

山苍子精油抑菌机理及其在食品保鲜中的应用进展

罗凡, 方学智, 杜孟浩, 魏祯倩, 高暝
(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 杭州 311400)

摘要:山苍子是一种重要的天然香辛料木本植物资源,其精油在抗菌、抗氧化、抗炎等领域展现出显著潜力,也被广泛用作食品防腐剂和香料添加剂。山苍子精油通过影响微生物的细胞膜和细胞壁结构,干扰其内部代谢过程,从而发挥显著的抑菌效果,在食品保鲜中显示出良好的应用前景。本文通过分析近年来山苍子精油化学成分、抑菌机制以及其对不同微生物(包括细菌、真菌、霉菌等)抑制效果的研究结果,系统总结山苍子精油在食品保鲜领域的应用,探讨山苍子精油在食品包装膜和防腐剂中的潜在应用价值,以期在山苍子精油在食品工业中的进一步研究和应用提供参考。

关键词:山苍子;抑菌机制;食品保鲜;微生物;化学成分

DOI:10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001294

中图分类号:TS224.3;TQ644.1 文献标识码:A 文章编号:1003-0174(2026)01-0220-07

网络首发时间:2025-12-29 15:26:05

网络首发地址:https://link.cnki.net/urlid/11.2864.TS.20251229.0853.004

Antibacterial mechanism of *Litsea cubeba* essential oil and its application progress in food preservation

Luo Fan, Fang Xuezhi, Du Menghao, Wei Zhenqian, Gao Ming

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400)

Abstract: *Litsea cubeba* is an important natural aromatic spice woody plant resource. Significant potential of its essential oil has been shown in fields such as antibacterial, antioxidant, and anti-inflammatory properties, and it is also widely used as a food preservative and flavoring additive. The essential oil of *Litsea cubeba* exerts a significant bacteriostatic effect by affecting the cell membrane and cell wall structures of microorganisms and interfering with their internal metabolic processes, thus showing good prospects in the application of food preservation technology. By analyzing the results of recent studies on the chemical composition, bacteriostatic mechanism of *Litsea cubeba* essential oil and its inhibitory effects on different microorganisms (including bacteria, fungi, molds, etc.), the applications of *Litsea cubeba* essential oil in the field of food preservation were systematically summarized, and the potential application value of *Litsea cubeba* essential oil in food packaging films and preservatives was explored. This review provides a reference for the further research and application of *Litsea cubeba* essential oil in the food industry.

Key words: *Litsea cubeba*; bacteriostatic mechanism; food preservation; microorganisms; chemical composition

山苍子(*Litsea cubeba*)又称山鸡椒或木姜子,是樟科木姜子属一种重要的天然香辛料木本植物资源^[1]。山苍子精油是从山苍子果实中提取的次级产物,呈无色或黄色油状液体,具有柠檬香气和丰富的生物活性

成分,主要化学成分为单萜类化合物,其中柠檬醛质量分数为60%~80%^[2]。山苍子精油在抗菌、抗氧化、抗炎等领域展现出显著潜力,也被用作食品防腐剂和香料添加剂^[3]。山苍子精油是我国重要的外贸产品之

一,年产量超过2 000 t^[4]。随着超临界萃取、分子蒸馏等提取工艺的应用,山苍子精油的纯度可提升至98%以上。对山苍子精油的高值加工、功能评价及综合利用,可充分发挥我国的资源优势,提高山苍子精油的市场价值,已成为山苍子精油研究的重要方向。

山苍子精油作为一种天然植物精油,其具有明显的广谱抗菌活性,对副溶血性弧菌(*V. parahaemolyticus*)^[5],大肠杆菌(*Escherichia coli*)^[6]等细菌及黄曲霉(*Spergillus flavus*)^[1],念珠菌(*Candida albicans*)^[7]等真菌均表现出优良的抑制或杀菌效果。此外,山苍子精油对生物膜也显示出较高的抑制活性,已证实其对革兰氏阴性菌如阪崎肠杆菌(*Cronobacter sakazaki*)^[8],副溶血性弧菌^[9]及革兰氏阳性菌如金黄色葡萄球菌(*S. aureus*)^[10]的生物膜均具有抑制和清除作用,且呈现剂量依赖性。在抗生物膜机制研究中,精油中的活性成分可能通过抑制胞外基质的合成与分泌影响生物膜形成,如Hu等^[11]研究发现山苍子精油可通过清除EPS破坏耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)生物膜的结构,崔海英等^[12]的研究也证实山苍子精油能显著抑制MRSA中与多糖合成相关的调控基因 $ica A$ 的转录水平,减少多糖细胞间黏附素(PIA)的产生,从而破坏生物膜的结构;此外,山苍子精油可通过干扰毒力因子与代谢活动抑制生物膜相关致病性。在分子层面,除抑制 $ica A$ 基因外,山苍子精油可能通过调节其他与生物膜形成相关的基因(如黏附素基因、群体感应基因),从而影响细菌的黏附能力和生物膜形成过程。而生物膜的形成涉及复杂调控网络,不同菌种的生物膜形成机制不同,因此山苍子精油的抗生物膜途径可能因目标微生物而异。

