

香蕉采后生理及贮藏保鲜研究进展

祁文彩,吴宁,张亮,王丹,王太霞

(河南师范大学 生命科学学院;河南省道地药材保育及利用工程技术研究中心,河南 新乡 453007)

摘要:香蕉在运输及贮藏的过程中极易发生软化、褐变、腐烂等问题,极大影响外观品质和营养品质.现从香蕉采后生理指标、贮藏因素、保鲜技术等方面,综述近年来国内外香蕉采后生理及贮藏保鲜研究进展并对未来的研究方向进行展望.

关键词:香蕉;采后生理;贮藏;保鲜

中图分类号:Q945

文献标志码:A

香蕉是芭蕉科(*Musaceae*)芭蕉属(*Musa*)植物^[1],原产于东南亚,为多年生草本植物,由两个物种之间的自然杂交形成,通常食用的香蕉为三倍体.香蕉的淀粉含量高,因其价格比红薯、玉米、山药低,物质贫乏的年代曾作为第四大粮食作物^[2].香蕉果肉细腻可口,营养物质颇丰,广受人们喜爱.香蕉是一种典型的跃变型果实,由于采后乙烯的大量释放果实内部发生一系列成熟与衰老的生理变化,具体表现为香蕉果皮变黄,果肉变甜软,严重时影响采后香蕉的贮运保鲜及可食性^[3-4].此外,香蕉在采后及运输的过程中极易发生病害、冷害、机械损伤等问题,致使香蕉品质下降,贮藏时间缩短.为解决香蕉的采后贮藏保鲜问题,国内外学者对此做了大量研究.本文根据近年来的研究成果对香蕉采后生理指标的变化,采后贮藏因素以及保鲜技术的发展等方面进行综述.

1 香蕉采后生理指标的变化

1.1 果皮细胞膜透性的变化

采后香蕉受到外界环境的胁迫或在贮藏过程中,果皮细胞膜的结构和功能最先受到影响,可表现为果皮细胞膜发生膜脂过氧化,其程度高低可用丙二醛(Malondialdehyde,MDA)含量来反映.Pongprasert 等人研究发现,在贮藏的过程中香蕉果皮 MDA 的含量显著上升,且在低温处理(8℃)下果皮 MDA 含量明显高于 25℃处理 MDA 的含量^[5].细胞膜脂过氧化诱发细胞膜通透性增大,从而导致果皮的相对电导率增大,细胞膜选择透过性功能减弱,经过一系列反应最终导致果肉发生变质^[1].此外,研究发现植物细胞膜通透性改变与衰老成熟具有相关性.

1.2 酶活性的变化

在香蕉贮藏期间,酶促褐变是导致香蕉褐变的主要原因,发生酶促褐变物质基础是酚类物质、褐变相关酶类和氧气等.植物正常状态下依靠酶促保护系统和抗氧化物质清除氧自由基、维持有机体内代谢平衡^[1,6].

多酚氧化酶(PPO)是参与酶促褐变最主要的酶之一,可以催化果实表面形成酚类化合物,在经过一系列的反应而聚合形成色素,这说明 PPO 与香蕉的褐变有直接关系^[7].Mirshekari 等人发现香蕉在整个贮藏期间 PPO 活力呈现出上升趋势,与褐变趋势一致^[8].张琦等人研究发现香蕉在贮藏的过程 PPO 的活性也呈现上升趋势^[7].香蕉利用抗氧化酶体系(主要包括 POD,SOD,CAT 等)清除氧自由基,维持代谢平衡,抵御细胞

收稿日期:2018-03-07;修回日期:2019-03-10.

基金项目:国家自然科学基金(31770197;31270225);河南师范大学科研启动基金资助项目(5102099179107;2016PL12).

作者简介:祁文彩(1982-),女,河南南阳人,河南师范大学副教授,博士,主要从事植物营养生理等研究工作,E-mail:2015044@htu.edu.cn.

通信作者:王太霞,河南师范大学教授,E-mail:041034@htu.edu.cn.

衰老.胡会刚等人采用水杨酸处理香蕉研究发现,水杨酸处理提高抗氧化酶活力和果实硬度,降低果实 H_2O_2 含量,淀粉的水解速率及果实腐烂指数,减少果实 MDA 含量,最终达到保鲜的目的^[9].此外,脂氧合酶(LOX)是一种具有非血红素铁的蛋白质,与植物衰老相关,通过形成具有共轭双键的不饱和脂肪酸氢过氧化延伸物,导致果蔬风味丧失、品质下降^[10].香蕉贮藏的过程中,脂氧合酶呈现先升高后下降趋势.Pongprasert 等人研究发现,香蕉受到冷害时,果皮通过增加脂氧合酶活力减少 MDA 含量增加,采用 $0.03 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 剂量的 UV-C 辐照能够降低脂氧合酶的活性、减少 MDA 含量,从而减少冷害损伤^[5].

