DOI:10.12441/spyswjs.20251109002 [文章编号] 1673-1689(2026)07-0012-12

竹笋采后保鲜与加工技术研究进展

唐 琰 赵 博*

(西南科技大学生命科学与农林学院,四川 绵阳 621010)

摘要:竹笋作为传统食材兼药材,在我国具有悠久的种植历史和深厚的消费基础。近年来,随着竹笋产业规模的持续扩大和加工技术的不断升级,竹笋采后生理代谢变化已成为制约其品质保持与产业经济效益提升的瓶颈。新鲜竹笋采后呼吸代谢旺盛,易发生木质化、褐变及微生物侵染等问题,造成品质快速劣变;而科学合理的贮藏保鲜技术可有效延缓衰老进程、延长货架期、保持良好的商品品质。作者系统梳理了传统保鲜、物理保鲜、化学保鲜及生物保鲜等技术的应用现状与优缺点;阐述了竹笋加工技术研究进展,包括干燥、发酵、罐藏等传统方法及创新改良技术;并对绿色复合保鲜、智能化保鲜与加工工艺优化等方向进行了展望,以期为推动竹笋产业的高质量、可持续发展提供理论依据。

关键词:竹笋;采后;贮藏保鲜;加工技术

Research Progress in Postharvest Preservation and Processing Technology of Bamboo Shoots

*TANG Yan ZHAO Bo**

(College of Life Sciences and Agri-forestry, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: As a traditional food material with both medicinal and culinary applications, bamboo shoots boast a long history of cultivation and a deep-rooted consumption foundation in China. With the continuous expansion of the bamboo shoot industry and the ongoing advancements in processing technology, the postharvest physiological metabolic changes of bamboo shoots have become crucial for maintaining quality and enhancing industrial efficiency. Fresh bamboo shoots exhibit vigorous respiratory metabolism immediately after harvest, while they are susceptible to lignification, browning, and microbial infection, which can lead to rapid quality deterioration. Scientific methods of storage and preservation can effectively delay aging, prolong shelf life, and maintain optimal commodity quality. The author summarizes the application status, advantages, and disadvantages of various storage and preservation technologies, including traditional, physical, chemical, and biological methods. Furthermore, it elaborates on the progress in bamboo shoot processing technologies, including traditional methods such as drying, fermentation, and canning, as well as their innovative processes. Finally, the author makes an outlook on the development of green composite preservation, intelligent preservation, and optimization of and processing technology, aiming to provide a theoretical reference for promoting the high-quality and sustainable development of the bamboo shoot industry.

Keywords: bamboo shoot; postharvest; storage and preservation; processing technology

竹笋作为禾本科竹亚科植物的可食用器官,由竹鞭经休眠芽分化后膨大发育而成,结构包括外层箨鞘与内部具节间的笋体,凭借鲜嫩质地与独特风味广受消费者喜爱[1]。我国是竹笋主产

基金项目:国家“十四五”重点研发计划项目(2021YFD2200504)。

通信作者:赵博(1979—),男,博士,副教授,硕士研究生导师,主要从事农产品贮藏加工研究。E-mail:bozhao@swust.edu.cn

收稿日期:2025-11-09 **修回日期:**2025-12-09

国，竹类资源丰富，竹笋开发与利用历史悠久。竹笋营养丰富，富含膳食纤维、碳水化合物、矿物质、蛋白质及多种维生素，且脂肪含量较低，是人体常量与微量营养素的优质膳食来源。此外，竹笋还含有多种生物活性物质，主要包括多酚类化合物、植物甾醇以及萜类化合物等。已有研究表明，常见食用竹笋在改善机体消化功能与预防癌症、糖尿病及部分心脑血管疾病等方面具有潜在积极作用[2]。

竹笋的食用记载可追溯至3 000年前[3]。除作为蔬菜鲜食外，竹笋也被加工为各类预制食品与深加工产品[4]。同时，竹笋富含的膳食纤维与生物活性物质，使其在功能食品和医药领域具备良好的应用潜力，可作为皮质类固醇等抗炎药物的前体物质，应用前景广阔[5]。然而，竹笋采收期集中在春夏高温高湿季节，且主产区位于四川、云南、浙江、福建等省份的偏远山区，采收后流通周期较长，致使鲜笋极易发生木质化、褐变、失水等品质劣变，严重损害其商品价值，极大限制了竹笋产业的发展[6]。随着消费者对竹笋品质要求的不断提升，通过科学手段保持竹笋采后新鲜度与营养品质已成为当前的研究热点。基于此，作者系统综述了竹笋的贮藏保鲜与加工技术研究进展，对比分析了不同保鲜方法的优势与不足，并梳理了其加工利用现状与发展趋势，旨在为竹笋资源的高效开发与高值化利用提供参考，助力竹笋产业技术创新与可持续发展。

1　竹笋贮藏保鲜技术研究进展

竹笋生理代谢旺盛，采后保鲜是保证其产业发展的关键环节。如图1所示，竹笋保鲜技术主要包括传统保鲜、物理保鲜、化学保鲜与生物保鲜[7]。

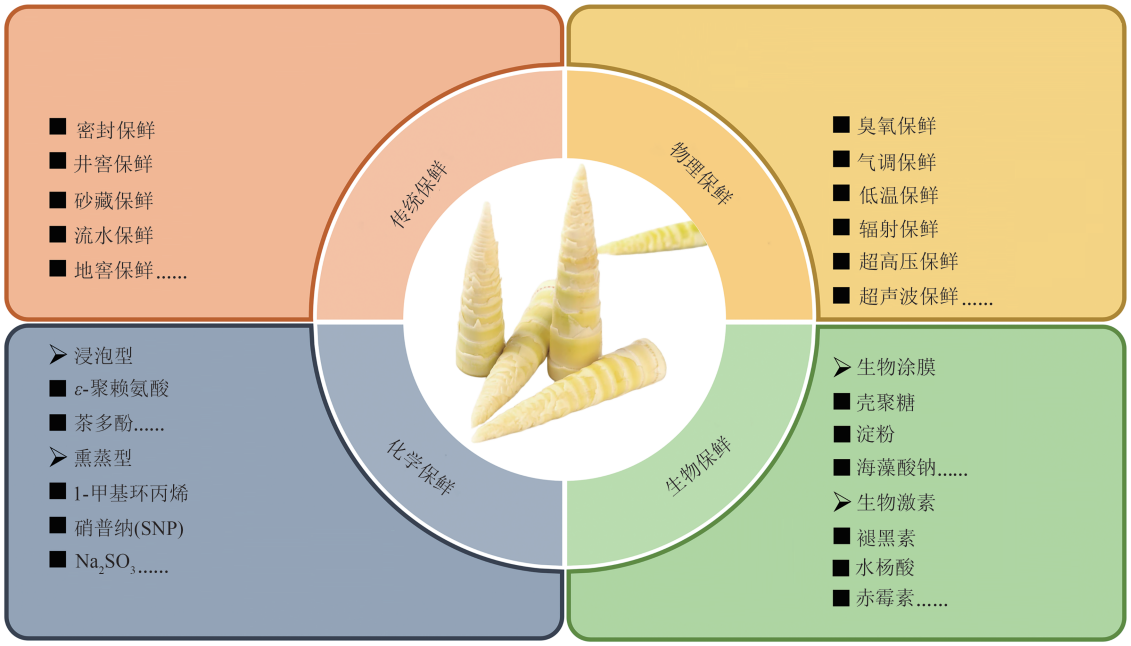


图1　竹笋贮藏保鲜技术

Fig. 1　Storage and preservation technologies of bamboo shoots

1.1　传统保鲜技术

传统竹笋保鲜技术主要利用山洞、地窖或流水等自然冷源实现低温贮藏，通过降低环境温度来延缓失水与木质化进程。例如，清水浸泡保鲜可通过隔绝氧气减缓酶促褐变与腐败，但需定期换水，避免微生物增殖[7]。砂藏保鲜是一种经典的贮藏手段，对竹笋有明显的保鲜效果。该技术利用湿润的砂层构建低温、高湿且接近密闭的贮藏微环境：砂层中的水分可持续补给竹笋，有效减少水分散失，维持其饱满形态与脆嫩质地；同时，低温环境与砂体的物理阻隔可共同抑制竹笋的呼吸作用，延缓后熟与木质化进程，进而显著延长保鲜期[8]。毛彦佳[9]研究表明，低温砂藏能有效抑制竹笋水分流失，贮藏54 d时失重率仅为5.9%；能够

