

杀虫式气调对害虫控制和果蔬保鲜的研究进展

李 玲, 郭 衍 银

(山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049)

摘 要:在介绍杀虫式气调(Insecticidal Controlled Atmospheres, ICA)概念的基础上,深入探讨了 ICA 控制害虫的生理生化机理和 ICA 对果蔬贮藏特性的影响,介绍了其它因素诸如温度、湿度、处理时间及气体比例在 ICA 对害虫控制和果蔬保鲜的影响。最后,就 ICA 研究中存在的问题和以后的发展方向作了探讨和展望。

关键词:杀虫式气调(ICA);保鲜;果蔬;害虫;进展

中图分类号:TS 205 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)11-0190-04

果蔬是人类重要的副食品之一,因其富含人体所需的矿物质、维生素及营养物质而日益受到消费者青睐。由于具有旺盛的生命活动,果蔬采后易出现软化、腐烂、劣变等现象,造成巨大的经济损失^[1]。

研究和实践证明,气调贮藏是国际上最先进有效的果蔬保鲜方法,并在很多果蔬上成功应用^[2-3]。一般气调贮藏是利用适当的低 O₂ 和高 CO₂ 抑制果蔬的生理生化活动,进而达到果蔬保鲜和延长保鲜期的目的,但这种气调对果蔬贮藏期间害虫的控制作用很小。为此,杀虫式气调(Insecticidal Controlled Atmospheres, ICA)应运而生。现就 ICA 对害虫控制、果蔬保鲜以及其它因素对 ICA 的影响等方面进行综述,以期为果蔬的 ICA 技术提供理论参考。

第一作者简介:李玲(1987-),女,硕士,现主要从事农产品贮藏与加工等研究工作。E-mail:limeiling.666@163.com.

责任作者:郭衍银(1976-),男,副教授,硕士生导师,现主要从事农产品贮藏与加工等研究工作。E-mail:guoyy@sdu.edu.cn.

收稿日期:2013-01-26

1 ICA 概念

所谓 ICA,就是采用高 CO₂ (≥20%) 或低 O₂ (≤1%) 的气体成分,进行果蔬保鲜和害虫控制的一种气调方式^[4-5]。因 ICA 具有无化学残留、无毒、不污染环境等优势,近几年得以迅速发展并成为研究热点,现已发展有高 CO₂ 气调、高 O₂ 气调、超低 O₂ 气调、CO 气调等^[6]等多种方式。

2 ICA 对果蔬贮期害虫的影响

ICA 对害虫的控制,在谷物上已应用多年,如蒋德云等^[7]研究指出,100% CO₂ 在常温下 10~48 h 能 100% 致死粮食害虫,当浓度低于 40% 时,则需要 14 d 以上的时间才能达到 100% 的致死率。鉴于采后果蔬的生命活动能力强、易于腐烂、不耐高 CO₂ 等特性,ICA 在果蔬贮期害虫的控制方面研究较少。

2.1 高 CO₂ 控制果蔬贮期害虫的生理生化机制

从呼吸角度分析,高 CO₂ 扰乱了害虫的呼吸机能,刺激害虫气门肌肉的神经系统,使闭肌松弛,迫使气门开启,因对氧的需求而被动吸入过多的 CO₂,造成神经

Research Progress of Brassinosteroid and the Related Resistance of BRs

SHI Xiao-xia¹, ZHU Yong-xing², XU Xing¹

(1. Department of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Ningxia Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Department of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Brassinosteroids (BRs) are a class of new plant hormones and play a very important role in the growth and development as well as stress resistance of plants. BRs can enhance the plants for different adversity resistance, but the mechanism research is not complete known. This review focuses on recent progresses in the studies of the BR biosynthesis and the regulation of BRs balance, the development of BR in stress-tolerance were simply summed up.

