

## 柑橘内在品质评价及保鲜技术研究进展

陈山乔<sup>1</sup>, 李丹丹<sup>1,2</sup>, 贾丽娜<sup>2</sup>, 韩庆秋<sup>2</sup>, 孙志栋<sup>1</sup>

(1.宁波市农业科学研究院, 浙江 宁波 315100; 2.河北农业大学 理工学院, 河北 沧州 061100)

**摘要:** **目的** 旨在为采后柑橘运输和贮藏保鲜提供参考, 降低其品质下降对柑橘产业造成的影响。**方法** 根据柑橘内在品质相关特性方面的文献, 总结影响柑橘内在品质的生理、病理因素, 归纳国内外柑橘类水果保鲜技术的现状, 叙述多种新型柑橘品质维持技术, 并对其进行比较。**结论** 柑橘内在品质的评价方法主要集中在少数重要指标上, 缺乏全面反映柑橘内在品质的评价方法; 在贮藏过程中, 青霉菌和绿霉菌的侵染以及自身的无氧呼吸作用等因素是柑橘品质降低的主要原因。由于物理保鲜方法存在设备耗能较大、占用空间大等问题, 传统的化学保鲜剂尤其是农药类柑橘保鲜剂存在危害环境和人体健康的风险, 因此寻求环保、高效的保鲜方法尤为重要, 需进一步研究新型的柑橘保鲜方法, 加快柑橘保鲜方法的研究进展具有重要意义。

**关键词:** 柑橘; 内在品质; 防腐保鲜; 保鲜剂; 拮抗菌

**中图分类号:** S379.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)07-0045-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.07.006

## Research Progress in Evaluation Methods and Maintenance Techniques of Inner Citrus Quality

CHEN Shan-qiao<sup>1</sup>, LI Dan-dan<sup>1,2</sup>, JIA Li-na<sup>2</sup>, HAN Qing-qiu<sup>2</sup>, SUN Zhi-dong<sup>1</sup>

(1.Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315100, China;

2.College of Science and Technology, Hebei Agricultural University, Cangzhou 061100, China)

**ABSTRACT:** This paper aims to provide guidance for the transportation, storage and preservation of post-harvest citrus, and to reduce the impact of quality degradation on the citrus industry. Literatures on the intrinsic quality of citrus are collected, physiological and pathological factors that affect the intrinsic quality of citrus are summarized, the current status of citrus fruit preservation at home and abroad is summed up, a variety of new citrus quality maintenance techniques are described, and comparisons among them are made. The intrinsic quality evaluation methods of citrus mainly focus on the evaluation of a few important indicators. But it lacks comprehensive evaluation methods to reflect the intrinsic quality of citrus. the infection of penicillium and green mold as well as the anaerobic respiration are the main reasons for the deterioration of citrus quality during storage. Physical preservation methods face problems such as equipment's huge energy consumption and serious space waste. Traditional chemical preservatives, especially pesticide citrus preservatives, have risks of polluting the environment and harming human health. Therefore, it is particularly important to seek methods which are environmentally friendly and efficiency for preservation. New citrus preservation methods still need further experimental research, and it is of great significance to accelerate the research progress of citrus preservation.

**KEY WORDS:** citrus; intrinsic quality; preservation; freshness maintenance; antagonistic bacteria

收稿日期: 2020-09-18

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD16B03); 宁波市农业技术推广项目(2019NT006)

作者简介: 陈山乔(1987—), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为农产品保鲜与加工。

通信作者: 孙志栋(1962—), 男, 教授级高工, 主要研究方向为果蔬保鲜与加工。

柑橘 (*Citrus* L.) 属于芸香科柑橘亚科柑橘属, 是橙、柚、橘、柑、柠檬等水果的统称<sup>[1]</sup>。柑橘富含糖类、有机酸、矿物质、维生素、氨基酸等营养物质, 同时类黄酮、柠檬苦素、萜类化合物赋予柑橘独特的风味, 使柑橘备受欢迎。柑橘在中国乃至世界范围内被广泛种植, 被称为世界第一大水果品种。柑橘在贮藏过程中发生品质下降甚至腐烂的情况十分严重, 腐烂率最高可以达到 50%<sup>[2]</sup>。近年来, 随着经济的发展, 一方面消费者除了对柑橘果实的大小颜色等外在品质有着更高要求外, 对内在品质的追求也越来越高; 另一方面柑橘产业也需要通过提升产品品质, 形成品牌效应, 从而加大产业竞争力, 提升产业附加值。目前在柑橘产业中, 对其内在品质的研究尚显不足, 无法全面、定量地描述商业中柑橘产品的内在品质, 此外在柑橘的采后仓储流通过程中, 内在品质的劣化往往造成不必要的口碑损失, 甚至这一现象往往被忽视。柑橘品质下降主要来源于自身生理性病害和病原菌侵染。相对于生理性病害, 由病原菌特别是指状青霉和意大利青霉侵染引起的病害居多<sup>[3]</sup>, 且危害更大, 因此采后保鲜工作对柑橘行业尤为重要。目前, 在采后贮藏过程中主要采用化学杀菌剂维持柑橘品质, 但长期大量使用化学杀菌剂不仅对环境造成负担, 还对人类健康造成不利影响, 因此寻找化学杀菌剂的替代品已经尤为重要。常见的物理保鲜方法如低温贮藏由于空间等的限制导致实际生产应用当中存在诸多局限性。寻求新型节能、绿色环保的柑橘贮藏保鲜新技术刻不容缓。