减轻微生物侵染引发的腐烂与软化，显著延缓褐变进程；同时，减缓可溶性固形物与还原糖的消耗，贮藏21 d时，两者含量分别下降1.1%和0.3%。此外，该研究还发现1-MCP复合砂藏处理的保鲜效果优于赤霉素和抗坏血酸复合砂藏处理，能更好地维持竹笋硬度，贮藏30 d时，硬度仍可保持在3 N。

这些传统贮藏方法操作简便、成本低廉，在一定程度上解决了竹笋产区现代化贮藏设施不足的问题，但其保鲜效果受环境条件制约，难以规模化应用，也无法适配现代物流体系，存在品质稳定性差、货架期短等短板。随着我国经济的不断发展、现代化贮藏设施的建设及贮藏保鲜技术的迭代更新，传统保鲜技术正逐渐被新技术替代。

1.2 物理保鲜技术

1.2.1 低温保鲜

低温保鲜是抑制竹笋采后品质劣变的关键技术，主要包括常规低温冷藏和冰温保鲜2类。冰温保鲜是将温度精确控制在样品冰点以上0.5~1.0 ℃的狭窄区间，使组织处于“超休眠”状态，从而更有效地抑制竹笋呼吸代谢、酶活性及木质化进程，减少营养物质损耗并抑制微生物繁殖。段梦晴等[10]研究发现，与4 ℃贮藏相比，冰温保鲜可使雷竹笋贮藏30 d后的木质素含量降低31.76%，且能有效避免低温冷害问题。但该技术对设备控温精度和稳定性要求极高，设备及维护成本较高，限制了其规模化应用。

针对竹笋长期贮藏需求，速冻技术可通过−35 ℃左右的急速冷冻处理，使竹笋内部水分快速形成微细冰晶，减轻细胞结构损伤，从而有效保持营养成分。范振梅等[11]比较了浸渍速冻（immersion freezing，IF）、液氮喷雾速冻（liquid nitrogen spray freezing，LNF）和压力转移速冻（pressure shift freezing，PSF）对3种竹笋的保鲜效果，发现LNF组冻结速率最快，汁液损失率低于2%，硬度提高47.26%~65.02%，氨基酸保留率最高，水分分布均匀且微观结构最接近新鲜样品。尽管速冻竹笋解冻后可能存在汁液流失、质地软化等问题，但该技术在竹笋跨季节供应与规模化贮运中仍具有不可替代的应用价值。

综上，冰温保鲜因设备成本高且精度要求高，难以实现产业化应用；速冻技术虽可实现竹笋的长期贮藏，但解冻后的品质劣变仍是该技术的痛点。未来研究需聚焦低成本、高精度控温装备的研发，深入研究冰晶形成机制与解冻工艺，最大限度地降低竹笋在贮藏与解冻过程中的品质损耗，实现竹笋保鲜从“能保鲜”到“保好鲜”的升级。

1.2.2 气调保鲜

气调保鲜通过调节贮藏环境中O_2与CO_2的浓度来抑制竹笋采后呼吸代谢与衰老进程，是延缓竹笋品质劣变的重要技术。其中，自发气调包装（modified atmosphere packaging，MAP）的应用研究较为广泛，其保鲜效果取决于包装材料的选择与气体环境的调控。适配的包装材料可在锁住样品水分的同时，依靠自身微孔结构维持袋内气体组分平衡，从而显著提升保鲜效果。Wang等[12]研究发现，被动气调包装（passive modified atmosphere packaging，PMAP）可有效延缓甜竹笋的采后衰老，显著抑制纤维素、果胶及木质素的积累。罗政等[13]采用厚度20 μm、O_2渗透率11 643 $cm^3/(m^2·d)$、水蒸气透过率62.586 $g/(m^2·d)$的保鲜袋包装剥壳鲜竹笋，可将其呼吸峰值降至真空处理组的46.93%，贮藏21 d后，竹笋芯部和根部褐变率分别降低11.57%和7.58%。此外，将电解水预处理与MAP结合，可以通过抑制微生物生长、钝化相关酶活性，发挥协同增效作用，进一步提升保鲜效果[14]。

气调保鲜的核心挑战在于缺乏普适性的气体参数模型，且在规模化贮藏模式下无法实现样品的随时存取，难以应对不同品种、成熟度及贮藏阶段的差异化需求，导致保鲜效果不稳定，甚至造成竹笋生理损伤。未来研究应致力于开发智能化、小型化气调系统，以适配不同贮藏规模与应用场景，同时推动气调保鲜技术与低温、保鲜剂处理等技术的联合使用，构建高效、稳定的复合保鲜技术。

1.2.3 辐射保鲜

辐射保鲜是利用电离辐射进行冷杀菌的物理保鲜方法，在竹笋采后保鲜领域展现出良好的应用前景。该技术主要利用^{60}Co、^{137}Cs产生的γ射线或电子加速器释放的高能电子束，对竹笋进行特定剂量辐照处理[7]。其保鲜机制是通过电离辐射破坏微生物与昆虫的DNA及细胞结构，杀灭竹笋表面和内部病原菌，并抑制虫害滋生；同时精准调控竹笋采后生理代谢，显著降低多酚氧化酶（polyphenol

oxidase，PPO）和过氧化物酶（peroxidase，POD）活性，以减缓酶促褐变，降低乙烯生成速率和呼吸强度，延缓细胞衰老与木质化进程，从而有效保持竹笋品质[15]。Wang等[16]研究发现，斑苦竹笋的最优保鲜辐照剂量是3 kGy，可显著抑制苯丙氨酸解氨酶（phenylalanine ammonia-lyase，PAL）等关键代谢酶活性，有效减缓木质素、纤维素积累和可溶性蛋白、可溶性糖的降解。但张芝芬等[17]研究显示，0.1~1.5 kGy辐射处理会对毛竹笋的贮藏品质产生负面影响。

综上，辐射保鲜效果存在明显的品种特异性，辐照剂量需根据竹笋品种进行针对性优化。目前，该技术的推广仍受消费者接受度、设备成本及行业标准不完善等因素制约。

1.2.4　减压保鲜

减压保鲜技术是将环境压力降至5~20 kPa，显著降低竹笋的呼吸强度和内源乙烯浓度，促进竹笋内部有害气体逸出，进而达到延缓采后成熟衰老、抑制微生物繁殖的目的[18]。已有研究表明，减压保鲜可显著降低去壳黄甜竹笋在冷藏期间的呼吸速率，维持细胞膜结构完整性；同时通过抑制POD、PPO活性及其编码基因表达，显著延缓竹笋切面褐变，并抑制PAL和肉桂醇脱氢酶（cinnamyl alcohol dehydrogenase，CAD）等相关酶活性，下调相关基因表达，从而减少纤维素与木质素的积累，有效延缓竹笋食用品质劣变[19]。陈惠云等[20]研究发现，40 kPa减压冷藏处理可显著降低毛竹笋的褐变率、霉变率和丙二醛（malondialdehyde，MDA）含量，抑制相关酶活性，延缓木质素合成与毛竹笋变硬。

