

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.01.022

张袁泉, 吕建华, 白春启, 等. 粮食防虫包装研究与应用进展[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 168-174.

ZHANG Y Q, LV J H, BAI C Q, et al. Progress in research and application of insect-resistant packaging for grain storage[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 168-174.

粮食防虫包装研究与应用进展

张袁泉¹, 吕建华¹✉, 白春启¹, 韩志强², 郭亚飞¹

(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: 粮食在储藏及加工过程中极易遭受储粮害虫为害。目前对储粮害虫防治仍然以化学防治为主。但长期使用化学防治引起的害虫抗药性不断增强, 使其遇到前所未有的挑战。防虫包装作为一种既传统又新兴的物理防虫方式, 日益引起人们广泛关注。综述了粮食包装的材料种类及其特点、防虫包装的类型与应用方式、国内外对防虫包装的研究方法、防虫包装的评价方法及在实际应用中存在的问题, 并展望其发展趋势, 以期今后科学高效利用防虫包装、开发新型防虫包装防治储粮害虫提供参考信息。

关键词: 储粮害虫; 抗虫包装; 粮食包装; 评价方法; 发展趋势

中图分类号: TS206; S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)01-0168-07

Progress in Research and Application of Insect-resistant Packaging for Grain Storage

ZHANG Yuan-quan¹, LV Jian-hua¹✉, BAI Chun-qi¹, HAN Zhi-qiang², GUO Ya-fei¹

(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: Stored grain is extremely vulnerable to the storage insects during storage and processing. At present, chemical control is still the main method for controlling stored grain insects. However, the increasing resistance of insects caused by long-term use of chemical control raises unprecedented challenges. Insect-repellent packaging, as a traditional and emerging physical insect prevention method, has increasingly attracted widespread attention among people. The types and characteristics of food packaging materials, the types and application of insect-repellent packaging, the research and evaluating methods of insect-repellent packaging at home and abroad, and the problems existing in the practical application of insect-repellent packaging were reviewed, and the development trend of insect-repellent packaging was prospected, so as to provide reference information for the scientific and efficient use of insect-repellent packaging, development of new insect-repellent packaging to control stored grain insects in the future.

Key words: stored grain insects; insect-proof packaging; grain packaging; evaluation methods; development trend

收稿日期: 2023-07-04

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

粮食事关国计民生，粮食稳定安全供给一直是国家的重中之重。但是粮食从生产到消费各个环节常因遭受储粮害虫为害而造成严重损失^[1]。目前，国内外仍以磷化氢熏蒸为主的化学方式防治储粮害虫。但随着害虫抗药性增加、药剂残留及环境污染等负面问题的出现^[2]，人们亟需探寻绿色、高效的害虫防治措施。

防虫包装作为一种既传统又新兴的物理防虫方式，可有效防治多种储粮害虫且不会对环境造成污染，日益引起人们广泛关注。对粮食包装的探索最早可追溯到原始社会时期。粮食储藏包装物从直接选取自然材料，到烧制器皿经历了较长时间演变，而粮食交换流通曾长期使用麻袋作为传统大宗包装物。随着现代工业的发展，粮食包装材料向金属、化学合成材料方向转变^[3]。目前发达国家商品粮销售时多使用纸袋包装^[4]。随着国际贸易规模扩大，满足多种散粮运输要求的金属集装箱逐渐成为重要运输方式^[5]。

本文综述了粮食包装材料的种类及其特点、防虫包装的类型与应用方式、研究方法、存在的问题，并展望其发展趋势，以期为今后科学高效利用防虫包装、开发新型防虫包装防治储粮害虫提供参考信息。

1 目前粮食主要包装材料

GB/T 23509—2009《食品包装容器及材料》将食品包装容器及材料分为塑料、纸质、玻璃、陶瓷、金属、复合包装和其他包装七大类，成品粮、原粮包装材料种类也可照此分类。

