

曹 宇, 李 灿. 重要储藏害虫药材甲的生物防治研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 9-13.

重要储藏害虫药材甲的生物防治研究进展

曹 宇, 李 灿

(贵阳学院生物与环境工程学院, 有害生物控制与资源利用贵州省教育厅特色重点实验室, 贵州贵阳 550005)

摘要:药材甲 [*Stegobium paniceum* (L.)] 是世界性的储藏物害虫, 在我国, 严重危害中药材等重要储藏物, 造成巨大的经济损失。鉴于化学防治的弊端及害虫抗药性问题, 生物防治越来越受到重视, 在害虫综合防治体系中占有重要地位。本文从植物源农药、昆虫激素、天敌昆虫及气调控害等方面, 就药材甲的生物防治进行了综述。

关键词:药材甲; 植物源农药; 昆虫激素; 天敌昆虫; 气调

中图分类号: S433.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)04-0009-04

药材甲 [*Stegobium paniceum* (L.)] 隶属于鞘翅目 (Coleoptera) 窃蠹科 (Anobiidae), 是一种典型的世界性分布储藏物甲虫, 在美国、德国、印度等地大面积发生和危害, 对多种储藏物造成严重损失^[1-3]; 在我国的广东、山西、山东、贵州等地区均有发生, 且是中药材储藏期害虫的优势种。药材甲成虫体型较小, 幼虫在寄主组织内生存, 因此, 其危害具有较强的隐蔽性, 加之在储藏室光线较暗等, 往往在人们发现其危害时, 已经造成严重的经济损失。药材甲食性杂, 寄主范围广, 严重危害储藏药材、档案图书、文物古迹等, 甚至取食锡箔、铝箔等金属制品^[4-6], 尤其在储藏药材上, 往往造成爆发性危害^[7-8], 造成巨大的经济损失。因此, 对药材甲有效防治措施的研究, 引起了各国学者的重视。本文就药材甲的防治现状及生物防治研究进展进行阐述。

1 药材甲的防治现状

由于药材甲分布范围广, 寄主多, 危害大, 各国学者很早就对其防治展开了研究。烟熏或拟除虫菊酯类药剂熏蒸在早期被证明可以有效控制药材甲危害^[9-10], 物理防治方法中, $-16 \sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 24 ~ 72 h 可将药材甲成虫、幼虫及蛹全部杀灭^[11]; $42 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温区域内, 25 ~ 0.08 h 内可将药材甲幼虫全部杀灭^[12-13]; 戚仁德等研究结果表明, 利用 100 W 以上的白炽灯在黑暗储藏室内可对药材甲进行有效的诱杀防治^[14]。目前, 对于储藏物害虫的防治, 主要依赖于化学药剂防治。如采用高毒的乐果、敌敌畏、磷化氢等农药进行药材甲的杀灭^[15-17], 随后涌现出毒性较小的溴甲烷、磷化铝、溴氧菊酯、甲酸乙酯等熏蒸剂广泛运用于药材甲等储藏害虫的防

治上^[1-2, 18-19]。

虽然溴甲烷和磷化氢等是目前药材甲等储藏物害虫防治较为有效和使用普遍熏蒸剂, 但前者对臭氧层有破坏作用, 世界粮农组织已决议逐步停止生产和使用, 后者由于害虫抗药性的产生, 其使用受到了局限^[20], 更重要的是化学防治对环境的污染和对施药者及消费者健康的影响, 使人们的担心和忧虑与日俱增。因此, 近年来, 有关天敌昆虫、信息素、生物源杀虫剂、驱避剂和气调控制等领域的研究越来越多, 生物防治技术已经成为害虫控制的最理想战略之一。

2 药材甲的生物防治

生物防治是害虫防治不可缺少的重要组成, 主要是指利用生物(或生物的代谢产物)来控制病虫害草害的技术^[21], 其对人畜安全、避免污染环境, 甚至有些天敌, 可对某些害虫的发生有长期抑制作用, 可以说是收到“一劳永逸”的效果。尤其是二十一世纪以来, 随着生命科学和生物技术的渗透, 生物防治在大田作物害虫防治极力提倡且发展迅速, 甚至某些方面取得了骄人的成功, 如苏云金杆菌 (BT) 的多途径控害运用。现在, 生物防治以其安全、高效、经济等特点, 越来越受到人们的青睐, 但由于储藏物害虫自身的危害、生存环境等特点, 其生物防治的研究与应用较为困难, 但鉴于化学防治的弊端、昆虫抗药性及药材甲对储藏物的严重危害, 对于药材甲等储藏物害虫的防治也应该采取绿色无污染、可持续性控制的生物防治。

