

鲜切黄瓜保鲜技术研究进展

王怡, 袁宁, 王佳宇, 胡文忠

(大连民族大学 生命科学学院, 辽宁 大连 116600)

摘要: **目的** 通过对鲜切黄瓜的各种贮藏保鲜技术进行综述, 选择合适的贮藏方法, 为我国鲜切黄瓜保鲜技术的发展提供参考和思路。**方法** 对近年来有关国内外鲜切黄瓜保鲜技术的研究进展进行综述, 其中包括常压低温等离子体、气调保鲜、超声波等物理保鲜技术, 壳聚糖涂膜、1-MCP等化学保鲜技术, 以及Nisin、天然提取物等生物保鲜技术。**结果** 采用保鲜技术抑制了鲜切黄瓜营养成分的流失、微生物侵染等。**结论** 黄瓜经切分处理后, 与空气的接触面积增大, 腐败变质和微生物侵染是鲜切黄瓜在贮藏和运输过程中易发生的主要问题。论述了多种保鲜技术, 以期为今后鲜切黄瓜保鲜技术的研究提供理论依据和实际参考。

关键词: 鲜切黄瓜; 物理保鲜技术; 化学保鲜技术; 生物保鲜技术

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)15-0096-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.15.011

Research Progress of Fresh-cut Cucumber Preservation Technology

WANG Yi, YUAN Ning, WANG Jia-yu, HU Wen-zhong

(School of Life Science, Dalian Minzu University, Liaoning Dalian 116600, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize various storage and preservation technologies of fresh-cut cucumber and select suitable storage methods, so as to provide further reference and ideas for the development of fresh-cut cucumber preservation technology in China. The research progress of fresh-cut cucumber preservation technologies at home and abroad in recent years was reviewed, including physical preservation technologies such as APLTP, modified atmosphere preservation and ultrasonic, chemical preservation technologies such as chitosan coating and 1-MCP and biological preservation technologies such as Nisin and natural extract. The preservation technologies inhibited the loss of nutrients and microbial infection of fresh-cut cucumber. After the cucumber is cut, the contact area with the air increases, and spoilage and microbial infection are the main problems of fresh-cut cucumber during storage and transportation. The work discusses a variety of preservation technologies, in order to provide theoretical basis and practical reference for the research of fresh-cut cucumber preservation technologies in the future.

KEY WORDS: fresh-cut cucumber; physical preservation technologies; chemical preservation technologies; biological preservation technologies

鲜切果蔬是一类新鲜、卫生、便捷的食品, 随着生活节奏的加快, 近年来消费者对鲜切果蔬的需求越

来越大, 鲜切果蔬产业的发展愈加迅猛^[1]。鲜切黄瓜作为一种可生食的蔬菜品类代表, 具有新鲜、方便、

收稿日期: 2021-12-07

基金项目: 国家自然科学基金(31471923, 31340038, 31172009)

作者简介: 王怡(1998—), 女, 大连民族大学硕士生, 主攻食品科学与工程。

通信作者: 胡文忠(1959—), 男, 博士, 大连民族大学教授, 主要研究方向为食品科学。

即食等优点, 深受消费者的青睐, 在国内外的市场份额也越来越大。然而, 鲜切黄瓜的保鲜期较短, 一般为 4~6 d, 这主要是因为黄瓜经过切分处理后, 会失去表皮组织, 导致水分流失加剧, 从而造成营养成分的外流, 降低了黄瓜的营养价值。此外, 切分处理还会增加黄瓜果肉与空气的接触面积, 加大微生物的侵染概率, 从而缩短产品的货架期, 因此寻求一种良好的鲜切黄瓜保鲜技术成为国内外学者研究的热点^[2-3]。文中综述了国内外鲜切黄瓜的物理、化学及生物保鲜技术的研究进展, 以期鲜切黄瓜保鲜技术的进一步开发和应用提供理论依据。

1 物理保鲜技术

1.1 常压低温等离子体保鲜技术

常压低温等离子体 (Atmospheric-pressure low-temperature plasma, APLTP) 保鲜技术是一种非热处理技术, 具有低温、高效、绿色、无毒等优点, 能够最大限度地保持食物的颜色、味道和形状, 同时可延缓腐败变质的发生, 因此被广泛用于鲜切果蔬保鲜领域^[4]。孙艳等^[5]研究发现, 采用常压低温等离子体技术能使鲜切黄瓜表面大肠杆菌的细胞壁和细胞膜破裂, 导致细胞内容物流出, 使其丧失自我复制和繁殖能力, 最高可使杀菌率达到 99.65%, 而且杀菌效果可随着极距的减少及电压升高时间的延长而增加。此外, 常压低温等离子体保鲜技术还能维持鲜切黄瓜的颜色、水分含量、酸度、维生素 C 含量, 保持黄瓜果肉细胞结构的稳定, 提高鲜切黄瓜在贮藏期间的品质^[6]。

1.2 气调保鲜技术

气调保鲜技术通过人为调整贮藏环境的气体组成, 从而达到延长果蔬贮藏寿命的目的, 包括气调包装 (MAP) 和气调贮藏 (CAS)。朱莉等^[7]采用 3 种不同 O₂、CO₂ 和水渗透性的薄膜分别对鲜切黄瓜进行包装处理, 发现采用氧气透过率、二氧化碳透过率和水蒸气透过率分别为 2 2446.7 cm³/(m²·d·MPa)、8 3323.3 cm³/(m²·d·MPa)、15.3 g·m/(m²·d·MPa) 的 PE2 膜对鲜切黄瓜的保鲜效果最好, 与其他 2 种处理方式相比, 可更好地维持鲜切黄瓜的硬度和可溶性固形物含量, 保持黄瓜的风味, 在贮藏第 5 天, 可使菌落总数比 PE1、PE3 分别降低 0.25、0.34 lg(CFU/g)。Sun 等^[8]研究发现, 采用 O₂ (2%)、CO₂ (7%)、N₂ (91%) 气调包装在保证鲜切黄瓜良好感官品质的同时, 还能够下调大肠杆菌 O157:H7 中运动 (flic)、黏附 (eaeA) 和氧化应激 (rpoS、sodB) 的基因表达, 抑制大肠杆菌 O157:H7 的生长, 从而提高鲜切黄瓜在货架期的食品安全性。除气调包装保鲜外, 也有关于气调贮藏在鲜切黄瓜保鲜上的应用研究。魏亚博等^[9]

