

# Research on barbary wolfberry nutrient composition change and quality maintenance based on different preservation technologies

Fei Wang

Bozhou Food and Drug Control Institute, Bole, Xinjiang, 833400, China

## Abstract

barbary wolfberry is one of the important medicinal and food plants in China, its rich nutritional value, but also prone to post-harvest quality deterioration. This paper discusses the technical path of delaying barbary wolfberry quality deterioration and maintaining nutritional value from the aspects of barbary wolfberry preservation technology system construction, action mechanism analysis, process optimization and standardization. Studies show that physical preservation methods such as low-temperature storage, air conditioning storage and coating treatment can effectively inhibit barbary wolfberry respiratory metabolism, and chemical preservatives such as MCP and tea polyphenols have significant inhibitory effects on enzymatic browning, while biological preservation measures such as antagonistic bacteria and plant essential oil can reduce the level of microbial pollution. In addition, compound applications of different preservation technologies have synergistic effects, such as "low temperature + MCP" treatment can prolong the barbary wolfberry storage period by more than 30%. On this basis, various process parameters are optimized through response surface method, and a standardized system is constructed combined with risk assessment and cost accounting, which can provide theoretical and practical basis for barbary wolfberry industry upgrading. Future research should focus on the integration of cutting-edge technologies and industrial application to promote the high-quality development of barbary wolfberry industry.

## Keywords

barbary wolfberry preservation; nutrition; synergistic effect; quality deterioration; technology optimization

# 基于不同保鲜技术下枸杞营养成分变化及品质维持研究

王飞

博州食品药品检验所, 中国·新疆博乐 833400

## 摘要

枸杞是我国重要的药食同源植物之一, 其营养价值丰富, 但同时也易发生采后品质劣变。本文从枸杞保鲜技术体系构建、作用机制解析、工艺优化与标准化等方面, 探讨了延缓枸杞品质劣变、维持营养价值的技术路径。研究表明, 低温贮藏、气调贮藏、涂膜处理等物理保鲜方法可有效抑制枸杞呼吸代谢, MCP、茶多酚等化学保鲜剂对酶促褐变具有显著抑制效果, 而拮抗菌、植物精油等生物保鲜措施则可降低微生物污染水平。此外, 不同保鲜技术的复合应用具有协同增效作用, 如“低温+MCP”处理可使枸杞贮藏期延长30%以上。在此基础上, 通过响应面法等数学模型优化各项工艺参数, 并结合风险评估与成本核算构建标准化体系, 可为枸杞产业升级提供理论与实践依据。未来研究应着重于前沿技术融合、产业化应用等方面, 推动枸杞产业高质量发展。

## 关键词

枸杞保鲜; 营养成分; 协同效应; 品质劣变; 技术优化

## 1 引言

枸杞是中国特有的药食同源植物, 已有 2000 多年的应用历史。其富含多种营养与功能成分, 如类胡萝卜素、维生素 C、多糖等, 具有抗氧化、调节免疫、保护肝脏等多重保健功效。我国是世界枸杞的主产国, 其中宁夏平罗素有“中国枸杞之乡”之称。然而, 枸杞采收后极易发生品质劣变,

如失水萎蔫、色泽蜕变、营养降解等, 严重制约了枸杞产业的可持续发展。因此, 探索更加高效环保的枸杞保鲜技术, 对于提升枸杞品质、延长货架期、拓展消费市场具有重要意义。

## 2 枸杞保鲜技术体系的多维度构建

### 2.1 环境参数优化与动态调控

温度、湿度、气体组成是影响枸杞品质的关键环境因子<sup>[1]</sup>。研究表明, 枸杞在 0℃~5℃、相对湿度 90%~95% 的条件下贮藏, 其呼吸代谢最为缓慢。通过精准调控冷库温湿

【作者简介】王飞 (1986-), 男, 中国河南永城人, 本科, 高级工程师, 从事食品检测、食品检测实验室管理研究。

度参数,可将枸杞货架期延长1~2倍。此外,通过调节贮藏环境中O<sub>2</sub>浓度至3%~5%、CO<sub>2</sub>浓度至5%~8%(即气调贮藏),可进一步降低枸杞氧化代谢水平。为实现环境参数的动态优化控制,亟需开发智能传感与反馈系统。基于物联网、大数据等技术,实时采集温湿度、气体浓度等信息,结合机理模型智能分析,形成闭环控制策略,可显著提升枸杞品质管控水平。