1.1 塑料包装

常用粮食包装材料有聚丙烯（PP）、聚乙烯（PE）和聚酯（PET）等，由于树脂种类、性质及所占比例不同，机械性能和阻隔性能皆不同。塑料编织袋在大宗粮食包装中使用广泛^[6]，其特点是耐磨耐摔，结实且不易变形，防滑性好，便于储存堆垛。但编织袋气密性差、防潮防湿性差、抗穿刺性差，无法隔绝外界因素对包装粮的影响，添加剂可能会释放有害物质，污染储粮及其制品，对环境也存在较大影响。

1.2 纸质包装

常用粮食包装纸多为高强度伸性纸，卫生无毒，具有一定的挺度和韧性，耐撕裂且方便折叠、密封性良好，纸包装可吸收粮食中多余水分，其设计可提高粉类灌装速度，便于码垛，不易滑包，但机械强度和阻隔性受环境影响较大，尤其是环境湿度增加会使其机械强度降低^[4]。

1.3 玻璃包装

用于食品包装的玻璃主要是钠-钙-硅系玻璃^[7]，在大宗粮食包装方面应用较少，多用于粮食样品的展示或保存。玻璃包装化学稳定性好，硬度、抗压强度较高，气密性强，能完全阻隔水、气、汽、油等各种物质，但玻璃包装质量大且脆性高，抗冲击强度低，耐摔性差，使用次数有限。

1.4 陶瓷包装

陶瓷包装主要指以天然粘土为主要原料制成的罐或缸。陶瓷包装^[7]具有高硬度、高抗压强度，耐火耐热、隔热性能好，透气性极低。但用作家庭储粮容器使用时，气密性差，而且由于重量大、不耐摔且易碎，近年来逐渐被其他材质容器取代。

1.5 金属包装

金属包装多在散粮流通时以集装箱的形式使用。由于在尺寸、材料、高度等方面都有规定，集装箱包装具有良好的机械性能，抗张、抗压、韧度较强，抗破坏能力强，具有高阻隔性和气密性，便于采用机械化作业^[5]。但其化学稳定性较差，金属离子易析出，会影响食品风味，而且装卸工艺设备还需要创新完善，物流的信息化、智能化程度也有待提高。

1.6 复合材料包装

复合材料在粮食包装中应用广泛，多利用PP、PE、PET、聚偏二氯乙烯（PVDC）、乙烯/乙烯醇共聚物（EVOH）等材料复合而成，根据使用目的选择原料复配以满足性能需求。复合材料包装具有良好的机械性能和抗撕裂能力，耐摔性强，密封性以及防水防油性强，气密性高，但各层间黏合剂会存在剥离现象，而且某些黏合剂分解后可能影响食品安全^[8]。

1.7 其他包装

其他包装主要指木质包装、竹材包装、搪瓷包装、纤维包装等。其中纤维包装在粮食储藏流通中使用较为频繁,按材料可分为布袋、麻袋等。纤维包装原料易获取,制造简便,无毒无害,结实耐用,耐摔不易损坏,经整理修补可重复利用。但是这类包装易受外界污染,阻隔性能和气密性差,反复包装或张贴标识还会污染内含物以及给商标带来混乱^[9]。

2 国内外防虫包装的类型与应用方式

2.1 防虫包装的类型及其优缺点

一般情况下,害虫可通过在包装材料上钻孔或存在的孔隙进入包装内部危害内容物^[10]。防虫包装是为保护内容物免受虫害而采用的能有效防止害虫穿透的包装材料^[11],可分为物理防虫包装和化学防虫包装。

2.1.1 物理防虫包装

物理防虫包装多利用包装材料本身物理性质,通过紧密封闭包装防止害虫进入,或通过改变材料成分比例和厚度以降低害虫钻蛀率。例如,具有一定机械性能的纸质包装、塑料包装以及金属包装等,可较好防止害虫穿透^[12]。物理防虫包装不需添加其他物质,对环境和食品无污染,且密封性强这一特性还可配合气调等方式控制包装物内害虫。但这类包装材料的厚度具有一定限制,厚度增加会降低柔软度^[13]。