研究了气调贮藏对鲜切黄瓜的生理特性的影响, 以及对假单胞菌的抑制作用, 发现 O₂ (3%)、CO₂ (7%)、N₂ (90%) 气调贮藏能够显著抑制假单胞菌的生长繁殖, 在贮藏第 12 天, 假单胞菌仅增加了 2.29 lg(CFU/g)。该学者还研究发现, 采用气调贮藏处理方法能够降低鲜切黄瓜的呼吸速率, 保持其硬度和叶绿素含量, 抑制褐变相关酶——过氧化物酶 (POD) 和多酚氧化酶 (PPO) 的活性, 能使鲜切黄瓜在贮藏期间维持良好的品质^[10]。郑鄢燕等^[11]也发现, 气调贮藏处理方法能够有效降低变形假单胞菌对鲜切黄瓜品质和滋味的影响, 并可维持鲜切黄瓜的特征香气。综上所述, 气调保鲜技术可通过抑制微生物生长来延长鲜切黄瓜的货架期, 同时还可以与其他保鲜技术相结合, 开发出更多高效的鲜切黄瓜保鲜方法, 进而得到营养丰富、新鲜安全的鲜切果蔬。

1.3 短波紫外线保鲜技术

短波紫外线 (UV-C, 190~280 nm) 技术是一种绿色环保的果蔬保鲜技术, UV-C 可使微生物 DNA 中的 2 个胸腺嘧啶错误地连接在一起, 阻碍微生物细胞复制的正常进行, 从而抑制微生物的生长繁殖^[12-13]。赵磊等^[14]研究发现, UV-C 能够有效抑制鲜切黄瓜表面微生物的生长繁殖, 且抑菌效果可随处理时间的延长而增加, 同时可提高贮藏期间鲜切黄瓜的总酚含量, 维持鲜切黄瓜的色泽, 使鲜切黄瓜的货架期延长 2 d。还有学者发现, 将 UV-C 与可食性纳米涂层结合处理鲜切黄瓜, 可以减少其可溶性固形物和抗坏血酸的损失, 抑制 PPO、POD 和果胶甲基酯酶 (PME) 的活性, 延缓褐变和细胞壁溶解现象的发生进程。此外, UV-C 与可食性纳米涂层结合处理鲜切黄瓜还可以有效抑制贮藏期间微生物的生长, 使菌落总数降低 5.21 lg(CFU/g), 将鲜切黄瓜的货架期延长至 15 d^[15]。由此可见, UV-C 同上述 APLTP 保鲜技术和气调保鲜技术一样, 不仅可有效抑制鲜切黄瓜贮藏期间微生物的生长繁殖, 同时还在维持鲜切黄瓜品质特性方面有重要作用。

1.4 低温保鲜技术

低温保鲜技术是鲜切果蔬和众多食品保鲜最为常用的保鲜技术, 低温能够延缓果蔬内部的代谢速率, 降低新陈代谢过程中酶的活性, 同时还可抑制微生物的生长繁殖, 减少营养成分的流失, 从而达到延长果蔬货架期的作用^[16]。学者们^[17-18]研究了不同贮藏温度 (4、12、24 °C) 对鲜切黄瓜单核细胞增生李斯特菌和大肠杆菌的抑制作用, 结果表明, 低温贮藏能够有效抑制单增李斯特菌和大肠杆菌的繁殖, 在贮藏第 5 天时, 4 °C 低温下贮藏的鲜切黄瓜的单增李斯特菌落数和大肠杆菌落数分别下降了 0.7、2.25 lg(CFU/g)。朱惠文等^[19]和张雪等^[20]同样发现, 低温贮藏能够有效维持鲜切西兰花、鲜切胡萝卜中的

抗坏血酸含量,抑制褐变和白化现象,保持果蔬的新鲜色泽,从而延长果蔬的货架期。由此可见,低温保鲜技术已作为一种基本的保鲜方法广泛用于鲜切果蔬的保鲜行业中。

1.5 惰性气体保鲜技术

惰性气体在常温常压下无色无味,化学性质不活泼,基本不会与其他物质发生反应。氩气是惰性气体之一,当氩气分子在一定压力下溶于水时,果蔬细胞间会形成笼形水合物,水分的黏度增加,流动性受到限制,降低了酶反应的底物扩散速率,从而抑制鲜切果蔬的生理代谢活动,延缓鲜切果蔬的衰老进程^[21]。孟祥勇^[22]发现,采用加压氩气处理能抑制鲜切黄瓜的水分流动性和呼吸强度,维持抗坏血酸和可溶性固形物含量,提高鲜切黄瓜的营养价值。此外,加压氩气处理还可保持鲜切黄瓜细胞膜的完整性,延缓膜脂过氧化进程,从而延缓鲜切黄瓜的衰老进程。另外,孟祥勇^[23]研发了加压氩气与其他制剂联合使用的鲜切黄瓜保鲜技术,使用加压氩气结合纳米锌涂膜能够明显抑制贮藏期间鲜切黄瓜的呼吸代谢能力,并在一定程度上降低鲜切黄瓜贮藏期间 PPO 和 POD 活性,有效地延缓贮藏过程中褐变的发生,维持鲜切黄瓜的外观品质,提高其商品价值。

