

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.06.030

储粮害虫生物防治技术研究进展

任剑豪¹, 吴卫国¹✉, 宗平¹, 李娜¹, 张兵², 周涛²

(1. 湖南农业大学 食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128;
2. 中南粮油食品科学研究院有限公司, 湖南 长沙 410008)

摘要: 由于长期使用化学杀虫剂防治储粮害虫, 使其产生严重的抗药性, 且污染环境。介绍储藏中的常见虫害及其造成的损失, 根据粮食储藏绿色、环保、安全的要求, 探讨粮食储藏过程中针对储粮害虫的生物防治技术, 综述在稻谷储藏中关于昆虫生长调节剂、信息素、微生物源物质、植物及植物提取物等生物防治技术的应用研究进展, 以期开拓储粮害虫防治思路, 减少或避免储粮害虫造成的损失, 为未来研究储粮害虫防治技术提供参考。

关键词: 粮食储藏; 储粮害虫; 生物防治; 昆虫生长调节剂; 信息素; 微生物源; 植物提取物

中图分类号: TS201.2; S435 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)06-0218-05

Research Progress on Bio-control Technology of Stored-grain Pests

REN Jian-hao¹, WU Wei-guo¹✉, ZONG ping¹, LI Na¹, ZHANG Bing², ZHOU Tao²

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;
2. Zhongnan Cereals, Oils and Food Research Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract: The long-term use of chemical insecticides to control stored-grain pests has caused problems like pest resistance and environment pollution. The article briefly introduces some common pests and the losses they caused. According to the requirements of green, environmental protection and safety of grain storage, the biological control technology for stored grain pests in the process of grain storage is discussed, and the research progress of the application of biological control technologies such as agents, pheromones, microbial source materials, plants and plant extracts were also introduced. We hope to develop ideas for the prevention of stored-grain pests, reduce or avoid the losses caused by the pests, provide reference for future research on stored-grain pests control technology.

Key words: grain storage; stored-grain pest; bio-control technology; insect growth regulator; pheromone; microbial source; plant extract

1 储粮害虫

储粮害虫通常是指危害储藏粮食及其产品的昆虫, 大都属于昆虫纲中的鳞翅目和鞘翅目。虫

害是储粮过程中造成粮食损失的重要原因之一, 全国每年因害虫造成的粮食损失约为总储粮量的十分之一, 损失金额超20亿^[1]。

危害我国稻谷储藏的主要害虫有谷蠹、米象/玉米象、谷盗类等。米象、玉米象属于蛀食性害虫, 成虫用喙在粮粒表面做窝, 产卵后用黏液封口, 对多种谷物及加工品均造成危害, 造成粮食在储藏期内的重量损失。谷蠹主要在我国南方各省发生危害, 成虫在粮粒裂缝中产卵, 幼虫一般

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 湖南省科技计划项目: 粮食绿色储藏湖南省重点实验室(2018TP1032)

作者简介: 任剑豪, 男, 1996年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮食储藏。E-mail: 1120610124@qq.com.

通讯作者: 吴卫国, 男, 1968年出生, 教授, 博士生导师, 研究方向为粮油加工。E-mail: 1061051403@qq.com.

钻入粮粒内危害, 在粮粒间产生大量白色粉末, 这些粉末会减少粮堆空隙度, 影响熏蒸剂的杀虫效果。谷盗类食性复杂, 危害范围广, 成虫能分泌臭液污染粮食, 使被污染物产生一种难闻的霉臭味, 颜色发生改变, 无法食用。

储粮害虫造成的损失除了害虫取食产生的直接损失、被害虫危害造成的间接损失之外, 还有商品生虫而引起的商品信誉损失及消费者的心理不适。

2 生物防治

目前国内防治储藏物害虫的主要方式是利用磷化氢等化学药剂进行熏蒸。通过研究储粮害虫成虫大分子浓度和代谢产物, Shakoori 等^[2]得出不同浓度的磷化氢对各种暴露时间下储粮害虫的影响, 证明了磷化氢的防虫效果。

