

提高香蕉采后品质的关键保鲜技术探讨

邹冬梅

中国热带农业科学院分析测试中心 / 农业农村部亚热带果品蔬菜质量安全控制重点实验室 / 农业农村部热作产品质量安全风险评估实验室(海口) / 海南省热带果蔬产品质量安全重点实验室, 海南 海口 571101

摘要：本研究深入探讨了香蕉采后品质变化及其影响因素，包括香蕉采后的生理变化、微生物作用以及环境因素对品质的影响。接着，详细介绍了几种关键的保鲜技术，如低温保鲜、气调保鲜、辐射保鲜、生物保鲜和化学保鲜，并探讨了这些技术对香蕉采后品质的影响。最后，提出了香蕉采后品质提升的综合保鲜技术策略，包括不同保鲜技术的分析、综合保鲜技术实施策略以及综合保鲜技术发展趋势。

关键词：香蕉采后品质；物理保鲜；生物保鲜；化学保鲜

Exploration of Key Preservation Techniques to Improve Postharvest Quality of Bananas

Zou Dongmei

Analysis and Testing Center, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Quality and Safety Control for Subtropical Fruits and Vegetables, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Risk Assessment Laboratory for Quality and Safety of Tropical Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Haikou) / Hainan Provincial Key Laboratory for Quality and Safety of Tropical Fruits and Vegetables, Haikou, Hainan 571101

Abstract : This study delves into the postharvest quality changes and influencing factors of bananas, including physiological changes, microbial effects, and environmental impacts on quality. Subsequently, it introduces several critical preservation techniques, such as low-temperature preservation, controlled atmosphere preservation, radiation preservation, biological preservation, and chemical preservation, and explores their impacts on the postharvest quality of bananas. Finally, it proposes a comprehensive preservation technology strategy for improving the postharvest quality of bananas, including the analysis of different preservation techniques, implementation strategies for integrated preservation technology, and trends in the development of integrated preservation technology.

Keywords : postharvest quality of bananas; physical preservation; biological preservation; chemical preservation

引言

香蕉 (*Musa nana* Lour.) 是热带亚热带地区重要的经济作物和粮食作物。香蕉以其营养丰富、芳香美味而深受消费者喜爱，成为世界鲜果中产量、贸易量和贸易额最大的水果。中国是世界第二大香蕉生产国和进口国，2020年香蕉产量和进口量分别为1 187.26万t和181.92万t，分别占世界的9.91%和7.78%^[1]。香蕉是典型的呼吸跃变型果实，采后乙烯的大量释放使香蕉在贮藏过程中加快成熟和衰老，影响香蕉贮藏保鲜及经济价值。香蕉采后保鲜是一项综合的系统工程，涉及香蕉品种及果实质量、采后处理过程及贮运保鲜技术与果实商品性等方面。因此，研究香蕉采后品质提升的关键保鲜技术对于保持果实最佳的商品性和减少采后损失具有重要的现实意义。

一、香蕉采后品质变化及其影响因素

香蕉采后品质变化主要表现在果皮色泽、果实硬度、果肉淀粉降解、糖类物质和特色香气的形成等方面。果实采后生理变化主要包括果实乙烯及呼吸变化、果实细胞壁多糖降解等、品种、采收成熟度、贮藏温湿度、气体成分及采后处理过程等均会影响香蕉贮藏寿命及货架期等。

(一) 香蕉采后生理变化

香蕉在采摘后，虽然脱离了母体，但其生理活动并未完全停止。采后香蕉的呼吸作用持续进行，消耗内部储存的糖分和其他营养物质，这不仅导致果肉糖度下降，口感变差，而且呼吸作用产生的热量和乙烯气体还会加速果实的成熟过程，使香蕉迅速变软，从而缩短其货架寿命。与此同时，香蕉的水分通过果皮蒸发而不断流失，这不仅使果实重量减轻，还导致果皮失去光泽，果肉变得干