1.3 果实乙烯含量的变化

乙烯是一种内源性激素,调控种子萌发、开花、果实成熟、衰老等生理过程,并且在调控果实成熟基因的协同表达中起非常重要的作用^[11].乙烯是植物体内的生长调节物质,同逆境胁迫关系密切,当果实受到冷害时,乙烯释放量增加^[12].温度影响植物释放乙烯的量,当温度高于 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,生成乙烯的量比较少,但一定条件下的高温相较于低温释放的乙烯量更高^[13].正常成熟过程中香蕉果实乙烯的含量呈现出先上升后下降的趋势,添加外源乙烯促使乙烯释放量峰值提前出现;添加乙烯受体抑制剂 1-MCP 能够减少乙烯生成,延迟乙烯高峰的出现^[11].利用外源乙烯处理香蕉促进果皮 chlorophyll a(叶绿素 a)含量下降,而 carotenoids(类胡萝卜素)含量升高,进而促进果皮变黄.1-MCP 处理抑制乙烯释放,能够延缓叶绿素分解,以及果皮由绿变黄的过程^[14].研究表明低温处理可降低乙烯生成,例如冷激处理香蕉果实 6 h,可明显减少乙烯释放量,延迟乙烯峰值的出现,降低冷害指数,维持香蕉果实贮藏品质^[15].Du 等人采用 $10 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乙烯浸泡处理香蕉 24 h,并于 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 或 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下放置 24 h 后进行蛋白质组分析,研究发现有关叶绿体功能、活性氧清除、信号通路、防御和应激反应以及有关细胞壁、氨基酸和糖代谢的蛋白质受到显著影响^[16].

1.4 果实的色泽及硬度变化

香蕉颜色及硬度改变与色素含量、细胞壁组成成分及淀粉含量等相关.果实中含有的色素主要包括光合色素(叶绿素、类胡萝卜素)和非光合色素(花青素).香蕉在贮藏的过程中,果实的硬度逐渐降低,且软化最早始于内果实,呈放射状逐渐向外延伸.香蕉变软通常是由 3 种机制引起:细胞膨压减少、淀粉含量减少、果实细胞壁被破坏^[17].淀粉是果实的结构性物质,对外界的贯穿力有一定抵抗作用,淀粉含量降低使香蕉果肉发生非常明显的结构变化^[18].

香蕉在成熟的过程果皮的质体基粒类囊体膜破裂导致叶绿素逐渐分解,而类胡萝卜素含量不变或略有增加,因此在贮藏的过程香蕉果皮颜色由绿转黄^[4].在香蕉成熟中,叶绿素含量从 $50 \sim 100 \text{ } \mu\text{g}$ 每克鲜质量下降至几乎为零,而类胡萝卜素大约保持在 $8 \text{ } \mu\text{g}$ 每克鲜质量^[17].Awad 等人研究发现,利用壳聚糖,没食子酸以及它们复合物处理能够减缓香蕉叶绿素含量的下降、增加类胡萝卜素的积累过程^[19].香蕉在成熟过程中果胶酶的活力和含量升高引起水溶性果胶含量增加^[3].研究表明利用冰水浸泡香蕉,可降低果胶酶含量,从而延迟果实硬度变软^[20].Mirshekari 等人采用钙和 1%壳聚糖处理香蕉果肉发现,因钙与果胶的螯合作用减少使硬度下降,而 1%壳聚糖处理通过减少代谢维持硬度,同时防止腐烂微生物的生长,达到香蕉保鲜目的^[8].

1.5 果实中的糖类变化

香蕉内的糖类成分主要是淀粉和可溶性糖(蔗糖、果糖和葡萄糖).在贮藏的过程中,由于淀粉在酶的作用将淀粉转化为可溶性糖,青香蕉中淀粉的含量为 $85\% \sim 95\%$,成熟时淀粉的含量下降到 $5\% \sim 15\%$ ^[21].香蕉中的可溶性固形物主要以可溶性糖为主,可溶性糖可作为评判果实营养品质的指标之一,其最佳含量约为 $15\% \sim 20\%$,当含量过高时呈现退糖软腐现象^[22].香蕉在采后至成熟过程中,果肉中淀粉逐渐水解为糖类,其中二糖以蔗糖为主,单糖以葡萄糖和果糖为主,使香蕉果肉变甜^[23].张琦等人研究表明,香蕉贮藏过程中前期糖类以淀粉为主,在成熟过程转化为葡萄糖,可溶性固形物含量增加,果实成熟度升高^[7].Ding 等人采用扫描电镜研究发现有有条纹结构出现,这是由于淀粉水解为单糖,并且电镜下观察到淀粉颗粒的长度和宽度显著减少,且香蕉果实成熟过程中,果肉细胞中淀粉的密度在不断下降^[24].