2.1 植物源杀虫剂

植物源农药是一类利用具有杀虫杀螨或杀菌活性的植物的某些部位或提取的有效成分制成的农药, 以其对人畜安全、害虫不易产生抗药性、在自然环境中易于降解等特点受到人们的重视。但目前对于药材甲植物源农药的研究并不多, Deshpande 首先发现桉树、黑种草、雌蕊草提取物对药材甲有较好的熏杀作用, 随后 Deshpande 和 Tipnis 进一步验证桉叶素、桉树油、罗勒等均对药材甲有控制效果^[22]。通过对更多植物资源的控害效果筛选, Ahmed 等发现白珠木油、松节油、茴香油、日本薄荷等不仅对药材甲有熏杀作用^[23], 对米象、绿豆象等储藏害虫也有控制作用。我国在药材甲植物源农药的研究方面, 仅有丹皮及其提取物的报道^[24-25], 研究发现, 丹皮提取物浓度在 $200\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、丹皮酚浓度在 $100\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上

收稿日期: 2013-08-19

基金项目: 贵州省中药现代化科技产业研究开发专项 [编号: 黔科合中药字 (2011) 5049 号]; 贵州省普通高校创新人才团队建设项目 [编号: 黔教合人才团队字 (2012) 05 号]; 贵州省高校优秀科技创新人才支持计划项目 [编号: 黔教合 KY 字 (2012) 098 号]; 贵州省 2013 年度国际合作项目 [编号: 黔科合外 G 字 (2013) 7047 号]; 贵阳学院重点学科建设项目。

作者简介: 曹 宇 (1984—), 男, 四川自贡人, 硕士, 助教, 主要从事有害生物控制及资源利用研究。E-mail: yucaosuccess@126.com。

通信作者: 李 灿, 博士, 教授。E-mail: lican790108@163.com。

时,其对药材甲的趋避率达到 80% 以上;同时,相同浓度下,丹皮酚对药材甲雌成虫的产卵忌避性、对卵及幼虫的杀灭效果,都显著强于丹皮提取物。

总体来说,目前对于药材甲植物源农药的研究较少,相对于米象^[26-27]、烟草甲^[28]及其他储藏物害虫^[29-31],研究力度有待加强。

2.2 昆虫激素

昆虫激素可分为外激素(pheromone)、内激素(hormone)^[32],两者都是昆虫的生理活性物质,此类物质微量可使昆虫产生强烈的反应,将合成的昆虫激素或者类似物适量用于仓库,可干扰昆虫正常的生理活动,达到防治害虫的目的。国外从 20 世纪 70、80 年代开始药材甲信息素的研究,Kawahara 等首先提取了药材甲雌虫分泌的性信息素,发现其对药材甲雄虫有极强的吸引力^[33-34],并对其化学成分进行了分析,相继合成的药材甲性信息素成分如 2,3-二氢-2,3,5-三甲基-6-(1-甲基-2-氧代丁基-四氢-吡喃-4 酮)及其同分异构体^[35-37]。从 20 世纪 70 年代起,我国南开大学、四川大学、中国科学院成都有机化学研究所等高校、科研单位相继对麦蛾、印度谷螟、斑皮蠹等储藏害虫的信息素展开了合成研究^[38];但有关药材甲信息素的研究报道直到 90 年代才出现,利用药材甲雌虫的乙醚溶液粗提物测定,发现其在 4.6×10^{-8} 雌虫当量(FE)以上时,对雄虫有引诱作用;当达到 1.6×10^{-4} FE 时,50% 的雄虫对粗体液有性反应^[39]。通过化学工艺的设计,吴江和匡晓帆合成了药材甲性信息素的另一种成分(2S,3R,(1R))-2,3,5-三甲基-6-(1-甲基-2-氧代丁基)-4-氧代-氧杂-5-环己烯^[40]。关于储藏物害虫信息素的研究,目前已鉴定 10 余科、40 余种,其中已鉴定的皮蠹科、窃蠹科和鳞翅目蛾类的信息素均属于性信息素,鞘翅目昆虫的信息素大多为聚集信息素^[41]。由此看出,储藏物害虫信息素的研究目前多限于外激素,而昆虫内激素如保幼激素、几丁质合成抑制剂等同样可以用于害虫的防治^[42-43],目前国内外关于药材甲内激素的研究较少,仅有研究提到苯甲酰苯基脲(BPU_s)类昆虫生长调节剂对储藏物甲虫有潜在的抑制能力^[43],而已合成的另一种几丁质抑制剂地灭灵(Dimilin)对药材甲控制效果并不理想^[44]。