1.6 超声波保鲜技术

超声波处理是一种广泛用于果蔬加工与贮藏中的技术,其保鲜机理是超声波会在液体中产生空化现象,空化气泡的破裂会产生局部压力,进而损伤微生物细胞,从而抑制或杀死微生物^[24]。Fan 等^[25]研究表明,将超声波处理(226 W/cm², 15 min)与气调包装联合使用可使鲜切黄瓜在贮藏末期(15 d)的菌落总数降低 1.58 lg(CFU/g),霉菌和酵母菌总数降低 1.08 lg(CFU/g),并且还可保持黄瓜细胞壁的完整性,降低质量损失率,维持黄瓜的色泽,延长鲜切黄瓜的货架期。此外,Fan 等^[26]研究发现,采用 226 W/cm²的超声波与体积分数为 4.5%的碳量子点/壳聚糖复合涂膜结合处理,同样可以降低鲜切黄瓜的菌落总数,抑制霉菌和酵母菌的生长繁殖,使其分别降低 1.54、1.26 lg(CFU/g);该处理方法还能够有效降低鲜切黄瓜的呼吸速率,抑制丙二醛含量的上升,减缓膜脂过氧化进程,保持细胞膜的完整性;超声波处理结合碳点涂膜处理还能够降低黄瓜的褐变相关酶 PPO 和 POD 的活性,延缓褐变的发生。上述研究表明,超声波保鲜技术因具有绿色、安全和无污染等优点,能有效提高鲜切黄瓜贮藏期间的品质,因此单独使用或与其他保鲜技术联合使用在果蔬保鲜领域均具有较好的应用前景。

1.7 其他物理保鲜技术

除了上述几种物理保鲜技术外,侯茜^[27]将 3 种不

同包装规格(0.02 mm PE 保鲜袋、0.06 mm PE 保鲜袋、0.28 mm PE 保鲜盒)的材料用于鲜切黄瓜的保鲜,研究表明,采用 0.02 mm PE 保鲜袋处理鲜切黄瓜可维持其可滴定酸和可溶性蛋白含量,且在贮藏第 11 天,0.02 mm PE 保鲜袋处理组鲜切黄瓜的菌落总数比 0.06 mm PE 保鲜袋处理组黄瓜的低 0.27 lg(CFU/g),抑菌效果相对最好。Matheus 等^[28]使用柿子生物降解膜对鲜切黄瓜进行包装处理,能够抑制贮藏期间其嗜冷菌和真菌的生长,保持鲜切黄瓜的 pH 和色泽。Tirawat 等^[29]利用饱和水蒸气进行快速湿热巴氏杀菌(RHP)处理鲜切黄瓜,结果表明,RHP 可使鲜切黄瓜的菌落总数降低 1.8~2.0 lg(CFU/g),并有效维持鲜切黄瓜的颜色、硬度和抗坏血酸含量。Li 等^[30]将肉桂醛/羟丙基-β-环糊精包合物(CA/HP-β-CD)静电纺丝到磷脂纳米纤维中,研究了它对鲜切黄瓜单增李斯特菌的抗菌活性,发现在 4 °C 下使用 CA/HP-β-CD 磷脂纳米纤维包装的鲜切黄瓜表面单增李斯特菌细胞处于非活性状态,且能够保持鲜切黄瓜的色泽和感官品质。

物理保鲜技术具有高效、安全、无污染等特点,是鲜切黄瓜保鲜应用最广的技术。物理保鲜技术能够在保持鲜切黄瓜营养价值的前提下,保证鲜切黄瓜的感官品质,有效抑制鲜切黄瓜微生物的生长繁殖,达到延长鲜切黄瓜保质期的目的。在现有的鲜切黄瓜物理保鲜技术中,常压低温等离子体、惰性气体和超声波处理等技术存在成本较高、设备投资较大等缺点,不利于大规模使用。气调包装技术是目前最为常用的鲜切黄瓜物理保鲜技术,既能够控制鲜切黄瓜的呼吸强度,减少水分流失,又能有效抑制微生物的生长,作为一种先进的包装手段已成为鲜切果蔬保鲜领域的研究热点。由此可见,选择一种合适的包装材料是保持鲜切黄瓜产品质量和延长其货架期的有效途径。

2 化学保鲜技术

2.1 涂膜保鲜技术

壳聚糖涂膜是一种以多糖为基础的天然可食用涂层。涂膜保鲜技术现已成功应用于鲜切果蔬保鲜领域,其保鲜机理:壳聚糖可在果蔬表面形成一层膜,该膜可控制果蔬内部的气体交换和水分流动,保持果蔬组织的坚韧性。此外,壳聚糖涂膜还可保护鲜切果蔬免受病原菌的侵害,从而降低其腐烂变质的发生率^[31]。Fan 等^[32]采用微孔气调包装(100 μm)和壳聚糖碳点涂膜对鲜切黄瓜进行保鲜处理,发现该处理方式可有效降低鲜切黄瓜的质量损失率和需氧菌数量,维持其硬度和抗坏血酸含量,同时还可降低评价膜脂过氧化进程的标志性物质——丙二醛的含量,从而减缓鲜切黄瓜的衰老进程,保持其在贮藏期间的品质。Olawuyi 等^[33]使用壳聚糖涂膜(2%)与气调包装

复合处理鲜切黄瓜,发现它可降低鲜切黄瓜的质量损失率和呼吸速率,同时可有效延缓叶绿素的降解速率和泛黄指数,从而保持黄瓜的色泽,延长鲜切黄瓜的货架期。该学者还研究了壳聚糖涂膜与复合聚酰胺聚乙烯膜(110 μm)联合使用的鲜切黄瓜保鲜技术,研究发现,该处理方法同样可以有效降低鲜切黄瓜的质量损失率,较好地维持鲜切黄瓜在贮藏期间的色泽和外观品质^[34]。此外,还有学者使用含有香芹酚纳米乳液(质量分数0.08%)的壳聚糖涂膜结合脉冲光(12 J/cm²)对鲜切黄瓜进行抑菌实验,发现该处理方法可抑制鲜切黄瓜表面大肠杆菌的生长^[35]。综上所述,采用壳聚糖涂膜与气调保鲜等物理保鲜技术复合处理鲜切黄瓜,不仅达到了抑菌的作用,还可维持黄瓜的理化品质,为鲜切果蔬的保鲜提供了一种新的思路。