1.6 果实中的多酚变化

果蔬中的多酚主要包括酚类化合物和黄酮类化合物,是有益健康的生物活性物质^[25].Borges 等人研究发现香蕉总酚平均含量为 $0.24 \text{ g GAE} \cdot \text{kg} \cdot \text{DW}^{-1}$,总黄酮平均含量为 $0.02 \text{ g QE} \cdot \text{kg} \cdot \text{DW}^{-1}$ ^[26].Awad 等

人研究发现香蕉在贮藏的过程中细胞结构被破坏,黄酮类物质由 $0.23 \text{ g QE} \cdot \text{kg} \cdot \text{DW}^{-1}$ 减少至 $0.10 \text{ g QE} \cdot \text{kg} \cdot \text{DW}^{-1}$, 酚类物质从 $0.33 \text{ g GAE} \cdot \text{kg} \cdot \text{DW}^{-1}$ 减少至 $0.24 \text{ g GAE} \cdot \text{kg} \cdot \text{DW}^{-1}$ ^[19]. 然而,高鹏钊等人研究不同品种香蕉的黄酮物质含量变化,结果表明,黄酮的含量在香蕉成熟过程中呈现上升趋势,且不同品种果皮中黄酮含量均显著高于果肉,这可能是由于香蕉品种基因型的不同引起黄酮类物质含量不同^[27].Ding 等人采用 $0.01 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 辐照香蕉发现,由于高剂量 UV-C 毒性作用造成过度木质化显著增加总酚含量^[18].

1.7 其他内含物含量变化

香蕉的营养品质还包括果肉的酸、维生素、矿质元素等成分.糖和有机酸是光同化产物,而呼吸作用会导致这两种物质在液泡内被分解^[17].可滴定酸含量影响果实的风味与成熟度.VC 是香蕉中的主要维生素,可增强人体免疫力,促进人体肠道对铁的吸收,以及预防和治疗缺铁性贫血^[28].

香蕉置于温度 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、湿度 80% 条件下贮藏,采用不同浓度硝酸钠浸泡处理,与对照相比,硝酸钠处理组可滴定酸下降速率均低于对照组,且以 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸钠效果最佳^[7].李敬阳等人研究发现,不同品种的香蕉维生素 C 的含量差别很大,在对 7 个不同品种就发现,成熟的奶蕉中维生素 C 的含量约为红香蕉中含量 3 倍^[29].此外,矿质元素是许多酶的辅酶因子的组成成分,作为重要活化剂参与香蕉果实成熟糖酸的代谢^[30].研究发现不同香蕉品种间的矿质元素的变化幅度微小,矿质元素含量相对稳定^[29].

2 影响香蕉采后贮藏的因素

2.1 内在因素

香蕉品种对抗逆性、颜色、多汁性等有影响.何海旺等人对 18 种香蕉种质幼苗进行抗寒性分析发现,LT、粉杂和金粉 1 号抗寒能力最强,这对于香蕉种植范围提供选择依据^[31].朱德明等人不同温度下贮藏两种不同香蕉,采用 $L^* a^* b$ 系统测定香蕉果皮颜色发现,芭蕉(*Musa AAB*)皮比卡文迪什(*Musa AAA*)香蕉皮变亮快,并且贮藏过程中失亮亦快^[32].Salvador 等人采用 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏 *M. cavendish AAA* 型和 *M. paradisiaca AAB* 型两种香蕉,发现两种香蕉的颜色和纹理的变化并不是完全一致^[33].此外,香蕉品种和抗病性相关.剧虹伶等人向土壤中接种尖孢镰刀菌古巴专化型 4 号生理小种(FocTR4)后发现,香蕉枯萎病发病率随 FocTR4 浓度增加而增加,且同浓度致病菌处理下,由于感病品种的 POD、几丁质酶和 β -1,3 葡聚糖酶活性显著低于抗病品种,对 FocTR4 感染更敏感^[34].