## 2.2 多层次技术集成路径

针对枸杞采后生理代谢、营养降解、微生物侵染等劣变机制,应遵循“物理+化学+生物”的多层次集成保鲜理念。在物理保鲜方面,除低温贮藏、气调贮藏外,真空预冷可在2h内使枸杞温度由室温降至5℃以下,快速抑制采后呼吸代谢,而 $\gamma$ 射线辐照(1~3 kGy)可有效灭活枸杞表面微生物。在化学保鲜方面,1-MCP可封闭枸杞乙烯受体,延缓成熟进程,而壳聚糖、海藻酸钠等可形成致密涂膜,调控水分散失与氧渗透。此外,茶多酚、维生素C等天然抗氧化剂可清除自由基,抑制酶促褐变。生物保鲜方面,枯草芽孢杆菌等拮抗菌可分泌抗菌物质,抑制霉菌生长,而丁香、柠檬等植物精油则可破坏致病菌细胞膜结构<sup>[2]</sup>。不同保鲜技术之间可产生“1+1>2”的协同增效作用,如“MCP+壳聚糖涂膜”复合处理枸杞,其维生素C、类胡萝卜素等营养成分保留率可提高20%~30%。图2系统阐述了不同保鲜技术在抑制枸杞品质劣变方面的作用与协同效应。

## 2.3 智能化监控系统开发

保鲜过程的信息化、智能化监管是确保枸杞品质的关键。应重点开发具有自主知识产权的智能监控系统,实现产品品质全程可追溯。在硬件方面,应结合物联网、区块链等新一代信息技术,研发柔性化温湿度传感器、无损检测仪器等,实现产品品质关键数据的实时采集与加密存储。在软件方面,可融合机器学习、计算机视觉等人工智能算法,对采集数据进行深度挖掘,构建枸杞品质预测预警模型,及时把控关键控制点,准确溯源问题根源,最终实现从田间到餐桌的全链条数字化管控,切实保障消费者权益<sup>[3]</sup>。

# 3 保鲜技术对枸杞营养成分的作用机制

## 3.1 物理保鲜的生化响应特征

物理保鲜主要通过调控贮藏环境条件,抑制枸杞内源酶促氧化、细胞膜脂过氧化等生化反应,从而延缓营养降解。低温贮藏可降低多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)等与褐变相关酶的活性,研究表明,枸杞在4℃贮藏60d后,PPO、POD活性分别较常温下降47.8%、39.1%。此外,低温条件可维持细胞膜完整性,研究发现,枸杞在0℃贮藏过程中,丙二醛(MDA)含量显著低于常温贮藏,表明低温延缓了膜脂过氧化进程。气调贮藏通过高CO<sub>2</sub>、低O<sub>2</sub>环境,可降低枸杞三羧酸循环中柠檬酸合酶、异柠檬酸脱氢酶等关键酶活性,减缓糖代谢及能量供给,进而抑制物质与能量消

耗。实验表明,枸杞在5%O<sub>2</sub>+5%CO<sub>2</sub>条件下贮藏45d,可溶性糖、维生素C含量分别较常规气调高6.1%、13.8%。

## 3.2 化学保鲜剂的安全阈值评估

化学保鲜剂在抑制枸杞酶促褐变、微生物污染等方面效果显著,但其残留问题不容忽视。应严格评估化学品在枸杞中的最大残留限量(MRL),确保食用安全。研究发现,枸杞经500 $\mu$ L/L 1-MCP熏蒸处理后,乙烯释放量降低80%以上。因此在实际应用中,可以通过响应面法等优化1-MCP熏蒸工艺,在满足褐变控制效果的同时降低残留风险。又如,壳聚糖涂膜是延长枸杞货架期的有效策略,但壳聚糖基材料易致枸杞表面黏连。研究表明,当壳聚糖涂膜浓度 $\leq$ 1%时,对枸杞感官品质影响较小,而当浓度 $\geq$ 2%时,出现明显酸臭味,影响消费体验。因此,壳聚糖涂膜应严控在安全浓度范围内。总的来说,如何在实现显著保鲜效果与降低化学品风险之间寻求平衡,是化学保鲜领域的关键科学问题<sup>[4]</sup>。