另外,当前无论是在大田作物害虫,还是储藏物害虫,在信息素的研究与应用方面,以鳞翅目害虫报道最多^[20,38,45],并在广西、云南、北京、上海等 10 多个省蔬菜、水果、水稻上大面积推广应用,但总体来说,信息素在储藏物害虫防治上的应用主要用作诱饵监测其种群动态,其次,利用信息素引诱设置诱捕器,这些性诱捕器用于药材甲的控制,被认为是药材甲综合治理措施的重要组成^[46-49]。Mahroof 等进一步的研究结果表明,信息素与植物源吸引剂的联合使用比两者的单独运用,对药材甲具有更为显著的引诱作用^[50],这为药材甲信息素的多样化防治应用提供了依据。

2.3 天敌昆虫

目前全世界尚未建立完善的储粮害虫综合治理体系,中国在利用天敌对储粮害虫进行有效生物防治方面基本处于空白状态。储藏害虫天敌包括寄生性、捕食性昆虫及螨类,据统计,世界范围内储藏害虫天敌有 300 种(人工天敌和自然天敌),隶属于昆虫纲和蛛形纲^[20,51]。天敌昆虫中以膜翅目

最多,目前发现可寄生储粮害虫的寄生蜂有 30 余种,国内外已研究的具有应用潜力的寄生性天敌主要有:米象金小蜂、象虫金小蜂、仓蛾姬蜂、赤眼蜂、雅脊金小蜂、麦蛾茧蜂等,研究内容涉及寄主与天敌的相互关系、寄生蜂的生物学和生态学特性、行为反应、种内和种间竞争等^[52],但应用于实际储藏害虫控制的天敌较少,较为成功的如麦蛾茧蜂在南非已有效用于控制印度谷螟和粉斑螟;麦蛾茧蜂、仓蛾姬蜂和广赤眼蜂在美国已商业化批量生产^[52];在我国,黄色花螬成功引种到湖南、四川、贵州等省,并在湖南衡阳、湖北天门粮仓释放取得成效^[38]。

尽管储藏害虫天敌种类及数量都不少,人们也逐渐认识到其作为生物防治措施在储藏物害虫综合治理中的重要地位^[53],目前报道的主要是 5 种膜翅目寄生性天敌昆虫,分别为窃蠹茧蜂、稳茧蜂、象虫金小蜂、黑青小蜂和米象金小蜂^[32,54-56];革翅目捕食性天敌 1 种(肥螋)^[54],由此看出药材甲天敌种类及数量并不丰富。国外研究人员最近通过在德国、奥地利 5 个不同地区的博物馆释放米象金小蜂,发现其对药材甲具有显著的种群抑制效果,在药材甲综合防治体系中具有重要作用^[57],且米象金小蜂还可寄生谷蠹、玉米象等^[41],释放于仓库可起到一举多得的防治效果。

2.4 气调控害

气调控害,是一种古老而有效且沿用至今的仓储害虫控制方法,美国研究人员早期发现当 CO₂ 浓度达到 60% 时,短时间可造成大部分储粮害虫死亡;经 48 h 后可杀死大部分害虫及其子代;当 CO₂ 浓度高于 95%,O₂ 浓度低于 1% 时,处理 5 d 以后,可杀死干果上的各类害虫。如今已开展气调对豆象、谷蠹、杂拟谷盗、烟草甲以及其他储藏物害虫和螨类的控制研究^[58-60],真空、N₂、CO₂ 及其混合气体、配合熏蒸剂使用等,多样化的气调处理都应用在储藏物害虫控制上^[61]。

国内外对于药材甲的气调防治也给予了极大的关注,Hashem 利用不同 CO₂ 浓度(20%、30%、40% 和 60%)处理药材甲发现,60% CO₂ 对药材甲蛹及成虫的控制效果最好^[62],且药材甲所有虫态相对于烟草甲、锯谷盗、赤拟谷盗等仓储害虫更为敏感,可作为其有效的生物防治措施^[2,63]。国内李灿等^[7,64-67]研究的药材甲气调控害技术已在贵州省多家药材及医药公司推广和应用,被证明是药材甲等储藏物害虫理想的生物防治措施。