2.2 1-甲基环丙烯保鲜技术

1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)因其与乙烯结构相似,且具有安全无毒、性质稳定、有效浓度低等优点,作为一种乙烯抑制剂已在果蔬及鲜切果蔬保鲜领域广泛应用^[36]。1-甲基环丙烯保鲜技术的作用机理:1-MCP可通过阻断乙烯与受体蛋白的结合来降低乙烯释放量,从而延缓果蔬成熟和衰老的进程。邓红军等^[37]研究了1-MCP处理对采后机械损伤的黄瓜生理代谢的影响,发现1-MCP处理在黄瓜的贮藏过程中可抑制其呼吸强度,提高抗氧化能力,减轻黄瓜因机械损伤而发生的不良生理生化反应,延缓鲜切黄瓜品质劣变的发生。Hu等^[38]、Wu等^[39]和Massolo等^[40]同样发现,1-MCP处理能够有效抑制鲜切苹果、鲜切茄子和鲜切芹菜微生物的生长,延缓果蔬的衰老进程,抑制褐变和叶绿素含量的降低等,从而有效维持果蔬的色泽。由此可见,1-MCP是一种广泛用于鲜切果蔬保鲜行业中的高效保鲜方法。

2.3 杀菌剂保鲜技术

清洗和消毒是鲜切果蔬加工过程中必不可少的途径,不仅可以洗去果蔬表面的污物、杂质和外渗汁液,还具有一定的杀菌效果,对延长鲜切果蔬的货架期具有重要意义^[41]。一些学者以此为切入点,研发了在此途径应用的鲜切果蔬保鲜技术。李小卫等^[42]选用柠檬酸、次氯酸钠、液态二氧化氯、氯化酸性电解水、过氧乙酸等5种不同的清洗剂,研究了不同清洗剂对鲜切黄瓜杀菌效果的影响。结果表明,5种杀菌剂都可有效降低鲜切黄瓜表面的菌落总数,但与其他清洗剂相比,过氧化酸的杀菌效果最佳,可在减少菌落总数的同时更好地维持鲜切黄瓜的理化品质,延长鲜切黄瓜的货架期。王福东等^[43]研究了不同的加工用水温度对鲜切黄瓜贮藏品质和杀菌效果的影响,发现采用

水温为5℃的次氯酸钠处理鲜切黄瓜10 min能够较好地维持其营养成分,有效抑制微生物的生长繁殖。李冬梅^[44]研究了不同浓度过氧化氢对鲜切黄瓜上鼠伤寒沙门氏菌的杀菌效果,发现体积分数为2.5%的过氧化氢溶液对鼠伤寒沙门氏菌有明显的抑制作用,可以很好地控制鼠伤寒沙门氏菌的数量。Guo等^[45]同样发现,用体积分数为5%的过氧化氢对鲜切黄瓜表面的猪霍乱沙门氏菌具有显著的抑制作用,可将其数量降低到1.4 lg(CFU/g),杀菌率达到97.5%。此外,Liu等^[46]还发现,采用微酸性电解水处理鲜切黄瓜后,可使其需氧菌减少1.62 lg(CFU/g),霉菌和酵母菌的数量减少1.35 lg(CFU/g)。学者使用500 mg/L酸化亚氯酸钠清洗鲜切黄瓜也能有效减缓需氧菌和大肠菌群数量的增长^[47]。综上所述,杀菌剂可有效抑制微生物的生长,减缓鲜切黄瓜的腐败变质进程,从而延长其货架时间。

相较于物理保鲜技术,应用在鲜切黄瓜上的化学保鲜技术较少,主要有涂膜、1-MCP和杀菌剂保鲜技术。其中1-MCP作为新型乙烯拮抗剂,能够抑制鲜切黄瓜的生理代谢速率,延缓果实的衰老进程,从而延长其货架期;杀菌剂和涂膜保鲜技术主要通过抑制鲜切黄瓜表面微生物的生长繁殖,来达到提高鲜切黄瓜产品质量的目的。上述化学保鲜剂易造成化合物残留和环境污染等问题,它是否适用于大规模的鲜切黄瓜保鲜还有待进一步研究。

3 生物保鲜技术

3.1 蛭弧菌保鲜技术

蛭弧菌(Bdellovibrio)是一种细胞内寄生的小型细菌,可寄生于其他细菌(沙门氏菌、大肠杆菌等致病菌),并导致其裂解死亡。蛭弧菌是一种对人体有利的细菌,其在人体肠道中的数量众多,具有维持肠道微生态系统平衡的作用^[48]。由此可见,蛭弧菌生态制剂可作为一种新型清除剂来抑制或消除导致食品腐败的微生物的生长,进而达到预防食品腐败变质、延长货架期的目的。李冬梅^[44]利用蛭弧菌生态制剂来控制鲜切黄瓜上鼠伤寒沙门氏菌的生长。研究表明,蛭弧菌对鼠伤寒沙门氏菌具有很好的裂解效果,添加了蛭弧菌的鲜切黄瓜总体质量优于对照组;在贮藏2 d内高浓度组与低浓度组果蔬的蛭弧菌对鼠伤寒沙门氏菌的抑制效果比较显著,高浓度处理对致病菌的生长控制力较迅速且时间短。

3.2 乳酸链球菌素

除了利用上述微生物菌体保鲜外,还可利用微生物代谢产物进行保鲜。乳酸链球菌素(Nisin)是由一些细菌产生的天然抗菌化合物,具有天然、安全和无毒副作用等优点,已被食品药品监督管理局确定为允