2.1.2 化学防虫包装

化学防虫包装多为向包装材料中加入化学物质以达到驱避甚至杀死害虫效果的一类包装。在防虫包装设计时添加对害虫有触杀或驱避作用的化合物可减少或避免害虫对包装食品的伤害^[10]。化学防虫包装的防控效果主要包括增强驱避作用^[14-18]、增加击倒及死亡率^[19-24]、有效抑制昆虫发育^[25]、降低昆虫卵孵化率^[26-27]。但是部分化学物质在实际使用中缺乏对害虫的广谱性,持效期短,还可能与包装食品存在相互作用,影响包装物品品质。特别是一些合成的驱避剂虽具有良好的驱虫活性,但可能对人体有害^[28]。所以化学防虫包装在实际使用上有一定限制。

2.2 防虫包装的应用方式

不同类型的防虫包装具有不同的应用方式。物理防虫包装主要利用包装材料的物理特性对内容物进行封闭防止害虫进入,而化学防虫包装则通过不同方式将特定药剂加入到包装材料中防止害虫进入。

2.2.1 物理阻隔

物理阻隔就是利用包装材料的物理特性阻止害虫侵入。材料性能取决于其基础材料种类、性质及加入的一些用来改善其性能的添加剂。改变材料配比即可影响包装材料的拉伸性能、硬度和韧性等物理特性。直接选用机械性能较强的包装材料就可增加抵抗其他较硬物体压入其表面的能力进而增加材料的适用性。在一系列薄膜中,具有最高伸长率和最低拉伸强度值的线性低密度聚乙烯膜(LLDPE)保护被包装物品免受害虫侵害能力最强^[29]。

2.2.2 抗虫涂层

制作抗虫涂层就是设法使驱虫物质均匀分布于材料外表面,利用暴露在环境侧的驱虫涂层单边驱避昆虫^[27]。最简单的涂层类型包括浸渍、喷涂或涂刷^[30]。涂刷指由设备精确控制涂层厚度,使涂料均匀分布在薄膜表面并通过热空气循环将薄膜干燥的过程。利用超临界二氧化碳浸渍技术将 LDPE 薄膜浸渍在萘烯酮中防治玉米象,接触到的玉米象死亡率高达 95%^[19]。将溴氰菊酯喷涂在聚丙烯编织袋表面,暴露 5 d 后赤拟谷盗、米象和谷蠹死亡率达到 100%^[20]。

2.2.3 内层材料融合

内层材料融合就是将驱虫物质与聚合物(如多糖、蛋白质、脂质、合成树脂或类似化合物)结合起来,运用铸造、吹塑或挤压等成型技术制造薄膜^[14,27]。吹塑成型常用于开发大规模薄膜,先在特定温度下对初始混合物均质化,然后在一定温度和速度下通过挤压拉伸并用空气吹制形成薄膜。以马铃薯淀粉/山萘萘素/TiO₂ 为基铸造的复合膜用来防治黄粉虫,其有效驱虫活性为 80%^[31]。通过共挤压技术生产含有溴氰菊酯的聚丙烯编织袋可将赤拟谷盗和杂拟谷盗成虫在 2~4 h 内击倒,暴露一定时间后成虫不能产生子代^[24]。

3 国内外防虫包装的评价方法

防虫包装的评价方法包括防虫包装的抗钻蛀性、对害虫的驱避效果、对害虫的击倒和死亡率,以及对昆虫生长发育的影响。

3.1 评价防虫包装的抗钻蛀性

评价塑料薄膜类型的防虫包装的抗钻蛀性一般是测定包装薄膜在一定时间内阻挡害虫入侵包装物的能力。薄膜厚度和机械性能对防虫效果具有重要影响。研究表明,聚乙烯薄膜对害虫的抗穿透阻力随薄膜厚度增加而增加^[32]。PP膜的印刷部分比未印刷部分更厚,抗穿透性更强,多层薄膜比单层薄膜抗穿透性强^[33]。