李灿等不仅研究药材甲基础生物学特性,更多地关注于其气调控制的研究,结合气体浓度、温度等因素探讨气控对药材甲的控制效果^[68-71],以及药材甲一系列关键酶如乙酰胆碱酯酶^[69]、磷酸酯酶^[70]、羧酸酯酶^[71-73]等在气调逆境下性质的变化,如酶源蛋白含量、酶活力及酶促动力学参数等,从较为微观的生理生化层面探讨气调对药材甲的控害机理^[72],并对药材甲乙酰胆碱酯酶基因进行了克隆与序列分析^[74],将从分子水平探讨药材甲对气调逆境的适应性及气调对药材甲的控害机理。

3 药材甲生物防治存在的问题及展望

3.1 存在的问题

相对于大田害虫关于抗性品种、微生物农药等方面的生物防治研究^[45,75-77],药材甲的类似报道尚未出现,且已报道

的植物源农药、昆虫激素、天敌防治等基本没有运用于实践或者实践很有限,因此,未来关于药材甲生物防治的研究领域需要拓宽,并尽可能转化为实际运用。

任何药剂防治,包括害虫的气调控制等^[78-79],昆虫都会产生抗性,因此,虽然目前植物源杀虫剂、气调等对药材甲的防治具有无污染、无残留等优点,但药材甲逐步产生的抗性应该引起我们的提前思考。

鉴于生物防治的效果及效率问题,投入与收益的比例均不如化学防治来得立竿见影,农户的接受度和采纳度都不高,这需要政府对使用生物防治的农户、企业等采取补贴扶持政策,对生产企业实行优惠政策等。

3.2 展望

生物防治一直是控制有害生物、保证农业可持续发展的有效措施,尤其在我国为贯彻绿色植保理念的需要。

我国幅员辽阔,植物资源丰富,自然界相生相克的现象普遍存在,可开发的植物源杀虫剂还有很大潜力^[80-81],因此,有足够多的植物资源供人们筛选可控制药材甲种群的植物源药剂,将来需要解决的是如何将植物源药剂普遍用于药材甲控制的实践;同样关于天敌昆虫方面,储藏物害虫的天敌数量、种类众多,今后对药材甲天敌昆虫的调查、引进及生物学、生态学性质等多方面的基础研究,都是药材甲生物防治的希望;昆虫激素等方面的研究也将面对研究空间广阔与应用范围、力度和强度不足的长久局面。

目前,要单纯依赖和推行生物防治控制药材甲有些困难,实现多种措施对药材甲的协调防治最为现实,即配套措施的运用,集生物、物理、化学等措施的全程协调控制技术的研究、集成和示范,探讨协同增效控害的效果。但随着人们对食品安全、生态安全、环境安全的日益重视,药材甲等储藏害虫的生物防治必将获得更快、更广和更深入的发展。

参考文献:

- [1] Kotikal Y K, Kulkarni K A. Insect pests infesting turmeric in Northern Karnataka[J]. Karnataka J Agric Sci, 2000, 13(4): 858-866.
- [2] Gunasekaran N, Rajendran S. Toxicity of carbon dioxide to drugstore beetle *Stegobium paniceum* and cigarette beetle *Lasioderma serricorne* [J]. J Stored Prod Res, 2005, 41(3): 283-294.
- [3] Kučerová Z, Stejskal V. External egg morphology of two stored-product anobiids, *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) [J]. J Stored Prod Res, 2010, 46(3): 202-205.
- [4] 汪华明. 文献害虫在我国的分布情况及其分布规律初探[J]. 图书情报知识, 1990(1): 50-53.
- [5] Jaskiewicz B, Golan K. Drugstore beetle *Stegobium paniceum*—its injuriousness and control[J]. Ochrona Roslin, 2003, 47(1): 9-10.
- [6] 沈兆鹏. 对储藏粮食有潜在危险的 5 种昆虫[J]. 粮食科技与经济, 2006, 31(3): 42-44.
- [7] 李 灿, 李子忠, 杨友联. 贵阳中药材储藏期昆虫群落结构分析[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(1): 41-45.
- [8] 李 灿, 金道超, 柳琼友, 等. 温度对药材甲 (*Stegobium paniceum* L.) 实验种群发育和繁殖参数的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3532-3535.
- [9] Srivastava B K. *Stegobium paniceum* as a pest of stored turmeric in