基金项目：海南省重点研发项目(ZDYF2017060)；中央级科研单位基本科研业务费项目(1630082022001, 1630082016002)；企业以产学研合作方式委托研发类课题(CATASATC-2023-306)。

作者简介：邹冬梅(1971-)，女，硕士，研究员，研究方向为农产品质量安全及香蕉提质增效，E-mail: 1548801248@qq.com。

瘪，进一步影响其口感和外观^[2]。此外，香蕉中的淀粉在采后转化为可溶性糖，虽然这一转化过程增加了果实的甜度，但如果转化速度过快，就会导致果实过熟，最终影响香蕉的整体品质。

(二) 香蕉采后微生物作用

香蕉在采后阶段，微生物的活动对其品质有着显著的影响。在适宜的温度和湿度条件下，细菌、真菌等微生物容易在香蕉表面繁殖，它们分解果肉中的营养成分，产生异味，进而导致果实腐败。此外，某些微生物能够产生乙烯或其他激素，这些激素与香蕉的成熟进程相互作用，可能会加速或延缓果实的成熟，从而在影响果实成熟速度的同时，也对其品质产生了重要影响。

(三) 环境因素对香蕉采后品质的影响

环境因素在香蕉采后品质保持中扮演着至关重要的角色，其中温度和湿度的变化直接影响着果实的呼吸作用和微生物活动。高温环境会加速香蕉的呼吸和乙烯生成，促使果实快速成熟，而高湿度则提供了微生物生长的温床，增加了腐败的风险。同时，气调包装中的氧气和二氧化碳比例对调节香蕉的呼吸作用和乙烯生成具有重要意义，适当的气体成分能够有效延长香蕉的保鲜期。此外，香蕉在运输和搬运过程中易遭受机械损伤，这些损伤部位成为微生物侵入的通道，进一步加速了果实的腐败过程。

二、香蕉采后关键保鲜技术

香蕉保鲜新技术不断发展，物理保鲜技术绿色安全，主要有热处理、冷激处理、低温保鲜、气调保鲜、辐射处理和等离子体处理等。化学保鲜技术正向安全且低残留改进完善，主要有1-甲基环丙烯（1-MCP）处理、乙烯吸收剂和化学保鲜剂。生物保鲜剂天然、安全、无有害物质残留等优点具有广阔应用前景。重点介绍低温保鲜、气调保鲜、辐射保鲜、生物保鲜和化学保鲜。

(一) 低温保鲜技术

低温保鲜技术通过降低温度来减缓香蕉采后的生理活动和微生物生长，从而有效延长其保鲜期。该技术的原理在于，低温环境下香蕉的呼吸酶活性降低，呼吸速率减缓，减少体内养分消耗，同时抑制乙烯的生物合成，延缓香蕉成熟和衰老，保持新鲜度。此外，低温还能减慢微生物生长，降低腐败风险。实施低温保鲜时，及时预冷是关键，需迅速去除田间热，控制储存运输温度在12℃~14℃，并定期监测温度以维护品质^[3~4]。低温保鲜最适合长途海陆运输，对香蕉品质的影响显著，能保持色泽、口感和营养成分，减少营养流失，但需注意避免冷害（低于11℃），如黑心病和果皮斑点，确保香蕉在保持品质的同时不受低温伤害。

(二) 气调保鲜技术

气调保鲜技术通过调整包装内的气体比例，主要是降低氧气浓度和提高二氧化碳浓度，来调节香蕉的呼吸作用和微生物活性，从而有效延长香蕉的新鲜度。降低氧气浓度可以减缓香蕉的呼吸速率和减少养分消耗，同时减少乙烯的生成，延缓香蕉的成熟和衰老过程；而增加二氧化碳浓度则能进一步抑制呼吸作用并减少微生物数量，降低腐败风险。在实施气调保鲜时，需确保包装环境的完全密封，以维持特定的气体比例，通常为2%~3%氧气和3%~5%二氧化碳，并根据香蕉种类和成熟度调整，保鲜时间可延长2~4倍。气调保鲜能够显著延长香蕉的货架寿命，保持其

