

植物精油对病原微生物作用机制及在浆果保鲜上的研究进展

李德海^{1,2*}, 蒋沙沙¹

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)(2. 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 浆果类水果肉质多汁、营养丰富, 但采后易于病原微生物生长, 从而引起腐败变质, 故对浆果中的病原微生物进行抑菌研究是浆果保鲜的关键。植物精油是天然植物体内重要的次生代谢产物, 具有广泛的抑菌性能。该文归纳了天然植物精油的来源及主要活性成分, 在总结近几年天然植物精油对病原微生物抑菌机制的基础之上, 综述了不同精油保鲜方式对浆果类水果进行抑菌保鲜的应用研究进展, 并对植物精油应用于浆果保鲜的安全性进行评价。以期寻求能够替代传统保鲜剂的天然生物资源提供新途径。

关键词: 浆果类水果; 植物精油; 病原微生物; 抑菌机理; 浆果保鲜

文章编号: 1673-9078(2022)08-352-360

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.0026

Research Progress on the Action Mechanisms of Plant Essential Oils against Microorganisms and Its Application in Berry Preservation

LI Dehai^{1,2*}, JIANG Shasha¹

(1. College of Forestry, Northeast Forest University, Harbin 150040, China)

(2. Key Laboratory of Forest Food Resources Utilization of Heilongjiang Province, Harbin 150040, China)

Abstract: The pulp of berry fruits is juicy and rich in nutrition; however, it is prone to pathogen growth after harvest, which can lead to spoilage and deterioration. Thus, antimicrobial research on pathogenic microorganisms in berries is key to berry preservation. Plant essential oils are important secondary metabolites of natural plants with a wide range of antimicrobial activities. The sources and main active components of natural plant essential oils are summarized in this paper. Recent research on the antimicrobial mechanisms of natural plant essential oils against pathogenic microorganisms was collated to review the research progress on the application of different essential oils in the preservation of berry fruits and evaluate the safety of plant essential oils in berry preservation. Our findings can provide a new approach for the replacement of traditional preservatives with natural biological resources.

Key words: berry fruits; plant essential oils; pathogenic microorganisms; antimicrobial mechanisms; berry preservation

引文格式:

李德海, 蒋沙沙. 植物精油对病原微生物作用机制及在浆果保鲜上的研究进展[J]. 现代食品科技, 2022, 38(8): 352-360, +26

LI Dehai, JIANG Shasha. Research progress on the action mechanisms of plant essential oils against microorganisms and its application in berry preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 352-360, +26

随着国内经济快速发展, 饮食多元化成为为满足居民对日益增长的物质文化生活的一种需求, 这也促进了中国浆果类鲜果市场需求持续攀升。浆果分为不同的科属, 如茄科、猕猴桃科、忍冬科、杜鹃科、葡萄科等。浆果不但果肉水分含量高, 并且含有丰富的

收稿日期: 2022-01-08

基金项目: 黑龙江省自然科学基金面上项目 (G2015062); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2572019BA04); 哈尔滨市科技局创新研究基金项目 (2017RAQXJ091)

作者简介: 李德海 (1976-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品化学及植物有效成分, E-mail: lidehaineau@163.com

糖、蛋白质、有机酸、维生素、矿物质等营养物质, 以及多酚、花青素、黄酮等具有生理活性的物质^[1]。而采后由病原微生物污染导致浆果的腐烂变质是造成其采后浆果保鲜的主要原因之一。这些病原微生物一旦感染到浆果中, 就会使其果皮破裂, 果肉软烂, 失去固有的光泽与风味。并造成浆果腐败变质, 进而给果农造成巨大的经济损失。目前, 化学防腐保鲜剂在我国浆果类水果贮藏中已得到广泛应用, 但同时化学防腐剂存在诱癌性、致畸性和易引起食物的慢性中毒等不安全问题^[2]。因此, 开发天然安全无毒害的浆果保鲜抑菌剂显得尤为重要。

表 1 植物精油的主要活性成分及对浆果中常见的病原菌的抑菌作用

Table 1 The main active components of plant essential oils and their bacteriostasis to common pathogens in berries