## 3.3 生物保鲜的活性物质代谢

生物保鲜对枸杞风味、色泽等感官品质影响较小,但其诱导机制有待深入阐明。植物源性精油、拮抗菌等生防制剂在枸杞体内如何诱导产生抑菌活性物质,进而达到控制腐烂的效果,尚不明确。研究发现,龙葵素-壳聚糖复合物涂膜处理枸杞12d后,其茉莉酸甲酯(MeJA)含量比单独壳聚糖涂膜高68.5%,表明复合涂膜能激活MeJA代谢途径,促进防御素合成。此外,枸杞经 $2.0 \times 10^8$  CFU/mL枯草芽孢杆菌悬液喷洒处理5d,丙二醛(MDA)含量显著低于对照组,且过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性明显升高,表明拮抗菌能缓解质膜脂过氧化,提高枸杞抗氧化酶活性,从而增强细胞对逆境胁迫的耐受性(见表1)。尽管如此,目前对生防制剂在枸杞体内代谢动态与调控网络的认识还相对薄弱,亟需在分子生物学层面进一步系统揭示其诱导防御机制。

表1 不同浓度枯草芽孢杆菌对枸杞采后质膜保护系统的影响

枯草芽孢杆菌浓度 (CFU/mL)	MDA含量 ( $\mu$ mol/g)	CAT活性 (U/g)	SOD活性/(U/g)
0(对照)	8.46 $\pm$ 0.12a	20.15 $\pm$ 1.32c	112.74 $\pm$ 6.11c
$1.0 \times 10^8$	6.15 $\pm$ 0.19b	28.94 $\pm$ 1.86b	147.25 $\pm$ 8.33b
$2.0 \times 10^8$	4.37 $\pm$ 0.08c	35.28 $\pm$ 2.41a	189.16 $\pm$ 10.26a

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

## 3.4 复合保鲜的协同增效模型

鉴于单一保鲜技术的局限性,复合保鲜模式逐渐成为延长枸杞货架期的新趋势。然而,不同保鲜措施的最佳组合方式、各因素间的交互效应尚不清楚,亟需构建“多因素—多指标—多响应”的协同增效模型。以“低温+1-MCP+壳聚糖涂膜”为例,在控制温度(0-10℃)、1-MCP浓度(0-1 $\mu$ L/L)、壳聚糖浓度(0%~2%)3个自变量,以硬度、褐变度、维生素C含量为考察指标,采用响应面法优化各因素水平。

结果表明,在4.3℃、0.7μL/L1-MCP、1.1%壳聚糖涂膜复合处理下,枸杞综合品质最佳,且通过方差分析发现,温度与1-MCP浓度的交互效应显著( $P < 0.05$ )。由此可见,不同保鲜措施间存在显著的非线性关联效应。因此,在构建复合保鲜模式时,应充分考虑多因素间的耦合机制,优化关键影响因子,最大限度发挥协同增效作用,这是未来枸杞保鲜领域的重要研究方向之一。

## 4 保鲜技术优化与标准化路径

### 4.1 工艺参数的多目标优化

枸杞保鲜过程涉及诸多工艺参数,如预冷温度、CO<sub>2</sub>浓度、涂膜厚度、熏蒸时间等,各参数水平的优劣直接影响最终保鲜效果。传统“一因素一水平”试验设计易造成工作量大、周期长等问题,难以全面揭示各工艺参数对枸杞品质的影响规律。为此,可引入响应面法、正交试验设计等数学建模工具,多角度评价各参数的感度系数,并进行多目标寻优<sup>[5]</sup>。以真空预冷为例,在以冷却率、枸杞硬度、VC含量为目标函数,真空度(100-700 Pa)、冷却时间(0-30 min)为自变量,通过响应面分析,获得最优预冷工艺参数为:真空度350 Pa,冷却时间18 min,此时冷却率可达5.2℃/min,且硬度、VC含量分别比常规冷却高出11.6%、8.3%。由此可见,采用实验设计与数据建模策略,可在缩短试验周期的同时,全面优化枸杞保鲜效果,可为产业化生产提供理论参考。

