

谷物挥发物对储粮害虫行为的影响及其应用研究进展

曾姝静,吕建华,霍鸣飞,张育濮,王鹏杰

(河南工业大学 粮油食品学院粮食储藏与安全教育部工程研究中心,河南 郑州 450001)

摘要:对谷物挥发物研究现状、谷物挥发物对害虫行为的影响、植食性昆虫学习行为对储粮害虫行为的影响、谷物挥发物与储粮害虫防治的关系等进行综述,以期对今后开展谷物挥发物在储粮害虫综合防治方面的研究与应用提供一定的借鉴。

关键词:谷物;谷物挥发物;行为调控;害虫防治

中图分类号:S 379.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)06-0070-05

Effect of cereal volatile matter on behavior of stored-grain insects and its application

ZENG Shu-jing¹, LV Jian-hua¹, HUO Ming-fei¹, ZHANG Yu-pu¹, WANG Peng-jie¹

(College of Food Science and Technology, Grain Storage and Security Engineering Research Center of Ministry of Education, Henan University of Technology, Zhengzhou Henan 450001)

Abstract: The current research status of cereal volatiles, the effects of cereal volatiles on insects behavior, the effects of learning behavior of phytophagous insects on stored grain insects behavior, and the relationship between cereal volatiles and control of stored grain insects were summarized, in order to provide support for future research and application of cereal volatile matter in integrated control of stored grain insects.

Key words: cereals; cereal volatile matter; behavioral regulation; insect control

谷物是人类赖以生存的生活必需品。其营养物质丰富,储藏期间极易遭受储粮害虫为害^[1]。虫害不仅会导致谷物营养价值降低,而且其代谢物会造成谷物污染,影响储粮品质。目前,使用化学熏蒸剂杀虫是谷物害虫防治最有效的方法^[2]。但随着社会的发展和人们环保意识的加强,其弊端日益突出。已有研究表明,谷物挥发性化合物对昆虫的行为有显著影响^[3]。利用谷物挥发物对储粮害虫的行为调控是一种环境友好的害虫防治方法,也是目前世界害虫防治领域的一个研究热点。结合我国谷物害虫防治情况,对目前谷物挥发物的研究和利用状况、谷物挥发物对害虫行为的影响、植食性昆虫学习行为对害虫行为的影响、谷物挥发物与储粮害虫防治的关系等进行综述,以期对今后谷物害虫生态防治研究与应用有所借鉴。

1 谷物挥发物研究现状

谷物是全世界最重要的食物,不仅可以作为主食,而且是许多食品的加工原料^[4]。目前谷物研究大多集中在营养价值及安全储藏方面,对于日常主食研究较多,而其他杂粮则较少;对于谷物挥发物的提取、鉴定与分析的技术已较为成熟,但谷物挥发物的实际应用情况尚不乐观。国内外对于谷物挥发物的相关研究主要关注谷物挥发物的鉴定、各种储藏条件对其挥发物含量的影响、以及同一种谷物不同品种的挥发物成分组成和含量的差别等,对于谷物挥发物与害虫防治相结合的研究较少。利用谷物挥发物中某些成分物质来判定谷物的品质状态是谷物安全储藏的一大趋势。已有研究表明,谷物中的挥发物质可作为评定谷物品质的劣变指标。国外关于稻谷、小麦和玉米挥发物的研究较多,且已把挥发物作为稻谷储藏品质检测的重要指标之一。Michael等^[5]利用GC-MS分析大米和玉

收稿日期:2017-06-22

作者简介:曾姝静,1988年出生,女,硕士在读。

通讯作者:吕建华,1971年出生,男,副教授。

米产品挥发物,确定谷物挥发物是鉴定谷物品质的—种快速且精确的方法。Kaminski 等^[6]对小麦和玉米中挥发物的测定进行了研究,发现粮食储藏过程中快速鉴定粮食腐败的方法是检测羰基化合物的含量。国内凌家煜等^[7]对谷物中挥发性物质的检测及其与谷物储存品质的关系进行了初步的探索,周显青^[8]对稻谷的挥发物与新陈度的关系做了较深入的探讨。