2.2 外在因素

2.2.1 采后温度、湿度

香蕉是一种热带水果,高温低湿及低温均可对香蕉造成严重的伤害,进一步影响香蕉营养品质和口感,因此香蕉贮运的温度通常控制在 $13 \sim 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $90\% \sim 95\%$ ^[4].低湿促进跃变型水果的呼吸,促进香蕉表面着色,进而促进香蕉果实的成熟和果实软化.香蕉在成熟的过程中,当贮藏温度低于 $11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时会出现冷害现象,发生冷害的临界温度是 $11 \sim 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$.当贮藏温度超过 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时会抑制香蕉果皮脱镁叶绿素和脱镁叶绿素的降解,进而严重影响果皮由绿变黄的过程,导致“青皮熟”^[1].

李云等人将香蕉和大蕉分别在 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下储藏,研究发现,在 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下香蕉、大蕉具有正常的呼吸和乙烯释放高峰,果皮叶绿素含量逐渐降低而类胡萝卜素含量逐渐上升,因此果皮由绿转黄;但在高温条件下,大蕉果皮能够褪绿转黄,而香蕉出现“青皮熟”现象^[13].其原因是高温促进香蕉果皮中的淀粉转化为可溶性糖,同时提高多聚半乳糖醛酸酶活性,抑制果皮褪绿转黄,以及纤维素酶、果胶甲酯酶的活性加速果皮软化过程^[35].

2.2.2 采后病害

2.2.2.1 浸染性病害

香蕉的浸染性病害主要有炭疽病,焦腐病,冠腐病,黑星病等^[4].其中最常见的是炭疽病,由香蕉刺盘孢 [*Colletotrichum musae* (Berk. et Curt.) v. *Arx*] 感染所致,该病害潜伏时间较长,发病始于采收时.当薄膜袋包装运输贮藏时最容易引发冠腐病,致病菌为:半裸镰孢 (*Fusarium semitectum* Berk. et Rav.)、串珠镰孢

(*F. moniliforme* Sheldon)、亚粘团串珠镰孢(*F. moniliforme* var. *subglutinans* Wollenw. et Rienk.)和双胞镰孢(*F. dimerum* Penzig),其中半裸镰孢菌的致病性最强,而串珠镰孢与亚粘团串珠镰孢菌的感病频率最高.引起焦腐病和黑星病的病原菌分别是可可球二孢(*Botryodiplodia theobromae* Pat)和香蕉大茎点霉[*Phomamusae* (Berl. et Vogl) Sutton]^[36].植物通过形成酚类物质及其酚类物质的氧化产物醌类物质钝化病原菌产生的毒素或合成植保素前体抵御病原菌伤害^[37].李丽等人采用人工喷雾方式对两种香蕉接种炭疽病菌分生孢子悬浮液(10^6 个·mL⁻¹),然后置于 28 °C 条件下,结果表明,接种炭疽病菌后诱发多酚氧化酶活力增加、促进呼吸作用,导致香蕉果实软化、果皮褪绿,从而严重影响香蕉贮藏品质及贮藏时间^[38].研究发现可采用异菌脲悬浮剂、咪鲜胺水乳剂、噁菌灵悬浮剂等浸泡香蕉果实 1 min,可有效减少贮藏过程中冠腐病的发病率^[39].在温度(12 ± 0.5) °C,相对湿度为 $90\% \pm 3\%$ 条件下,取不同量艾蒿全粉置于香蕉托盘内,结果表明,艾蒿全粉对香蕉冠腐病并没有明显抑制作用,但是可以抑制香蕉果皮 PPO 的活性和叶绿素含量下降,起一定保鲜效果^[40].此外,采用 45 °C 和 50 °C 热水浸泡处理 20 min,通过减少致病菌丝生长和孢子萌发,可使冠腐病发病率分别减少至 15% 和 3%^[41].

2.2.2.2 生理性病害

香蕉在贮藏过程中极易受到冷害、气体伤害、高温低湿等生理性病害,导致香蕉大量受损,难以贮藏.冷害诱发多酚氧化酶(PPO)氧化液泡释放的酚类物质,造成果皮色泽暗淡甚至出现红褐色;严重冷害时,果实软化过程减慢,导致味道酸涩,糖分减少,果心变硬,影响果实口感与风味^[36].高温、低湿条件下香蕉呈现出果皮急速黄变,果肉硬度急速变软,甚至因果实失水皱缩果皮表面出现锈斑^[42].香蕉贮藏于封闭性较好的环境中,由呼吸作用引起 CO₂ 浓度增加, O₂ 浓度下降,长期处于这样环境中则会出现 CO₂ 中毒现象,虽然外表仍为绿色,但是由于无氧呼吸积累乙醛和乙醇使果心变硬失去原有风味^[36].另外机械损伤通过加快呼吸作用和后熟过程使香蕉的采后贮藏时间变短.