## 1 影响柑橘内在品质的相关因素

柑橘的内在品质主要包括柑橘类水果中酸、甜、苦等感觉和芳香气味, 氨基酸、维生素的含量, 柑橘果实化渣程度等。

### 1.1 滋味对柑橘内在品质的影响

#### 1.1.1 甜味和糖类

除糖类及糖类衍生物外, 非糖天然甜味剂、人工合成甜味剂等均呈甜味, 柑橘果实的甜味主要由糖类产生, 糖类是可溶性化合物的重要组成部分, 对柑橘类水果的风味有重要影响<sup>[4]</sup>。柑橘类水果含有的糖类有蔗糖、葡萄糖、果糖等可溶性糖类, 其中果糖甜度最高, 为蔗糖的 1.7 倍, 葡萄糖甜度相对较低, 仅为蔗糖甜度的 0.7<sup>[5]</sup>。一般而言, 蔗糖在柑橘中的含量最高。柑橘中蔗糖、果糖、葡萄糖的积累速度并不完全一致, 尤其在完熟期前柑橘中蔗糖的积累速度明显较果糖和葡萄糖快<sup>[6]</sup>。

#### 1.1.2 酸味和有机酸

柑橘中的酸味主要源于柑橘自身含有的有机酸。

柑橘类水果中的柠檬酸为主要的有机酸<sup>[7]</sup>, 苹果酸含量也较高, 酒石酸、苯甲酸、草酸和琥珀酸则为痕量物质<sup>[8]</sup>。柑橘的品种不同, 其有机酸的积累速度、路径也不尽相同, 以柠檬酸为例, 有学者在研究 6 个不同品种柑橘时发现, “椪柑”、“温州蜜柑”、“纽霍尔”、“早金”在积累较高水平的柠檬酸后降至不同水平, 而葡萄柚中的“火焰”和“HB 柚”则不出现降低过程, 积累至一定水平后维持稳定, 这可能是由柠檬酸降解酶通过某种复杂的调节途径引起的<sup>[9]</sup>。

#### 1.1.3 氨基酸

氨基酸的丰富度和含量是影响柑橘内在品质的重要指标。柑橘中脯氨酸、谷氨酸、丙氨酸、丝氨酸等氨基酸种类较为丰富<sup>[10]</sup>, 柑橘种类众多, 不同柑橘所含氨基酸的种类和含量千差万别。在柑橘含有的众多氨基酸中, 不乏一些对柑橘风味有影响的呈味氨基酸, 如呈鲜味的谷氨酸和天冬氨酸, 呈甜味的丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸、甘氨酸。不同种柑橘中氨基酸的含量千差万别, 导致各种类柑橘形成独特的风味。

#### 1.1.4 负面滋味

柑橘苦味主要由柠檬苦素类似物和类黄酮类物质产生。类黄酮类物质中以柚皮苷为主, 柠檬苦素类似物中以柠檬苦素(又称“柠檬碱”)、诺米林素为主, 柑橘中典型苦味物质见表 1。不同种类、不同品种甚至在不同的果实组织当中苦味物质的含量存在较大差异, 如柠檬苦素以柚类尤其在高班柚中含量高, 在宽皮柑橘中含量普遍较低, 在柚类中柠檬苦素又相对集中在囊衣中, 在胞汁和黄皮层中含量较低<sup>[11]</sup>。

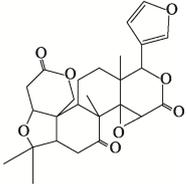
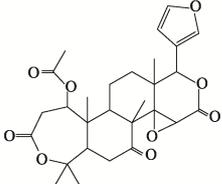
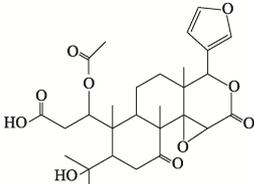
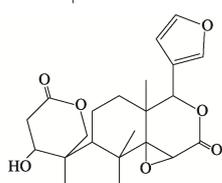
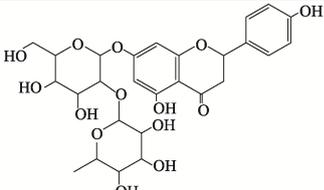
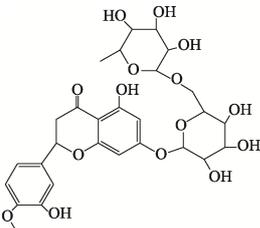
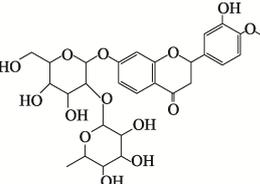
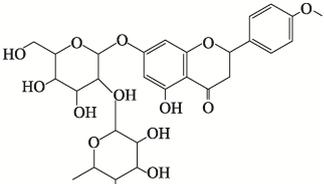
不恰当的仓储物流环境会对柑橘造成类似加工过程中的酶促反应、氧化和机械挤压等, 有产生苦味的风险<sup>[12]</sup>。果汁的“后苦味”现象即与柠檬苦素有关, 表现为在柑橘类水果榨汁前柠檬苦素含量极低, 苦味并不明显; 榨汁后, 柑橘内部存在的柠檬苦素前体物质柠檬苦素 A 环状内酯受到酸性和加热环境的刺激转变成成为柠檬苦素, 除此之外, 柠檬苦素 D 环内酯水解酶对这一反应起催化作用, 进一步加剧柑橘果汁苦味的程度<sup>[11,13]</sup>。

## 1.2 气味对柑橘内在品质的影响

### 1.2.1 芳香性气味

单萜、倍半萜烯、含氧化合物、可溶性和挥发性化合物等赋予柑橘类水果独特的芳香性气味。单萜如 d-柠檬烯和倍半萜烯如瓦伦烯 (valencene)、诺卡酮 (Nootkatone)、 $\alpha$ -甜橙醛 ( $\alpha$ -sinensal) 和  $\beta$ -甜橙醛 ( $\beta$ -sinensal) 是在不同柑橘类水果中鉴定出的主要挥发性化合物, 低含量的倍半萜烯是柑橘中重要的香气化合物, 可溶性和挥发性物质如醇、醛、酯等混合后