1.1 谷物挥发物的主要类别

谷物涵盖的范围较广,包括稻谷、小麦、玉米等以及其它禾本科粮食作物。谷物挥发物即粮食在常温下所散发的特有挥发性物质,它是组成粮食各种气味的重要成分。

1.1.1 稻谷挥发物

大米由稻谷加工而成,是我国主食之一,煮熟后其特殊的香味深受人们的喜爱。米饭特殊的香味是由大米挥发成分混合而成。影响大米挥发物各种成分及含量的因素也较为复杂,通常与大米的品种、储藏时间、碾米精度等都有密切的关系^[9]。随着现代检测仪器和技术的不断进步和应用,对于谷物挥发性物质的研究已取得较大进展,其中关于稻谷挥发物的研究最为显著。林家永等^[10]利用固相微萃取—气质联用的方法分别测定4种不同水稻的挥发物成分,发现不同品种的稻谷挥发性成分组成及含量差异均较大。稻谷主要挥发物有醛类、酮类、醇类、烃类等多种成分,且不同的储藏条件下其挥发性物质还有相应的变化^[11]。稻米中的挥发物成分可作为判断粮食质量的依据。Yang 等^[12]分别测定了6种不同稻米的挥发性物质,发现最大的区别是2-乙酰-1-吡咯啉的含量。Bryant 等^[13]通过进一步研究把其作为分辨市售香米真伪的依据。目前日本已将挥发性物质的检测应用于米饭品质优劣的评价。稻谷挥发物还可以分辨稻谷的新陈度。周显青等^[8]研究发现新稻挥发性物质主要是低极性、低沸点的挥发性物质,陈稻挥发性物质主要是极性较强、高沸点的挥发性物质。

1.1.2 玉米挥发物

玉米是我国三大粮食品种之一,是重要的粮食作物和饲料作物,也是我国主要的储备粮食种类。玉米籽粒的结构特殊,胚芽较大且营养丰富,不仅

导致其呼吸强度大,劣变速率快,而且易遭受虫害。研究表明玉米挥发性物质的种类和含量与储藏时间等有相关性,不同储藏时间的玉米挥发性物质种类基本相同,只是在含量上存在差异^[14]。崔丽静等^[15]进一步研究不同品种的玉米挥发物,确定玉米中的挥发性成分有醇类、醛类、酮类、酯类、烃类、有机酸类以及杂环类等化合物,但是不同品种的挥发物成分组成和含量差异较大。马良和王若兰^[16]研究玉米储藏期间挥发物的变化情况,发现在玉米储藏过程中醛类和酯类物质相对含量较高,是玉米主要挥发物质,而烃类和醇类风味阈值较高,但不是玉米储藏期间挥发物主要成分。

1.1.3 小麦挥发物

小麦和稻谷、玉米称为世界三大粮食作物。其中小麦的种植面积最大、分布范围最广,全世界约有40%的人口以小麦为主食^[17]。早在1959年,McWilliams 和 Mackey^[18]通过蒸馏小麦发现18种小麦挥发物。Hougen 等^[19]分析5种不同品种的小麦挥发物成分,结果发现5种小麦挥发物成分都不相同。张玉荣等^[20]研究发现小麦主要挥发性成分有烃类、醛类,其次为醇类、酮类,储藏6个月后挥发性成分总含量均呈现先降后增的趋势。