3.2 评价防虫包装对害虫的驱避效果

有些防虫包装中会添加驱避剂使害虫远离包装物,从而保证储粮免受侵害。研究表明,香茅精油对赤拟谷盗具有较强的驱避活性,含 0.01 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 香茅精油的聚丙烯薄膜 3 h 内对赤拟谷盗的驱避率可达 100%^[15]。含有八角茴香精油和百里香酚的 PP/PET/LDPE 多层膜在没有食物作引诱剂的情况下,对印度谷螟幼虫的持续驱虫活性可长达 23 d^[16]。将含 2% 烯丙硫醇的米粉微胶囊放入纸和聚乙烯包装袋中具有显著驱虫效

果,驱虫时间可持续 20 个月^[17]。

3.3 评价防虫包装对害虫的击倒及死亡率

彻底杀灭储粮害虫是最有效的防虫方法。测试防虫包装对害虫的击倒及死亡率可直观评价其防虫能力。研究表明,直接接触含有 163.2 mg/m^2 氯氰菊酯涂层的聚酯网 Carifend®5 d 后,谷蠹、大谷蠹、锯谷盗成虫全部死亡,14 d 后米象和谷象的死亡率超过 98%,杂拟谷盗死亡率达 83%^[21]。谷蠹在含有洋薄荷精油 (7% w/w) 的生物杀虫筒袋表面暴露 7 d 后全部死亡^[28]。花斑皮蠹和大谷蠹在含 3 g/kg 溴氰菊酯的聚丙烯聚合物袋表面暴露 1 h 后全部被击倒,死亡率在暴露期间逐渐增加^[23]。

3.4 评价防虫包装对昆虫生长发育的影响

近年来,多种杀虫剂和昆虫生长调节剂被添加至包装材料中调控害虫的生长发育。研究表明,赤拟谷盗和杂拟谷盗在含 3 g/kg 溴氰菊酯的聚丙烯编织袋上暴露一段时间后无子代产生^[27]。谷斑皮蠹暴露在经 S-烯虫酯处理的包装材料表面后,成虫羽化率均显著下降^[25]。包装中所含药剂及载体材料不同对储藏物害虫的防控效果也不同,不同抗虫物质与加药方式、不同载体材料对储藏物害虫的防控效果见表 1。

表 1 不同抗虫物质与加药方式、不同载体材料对储粮害虫的防控效果

Table 1 Control effect of different insecticidal substances, application methods and carrier materials on stored product insects

虫种	杀虫剂或驱避剂种类	药剂添加方式	载体材料	防控效果	参考文献
赤拟谷盗	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯聚合物袋	成虫在内外表面暴露 1 h 后全部被击倒,暴露 5 d 后的最大死亡率仅为 5.6%±3.4%。	[23]
	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯编织袋	成虫暴露 2~4 h 内被击倒,<48 h 可从击倒状态下恢复,≥48 h 不能产生子代。	[27]
	溴氰菊酯	喷涂	聚丙烯编织袋	成虫暴露 3 h 后被击倒,24 h、48 h 和 72 h 后的死亡率分别为 18.3%、21.7%和 62.2%,暴露 5 d 后死亡率达 100%。	[20]
	烯虫酯	挤压	PE-PE 和 PET-PE	PE-PE 上的卵平均孵化率为 50%~66%,PET-PE 上的卵平均孵化率为 57%~83%。PE-PE 内外表面的卵不能发育为成虫,PET-PE 内表面可 100%抑制卵发育至成虫。	[26]
杂拟谷盗	香茅、牛至和迷迭香精油	涂层	聚丙烯薄膜	香茅基膜和牛至基膜驱避率约为 60%,迷迭香基膜驱避率约为 87%。	[15]
	溴氰菊酯	共挤压	聚丙烯编织袋	成虫 2~4 h 被击倒,暴露 168 h 后成虫没有子代产生。	[27]
	氯氰菊酯	涂层	Carifend®聚酯网	暴露 14 d 后死亡率达到 83%。	[21]
玉米象	长叶薄荷酮 (R-(+)-pulegone)、百里香醌 (thymoquinone)	浸渍	LDPE 薄膜	24h、48 h 内试虫死亡率达 93%,72 h 内下降到 50%,96 h、168 h 下降至约 30%。	[19]

