig. 4 Adjusted corrected mortality rate of larva of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen

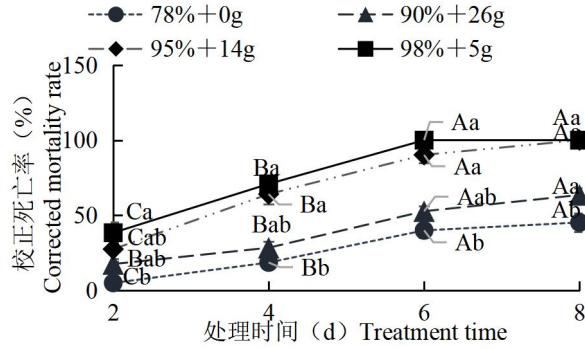


图5 不同体积分数氮气与脱氧剂联合处理后烟草螟幼虫死亡率

Fig. 5 Larva corrected mortality rate of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen and deoxidizer

2.3 氮气处理和氮气与脱氧剂联合处理对烟草螟蛹存活率的影响

烟草螟蛹在经过相同氮气体积分数处理后校正死亡率随处理时间的延长呈逐步上升趋势（图6）；烟草螟蛹在经过不同体积分数氮气与不同剂量脱氧剂处理后校正死亡率随处理时间的延长逐渐升高（图7）。在氮气体积分数和氮气体积分数与脱氧剂剂量相同条件下，处理时间越长，蛹校正死亡率越高。在氮气体积分数为98%时处理8 d后，蛹校正死亡率最高，为96.49%；而在氮气体积分数与脱氧剂联合处理量为98%+5 g时处理8 d后，蛹校正死亡率可达到100%，说明在单独使用氮气条件下消灭全部的蛹需要延长处理时间，但在高体积分数氮气与脱氧剂联合处理条件下，处理8 d后就可将蛹全部消灭，证明利用高体积分数氮气与脱氧剂联合处理对蛹的控制作用效果更好。

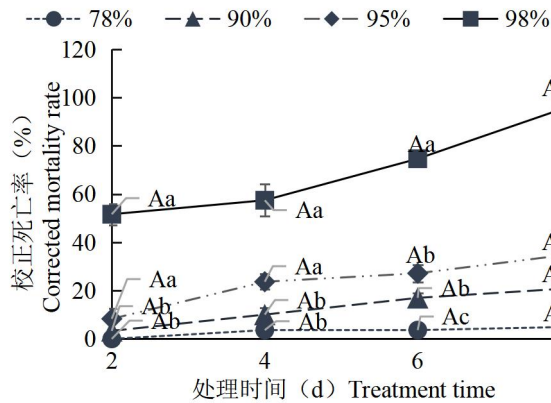


图6 不同体积分数氮气处理后烟草螟蛹校正死亡率

Fig. 6 Adjusted corrected mortality rate of pupa of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen

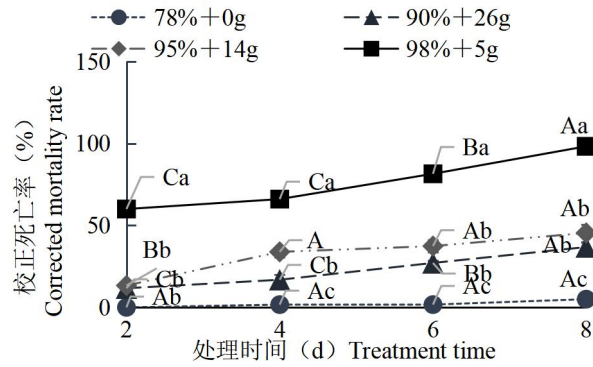


图7 不同体积分数氮气与脱氧剂联合处理后烟草蛹死亡率

Fig. 7 Pupa corrected mortality rate of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen and deoxidizer

2.4 氮气处理和氮气与脱氧剂联合处理对烟草螟成虫存活率的影响

烟草螟成虫在经过相同氮气体积分数处理后校正死亡率随处理时间的延长呈先上升后下降的趋势（图8）；烟草螟成虫在经过不同体积分数氮气与不同剂量脱氧剂处理后校正死亡率没有统一趋势（图9）。胡勇等（2022）发现烟草螟在正常环境（温度为 $28^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，RH $75\%\pm 5\%$ ，氮气体积分数为78%）中饲养，其成虫寿命约为6.5 d，所以在氮气体积分数为78%（大气环境下）处理8 d后的成虫全部死亡。在氮气体积分数为98%时处理2 d后，成虫校正死亡率达100%；而在氮气体积分数与脱氧剂联合处理量为95%+14 g时处理2 d后，成虫校正死亡率也可达100%，证明利用氮气与脱氧剂联合处理对成虫的控制作用更强。