长期以来利用化学杀虫剂防治储粮害虫, 使我国各地粮库多次出现对锈赤扁谷盗、赤拟谷盗、杂拟谷盗、长角扁谷盗、谷蠹、书虱、玉米象、米象等重要害虫用磷化氢熏蒸失败的现象, 即害虫不同程度地产生了抗药性。目前由于绿色储粮等新时代要求的出现, 为改善害虫抗药及药剂残留污染等问题, 针对生物防治技术的相关研究逐渐增多, 这些研究主要集中在害虫相关激素防治、微生物源物质及植物源物质防控等几个方面。

2.1 昆虫激素

昆虫激素是由昆虫内分泌腺分泌到体外或由体液输送至全身各处的化学物质, 按其作用方式分为两大类, 即昆虫内激素、昆虫外激素。

2.1.1 昆虫内激素

昆虫内激素调控昆虫的生长发育, 分为脑激素、保幼激素、蜕皮激素等。昆虫内激素防治害虫与常规化学杀虫剂相比, 对哺乳动物低毒和对防治对象有高度选择性, 具有广泛应用前景。

昆虫保幼激素是由昆虫咽侧体分泌的、能使幼虫保持幼龄状态的一种化合物, 人工合成的类似物中效果较好的被称为甲氧保幼素。使用剂量为 5 mg/kg 时, 就能有效地防治大眼锯谷盗、锯谷盗、烟草甲、谷蠹、印度谷螟等储粮害虫, 其缺点是对低龄幼虫控制效果较差, 且不能控制蛀蚀性害虫子一代的发生^[3]。几丁质是昆虫表皮的主要成分, 几丁质合成抑制剂能抑制昆虫表皮几丁质的形成, 能有效地控制米象等隐蔽性储粮害虫, 是一类能对化学杀虫剂已产生了抗性的储粮害虫有良好效果的物质。

美国自然资源研究所对昆虫生长调节剂防治大谷蠹、谷蠹和玉米象的效果进行了研究, 发现在合适的剂量下, 防治效果在 90% 以上^[4]。根据国内外研究情况不难看出, 随着对昆虫生长调节剂的研究逐渐深入, 利用昆虫生长调节剂控制储粮害虫具有实用价值和研究意义。

2.1.2 昆虫外激素

昆虫外激素又称为昆虫信息素, 是昆虫分泌到体外, 并能被同种昆虫的嗅觉器官察觉, 引起某种特殊生理效应和特定行为的微量化学物质, 包括了集结外激素、追踪外激素、告警信息素、疏散信息素及性外激素等。信息素防治储粮害虫主要是通过利用性激素干扰害虫交配、利用信息素吸引集中诱捕和利用信息素引诱部分害虫到诱捕器内, 使之沾染生物制剂后返回种群中产生流行病等手段防治害虫。国内外已有百余种昆虫信息素能够进行人工合成, 包括米象、玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、印度谷螟等十几种主要储粮害虫的信息素^[5]。

2.1.2 昆虫外激素

以色列专家针对昆虫性行为的 5 个阶段, 研究了印度谷螟性激素的形成、释放和终止机理, 认为人工释放类似物能有效干扰其性行为而达到防控目的^[6]。王兴周等^[7]研究表明性信息素诱捕印度谷蛾对除成虫外的其它虫态没有作用, 只能对印度谷蛾种群数量起到一定的抑制作用, 无法彻底消灭害虫, 以此防治印度谷蛾具有一定的局限性, 需要和其他防治方式联合使用。而顺-9,反-12-十四碳二烯醇醋酸酯和顺-9,反-12-十四碳二烯-1-醇在 7:3 比例时对印度谷螟引诱活性较高^[8]; Dismate PE 性诱剂对印度谷螟具有较强的诱集作用, 且捕杀效果要好于溴甲烷熏蒸法^[9]。

张红建等^[10]研究了磷化氢抗性种群赤拟谷盗释放 4,8-二甲基癸醛这种已经商业化的赤拟谷盗信息素的能力降低, 如果用该种信息素诱捕赤拟谷盗抗性种群可能会导致诱捕失败。但在抗性种群中产生了 1,3-二异丙基萘和 2,4-异丙基萘两种微量的新的可能的信息素, 为了证明赤拟谷盗磷