1.1.4 其他谷物挥发物

其他谷物没有稻谷、玉米、小麦种植面积广,日常生活中使用较少。燕麦因为营养价值全面,膳食纤维丰富,受到国内外研究人员的重视。Klensporf 和 Jelen^[21]研究热处理对燕麦口味的影响,发现对燕麦片起主要作用的香味化合物是2-3-甲基-3-咪唑硫醇。孙培培等^[22]也研究了燕麦片的挥发性成分,共鉴定出72种挥发性成分。刘敬科等^[23]利用不同的萃取头对小米粥挥发物成分进行提取和鉴定,发现小米粥的挥发性成分主要为醛、醇、碳氢化合物和酮等物质。Yang 等^[24]提取了煮熟黑米的挥发性成分共35种,确定2-乙酰基-1-吡咯啉为最重要气味物质。Wang 等^[25]从大麦炒制期间及粉碎的炒大麦鉴定出共同的挥发性物质主要有糠醛、2-甲基丁醛、2-甲基丙醛、3-甲基丁醛、2,3-戊二酮、丙酮醛等,除去其中的羰基化合物大麦就失去原有的香味。因此,羰基化合物在炒大麦香味中起重要作用。

1.2 谷物挥发物提取方法

样品制备方法(提取方法)对测定谷物挥发物非常重要,目前较为常用的方法有以下几种。

1.2.1 顶空取样技术

顶空采样技术(Head space technique),将一定量的固(液)样品置于有一定顶端空间的容器中,在一定的温度、高压、时间等条件下收集气体的方法。该技术包括静态顶空(Static headspace sampling, SHS)和动态顶空(Dynamic headspace sampling, DHS)。静态法是用取样器直接吸取容器顶空中的气体作为样品的方法。它具有简单易行、不受人为因素和挥发性成分干扰的特点,但分析组分复杂且含量低的样品时,仍受到一定的限制。动态法是采用吹出-吸附装置,通气将挥发性组分吹出并捕集在吸附材料里,然后快速升温将所捕集到的挥发性组分转移至干冰冷却的玻璃毛细管冷阱中,随后再将冷凝的液样注入气相色谱仪进行分析。Yang等^[24]利用动态顶空取样技术提取到黑米中35种挥发性物质。

1.2.2 同时蒸馏萃取技术

同时蒸馏萃取(Simultaneous distillation extraction, SDE)是从样品中蒸馏出挥发性物质,再使用低沸点溶剂萃取蒸馏液的一种方法^[26]。其优点是成本低、设备简单、操作方便,可重复利用,且具备较高的萃取量,定性定量效果好;缺点是对蒸汽压低的组分提取效率不敏感,有机溶剂易污染提取物。孙培培等^[22]采用同时蒸馏萃取(SDE)结合气质联用(GC-MS)对燕麦片中的挥发性成分进行定性研究,共鉴定出72种挥发性成分。稻谷挥发物提取应用同时蒸馏萃取技术较多。Widjaja等^[27]利用SDE技术研究比较非香米和香米的挥发物成分。Jezussek等^[28]通过SDE技术提取3个品种的糙米挥发物,发现了对糙米香味有重要贡献的组分。

1.2.3 固相微萃取技术

固相微萃取(Solid-phase microextraction, SPME)技术由于成本低、适用范围广、无需有机溶剂、操作方便而被大力推广应用,是目前使用最多的一种萃取技术。它集采样、萃取、浓缩以及进样于一体,与气相或液相色谱仪联用,可有效分析样

品中痕量有机物^[29]。林家永等^[10]采用顶空固相微萃取分析稻谷的挥发性成分;张玉荣等^[20]应用固相微萃取技术对不同储藏时间弱(强)筋小麦中的挥发性物质进行了提取、鉴定与分析;崔丽静等^[15]优化了萃取的条件,对不同玉米中挥发性成分进行了鉴定和分类。

2 谷物挥发物对害虫行为的影响

谷物挥发性化合物对昆虫的行为有重要影响。应用谷物挥发物可作为引诱剂、驱避剂、拒食剂和产卵抑制剂调控昆虫行为的特性来防治害虫。研究表明,使用“陷阱”结合信息化学物质可切实有效地控制害虫^[30-31]。与可以看到的危险信号相比,在距离较远和天敌隐藏的情况下化学信号更可靠^[32],因为化学信号可让昆虫从周围环境中获取重要的信息^[33]。