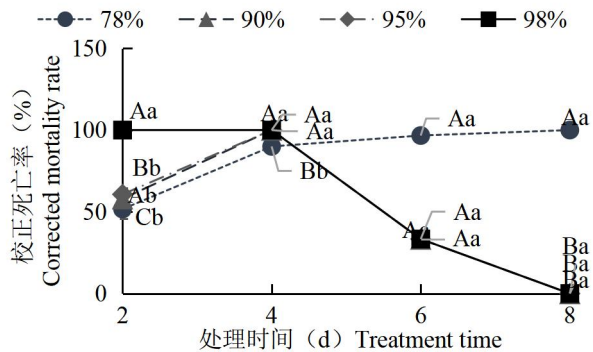


图8 不同体积分数氮气处理后烟草螟成虫校正死亡率

Fig. 8 Adjusted corrected mortality rate of adult of *Ephestia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen

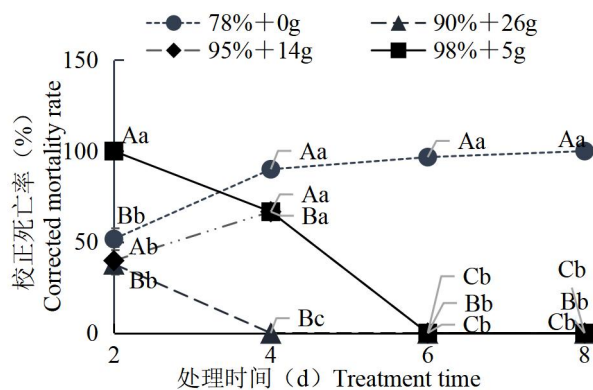


图9 不同体积分数氮气与脱氧剂联合处理后烟草螟成虫校正死亡率

Fig. 9 Adult corrected mortality rate of *Ephesia elutella* treated with different volume fractions of nitrogen and deoxidizer

3 结论与讨论

储粮害虫需要通过有氧呼吸完成生长发育,当氮气体积分数升高、氧气体积分数降低时,储粮害虫呼吸受到阻碍,使其无法继续生长发育,最终导致其死亡(Boye *et al.*, 2011; 鲁玉杰, 2024)。

氮气体积分数在98%以上时对害虫防治效果最好,处理10 d左右可将赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*、锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus*、谷蠹、玉米象和书虱等储粮害虫杀死(张晓培和唐瑜, 2014)。在氮气体积分数为98%~100%时,锯谷盗和赤拟谷盗成虫处理6 d即全部死亡,而其他虫态则需处理19 d(严晓平等, 2010)。随着氮气体积分数升高、处理时间延长,赤拟谷盗各虫态死亡率均明显升高(许俊亚, 2024)。此外,吕建华等(2016)发现在处理时间相同条件下,不同处理方式下烟草甲各虫态死亡率为:充氮气调>脱氧剂>简单密封,在充入氮气条件下,处理时间为6 d后,烟草甲各虫态可完全被控制;在加入脱氧剂条件下,处理时间为6 d后,对烟草甲各虫态控制作用较好。鲁玉杰等(2023)报道氮气体积分数为98%时赤拟谷盗死亡率明显高于氮气体积分数为95%和97%时死亡率。脱氧剂在密闭环境中对害虫有较好的控制作用,而且对不同种类的害虫防治效果不同,脱氧剂对粉食性害虫(锯谷盗、赤拟谷盗和长角扁谷盗 *Cryptolestes pusillus*)的防治效果较蛀食性害虫(谷蠹和玉米象)更好(夏丽媛等, 2024)。

本研究发现,在氮气体积分数为98%时处理8 d后仍不能全部消灭烟草螟卵,在氮气体积分数为98%与5 g脱氧剂联合处理8 d后,卵死亡率有所提高,但仍未达到100%。但利用氮气与脱氧剂联合处理后,仅需6 d就可将幼虫全部消灭;在氮气体积分数为98%时处理8 d后,蛹不能完全被消灭,而与5 g脱氧剂联合处理8 d后,蛹校正死亡率可达到100%;在氮气体积分数为98%时处理2 d后,成虫校正死亡率达到100%;而在相同处理时间下,氮气体积分数95%与14 g脱氧剂联合处理量就可将成虫全部消灭。结果表明,氮气气调与脱氧剂联合处理后烟草螟各虫态的死亡率均大于单独充氮气调处理后各虫态的死亡率。在氮气体积分数、脱氧剂剂量和处理时间相同条件下,烟草螟各虫态校正死亡率为:成虫>幼虫>蛹>卵,说明成虫对氮气最敏感。在实践中,粮仓内氮气体积分数很难长时间维持在98%以上,同时投入成本相对较高,导致氮气气调技术应用受到限制,而单独使用脱氧剂又很难在短时间内将害虫全部消灭。因此,在储粮过程中,建议优先使用氮气气调与脱氧剂结合的方法防治储粮害虫。