表 1 柑橘苦味物质  
Tab.1 Citrus bitter substances

柑橘苦味物质	典型代表	结构式
萜类-柠檬苦素类似物	柠檬苦素 (Limonin)	
	诺米林素 (Nomilin)	
	诺米林酸 (Nomilinic acid)	
	宜昌素 (Ichangin)	
糖苷类-类黄酮类物质	柚皮苷 (Naringin)	
	橙皮苷 (Hesperidin)	
	新橙皮苷 (Neohesperidin)	
	枸橼苷 (Poncirin)	

使柑橘散发芳香气味,这与柑橘风味和消费者的接受度密切相关<sup>[14]</sup>。

气相色谱-质谱法 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 虽然可以分析柑橘挥发性成分,但无法分析出哪些是香气物质,以此为基础的香气提取物稀释分析 (Aroma Extract Dilution Analysis, AEDA) 是测定主要香气化合物的有力方法<sup>[15]</sup>; Miyazato<sup>[15]</sup>分别用气相色谱/质谱法和香气提取物稀释分析确定了柑橘中的挥发性成分和主要香气成分,橘皮精油中的挥发性成分包含 111 种,包括单萜、倍半萜和含氧化合物; AEDA 技术能够确定柚子挥发油中气味活性化合物的序列, Song 等<sup>[16]</sup>发现,萜烯是柚子皮油的主要成分,对柚子的特征风味几乎没有贡献,甲基三硫化物、正辛醇、反式十一烷基-烯醛、丁子香酚、香芹酚等与柚子的特有风味密切相关。

### 1.2.2 负面气味

虽然柑橘的芳香性气味已被广泛深入研究,但很少有学者研究柑橘产生的负面气味(发酵味、过熟果味、霉味等)。适宜的温湿度和气体成分是柑橘贮藏保鲜的必要条件,若环境中 CO<sub>2</sub> 的含量过高,柑橘进行无氧呼吸,从而产生酒精并伴有酒精气味<sup>[17]</sup>。除外界环境的影响,贮藏过程中柑橘自身营养物质的降解也会产生异味。Tietel 等<sup>[14]</sup>研究发现,柑橘的贮藏过程增强了氨基酸和脂肪酸降解程度,形成过熟果味和霉味,诱导乙醇发酵代谢,使得柑橘形成酒精味。

### 1.3 质构及其相关物质

质构主要用来表示在食用柑橘果实时感受到的硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等综合感觉,这种感觉可以通过仪器进行测定。柑橘质构特性主要来源于柑橘的细胞壁和中间层。

植物细胞壁和中间层的主要化学成分包括果胶、纤维素、半纤维素和木质素<sup>[18]</sup>,果胶是一种相对分子质量处于 5 万~30 万的高分子多糖聚合物,柑橘果肉果胶为富含糖醛酸的酸性多糖,是发生部分乙酰化的低酯果胶<sup>[19]</sup>。

唐红英<sup>[20]</sup>对沙糖橘和南丰蜜柚的研究表明,纤维素、半纤维素在柑橘生长过程中逐渐减少,囊衣比汁胞中纤维素和半纤维素的含量高,囊衣中纤维素、半纤维素的含量与柑橘的咀嚼性相关。在构成植物细胞壁时,木质素一般通过与纤维素、半纤维素有效融合,使细胞壁机械强度增加<sup>[21]</sup>。

### 1.4 柑橘内在品质评价方法的发展趋势

目前,对柑橘内在品质的评价方法主要存在以下几方面问题:只对少数指标进行评价,缺乏对反映柑橘内在品质的多个指标进行综合评价;感官评价受主观影响较大,且具有不可重复性等,近年来电子鼻和

电子舌的兴起很好地解决了这一问题;柑橘内在品质评价以有损检测较多,以近红外光谱技术<sup>[22]</sup>为代表的无损检测技术尚处于不断发展的阶段,现有的模型较为单一并不能够反应所有柑橘品种的内在品质,适合于所有柑橘的评价模型还需进一步探索。

柑橘类水果中营养物质含量较高,这为引起柑橘患病的腐败菌快速生长繁殖创造了有利条件,因此研究影响柑橘内在品质的因素,并对这些因素加以控制就显得尤为重要。

## 2 贮藏过程中柑橘内在品质下降的原因

### 2.1 腐烂

柑橘在生长后期和采后贮藏过程中腐烂情况严重,腐烂率最高可达 50%<sup>[2]</sup>,对柑橘采后运输和销售过程极其不利。柑橘类水果的腐烂很大程度上由真菌导致,以指状青霉 (*Penicillium digitatum*) 和意大利青霉 (*Penicillium italicum*) 引起的腐烂现象最为严重<sup>[3,23]</sup>。

#### 2.1.1 滋味

柑橘腐烂导致其食用价值降低甚至丧失,通常伴有发酸、变臭等变化,这可能与腐烂过程中柑橘果实中糖类和有机酸类物质的降解、以及醇类物质的生成存在一定相关性,如感染黑腐病的柑橘早期变酸以及患病后期变苦、变质,从而失去食用价值<sup>[12]</sup>。