减压保鲜在延缓竹笋衰老、保持质地与品质方面表现出明显优势，但存在设备投入与运行成本高、能耗大、操作工艺严苛等问题，长期低压环境易加剧竹笋水分蒸腾流失。未来研究需重点研发低能耗的减压设备，探索短期减压预处理与其他保鲜技术联用的新模式，实现降本增效。

1.2.5　热处理保鲜

热处理是一种安全、高效的物理保鲜方法，通过热激效应诱导竹笋产生抗逆性，从而达到延缓衰老、抑制微生物生长的保鲜效果。常用处理方法包括热水浸渍与热汽处理（温度为45~60 ℃），可有效维持冷藏竹笋品质、减少营养成分损失、抑制竹笋褐变与木质化进程[21]。微波处理是一种特殊的热处理方式，兼具热效应与非热生物效应，可在短时间内抑制酶活性并杀灭微生物，对竹笋的色泽、气味和质地影响较小。研究表明，中高火微波处理10~15 min即可达到与传统蒸煮相近的灭菌效果，大幅缩短处理时间[22]。但热处理参数控制不当易造成竹笋组织损伤、变色，甚至引发二次污染。因此，该方法常与其他保鲜技术联用，以发挥协同保鲜效应。如文红丽等[23]采用微波辅助涂膜复合技术处理绿竹笋，可将其保鲜期延长至50 d以上，且笋体外观与质地良好。

热处理保鲜技术产业化应用的核心挑战在于热处理时间难以精准把控，参数偏差会导致处理效果从有益转向损伤。未来需建立基于竹笋品种与成熟度的精准热处理保鲜工艺，并融合智能传感技术，实现从经验性处理向参数化智能控制的转变。

1.2.6　臭氧保鲜

臭氧保鲜是一种绿色高效的物理保鲜技术，凭借强氧化特性在竹笋采后保鲜中发挥重要作用。该技术不仅能有效杀灭竹笋表面微生物，还可通过调节生理代谢、降低呼吸强度、氧化分解乙烯等衰老相关物质，延缓竹笋品质劣变。目前应用形式主要包括臭氧气体（ozone gas，OG）熏蒸和臭氧水（ozonated water，OW）浸泡2类。Liu等[24]研究表明，在2 ℃贮藏条件下，用9 μL/L的臭氧处理能有效抑制水竹笋的木质化进程，通过降低相关酶活性保护细胞结构，从而延缓品质劣变。陈磊等[25]对比不同臭氧处理工艺发现，OG+MAP复合处理组的效果最优，可将毛竹笋贮藏28 d后的腐烂率降至15%，粗纤维增幅仅为22.69%，远低于对照组的116.87%，保鲜效果显著优于OW+MAP复合处理组。

当前臭氧技术多用于采后初期处理，与冷链、气调等技术的联合应用仍有待深入研究，是未来竹笋绿色、高效保鲜的重要研究方向。

1.2.7　超声波保鲜

超声波保鲜是一种新型物理保鲜技术，依托高频振动、空化效应以及由此引发的化学与物理变化达到保鲜效果。该技术通过空化效应产生的局部高压和冲击波，可有效破坏微生物细胞结构、抑制菌群繁殖，从而达到杀菌和防腐的目的[26]。现有研究表明，超声波处理可有效抑制竹笋PAL

活性，但对PPO活性无显著抑制作用[27]。此外，超声波常与其他保鲜技术联合使用，通过协同效应抑制竹笋呼吸消耗、减少营养流失，从而显著延长货架期。周敏等[28]采用超声波与涂膜技术联合处理剥壳竹笋，发现该复合处理方式的保鲜效果显著优于单一超声波或涂膜处理，冷藏条件下竹笋保鲜期可延长至40 d以上，且色泽均匀、无明显霉变及纤维化劣变，有效维持了其外观形态与食用品质。

目前该技术规模化应用仍面临设备成本高、工艺参数未形成统一标准等问题，但其展现的潜力使其成为未来竹笋采后保鲜技术的重要发展方向之一。

1.2.8 超高压保鲜

超高压（ultra-high pressure，UHP）技术是利用100 MPa以上的静水压力对食品进行非热处理的先进保鲜方法。该技术可将流体静压力瞬时、均匀地传递至物料，破坏微生物细胞结构、诱导蛋白酶变性，从而达到高效灭菌的目的，见图2[29]。该技术全程无需高温处理，可最大限度地保留竹笋的色泽、质地及热敏性营养物质，具备绿色、安全的优势[30]。Li等[31]研究发现，300 MPa下处理雷竹笋10 min，可有效维持其感官品质，并显著抑制呼吸强度与酶促褐变，综合保鲜效果最佳。胡强等[32]通过正交试验发现，将硬头黄竹笋在550 MPa下处理6 min，能使其菌落总数降至0.3×10^3 CFU/g，并显著抑制POD、PPO活性。陈金凤[33]研究发现，600 MPa处理10 min可显著提升红哺鸡竹笋的总酚含量，抑制关键酶活性，从而有效延缓其木质化进程。