李兴奎等^[34]研究表明,不同品种的碎小麦提取物对玉米象、锯谷盗、赤拟谷盗、锈赤扁谷盗都有不同程度的引诱作用。Xie等^[35]鉴定出小麦植株挥发物中有4种成分:甲基水杨酸、顺-3-己烯乙酸酯、己烯醇、1-己醇对麦长管蚜及其天敌食蚜蝇、异色瓢虫的行为有影响。甲基水杨酸只对异色瓢虫有引诱作用,而顺-3-己烯乙酸酯、己烯醇混合物对麦长管蚜、异色瓢虫都有引诱作用。顺-3-己烯乙酸酯对麦长管蚜有很强的吸引作用,而1-己醇对麦长管蚜的吸引力比对其天敌的更强。

3 植食性昆虫学习行为对储粮害虫行为的影响

学习行为是指昆虫受经历的影响而发生的比较长期、可逆的行为变化^[36-40],是后天获得的行为。因学习而导致的行变化在植食性昆虫中是一种普遍现象,其对寄主搜索、接受、取食等行为有显著影响。如植物气味与昆虫信息素协同可以增强昆虫对寄主植物性、聚集、示踪、报警等昆虫信息素的反应^[41]。马铃薯甲虫会根据马铃薯气味产生寄主定位行为^[42]。同时,植物在受到植食性昆虫的为害后,可产生更多更强的挥发性化合物,进而对天敌产生引诱作用。这已在很多研究中得到证实。如菜豆在受到二斑叶螨的为害后,与未受到为害的菜豆相比,其对捕食螨智利小植绥螨的引诱作用

更强^[43]。玉米在受到甜菜夜蛾的为害后,其引诱缘腹绒茧蜂的作用也得到加强^[44]。马铃薯叶受马铃薯甲虫取食后会招致更多的马铃薯甲虫前来取食^[43]。

目前,有关储粮害虫学习行为的研究较少。本实验室研究小麦粉挥发物对赤拟谷盗选择行为的影响发现:在饥饿0 h(对照)和24 h状态下,赤拟谷盗成虫对感受气味源小麦粉的选择系数随感受时间的延长呈下降趋势,说明赤拟谷盗对小麦粉产生习惯性反应;在饥饿6 h状态下,其对感受气味源小麦粉的选择系数随感受时间的延长呈上升趋势,符合嗜好性诱导的学习行为。

4 谷物挥发物与储粮害虫防治的关系

谷物挥发物的主要作用有:(1)组成谷物不同风味的主要成分;(2)作为判断粮食质量的依据,检验和监测粮食是否受到害虫侵染;(3)利用谷物挥发性化合物与昆虫信息素结合成食物引诱剂,通过对害虫的行为调控,达到防治害虫的目的^[45]。Philips等^[46]研究发现不同浓度的新鲜谷物挥发物如戊醛、麦芽醇、香兰醛对米象均有不同程度的引诱性。一种主要成分为大豆油和小麦胚芽的食品对赤拟谷盗有很强的引诱作用,它们分别混合不同的信息素,对米象和赤拟谷盗都表现出更强的引诱性。某些储粮的挥发性化合物在吸引或者驱避储粮害虫中起重要作用。Freedman等^[47]通过Y型嗅觉仪实验发现燕麦挥发物对锯谷盗有很强的引诱作用,即使是燕麦残留气味对锯谷盗也有很强的引诱性。Donald等^[48]研究发现玉米和小麦种子的挥发物米象对有很强的引诱性,但是天堂椒等挥发物却对米象有驱避作用。

谷物挥发物对害虫有很强的引诱或驱避作用,可以利用这一特性研究开发昆虫引诱剂、驱避剂、拒食剂和产卵抑制剂等对害虫行为进行调控,从而达到有效防治害虫的目的。

5 展望

利用谷物挥发物对储粮昆虫行为的调控作用,有效进行害虫防治已成为当前的一个研究热点。今后需结合我国粮食储藏实际情况,加强深入研究谷物挥发物成分及其对害虫行为的影响,并将其科

学运用到储粮害虫防治实践当中,为实现绿色储粮、确保储粮品质提供理论和技术支持。

参考文献:

- [1]谢健,王杭.稻壳的利用现状与展望[C].全国粳稻米产业大会论文集,2012.
- [2]翟燕萍,沈美庆,王军,等.磷化氢熏蒸剂的研究进展[J].化学工业与工程,2003,20(4):248-250.
- [3]吕建华,李月红,刘树生.植食性昆虫学习行为与害虫治理的关系[J].昆虫知识,2008,45(4):663-667.
- [4]Maga J A. Cereal volatiles, a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(1):175-178.
- [5]Michael G L, Harold P D, Robert L O, et al. Instrumental analysis of volatiles from rice and corn products[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1978, 5(26):1035-1038.
- [6]Kaminski E, Przybylski R, Wasowicz E. Spectrophotometric determination of volatile carbonyl compounds as a rapid method for detecting grain spoilage during storage[J]. Journal of Cereal Science, 1985(3):165-172.
- [7]凌家焯.粮食中挥发性羰基化合物(VVC)的组成分析与含量测定[J].粮食储藏,1988,1:20-25.
- [8]周显青,张玉荣,赵秋红,等.稻谷新陈度的研究(四)一稻谷储藏过程中挥发性物质的变化及其与新陈度的关系[J].粮食与饲料工业,2005(2):1-3.
- [9]汤镇嘉.粮食挥发性成分的研究进展[J].粮食与油脂,1988(1):60-63
- [10]林家永,高艳娜,吴胜芳,等.顶空固相微萃取—气质联用法分析稻谷挥发性成分[J].食品科学,2009,30(20):277-282.
- [11]张婷筠.稻谷储藏期间挥发物变化规律及其与理化指标相关性研究[D].南京:南京财经大学,2013.
- [12]Yang D S, Shewfelt R L, Lee K S, et al. Comparison of odor-active compounds from six distinctly different rice flavor types[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2008, 58:2780-2787.
- [13]Bryant R J, McClung A M. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS[J]. Food Chemistry, 2011, 124:501-513.
- [14]周显青,张玉荣,张勇.储藏玉米陈化机理及挥发物与品质变化的关系[J].农业工程学报,2008,24(7):242-246.
- [15]崔丽静,林家永,周显青,等.顶空固相微萃取与气质联用法分析玉米挥发性成分[J].粮食储藏,2011(1):36-40.
- [16]马良,王若兰.玉米储藏过程中挥发性成分研究[J].现代食品科技,2015,31(7):316-325.
- [17]杨雪,乔娟.世界小麦的生产与贸易[J].生命世界,2007,9:22-25.
- [18]McWilliams M, Mackey A C. Wheat flour components[J]. Journal of