#### 2.1.2 质构

腐烂对柑橘质构的影响主要表现在对与柑橘质构相关的结构和物质方面,上文已提到柑橘质构主要受柑橘细胞的细胞壁和中间层影响。当发生侵染性病害时,柑橘的橘皮处受损,形成伤口,为病原菌侵入果实内部提供了有利条件。患青霉病和绿霉病的柑橘果实腐烂过程大致类似,均为病原菌附着在果皮表面,在适宜环境条件下使柑橘果皮呈水渍状,当病原菌数量达到一定程度后形成霉层,使柑橘腐烂<sup>[3,12]</sup>,这可能与柑橘果实当中果胶、纤维素等对柑橘质构具有重要作用的物质遭受破坏存在联系,与黄小兰等<sup>[24]</sup>的研究中柑橘果实细胞壁的纤维素、半纤维素、果胶等成分含量与胶孢炭疽菌粗毒素呈负相关的观点相呼应。

#### 2.1.3 气味

通常柑橘类水果在品质降低的同时伴随着异味的产生,这可能与柑橘中香气物质的分解和生理病理导致的醇类、醛类等物质的增多相关。目前的研究局限于柑橘患上某种病害后产生了哪种气味,对哪些物质经过怎样变化导致了气味的产生以及气味的变化机理并没有深入的研究。几种柑橘类果实患病后的气味见表 2。

表 2 柑橘患某些病害后的气味  
Tab.2 Smells of certain citrus diseases

病害	致病菌	患病后的气味
青霉病	意大利青霉 ( <i>Penicillium italicum</i> )	霉味
绿霉病	指状青霉 ( <i>Penicillium digitatum</i> )	芳香气味
褐腐病	寄生疫霉 ( <i>Phytophthora parasitica</i> )	刺激性香味
黑腐病	柑橘链格孢 ( <i>Alternaria citri</i> )	霉味

### 2.2 生理变化

#### 2.2.1 无氧呼吸

柑橘采后仍为有机体,营养物质不断被消耗。无氧呼吸导致的发酵主要由 2 方面因素造成:缺氧条件下柑橘果实内部糖类、蛋白质等营养物质无法充分氧化,从而产生乙醇、乙醛等异味物质<sup>[25]</sup>;呼吸作用和蒸腾作用不断进行,水分含量降低导致柑橘果皮皱缩,加剧柑橘果肉的无氧呼吸,产生的乙醇、乙醛等持续积累,使柑橘产生异味<sup>[26]</sup>。

#### 2.2.2 冷害

由于柑橘种类非常多,不同种类柑橘对低温的敏感性存在差异。一般认为,在非冰冻温度(1.5℃)下长期储存会引起某些柑橘果实遭受冷害(Chilling Injury, CI),表现为点蚀和褐色凹陷区域,最终可能导致局部细胞死亡<sup>[27-28]</sup>。对于冷敏感型柑橘,暴露在低于 12℃ 的非冰冻温度下时,果皮的外部色素层可能会发生细胞破坏<sup>[27]</sup>。这可能是脂质过氧化和活性氧过高导致抗氧化机制活性降低所造成的<sup>[27,29]</sup>。

#### 2.2.3 枯水

柑橘采后贮藏期间会发生果实质量明显减轻、果汁减少、果皮果肉分离、汁胞粒化、营养物质含量和口感降低等生理现象,这种现象叫做柑橘的枯水,常称为粒化<sup>[30]</sup>。粒化导致电导率和细胞膜通透性增强,总果胶、可溶性果胶、纤维素和木质素的含量增加,超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)和过氧化氢酶(Catalase, CAT)的活性降低<sup>[31]</sup>。尽管造成柑橘枯水的机理并不十分明确,但目前普遍认为,果皮二次生长导致营养物质从果肉转移到果皮、过度消耗果肉营养物质、果皮早衰等是造成柑橘枯水的主要原因<sup>[32]</sup>。此外也有研究表明,木质素代谢与汁囊粒化联系紧密<sup>[33]</sup>。

除以上因素外,柑橘类水果在贮藏过程中仍有诸多影响其品质的因素导致其患炭疽病、干腐病、水肿病等,引起柑橘类水果品质变劣。这些因素对柑橘自身品质的影响程度相对较小。

### 3 柑橘内在品质维持技术

#### 3.1 物理保鲜技术

物理贮藏方法以其无残留、污染小的优势被广泛用于果蔬保鲜，常见的物理保鲜方法有低温保鲜、气调保鲜技术，以及热激、辐照和纳米保鲜等新兴的柑橘保鲜技术。常见柑橘物理保鲜技术的优缺点见表 3。

低温保鲜技术在果蔬保鲜方面应用极其广泛。低温保藏需要从柑橘的呼吸作用和耐藏性这 2 方面考虑，已有研究表明，随着贮藏温度的升高，水果的 Vc 含量降低，故柑橘通常在接近冰点但不结冻的低温条件下保存<sup>[4]</sup>。

气调保藏可以通过降低氧气浓度，减缓电子传递速度，抑制呼吸进程，使呼吸强度降低，因而气调贮藏在降低冻伤、抑制病原菌的生长繁殖、降低腐烂率以及保持柑橘水分含量等方面的重要作用不可否认<sup>[38]</sup>，对延长柑橘贮藏期具有重要作用。

热激 (Heat Shock, HS) 是一种安全、无毒、可操作性强的保鲜技术，通过对柑橘高温处理，从而达到保鲜效果。热激作用能够使病原菌的胞外酶钝化失活、激素平衡被打破，导致病原菌代谢失调，从而达到保鲜的目的<sup>[3]</sup>。