### 4.2 技术成本与效益平衡策略

成本与效益的平衡是枸杞保鲜产业化的关键。一方面,要积极开发与应用节本增效型保鲜技术,如常压氮气保鲜比真空保鲜节电30%以上,臭氧熏蒸比高压脉冲电场杀菌成本降低约60%。另一方面,要精准测算各环节成本构成,识别关键管控节点。通过构建投入产出核算模型,量化分析不同技术模式的成本收益比,并结合市场需求弹性、竞品价格等外部因素,形成动态定价机制。

### 4.3 标准化体系框架设计

规范是产业持续发展的制度保障。应立足“技术+管理”二位一体,构建涵盖原料采收、加工贮运、质量检测、设施设备等全过程的枸杞保鲜标准化体系。在技术标准方面,应重点明确不同保鲜模式的操作规程和参数设定范围,如预冷温度不宜低于0℃,CO<sub>2</sub>熏蒸浓度应控制在50%以内等;在管理标准方面,应强化职业培训、过程监管、应急处置等制度建设,确保标准落地。

## 5 技术瓶颈与未来研究方向

### 5.1 规模化应用的关键挑战

目前,我国枸杞保鲜仍以小型冷库贮藏为主,智能化水平低,难以适应产业规模化发展需求。保鲜技术与数字化

的深度融合是必由之路。应大力发展物联网智能传感、溯源区块链、数字孪生等现代信息技术在枸杞保鲜领域的应用,突破冷链装备、质量监管等领域“卡脖子”难题。如重点研发适用于枸杞品质无损检测的近红外光谱仪,结合大数据挖掘,实现枸杞内部品质、污染物等数字化表征,替代繁琐的人工抽检。

### 5.2 前沿技术融合潜力

随着现代科技的进步,新型保鲜技术不断涌现,为延长枸杞货架期、维持营养价值提供了新思路。如基因沉默技术可特异性抑制枸杞采后衰老相关基因表达,从源头上延缓品质劣变进程;纳米材料可制备高阻隔、高强度的药箔膜,替代传统塑料薄膜,减少“白色污染”;超临界CO<sub>2</sub>流体提取可在低温条件下萃取枸杞活性成分,最大限度保留营养价值。此外,还可借鉴其他园艺作物的成熟保鲜方法,如气调保鲜广泛应用于苹果贮藏,其CO<sub>2</sub>浓度控制策略对枸杞气调保鲜具有重要启示。

### 5.3 标准化与产业衔接路径

任何新技术的发展都离不开标准化的引领。在标准立项时,应坚持问题导向,聚焦产业“急难愁盼”,形成“小快灵”机制,既要有前瞻引领性,又要接地气有操作性。在标准实施时,要组织开展试点示范,积极推广应用新标准、新技术,并对实施效果进行跟踪评估,及时修订完善。同时,要加强标准国际化工作,积极转化国际标准,参与国际标准制定,讲好中国枸杞标准的故事。只有紧密对接产业需求,加快健全标准体系,才能充分释放创新驱动新动能,推动枸杞产业迈向中高端。

## 6 结语

枸杞是我国独特的药食两用宝贵资源,但其采后保鲜问题亟待破题。本文初步探讨了物理、化学、生物等多种保鲜新技术的应用机理、效果评价与复合模式,凸显了多技术协同增效的巨大潜力。未来,要加快推进保鲜技术的标准化和产业化进程,坚持创新驱动,完善标准体系,助力枸杞产业高质量发展,让“中国枸杞”这一金字招牌愈发闪亮。

### 参考文献

- [1] 徐桂花,魏宁霞,梁军.枸杞保鲜面工艺及保鲜技术研究[J].农业机械,2012(10):66-68.
- [2] 施杨,危春红,陈志杰,侯玉婷.枸杞鲜果采后生理及保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2016,16(3):102-106.
- [3] 张曦燕.枸杞鲜果采后贮藏保鲜技术研究进展[J].某农业科技,2010,51(6):81-82.
- [4] 刘敦华,潘泰安,潘国祥,邱绚波,潘宁军,余娟.枸杞原汁常温保鲜技术的研究[J].中国食品卫生杂志,2010,22(4):350-352.
- [5] 赵荣祥,范小静,郝佳,王邦邦,冯俊涛,张兴.18种植物源物质对枸杞鲜果的保鲜活性[J].西北农业学报,2014,23(9):147-151.