超高压技术为竹笋品质保鲜提供了新路径，但其产业化应用的瓶颈在于设备成本高、批量处理效率低。随着该技术不断迭代升级，其有望成为高附加值竹笋产品的核心保鲜手段。

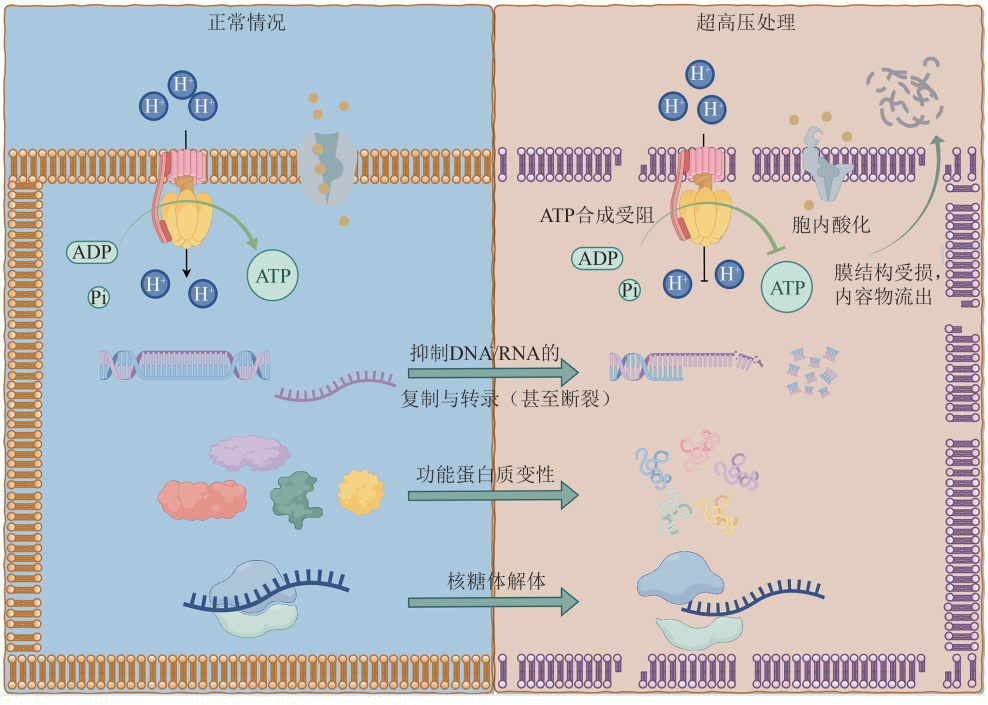


图2 超高压保鲜对微生物的作用机理

Fig. 2 Mechanism of ultra-high-pressure preservation on microorganisms

1.2.9 低温等离子体保鲜

低温等离子体（cold plasma，CP）保鲜技术是通过高压电场电离空气，产生臭氧、活性氧、活性氮及紫外光子等多种活性成分，进而有效破坏微生物细胞结构、干扰细胞壁合成及解体的相关代谢途径，从而显著抑制腐败微生物增殖与竹笋采后木质化进程[34]。研究表明，CP处理对竹笋保鲜具有多重积极作用。Liu等[35]研究发现，CP处理可使竹笋硬度较对照组提升57%，25 ℃条件下可延缓黄变5 d，同时优化竹笋挥发性物质组成，提升醛类、酮类、酯类物质含量，降低醇类、烯类物质含量，且短期内可提升微生物群落多样性。另有

研究比较电压参数对CP保鲜效果的影响，指出20 kV CP处理对PPO活性抑制率达62%，显著优于10 kV与30 kV，可有效延缓木质化进程、激活抗氧化酶系统，大幅延长鲜切竹笋保鲜期[36]。杨通琴等[37]采用CP活化水处理甜龙竹笋，发现其可抑制呼吸强度，减少总酚、黄酮损失，延缓可溶性蛋白、糖及VC含量下降。与传统热杀菌及化学方法相比，CP保鲜技术具有低温、无残留、环境友好和能耗较低的优势，尤其适用于竹笋等热敏、易腐农产品的保鲜[38]。

目前该技术在实际应用中仍面临工艺标准化不足、品种普适性差等挑战，但凭借绿色、高效的保鲜优势，未来有望成为竹笋采后贮藏的重要技术。

1.3　化学保鲜技术

化学保鲜技术是利用防腐剂、抗氧化剂、乙烯抑制剂、植物提取物等物质，通过浸泡或熏蒸方式处理竹笋，以达到防腐、护色、保脆、降低营养损失的目的[39]。根据作用方式，可分为浸泡型和熏蒸型2类。

浸泡型保鲜剂通过溶液浸渍直接作用于竹笋。吕朝燕等[40]研究发现，用300 mg/L的ε-聚赖氨酸处理方竹笋，可显著抑制贮藏期间MDA的积累，使方竹笋在贮藏28 d时仍维持一级感官品质。张君君[41]研究表明，采用质量分数0.5%的山梨酸钾与质量分数0.3%的氯化钙复合处理，能有效延缓鲜切黄藤笋的硬度上升和VC分解，并抑制相关酶活性的异常变化。此外，茶多酚处理可有效延缓勃氏甜龙竹笋的色泽劣变和木质化进程，在4 ℃贮藏条件下使保鲜期延长至8 d[42]。但浸泡型化学保鲜存在化学残留风险，浓度控制不当易造成细胞损伤，且后续漂洗工序复杂，增加了加工成本与操作难度[43]。

熏蒸型保鲜剂依靠气态活性成分在密闭空间中的扩散作用，实现竹笋贮藏保鲜。研究表明，NO处理可通过维持线粒体结构完整性、提升细胞能量水平，有效延缓水竹笋的软化，减轻失重现象，与MAP复合处理可产生协同增效作用，且NO在复合保鲜体系中起主导调控作用[44]。Xu等[45]采用1-MCP联合SO_2熏蒸处理方竹笋，可有效抑制其采后衰老进程，保鲜效果显著优于单一处理组。Wang等[46]研究发现，0.07 mmol/L硝普钠处理可显著增强竹笋的抗寒性，推测其作用机制与激活多胺、γ-氨基丁酸等内源性物质的代谢通路密切相关。

熏蒸保鲜技术的局限性在于气体浓度需精确控制，且对设备密闭性和工艺要求较高。未来研究应重点开发低毒、高效的天然与复合保鲜剂，并优化应用工艺，以提升其安全性与实用性。

1.4　生物保鲜技术

1.4.1　生物涂膜保鲜

生物涂膜保鲜是一种环境友好的保鲜技术，通过在竹笋表面形成一层可食性半透膜，有效减少水分蒸发、调节气体交换，从而延缓竹笋采后衰老进程[47]。目前常用的涂膜材料主要包括多糖类、蛋白质类和脂质类，见图3[48]。

壳聚糖涂膜可显著延缓绿竹笋的木质化进程，抑制PAL、PPO活性，使绿竹笋冷藏10 d后的腐烂率低于5%、可食率高于95%[49]。在各类壳聚糖材料中，质量分数1%的羧甲基壳聚糖保鲜效果较优[50]。质量分数1.5%的海藻酸钠涂膜，可使方竹笋在28 d贮藏期内维持一级感官品质，同时有效调控抗氧化酶活性[51]。为进一步提升保鲜性能，当前研究重点逐步转向复合涂膜体系。Wu等[52]将竹叶黄酮加入壳聚糖中，发现其在抑制鲜切雷竹笋微生物生长和木质素积累方面优于单一壳聚糖涂膜。李雪[47]研究发现，在淀粉膜中添加壳聚糖和纳米TiO_2，可显著改善淀粉的力学与阻隔性能，提升涂膜保鲜效果。Lei等[53]研究也证实，壳聚糖功能化纳米硒复合处理对鲜切苦竹笋的保鲜效果显著优于单一壳聚糖处理。

综上，复合涂膜可通过不同材料的协同增效作用，全方位维持竹笋贮藏品质，是生物涂膜技术的主流发展方向。但该技术存在成本高、稳定性不足、规模化生产工艺不成熟等问题，需进一步突破与优化。

1.4.2　生物激素保鲜

竹笋采后品质与内源激素平衡密切相关，外源施用生物激素或激素调控剂是延缓竹笋采后衰老的有效手段。其中褪黑素(melatonin，MT)在竹笋保鲜中的应用最为广泛。潘凯婷等[54]研究表明，褪黑素处理可显著延缓绿竹笋木质化进程，贮藏46 d后，处理组木质素含量较对照组降低6.54%，可溶性糖含量显著高于对照组。其保鲜作用机制