许使用的食品添加剂^[49], 已被广泛应用于鲜切果蔬、乳制品及罐藏食品等的保鲜中。乳酸链球菌素的抑菌机理: 乳酸链球菌素可以使微生物细胞膜中形成孔道, 导致细胞内小分子物质快速外泄, 使细胞的生物合成过程受阻, 从而使微生物细胞裂解死亡^[50]。学者^[51]发现, 采用 50 $\mu\text{g/mL}$ Nisin 处理能够对鲜切黄瓜表面需氧菌、单增李斯特菌和沙门氏菌的生长有抑制作用, 且使鲜切黄瓜具有较好的感官品质。陈晨等^[52]研究了 Nisin 和柠檬酸单独使用及二者复配使用对鲜切黄瓜中单增李斯特菌的杀菌作用。研究表明, 二者单独使用都对鲜切黄瓜上的单增李斯特菌具有一定的杀菌作用, 且随着时间和浓度的增加效果更显著; 采用 50 $\mu\text{g/mL}$ Nisin 和质量分数为 0.3% 柠檬酸复配处理 15 min 后, 可使鲜切黄瓜中的单增李斯特菌达到检测线以下; 二者单独使用则需要更高浓度的溶液, 100 $\mu\text{g/mL}$ Nisin 或质量分数为 0.5% 柠檬酸才能达到同样的杀菌效果。

3.3 天然提取物保鲜技术

天然提取物的原料主要来源于水果和蔬菜, 因其具有抗氧化能力强、安全等特点, 广泛应用于食品行业中。一些天然提取物因具有抑菌、抗氧化等优点, 现已用于鲜切黄瓜的保鲜中, 如藏红花提取物、葡萄柚籽提取物和唇形科植物等。藏红花是我国一种珍稀名贵中药材, 具有药用价值, 可用作食品添加剂, 它含有类黄酮等具有抗氧化作用的活性物质^[53]。Hashemi 等^[54]探究了将藏红花提取物与魔芋胶可食用涂膜复合使用对鲜切黄瓜的抑菌效果和品质的影响, 研究发现, 此复合处理可使鲜切黄瓜保持良好的抗氧化活性, 具有明显的抑菌作用, 且对革兰氏阳性菌的抑制效果优于革兰氏阴性菌。此外, 随着藏红花花瓣提取物浓度的提高, 鲜切黄瓜中的可溶性固形物含量、总酚含量和 DPPH 自由基清除能力也会随贮藏时间的延长而增加。葡萄柚籽提取物 (Grapefruit seed extract, GSE) 安全无毒, 具有丰富的类黄酮等多酚类物质, 具有抗菌、抗病毒等作用, 它被广泛用于果蔬保鲜领域^[55]。Choi 等^[51]将葡萄柚籽提取物应用于鲜切黄瓜的保鲜上, 结果表明, GSE 单独使用及与 Nisin 和柠檬酸复合使用都可有效抑制鲜切黄瓜表面需氧菌、沙门氏菌和单增李斯特菌的生长, 延缓腐败变质的发生, 从而延长鲜切黄瓜的货架期。水溶胶是植物提取精油时进行蒸汽蒸馏所得的次级产物, 具有抗菌和抗氧化活性, 既安全又无副作用^[56]。学者将百里香、牛至和夏味等 3 种唇形科植物制成水溶胶, 探究了它对鲜切黄瓜的抑菌作用^[57], 结果表明, 三者单独及复配使用均能完全抑制大肠杆菌 O15:H7 的生长, 且不会给人体造成任何健康风险。综上所述, 天然提取物对鲜切黄瓜具有良好的保鲜效果, 而且这种天然抗氧化剂对其他鲜切果蔬的保鲜同样具有广泛的应用前景。

微生物菌体保鲜技术和天然提取物保鲜技术是应用于鲜切黄瓜上的主要生物保鲜技术, 具有安全、高效、对环境友好等优势。蛭弧菌和乳酸链球菌素分别作为微生物和微生物菌体产生的代谢产物, 具有良好的抑菌效果, 能有效保持鲜切黄瓜的食用安全性, 但其稳定性较差, 容易受到其他因素的干扰, 从而影响鲜切黄瓜的保鲜效果。天然提取物中的活性物质不仅可延缓鲜切黄瓜衰老变质, 有效地保持其感官品质, 还能够抑制鲜切黄瓜中微生物的生长繁殖, 将天然提取物与其他物质配合使用能够更好地发挥其抑菌保鲜效果。天然提取物符合人们对绿色健康的消费理念, 也是如今国内外学者研究的热点。生物保鲜技术克服了传统化学保鲜技术的残留问题, 目前它在鲜切黄瓜保鲜方面的报道较少, 有待进一步探索。

4 结语

近年来, 由于鲜切黄瓜符合人们对新鲜、营养、健康的消费需求, 高品质的鲜切黄瓜越来越被消费者所喜爱。黄瓜经过切割后其组织结构会被破坏, 增加了微生物的侵染概率, 给鲜切黄瓜的运输和贮藏带来了极大困难。目前, 国内外有关鲜切黄瓜的保鲜技术主要以物理保鲜技术为主, 包括超声波、短波紫外线、常压低温等离子体、气调保鲜等保鲜技术, 相比之下, 壳聚糖涂膜、1-MCP 等化学保鲜技术, 乳酸链球菌素、蛭弧菌和天然提取物等生物保鲜技术等的相关研究较少。综合比较各保鲜技术对鲜切黄瓜的保鲜效果发现, 采用物理与其他保鲜技术相结合具有巨大的研究潜力和广泛的发展前景, 今后可以此为基础开发安全高效无毒的新型保鲜技术, 建立一个安全有效的保鲜体系。另外, 虽然上述保鲜技术可对鲜切黄瓜起到良好的保鲜效果, 但对其品质变化及抑菌的调控机理并不明晰、系统, 未来的研究可利用组学技术、生物信息学、高通量测序技术、现代生物学等技术来深入探究保鲜技术对鲜切黄瓜品质的调控机理。

参考文献:

- [1] 王义国, 白延波. 常见蔬菜的营养价值及生长要求[J]. 中国果菜, 2019, 39(7): 73-76.
WANG Yi-guo, BAI Yan-bo. Nutritional Value and Growth Requirements of Common Vegetables[J]. China Fruit & Vegetable, 2019, 39(7): 73-76.
- [2] 董雪临. 运输振动冲击对三种鲜切蔬菜品质的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 45—50.
DONG Xue-lin. Effect of Transport Vibration on Three Kinds of Fresh-Cut Vegetables[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016: 45—50.
- [3] 濮艳清. 鲜切果蔬高品质短期保鲜包装工艺研究[D].