续表 1

虫种	杀虫剂或驱避剂种类	药剂添加方式	载体材料	防控效果	参考文献
玉米象	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯聚合物袋	5 d 后, 袋内击倒率为 30.0%, 袋外击倒率为 90.0%, 仍处于击倒状态但未死亡。	[23]
	柠檬草 (lemongrass) 精油	壳聚糖涂层	纸板	随着涂层数量从 1 层增加到 5 层, 抗虫效率提高了 59%。在 5 层涂层中, 360 h 后, 其抗虫效率达到 100%。	[34]
米象	溴氰菊酯	喷涂	聚丙烯编织袋	3 h 内被击倒, 暴露 24 h、48 h 和 72 h 后死亡率分别为 38.3%、56.7% 和 76.7%, 暴露 5 d 后死亡率达到 100%, 28 d 内无法穿透包装袋。	[20]
	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯聚合物袋	1 h 后外部和内部击倒率分别是 85.6% 和 6.7%, 100% 击倒需要更长时间, 暴露 5 d 后均死亡。	[23]
	烯丙硫醇 (allyl mercaptan)	微封装	米粉微胶囊	48 h 内均有显著驱虫效果, 预计驱虫时间可持续 20 个月。	[17]
谷象	氯氰菊酯	涂层	Carifend® 聚酯网	暴露 14 d 后, 米象死亡率 >98%。	[21]
	(E)-2-己烯醛 ((E)-2-Hexenal)	涂层	三层聚己内酯膜	处理过的包装的感染水平相对于对照组的感染水平有所降低, 处理组发现的成虫仅有 10%。	[18]
谷蠹	氯氰菊酯	涂层	Carifend® 聚酯网	暴露 14 d 后, 谷象的死亡率 >98%。	[21]
	薄荷 (Mentha piperita) 精油	挤压	聚乙烯膜	7 d 内谷蠹的死亡率为 100%。	[28]
	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯聚合物袋	内外表面暴露 1 h 后均全部被击倒。死亡率在暴露期间增加, 外表面连续暴露 3 d 和 5 d 后死亡率分别为 26.7% 和 58.95%, 内表面的死亡率分别为 10.0% 和 38.9%。	[23]
	溴氰菊酯	喷涂	聚丙烯编织袋	暴露 5 d 后死亡率达到 100%, 28 d 内无法穿透包装袋。在所有储存期, 死亡率显著升高。	[20]
大谷蠹	氯氰菊酯	涂层	Carifend® 聚酯网	暴露 1 d 后击倒率非常高, 暴露 5 d 后死亡率达到 100%。	[21]
	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯聚合物袋	内外表面暴露 1 h 后全部被击倒。死亡率在暴露期间增加, 连续暴露 3 天和 5 天后, 外表面死亡率为 27.4% 和 94.4%, 内表面死亡率为 33.3% 和 62.2%。	[23]
谷斑皮蠹	烯虫酯	挤压	牛皮纸、编织袋、PE-PE 膜、PET-PE 膜	PET-PE 包装内表面正常成虫羽化率为 2%, 牛皮纸内外表面的成虫羽化率分别为 75% 和 63%, PE-PE 外表面羽化率为 3%, 内表面羽化率为 7%。	[25]
肾斑皮蠹	烯虫酯	挤压	牛皮纸、编织袋、PE-PE 膜、PET-PE 膜	牛皮纸内表面成虫羽化率显著降低至 38%, PE-PE 两个表面的成虫率明显减少。	[25]
花斑皮蠹	溴氰菊酯	挤压	聚丙烯聚合物袋	内外表面暴露 1 h 后全部被击倒。死亡率在暴露期间增加, 内外表面上暴露 3 d 和 5 d 后成虫死亡率超过 82%。	[23]
	烯虫酯	挤压	PE-PE 薄膜、PET-PE 薄膜	PE-PE 包装上的卵平均孵化率为 54%~77%。PE-PE 包装外表面幼虫都在蛹期停止发育, PET-PE 包装内表面的卵-成虫出现率与对照相比降低了 87%~97%。	[26]
印度谷螟	八角茴香 (star anise) 精油	涂层	LDPE 薄膜、PP 薄膜	PP30 层压膜在 14 d 后仍具有较强的驱虫活性。	[14]
	八角茴香精油、百里香酚 (thymol)	涂层和层压	PP/PET/LDPE 多层膜	在没有食物作为引诱剂的情况下, 对印度谷螟幼虫的持续驱虫活性长达 23 d。	[16]
	洋葱精油、大蒜精油、二烯丙基二硫化物 (allyl disulfide)、烯丙硫醇	涂层和层压	以米粉为基的多层 LDPE 薄膜	抗穿透率随药物浓度的增加而增加, 5% 大蒜和洋葱精油、5% AD 和 AM 处理 72 h 后的穿透率分别为 22.2%、18.5%、11.1% 和 28.5%, AD-5 膜保存 15 d 后成功抵御害虫入侵。	[28]
锯谷盗	氯氰菊酯	涂层	Carifend® 聚酯网	成虫大多数暴露 3 d 后死亡, 5 d 后死亡率达到 100%。	[21]
黄粉虫	山萘苣素/TiO ₂	铸造	马铃薯淀粉/山萘苣素/TiO ₂ 为基的复合膜	所有含山萘苣素的二元和三元复合材料膜的驱虫效果均优于 PS 膜, PS/LT 复合膜的有效驱虫活性为 80%。	[31]