- Rajasthan, India and its control by fumigation[J]. FAO Plant Protection Bull, 1959, 7: 113-114.
- [10] Carter S W, Chadwick P R, Wickham J C. Comparative observations on the activity of purethroids against some susceptible and resistant stored products beetles [J]. J Stored Prod Res, 1975, 11(3): 135-142.
- [11] 冯惠芬. 低温冷冻技术应用于档案图书杀虫的研究[J]. 档案学通讯, 1988(2): 37-41.
- [12] Rumball N, Pinniger D. Use of temperature to control an infestation of biscuit or drugstore beetle *Stegobium paniceum* (L.) (Coleoptera: anobiidae) in a large economic botany collection [J]. Collection Forum, 2003, 18(1/2): 50-58.
- [13] Abdelghany A Y, Awadalla S S, Abdel-Baky N F, et al. Effect of high and low temperatures on the drugstore beetle (Coleoptera: Anobiidae) [J]. J Econ Entomol, 2010, 103(5): 1909-1914.
- [14] 戚仁德, 赵同敏. 白炽灯诱杀大曲害虫研究[J]. 安徽农业科学, 1996, 24(4): 344-345.
- [15] 顾忠盈, 张孝曦. 五种杀虫剂对酒曲害虫药材甲的毒力测定[J]. 粮食储藏, 1992, 21(3): 9-11.
- [16] Lindgren D L, Vincent L E. Relative toxicity of hydrogen phosphide to various stored-product insects [J]. J Stored Prod Res, 1966, 2(2): 141-146.
- [17] Lemon R W. Laboratory evaluation of some additional organophosphorus insecticides against stored-product beetles [J]. J Stored Prod Res, 1967, 3(4): 283-287.
- [18] 王广军. 金银花储藏期的害虫防治[J]. 中国植保导刊, 2005, 25(11): 42-43.
- [19] Pimentel M A G, Faroni L D A, Guedes R N C, et al. Phosphine resistance in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) [J]. J Stored Prod Res, 2009, 45(1): 71-74.
- [20] 陈 斌, 李隆术. 储藏物害虫生物性防治技术研究现状和展望[J]. 植物保护学报, 2002, 29(3): 272-278.
- [21] Clemens M J. Biological control [J]. Nature, 1984, 309(5967): 394-396.
- [22] Deshpande R S, Tipnis H P. Insecticidal activity of *Ocimum basilicum* Linn. [J]. Pesticides, 1977, 11: 11-12.
- [23] Ahmed S M, Eapen M. Vapour toxicity and repellency of some essential oils to insect pests [J]. Indian Perfumer, 1986, 30(1): 273-278.
- [24] 夏传国, 陈杰林. 丹皮提取物和丹皮酚对几种中药材害虫的毒杀作用研究[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1999, 12(2): 1-8.
- [25] 夏传国, 陈杰林. 丹皮提取物和丹皮酚蒸气对药材甲的产卵忌避作用研究[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1999, 12(1): 5-9.
- [26] Negahban M, Moharramipour S. Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia scoparia* Waldst & Kit. against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) [C]. Proc 2nd Symp Medicinal Plants. Shahed University, Tehran, Iran, 2005: 124-130.
- [27] Gardiet G, Fuzeau B, Barreau C, et al. Contact and fumigant toxicity of some essential oil constituents against a grain insect pest *Sitophilus oryzae* and two fungi, *Aspergillus westerdijkiae* and *Fusarium graminearum* [J]. J Pest Sci, 2012, 85(2): 351-358.
- [28] Mahroof R M, Phillips T W. Orientation of the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* F. (Coleoptera: Anobiidae) to plant derived volatiles [J]. J Insect Behav, 2007, 20: 99-115.