- 无锡: 江南大学, 2020: 12-15.
- PU Yan-qing. Research on High-Quality Short-Term Fresh-Keeping Packaging Technology of Fresh-Cut Fruits and Vegetables[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 12-15.
- [4] 张志伟. 常压低温等离子体对鲜切胡萝卜表面金黄色葡萄球菌的杀菌效果及品质影响[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(3): 50-55.
- ZHANG Zhi-wei. Effect of Atmospheric Pressure Low-Temperature Plasma on Sterilization Rate of *Staphylococcus Aureus* on Sliced Carrot Surface and Quality Attributes[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(3): 50-55.
- [5] 孙艳, 张志伟, 王世清. 常压低温等离子体对黄瓜表面大肠杆菌杀菌效果及品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(1): 61-67.
- SUN Yan, ZHANG Zhi-wei, WANG Shi-qing. Effect of Atmospheric Pressure Low Temperature Plasma on Sterilization Rate of *Escherichia Coli* on Sliced Cucumber Surface and Quality Attributes[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(1): 61-67.
- [6] SUN Yan, ZHANG Zhi-wei, WANG Shi-qing. Study on the Bactericidal Mechanism of Atmospheric-Pressure Low-Temperature Plasma Against *Escherichia Coli* and Its Application in Fresh-Cut Cucumbers[J]. Molecules, 2018, 23(4): 975.
- [7] 朱莉, 王丹, 马越, 等. 不同包装材料对鲜切黄瓜品质的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(6): 32-36.
- ZHU Li, WANG Dan, MA Yue, et al. The Influence of Different Packaging Materials on Fresh Cut Cucumber Quality[J]. The Food Industry, 2017, 38(6): 32-36.
- [8] SUN Ye-ting, ZHAO Xiao-yan, MA Yue, et al. Inhibitory Effect of Modified Atmosphere Packaging on *Escherichia Coli* O157:H7 in Fresh-Cut Cucumbers (*Cucumis Sativus* L) and Effectively Maintain Quality during Storage[J]. Food Chemistry, 2022, 369: 130969.
- [9] 魏亚博, 郑鄢燕, 赵晓燕, 等. 气调箱贮藏对鲜切黄瓜品质的影响及对假单胞菌的抑制作用[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 180-186.
- WEI Ya-bo, ZHENG Yan-yan, ZHAO Xiao-yan, et al. Effect of Controlled Atmosphere Storage on the Quality of Fresh-Cut Cucumber and Inhibition on *Pseudomonas Plecoglossicida*[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(4): 180-186.
- [10] WEI Ya-bo, ZHENG Yan-yan, MA Yue, et al. Microbiological and Physiological Attributes of Fresh-Cut Cucumbers in Controlled Atmosphere Storage[J]. Journal of Food Protection, 2020, 83(10): 1718-1725.
- [11] 郑鄢燕, 魏亚博, 王宇滨, 等. 气调贮藏对腐败菌引起的鲜切黄瓜品质、滋味和挥发性物质变化的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 252-261.
- ZHENG Yan-yan, WEI Ya-bo, WANG Yu-bin, et al. Effect of Controlled Atmosphere Storage on Changes in Quality, Taste and Volatile Compounds of Fresh-Cut Cucumber Caused by Spoilage Bacteria[J]. Food Science, 2021, 42(5): 252-261.
- [12] LI Mei-lin, LI Xiao-an, HAN Cong, et al. UV-C Treatment Maintains Quality and Enhances Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Strawberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 156: 110945.
- [13] BINTSIS T, LITOPOULOU-TZANETAKI E, ROBINSON R K. Existing and Potential Applications of Ultraviolet Light in the Food Industry—A Critical Review[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(6): 637-645.
- [14] 赵磊, 王丹, 马越, 等. 短波紫外线照射对鲜切黄瓜片品质的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 205-209.
- ZHAO Lei, WANG Dan, MA Yue, et al. Effect of Ultraviolet C Irradiation on the Quality of Fresh Cut Cucumber Slices[J]. The Food Industry, 2019, 40(5): 205-209.
- [15] ZAMBRANO-ZARAGOZA M L, QUINTANAR-GUERRERO D, GONZÁLEZ-REZA R M, et al. Effects of UV-C and Edible Nano-Coating as a Combined Strategy to Preserve Fresh-Cut Cucumber[J]. Polymers, 2021, 13(21): 3705.
- [16] 张懋, 刘倩. 国内外果蔬保鲜技术及其发展趋势[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(8): 785-792.
- ZHANG Min, LIU Qian. Study on Present Situation and Development Trends of Fruit & Vegetable Preservation in the World[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2014, 33(8): 785-792.
- [17] 刘文玲, 陈晨, 张瑞东, 等. 储藏温度对侵入鲜切胡萝卜、黄瓜内部大肠杆菌生长的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 330-333.
- LIU Wen-ling, CHEN Chen, ZHANG Rui-dong, et al. Effect of Storage Temperature on the Fate of Internalized *E Coli* in Fresh-Cut Carrots and Cucumbers[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(22): 330-333.
- [18] 林昱汐, 陈晨, 胡文忠, 等. 清洗处理及储藏温度对鲜切黄瓜中单增李斯特菌生长的影响[J]. 现代园艺, 2015(17): 3-5.
- LIN Yu-xi, CHEN Chen, HU Wen-zhong, et al. Effects of Cleaning and Storage Temperature on the Growth of *Listeria Monocytogenes* in Fresh-Cut Cucumber[J].