4 国内外防虫包装存在的问题

虽然随着科技进步国内外在新型防虫包装材料研究上取得一定进展,但在实际应用中还有诸多问题亟需解决。

4.1 有效新型化合物难寻

由于储粮害虫种类较多,这要求防虫包装对大多数储粮害虫有效。事实上,研发一种可有效防治多种害虫的新型化合物难度越来越大^[11]。近年来,一些学者也在不断筛选植物源等天然产物^[14,28,34]的防虫效果,探寻包括昆虫激素类似物^[25-26]在内的其他种类化合物的杀虫效果,期望能有所突破。

4.2 包装持效期不定

由于化合物自身特性,防虫包装中的活性物质可能在使用期内挥发降解,导致有效成分含量下降,抗虫能力降低^[19]。特别是在某些情况下,活性物质含量降低反而对昆虫产生引诱效果,影响包装物安全^[11]。目前新开发的固定化技术通过纳米复合材料^[35]、微封装^[17]、环糊精固定^[36]等方式可减缓材料内有效成分的释放,延长有效抗虫时间。

4.3 材料厚度的限制

虽然多层包装可减少害虫侵入,如铝箔多层包装等物理屏障对所有害虫都有一定的抵抗效果,但一味增加材料厚度并不可取。这不仅增加成本,还会导致过度包装。近年来,纳米技术的发展为改善包装的关键特性提供了巨大潜力,为实现减少材料厚度但不影响机械性能提供了一定可能性^[27]。

4.4 减少或避免添加物与包装物的相互作用

防虫包装的设计是将抗虫物质释放到外部环境中,且抗虫物质存在与包装食品相互作用的可能^[11],所以应控制活性成分扩散方向。与此同时,研究防虫包装中添加的化合物含量也很重要,以免过量添加破坏包装的物理或化学性质^[27]。

5 国内外防虫包装的发展趋势

防虫包装是减少食品损失的重要方法。虽然目前防虫包装研究和应用存在亟需解决的问题,

但“小包装关乎大生态”理念已深入人心,绿色、高效的新型包装是未来发展的必然趋势。

5.1 研发绿色、可持续使用的材料

传统包装依赖于化石基材料这类不可再生资源,不能完全回收降解,所以未来的新型防虫包装应为综合防虫性能好、成本低、可持续使用的材料,这就要求加强对生物基聚合物等可降解材料研究,并可根据储运流通需求制定不同包装形式,让粮食在有效封装、合理保存的同时减少包装耗材,避免资源浪费。