- [29] Shaaya E, Rafaei A. Essential oils as biorational insecticides – potency and mode of action [M] // Ishaaya I, Horowitz A R, Nauen R. Insecticides design using advanced technologies. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2007: 249 – 261.
- [30] Rajendran S, Srianjini V. Plant products as fumigants for stored – product insect control [J]. J Stored Prod Res, 2008, 44 (2): 126 – 135.
- [31] Haouas D, Cioni P L, Halima – Kamel M B, et al. Chemical composition and bioactivities of three *Chrysanthemum* essential oils against *Tribolium confusum* (du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. J Pest Sci, 2012, 85 (3): 367 – 379.
- [32] 邓望喜, 杨志慧, 杨长举. 仓库害虫的生物防治研究进展 [J]. 中国生物防治, 1985, 1 (8): 27 – 29.
- [33] Kuwahara Y, Fukami H, Howard R. Chemical studies on the anobiidae: Sex pheromone of the drugstore beetle, *Stegobium paniceum* (L.) (Coleoptera) [J]. Tetrahedron, 1978, 34 (12): 1769 – 1774.
- [34] Kuwahara Y, Fukami H, Ishii S. Studies on the isolation and bioassay of the sex pheromone of the drugstore beetle, *Stegobium paniceum* (Coleoptera: Anobiidae) [J]. J Chem Ecol, 1975, 1 (4): 413 – 422.
- [35] Sakakibara M, Mori K. Synthesis of a stereoisomeric mixture of 2,3 – dihydro – 2,3,5 – trimethyl – 6 – (1 – methyl – 1 – oxobutyl) – 4H – pyran – 4 – one, the pheromone of the drugstore beetle [J]. Tetrahedron Lett, 1979, 20 (26): 2401 – 2402.
- [36] Kodama H, Ono M, Kohno M. Stegobiol, a new sex pheromone component of drugstore beetle (*Stegobium paniceum* L.) [J]. J chem ecol, 1987, 13 (8): 1871 – 1879.
- [37] Mori K, Ebata T, Sakakibara M. Synthesis of (2s,3r,7rs) – stegobinone [2,3 – dihydro – 2,3,5 – trimethyl – 6 – (1 – methyl – 2 – oxobutyl) – 4h – pyran – 4 – one] and its (2r,3s,7rs) – isomer: the pheromone of the drugstore beetle [J]. Tetrahedron, 1981, 37 (4): 709 – 713.
- [38] 邓望喜, 张宏宇, 华红霞. 中国储藏物害虫生物防治的研究进展 [J]. 粮食储藏, 2001, 30 (2): 3 – 7.
- [39] 顾忠盈, 张孝羲. 药材甲性外激素的研究 [J]. 昆虫知识, 1993 (2): 8 – 11.
- [40] 吴江, 匡晓帆. 药材甲性信息素的合成 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2000 (2): 17 – 22.
- [41] 张宏宇. 论储粮害虫的生态调控 [J]. 粮食储藏, 2006, 35 (4): 3 – 7.
- [42] 沈兆鹏. 储粮害虫防治新方法——生物防治法 [J]. 粮食储藏, 1995 (3): 9 – 15.
- [43] 沈兆鹏. 储粮害虫防治新方法——生物防治法 [J]. 粮食储藏, 1997 (3): 26 – 30.
- [44] 沈兆鹏. 用昆虫生长调节剂控制储粮害虫 [J]. 粮食科技与经济, 2005, 30 (5): 6 – 9.
- [45] 陈学新. 21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (4): 615 – 625.
- [46] Mueller D, Pierce L, Benezet H, et al. Practical application of pheromone traps in food and tobacco industry [J]. J Kansas Entomol, 1990, 63: 548 – 553.
- [47] Phillips T W, Cogan P M, Fadamiro H Y. Pheromones [M] // Subramanyam B H, Hagstrum D W. Alternatives to pesticides in stored – product IPM. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 2000: 273 – 302.
- [48] Phillips T W. The science and technology of postharvest insect control: challenges, accomplishments and future directions [M] // Heaps J W. Insect management for food storage and processing. 2nd ed. St Paul, MN: AACC International, 2006: 211 – 222.
- [49] Trematerra P. Pheromones and Integrated Pest Management in stored products [J]. IOBC WPRS Bulletin, 2002, 25 (3): 9 – 14.
- [50] Mahroof R M, Phillips T W. Responses of stored – product Anobiidae to pheromone lures and plant – derived volatiles [J]. J Appl Entomol, 2008, 132 (2): 161 – 167.
- [51] Haines C P. Arthropod natural enemies in stored products – overlooked and under – exploited [C]. Proceeding of the 7th IWCSPP. Beijing, 2000: 1205 – 1226.
- [52] 吕建华, 张来林, 赵英杰. 寄生性天敌在储粮害虫防治中的研究进展 [J]. 粮食科技与经济, 2009, 34 (5): 32 – 33.
- [53] Schöller M. Biological control of stored – product insects in commodities, food processing facilities and museums [J]. Julius – Kühn – Archiv, 2010, 425 (S): 596.
- [54] 何榕宾, 陈乾锦, 张玉珍, 等. 福建省烟仓害虫及其天敌调查 [J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2000, 24 (5): 612 – 616.
- [55] Eliopoulos P A, Athanaaiou C G, Buchelos C H. Occurrence of Hymenopterous parasitoids of stored product pests in Greece [J]. IOBC WPRS Bulletin, 2002, 25 (3): 127 – 140.
- [56] 孙永超, 何娜芬, 陈新芳, 等. 象虫金小蜂中国新记录 [J]. 昆虫天敌, 2007, 29 (1): 26 – 29.
- [57] Querner P, Biehl S. Using parasitoid wasps in Integrated Pest Management in museums against biscuit beetle (*Stegobium paniceum*) and webbing clothes moth (*Tineola bisselliella*) [J]. JEAR, 2012, 43 (2): 169 – 175.
- [58] Navarro S. Modified atmospheres for the control of stored – product insects and mites [J]. See Ref, 2006, 41: 105 – 45.
- [59] Mitcham E J, Martin T A, Zhou S. The mode of action of insecticidal controlled atmospheres [J]. Bull Entomol Res, 2006, 96: 213 – 222.
- [60] Mohamed Y H, Sayeda S A. Susceptibility of different life stages of saw – toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) to modified atmospheres enriched with carbon dioxide [J]. J Stored Prod Res, 2012, 48: 46 – 51.
- [61] 郭道林, 蒲玮, 严晓平. 国外储藏物气调与熏蒸研究进展——第八届国际储藏物气调与熏蒸大会国外报告综述 [J]. 粮食储藏, 2004, 33 (6): 44 – 48.
- [62] Hashem M Y. Suggested procedures for applying carbon dioxide (CO₂) to control stored medicinal plant products from insect pests [J]. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 2000, 107 (2): 212 – 217.
- [63] Nielsen P S. The effect of carbon dioxide under pressure against eggs of *Ephestia kuehniella* Zeller and adults of *Stegobium paniceum* L. and *Oryzaephilus surinamensis* L. [J]. Anzeiger für Schädlingskunde, 2001, 74 (3): 85 – 88.
- [64] 李灿, 冉珩, 李子忠. 中药材储藏害虫优势种药材甲形态及生活史 [J]. 植物保护, 2007, 33 (1): 123 – 126.
- [65] 李灿, 李子忠. 药材甲发育起点温度和有效积温 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (3): 379 – 381.
- [66] 李灿, 李子忠. 气调胁迫下 3 种中药材储藏期害虫谷胱甘肽转移酶活性研究 [J]. 植物保护, 2009, 35 (2): 91 – 94.
- [67] 李灿. 两种模型拟合药材甲幼虫生长发育与环境温度的关系 [J]. 天津农业科学, 2012, 18 (1): 93 – 95.