植物精油	科属	主要植物	主要活性成分	浆果种类	主要抑菌微生物	参考文献
肉桂精油	樟科 樟属	肉桂	肉桂醛	玫瑰香葡萄	链格孢菌、尖孢镰刀菌、 灰葡萄孢菌	[11]
莳萝精油		莳萝	香芹酮	树莓	酵母菌、霉菌	[12]
百里香精油	唇形科 百里香属	百里香	樟脑、 α -蒎烯、 β -蒎烯	蓝莓	气单孢菌、枯草芽孢杆菌	[13]
牛至精油	唇形科 牛至属	牛至	香芹酚、麝香草酚	蓝莓	沙门氏菌、大肠杆菌	[13]
迷迭香精油	唇形科 迷迭香属	迷迭香	α -蒎烯、L-乙酸龙脑酯	桑葚 樱桃	单核细胞增生李斯特菌、 枯草芽孢杆菌、胶孢炭疽菌	[14]
罗勒精油	唇形科 罗列属	罗勒草	罗勒烯、 α -蒎烯、1,8-桉叶素	桑葚 樱桃	单核细胞增生李斯特菌、 枯草芽孢杆菌、胶孢炭疽菌	[14]
薄荷精油	唇形科 薄荷属	薄荷	薄荷醇	蒲桃	黄曲霉、胶孢炭疽菌、根霉	[15]
丁香精油	桃金娘科 蒲桃属	丁香花	丁香酚		单核细胞增生李斯特菌、沙门氏菌	[16]
鼠尾草精油	唇形科 鼠尾草属	鼠尾草	α -蒎烯、 β -蒎烯 樟脑	猕猴桃	灰霉	[17]
柠檬草精油	禾本科 香茅属	柠檬	香叶醇、柠檬醛			[18]
肉豆蔻精油	肉豆蔻科 肉豆蔻属		松油醇、肉豆蔻油醚	越橘	大肠杆菌、互隔交链孢菌、 单核细胞增生李斯特菌	[19]
芸香精油	芸香科 柑橘属		芸香苷	醋栗	黑曲霉、酵母菌	[20]
酸橙精油	芸香科 柑橘属	酸橙	芳樟醇、 α -松油醇	山竹	曲霉	[21]
薰衣草精油	唇形科 薰衣草属	薰衣草	芳樟醇、乙酸芳樟酯	樱桃番茄	单核细胞增生李斯特菌、链隔孢菌	[22]
茴香精油	伞形科 孜然芹属	茴香	茴香脑、马郁兰酚	黑加仑	链格孢菌、指状青霉、大肠杆菌	[23]
茶树精油	桃金娘科 白千层属	茶树	孟乙烯	森林草莓	大肠杆菌	[24]
玫瑰精油	蔷薇科 蔷薇属	玫瑰花	香叶醇、香茅醇	蓝靛果	腐败希瓦氏菌、匍匐枝霉和黑曲霉	[25]
葡萄柚精油	芸香科 柑橘属	葡萄柚	松萜或蒎烯、桉烯、月桂烯	葡萄	青霉菌、曲霉菌	[26]

植物精油 (essential oils, EOs), 又称香精油、芳香油和挥发油, 从植物的花、叶、根、皮或全植物中以蒸馏、压榨等方式提炼而得, 属于植物体内的次生代谢物质, 具有一定挥发特性的油状混合物液体的总称^[3]。对病原微生物具有很好的抑菌作用, 同时具有

无毒低残留、天然环保、不易产生依赖性与抗药性等特点^[4], 常用于水果、蔬菜、鲜肉、鲜蛋的保鲜。但是, 植物精油提取成本高、耗时大、化学成分复杂, 且本身易挥发的特殊香气有可能对有些浆果本身的香气造成影响^[5]。因此, 在使用天然植物精油对浆果进

行贮存保鲜时,不同成分之间的协同作用可能产生更加有效的抑菌保鲜效果,也可以与其他的天然物质结合制成为微纳米材料代替单一植物精油的使用^[6]。这就大大减少了贮藏浆果时的成本,也减少对浆果品质的影响。针对采后浆果遭受病原微生物侵入导致浆果腐败变质这一问题,总结近几年天然植物精油对病原微生物抑菌机制的研究进展,并对采后浆果类水果运用植物精油贮藏保鲜研究现状进行分类综述,展望了植物精油在浆果保鲜中的发展趋势,以期为后期拓展其应用领域提供理论参考。

1 植物精油来源及活性成分

植物精油是植物源保鲜剂的一种,在生物保鲜技术研究领域中备受关注^[7]。植物精油为芳香植物的高度浓缩脂溶性天然化合物,具有挥发性、高渗透性等特点,并且借其安全、高效、可被人体消化道降解等诸多优点^[8],被作为很有应用前景的天然保鲜剂。目前研究发现植物精油天然来源广泛,已有 17000 多种芳香植物能够产生精油,通常属于被子植物科、唇形

科、芸香科、桃金娘科、姜科和菊科木兰科等^[9],也是天然产物化合物的可持续资源。并且自中世纪以来,植物精油已被广泛用于制药、卫生、化妆品、农业和食品行业中^[10]。植物精油构成成分复杂,包含 100 多种,主要是醇类、醛类、酸类、酚类、丙酮类、萜烯类等,大多成分具有抗氧化、抗菌、抗病毒等多方面的生物活性。其中,最主要的是它可作为天然抑菌剂的重要来源,对病原微生物具有很好的抑菌作用。常见植物精油的主要活性成分及对浆果中常见的病原菌的抑菌作用如表 1 所示。

2 植物精油对病原微生物的抑菌机理

由于植物精油的种类和官能团位置不同,所以针对不同的病原微生物的机制不尽相同,植物精油对微生物的作用靶点及抑菌机制如图 1 所示^[27]。植物精油抗病原微生物作用的机制主要体现在四个方面:(1)破坏细胞膜结构;(2)影响细胞内生物大分子合成;(3)紊乱能量代谢;(4)破坏病原菌的菌丝和分生孢子的结构。