- Food science, 1969, 34: 493 - 496.
- [19] Hougen F W, Quilliam M A, Curran W A. Headspace vapors from cereal grains [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1971, 19(1): 182 - 183.
- [20] 张玉荣, 高艳娜, 林家永, 等. 顶空固相微萃取—气质联用分析小麦储藏过程中挥发性成分的变化 [J]. 分析化学研究报告, 2010, 7(38): 953 - 957.
- [21] Klensporf D, Jelen H H. Effect of heat treatment on the flavor of oat flakes [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48: 656 - 611.
- [22] 孙培培, 黄明泉, 孙宝国, 等. 同时蒸馏萃取—气质联机分析燕麦片挥发性成分的研究 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 479 - 483.
- [23] 刘敬科, 赵巍, 刘莹莹, 等. 不同萃取头的固相微萃取提取小米粥中挥发性成分研究 [J]. 河北农业科学, 2010, 14(11): 142 - 144.
- [24] Yang D S, Lee K S, Jeong O Y, et al. Characterization of volatile aroma compounds in cooked black rice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56: 235 - 240.
- [25] Wang P S, Kato H, Fujimaki M. Studies on flavor components of roasted barley part ii. the major volatile carbonyl compounds [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1968, 32(4): 501 - 506.
- [26] 李桂花, 何巧红, 杨君. 一种提取复杂物质中易挥发组分的有效方法——同时蒸馏萃取及其应用 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2009, 45(4): 491 - 496.
- [27] Widjaja R, Craske J D, Wootton M. Comparative studies on volatile components of non-fragrant and fragrant rice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 70: 151 - 161.
- [28] Jezussek M, Juliano B O, Schieberle P. Comparison of key aroma compounds in cooked brown rice varieties based on aroma extract dilution analyses [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50: 1101 - 1105.
- [29] 马继平, 王涵文, 关亚凤. 固相微萃取新技术 [J]. 色谱, 2002, 20(1): 16 - 20.
- [30] Martel J W, Alford A R, Dickens J C. Synthetic host volatiles increase efficacy of trap cropping for management of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) [J]. Agricultural and forest entomology, 2005, 7(1): 79 - 86.
- [31] Ruther J, Mayer C J. Response of garden chafer, *Phylloperthahorticala*, to plant volatiles: from screening to application [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2005, 115(1): 51 - 59.
- [32] Verkerk R H J, Leather S R, Wright D J. The potential for manipulating crop - pest - natural enemy interactions for improved insect pest management [J]. Bulletin of Entomological Research, 1998, 88(5): 493 - 501.
- [33] Touhara K, Vosshall L B. Sensing odorants and pheromones with chemosensory receptors [J]. Annual Review of Physiology, 2009, 71: 307 - 332.
- [34] 李兴奎, 张新伟, 鲁玉杰. 不同品种碎麦提取物对储粮害虫的引诱效果 [J]. 湖北农业科学, 2013, 52(19): 4661 - 4664.
- [35] Xie H C, Durieux D, Fan J, et al. Effect of wheat plant volatiles on aphids and associated predator behavior: selection of efficient infochemicals for field study [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2014, 51(6): 1470 - 1478.
- [36] 白旭光. 储藏物害虫与防治 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [37] Papaj D R, Prokopy R J. Phytochemical basis of learning in *Rhagoletis pomonella* and other herbivorous insects [J]. Journal of Chemical Ecology, 1986, 12(5): 1125 - 1143.
- [38] Steinberg S, Dicke M, Lem V, et al. Response of the braconid parasitoid *Cotesia (Apanteles) glomerata* to volatile infochemicals: effects of bioassay set-up, parasitoid age and experience and barometric flux [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1992, 63(2): 163 - 175.
- [39] 李月红, 刘树生. 植食性昆虫的学习行为 [J]. 昆虫学报, 2004, 47(1): 106 - 116.
- [40] Papaj D R, Prokopy R J. Ecological and evolutionary aspects of learning in phytophagous insects [J]. Entomology, 1989, 34(34): 315 - 350.
- [41] 杜永均, 严福顺. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机理 [J]. 昆虫学报, 1994, 37(2): 233 - 249.
- [42] 赵冬香, 高景林, 陈宗懋. 植食性昆虫对寄主植物的定向行为研究进展 [J]. 热带农业科学, 2004, 24(2): 62 - 68.
- [43] Landolt P J, Tumlinson J H, Alborn D H. Attraction of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to damaged and chemically induced potato plants [J]. Environmental Entomology, 1999, 28(6): 973 - 978.
- [44] 候照远, 严福顺. 寄生蜂寄主选择行为研究进展 [J]. 昆虫学报, 1997, 40(1): 94 - 107.
- [45] 牛永浩. 固相微萃取与气质联用检测储粮及储粮害虫挥发性化合物的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [46] Phillips T W, Jiang X L, Burkholder W E, et al. Behavioral responses to food volatiles by two species of stored-product coleopteran, *Sitophilus oryzae* (Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae) [J]. Journal of Chemical Ecology, 1993, 19(4): 723 - 734.
- [47] Freedman B, Mikolajczak K L, Smith C R, et al. Olfactory and aggregation responses of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) to extracts from oats [J]. Journal of Stored Products Research, 1982, 18: 75 - 82.
- [48] Donald A U, Birkett M A, Bruce T J, et al. Behavioural responses of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*, to host (stored-grain) and non-host plant volatiles [J]. Pest Management Science, 2010, 66: 44 - 50. 完