李元元,李洪民,唐忠厚,等.甘薯钾素营养及其生理机制研究进展[J].江苏农业科学,2014,42(4):13-15.

甘薯钾素营养及其生理机制研究进展

李元元,李洪民,唐忠厚,唐君,张安,曹清河

(中国农业科学院甘薯研究所/江苏徐淮地区徐州农业科学研究所,江苏徐州 221121)

摘要:甘薯是重要的粮食、饲料和工业加工原料,钾是甘薯中含量最丰富的矿质元素,而甘薯也是对钾肥需求最多的作物之一。综述了甘薯的钾素营养及生理机制,探讨了甘薯的钾肥效应、钾与甘薯的生理代谢和抗逆性的关系,以及钾素营养的生理机制等,以期甘薯的钾高效品质育种和原料加工提供借鉴。

关键词:甘薯;钾;碳氮代谢;抗逆性

中图分类号: S531.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)04-0013-03

甘薯富含淀粉、糖类物质^[1]、矿物质^[2]、生物活性物质^[3-5],钾是甘薯中最丰富的矿质元素^[5],而甘薯也是对钾肥需求最多的作物之一^[6-7]。钾能促进植物体内的多种代谢反应,能增强植物的光合作用和抗逆性,被称为“品质元素”。由于我国大部分耕地土壤严重缺钾,同时我国的钾矿资源极度匮乏,因此作物钾素营养不良和施钾量低已经成为限制我国作物稳产、增产和品质提升的重要因素^[8]。目前已经在水稻、小麦、玉米等重要粮食作物上开展了许多作物钾素营养生理与钾高效品质育种的研究^[9-12]。甘薯作为重要的粮食、饲料和工业加工原料^[13],研究矿质元素钾与其生长发育和生理