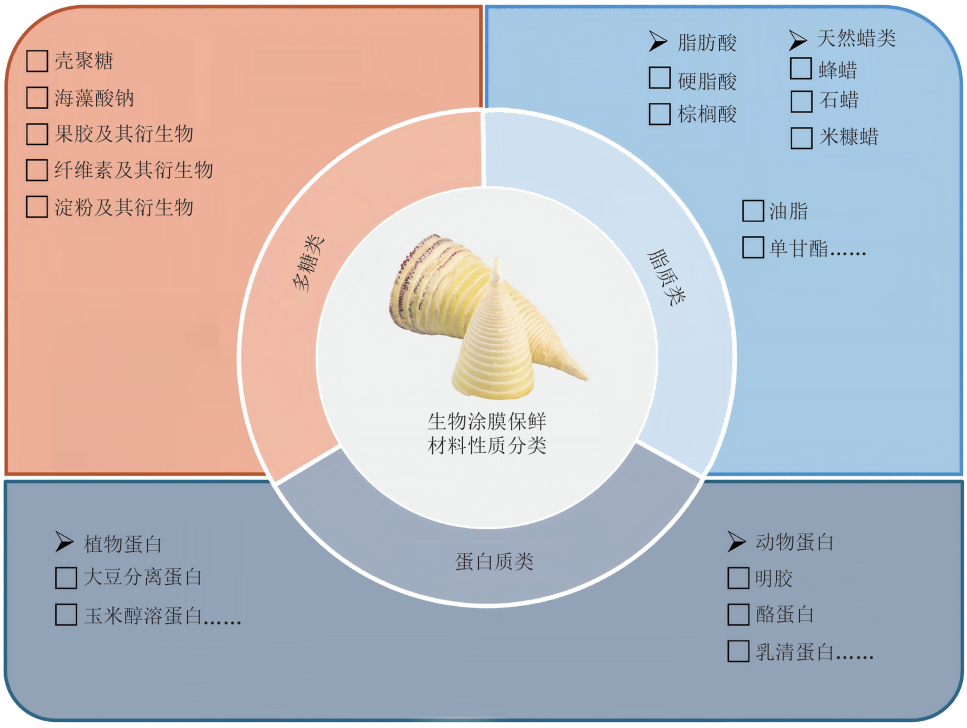


图 3　生物涂膜保鲜材料

Fig. 3　Biological coating preservation materials

主要为抑制苯丙烷代谢途径中 PAL、POD、CAD 等关键酶活性及相关基因表达，同时调控 MYB 等转录因子的表达，从分子层面抑制木质素的合成与积累[55]。除褪黑素外，赤霉素也具有良好的保鲜效果。张秀兰等[56]研究发现，4 ℃低温结合赤霉素浸泡可有效抑制竹笋呼吸强度及相关酶活性，其效果略优于单一低温处理，但不如 4 ℃低温联合壳聚糖复合处理的效果。

生物激素保鲜的效果易受竹笋品种、成熟度及贮藏环境等因素影响，导致保鲜稳定性较差；另外，公众对激素残留问题存在安全顾虑。未来需系统阐明生物激素的保鲜作用机理，开发基于天然产物的精准靶向递送体系，在保障食品安全的前提下，实现竹笋生物激素保鲜效果最大化与技术标准化。

2　竹笋加工现状

竹笋因具有多种抗营养物质，不宜生食，因此采后加工处理成为延伸竹笋产业链、提升产品附加值的关键环节。竹笋加工可改善竹笋风味、提升贮藏稳定性、丰富产品形式。目前，竹笋产业中已形成浸渍、煮沸、腌制、干燥、发酵、罐藏等多种加工方式，见表 1。这些加工方式可有效降低抗营养物质含量，显著提升产品的营养价值、感官特性与功能特性[2,57]。其中，干燥、发酵和罐藏是现阶段应用最广泛的竹笋加工技术，见图 4。

当前国内外竹笋加工产业呈现传统工艺与创新技术并行发展的格局。传统加工以干燥、发酵、腌制工艺为主，代表性产品包括笋干、竹笋罐头、腌渍笋等。其中，干燥工艺通过降低物料水分活度来延长产品货架期，但加工过程易导致竹笋营养成分流失及质地硬化；发酵工艺依托乳酸菌等微生物代谢产生有机酸等物质，赋予竹笋独特的酸鲜风味，同时提升产品贮藏性能；腌制工艺依靠高盐环境实现脱水抑菌，但易造成竹笋脆度下降及部分营养成分流失[60,63,65]。

近年来，竹笋加工技术持续升级，推动产业向产品多元化、加工高值化方向发展。一方面，产品创新日益活跃。国内市场在传统竹笋制品的基础上，陆续推出即食笋丝、调味笋片、竹笋脆片等休闲食品，并逐步研发出竹笋膳食纤维、发酵竹笋汁等深加工产品[4]。例如，以植物乳植杆菌发酵制备的新型红枣-竹笋复合饮料，不仅提升了产品营养价值，还使产品总酚含量、总抗氧化能力和超氧阴离子清除能力分别提高了 11.09%、12.30% 和 59.80%[66]。欧美市场则更注重将竹笋作为天然健

表1　竹笋的加工方式

Table 1　Different processing methods of bamboo shoots

加工方式	竹笋品种	处理方式	结果	参考文献
浸渍	箭竹笋 杜竹笋	嫩笋用常温水浸泡 12 h	可去除辛辣味，氰苷含量降低 63.61%~72.86%，效果取决于浸泡温度、时间与介质	[58]
煮沸	麻竹笋	将竹笋切成 1 cm^3 大小，在 100 ℃蒸馏水中煮沸 20 min，冷却后吸干水分	安全除毒、保留营养，改善竹笋风味	[59]
腌制	麻竹笋	采用不同盐分浓度、腌制温度、焯水时间和 $CaCl_2$ 含量对竹笋进行处理	竹笋腌制的盐分、腌制温度、焯水时间和 $CaCl_2$ 含量对其硬度均有显著影响，其变化趋势符合一级动力学模型	[60]
干燥	龙头竹笋	竹笋分别经烘箱干燥、日光干燥、微波干燥、托盘干燥和冷冻干燥处理	冷冻干燥在营养保持和复水性方面最优，但会导致结构海绵化，降低持水力与口感	[61]
渗透脱水	大薄竹笋	采用质量分数 50% 蔗糖溶液（内含质量分数 8.89%~11.08% NaCl）作为渗透液，在 34.09~44.54 ℃下进行 72.64~104.48 min 的渗透脱水处理	渗透脱水能以非热力方式脱除竹笋部分水分，通过抑制酶促褐变、保留风味并改善复水性，最终提升干制品的感官与营养品质	[62]
发酵	龙头竹笋	以质量分数 10% 的传统 2 年陈发酵竹笋作为接种物与笋丝混合，密封于玻璃罐中，在环境温度 29.4~32.4 ℃和相对湿度 52%~72% 下发酵 30 d	发酵虽会转化部分营养物质，但能保留或富集多酚类、黄酮类等活性成分，在抗氧化、益生元等方面表现较优	[63]
罐藏	毛竹笋	将新鲜竹笋剥皮切块、沸水焯烫后，用干酪包布包裹并加压，于自然条件下发酵 5 d 至产生特殊气味，随后分阶段加盐，继续加压发酵 7 d，最终产品密封包装，冷藏 60 d	巴氏杀菌通过热处理灭活微生物，但可能导致营养损失；在气密包装内添加柠檬酸与防腐剂，可降低灭菌温度、保护色泽并抑制微生物再生，从而使产品在常温下的保质期延长至 12 个月以上	[64]