5.2 增加抗虫物质持效时间

在遵循绿色化、功能化和可持续的基础上,寻找高效广谱抗虫物质,配合封装技术延长抗虫物质缓速释放时间,或加入抗氧化物减缓有效成分的氧化降解,进而增加防虫包装有效使用时间。

5.3 多种材料、技术联合使用

多种材料、技术联合使用将是未来发展的主流方向。由简单包装向真空、低氧复合包装技术发展,由使用单一材料变为多种复合材料共同使用,将基础制造技术结合封装、固定技术研发新型抗虫包装材料及其应用技术,提高抗虫包装性能和适用范围,保证储藏物品质。

与传统包装相比,防虫包装在未来原粮、成品粮的安全储运流通中具有广阔的应用前景。今后应加强新材料研发、高效环保抗虫物质筛选、抗虫包装制作及应用技术研究,为储粮害虫的可持续防治提供技术支持。

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] FIELDS P G, WHITE N D G. Alternatives to Methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects[J]. Annual Review of Entomology, 2002, 47(1): 331-359.
- [3] 刘瑀. 浅谈包装材料的历史演变与未来发展[J]. 智能城市, 2016, 2(8): 42-43+45.
LIU Y. Historical evolution and future development of packaging materials[J]. Smart City, 2016, 2(8): 42-43+45.
- [4] KHWALDIA K, ARAB-TEHRANY E, DESOBRY S. Biopolymer coatings on paper packaging materials[J]. Comprehensive Reviews