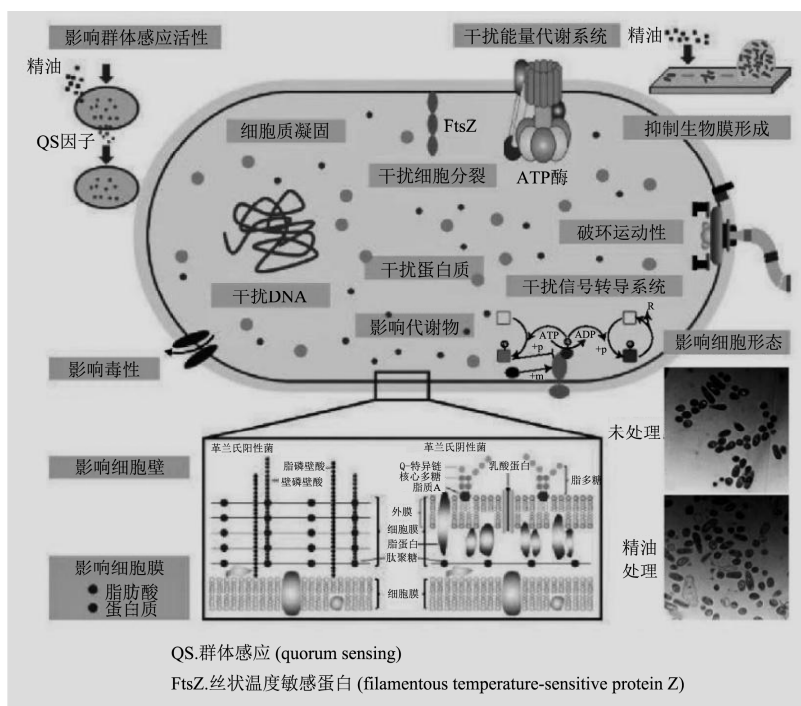


图 1 植物精油对微生物的作用靶点及抑菌机制^[27]

Fig.1 Target and antibacterial mechanism of plant essential oil on microorganisms^[27]

2.1 改变细胞膜发挥抑菌作用

植物精油可以通过破坏病原微生物的细胞膜,使膜结构发生巨大变化,细胞内物质的流失,致使病原菌死亡,从而达到抑菌效果。通过破坏膜内外的电位差、通透性、完整性 3 种方式作用于病原微生物细胞膜,产生抑制作用。首先细胞膜内外形成电位差。Song

等^[28]研究柑橘精油处理过的金黄色葡萄球菌的荧光强度显著下降,使细胞膜电位发生变化,导致细胞代谢活动异常,扫描电子显微镜图像也显示出细胞膜受到破坏,从而实现抑菌作用。其次影响细胞膜的通透性。薄荷精油对病原微生物的抗菌机理,利用流式细胞术技术通过荧光探头的渗透能力不同,来识别细胞中的 DNA 是否外流。结果表明薄荷精油通过破坏大肠杆菌、

单增李斯特菌和肠炎沙门氏菌的细胞膜,增加膜的渗透性,抑制了细菌呼吸活性^[29]。再者是破坏细胞膜的完整性。水晶紫罗兰很容易进入受损细胞,并对其吸收的特点,根据细胞对紫罗兰的吸收量的大小,可以判断细胞膜破坏的完整性的程度^[30]。另外,以1.00 g/L浓度的芥末精油包合物处理棘孢曲霉60 h后(处理组),同时以未进行芥末精油包合物处理的为对照组。处理组 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶活性相比对照组有所上升,推测细胞壁的主要结构成分 β -1,3-葡聚糖和几丁质发生了更多的降解,导致棘孢曲霉死亡^[31]。

2.2 改变核酸和蛋白质发挥抑菌作用

病原微生物的基本结构核酸或者蛋白质,任何一个受到损伤或破坏,都会影响遗传物质正常的复制表达及病原微生物的生长繁殖。植物精油及其主要成分不但可以破坏核酸基本的双螺旋结构,还可以抑制基因表达,阻止蛋白质合成。丁香油通过阻止单核细胞相关基因中的蛋白质表达,进而阻碍相关蛋白质和酶的合成进而发挥抗菌作用,导致细胞中蛋白质表达量减少,产生抑菌活性^[32]。Rodrigo等^[33]证实了丁香精油和迷迭香精油对黄曲霉的作用机制,结果显示两种精油通过核浓缩和质膜损伤来诱导细胞凋亡,并且可以使*laeA*基因、*lipA*基因和*metP*基因(编码金属蛋白酶)三个基因的表达量发生下调,达到抑菌的效果。Tagliati等^[34]研究发现百里香、香茅、迷迭香挥发精油可直接作用于蛋白质,使得其合成过程中的复合物的稳定性发生变化。李燕妮等^[35]研究了芥末精油包合物对红毛丹的优势致病微生物棘孢曲霉的DNA和RNA的生物合成和代谢受到显著影响;酶活性相关基因、跨膜运输调节相关基因受到显著影响;有丝分裂过程受到严重抑制从而抑制体细胞产生;呼吸电子传递链及能量代谢水平受到显著抑制。精油对蛋白质结构影响尚存在短板,并且对DNA的具体作用位点也尚不明确。

2.3 改变细胞代谢过程发挥抑菌作用

天然植物精油从通过影响病原微生物的代谢过程,发挥抑菌作用。Qian等^[36]研究发现香草酸可以改变耐碳青霉烯类阴沟肠杆菌细胞内ATP的浓度。麝香草酚可抑制沙门氏菌ATP合成酶活性,影响柠檬酸代谢途径,进而干扰三羧酸循环进程。另外,通过线粒体中活性氧供给变化可以影响细胞代谢,马鞭草精油去处理黄曲霉,发现菌体内活性氧迅速增加,线粒体的功能紊乱使细胞死亡^[37]。葡萄糖是微生物形成ATP的重要物质,改变培养基中葡萄糖含量,对比精油主

要成分丁香酚对单增李斯特菌能量合成过程中的抑制作用,当含量少时能够抑制合成ATP过程反应途径中关键酶ATP合成酶的活性。并可能引起细胞离子泄漏,从而分散质子动力,导致其代谢紊乱^[38]。这些精油极大地改变了病原微生物的形态结构,最终抑制病原微生物生长。