适当剂量范围的  $\gamma$  射线照射对柑橘类水果可滴定酸度、总可溶性固形物和维生素 C 含量等的影响可忽略，但其会对病原微生物细胞的遗传物质造成破坏，使病原微生物无法正常生长繁殖。除此之外，辐照技术还可以诱导柑橘细胞内部过氧化物酶等酶活性的增高，从而增强柑橘自身抗病性，达到柑橘贮藏保鲜的目的。

虽然臭氧的保鲜以臭氧这一特定的化合物作为有效成分，但是由于需要通过电晕等物理方法在现场持续制备<sup>[39]</sup>，因此在实践中将其归类为物理贮藏技术。臭氧保鲜以其安全、环保、制取方便、杀菌范围广、对柑橘品质几乎无不良影响等优势，被消费者认可，具有巨大的市场潜能。

#### 3.2 保鲜剂在维持柑橘内在品质的应用

##### 3.2.1 抑菌保鲜剂

柑橘的腐烂通常由病原菌引起，对生产过程中的柑橘保鲜主要采用化学保鲜剂 (见表 4)，多为抗菌剂，主要通过抑制甚至杀死病原菌起到保鲜作用。目前咪鲜胺等农药类保鲜剂在柑橘保鲜中占有重要地位，但其存在残留问题。一些具有抗菌作用的防腐剂 (如山梨酸酯) 也被应用于柑橘防腐保鲜工作中。与单一作用相比，2 种或多种具有协同作用的物质共同作用不仅可以增强保鲜效果，还可以避免某种药剂的大量使用。

很多新开发的优秀抑菌保鲜剂对环境基本无污染并且对人体无害，如乳酸链球菌素 (Nisin) 被人体吸收后可被水解为氨基酸<sup>[43]</sup>，但仍需在柑橘保鲜防腐中对其进行应用研究；月桂酰精氨酸乙酯 (Lauroyl Arginate Ethyl, LAE) 为精氨酸和乙醇的合成衍生物，是可食用涂料中理想的抗菌添加剂，对真菌和酵母菌具有广谱和高抗菌力<sup>[44]</sup>，其在柑橘抑菌保鲜方面仍需进一步研究。

随着对自身健康和环境保护意识的增强，天然可降解食用涂料和植物精油备受关注。壳聚糖作为保鲜涂膜成为当前研究的热点。壳聚糖作为一种高分子量多糖，具有抗真菌活性，在抑制水果腐烂方面具有

表 3 常见柑橘物理保鲜技术的优缺点  
Tab.3 Advantages and disadvantages of several physical techniques for citrus preservation

物理保鲜技术	优点	缺点	参考文献
低温保鲜	设备易于获得，成本较低	受环境影响大，存在冻伤风险，冷链结构不完整	[4]
气调保鲜	安全、无毒	运营成本高，管理难度大，缺乏相应技术人员，效果不如呼吸跃变型果实明显	[17]
热激	安全、无毒、可操作性强	效果不如化学保鲜剂好	[34]
辐照	无污染，无化学残留，能耗低，产生的热效应小	设备昂贵，需要专门的防护，操作人员培训要求高，安全风险大；在高强度辐照下，柑橘内的化合物存在被核嬗变的风险	[35]
臭氧	无残留，杀菌范围广、效果强	对环境要求高，需在特定温湿度条件下使用；存在环境不友好的风险；可能对果品本身产生损伤	[26]
减压	对果蔬无污染，安全	对设备要求高，资金投入大，蒸汽量不易控制，目前在柑橘上应用极少	[36]
紫外	操作简单，污染小	高强度紫外照射存在破坏柑橘组织的可能	[37]

表4 化学保鲜剂  
Tab.4 Chemical preservatives

柑橘病害	化学保鲜剂	法规状况	参考文献
青霉菌	抑霉唑	5 mg/kg(GB 2763—2019)	[40]
	咪鲜胺	柑、橙、橘 5 mg/kg, 其它柑橘类水果 10 mg/kg(GB 2763—2019)	[40]
	噻菌灵	10 mg/kg(GB 2763—2019)	[40]
绿霉菌	丙环唑	9 mg/kg(GB 2763—2019)	[41]
	山梨酸钾	1.0 g/kg(GB2760—2014)	[42]
酸腐病	丙环唑	9 mg/kg(GB 2763—2019)	[41]
	山梨酸钾	1.0 g/kg(GB2760—2014)	[42]

很大潜能<sup>[45]</sup>;在柑橘类水果保鲜方面,植物香精油也有重要作用,已有研究表明薄荷油处理过的橘子和酸橙果实贮藏期分别延长6 d和8 d,使用姜油后两者的保质期分别延长4 d和6 d<sup>[46]</sup>。

### 3.3 拮抗菌

拮抗菌通过抑制使柑橘致病的主要腐败菌达到保鲜的效果。使用在柑橘上的拮抗菌主要来源于细菌和真菌,真菌中以酵母菌居多。虽然拮抗菌对病原菌的作用机理还未研究清楚,但目前普遍存在4种观点:与病原菌之间的营养或空间竞争、直接寄生作用、诱导寄主抗病性以及产生抗菌活性物质<sup>[47]</sup>。

枯草芽孢杆菌<sup>[48]</sup>、假单胞菌<sup>[3]</sup>是应用于柑橘防腐保鲜过程中的细菌型拮抗菌。詹喜<sup>[48]</sup>研究分离出的枯草芽孢杆菌BS-Z对柑橘的青霉菌、绿霉菌有防治作用,主要作用机理为BS-Z与病原菌竞争生存空间和营养,提高柑橘果实中超氧化物歧化酶、过氧化物酶的分泌量,使柑橘自身抗病性增高,降低由指状青霉、意大利青霉导致的柑橘腐烂。除此之外,以膜醭毕赤酵母<sup>[49]</sup>为代表的酵母菌在柑橘防腐保鲜中也有所应用。