化氢抗性种群中产生了新的信息素化合物, 还需培养更高抗性的种群进一步验证。石建敏^[11]探究了赤拟谷盗聚集信息素的手性全合成路线, 合成了 72 个化合物, 结果证明具有手性结构的目标产物(4R, 8S)-5-1、6-1 对赤拟谷盗试虫有一定引诱活性。

2.2 微生物及微生物源杀虫剂

微生物能够广泛地寄生在储粮害虫中, 具有很大的开发潜力。目前, 在仓储害虫防治中应用最多的真菌是苏云金杆菌、绿僵菌、白僵菌等。

苏云金杆菌杀虫机理是通过昆虫的口器进入虫体内部而致病, 能有效控制印度谷螟、米蛾、粉斑螟、粉螟、米黑虫等的发生, 但对粮粒中的鞘翅目幼虫防治效果较弱^[12]。随着越来越多的储粮害虫对苏云金杆菌抗性的产生, 使其广泛使用受到了影响。绿僵菌对储存小麦中的多种害虫有效果, 与硅藻土、噻虫嗪复配使用, 杀虫效果更佳^[13]。Nboyine 等^[14]对真菌病原体白僵菌进行了研究, 发现其可对储存的玉米中较大的螟虫进行生物防治。英国有研究通过处理昆虫尸体, 并在实验室培养中得到球孢白僵菌, 其中最有效的分离株使储粮害虫中甲虫和蛾的死亡率接近 100%^[15]。继利用苏云金杆菌等微生物防控后, 近年又开展针对多杀菌素等微生物源物质防控储粮害虫的相关研究。

微生物源杀虫剂因对哺乳动物的毒性很低、安全性好、选择性强、污染少、害虫不易产生抗药性等优点而受到人们的关注。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(简称甲维盐)和乙基多杀菌素是目前研究的主要微生物源杀虫剂。

多杀菌素是从土壤放线菌中分离出来的一种白色固体结晶。多杀菌素通过刺激昆虫神经系统导致非功能性的肌肉收缩、衰竭, 最终导致施药对象死亡, 对害虫有较为快速的触杀及胃毒作用, 对哺乳动物等有宽广的安全界限, 对谷蠹、玉米象、锯谷盗、赤拟谷盗等多种经济害虫有较高的活性。研究表明, 在小麦中施用多杀菌素, 可保其免受谷蠹及赤拟谷盗危害约一年时间^[16]。

1 mg/kg 甲维盐对锯谷盗种群抑制率达 100%, 4 mg/kg 甲维盐对玉米象种群抑制效果好; 1 mg/kg 乙基多杀菌素对玉米象、锈赤扁谷盗、谷

蠹等常见储粮害虫均有较好的防治效果; 且两种微生物源药剂对麦蛾均具有很强的子代种群抑制作用^[17-20]。刘炎等^[21]研究发现, 4 mg/kg 甲维盐和 1 mg/kg 乙基多杀菌素复配时, 对玉米象和锈赤扁谷盗的防治效果达 100%, 对谷蠹的防治效果为 97.8%。

2.3 植物及植物提取物

迄今已发现有多种植物及其次生代谢物具有杀虫活性。李前泰等^[22]筛选了我国二十余种天然植物, 发现番茄、辣蓼、八角等植物原料制成的粉剂拌入粮食对米象、赤拟谷盗、谷蠹有良好的驱避和触杀效果; 黄樟油、八角油、肉桂油有强烈触杀及熏蒸作用且致死作用迅速, 可以有效杀灭成虫并控制子代发生; 且肉桂精油、茴香精油和艾叶精油三种精油效果很显著, 可用于植物精油型粮食防虫剂的制作^[23]。且相对化学防虫剂磷化氢, 多孔淀粉缓释植物精油粮食防虫剂的防虫效果更显著, 持续时间长且稳定。