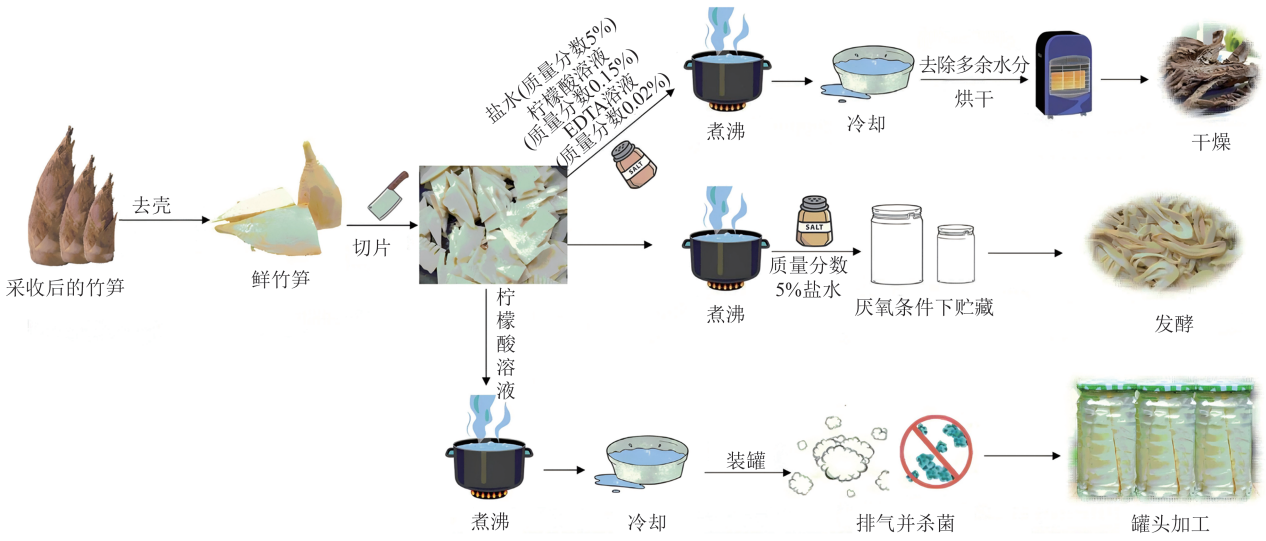


图4　竹笋的干燥、发酵、罐藏加工流程

Fig. 4　Drying, fermentation, and canning process of bamboo shoots

康食材，应用于沙拉、披萨等预制食品，并积极拓展其在益生元及功能性成分等高附加值方面的应用[2]。另一方面，竹笋加工技术不断革新，热风-微波、远红外-真空冷冻联合干燥技术，有效改善了竹笋制品的品质与复水性[67]。同时，特色微生物资源的挖掘为功能性产品开发提供了新路径，如从泰国北部腌制笋中分离出的短乳杆菌 FS2.1，可高效利用低聚木糖益生元，在益生菌产品开发中展现出应用潜力[65]。此外，竹笋加工副产物的高值化利用也在同步推进，助力竹笋全资源利用与绿色加工发展。

综上，竹笋加工已从传统保藏导向，逐步转向品质优化与功能提升并重的发展模式，其中发酵工艺与联合干燥技术展现出明显的集成应用优势。

现阶段，如何在加工过程中更好地保留竹笋的天然质地与营养成分，仍是未来研究的重点。此外，挖掘优质微生物资源开发功能性笋制品、实现加工副产物的高值转化，对推动竹笋食品产业绿色可持续发展具有广阔的应用价值与产业前景。

3 展望

竹笋营养丰富，兼具食用价值与药用价值，但采后代谢旺盛，易出现木质化、褐变与微生物侵染等品质劣变问题，严重制约了其产业化发展。目前，竹笋保鲜多采用物理保鲜、化学保鲜与生物保鲜联用策略。其中物理保鲜能有效抑制竹笋呼吸代谢，但存在设备成本高、操作要求严苛等问题；化学保鲜成本低廉、操作简便，但存在试剂残留风险，难以消除消费者的食用安全顾虑；生物保鲜安全性高，但成膜性与工艺稳定性仍有待提升。现有研究表明，冰温结合动态气调技术、壳聚糖基复合涂膜保鲜、天然植物提取物处理等复合保鲜技术效果较好，既可有效延缓竹笋采后品质劣变，又能兼顾食品安全性与实际应用可行性。在加工领域，竹笋加工技术的研发重点已从传统干燥、发酵、罐藏等保藏工艺，逐步转向联合干燥、可控发酵等创新工艺，可有效改善产品风味、提升产品复水性。同时应聚焦开发具有益生元等功能特性的高附加值产品，推动竹笋加工向品质与功能并重的方向发展。

为进一步提升竹笋采后利用价值与产品附加值，未来可在以下 3 个方面开展深入研究：1）推动智能化、低碳型保鲜技术的发展，如集成动态气调、低温等离子体、超高压等新型物理场技术与生物保鲜方法，实现精准调控；2）推进绿色技术产业化，研发高效天然保鲜剂与可降解涂膜材料，降低对化学防腐剂的依赖；3）加强全产业链融合，推动高附加值产品开发与副产物高值化利用，促进竹笋产业向高效、绿色、可持续方向发展。

参考文献

[1] She C Y，Yu Y L，Wan M J，et al. Forest canopy structures and bamboo rhizome internodes impact the appearance quality of bamboo shoots[J]. Forests，2023，14(12)：2435.

[2] Ma T，Mo W F，Lv B B，et al. A review of the nutritional composition，storage challenges，processing technology and widespread use of bamboo shoots[J]. Foods，2024，13(22)：3539.

[3] Zhang Y，Wu L R，Li Y X，et al. Bamboo shoot and its food applications in last decade：an undervalued edible resource from forest to feed future people[J]. Trends in Food Science & Technology，2024，146：104399.

[4] Tian M L，Qian J Y，Cao F L，et al. Unlocking bamboo's potential in food processing：opportunities and challenges for full-resource valorization [J]. Food Reviews International，2026，42(4)：2520-2544.

[5] Xiao Z L，Han Q Y，Chen K X，et al. The impact of extraction processes on the physicochemical，functional properties and structures of bamboo shoot protein[J]. Food Research International，2024，187：114368.

[6] Tang Y，Fan X，Tang B，et al. Electrolyzed functional water preserves postharvest quality of oxtail bamboo shoots (*Chimonobambusa neopurpurea*) by suppressing lignification and reshaping the microbial community [J]. Industrial Crops and Products，2026，252：124327.

[7] 史蔓蔓，张文，刘飞翔，等. 竹笋采后生理生化变化及贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学，2023(7)：331-343.
Shi M M，Zhang W，Liu F X，et al. A review on postharvest physiological and biochemical changes，storage and preservation of bamboo shoots[J]. Food Science，2023(7)：331-343.(in Chinese)

[8] 戢敏，陈应琴，樊铮弈，等. 牛尾笋保鲜及其保鲜装备设计概述[J]. 四川农业与农机，2024(6)：41-44，55.
Ji M，Chen Y Q，Fan Z Y，et al. Overview on the preservation of oxtail bamboo shoots and the design of preservation equipment [J]. Sichuan Agricultural Machinery，2024(6)：41-44，55.(in Chinese)

[9] 毛彦佳. 砂藏竹笋保鲜技术及机理研究[D]. 上海：上海应用技术大学，2018：4.

[10] 段梦晴，张高鹏，洪鑫飞，等. 冰温保鲜对雷竹笋贮存品质变化规律及木质化的影响[J]. 食品与发酵工业，2025，51(9)：304-311.
Duan M Q，Zhang G P，Hong X F，et al. Effect of ice temperature preservation on storage quality and lignification of *Phyllostachys praecox* shoots[J]. Food and Fermentation Industries，2025，51(9)：304-311.(in Chinese)

[11] 范振梅，申挥，胡腾根，等. 3 种速冻技术在竹笋冻结应用中的适宜性分析[J]. 食品科学，2024，45(24)：212-221.
Fan Z M，Shen H，Hu T G，et al. Suitability analysis of three quick-freezing techniques for application in bamboo shoot freezing[J]. Food Science，2024，45(24)：212-221.(in Chinese)

[12] Wang L，Liu M Y，Luo Z，et al. Effect of modified

atmosphere package on attributes of sweet bamboo shoots after harvest[J]. Frontiers in Plant Science, 2024, 15: 1431097.