2.4 破坏菌丝和分生孢子结构

根据病原微生物菌丝或孢子的生长情况,选择抑制其生长作用强的植物精油以达到阻断病原微生物的生长繁殖。目前国内外对病原微生物菌丝以及孢子生长的影响情况研究较少。(1)针对菌丝形态。Bomfim等人^[39]探究百里香酚在一定浓度能够有效抑制枯萎病菌,主要表现为菌丝生长缓慢,菌丝表现外形细弱,分支有明显的减少并会伴随部分菌丝发生断裂的情况发生。甜樱桃采后优势致病真菌分别为灰葡萄孢菌、链格孢菌和胶孢炭疽菌。丁香精油有较强的精油疏水性,通过抑制3种真菌菌丝生长和孢子萌发,破坏了菌丝形态,抑制其生长^[40]。(2)针对分生孢子。用槟榔叶精油处理的黄曲霉孢子,使细胞内成分释放,黄曲霉孢子受损,最终使孢子失活,孢子失活的最小浓度为15 μ L/mL。但是,当花椒精油浓度为8 μ L/mL时,黄曲霉菌丝生长和孢子萌发完全被抑制^[41]。这说明导致浆果霉变的主要优势菌种根据其种类的不同而有所差异,所以选取多种植物精油的抑菌效果不一。

3 植物精油在浆果保鲜中的应用

3.1 植物精油对浆果的保鲜

植物精油在浆果保鲜中的应用分为两种,一是植物精油单独作用于浆果的保鲜,二是不同植物精油复配组合用于浆果保鲜。Jhalegar等^[42]研究了柠檬草、桉树、丁香等精油对金诺柑桔采后病原菌的抑菌活性。结果表明,精油处理对指状青霉和意大利青霉引起的青霉病和蓝霉病有较好的防治效果。对处理后的果实未造成任何伤害,也未表现出其他植物毒性作用,果实品质也未发生变化。另外,有研究用香樟精油、罗勒精油以及薄荷精油协同处理草莓中的炭疽菌、灰霉菌和念珠菌,结果维持草莓的Vc含量,减少了黄酮和多酚的损失速率,呼吸代谢、抑制非酶类抗氧化物质的分解、抗氧化酶活性的下降,可较长时间保持草莓的新鲜度^[43]。

3.2 精油与气调保鲜方式协同保鲜作用研究

目前,以植物精油为基础,辅以气调、紫外、无

菌膜、纳米管道等方式处理用于控制即食新鲜浆果中的微生物种群。在 Valverde 等^[44]进行的一项研究中,将鲜食葡萄放入含有丁香酚、百里香酚或薄荷醇精油(各 0.5 mL)的无穿孔取向聚丙烯袋中,在 1 °C 的黑暗条件下贮藏 35 d。植物精油联合气调包装保持了果实的颜色、质地、硬度,减少了果肉的老化、腐烂、失重等的现象。然而,在打开包装后有精油的微小气味,但很快消失。即使品尝了葡萄,特有的香气仍然存在。也有研究用 0.2% 的柠檬草精油结合 5%~10% O₂ 和 10%~15% CO₂ 气调包装在 4±1 °C 下贮藏 3、6、9、12、15、18 和 21 d,结果表明精油与气调包装协同作用下可以有效抑制草莓霉变的速率,使其保鲜时间最长可延长到 18 d,并对草莓的感官影响极小^[45]。这可能与精油的使用种类和浆果的主要风味物质有关。

3.3 植物精油纳米微胶囊保鲜作用研究

微胶囊技术是利用天然高分子材料对物质进行诱捕,形成微粒子产品包埋的技术。微胶囊化减少了精油使用中的高挥发性和快速消散等问题,且缓慢释放有效地减缓活性组分的挥发^[46]。近年来,纳米微胶囊技术在我国浆果保鲜中也充当十分重要的角色,主要是通过向浆果储藏环境中释放抗菌、抗氧精油挥发物来延长浆果的保鲜周期。在 5 °C 冷藏条件下研究了丁香精油壳聚糖纳米胶囊对石榴的保鲜效果,通过总可溶性固体含量、可溶性酸度、pH 值、总苯酚和总花青素含量的测定,证明使用丁香精油壳聚糖纳米胶囊保鲜可以明显减少酵母菌和霉菌的数量,延长保质期并控制石榴中不良微生物的生长代谢,且不会发生不良的理化和感官变化^[47]。Cheng 等^[48]将肉桂精油加入微胶囊对芒果进行涂膜,加入微胶囊的活性包装通过缓释精油有效成分保鲜芒果,从而控制包装内部的微环境,达到抗菌抗氧化保鲜的目的。另一项研究中,采用离子胶凝法以丁香精油为芯材,壳聚糖为壁材,三聚磷酸钠为交联剂,制备丁香精油壳聚糖纳米微胶囊。对从樱桃番茄中分离纯化的 3 种真菌微生物产生抑菌作用,5 °C 贮藏可以维持樱桃番茄体内活性物质的含量,延缓果实软化,将货架期延长至 12 d,并且与对照相比,樱桃番茄的硬度和颜色得到了更好的保持^[49]。这为浆果保鲜开发新型天然保鲜剂奠定理论基础。因此,在延长新鲜水果的保质期的同时,这些物质被包裹起来以控制不良的感官变化。