Key words: Brassinosteroid; biosynthesis; balance regulate; stress tolerance

麻痹;另一个就是害虫气门的被动开启,改变了通气速率,致使体内水分过多散失,进而导致虫体快速干瘪而死亡^[4,8]。

从代谢角度分析,高 CO_2 抑制了害虫琥珀酸脱氢酶活性和氧化磷酸化水平^[9];进而造成害虫体内 ATP 产生速率降低^[10],最后导致虫体死亡。如 Donahaye^[11] 以赤拟谷盗为试材,发现高 CO_2 处理前期对虫体的氧化还原电势改变很小,但在第 4 天就导致 NAD^+/NADH 的比例下降;Navarro 等^[12] 证实了高 CO_2 能抑制粉斑螟 (*Ephestia cautella* Walker) 蛹的有氧代谢,抑制还原辅酶 II (NADPH) 和谷胱甘肽的生物合成,减弱了催化各种内源和外源化合物的氧化能力,降低了害虫的解毒代谢。

从细胞膜透性分析,高 CO_2 降低了害虫组织的 pH,进而诱使害虫细胞间钙离子浓度升高,而钙离子能刺激细胞膜和线粒体膜透性增大^[11]。Zhou 等^[13-14] 进一步指出,ATP 减少是促使细胞膜透性增加的诱因,因为在高 CO_2 存在的条件下,害虫试图吸入更多的 O_2 来弥补 ATP 的减少,从而造成恶性循环。

2.2 低 O_2 控制果蔬贮期害虫的生理生化机制

Hoback 等^[15]、Weyel 等^[16] 研究指出,虫体能源物质的耗尽、有毒物质的积累及害虫细胞膜和线粒体膜透性的增加,是低 O_2 导致害虫最终死亡的原因。一般而言,当 O_2 含量在害虫呼吸必需的极限值以上时,害虫可通过增大呼吸速率来调节自身的代谢;一旦 O_2 含量降低至极限值以下,由于不能供给足够的 O_2 ,害虫体内 ATP 生成量减少,不得不启动无氧代谢,而无氧代谢的有毒产物和很低的新陈代谢将导致害虫的死亡^[17]。如 Donahaye^[11] 指出,低 O_2 条件下害虫肌体会启动无氧代谢—糖酵解反应;Golob^[18] 也在缺氧 24 h 的谷象蛹体内发现大量乳酸。

Hochachka^[19] 进一步研究指出,低 O_2 对害虫的影响分 4 个阶段,一是导致害虫体内 ATP 减少,造成能量供应不足;二是细胞膜离子通道受阻,迫使 K^+ 从细胞内流出而 Na^+ 流入细胞内,引起细胞膜的去极化;三是细胞膜 Ca^{2+} 通道打开,引起 Ca^{2+} 进入细胞内,细胞内高浓度的 Ca^{2+} 会激活磷脂酶 A_1 、 A_2 和磷脂酶 C,增加了细胞膜磷脂的水解能力;四是细胞膜和线粒体膜透性增大,细胞膜点位梯度的维持能力丧失,最终导致细胞受损或虫体死亡。

3 ICA 对果蔬贮藏品质的影响

适宜的 ICA 条件能在一定程度上延长果蔬保鲜期并能较好的维持果蔬品质,但由于 ICA 一般采用极端的低 O_2 或高 CO_2 气体条件,如果处理时间过长,对果蔬可能产生一些不利影响,主要表现为低 O_2 或高 CO_2 伤害、果蔬异味等。因此,理想状态是 ICA 不对果蔬产生不良

影响或在果蔬产生不良影响前,达到杀虫的效果。

3.1 低 O_2 、高 CO_2 伤害

对大多数果蔬而言,短期低 O_2 处理基本不会产生低 O_2 伤害,但有些水果如亚洲梨、油桃和木瓜等,在 0~0.25% O_2 处理 3~14 d 可观察到低氧伤害,主要表现为表皮局部凹陷、出现褐色斑点或果皮变黄,质地变软^[20-21]。 CO_2 浓度为 10%~30% 时,大多数果蔬只能耐受几天时间,甜樱桃能在 0℃、该 CO_2 浓度下保存 1 d 天以上,且没有伤害和异味^[22];当 CO_2 浓度增加到 50%~100% 时,3~8 d 内所有的果蔬都会受到伤害^[20]。同时,受到低 O_2 或高 CO_2 伤害的果蔬,放到正常条件下也不会成熟,且更易腐烂^[21]。

3.2 异味

ICA 对果蔬的另一个不利影响是异味的产生。通常认为果蔬异味是乙醇、醛等几类发酵产物所引起,也可能是低 O_2 或高 CO_2 条件下果蔬产生了其它化学变化^[4]。Ke 等^[21] 研究表明,在异味产生早期能检测到轻微的酒精味,后期会产生很不好的气味,且在异味物质产生期间,乙醇和乙醛的含量大幅度增加。Mattheis 等^[23] 也指出,草莓在 20% CO_2 条件下主要产生乙酸乙酯和丁酸乙酯;由于丁酸乙酯的嗅觉阈值相对较低,因而会掩盖其它物质尤其是乙酸乙酯产生的异味,从而成为引起草莓异味的主要物质之一。Ana 等^[24] 指出,8℃ 下 80% O_2 + 20% CO_2 和 90% O_2 + 10% CO_2 处理的草莓在 1 周后有明显的异味。DeEll 等^[25] 进一步研究表明,低 O_2 或高 CO_2 对果蔬异味的影响程度不尽相同,如苹果在高 CO_2 条件下产生的乙醇和乙醛明显高于低 O_2 条件时产生的。