[13] 罗政,傅红光,戴凡炜,等. 自发气调包装对鲜食竹笋采后贮藏品质和木质化的影响[J]. 广东农业科学,2024,51(2):152-162.
Luo Z, Fu H G, Dai F W, et al. Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on postharvest storage quality and lignification of fresh bamboo shoots[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2024, 51(2): 152-162. (in Chinese)

[14] Tang Y, Long Y, Yan D, et al. Effects of electrolyzed functional water combined with modified atmosphere storage on postharvest quality of arrow bamboo shoots [J]. Foods, 2026, 15(16): 2899.

[15] Zeng F F, Luo Z S, Xie J W, et al. Gamma radiation control quality and lignification of bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*.) stored at low temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 102: 17-24.

[16] Wang J X, Jiang J, Wang J, et al. The influence of gamma irradiation on the storage quality of bamboo shoots[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2019, 159: 124-130.

[17] 张芝芬,杨文鸽,黄晓春,等. 辐射和气调对竹笋贮藏的影响[J]. 竹子研究汇刊,2002,21(1):41-45.
Zhang Z F, Yang W G, Huang X C, et al. Effect of nuclear radiation and modified atmosphere on the storage life of bamboo shoots[J]. Journal of Bamboo Research, 2002, 21(1): 41-45. (in Chinese)

[18] Li L L, Zhang M, Adhikari B, et al. Recent advances in pressure modification-based preservation technologies applied to fresh fruits and vegetables[J]. Food Reviews International, 2017, 33(5): 538-559.

[19] Chen H Y, Ling J G, Wu F H, et al. Effect of hypobaric storage on flesh lignification, active oxygen metabolism and related enzyme activities in bamboo shoots[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 190-195.

[20] 陈惠云,孙志栋,吴峰华,等. 减压贮藏对毛笋采后品质和相关酶活性的影响[J]. 食品与发酵工业,2011,37(12):204-207.
Chen H Y, Sun Z D, Wu F H, et al. Effects of hypobaric storage on post-harvest quality and some enzyme activities of bamboo shoots[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(12): 204-207. (in Chinese)

[21] 陈锴妮,席宇航,章兴,等. 可控热处理对竹笋蛋白理化特性和抗氧化活性的影响[J]. 浙江农业学报,2024,36(11):2584-2595.
Chen K N, Xi Y H, Zhang X, et al. Effects of controlled heat treatment on physicochemical characteristics and antioxidant activity of bamboo shoot protein[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2024, 36(11): 2584-2595. (in Chinese)

[22] 李美群,艾文胜,孟勇,等. 微波处理对麻竹笋保鲜的影响[J]. 湖南林业科技,2012,39(1):47-50.
Li M Q, Ai W S, Meng Y, et al. Effects of microwave treatment on fresh-keeping of *Dendrocalamus latiflorus* bamboo shoots [J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2012, 39(1): 47-50. (in Chinese)

[23] 文红丽,杨月,陈龙,等. 微波辅助涂膜技术对竹笋保藏性的影响[J]. 食品科学,2012,33(14):268-272.
Wen H L, Yang Y, Chen L, et al. Effect of microwave-assisted coating technology on preservation of bamboo shoots[J]. Food Science, 2012, 33(14): 268-272. (in Chinese)

[24] Liu R L, Wang H Z, Yang H L, et al. Effect of ozone treatment on lignification and postharvest quality of water bamboo shoots[J]. eFood, 2022, 3(4): e24.

[25] 陈磊,黄杰,杨瑞,等. 臭氧结合气调包装对毛竹笋的保鲜作用[J]. 食品科学,2021,42(15):200-205.
Chen L, Huang J, Yang R, et al. Preservation effect of ozone treatment combined with modified atmosphere packaging on moso bamboo shoots[J]. Food Science, 2021, 42(15): 200-205. (in Chinese)

[26] 韩扬,陈旭慧,彭含韵. 采后竹笋保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工,2025,25(7):136-143.
Han Y, Chen X H, Peng H Y. Research progress on the preservation technology of postharvest bamboo shoots[J]. Storage and Process, 2025, 25(7): 136-143. (in Chinese)

[27] Liu X, Liu C, Wang F, et al. Advancements in postharvest physiology and storage preservation techniques for bamboo shoots: a review[J]. Agricultural Products Processing and Storage, 2026, 2(1): 15.

[28] 周敏,杨月,方国珊,等. 超声波结合涂膜技术对剥壳竹笋保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(8):326-330.
Zhou M, Yang Y, Fang G S, et al. Effect of ultrasonic and coating technology on preservation of bamboo shoots [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(8): 326-330. (in Chinese)

[29] Miao M, Wang Q X, Zhang T, et al. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatment on texture changes of water bamboo shoots cultivated in China [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(3): 327-329.

[30] 汤彩碟,张甫生,杨金来,等. 非热加工技术在竹笋保鲜及加工中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业,2022,48(4):307-313.

Tang C D, Zhang F S, Yang J L, et al. Application of non-thermal processing technologies in bamboo shoots preservation and processing[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 307-313. (in Chinese)

[31] Li X L, Xing Y G, Shui Y R, et al. Quality of bamboo shoots during storage as affected by high hydrostatic pressure processing[J]. International Journal of Food Properties, 2021, 24(1): 656-676.

[32] 胡强, 王燕, 张欣, 等. 超高压处理大型竹笋贮藏加工[J]. 包装工程, 2021, 42(3): 40-46.
Hu Q, Wang Y, Zhang X, et al. Ultra-high pressure application on storage and processing of large bamboo shoots[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(3): 40-46. (in Chinese)

[33] 陈金凤. 自发气调和超高压在竹笋保鲜中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 5.

[34] 吴志豪, 张富强, 吴彩娥, 等. 低温等离子处理对采后雷竹笋贮藏品质的影响[J]. 包装与食品机械, 2023, 41(5): 1-8.
Wu Z H, Zhang F Q, Wu C E, et al. Effect of atmospheric cold plasma treatment on storage quality of post-harvest bamboo shoots[J]. Packaging and Food Machinery, 2023, 41(5): 1-8. (in Chinese)

[35] Liu D J, Wang F, Xiao G S, et al. Effects of cold plasma treatment on maintaining the quality of fresh-cut bamboo shoots during shelf-life storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 185: 115151.

[36] Liu Z H, Zhang T, Zhou H Y, et al. Exploring the potential of cold plasma in optimising quality and boosting antioxidant defence in fresh-cut bamboo shoots[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2024, 59(10): 7314-7324.

[37] 杨通琴, 邓艳梅, 袁国惠, 等. 低温等离子体活化水对甜龙竹笋采后贮藏品质的调控作用[J]. 食品工业科技, 2026, 47(3): 383-391.
Yang T Q, Deng Y M, Yuan G H, et al. Regulation of postharvest storage quality of *Dendrocalamus brandisii* shoots by low-temperature plasma-activated water[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(3): 383-391. (in Chinese)

[38] Wu Z H, Fan G J, Wu C E, et al. Dielectric barrier discharge plasma delayed the textural hardening of bamboo shoots by regulating cell wall metabolism[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 321: 112322.