3.4 植物精油合成复合可食薄膜保鲜作用研究

食用薄膜是用于食品保存和延长货架寿命的活性

包装。具有抗氧化和抗菌性能,防止浆果中微生物的腐败,最大限度地保护浆果的感官性能和固有品质^[50]。Perdones 等^[51]研究将柠檬精油-壳聚糖形成复合薄膜用于野草莓的保鲜,复合薄膜处理保持其主要的风味物质萜类化合物含量,大大减弱了相关成分的挥发,这说明在一定贮存条件下对野草莓品质、感官、风味特性都有明显的积极作用。Mei 等^[52]用碳甲基纤维素与中国冷杉精油结合研究,复合薄膜对革兰阳性细菌和青霉素具有极好的抑制作用。使用碳甲基纤维素+1%中国冷杉精油处理葡萄,在储存过程中保持最佳活性性能。He 等^[53]研究以壳聚糖为外层,以海藻酸钠和两亲性淀粉包覆的抗菌肉桂精油为内层,用壳聚糖替代聚乙烯薄膜,制备了可降解抗菌膜,当壳聚糖添加量为 0.5% 时,可降解抗菌膜具有较好的保鲜性和力学性能。对樱桃的保鲜试验表明,其保鲜效果能达到两周左右。具有较高的保鲜应用潜力。

3.5 植物精油合成纳米乳液保鲜作用研究

除了上面提到的几种活性包装外,纳米乳液还因其能够克服植物精油稳定性低。由于其纳米尺寸的液滴增加了活性表面积,能够改善了植物精油活性化合物在目标致病菌优先位于食物基质区域的功效。因此纳米乳液被认为比常规乳液具有优异的抗菌活性。目前,精油纳米乳液作为优秀活性包装在浆果保鲜应用中在迅速发展^[54]。Oh 等^[55]利用动态高压处理(DHP)技术与高剪切探针混合(HSM)技术制备了两种含有中等分子量壳聚糖-柠檬草精油纳米乳液,分别对 4 °C 和 25 °C 储存葡萄上的鼠伤寒沙门氏菌进行抑菌活性的测定。与未做处理的葡萄相比,DHP 纳米乳液与 HSM 纳米乳液涂层都有效减少了葡萄浆果贮藏过程中的微生物生长和品质劣化。并使颜色、可溶性固形物(SSC)和抗氧化活性(DPPH)保留。Hf 等^[56]将丁香、肉桂和薰衣草精油单独封装并组合成纳米乳液,然后研究其物化特性和大肠杆菌灭活动力学特性。利用乳化作为改善活性物质在水中的分散性,赋予增加聚合和减少降解的功能。减弱香蕉保存过程中大肠杆菌的活性。总体而言,乳化方法通过补充活性物质成功地薄膜提供了多功能性,而不会对其在浆果保鲜过程中的基本性能产生负面影响。

4 存在的问题以及解决办法

4.1 植物精油的安全性

植物精油是天然且可生物降解的化合物,对非目标生物的影响有限,常用于食品保鲜^[57],且长期以来,

植物一直是人类生活中不可或缺的一部分,是一般公认安全(generally recognized as safe, GRAS)产品^[58]。随着消费者需求的增加,测试“天然产品”的成分变得更加重要。因此,研究食品工业中使用的植物精油的化学和毒理学特征更为突出。其中食品法典委员会、食品化学法典等国际组织已经制定了植物精油的良好使用指南,以及植物精油中的最小和最大挥发性成分的数量限制^[59]。根据“安全使用的悠久历史”和“限制原则”等概念判断植物精油在预期使用条件下的安全性。但有人提出,由于植物精油提取自植物,而植物有可能含有多种化学成分,导致植物精油提取纯度下降,若将其用于果蔬保鲜,会影响其安全性^[60]。但目前这一说法尚需后续验证。

4.2 对浆果采后感官特性的影响

感官方面主要包括风味、色泽、质地等,对消费者的购买决定有很大的影响。在贮藏的新鲜浆果中,风味往往比外观的下降更快,在某些情况下,风味对消费者来说是货架寿命的实际指标^[61]。蓝莓采后在冷藏条件(7℃)下对腐烂真菌进行防治,采用精油熏蒸法对蓝莓进行处理,发现使用迷迭香精油与百里香精油的蓝莓风味有负面影响。处理后显著增加了酸味、涩味与苦味。但是蓝莓的抗氧化性和单体花青素含量没有太大影响^[62]。所以针对不同的浆果选择合适的精油也很重要。Jahani等^[63]将百里香精油和桉树精油固封于琼脂平板中,制成精油香膏,并采用熏蒸法熏蒸石榴,通过石榴保鲜指数,经过33d贮藏,与不经精油香膏熏蒸的相比,虽然腐烂指数降低了12.5%,但石榴的色泽也发生一定的变化,这有可能和植物精油的使用量有关。因此在运用植物精油对浆果进行保鲜时,不同贮存条件以及使用量有可能是导致感官性能变化的原因。Siriwardana等^[64]进行的测试营销试验。关于消费者对罗勒精油处理香蕉的偏好显示,由于其具有令人愉悦的味道,并对香蕉的色泽具有一定的保护作用,消费者对精油处理的香蕉接受度更高,也可能因为罗勒精油对香蕉质地具有保护作用。综上所述,根据食物类型和抑菌浓度谨慎选择精油,可以降低对感官的负面影响。

4.3 解决方法

植物精油对少数物理化学因素敏感,如氧气、光、温度和pH值。在光照下,氧气会导致精油中不饱和化合物氧化并产生自由基,在高温下储存时会损失少量挥发性抑菌成分。此外,一些成分在不同的pH值下非常不稳定,例如柠檬醛,它在酸性环境中很容易