原有风味和营养价值，防止无氧呼吸和生理病害，确保香蕉在运输和储存过程中保持新鲜状态，提升市场竞争力。

(三) 辐射保鲜技术

辐射保鲜技术是一种创新的食品保存方法，它利用辐射能量来杀灭或抑制微生物的活动，从而延长香蕉等水果的保鲜期。该技术的原理在于，辐射能量能够穿透微生物细胞，破坏其DNA结构，使其失去繁殖能力，进而减少果实表面的微生物数量，达到抑制腐败和延长保鲜的目的。在实施辐射保鲜技术时，关键在于精确控制辐射剂量，以确保食品安全不受影响。常用的辐射源包括γ射线、X射线、电子束和短波紫外线（UV-C），每种辐射源都有其特定的应用范围和效果，辐射保鲜对香蕉采后品质的影响显著^[5]。0.01 kJ/m² UV-C 处理能显著抑制香蕉果实贮藏过程中的冠腐病，保持果冠组织的完整性，基本不影响果实成熟和品质^[6]。该方法能够高效控制香蕉在储存和运输过程中的腐败问题，保持其新鲜度和延长货架寿命。然而，需要注意的是，辐射处理必须谨慎进行，以避免过量辐射。适当的辐射处理不仅能够保持香蕉的营养成分，还能保持其口感和外观，确保消费者在享受健康食品的同时，也能获得满意的感官体验。

(四) 生物保鲜技术

生物保鲜是利用自然界动植物中分离或微生物发酵获得的生物制剂对果蔬进行浸泡、喷洒、覆膜等处理，利用生物制剂的杀菌、抑制呼吸、抑制代谢的作用达到保鲜的目的。生物保鲜剂的原料一般是自然界的天然产物，相对于化学试剂，具有降解性强、残留低、毒性低甚至无毒等优点。常用的生物保鲜剂有壳聚糖、虫胶和明胶复合膜、溶血磷脂酰乙醇、外源吡哆醇、原花青素和油茶皂素^[7]等，这些保鲜剂对人体无害，能够在不改变食品原有风味和营养价值的前提下，提供有效的保鲜效果。正确实施生物保鲜技术不仅能够提升香蕉的市场竞争力，还能满足消费者对健康食品的日益增长的需求，为食品保鲜领域带来创新的解决方案。

(五) 化学保鲜技术

化学保鲜技术，作为一种传统的果实保鲜方法，依赖于化学物质的运用来自来延缓果实的成熟和腐败过程。其基本原理是，通过化学保鲜剂的作用来抑制果实内部的酶活性、降低呼吸速率，或者直接杀灭可能导致腐败的微生物，进而延长果实的保鲜期，保持其食用品质^[8]。常用的化学保鲜技术有1-甲基环丙烯（1-MCP）、乙烯吸收剂和化学保鲜剂处理（苯并噻二唑、外源水扬酸甲酯、可溶性哇、过氧化氢、一氧化氮、氯化钙及褪黑素等）^[9]。化学保鲜技术对香蕉采后品质的影响是显著的，它能够有效延长香蕉的货架寿命，保持其新鲜度和口感。然而，由于消费者对化学残留的担忧，这一技术的应用受到了一定的限制。因此，研发更加安全、高效的化学保鲜剂成为未来的发展方向。

三、香蕉采后品质提升的综合保鲜技术策略

在追求香蕉采后品质提升的过程中，单一的保鲜技术往往难以满足复杂多变的市场需求。因此，综合保鲜技术策略的制定与实施显得尤为重要。这种综合策略旨在通过结合多种保鲜技术，形成一个全面的保护体系，以应对香蕉在采后各个阶段可能遇到的问题。