3 香蕉采后贮藏保鲜技术研究现状

香蕉在成熟和加工过程中极易发生酶促褐变,对果皮颜色、果肉风味和质地产生很大影响,造成香蕉品质下降^[43].随着生活水平提高,越来越多的人关注于食品安全,对外观品质、营养品质、安全性要求较高.香蕉作为一种大众偏爱的热带水果,由于其货架期较短,近年来许多学者展开对香蕉采后贮藏保鲜技术的研究,以期解决实际问题.

3.1 物理保鲜技术

3.1.1 气调贮藏

气调贮藏是果蔬采后贮藏中最常用的保鲜技术.气调贮藏包括人工气调保鲜(controlled atmosphere, CA)和自发性气调保鲜(modified atmosphere, MA).人工气调保鲜(CA)对香蕉生理生化指标、果实品质、贮藏效果等方面已有大量报道.研究表明,应用人工气调库于 20 °C 条件下贮藏香蕉时 CO₂ 和 O₂ 含量分别设置为 5% 和 3%,贮藏 6 个月后仍未完成后熟过程^[4].自发性气调保鲜(MA)是指利用聚合物薄膜包装密封活性产品,由其自身呼吸改变包装中的 O₂ 和 CO₂ 浓度,达到自发性气调保鲜的目的.目前国内香蕉贮藏多采用自发性气调保鲜(MA)技术,通常利用聚乙烯薄膜包装,通过香蕉的呼吸作用在包装中形成低浓度 O₂ 和高浓度 CO₂,进而影响香蕉的代谢或抑制腐烂微生物的活性来增加香蕉的保存期^[4,17].此外,气调贮藏在龙眼,荔枝,桑葚中也有运用且效果良好^[44-46].

3.1.2 短波紫外线(UV-C)辐照保鲜

短波紫外线(Ultraviolet-C, UV-C, 254 nm)辐照具有绿色、安全、环保、无残留等优点,近年在果蔬采后保鲜中应用日益增多.UV-C 辐照通过破坏微生物细胞膜,核酸结构使遗传物质失去活性,致使微生物死亡或失去繁殖能力,控制病原微生物的生长防止腐烂,从而延缓果蔬采后衰老,提高品质^[18,47-48].

Pongprasert 等人研究发现采用 UV-C 处理香蕉,能够减少丙二醛的含量,降低多酚氧化酶和叶绿素的活性,并且减少乙烯的产生^[49].Ding 等人研究采用不同剂量的 UV-C 处理香蕉后置于 (25 ± 2) °C 成熟 5 d,结果表明,UV-C 辐射剂量低至 0.01 kJ·m⁻² 能够降低香蕉水分的散失,减缓淀粉转化和软化,提高总酚含

量^[18]。此外,UV-C 照射引起细胞形成物理屏障(例如细胞壁木质化)防止病原体侵入.Mohamed 等人研究发现,UV-C 辐射增加木质素和酚类化合物在冠状组织中的积累,提高防御相关的酶(POD 和 PPO)活性进而增强对破坏性病原体的抵抗力^[50]。UV-C 处理保鲜在平菇、草莓、番木瓜中也有应用,并且能够延长贮藏期,提高品质^[51-53]。

3.1.3 包装处理

采用 LDPE 型聚乙烯薄膜袋包装时保鲜效果最佳,当香蕉置于常温(20±0.5)℃时,0.061 mm 聚乙烯薄膜袋可以延长 3~4 d 货架期贮藏时间,但对于失重率无显著影响^[54-55]。

3.1.4 热水处理和冷激处理

采用 48~60℃热水浸泡处理香蕉 10 min,置于 13~25℃环境中贮藏,能够明显延长香蕉的货架期^[54]。冷激处理通过抑制相关酶活性延缓果皮褪绿转黄、果肉软化,同时抑制乙烯生成、呼吸作用等过程,从而达到延长货架期的保鲜效果。此外,冷激处理能够抑制淀粉酶活性,降低淀粉水解速率,以保持果实硬度。段学武等人采用冷激处理香蕉后分析聚半乳糖醛酸酶和果胶甲酯酶及纤维素酶活性的变化,结果表明上述酶活性均受到抑制,因而果皮退绿过程变慢,保持果实的硬度^[56]。