分解,而浆果大多数含量酸性物质^[65]。使用植物精油来贮藏浆果对其条件有一定的要求,应该根据不同的浆果选择对应的精油进行保鲜研究。精油在储存、运输和加工过程中可以通过封装得到保护,这不仅可以免受各种物理化学因素的影响,还可以掩盖其特殊气味,并将其转化为水溶性粉末^[66]。另外,微纳米结合精油的技术可以缓慢释放精油成分,最大限度保留浆果固有风味并延长保质期。并且,食品级封装材料和封装技术应与含有精油的食品基质的性质一致。要引入液体中的精油必须转化为液体胶体分散体或纳米乳液和微乳液,或者它们可以包含在水溶性分子系统中,减少对精油抑菌成分的影响^[67]。

5 结论与展望

5.1 采用天然保鲜剂替代化学防腐保鲜剂是食品行业和消费市场发展的大趋势,天然植物精油用于果蔬保鲜取得了良好效果。虽然近年来对植物精油的抑菌机理的研究逐步深入,但由于植物精油活性物质成分组成复杂、气味多样、机制靶点多变、抑菌机制尚未完全明确。另外,在未来对于植物精油结合不同浆果自身的特点及致病微生物的差异性,筛选最佳的植物精油或植物精油纳米技术保鲜剂仍然是研究的重点。

5.2 精油具有独特的香气,使用不当会对浆果本身的感观特性产生一定的影响。所以在将来对不同种类的浆果进行保鲜时,可以通过精油特殊香气成分针对性的进行选择,也可加入微纳米技术解决这一问题。针对外部环境对精油的影响,精油生物活性化合物的封装保护可以免受外部环境条件的影响,并掩盖其强烈的风味。有效减弱精油对浆果感官品质的影响,使浆果最大可能保持原有的特性。当然,在保持新鲜浆果质量方面的整体效果取决于精油的类型及其成分、包装材料类型、食品品种、病原体类型、应用方法等。总体来讲,植物精油安全性高,抑菌力强,保鲜效果突出,是一类前景较好的天然保鲜剂。

参考文献

- [1] Amanda R, Charles F M, Ibrahim M A, et al. Application of solvent pH under pressurized conditions using accelerated solvent extraction and green solvents to extract phytonutrients from wild berries [J]. Food Bioscience, 2022, 47: 101471
- [2] 孙晴,徐文华,周华坤.青藏高原地区四种野生茶藨子浆果营养成分和生物活性成分分析[J].食品与发酵工业,2021, 47(10):229-234
- SUN Qing, XU Wenhua, ZHOU Huakun. Analysis of nutritional and bioactive components of four wild Ribes

- berries in the Qinghai-Tibet plateau [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 229-234
- [3] Siddique A A, Gupta P, Singh S, et al. Antioxidant, antimicrobial activities and comparative analysis of the composition of essential oils of leaf, stem, flower and aerial part of *Nepeta hindostana* [J]. Plant Biosystems, 2019, 153(2): 242-249
- [4] Falleh H, Jemaa M B, Saada M, et al. Essential oils: a promising eco-friendly food preservative [J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127-268
- [5] Mangalagiri N P, Panditi S K, Jeevigunta N. Antimicrobial activity of essential plant oils and their major components [J]. Heliyon, 2021, 7(4): 06835
- [6] Akpa B, Cg C, Assd E, et al. Essential oils from the genus *Thymus* as antimicrobial food preservatives: progress in their use as nano-emulsions a new paradigm [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 111: 426-441
- [7] 王雪薇. 黑皮油松松针精油纳米乳液的制备及其抑菌活性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021
WANG Xuwei. Preparation and antibacterial activity of black pine needle essential oil nano-emulsion [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2021
- [8] Ni Z J, Wang X, Shen Y, et al. Recent updates on the chemistry, bioactivities, mode of action, and industrial applications of plant essential oils [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 110(1): 78-89
- [9] Wan M, Khamis S. Chemical composition of the essential oil of *Diospyros argentea* [J]. Chemistry of Natural Compounds, 2021, 57(3): 556-557
- [10] Lopez-Reyes J G, Spadaro D, Prella A, et al. Efficacy of plant essential oils on postharvest control of rots caused by fungi on different stone fruits *in vivo* [J]. Journal of Food Protection, 2013, 76(4): 631
- [11] Taghavi T, Kim C, Rahemi A. Role of natural volatiles and essential oils in extending shelf life and controlling postharvest microorganisms of small fruits [J]. Microorganisms, 2018, 6(4): 104
- [12] Gomes M, Cardoso M D G, Guimares A C G, et al. Effect of edible coatings with essential oils on the quality of red raspberries over shelf-life [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(3): 929-938
- [13] Barbosa L N, Alves F C B, Andrade B F M T, et al. Proteomic analysis and antibacterial resistance mechanisms of *Salmonella enteritidis* submitted to the inhibitory effect of *Origanum vulgare* essential oil, thymol and carvacrol [J]. Journal of Proteomics, 2020, 214: 103-625
- [14] Bai T, Baryluk A, Sieniawska E. Application of mixture design for optimum antioxidant activity of mixtures of essential oils from *Ocimum basilicum* L. and *Rosmarinus officinalis* L [J]. Industrial Crops & Products, 2018, 115: 52-61
- [15] Yan J Q, Wu H, Shi F, Wang H L, et al. Antifungal activity screening for mint and thyme essential oils against *Rhizopus stolonifer* and their application in postharvest preservation of strawberry and peach fruits [J]. Journal of Applied Microbiology, 2020, 130(6): 1993-2007
- [16] Somrani M, Debbabi H, Palop A. Antibacterial and antibiofilm activity of essential oil of clove against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enteritidis* [J]. Food Science and Technology International, 2021, 12: 10820132211013273
- [17] Tzortzakis N, Chrysargyris A, Sivakumar D, et al. Vapour or dipping applications of methyl jasmonate, vinegar and sage oil for pepper fruit sanitation towards grey mould [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 118: 120-127
- [18] Naeem A, Abbas T, Ali T M, et al. Effect of guar gum coatings containing essential oils on shelf life and nutritional quality of green-unripe mangoes during low temperature storage [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 113: 403-410
- [19] Sukcharoen O, Sirirote P, Thanaboripat D. Inhibitory activities of *Myristica fragrans* essential oil on *aflatoxigenic* strains [J]. Biotropia, 2019, 1: 16-22
- [20] Maria G L, Pautt Y M, Albis A, et al. Assessment of chitosan-rue (*Ruta graveolens* L.) essential oil-based coatings on refrigerated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) quality [J]. Applied Sciences, 2020, 10(8): 2684
- [21] Olayinka I. Combined impact of peppermint oil and lime oil on mangosteen fruit ripening and mold growth using closed system [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 175C: 111488
- [22] Sun X, Wang J, Zhang H, et al. Development of functional gelatin-based composite films incorporating oil-in-water lavender essential oil nano-emulsions: effects on physicochemical properties and cherry tomatoes preservation [J]. LWT- Food Science and Technology, 2021, 142: 110987
- [23] Liu H X, Zhao H F, Lyu L F, et al. Synergistic effect of natural antifungal agents for postharvest diseases of blackberry fruits [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2019, 99(7): 3343-3349
- [24] Wei Y, Shao X, Feng X, et al. Effect of preharvest application of tea tree oil on strawberry fruit quality parameters and