虽然现在已研究出多种柑橘类水果保鲜新方法,但目前主流的保鲜方式还是冷藏和保鲜剂这类比较传统的方法,新方法的引入问题可能是柑橘产业对成本比较敏感以及法律法规需要很长的周期进行更新所致。

## 4 结语

无论在种植面积还是年产量上,柑橘在中国乃至世界都占有十分重要的地位。柑橘的滋味、气味、质构对柑橘内在品质具有重要影响。柑橘中丰富的糖类、有机酸、三萜烯化合物赋予柑橘多样的滋味,酯、醛、酮、萜烯等物质对柑橘的气味具有重要影响,果胶、纤维素、半纤维素和木质素是柑橘质构特性的重

要组成部分。腐败现象普遍发生在柑橘采后运输贮藏等阶段,使柑橘滋味、气味、质构等特性发生不利变化,导致柑橘内在品质变劣,食用价值降低。

目前,市面上多种防腐保鲜技术应用在柑橘行业以维持柑橘的内在品质特性。传统的物理贮藏方式可以明显延长柑橘贮藏时间达到保鲜效果,但设备成本投入过大;新型物理保鲜方法如纳米保鲜技术距离大范围应用在柑橘防腐保鲜上还有一段距离;化学贮藏方式虽然保鲜效果明显,但其对环境 and 人类自身健康具有潜在危害作用。探索对环境无污染、对人类无危害的柑橘保鲜技术是未来的趋势。以拮抗菌、壳聚糖、植物香精为代表的新型保鲜技术是当前研究较多的方向,很多新开发的优秀抑菌保鲜剂(如Nisin、LAE等)仍需柑橘中进行应用研究,加快柑橘新型保鲜技术的研究步伐对我国果蔬行业有着十分重要的意义。

### 参考文献:

- [1] 熊亚波, 闫晓俊, 颜静, 等. 新型柑橘贮藏保鲜剂的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(9): 284—288.  
XIONG Ya-bo, YAN Xiao-jun, YAN Jing, et al. Development and Utilization of New Preservatives for Citrus Storage[J]. Food Science, 2015, 36(9): 284—288.
- [2] 雷建姣, 谢甲涛, 程家森, 等. 两株引起柑橘果实腐烂病的病原菌鉴定[C]//中国植物病理学会第十一届全国会员代表大会暨2018年学术年会. 北京, 2018: 69.  
LEI Jian-jiao, XIE Jia-tao, CHENG Jia-sen, et al. Identification of Two Pathogens Causing Citrus Fruit Rot[C]. The 11th National Membership Congress of the Chinese Society of Plant Pathology and the 2018 Academic Annual Meeting. Beijing, 2018: 69.
- [3] 王智荣. 荧光假单胞菌ZX生物防治采后锦橙青霉菌和绿霉菌研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019: 6—17.  
WANG Zhi-rong. Study on Biocontrol of Blue and