- Xiandai Horticulture, 2015(17): 3-5.
- [19] 朱惠文, 汤静, 金鹏, 等. 贮藏温度对鲜切胡萝卜品质及总酚和 γ -氨基丁酸含量的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 213-219.
- ZHU Hui-wen, TANG Jing, JIN Peng, et al. Effect of Storage Temperature on Quality and Total Phenolic and γ -Aminobutyric Acid Content in Fresh-Cut Carrot[J]. Food Science, 2019, 40(9): 213-219.
- [20] 张雪, 赵明, 王晶, 等. 温度对鲜切西兰花贮藏保鲜的影响[J]. 化学与黏合, 2019, 41(1): 46-48.
- ZHANG Xue, ZHAO Ming, WANG Jing, et al. Effect of Temperature on Storage and Preservation of Fresh-Cut Broccoli[J]. Chemistry and Adhesion, 2019, 41(1): 46-48.
- [21] MENG Xiang-yong, ZHANG Min, ADHIKARI B. Extending Shelf-Life of Fresh-Cut Green Peppers Using Pressurized Argon Treatment[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 71: 13-20.
- [22] 孟祥勇. 加压氩气及其联合处理对鲜切青椒和黄瓜保鲜的影响及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 49-64.
- MENG Xiang-yong. Studies on the Effects and Mechanisms of Pressurized Argon and Its Combined Treatments on Fresh-Keeping of Fresh-Cut Green Pepper and Cucumber[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013: 49-64.
- [23] MENG Xiang-yong, ZHANG Min, ZHAN Zhong-gang, et al. Changes in Quality Characteristics of Fresh-Cut Cucumbers as Affected by Pressurized Argon Treatment[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(3): 693-701.
- [24] 范凯. 超声波/涂膜联合气调处理对鲜切生菜和黄瓜冷藏品质及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 19-21.
- FAN Kai. Study on the Quality and Mechanism of Ultrasound/Coating Combined with Modified Atmosphere Treatment on Fresh-Cut Lettuce and Cucumber during Cold Storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 19-21.
- [25] FAN Kai, ZHANG Min, JIANG Fang-jun. Ultrasound Treatment to Modified Atmospheric Packaged Fresh-Cut Cucumber: Influence on Microbial Inhibition and Storage Quality[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 54: 162-170.
- [26] FAN Kai, ZHANG Min, CHEN Hui-zhi. Effect of Ultrasound Treatment Combined with Carbon Dots Coating on the Microbial and Physicochemical Quality of Fresh-Cut Cucumber[J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13(4): 648-660.
- [27] 侯茜. 鲜切黄瓜品质影响因素的研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2017: 45-53.
- HOU Qian. Research of Factors Influencing the Quality of Fresh-Cut Cucumber[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2017: 45-53.
- [28] MATHEUS J R V, ASSIS R M, CORREIA T R, et al. Biodegradable and Edible Film Based on Persimmon (*Diospyros Kaki* L) Used as a Lid for Minimally Processed Vegetables Packaging[J]. Food and Bioprocess Technology, 2021, 14(4): 765-779.
- [29] TIRAWAT D, MENO A, FUJIWARA H, et al. Development of Rapid Hygrothermal Pasteurization Using Saturated Water Vapor[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(3): 458-463.
- [30] LI Chang-zhu, CHEN Wen-qing, SIVA S, et al. Electrospun Phospholipid Nanofibers Encapsulated with Cinnamaldehyde/HP- β -CD Inclusion Complex as a Novel Food Packaging Material[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 28: 100647.
- [31] ARJUN P, SEMWAL D, BADONI SEMWAL R, et al. Quality Retention and Shelf-Life Improvement of Fresh-Cut Apple, Papaya, Carrot and Cucumber by Chitosan-Soy Based Edible Coating[J]. Current Nutrition & Food Science, 2015, 11(4): 282-291.
- [32] FAN Kai, ZHANG Min, GUO Chao-fan, et al. Laser-Induced Microporous Modified Atmosphere Packaging and Chitosan Carbon-Dot Coating as a Novel Combined Preservation Method for Fresh-Cut Cucumber[J]. Food and Bioprocess Technology, 2021, 14(5): 968-983.
- [33] OLAWUYI I F, PARK J J, LEE J J, et al. Combined Effect of Chitosan Coating and Modified Atmosphere Packaging on Fresh-Cut Cucumber[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(3): 1043-1052.
- [34] OLAWUYI I F, LEE W. Influence of Chitosan Coating and Packaging Materials on the Quality Characteristics of Fresh-Cut Cucumber[J]. Korean Journal of Food Preservation, 2019, 26(4): 371-380.
- [35] TASTAN Ö, PATARO G, DONSİ F, et al. Decontamination of Fresh-Cut Cucumber Slices by a Combination of a Modified Chitosan Coating Containing Carvacrol Nanoemulsions and Pulsed Light[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 260: 75-80.
- [36] THEWES F R, ANESE R O, THEWES F R, et al. Dynamic Controlled Atmosphere (DCA) and 1-MCP: Impact on Volatile Esters Synthesis and Overall Quality of 'Galaxy' Apples[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 26: 100563.