3.2 化学保鲜技术

化学保鲜是指利用化学物质喷洒或涂抹在果蔬表面,通过抑制或杀死表面、周围环境中的微生物,以达到保鲜的目的。因其操作简便,在常温运输和贮藏中多运用此法。早期较多使用化学防腐剂,乙烯吸收剂,植物生长调节剂等,但因带有毒性残留和抗药性等问题,在现阶段贮藏保鲜中使用较少。目前,在香蕉贮藏保鲜中常用的化学试剂有水杨酸、柠檬酸、草酸等,它们在植物体内天然存在,具有价格低廉、安全无污染等优点,已经被广泛应用于食品工业。

水杨酸被认为是一种信号分子,在调节植物逆境胁迫方面具有重要作用能够抑制果实组织乙烯合成,对跃变型果实具有较好的保鲜效果^[9]。李红震等人采用柠檬酸,草酸,水杨酸分别浸蘸香蕉,研究发现 3 种酸均能够可以抑制香蕉果皮发生褐变,减少丙二醛含量维持细胞膜完整性,将货架期延长两天^[57]。胡会刚等人研究发现水杨酸处理能够降低香蕉淀粉水解速率和果实腐烂指数,提高果实的硬度,从而达到保鲜效果^[9]。Jiang 等人研究发现采用柠檬酸处理荔枝能够抑制多酚氧化酶的活性,抑制褐变的发生,且和谷胱甘肽联合处理时效果更佳^[58]。

3.3 生物保鲜技术

生物保鲜是近年来的新兴保鲜技术,通常从活体中提取或通过生物工程改造获得生物保鲜剂,具有成本低储藏条件可控,无有害物质的残留等优点,在保持果蔬品质和口感中被广泛应用。目前运用较多的是微生物保鲜,生物天然提取物保鲜,基因工程保鲜。

微生物保鲜主要通过微生物的拮抗作用和利用初生、次生代谢产物保持果蔬采后品质,具有资源丰富,数量多,代谢方式多样,易于规模化发酵且无公害、无抗药性等优点,在果蔬保鲜中应用较多。研究表明采用从真菌与放线菌等微生物中提取的生物保鲜剂已经用于草莓,荔枝的保鲜^[59-60]。

4 总结与展望

迄今为止,国内外学者对香蕉采后生理变化、贮藏因素、贮藏保鲜技术等方面已开展大量研究,旨在提高品质、延长货架期。目前,香蕉保鲜大多采用单一保鲜技术,今后应侧重物理、化学、生物保鲜等技术的综合运用研究,为香蕉保鲜寻求更完善的方法。此外,前人研究主要集中在揭示香蕉贮藏生理指标的变化规律,对香蕉后熟过程中的内在机制研究相对滞后。今后研究应加强分子生物学方面的研究,例如通过转录组分析发掘香蕉采后差异表达基因和功能 microRNA,进一步完善香蕉果实成熟的分子机制,从而研发出从根本上延长香蕉贮藏期和货架期的高效、实用、安全的保鲜技术。

参 考 文 献

- [1] 陈振东,郑涛,林秀香.香蕉采后生理及贮藏保鲜研究综述[J].中国农学通报,2013,29(7):61-64.
- [2] 苏小军,蒋跃明,于新,等.芒果采后生物学及贮藏保鲜技术研究进展[J].仲恺农业工程学院学报,2001,14(1):60-66.