参考文献(References)

- Bai CQ, Guo ZQ, Zhang KZ, *et al.* Advances in insect pest impact on stored grain [J]. *Journal of the Chinese cereals and Oils Association*, 2023, 38 (12): 8-15. [白春启, 郭自强, 张凯智,等. 储粮害虫危害研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2023, 38 (12): 8-15]
- Boyer S, Zhang H, Lempérière G. A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2011, 102 (2): 213-229.

- Chang YF, Sun J, Chen CG. Exploration of grain technology using deoxidizing agent combined with low oxygen nitrogen-rich [J]. *Grain Distribution Technology*, 2014, 4: 27-29. [常亚飞, 孙俊, 陈彩根. 低氧富氮结合脱氧剂储粮技术探索 [J]. 粮食流通技术, 2014, 4: 27-29]
- Chen Z, Zhao C, Wang DX, *et al.* Volatiles measurement of peanuts and three kinds of cereals and oviposition preference comparison of *Ephestia elutella* (Hübner) on the tested grains [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 42 (3): 93-99. [陈卓, 赵超, 王殿轩, 等. 花生与 3 种谷物挥发物测定及烟草螟对其产卵偏好性比较 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2021, 42 (3): 93-99]
- Han KY, Cai B, Hu Y, *et al.* Study on the control effect of "a new combined physical insecticidal lamp" on tobacco pests stored outside the warehouse of repeat roasted finished products [J]. *Agricultural Technical Services*, 2017, 34 (5): 38-39. [韩开宇, 蔡斌, 胡涌, 等. “一种新型组合式物理杀虫灯”对复烤成品仓库外储烟害虫的防治效果研究 [J]. 农技服务, 2017, 34 (5): 38-39]
- Hu Y, Wei L, Yang MF, *et al.* Effects of cold storage on maternal and progeny fitness of *Ephestia elutella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2022, 43 (3): 26-32. [胡勇, 韦兰, 杨茂发, 等. 低温冷藏对烟草粉螟亲代和子代适合度的影响 [J]. 中国烟草科学, 2022, 43 (3): 26-32]
- Liu WJ. Research on Key Techniques for Propagation of *Habrobracon hebetor* (Say) and Its Control Effect on *Ephestia elutella* (Hübner) [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology Master Thesis, 2024. [刘文靖. 麦蛾茧蜂扩繁关键技术及其对烟草螟控制作用研究 [D]. 郑州: 河南工业大学硕士论文, 2023]
- Lu YJ, Liu JS, Lu SH, *et al.* Research progress of adaptive mechanisms of insects to hypoxic environments [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2024, 39 (2): 218-225. [鲁玉杰, 刘嘉澍, 卢少华, 等. 昆虫对低氧环境的适应性机制研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2024, 39 (2): 218-225]
- Lu YJ, Yang L, Lu SH, *et al.* Effect of controlled atmosphere with nitrogen on control and antioxidant enzymes activities of *Tribolium castaneum* [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38 (10): 1-7. [鲁玉杰, 杨丽, 卢少华, 等. 氮气气调对赤拟谷盗的防治效果及抗氧化酶活性的影响 [J]. 中国粮油学报, 2023, 38 (10): 1-7]
- Luo Y, Chen B, Guo ZK, *et al.* The progress of control technology on tobacco storage pests [J]. *Journal of Kunming University*, 2021, 43 (6): 19-23. [罗云, 陈斌, 郭绍坤, 等. 烟叶仓储害虫综合治理研究进展 [J]. 昆明学院学报, 2021, 43 (6): 19-23]
- Lv JH, Ma D, Su XH, *et al.* The effect of three non-chemical methods for controlling *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae) [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2016, 37 (5): 47-50. [吕建华, 马丹, 苏宏新, 等. 三种非化学防治方法对烟草甲的控制作用 [J]. 中国烟草科学, 2016, 37 (5): 47-50]
- Song XQ, Ou YZ. Key influencing factors of food security guarantee in China during 1999-2007 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 67 (6): 793-803. [宋小青, 欧阳竹. 1999-2007 年中国粮食安全的关键影响因素 [J]. 地理学报, 2012, 67 (6): 793-803]
- Sun JF, Yang FY, Li Z. The application research on killing *Lasioderma serricornis* by CO₂ [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59 (3): 87-90. [孙建锋, 杨奋宇, 李臻. CO₂ 灭杀烟草甲的应用研究 [J]. 湖北农业科学, 2020, 59 (3): 87-90]
- Sun L, Kou RL, Sun SZ, *et al.* Application of gas preservation technology in grain storage [J]. *Food Processing*, 2023, 48 (6): 93-96. [孙磊, 寇润蕾, 孙少振, 等. 气调保鲜技术在粮食储藏中的应用 [J]. 粮食加工, 2023, 48 (6): 93-96]
- Wang J, Zhang Z, Liu Y. Spatial shifts in grain production increases in China and implications for food security [J]. *Land Use Policy*, 2018, 74: 204-213.
- Wang JQ, Wang HY, Zhang EQ, *et al.* Evaluation on the Comprehensive efficiency of three insecticidal methods in the maintenance process of flue-cured tobacco [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48 (22): 177-180. [王健强, 王宏岩, 张二强, 等.]