Muhammad 等^[24]研究了 *Ferula narthex*、紫罗兰属、雪莲等植物丙酮提取物可作为保护剂用于杀死或抑制储粮害虫。苦皮藤素能在较长的一段时间对粮堆内的玉米象、赤拟谷盗和锈赤扁谷盗有较好的防治作用^[25-26]。辣椒素对储粮害虫有一定驱避作用, 对锈赤扁谷盗、长角谷盗、玉米象、谷蠹等害虫亦起到了普遍抑制作用, 且随着辣椒素添加剂量的增加, 抑制作用增大, 同时加速害虫的死亡^[27-28]。实验结果表明辣椒素对玉米象、赤拟谷盗和书虱效果相对明显, 对谷蠹的驱避作用次之, 但辣椒素对储粮害虫触杀作用不明显^[29]。辣椒素处理导致玉米象和赤拟谷盗的死亡率提高, 增殖率降低, 可能是由于辣椒素作用于昆虫的味觉器官, 抑制昆虫的取食行为, 直至饥饿死亡; 同时, 辣椒素对供试昆虫的化学感受器有明显的影响, 干扰其正常生理行为活动。

大蒜也是一种极具开发潜力的药用植物。大蒜挥发油对谷蠹、赤拟谷盗和书虱种群抑制和触杀效果好, 直接用于杀虫效果佳, 是一种理想的廉价、高效、低毒、广谱的植物源农药^[30]。也有研究表明印度楝树和大蒜干燥的植物粉末可以用来控制一些储存的谷物害虫^[31-32]。

Saleem 等^[33]研究结果表明害虫死亡率与植

物精油浓度和暴露时间呈正相关, 实验证明曼陀罗, 赤桉, 辣木和黑麦草精油可用作熏蒸剂来控制储粮中的害虫; 香叶天竺葵精油对锈赤扁谷盗成虫也具有显著的熏蒸毒杀活性, 校正驱避率也达到了 77.55%^[34]。Traian 等^[35]研究了百里香和 *Satureja hortensis* L. 两种精油的杀虫效果, 结果表明两种精油主要的活性杀虫化合物是麝香草酚, 如丁子香酚和芳樟醇。植物提取物对储粮害虫产生作用的有效成分还可以进行进一步的研究, 以开发针对储粮害虫高效的植物源药剂。

3 展望

开发对害虫高效且广谱性好, 对人畜低毒, 不污染粮食, 残留量少, 有效期长, 操作简单方便、安全, 费用低廉的新型防虫药品是未来有关防治储粮害虫研究的方向之一。生物防治储藏物害虫具有这一可能性, 但其相关研究还有待进一步深入。

对于信息素防治储粮害虫, 如果在控制生产成本的基础上, 提取高浓度的天然信息素, 或者合成高效的储粮害虫信息素类似物, 那么监测诱捕器的应用将会大大提高储粮的安全性。我国药用植物来源及种类丰富, 且许多种类均有杀虫活性的相关报道, 深入研究中草药植物及其提取物的杀虫作用, 利用其开发储粮相关药剂具可行性, 目前开展植物提取物的相关储粮实验大多采取拌入或熏蒸等手段, 是否对粮食后续加工品质和消费者使用情况产生影响没有过多讨论, 也可以进一步进行研究。

随着研究的深入及相关先进成果的应用, 今后可利用高新技术和精密仪器来提取并合成各种特殊活性物质, 配合气调、熏蒸等多种现有手段联合使用。新技术和新仪器的产生定会为生物防治储粮害虫的研究开辟出更广阔的空间。

参考文献:

- [1] 赵文君. 基于深度学习的储粮害虫图像识别与分类方法研究[D]. 河南: 河南工业大学, 2018.
- [2] SHAKOORI F R, FERROZ A, RIAZ T. Effect of sub-lethal doses of phosphine on macromolecular concentrations and metabolites of adult beetles of stored grain pest, *Trogoderma granarium*, previously exposed to phosphine[J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2016, 48(2): 583-588.
- [3] 沈兆鹏. 绿色储粮——用昆虫生长调节剂控制储粮害虫[J]. *粮食科技与经济*, 2005(5): 6-9.
- [4] TAPONDJOU L A, ADLER C, BOUDA H, et al. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2002, 38: 395-402.
- [5] 李兴奎, 鲁玉杰, 仲建锋, 等. 储粮害虫检测技术研究现状及应用进展[J]. *粮食流通技术*, 2007(3): 19-22.
- [6] WANG X Q. Studies on inhibitory of seven botanical extracts on population formation of *Tribolium castaneum*[J]. *Stored Product Protection*, Sichuan Publishing House of Science Technology, 1999, (1): 866-869.
- [7] 王兴周, 李乐文, 王信富, 等. 印度谷蛾防治方法研究[J]. *粮食加工*, 2016, 41(4): 71-73.
- [8] 俞卓尔, 邓建宇, 汪中明, 等. 不同性信息素配方、诱捕器类型与不同来源诱芯对印度谷螟诱捕效果的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(11): 86-91.
- [9] 于广威, 王丽丽. Dismate PE 对印度谷螟的防治效果[J]. *粮食储藏*, 2013, 42(2): 3-4.
- [10] 张红建, 梁爱文, 贺艳萍, 等. 磷化氢敏感和抗性赤拟谷盗聚集信息素的比较[J]. *粮食储藏*, 2019, 48(3): 38-41.
- [11] 石建敏. 赤拟谷盗聚集信息素的全合成及其生物活性研究[D]. 塔里木大学, 2019.
- [12] 李隆术. 储藏产品害虫生物性防治技术研究进展[J]. *粮食储藏*, 2005(4): 3-7.
- [13] ASHRAF M, FAROOQ M, SHAKEEL M, et al. Influence of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*, alone and in combination with diatomaceous earth and thiamethoxam on mortality, progeny production, mycosis, and sporulation of the stored grain insect pests[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(36): 1-10.
- [14] NBOYINE J A, ASANTE S K, NUTSUGAH S K, et al. Biological control of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) in stored maize using the fungal pathogen, *beauveria bassiana* and the predator *Teretrius nigrescens* Lewis[J]. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2015, 6(4): 30-37.
- [15] COX P D, WAKEFIELD M E, PRIZE N, et al. The potential use of insect-specific fungi to control grain storage pests in empty grain stores[J]. *Project Report*, 2004, 341.
- [16] 沈兆鹏. 绿色储粮——用微生物制剂消灭储粮害虫[J]. *粮食科技与经济*, 2005(4): 7-8+14.
- [17] 邓树华, 吴树会, 周剑宇, 等. 甲维盐对锯谷盗成虫的控制作用研究[J]. *粮食科技与经济*, 2013, 38(5): 35-36.
- [18] 张晓燕, 覃世民, 邓树华, 等. 微生物杀虫剂甲维盐对玉米象成虫的防治效果研究[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(6): 115-117.
- [19] 吴树会, 邓树华, 周剑宇. 生物药剂乙基多杀菌素对锈赤扁谷盗成虫的毒杀作用[J]. *粮食科技与经济*, 2012, 37(4): 27-29.
- [20] 吴树会, 覃世民, 胡飞俊, 等. 2 种微生物源物质对麦蛾的控制作用[J]. *粮食科技与经济*, 2014, 39(5): 55-56.