- Green Mold Decay in Postharvest Jincheng Citrus Fruits by *Pseudomonas fluorescens* ZX[D]. Chongqing: Southwest University, 2019: 6—17.
- [4] BALTAZARI A, MTUI H D, MWATAWALA M W, et al. Effects of Storage Conditions, Storage Duration and Post-Harvest Treatments on Nutritional and Sensory Quality of Orange (*Citrus Sinensis* (L) Osbeck) Fruits[J]. *International Journal of Fruit Science*, 2020, 20(4): 737—749.
- [5] MAO Yue-zhong, TIAN Shi-yi, QIN Yu-mei, et al. A New Sensory Sweetness Definition and Sweetness Conversion Method of Five Natural Sugars, Based on the Weber-Fechner Law[J]. *Food Chemistry*, 2019, 281: 78—84.
- [6] 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 等. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用[J]. *园艺学报*, 2001(2): 112—118.
- ZHAO Zhi-zhong, ZHANG Shang-long, XU Chang-jie, et al. Roles of Sucrose-Metabolizing Enzymes in Accumulation of Sugars in Satsuma Mandarin Fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001(2): 112—118.
- [7] KELEBEK H. Sugars, Organic Acids, Phenolic Compositions and Antioxidant Activity of Grapefruit (*Citrus Paradisi*) Cultivars Grown in Turkey[J]. *Industrial Crops and Products*, 2010, 32(3): 269—274.
- [8] CARBALLO S, ZINGARELLO F A, MAESTRE S E, et al. Optimisation of Analytical Methods for the Characterisation of Oranges, Clementines and Citrus Hybrids Cultivated in Spain on the Basis of Their Composition in Ascorbic Acid, Citric Acid and Major Sugars[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2014, 49(1): 146—152.
- [9] ZHOU Yuan, HE Wei-zhu, ZHENG Wu-lin, et al. Fruit Sugar and Organic Acid Were Significantly Related to Fruit Mg of Six Citrus Cultivars[J]. *Food Chemistry*, 2018, 259: 278—285.
- [10] 李晓庆, 蔡颖, 潘思轶, 等. 氯甲酸异丁酯二次衍生-气相色谱法检测柑橘中游离氨基酸[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(2): 122—132.
- LI Xiao-qing, CAI Ying, PAN Si-yi, et al. Analysis of Free Amino Acids in Citrus by Gas Chromatography after Isobutyl Chloroformate Second Derivatization[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(2): 122—132.
- [11] 丁帆. 柑橘中几种苦味物质的检测及评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 12—19.
- DING Fan. Determination and Evaluation of Naringin, Limonin and Nomilin in Citrus[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009: 12—19.
- [12] 林良树. 柑橘贮藏期病害的预防方法[J]. *植保技术与推广*, 2002(8): 30—31.
- LIN Liang-shu. *Plant Protection Technology and Extension*[J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 2002(8): 30—31.
- [13] 左安连, 毛海舫, 李琼, 等. 柑橘类果汁脱苦方法研究综述[J]. *香料香精化妆品*, 2008(3): 33—39.
- ZUO An-lian, MAO Hai-fang, LI Qing, et al. A Review on Research of the Removal of Bitterness in Citrus Juices[J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2008(3): 33—39.
- [14] TIETEL Z, FELDMESSER E, LEWINSOHN E, et al. Changes in the Transcriptome of 'Mor' Mandarin Flesh during Storage: Emphasis on Molecular Regulation of Fruit Flavor Deterioration[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(8): 3819—3827.
- [15] MIYAZATO H. Volatile Composition and the Key Aroma Compounds of the Citrus Tachibana (Makino) Tanaka Peel Essential Oil[J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2018, 21(4): 924—937.
- [16] SONG H S, SAWAMURA M, ITO T, et al. Quantitative Determination and Characteristic Flavour of Citrus Junos (Yuzu) Peel Oil[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2000, 15(4): 245—250.
- [17] 赵蕊. 柑橘的贮藏条件及影响因素分析[J]. *中国果菜*, 2019, 39(8): 21—24.
- ZHAO Rui. Storage Conditions and Influencing Factors of Citrus[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2019, 39(8): 21—24.
- [18] WANG Xun, LIN Li-jin, TANG Yi, et al. Transcriptomic Insights Into Citrus Segment Membrane's Cell Wall Components Relating to Fruit Sensory Texture[J]. *Bmc Genomics*, 2018, 19: 280.
- [19] 支梓鉴, 邹明明, 李珊, 等. 柑橘果肉果胶的流变和结构特性[J]. *高等学校化学学报*, 2016, 37(6): 1175—1181.
- ZHI Xin-jian, ZOU Ming-ming, LI San, et al. Rheological and Structural Characterization of Pectin Polysaccharides from Citrus Pulp[J]. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 2016, 37(6): 1175—1181.
- [20] 唐红英. 南丰蜜橘纤维素、半纤维素代谢与化渣性关系研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015: 5—27.
- TANG Hong-ying. Study on the Relationship between Cellulose, Hemicellulose Metabolism and Mastication of Nanfeng Tangerine[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015: 5—27.
- [21] 曹彩荣. 植物木质素合成调控及基因工程研究进展[J]. *现代农业科技*, 2019(19): 4—5.
- CAO Cai-rong. Advances in Synthesis Regulation of Plant Lignin and Genetic Engineering[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(19): 4—5.
- [22] 李尚科, 易智, 李跑, 等. 近红外光谱技术在柑橘无损检测中的应用[J]. *中国果菜*, 2019, 39(12): 44—48.
- LI Shang-ke, YI Zhi, LI Pao, et al. Application of Near