- possible disease resistance mechanisms [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 241: 18-28
- [25] Cai Y Q, Zhang H, Zhao Y, et al. Effect of composite coating of rose essential oil and chitosan on fresh-keeping of strawberry [J]. *Chinese Fruit and Vegetable*, 2021, 41(6): 61-66
- [26] Aloui H K, Khwaldia L, Sanchez G, et al. Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2014, 49(4): 952-959
- [27] 萨仁高娃,胡文忠,冯可,等.植物精油及其成分对病原微生物抗菌机理的研究进展[J].食品科学,2020,41(11):285-294
SAREN Gaowa, HU Wenzhong, FENG Ke, et al. Advances in the research on the antibacterial mechanism of plant essential oils and their components against pathogenic microorganisms [J]. *Food Science*, 2020, 41(11): 285-294
- [28] Song X Y, Liu T, Wang L, et al. Antibacterial effects and mechanism of mandarin (*Citrus reticulata* L.) essential oil against *Staphylococcus aureus* [J]. *Molecules*, 2020, 25(21): 49-56
- [29] Jossana Pereira de Sousa Guedes, Evandro Leite de Souza. Investigation of damage to *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enteritidis* exposed to *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in pineapple and mango juice by flow cytometry [J]. *Food Microbiology*, 2018, 76: 564-571
- [30] Guo N, Zang Y P, Cui Q, et al. The preservative potential of *Amomum tsaoko* essential oil against *Escherichia coli*, its antibacterial property and mode of action [J]. *Food Control*, 2017, 75: 236-245
- [31] 李燕妮.三种植物精油包合物对红毛丹果实采后病原菌棘孢曲霉的抑菌活性及机理研究[D].海口:海南大学,2021
LI Yani. Antifungal activity and mechanism of three essential oil inclusion compounds against the postharvest pathogen *Aspergillus echinospora* in rambutan fruit [D]. Haikou: Hainan University, 2021
- [32] Zhang C H, Li C Z, Cui H Y, et al. Antibacterial mechanism of clove oil on *Listeria monocytogenes* [J]. *Food Control*, 2018, 94: 140-146
- [33] Rodrigo C O, Magda C, Pedro M, et al. Essential oils trigger an antifungal and anti-aflatoxigenic effect on *Aspergillus flavus* via the induction of apoptosis-like cell death and gene regulation [J]. *Food Control*, 2020, 110: 107038
- [34] Tagliati F, Mischiati C. Chemical composition of essential oils from *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon citratus*, and *Rosmarinus officinalis*, and their effects on the HIV-1 tat protein function [J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2018 15(2): 10
- [35] 李燕妮,李芬芳,陈娇,等.芥末精油包合物对棘孢曲霉的抑菌机理[J].食品科学,2021,42(21):63-71
LI Yani, LI Fenfang, CHEN Jiao, et al. Antibacterial mechanism of mustard essential oil inclusion compound against *Aspergillus echinospora* [J]. *Food Science*, 2021, 42(21): 63-71
- [36] Qian W D, Fu Y T, Liu M, et al. *In vitro* antibacterial activity and mechanism of vanillic acid against Carbapenem-resistant *Enterobacter cloacae* [J]. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 2019, 8(4): 220
- [37] Tang X, Shao Y, Tang Y, et al. Antifungal activity of essential oil compounds (geraniol and citral) and inhibitory mechanisms on grain pathogens (*Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus*) [J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2018, 23(9): 2108
- [38] Almasi H, Azizi S, Amjadi S. Development and characterization of pectin films activated by nano-emulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 99: 105338.1-105338.13
- [39] Bomfim N D S, Kohiyama C Y, Nakasugi L P, et al. Antifungal and anti-aflatoxigenic activity of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis* L.) against *Aspergillus flavus* [J]. *Food Additives & Contaminants. Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2020, 37(1): 153-161
- [40] 王丹,张静,贾晓曼,等.丁香精油对甜樱桃采后优势致腐真菌的控制及其抑菌机理[J].核农学报,2020,34(6):1221-1229
WANG Dan, ZHANG Jing, JIA Xiaoman, et al. Control effect of clove essential oil on dominant decay-causing fungi of sweet cherry fruit and its bacteriostatic mechanism [J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2020, 34(6): 1221-1229
- [41] Suradeep B. Modelling the effect of betel leaf essential oil on germination time of *Aspergillus flavus* and *Penicillium expansum* spore population [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2018, 95: 361-366
- [42] Jhalegar M J, Sharma R R, Singh D. *In vitro* and *in vivo* activity of essential oils against major postharvest pathogens of kinnow (*Citrus nobilis* × *C. deliciosa*) mandarin [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(4): 2229-2237
- [43] Fontana D C, Dourado-Neto D, Pretto M M, et al. Using essential oils to control diseases in strawberries and peaches [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2020, 338: 108980