代谢的关系,对于开展钾高效品质育种、增强甘薯的耐瘠能力、增加甘薯产量、提高其工业可加工性意义重大。本文综述了甘薯钾素营养与生理机制的研究成果,以期甘薯合理施肥和功能化品种选育提供一定的理论依据和借鉴。

1 甘薯的钾肥效应

施用钾肥是水稻^[14]、玉米^[15]、小麦^[16]、大豆^[17]等作物提高产量、改良品质的重要农艺栽培技术措施之一。Robbins等最早在甘薯中发现钾肥的增产效应显著^[18]。甘薯作为喜钾作物,施用钾肥能明显促进薯块膨大,从而提高薯块重量^[6,19];在长期不施钾肥的条件下,薯块膨大期延迟,日增重减少,鲜薯产量下降;与施钾处理相比,虽然不施钾处理可以提高薯块的干物质含量,但是单位面积干物质产量却明显下降^[20];同时增施钾肥可以提高甘薯的干物质在块根中的分配比例,可以有效抑制地上部的茎叶徒长,提高块根产量^[21]。研究表明,K₂O用量在75~300 kg/hm²范围时,鲜薯产量和薯藤生物量会随施钾量的提高而增加,其中鲜薯产量的提高幅度大于薯藤^[19]。基施或封垄期追施钾肥有利于甘薯基部茎节的发育和分枝,并且可以提高单薯质量和大薯比例,从而

收稿日期:2013-08-21

基金项目:国家甘薯产业技术体系(编号:CARS-11-B-02);农业部“948”计划子课题(编号:2011-G1-20);国家“863”计划子课题(编号:2012AA101204)。

作者简介:李元元(1984—),女,江苏沛县人,硕士,助理研究员,研究方向为甘薯科研与试验管理。Tel:(0516)82189210;E-mail:lyy_0822@163.com。

通信作者:曹清河,博士,副研究员,研究方向为甘薯细胞遗传学与选用甘薯新品种的选育。E-mail:cqhe75@yahoo.com。

[68]李灿,李子忠.不同温度下药材甲对二氧化碳的敏感差异[J].农药,2006,45(11):748-750.

[69]李灿,李子忠,周波,等.高浓度二氧化碳对药材甲和烟草甲乙酰胆碱酯酶活性的影响[J].植物保护学报,2007,34(6):242-246.

[70]李灿,李子忠,郑兴旺,等.高浓度CO₂气调胁迫对药材甲老熟幼虫磷酸酯酶活力的影响[J].植物保护,2008,34(1):123-126.

[71]李灿,李子忠,曹宇,等.高浓度CO₂气调对药材甲羧酸酯酶活性的影响[J].西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(1):89-92.

[72]Li C, Li Z Z, Cao Y, et al. Partial characterization of stress-induced carboxylesterase from adults of *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) subjected to CO₂-enriched atmosphere[J]. J Pest Sci, 2009, 82(1): 7-11.

[73]李灿,李子忠,曹宇,等.药材甲与烟草甲羧酸酯酶和磷酸酯酶毒理学特性比较[J].植物保护学报,2013,40(1):78-82.

[74]李灿,徐琦,王世贵,等.2010.烟草甲乙酰胆碱酯酶基因的克隆与序列分析[J].植物保护学报,2010,37(5):475-476.

[75]王进军,赵志模.嗜卷书虱气调抗性形成过程中能源物质的积累与利用[J].中国昆虫科学:英文版,2002,9(4):41-46.

[76]程伟霞,王进军,陈志永.杀虫剂胁迫下嗜卷书虱和嗜书虱能源物质的代谢比较[J].动物学研究,2005,26(5):545-550.

[77]肖英方,毛润乾,万方浩.害虫生物防治新概念——生物防治植物及创新研究[J].中国生物防治学报,2013,29(1):1-10.

[78]Wang J J, Zhao Z M, Li L S. Induced tolerance of the psocid, *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelididae) to conditioned atmosphere[J]. Int J Pest Manag, 1999, 45(1): 75-79.

[79]Wang J J, Zhao Z M, Tsai J H. Resistance and some enzyme activities in *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: psocelididae) in relation to carbon dioxide enriched atmospheres[J]. J Stored Prod Res, 2000, 36: 297-308.

[80]李雪娇,何军,冯俊涛,等.西北地区106种植物杀虫活性的筛选[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(11):112-118.

[81]贾明慧,张辉,张爱华,等.植物次生代谢产物在国内农药开发方面的研究进展[J].中国植保导刊,2013,32(3):15-27.