[39] 李逢振. 竹笋贮藏保鲜技术的研究[J]. 农产品加工, 2021(12): 66-68.
Li F Z. Study on bamboo shoot storage and fresh-keeping technology[J]. Farm Products Processing, 2021(12): 66-68. (in Chinese)

[40] 吕朝燕, 高智席, 李雨涵, 等. ε-聚赖氨酸对方竹笋贮藏品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(6): 67-70.
Lyu C Y, Gao Z X, Li Y H, et al. Effect of ε-polylysine on storage quality of *Chimonobambusa quadrangularis* shoots[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(6): 67-70. (in Chinese)

[41] 张君君. 鲜切黄藤笋保鲜技术及生理生化变化研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010: 6.

[42] 张雄峰, 赵一鹤, 李沁. 茶多酚处理对采后勃氏甜龙竹笋木质化的影响[J]. 西部林业科学, 2022, 51(1): 118-124.
Zhang X F, Zhao Y H, Li Q. Effects of tea polyphenol treatment on lignification process of postharvest *Dendrocalamus brandisi* bamboo shoot[J]. Journal of West China Forestry Science, 2022, 51(1): 118-124. (in Chinese)

[43] 黄满昌, 吴长坤, 李沁. 外源保鲜剂在竹笋保鲜及加工中的应用研究进展[J]. 世界竹藤通讯, 2024, 22(4): 113-118.
Huang M C, Wu C K, Li Q. Research progress in application of exogenous preservatives in preservation and processing of bamboo shoots[J]. World Bamboo and Rattan, 2024, 22(4): 113-118. (in Chinese)

[44] Qian C L, Ji Z J, Lin C, et al. Nitric oxide extends the postharvest life of water bamboo shoots partly by maintaining mitochondrial structure and energy metabolism [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(3): 1607.

[45] Xu J, Ji N, Wang R, et al. Study on the regulation mechanism of 1-MCP combined with SO_2 treatment on postharvest senescence of bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis*) in karst mountain area[J]. Agronomy, 2023, 13(4): 1122.

[46] Wang D, Li L, Xu Y Q, et al. Effect of exogenous nitro oxide on chilling tolerance, polyamine, proline, and γ-Aminobutyric acid in bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(28): 5607-5613.

[47] 李雪. 壳聚糖与纳米 TiO_2 对淀粉复合膜力学强度和阻隔性能的影响及复合膜在果蔬中的涂膜保鲜应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021: 4.

[48] Karnwal A, Kumar G, Singh R, et al. Natural biopolymers in edible coatings: applications in food preservation[J]. Food Chemistry: X, 2025, 25: 102171.

[49] 赵宇瑛, 郑小林. 壳聚糖涂膜对绿竹笋采后保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(3): 33-37.
Zhao Y Y, Zheng X L. Preservation effects of chitosan

coating on bamboo shoot[J]. Storage and Process，2015，15(3)：33-37.(in Chinese)

[50] 李秀萍，陆兵，郭云霞，等. 不同复合涂膜对苦笋保鲜效果的研究[J]. 农产品加工，2022(10)：12-15.
Li X P，Lu B，Guo Y X，et al. Study on fresh-keeping effect of bitter bamboo shoot by different composite coatings[J]. Farm Products Processing，2022(10)：12-15.(in Chinese)

[51] 吕朝燕，高智席，王宇星，等. 海藻酸钠涂膜对方竹笋贮藏品质的影响[J]. 中国食品添加剂，2024，35(2)：112-118.
Lü C Y，Gao Z X，Wang Y X，et al. Effects of sodium alginate coating film on the storage quality of *Chimonobambusa quadrangularis* shoots [J]. China Food Additives，2024，35(2)：112-118.(in Chinese)

[52] Wu H R，Tang F，Yao X. The characterization of a chitosan coating enriched with bamboo-leaf flavonoids and its effect on postharvest preservation of three horticultural products[J]. Foods，2025，14(13)：2364.

[53] Lei Y，Pan M J，Dong H W，et al. Properties of sodium alginate-polysaccharide-modified selenium nanoparticles and its application in the preservation of fresh-cut bamboo shoots (*Pleioblastus amarus*) [J]. Journal of Food Science，2025，90(3)：e70103.

[54] 潘凯婷，贺曰林，鲍方艳，等. 褪黑素对绿竹笋采后低温贮藏期品质的影响[J]. 中国食品学报，2025，25(7)：262-273.
Pan K T，He Y L，Bao F Y，et al. Effect of melatonin on the quality of *Bambusa oldhamii* shoots during postharvest storage at low temperature[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology，2025，25(7)：262-273.(in Chinese)

[55] Qian C L，Shao Y Y，Cai Z C，et al. Melatonin reduces lignin biosynthesis by fostering epigenetic modifications in water bamboo shoots under cold storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2025，73(12)：7504-7516.

[56] 张秀兰，陈伏生，方向民，等. 赤霉素和壳聚糖处理对冷藏毛竹笋保鲜效果的影响[J]. 江西农业大学学报，2017，39(4)：678-685.
Zhang X L，Chen F S，Fang X M，et al. Effects of gibberellin and chitosan treatments on preservation of moso bamboo shoots in cold storage [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis，2017，39(4)：678-685.(in Chinese)

[57] Wang Y L，Chen J，Wang D M，et al. A systematic review on the composition，storage，processing of bamboo shoots：focusing the nutritional and functional benefits [J]. Journal of Functional Foods，2020，71：104015.

[58] Chongtham N，Bisht M S，Premlata T，et al. Quality improvement of bamboo shoots by removal of antinutrients using different processing techniques：a review[J]. Journal of Food Science and Technology，2022，59(1)：1-11.

[59] Thounaojam P，Bisht M S，Nirmala C. Effect of processing on nutritional and phytochemical contents in shoots of an edible bamboo *Dendrocalamus latiflorus* Munro [J]. International Journal of Agricultural Sciences，2017，8(1)：79-87.

[60] Zhang F S，Zheng J，Zhong J F，et al. Kinetics of texture change of bamboo shoots during pickling process[J]. Journal of Food Process Engineering，2017，40(2)：e12369.

[61] Singhal P，Satya S，Naik S N. Effect of different drying techniques on the nutritional，antioxidant and cyanogenic profile of bamboo shoots[J]. Applied Food Research，2022，2(1)：100036.

[62] Saini N，Chongtham N，Bisht M S. Bamboo shoot processing：conventional to modern optimisations[M]// Palombini F L，Nogueira F M. Bamboo Science and Technology. Singapore：Springer Nature Singapore，2023：163-199.

[63] Singhal P，Satya S，Naik S N. Fermented bamboo shoots：a complete nutritional，anti-nutritional and antioxidant profile of the sustainable and functional food to food security[J]. Food Chemistry：Molecular Sciences，2021，3：100041.

[64] Fu S G，Yoon Y，Bazemore R. Aroma-active components in fermented bamboo shoots[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2002，50(3)：549-554.

[65] Kanpiengjai A，Nuntikaew P，Wongsanittayarak J，et al. Isolation of efficient xylooligosaccharides-fermenting probiotic lactic acid bacteria from ethnic pickled bamboo shoot products[J]. Biology，2022，11(5)：638.

[66] Zhao C M，Du T，Li P，et al. Production and characterization of a novel low-sugar beverage from red jujube fruits and bamboo shoots fermented with selected *Lactiplantibacillus plantarum*[J]. Foods，2021，10(7)：1439.

[67] Sarkar D，Chandra A K，Chakraborty A，et al. Effects of bamboo shoots (*Bambusa balcooa*) on thyroid hormone synthesizing regulatory elements at cellular and molecular levels in thyrocytes[J]. Journal of Ethnopharmacology，2020，250：112463.