- Infrared Spectroscopy to Nondestructive Detection of Citrus[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2019, 39(12): 44—48.
- [23] PAPOUTSIS K, MATHIOUDAKIS M M, HASPERUE J H, et al. Non-Chemical Treatments for Preventing the Postharvest Fungal Rotting of Citrus Caused by *Penicillium Digitatum* (Green Mold) and *Penicillium Italicum* (Blue Mold) [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 86: 479—491.
- [24] 黄小兰, 王日葵, 韩冷, 等. 柑橘采后生理代谢对胶孢炭疽菌粗毒素的动态响应[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 247—252.
- HUANG Xiao-lan, WANG Ri-kui, HAN Leng, et al. Dynamic Response of Physiological Metabolism in Postharvest Citrus to Crude Toxin from *Colletotrichum Gloeosporioides*[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 247—252.
- [25] 丁毓端. 柑橘采后衰老的转录和代谢网络研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 7—25.
- DING Yu-duan. Network Studies on Postharvest Senescence Revealed by Transcriptome and Metabolomics Profiling in Citrus Fruits[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015: 7—25.
- [26] 周先艳, 龚琪, 李菊湘, 等. 柑橘采后生理及病害研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2016, 16(1): 91—96.
- ZHOU Xian-yan, GONG Qi, LI Ju-xiang, et al. Advances of Research on Postharvest Physiology and Diseases of Citrus Storage and Process[J]. *Storage and Process*, 2016, 16(1): 91—96.
- [27] GOSALBES M J, ZACARIAS L, LAFUENTE M T. Characterization of the Expression of An Oxygenase Involved in Chilling-Induced Damage in Citrus Fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 33(3): 219—228.
- [28] 崔文静, 刘丽丹, 曾凯芳. 采后柑橘生理病害与果皮超微结构变化的关系[J]. *食品科学*, 2011, 32(19): 284—287.
- CUI Wen-jing, LIU Li-dan, ZENG Kai-fang. Relationship Between Post-Harvest Physiological Disorders and Ultra-structural Change of Citrus Peel[J]. *Food Science*, 2011, 32(19): 284—287.
- [29] SIBOZA X I, BERTLING I, ODINDO A O. Enzymatic Antioxidants in Response to Methyl Jasmonate and Salicylic Acid and Their Effect on Chilling Tolerance in Lemon Fruit (*Citrus Limon* (L) Burm F)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225: 659—667.
- [30] 罗友进, 陈霞, 胡佳羽, 等. 柑橘脱水发生机制研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(1): 31—34.
- LUO You-jin, CHEN Xia, HU Jia-yu, et al. Research Progress of Mechanism of Citrus Section-Drying[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(1): 31—34.
- [31] XIONG Bo, YE Shuang, QIU Xia, et al. Exogenous Spermidine Alleviates Fruit Granulation in a Citrus Cultivar (Huangguogan) Through the Antioxidant Pathway[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2017, 39(4): 1—8.
- [32] 胡位荣, 刘顺枝, 江月玲, 等. 红肉蜜柚汁胞脱水特性分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(10): 233—238.
- HU Wei-rong, LIU Shun-zhi, JIANG Yue-ling, et al. Characteristics of Granulated Juice Sacs of Red-Fleshed Sweet Pomelo[J]. *Food Science*, 2015, 36(10): 233—238.
- [33] ZHANG Jing, WANG Miao, CHENG Fan-sheng, et al. Identification of MicroRNAs Correlated with Citrus Granulation Based on Bioinformatics and Molecular Biology Analysis[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 118: 59—67.
- [34] 江靖, 朱向荣, 苏东林, 等. 热激结合臭氧熏蒸对“连红”蜜桔采后品质的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(12): 120—123.
- JIANG Jing, ZHU Xiang-rong, SU Dong-lin, et al. The Effect on the Postharvest Qualities of "Lianhong" Citrus Fruit by Using Heat Shock Combined with Ozone Fumigation[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(12): 120—123.
- [35] 马亚琴, 贾蒙, 周心智. 柑橘采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(22): 290—297.
- MA Ya-qin, JIA Meng, ZHOU Xin-zhi. Research Advances in Postharvest Preservation Techniques of Citrus Fruits[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(22): 290—297.
- [36] 杨曙光, 陈美龄, 钱骅, 等. 减压贮藏保鲜技术的研究与应用进展[J]. *食品工业*, 2015, 36(1): 223—226.
- YANG Shu-guang, CHEN Mei-ling, QIAN Hua, et al. The Research and Progress of the Hypobaric Storage[J]. *The Food Industry*, 2015, 36(1): 223—226.
- [37] 赵宇瑛, 柳承芳. 紫外照射技术对果蔬贮藏保鲜的影响研究进展[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2011, 8(12): 255—257.
- ZHAO Yu-ying, LIU Cheng-fang. Research Progress on the Influence of Ultraviolet Irradiation Technology on the Preservation of Fruits and Vegetables[J]. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*, 2011, 8(12): 255—257.
- [38] PORAT R, WEISS B, COHEN L, et al. Reduction of Postharvest Rind Disorders in Citrus Fruit by Modified Atmosphere Packaging[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 33(1): 35—43.
- [39] 刘永霞, 邓宇, 邓橙, 等. 臭氧制备技术研究进展[J]. *应用化工*, 2020, 49(4): 1010—1014.
- LIU Yong-xia, DENG Yu, DENG Cheng, et al. Research Progress of Ozone Preparation Technology[J]. *Applied Chemical Industry*, 2020, 49(4): 1010—1014.
- [40] 刘刚.  $\beta$ -蒎烯值得作为天然柑橘保鲜剂研究开发[J].

- 农药市场信息, 2018(30): 54.
- LIU Gang. Pesticide Market News[J]. Pesticide Market News, 2018(30): 54.
- [41] MCKAY A H, FORSTER H, ADASKAVEG J E. Efficacy and Application Strategies for Propiconazole as a New Postharvest Fungicide for Managing Sour Rot and Green Mold of Citrus Fruit[J]. Plant Disease, 2012, 96(2): 235—242.
- [42] SMILANICK J L, MANSOUR M F, GABLER F M, et al. Control of Citrus Postharvest Green Mold and Sour Rot by Potassium Sorbate Combined with Heat and Fungicides[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(2): 226—238.
- [43] 周斌, 张叶. 天然生物性食品防腐剂抗菌剂——乳酸链球菌素的作用机理[N]. 中国食品报, 2016-09-05(006).
- ZHOU Bin, ZHANG Ye. The Mechanism of Action of Natural Biological Food Preservative and Antibacterial Agent-nisin[N]. China Food News, 2016-09-05(006).
- [44] SUN Zhi-dong, HAO Jia-si, YANG Hui-yun, et al. Effect of Chitosan Coatings Enriched with Lauroyl Arginate Ethyl and Montmorillonite on Microbial Growth and Quality Maintenance of Minimally Processed Table Grapes (*Vitis Vinifera* L Kyoho) during Cold Storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(10): 1853—1862.
- [45] CHIEN P J, CHOU C C. Antifungal Activity of Chitosan and its Application to Control Post-Harvest Quality and Fungal Rotting of Tankan Citrus Fruit (*Citrus TanKan Hayata*)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(12): 1964—1969.
- [46] TRIPATHI P, DUBEY N K, BANERJI R, et al. Evaluation of Some Essential Oils as Botanical Fungitoxicans in Management of Post-Harvest Rotting of Citrus Fruits[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2004, 20(3): 317—321.
- [47] 张慤, 冯彦君. 果蔬生物保鲜新技术及其研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(5): 449—455.
- ZHANG Min, FENG Yan-min. New Bio-Preservation Technology of Fruits & Vegetables and Its Research Progress[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(5): 449—455.
- [48] 詹喜. 枯草芽孢杆菌对柑橘采后病害的生物防治及其机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 1—26.
- ZHAN Xi. The Study of Biocontrol and Mechanism of Action on Postharvest Diseases of Citrus Fruits by *Bacillus subtilis*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006: 1—26.
- [49] 罗杨. 膜醭毕赤酵母对柑橘采后青绿霉病害的生物防治及机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 9—36.
- LUO Yang. The Study on Biocontrol and Mechanism of Blue and Green Mold of Citrus Fruits By *Pichia membranefaciens*[D]. Chongqing: Southwest University, 2011: 9—36.