- [3] 贾彩红,金志强,刘菊华,等.香蕉采后生理学研究进展[J].热带作物学报,2012,33(1):189-193.
- [4] 谢建华,庞杰.香蕉采后生理与保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2010,10(6):37-42.
- [5] Pongprasert N, Sekozawa Y, Sugaya S, et al. A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury (membrane damage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1): 73-77.
- [6] 陈浩东,贺云新,郭利双,等.铜胁迫对3个棉花品种生理生化特征及农艺性状的影响[J].棉花学报,2018,30(1):62-76.
- [7] 张琦,刘千,张智,等.硝酸钠对香蕉采后品质及生理指标的影响[J].南方农业学报,2016,47(7):1198-1202.
- [8] Mirshekari A, Madani B, Golding J B. Suitability of combination of calcium propionate and chitosan for preserving minimally processed banana quality[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2017, 97(11): 3706-3711.
- [9] 胡会刚,莫亿伟,谢江辉,等.水杨酸提高香蕉采后果实抗氧化能力和保鲜效果研究[J].食品科学,2009,30(2):254-259.
- [10] 吴桂玲,罗德耐.脂氧合酶的研究进展[J].山东化工,2016(15):68-69.
- [11] 王甲水,贾彩红,张建斌,等.香蕉果实乙烯释放量 GC 的测定方法及其不同处理下的变化趋势[J].热带作物学报,2013,34(6):1188-1191.
- [12] 王玉萍,饶景萍,李萌,等.1-MCP对'徐香'猕猴桃冷藏期间冷害与果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(11):93-99.
- [13] 韩艳婷,江林祥,钟明星,等.贮藏温度对9种内蒙古半干旱草地植物种子萌发的影响[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2018,31(1):52-58.
- [14] 刘伟鑫,苗红霞,金志强,等.乙烯和1-MCP处理对香蕉采后果皮色素含量及褪绿变黄的调控[J].果树学报,2013,30(6):1051-1055.
- [15] 邱佳容,张良清,陈纯,等.冷激处理对冷藏香蕉果实内源多胺和乙烯的影响[J].食品与生物技术学报,2016,35(11):1189-1194.
- [16] Du L, Song J, Forney C, et al. Proteome changes in banana fruit peel tissue in response to ethylene and high-temperature treatments[J]. Horticulture Research, 2016, 3: 16012.
- [17] Hailu M, Workneh T S, Belew D. Review on postharvest technology of banana fruit[J]. 2013, 12(7): 635-647.
- [18] Ding P, Rosli M F, Mahassan N A. UV-C Irradiation affects quality, antioxidant compounds and activity of Musa AAA Berangan[J]. Sains Malaysiana, 2015, 44(8): 1095-1101.
- [19] Awad M A, Alqurashi A D, Mohamed S A, et al. Postharvest chitosan, gallic acid and chitosan gallate treatments effects on shelf life quality, antioxidant compounds, free radical scavenging capacity and enzymes activities of 'Sukkari' bananas[J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(2): 447-457.
- [20] Zhang H Y, Yang S Y, Joyce D C, et al. Physiology and quality response of harvested banana fruit to cold shock[J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 55(3): 154-159.
- [21] Pharr D M, Huber S C. Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climacteric[J]. Plant Physiology, 1990, 94(1): 201-208.
- [22] 胡位荣,朱西儒,王正询,等.香蕉果实采后及贮藏生理研究进展[J].广州大学学报(自然科学版),2003(3):228-234.
- [23] 贾彩红,徐碧玉,刘菊华,等.香蕉 ASR 的特征和采后表达分析[J].生物技术通报,2014(1):105-111.
- [24] Ding P. Cellular structure and related physico-chemical changes during ripening of Musa AAA 'Berangan'[J]. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science, 2008, 31(2): 217-222.
- [25] 洪佳敏,何炎森,郑云云,等.香蕉成分及其保健功能研究进展[J].中国农学通报,2016,32(10):176-181.
- [26] Borges C V, Ramlov F, Ledo C A D S, et al. Characterisation of metabolic profile of banana genotypes, aiming at biofortified Musa, spp. cultivars[J]. Food Chemistry, 2014, 145(4): 496-504.
- [27] 高鹏钊,苗红霞,张建斌,等.3个香蕉品种黄酮含量与果实发育成熟的关系[J].热带作物学报,2016,37(10):1894-1899.
- [28] 曾翔云.维生素C的生理功能与膳食保障[J].中国食物与营养,2005(4):52-54.
- [29] 李敬阳,王甲水,唐粉玲,等.香蕉果实营养差异及其对人体膳食摄入量贡献评价[J].热带作物学报,2015,36(1):174-178.
- [30] Hensch R, Mendel R R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl)[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2009, 12(3): 259-266.
- [31] 何海旺,赵明,武鹏,等.18个香蕉种质幼苗的抗寒性鉴定[J].西南农业学报,2017,30(2):315-321.
- [32] 朱德明.香蕉和芭蕉在贮藏过程中的颜色变化[J].热带农业工程,1999(3):35-40.
- [33] Salvador A, Sanz T, Fiszman S M. Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas[J]. Postharvest Biology & Technology, 2007, 43(3): 319-325.
- [34] 剧虹伶,张曼,阮云泽,等.不同品种香蕉抗枯萎病效果及抗性生理研究[J].植物保护,2017,43(2):82-87.
- [35] 庞学群,李云,徐兰英,等.不同温度下后熟香蕉果实果皮生理与颜色变化[J].热带亚热带植物学报,2008,16(6):531-536.
- [36] 黄雪梅,庞学群,季作梁.香蕉采后防腐保鲜技术研究进展[J].食品科学,2001,22(1):80-83.
- [37] Oracz K, Elmaaroufouteau H, Kranter I, et al. The mechanisms involved in seed dormancy alleviation by hydrogen cyanide unravel the role of reactive oxygen species as key factors of cellular signaling during germination[J]. Plant Physiology, 2009, 150(1): 494-505.
- [38] 李丽,何雪梅,李昌宝,等.炭疽病菌侵染对香蕉采后品质变化及抗病相关酶活性的影响[J].现代食品科技,2017(9):83-90.
- [39] 王永崇.作物病虫害分类介绍及其防治图谱——香蕉腐病及其防治图谱[J].农药市场信息,2017(17):71-72.