4 其它因素对 ICA 害虫抑制和果蔬保鲜的影响

低 O_2 或高 CO_2 条件下,果蔬异味的产生还与果蔬种类、可溶性固形物含量、呼吸速率、温度、处理时间等因素密切相关^[4,21]。因此,利用 ICA 杀虫时,要综合考虑各种因素,才能在新鲜果蔬产生副作用之前达到控制害虫的目的。

4.1 温度

害虫是变温动物,保持和调节体内温度的能力不强,环境温度影响其生命活动中全部化学反应的速率。因此,温度是影响害虫生长、发育、生殖及存活等生命活动的最重要因素。一般情况下,温度升高能更好地控制害虫。如 Shellie 等^[26] 研究表明,在 44℃ 利用 1% O_2 处理葡萄柚和墨西哥果蝇幼虫 2 h,幼虫死亡率显著增加,处理 5 h 能 100% 致死幼虫。同时,Carpenter^[27] 研究指出,延长时间和升高温度比增加 CO_2 或减少 O_2 对牧草虫和蚜虫的死亡率影响更大;Tian 等^[28] 则指出, O_2 浓度接近于 0% 会更快地引起异味的产生,而升高温度会加速异

味产生的速率。

4.2 湿度

害虫生存中经常面临的一个重要问题是保持体内水分,以确保生命的持续,因此减少相对湿度能更快地杀死害虫。在相对干燥状态下的害虫,气门处于完全关闭或部分关闭状态,此时如果降低 O_2 或提高 CO_2 浓度,则能促使害虫气门开启,导致害虫体内的水分散失^[29]。然而,对于大多数果蔬来说,相对湿度在 75%~95% 才能维持自身品质,限制了利用湿度控制害虫的应用。

4.3 处理时间

汪廷魁^[30]研究指出,高 CO_2 (>40%) 的杀虫效果与处理时间成正比,时间越长效果越好,一般处理 2 d 效果较差,4~6 d 杀虫率达 92%~100%。Shellie 等^[26]研究发现,在 44℃ 条件下利用 1% O_2 + 99% N_2 处理 5 h 就能 100% 杀死墨西哥果蝇幼虫,而对葡萄贮藏品质没有影响。因此,比较 ICA 对害虫的致死时间和果蔬耐受 ICA 的时间,在果蔬未受伤害之前杀死害虫,是一个不错的选择。

4.4 气体比例

ICA 中的 O_2 和 CO_2 比例具有明显的交互作用,如在一定范围内,适当提高 CO_2 含量,可以降低果蔬的呼吸速率,但容易造成 CO_2 伤害;提高 O_2 含量,可以减少果蔬的无氧呼吸,但提高了果蔬的呼吸速率和生理活动^[31]。Zhou 等^[13-14]研究表明,对拟顶小卷蛾幼虫的代谢影响和致死率而言,2% O_2 + 20% CO_2 气体组合与 21% O_2 + 79% CO_2 或 1% O_2 + 99% N_2 具有相同效果;同样,Kader 等^[32]和 Tian 等^[28]也指出,提高 O_2 含量不仅可以减少气调贮藏时缺氧导致的异味挥发性物质的产生,而且可以降低高 CO_2 胁迫所导致的异味物质的积累。但高 CO_2 或低 O_2 对害虫的影响不尽相同,如 Neven 等^[33]指出,低 O_2 抑制苹果小卷蛾 ATP 的合成,而高 CO_2 则阻止其对 ATP 的利用。

5 展望

目前,大部分气调原理及其技术主要是针对果蔬的生理生化及保鲜效果进行研究,对果蔬贮藏期间害虫影响的探讨较少,而果蔬贮藏过程中害虫的危害却是一个不容忽视的问题。因此,有必要将果蔬保鲜及其贮藏期害虫控制进行综合考虑。可以从以下 4 个方面进行深入研究。