- [37] 邓红军, 陈小红, 李萍, 等. 1-MCP 处理对采后机械损伤黄瓜生理生化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 332-335.
- DENG Hong-jun, CHEN Xiao-hong, LI Ping, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene Treatments on Physiological and Chemical Characteristics of Cucumber Fruits Suffered Mechanical Damage during Post-Harvest[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(9): 332-335.
- [38] HU Yun-feng, HAO Yi-cheng, WEI Zeng-yu, et al. Effect of 1-MCP Coupling with Carbon Dioxide Treatment on Antioxidant Enzyme Activities and Quality of Fresh-Cut Fuji Apples[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(12): e14903.
- [39] WU Dan, ZHANG Min, BHANDARI B, et al. Combined Effects of Microporous Packaging and Nano-Chitosan Coating on Quality and Shelf-Life of Fresh-Cut Eggplant[J]. Food Bioscience, 2021, 43: 101302.
- [40] MASSOLO J F, GONZÁLEZ FORTE L, CONCELLÓN A, et al. Effects of Ethylene and 1-MCP on Quality Maintenance of Fresh Cut Celery[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 148: 176-183.
- [41] COSWOSCK K H C, GIORGETTE M A, LEPAUS B M, et al. Impact of Alternative Sanitizers on the Physicochemical Quality, Chlorophyll Content and Bioactive Compounds of Fresh Vegetables[J]. Food Science and Technology, 2021, 41(2): 328-334.
- [42] 李小卫, 李宜霖, 侯茂书, 等. 不同清洗剂对鲜切黄瓜杀菌效果和生理指标的影响[J]. 北京农学院学报, 2020, 35(3): 111-116.
- LI Xiao-wei, LI Yi-lin, HOU Mao-shu, et al. Effects of Different Washing Agents on Sterilization and Physiological Indexes of Fresh-Cut Cucumber[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2020, 35(3): 111-116.
- [43] 王福东, 侯田莹, 郑淑芳. 不同加工用水温度对鲜切黄瓜贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 13-18.
- WANG Fu-dong, HOU Tian-ying, ZHENG Shu-fang. Effect of Different Processing Water Temperature on Storage Quality of Fresh-Cut Cucumber[J]. Storage and Process, 2019, 19(5): 13-18.
- [44] 李冬梅. 控制鲜切黄瓜片上鼠伤寒沙门氏菌的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 22-67.
- LI Dong-mei. Study on Elimination of Salmonella Typhimurium on Fresh-Cut Cucumber Slices[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011: 22-67.
- [45] GUO Yan-biao, LI Ming-jia, HAN Hong-cai, et al. *Salmonella Enterica* Serovar Choleraesuis on Fresh-Cut Cucumber Slices after Reduction Treatments[J]. Food Control, 2016, 70: 20-25.
- [46] LIU Zhu-qing, DONG Yu, JIANG Wen-shan. Decontamination Efficiency of Slightly Acidic Electrolyzed Water on Fresh-Cut Cucumbers[J]. International Journal of Food Engineering, 2011, 7(5): 341-350.
- [47] SUN S H, KIM S J, KWAK S J, et al. Efficacy of Sodium Hypochlorite and Acidified Sodium Chlorite in Preventing Browning and Microbial Growth on Fresh-Cut Produce[J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2012, 17(3): 210-216.
- [48] YOUNKES D, HELMAN Y, BURDMAN S, et al. Potential Control of Potato Soft Rot Disease by the Obligate Predators *Bdellovibrio* and Like Organisms[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2020, 86(6): e02543.
- [49] MCMANAMON O, KAUPPER T, SCOLLARD J, et al. Nisin Application Delays Growth of *Listeria Monocytogenes* on Fresh-Cut Iceberg Lettuce in Modified Atmosphere Packaging, while the Bacterial Community Structure Changes within one Week of Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 147: 185-195.
- [50] 王佳宇, 胡文忠, 管玉格, 等. 乳酸链球菌素抑菌机理及在食品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 346-350.
- WANG Jia-yu, HU Wen-zhong, GUAN Yu-ge, et al. Research Progress on the Bacteriostatic Mechanism of Nisin and Its Application in Food Preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 346-350.
- [51] CHOI J S, LEE Yu-ri, HA Yu-mi, et al. Antibacterial Effect of Grapefruit Seed Extract (GSE) on Makgeolli-Brewing Microorganisms and Its Application in the Preservation of Fresh Makgeolli[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(6): M1159-M1167.
- [52] 陈晨, 胡文忠, 何煜波, 等. Nisin 和柠檬酸对纯培养及鲜切黄瓜中单增李斯特菌的杀菌效果[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 273-276.
- CHEN Chen, HU Wen-zhong, HE Yu-bo, et al. The Disinfection Effect of Nisin and Citric Acid Against *Listeria Monocytogenes* in Pure Culture and on Fresh-Cut Cucumbers[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(5): 273-276.
- [53] 陈冰洁, 乔勇进, 赵新民, 等. 藏红花开发与利用的

- 研究进展[J]. 农产品加工, 2021(6): 70-72.
- CHEN Bing-jie, QIAO Yong-jin, ZHAO Xin-min, et al. Research Progress on the Development and Utilization of *Crocus Sativus* L[J]. Farm Products Processing, 2021(6): 70-72.
- [54] HASHEMI S M B, JAFARPOUR D. The Efficacy of Edible Film from Konjac Glucomannan and Saffron Petal Extract to Improve Shelf Life of Fresh-Cut Cucumber[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(7): 3128-3137.
- [55] TAN Y M, LIM S H, TAY B Y, et al. Functional Chitosan-Based Grapefruit Seed Extract Composite Films for Applications in Food Packaging Technology[J]. Materials Research Bulletin, 2015, 69: 142-146.
- [56] 张雪, 左希敏, 刘涛. 水溶胶作为食品抗菌剂的潜在应用[J]. 中国调味品, 2018, 43(9): 189-191.
- ZHANG Xue, ZUO Xi-min, LIU Tao. Potential Application of Hydrosol as Food Antibacterial Agent[J]. China Condiment, 2018, 43(9): 189-191.
- [57] SAGDIC O, OZTURK I, TORNUK F. Inactivation of Non-Toxigenic and Toxigenic *Escherichia Coli* O157: H7 Inoculated on Minimally Processed Tomatoes and Cucumbers: Utilization of Hydrosols of Lamiaceae Spices as Natural Food Sanitizers[J]. Food Control, 2013, 30(1): 7-14.

责任编辑: 彭颀