- [44] Valverde J M, Guillén F, Martínez-Romero D, et al. Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol, or thymol [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53-19: 7458-7464
- [45] Kahramanolu B. Effects of lemongrass oil application and modified atmosphere packaging on the postharvest life and quality of strawberry fruits [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 256: 108527
- [46] Bahrami A, Delshadi R, Assadpour E, et al. Antimicrobial-loaded nanocarriers for food packaging applications [J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2020, 278: 1-10
- [47] Hasheminejad N, Khodaiyan F. The effect of clove essential oil loaded chitosan nanoparticles on the shelf life and quality of pomegranate arils [J]. *Food Chemistry*, 2020, 309: 1-34
- [48] Yin C, Huang C, Wang J, et al. Effect of chitosan- and alginate-based coatings enriched with cinnamon essential oil microcapsules to improve the postharvest quality of mangoes [J]. *Materials (Basel)*, 2019, 12(13): 1-19
- [49] Buendia-Moreno L, Soto-Jover S, Ros-Chumillas M, et al. Innovative cardboard active packaging with a coating including encapsulated essential oils to extend cherry tomato shelf life [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2019, 116: 108584
- [50] Motelica L, Fikai D, Fikai A, et al. Innovative antimicrobial chitosan/ZnO/AgNPs/citronella essential oil nanocomposite - potential coating for grapes [J]. *Foods*, 2020, 9(12): 1801
- [51] Perdonés A, Escriche L, Chiralt A, et al. Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on volatile profile of strawberries during storage [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 979-86
- [52] Mei L Y, Shi L X, Song X L, et al. Characterization of carboxymethyl cellulose films incorporated with Chinese fir essential oil and their application to quality improvement of shine Muscat grape [J]. *Coatings*, 2021, 11(1): 97
- [53] He X, Li M, Gong X, et al. Biodegradable and antimicrobial CSC films containing cinnamon essential oil for preservation applications [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2021, 29: 100697
- [54] Farhad, Garavand, Somaye, et al. Different techniques for extraction and micro/nanoencapsulation of saffron bioactive ingredients - science direct [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 89(C): 26-44
- [55] Oh Y A, Oh Y J, Song A Y, et al. Comparison of effectiveness of edible coatings using emulsions containing lemongrass oil of different size droplets on grape berry safety and preservation [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 75: 742-750
- [56] Hf A, Mbj A, Man B, et al. Formulation, physicochemical characterization, and anti- *E. coli* activity of food-grade nano-emulsions incorporating clove, cinnamon, and lavender essential oils [J]. *Food Chemistry*, 2021, 359(4): 129963
- [57] Khorshidian N, Yousefi M, Khanniri E, et al. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 45: 62-72
- [58] Gad S E, Jr D. Generally recognized as safe (GRAS) [J]. *Encyclopedia of Toxicology*, 2005, 2: 417-420
- [59] Chi H, Song S, Luo M, et al. Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 249: 192-198
- [60] Falleh H, Jemaa M B, Saada M, et al. Essential oils: a promising eco-friendly food preservative [J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127-268
- [61] Yousuf B, Qadri O S, Srivastava A K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: a review [J]. *LWT*, 2018, 89: 198-209
- [62] Mehra L K, Maclean D D, Shewfelt R L, et al. Effect of postharvest biofumigation on fungal decay, sensory quality, and antioxidant levels of blueberry fruit [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2013, 85(Complete): 109-115
- [63] Jahani M, Pira M, Aminifard M H. Antifungal effects of essential oils against *Aspergillus niger* *in vitro* and *in vivo* on pomegranate (*Punica granatum*) fruits [J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 264: 109-188
- [64] Siriwardana H, Abeywickrama K, Kannangara S, et al. Basil oil plus aluminium sulfate and modified atmosphere packaging controls crown rot disease in Embul banana during cold storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 217: 84-91
- [65] Choi S J, Decker E A, Henson L, et al. Stability of citral in oil-in-water emulsions prepared with medium-chain triacylglycerols and triacetin [J]. *Agric Food Chem*, 2009, 57: 11349-11353

(下转第 26 页)