- [40] 陈纯.艾蒿的抑菌作用及其在果蔬保鲜中的应用[D].福州:福建农林大学,2009.
- [41] Reyes M E Q, Nishijima W, Paull R E. Control of crown rot in 'Santa Catarina Prata' and 'Williams' banana with hot water treatments[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 1998, 14(1): 71-75.
- [42] 薛彦斌, 久保康隆, 稻葉昭次, 等. 采后湿度环境与果蔬生理生化反应[J]. *北方园艺*, 2000(1): 25-26.
- [43] Cho J S, Lee H J, Park J H, et al. Image analysis to evaluate the browning degree of banana (*Musa spp.*) peel[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 1028-1033.
- [44] 陆万景, 杨雪莲, 刘进平, 等. 蓝莓鲜果保鲜技术的研究概况[J]. *绿色科技*, 2017(5): 31-33.
- [45] 单婷婷, 林育钊, 林毅雄, 等. 龙眼果实采后保鲜技术研究进展[J]. *亚热带农业研究*, 2017, 13(2): 139-143.
- [46] 侯凯强. 猕猴桃的采收和贮藏保鲜技术研究进展[J]. *闽东农业科技*, 2017(1): 19-21.
- [47] 阎瑞香, 张娜, 关文强. 短波紫外线在果蔬采后保鲜中的应用研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2011, 11(5): 1-5.
- [48] Allende A, Artés F. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce[J]. *Food Research International*, 2003, 36(7): 739-746.
- [49] Pongprasert N, Sekozawa Y, Sugaya S, et al. A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury (membrane damage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(1): 73-77.
- [50] Mohamed N T S, Ding P, Ghazali H M, et al. Biochemical and cell wall ultrastructural changes in crown tissue of banana (*Musa*, AAA 'Berangan') fruit as mediated by UV-C irradiation against crown rot fungal infection[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2017, 128: 144-152.
- [51] Wang Q, Chu L, Kou L, et al. UV-C Treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225: 380-385.
- [52] Li D, Luo Z, Mou W, et al. ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin contents of strawberry fruit (*Fragaria ananassa*, Duch.) [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2014, 90(4): 56-62.
- [53] Riverapastrana D M, Gardea A A, Yahia E M, et al. Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit [J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2014, 51(12): 3821-3829.
- [54] 沈阳, 徐元博. 香蕉采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. *安徽农学通报*, 2012, 18(23): 153-154.
- [55] 薛琼, 赵德坚, 邓婧, 等. 不同保鲜膜对香蕉贮藏效果影响的研究[J]. *食品科技*, 2015(6): 28-31.
- [56] 程桂平, 段学武, 蒋跃明, 等. pH值、温度和金属离子对 endo-PG 降解香蕉果胶多糖的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(1): 21-26.
- [57] 李红震, 王庆国. 三种酸处理对香蕉表皮褐变抑制的研究[J]. *食品与发酵科技*, 2011, 47(4): 45-48.
- [58] Yueming Jiang, Fu J, Zauberman G, et al. Purification of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 1999, 79(7): 950-954.
- [59] 宋力, 何永, 张雪兵, 等. 生姜中多酚的提取及其抑菌性研究[J]. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2017, 30(3): 445-448.
- [60] 倪玮. 生物保鲜技术在果蔬储藏中的应用研究[J]. *西部皮革*, 2016, 38(16): 88-88.

Research progress of physiology, storage and preservation for postharvest banana fruit

Qi Wencai, Wu Ning, Zhang Liang, Wang Dan, Wang Taixia

(Engineering Technology Research Center of Nursing and Utilization of Genuine Chinese Crude Drugs in Henan Province; College of Life Sciences, Henan Normal University, Xixiang 453007, China)

Abstract: Banana fruits are prone to softening, browning, and decay during the processes of transportation and storage, which greatly affects the appearance and nutritional quality. In this review, we focus on the post-harvest Physiology, storage and preservation for banana fruits in light of recent reports about the physiological parameters, the effect factors of storage, and fresh-keeping techniques. Moreover, the points of focus in further study are proposed.

Keywords: banana; postharvest physiology; storage; preservation

[责任编辑 王凤产 杨浦]