- [21] 刘炎, 陆群, 曹宇飞, 等. 复配剂对 3 种主要储粮害虫防治效果试验[J]. 粮食科技与经济, 2017, 42(1): 52-53.
- [22] 李前泰, 宋永成. 几种植物性物质杀虫效果的应用研究[J]. 四川粮油科技, 1998(4): 32-38.
- [23] 葛玲艳. 植物精油型粮食杀虫剂的研制及应用[D]. 天津科技大学, 2011.
- [24] MUHAMMAD S, MANSOOR-UL-HASAN, MAZHAR H R, et al. Toxicological and growth regulatory effects of acetone extract oils of indigenous medicinal plants against a stored grain pest, *cryptolestes ferrugineus* (stephens) (coleoptera: cucujidae) [J]. Pakistan J. Zool., 2016, 48(3): 903-906.
- [25] 王晶磊, 徐威. 绿色储粮药剂平房仓防虫应用效果研究[J]. 粮食加工, 2015, 40(4): 70-74.
- [26] 王晶磊, 严梅. 不同仓型苦皮藤素防虫试验效果研究[J]. 粮食科技与经济, 2015, 40(2): 46-49.
- [27] 欧阳建勋, 刘营营, 李忠海, 等. 辣椒素对储粮害虫防治效果研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 200-204.
- [28] 刘营营. 辣椒素对中南地区储粮害虫的作用研究[D]. 中南林业科技大学, 2012.
- [29] 欧阳建勋. 辣椒素抗有害生物及在稻谷绿色储藏中的应用研究[D]. 湖南农业大学, 2011.
- [30] 鲁玉杰, 刘凤杰. 大蒜和芦荟提取物防治几种储粮害虫效果的研究[J]. 粮食储藏, 2003(3): 14-17.
- [31] ONU F M, OGU E, IKEHI M E. Use of neem and garlic dried plant powders for controlling some stored grains pests[J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2015, 25(2): 507-512.
- [32] AKHTAR S, MANSOOR-UL-HASAN, SAGHEER M, et al. Antifeedant effect of essential oils of five indigenous medicinal plants against stored grain insect pests[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2015, 47(4): 1045-1050.
- [33] SALEEM S, MANSOORUL H, SAGHEER M, et al. Insecticidal activity of essential oils of four medicinal plants against different stored grain insect pests [J]. Pakistan Journal of Zoology, 2014, 46(5): 1407-1414.
- [34] 孙博. 锈赤扁谷盗生物学及“Push-pull”技术对其控制作用研究[D]. 仲恺农业工程学院, 2018.
- [35] TRAIAN M, CARMEN L, FĂTU V, et al. Experimental model for biological control of stored grain pests[J]. 农业科学与技术, 2015, 5(10): 793-798. ㊟

· 公益宣传 ·

《现代面粉工业》热忱欢迎社会各界订阅、赐稿、惠登广告!

《现代面粉工业》曾用刊名《面粉通讯》，创刊于建国初期，是一本具有七十年历史的粮食杂志，现为中国粮食行业协会小麦分会会刊，被中国核心期刊（遴选）数据库、万方数据库、知网数据库、维普期刊数据库收录。

《现代面粉工业》主要专栏有：现代粮食工程、粮食工程教育、制粉技术、生产设备、原料与添加剂、品质监控、面制品及专用粉、企业管理、市场动态、名家访谈、企业风采、粮食史话、文献导读，等。

《现代面粉工业》主要读者对象是国内外从事粮食工程，特别是小麦制粉及其相关的粮食机械、面制食品、食品添加剂行业的管理、技术人员和大专院校的师生、粮食行政管理者和粮食科技工作者，等。《现代面粉工业》为我国粮食战线的技术人员、管理工作提供了—个了解粮食工业最前沿科技动态、开展理论研讨、解决技术难题、搜索市场信息的平台。作为国内唯一以提高小麦制粉技术，提升行业发展能力为主要园地的粮食专业期刊，理论与实践并重，能紧密围绕国家粮食安全和面粉生产的实际，与时俱进，受到粮食行业的普遍好评，对推动粮食加工现代化起到了一定的积极作用。《现代面粉工业》办刊宗旨为：传播新技术、沟通新信息、交流新经验，推动行业科技创新和产业健康发展，提高国家粮食安全水平。

《现代面粉工业》由江苏省教育厅主管，江苏科技大学主办。杂志多次获得江苏省科技期刊“十佳创新团队奖”“十佳期刊传播奖”和“十佳品牌活动奖”。

《现代面粉工业》为双月刊，大 16 开本，正文 56 页，每期出刊时间为逢双月 15 日，全年共 6 期。

地址：江苏省镇江市丹徒区长晖路 666 号 邮编：212028

电话：0511-84401750（刘老师）

投稿邮箱：xdmfgy@163.com 或 jsmftx@163.com

国内统一连续出版物号：CN 32-1798/TS

国际标准连续出版物号：ISSN 1674-5280

邮发代号：28-343 外发代号：BM1804