(一) 不同保鲜技术的分析

在香蕉保鲜领域，不同的技术方法各自具有独特的优势和局限

性。低温保鲜技术以其操作简便和显著的保鲜效果，适用于各种规模的香蕉保鲜，但能耗较高，对冷链设施要求严格，不当操作可能导致冷害^[9]。气调保鲜技术能够有效延长香蕉保鲜期，保持果实品质，无化学残留，但对包装材料和气体调控设备有较高要求，成本相对较高。辐射保鲜技术以其高效的杀菌效果和快速的处理速度，适用于大量香蕉的保鲜，但可能引起消费者对辐射安全的担忧，且辐射设备投资大。生物保鲜技术利用天然、安全的生物制剂，无污染，完全符合消费者对绿色食品的需求，但其效果受保鲜剂种类和浓度影响较大，技术要求较高。化学保鲜技术操作简便，成本低廉，保鲜效果明显，但可能存在化学残留，对环境和人体健康有一定风险。在实际应用中，为了确保香蕉的保鲜效果，通常会结合多种保鲜技术，形成综合保鲜策略，以满足市场需求并确保食品安全。

（二）综合保鲜技术实施策略

为了提升香蕉的贮藏品质并延长货架寿命，可以采用一套综合保鲜策略，包括低温与气调技术的融合、生物或化学保鲜剂的顺序使用，以及根据地区特点调整技术组合。这一策略旨在创建一个优化的贮藏环境，通过精确控制温度和气体成分来减缓香蕉的生理活动和微生物生长。在香蕉采后初期，使用生物或化学保鲜剂，如柠檬酸，来抑制微生物生长和延缓成熟，随后转移到低温或气调环境中以实现保鲜效果的互补。吴宁^[10]研究中深入探讨了UV-C辐照、柠檬酸处理及其复合处理对采后香蕉贮藏品质的影响。研究结果显示，采用 $3.96 \times 10^{-2} \text{ KJ/m}^2$ 的UV-C辐照处理，以及在此基础上结合2.0%柠檬酸的复合处理，相较于对照组（CK）和单一柠檬酸处理，保鲜效果具有显著优势。这些处理方法不仅能有效提升香蕉果实的理化特性，还能维持其抗氧化活性，从而有效延缓香蕉的成熟与衰老进程。

邹冬梅、胡美姣等^[11-12]人深入研究了1-MCP、乙烯利吸收剂复合处理对采后香蕉高温贮藏品质的影响。其与传统方法相比，在高温下（30℃）放置20 d的“巴西”香蕉，以60 ng/kg的1-MCP复合聚乙烯袋抽真空包装、销售地低温催熟的技术处理夏秋季“巴西”香蕉，可使其耐贮性增强，果实可正常后熟，品质综合评分较高且大大延长贮运期。以1-MCP（浓度为60 ng/kg）香蕉专用保鲜包处理“南天黄”香蕉高温（30℃）以内，20℃放置催熟及贮藏，既可增加果实的耐贮运特性，又能使催熟后果实正常软化、转色，保持较好的食用品质。以1-MCP（浓度为60 ng/kg）香蕉专用保鲜包加乙烯利吸收剂处理“广粉1号”粉蕉，高温下（30℃）放置20 d后，果实可正常后熟软化和转色，品质综合评分较高，该技术可延长粉蕉保鲜期15~20 d，效果显著。

根据不同地区的气候和生产条件，选择适宜的保鲜技术组合，如在高温多湿地区侧重化学+生物+气调保鲜，而在冷链设施完善的地区优先考虑化学+生物+低温保鲜。在实施这些技术时，进行了成本效益分析，以确保其经济可行性，并考虑了消费者对食品安全的期望和市场需求，以保证保鲜技术的长期可持续性^[13]。通过这些综合策略，旨在提高香蕉的保鲜效果，延长其货架寿命，同时确保食品安全和环境保护。

（三）综合保鲜技术发展趋势

在现代香蕉保鲜领域，随着消费者对食品安全和环境保护的重视，绿色环保的保鲜技术日益受到青睐。生物保鲜和无害化化学保鲜技术因其天然、安全、无污染的特点而得到广泛应用，满