一是低 O_2 或高 CO_2 在一定程度上能降低果蔬呼吸速率,抑制果皮和果肉发黄,减少硬度损失及腐烂率,提高贮藏品质,延长贮藏期和货架期,且具有一定的杀虫效果。但由于超低的 O_2 或过高的 CO_2 浓度,极易引起果蔬发生无氧呼吸或代谢异常,导致果蔬内部乙醇、乙醛含量升高,导致果蔬异味、品质劣变等问题。如何解决

ICA 对果蔬贮藏品质的不利影响,是亟需考虑和解决的问题。

二是虽然低 O_2 或高 CO_2 能抑制甚至杀死害虫,但不同害虫对低 O_2 或 CO_2 的反应差异很大,有必要就低 O_2 或高 CO_2 气调环境对各类贮藏害虫的影响进行深入系统研究。

三是果蔬和害虫具有对气调环境不同的应对机制,深入研究果蔬和害虫应对气调环境的差异特性,利用二者在时间、生理生化特性等方面的不同,在果蔬保鲜前提下达到害虫控制,具有一定的可能性。如果蔬的呼吸途径有多种,如无氧呼吸、三羧酸循环、磷酸戊糖支路、抗氰呼吸等^[34-35],对贮藏环境具有很强的适应性;而害虫呼吸时,主要依靠气管系统的通风和扩散作用使体内各组织直接吸取环境中的 O_2 和排出 CO_2 ,应对低 O_2 或高 CO_2 (特别是高 CO_2) 环境的能力较弱^[36]。

四是目前 ICA 研究主要集中在超低 O_2 或高 CO_2 气调环境,且高 CO_2 气调时其 O_2 浓度一般设置为等于或低于正常大气浓度。能不能在增加 CO_2 的同时,提高 O_2 比例,同时利用高 CO_2 的杀虫能力和高 O_2 缓解高 CO_2 对果蔬伤害的作用,达到保鲜果蔬和害虫控制的双向效果,是一个值得深入探讨的问题。

参考文献

- [1] 焦岩,张岩,李保国,等. 温湿度变化对冰箱中果蔬贮藏质量影响的研究[J]. 低温与特气,2001,19(6):18-20.
- [2] 刘颖,郭志敏,李云飞,等. 果蔬气调贮藏国内外研究进展[J]. 食品与发酵工业,2006,32(4):94-97.
- [3] Thompson A K. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables [M]. Oxon: CAB International, Wallingford, 2000: 71-78.
- [4] Ke D, Kader A A. Potential of controlled atmospheres for postharvest insect disinfestations of fruits and vegetables [J]. Postharvest News and Information, 1992, 3(2): 31-37.
- [5] Kader A A, Ke D. Controlled atmospheres. In: Paull R E. and Armstrong J W. (Editors). Insect pests and fresh horticultural products: Treatments and responses [M]. Oxon: CAB International, Wallingford, 1994: 223-236.
- [6] 关文强,胡云峰,李喜宏. 果蔬气调贮藏研究与应用进展[J]. 保鲜与加工, 2003, 3(6): 4-5.
- [7] 蒋德云,李宝筏,孔晓玲,等. CO_2 气调防治储粮害虫试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 166-169.
- [8] 程伟霞,丁伟,赵志模. 气调(CA)对储藏物害虫的作用机制[J]. 昆虫知识, 2001, 38(5): 330-333.
- [9] Navarra S, Friedlander A. The effect of carbon dioxide anesthesia on the lactate and pyruvate levels in the hemolymph of *Ephestia cautella* (Wlk.) pupae[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1975, 50(1): 187-189.
- [10] Mitcham E J. Controlled atmosphere for insect and mite control in perishable commodities[C]. ISHS Acta Horticulturae 600: VIII International Controlled Atmosphere Research Conference, 2001.
- [11] Donahaye E. Studies on the development of resistance to modified atmospheres in the stored product insect *Tribolium castaneum* [D]. Hebrew University, 1985.
- [12] Navarro S, Calderon M J. Exposure of *Ephestia cautella* (Wlk.) pupae

to carbon dioxide concentrations at different relative humidity; The effect on adult emergence and loss in weight [J]. Journal of Stored Products Research, 1974, 10(3):237-241.

[13] Zhou S J, Griddle R S, Mitcham E J. Metabolic response of *Platy-nota* sultana pupae to controlled atmospheres and its relation to insect mortality response[J]. Journal of Insect Physiology, 2000, 46(10):1375-1385.