- in Food Science and Food Safety, 2010, 9(1): 82-91.
- [5] 高兰, 王佩琦, 赵瑞营, 等. 国内外散粮集装箱运输概况和装卸粮方式综述[J]. 现代食品, 2021, 12: 6-9.
GAO L, WANG P Q ZHAO R Y. General situation of container transportation of bulk grain at home and abroad and summary of grain loading and unloading methods[J]. Modern Food, 2021, 12: 6-9.
- [6] 陈培忠, 王克俭. 浅谈塑料编织包装发展[J]. 塑料包装, 2019, 29(3): 25-29.
CHEN P Z, WANG K J. On the development of plastic braided packaging[J]. Plastics Packaging, 2019, 29(3): 25-29.
- [7] PIERGIOVANNI L, LIMBO S. Food packaging materials[M]. Basel, Switzerland: Springer International Publishing, 2016: 6-48.
- [8] 孙锦彩. 食品用塑料包装物理性能缺陷及原因探析[C]. 上海: 上海筱虞文化传播有限公司, 2022: 139-141.
SUN J C. Analysis on physical property defects and causes of plastic packaging for food[C]. Shanghai: Shanghai Xiaoyu Culture Communication Limited Company, 2022: 139-141.
- [9] 刘德超. 我国粮食包装的现状与发展趋势[J]. 淮北职业技术学院学报, 2017, 16(4): 101-102.
LIU D C. Current situation and development trend of grain packaging in China[J]. Journal of Huaibei Vocational and Technical College, 2017, 16(4): 101-102.
- [10] HIGHLAND H A. Insect resistance of food packages: a review[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 1978, 2(2): 123-130.
- [11] LICCIARDELLO F. Development of insect-repellent food packaging materials[J]. 2018: 1-13.
- [12] DANIEL C L. Penetration of seven common flexible packaging materials by larvae and adults of eleven species of stored-product insects[J]. Journal of Economic Entomology, 1978, 71(5): 726-729.
- [13] LICCIARDELLO F. Packaging, blessing in disguise. Review on its diverse contribution to food sustainability[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 65: 32-39.
- [14] LEE J S, CHANG Y, PARK M A, et al. Insect-repellent activity of PET-based film with star anise essential oil and its pilot-scale production for food packaging[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 25: 100539.
- [15] LICCIARDELLO F, MURATORE G, SUMA P, et al. Effectiveness of a novel insect-repellent food packaging incorporating essential oils against the red flour beetle (*Tribolium castaneum*)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 19: 173-180.
- [16] LEE J S, PARK M A, YOON C S, et al. Characterization and preservation performance of multilayer film with insect repellent and antimicrobial activities for sliced wheat bread packaging[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(11): 3194-3203.
- [17] CHANG Y, LEE S H, NA J H, et al. Protection of grain products from *Sitophilus oryzae* (L.) contamination by anti-insect pest repellent sachet containing allyl mercaptan microcapsule[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(11): 2634-2642.
- [18] GERMINARA G S, CONTE A, DE CRISTOFARO A, et al. Electrophysiological and behavioral activity of (E)-2-hexenal in the granary weevil and its application in food packaging[J]. Journal of Food Protection, 2012, 75(2): 366-370.
- [19] HERRERA J M, GONI M L, GANAN N A, et al. An insecticide formulation of terpene ketones against *Sitophilus zeamais* and its incorporation into low density polyethylene films[J]. Crop Protection, 2017, 98: 33-39.
- [20] PAUDYAL S, OPIT G P, ARTHUR F H, et al. Effectiveness of the ZeroFly® storage bag fabric against stored-product insects [J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 73: 87-97.
- [21] PALOUKAS Y Z, AGRAFIOTI P, RUMBOS C I, et al. Evaluation of Carifend® for the control of stored-product beetles [J]. Journal of Stored Products Research, 2020, 85: 101534.
- [22] 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.
- [23] KAVALLIERATOS N G, ATHANASSIOU C G, ARTHUR F H. Effectiveness of insecticide-incorporated bags to control stored-product beetles[J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 70: 18-24.
- [24] SCHEFF D S, ARTHUR F H. Fecundity of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* adults after exposure to deltamethrin packaging[J]. Journal of Pest Science, 2018, 91(2): 717-725.
- [25] SCHEFF D S, ARTHUR F H, MYERS S W. Evaluation of methoprene-treated packaging against *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma inclusum* LeConte larval development and packaging penetration or invasion[J]. Journal of Stored Products Research, 2019, 84: 101530.
- [26] SCHEFF D S, SUBRAMANYAM B, ARTHUR F H. Effect of methoprene treated polymer packaging on fecundity, egg hatchability, and egg-to-adult emergence of *Tribolium castaneum* and *Trogoderma variabile*[J]. Journal of Stored Products Research, 2016, 69: 227-234.
- [27] MARSIN A M, MUHAMAD I I, ANIS S N S, et al. Essential oils as insect repellent agents in food packaging: a review[J]. European Food Research and Technology, 2020, 246(8): 1519-1532.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] SCHNELLER T, WASER R, KOSEC M, et al. Chemical solution deposition of functional oxide thin films[M]. Vienna: Springer, 2013: 160-170.
- [31] WANG Y, ZHANG H, ZENG Y, et al. Development of biodegradable potato starch/lactucin/nano-TiO₂ food packaging for sustained prevention of mealworms[J]. Social Science Electronic Publishing, 2022, 33(2): 100837.
- [32] GERHARDT P D, LINDGREN D L. Penetration of various packaging films by common stored-product insects[J]. Journal of Economic Entomology, 1954, 47(2): 282-287.
- [33] STEJSKAL V, BOSTLOVA M, NESVORNA M, et al. Comparison of the resistance of mono- and multilayer packaging films to stored-product insects in a laboratory test[J]. Food Control, 2017, 73: 566-573.
- [34] SILVA M D, MACIEL V B V, NOLETTA A P R, et al. Chitosan active coating on paperboard surface forming an anti-insect grain-based food packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2022, 35(4): 361-372.
- [35] GONI M L, GANAN N A, BARBOSA S E, et al. Supercritical CO₂-assisted impregnation of LDPE/sepiolite nanocomposite films with insecticidal terpene ketones: impregnation yield, crystallinity and mechanical properties assessment[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2017, 130: 337-346.
- [36] SZENTE L, FENYVESI E. Cyclodextrin-enabled polymer composites for packaging[J]. Molecules, 2018, 23(7): 1556. 