足了消费者对绿色食品的需求，同时减少了化学残留，有利于环境保护，提升了香蕉的市场竞争力。智能化与自动化技术的融合正改变香蕉保鲜的传统模式^[14]。通过物联网和大数据，可以实现香蕉保鲜环境的智能监控和自动调节，提高了保鲜效率，降低了人力成本，并确保了保鲜过程的精确控制。这种技术融合不仅提高了保鲜效果，还使保鲜过程更加高效和可靠。针对不同品种和成熟度的香蕉，开发个性化的综合保鲜方案，能够满足多样化的市场需求。通过精确分析香蕉的特性，可以制定出更加精准的保鲜策略，确保香蕉在不同阶段都能保持最佳品质。推动保鲜技术的可持续发展是香蕉产业长期健康发展的关键。

四、结束语

随着科技的不断进步和消费者需求的日益提高，香蕉采后品质提升的关键保鲜技术已成为产业发展的重要课题。本文从香蕉采后品质变化及其影响因素入手，详细探讨了低温保鲜、气调保鲜、辐射保鲜、生物保鲜和化学保鲜等关键技术，并提出了综合保鲜技术策略，旨在为香蕉产业的保鲜实践提供理论支持和应用指导。展望未来，有理由相信，随着研究的深入和技术的不断成熟，香蕉保鲜技术将更加高效、环保、智能，为消费者带来更加新鲜、安全、美味的香蕉产品。

参考文献

- [1] Dongmei ZOU, Changshun JIANG*, Qiong FAN. Present Situation of World Banana Production and Trade and Its Industrial Prospect, Asian Agricultural Research, 2022, 14(12):1-6, 15.
- [2] 单幼霞. 胞外ATP受体调控香蕉果实采后冷害发生和后熟进程的机制 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2021.
- [3] 杨文慧. 五种外源物质处理对采后香蕉果实冷害控制效果的研究 [D]. 广西: 广西大学, 2021.
- [4] 朱榕秋. 电子鼻判别香蕉、菠萝和沙糖桔采后品质变化的研究 [D]. 广东: 华南农业大学, 2021.
- [5] 陈铭中. 短波紫外线照射对采后香蕉贮藏特性的影响及其胁迫响应机制 [D]. 广东: 广东海洋大学, 2022.
- [6] Mohamed N T S, Ding P, Kadir J, et al. Potential of UV-C germicidal irradiation in suppressing crown rot disease, retaining postharvest quality and antioxidant capacity of *Musa AAA* ‘Berangan’ during fruit ripening [J]. Food Science and Nutrition, 2017, 5(5): 967-980.
- [7] 董晨, 易有金, 刘思恩, 等. 油茶皂素在香蕉保鲜中的应用 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15):307-313. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021090148.
- [8] 邹冬梅, 李敏, 高兆银, 等. 香蕉采收及贮运保鲜技术 [J]. 农村新技术, 2020 (8): 58-59.
- [9] 朱孝扬, 李雪萍, 单伟, 等. 香蕉贮运保鲜技术研究进展 [J]. 热带作物学报, 2020, 41(10):2013-2021. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2020.10.008.
- [10] 吴宁. UV-C与柠檬酸处理对采后香蕉保鲜效果的研究 [D]. 河南: 河南师范大学, 2018. DOI:10.7666/d.Y3436585.
- [11] 李春霞, 胡美姣, 高兆银, 等. 1-MCP对“巴西”香蕉高温贮藏后品质的影响 [J]. 中国热带农业, 2019,(03):37-41.
- [12] 李敏, 高兆银, 邹冬梅, 等. 1-甲基环丙烯对高温下“南天黄”香蕉品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2019, 48(06):34-39+42.
- [13] 曾俊, 杨嘉利, 杨宝, 等. 黄酮类复配保鲜剂对香蕉采后品质的影响 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(1):38-46. DOI:10.3785/j.issn.1008-9209.2019.07.221.
- [14] 万丹丹, 王雪宁. 水果采后生物保鲜研究进展 [J]. 食品安全导刊, 2020(14):35.