- 片烟养护过程中3种杀虫方式的综合效能评价 [J]. *安徽农业科学*, 2020, 48 (22): 177-180]
- Wang XM, Li Y, Zhang CF, *et al.* Current situation and prospect of *Ephestia elutella* control [J]. *Light Industry Science and Technology*, 2024, 40 (3): 145-147, 152. [王雪梅, 李云, 张春飞, 等. 烟草粉螟防治现状及展望 [J]. *轻工科技*, 2024, 40 (3): 145-147, 152]
- Xia LY, Wang F, Liu BC, *et al.* Research on the control effect of air-regulating agent on common stored grain insect pests under different temperatures [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2024, 39 (6): 1-6. [夏丽媛, 王法, 刘北辰, 等. 不同温度下气调剂对常见储粮害虫控制效果研究 [J]. *中国粮油学报*, 2024, 39 (6): 1-6]
- Xu JY. Study on The Effect of Nitrogen Treatment with Different Concentrations on The Adaptability of *Tribolium castaneum* [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology Master Thesis, 2024. [许俊亚. 不同浓度氮气处理对赤拟谷盗适应性的影响研究 [D]. 郑州: 河南工业大学硕士论文, 2024]
- Yan XP, Song YC, Wang Q, *et al.* Test on stored grain insects exposed to over 96% nitrogen [J]. *Grain Storage and Logistics*, 2010, 39 (1): 3-5. [严晓平, 宋永成, 王强, 等. 一定条件下96%以上氮气控制主要储粮害虫试验 [J]. *粮食储藏*, 2010, 39 (1): 3-5]
- Yin B, Zhen H, Zhou ZH, *et al.* Analysis of grain storage security factors and development status of grain storage technology [J]. *Grain Processing*, 2024, 49 (1): 96-101. [尹博, 甄行, 周振环, 等. 粮食储存安全要素分析及储粮技术发展现状 [J]. *粮食加工*, 2024, 49 (1): 96-101]
- Yuan M, Ou HD, Yang MF, *et al.* Sensitivity of *Ephestia elutella* to five insecticides [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2018, 37 (5): 36-40. [袁敏, 欧后丁, 杨茂发, 等. 烟草粉螟对5种杀虫剂的敏感性测定 [J]. *山地农业生物学报*, 2018, 37 (5): 36-40]
- Zhang FH, Xia LZ, Tang JW, *et al.* Exploration of temperature control grain storage technology in shallow round silo [J]. *Liangyou Cangchu Keji Tongxun*, 2022, 38 (4): 28-30. [张飞豪, 夏利泽, 唐建伟, 等. 浅圆仓控温储粮技术探索 [J]. *粮油仓储科技通讯*, 2022, 38 (4): 28-30]
- Zhang XP, Tang Y. Comparison of insecticidal effect of nitrogen regulating technology on three new grains [J]. *Liangyou Cangchu Keji Tongxun*, 2014, 30 (4): 38-40. [张晓培, 唐瑜. 氮气的调技术对三种新粮杀虫效果比较 [J]. *粮油仓储科技通讯*, 2014, 30 (4): 38-40]
- Zhao XM. Food storage loss and its countermeasures [J]. *Nongmin Zhifuzhiyou Yuekan*, 2018, 7: 241. [赵学梅. 粮食储藏损耗及其应对措施 [J]. *农民致富之友*, 2018, 7: 241]
- Zhu JF. The present situation, influencing factors and improvement measures of post-production loss of grain in China: A case study of farmers' grain storage [J]. *Jiangxi Social Sciences*, 2023, 43 (9): 29-40. [朱俊峰. 我国粮食产后损失现状、影响因素及改进对策——以农户储粮环节为例 [J]. *江西社会科学*, 2023, 43 (9): 29-40]