[14] Zhou S J, Criddle R S, Mitcham E J. Metabolic response of *Platy-nota* sultana pupae under and after extended treatment with elevated CO₂ and reduced O₂ concentrations [J]. Journal of Insect Physiology, 2001, 47(4):401-409.

[15] Hoback W W, Stanley D W. Insects in hypoxia [J]. Journal of Insect Physiology, 2001, 47(5):533-542.

[16] Weyel W, Wegener G. Adenine nucleotide metabolism during anoxia and post anoxia recovery in insects[J]. Experientia, 1996, 52(5):474-480.

[17] 田世平. 超低氧处理对贮藏期间甜橙果实挥发性物质含量的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(2):160-167.

[18] Golob P. Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects[J]. Journal of Stored Products Research, 1997, 33(1):69-79.

[19] Hochachka P W. Defense strategies against hypoxia and hypothermia [J]. Science, 1986, 231:234-241.

[20] Ke D, Kader A A. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1990, 115(5):779-783.

[21] Ke D, Rodriguez-Sinobas L, Kader A A. Physiological and prediction of fruit tolerance to low oxygen atmospheres [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1991, 116:253-260.

[22] Tian S P, Fan Q, Xu Y, et al. Evaluation of the use of high CO₂ concentrations and cold storage to control of *Monilinia fructicola* on sweet cherries [J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1):53-60.

[23] Mattheis J, John K. Fellman Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities [J]. Hort Technology, 2000, 10(3):507-510.

[24] Ana G, Pérez, Carlos S. Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide

atmospheres on strawberry flavor and other quality traits [J]. American Chemical Society, 2001, 49(5):2370-2375.

[25] DeEll J R, Prange R K, Murr D P. Chlorophyll Fluorescence as a Potential Indicator of Controlled - atmosphere Disorders in 'Marshall' McIntosh Apples [J]. HortScience, 1995, 30(5):1084-1085.

[26] Shellie K C, Mangan R L, Ingle S J. Tolerance of grapefruit and Mexican fruit fly larvae to heated controlled atmospheres [J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 10(2):179-186.

[27] Carpenter A. A comparison of the responses of aphids and trips to controlled atmospheres[C]. Procedure of 7th International of CA Conference, Davis, CA, 1997:91-95.

[28] Tian S P, Jiang A L, Xu Y, et al. Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage [J]. Food Chemistry, 2004, 87(1):43-49.

[29] Navarro S. The effect of low oxygen tensions on three stored-product pests [J]. Phytoparasitica, 1978(6):51-58.

[30] 汪廷魁. 浅谈利用二氧化碳灭菌杀虫概况[J]. 植物保护, 1993, 31(2):30-32.

[31] Robert P, John D, Barbara D, et al. Innovation in controlled atmosphere technology [J]. Stewart Postharvest Review, 2005, 1(3):1-11.

[32] Kader A, Ben-Yehoshua S. Effects of super-atmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(1):1-13.

[33] Neven L G, Lee D, Hansen. Effects of Temperature and Controlled Atmospheres on Codling Moth Metabolism [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2010, 103(3):418-423.

[34] Alisdair R F, Fernando C, Lee J S. Respiratory metabolism; glycolysis, the TCA cycle and mitochondrial electron transport [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2004, 7(3):254-261.

[35] Veiga A, Arrabaca J D, Maria C. Loureiro-Dias. Cyanide-resistant respiration is frequent, but confined to yeasts incapable of aerobic fermentation [J]. FEMS Microbiology Letters, 2000, 190(1):93-97.

[36] 迈克尔·齐纳里. 昆虫[M]. 马焕灵, 译. 沈阳: 辽宁教育出版社, 2000.

Research Progress of Insecticidal Controlled Atmospheres on Insects Control and Postharvest Storage of Fruits and Vegetables

LI Ling, GUO Yan-yin

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049)

Abstract: On the basis of inducing the conception of insecticidal controlled atmospheres (ICA), the physic-biochemical mechanism of controlling insects and effects on storage attributes of fruits and vegetables under ICA were discussed in this article. Meantime, the effects of other factors such as temperature, humidity, treating time, and gas proportion on insects control and storage quality of ICA during fruits and vegetables storage were also discussed. Finally, focused on the problems exists of ICA research, some suggestions for the further development of ICA was proposed.

Key words: insecticidal controlled atmospheres (ICA); storage; fruits and vegetables; insects; progress