山苍子精油已经纳入GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》成为食品用天然香料,然而关于山苍子精油在食品中抑菌机制的研究尚不全面,其在食品保鲜中的应用也有待深入。本综述旨在系统梳理山苍子精油的化学成分、抑菌机制及其在食品保鲜中的应用现状。

1 化学成分及抑菌机制

1.1 化学组成

分析山苍子精油成分可对芳香油做进一步改善,合成新的香料品种,促进山苍子精油产品的合理、有效开发^[13]。山苍子精油主要成分是羰基化合物,其他成分包括柠檬烯、甲基庚烯酮、香茅醛、香茅醇、蒎烯、柠檬烯、1,8-桉叶素、蒎烯、芳樟醇、2-甲基-2-己烯-6

-酮、樟脑、黄樟油素、橙花醇、香叶醇、松油醇、乙酸香叶酯、丁香酚、对伞花烃等。山苍子精油的提取方法包括水蒸气蒸馏法、超临界二氧化碳萃取法、微波辅助萃取法和酶法等,其中水蒸气蒸馏法是山苍子精油最传统的提取方法^[14]。不同的提取方法会影响山苍子精油中化学成分的组成及含量。周玉慧等^[15]研究发现山苍子精油中有30多种挥发性化学成分,其中柠檬醛是主要成分,质量分数在66%~90%之间。马子祯等^[16]通过气相色谱-质谱联用法分析了山苍子精油的化学组分,检测出6种单体化合物,其中柠檬醛的相对质量分数为62.7%。

不同地区山苍子精油含量和成分也存在差异,彭湘莲等^[17]通过气相色谱-质谱法分析发现湘西永顺所产山苍子精油中柠檬醛的质量分数达到74.07%。Yang等^[18]研究了西藏采集的山苍子提取的精油,发现33个化合物中的2,6-二甲基-6-羟基-2E,4E-庚-2,4-二烯酸和6R-3,7-二甲基-7-羟基-2-辛烯-6-内酯在588和272 $\mu\text{mol/L}$ 的浓度下对核盘菌、黄瓜枯萎病菌、假孢霉菌和炭疽病菌均有较好的杀菌活性。

山苍子不同种之间化学成分及抑菌效果具有显著差异。王雪等^[19]通过生长速率法和抑菌圈法测定了山苍子中山鸡椒、毛叶木姜子和毛山鸡椒等3个物种的精油对尖孢镰刀菌、大肠杆菌和李斯特菌的抑菌作用,发现山鸡椒果实精油含量最高且对尖孢镰刀菌、大肠杆菌和李斯特菌的抑菌效果优于毛叶木姜子和毛山鸡椒;3种山苍子精油抑菌效率均与柠檬醛、芳樟醇的含量呈显著正相关。

1.2 抑菌机制研究

1.2.1 细胞膜与细胞壁的影响

山苍子精油及其主要成分柠檬醛主要通过破坏微生物细胞膜和细胞壁,改变细胞膜通透性,有效抑制微生物生长。周玉慧等^[15]研究发现柠檬醛可通过改变细菌质膜流动性从而改变酶的活性,进而达到抑制细菌生长的效果。孙月等^[20]研究了山苍子精油对白假丝酵母菌的抑菌活性及其作用机理,发现山苍子精油最低抑菌质量浓度为0.25 mg/mL,最低杀菌质量浓度为1 mg/mL,经山苍子精油处理后,白假丝酵母菌细胞膜完整性受损,通透性增加,最终导致细胞死亡。黄晓霞等^[21]研究了山苍子精油对胶红酵母的抑菌作用,结果显示山苍子精油破坏了胶红酵母细胞膜结构,导致胞内离子流失,还原糖利用率显著降低,进而干扰其对营养物质的利用。Luo等^[22]研究发现柠檬醛通过损伤黄曲霉孢子质膜进入细

胞,不仅影响了线粒体的遗传表达和形态,而且改变了类蛋白大分子的聚集,使细胞、细胞器和大分子失去正常的结构和功能,萌发能力丧失。李欣越等^[23]采用结晶紫染色法探究了亚抑菌浓度的山苍子精油对沙门菌的抑菌机制,发现山苍子精油可改变沙门菌的细胞透性、形态结构,减少可溶性蛋白质含量和抑制生物被膜的形成,从而起到良好的抑菌和杀菌作用。山苍子精油对不同细菌的抑菌效果存在差异,其作用机制主要为改变细胞膜的通透性和完整性,从而影响细菌的生长和繁殖。

1.2.2 细胞内代谢的影响

山苍子精油对细菌细胞内代谢的影响包括对细胞膜屏障的破坏、细胞内物质泄漏以及对能量代谢的影响等。吴均等^[24]研究发现山苍子精油能够破坏细菌细胞膜结构,导致细胞内蛋白质减少和内含物渗漏。孙月等^[20]研究了山苍子精油对白假丝酵母菌细胞膜屏障的影响,发现山苍子精油能够破坏细胞膜完整性,增加膜通透性,导致细胞内核酸和蛋白质泄漏。聂冬阳等^[25]则探讨了山苍子精油与丁香精油对金黄色葡萄球菌的协同抑菌作用,发现复配精油能够破坏金黄色葡萄球菌的细胞完整性,降低胞内腺苷三磷酸(ATP)含量和活性,同时增加活性氧(ROS)和丙二醛(MDA)含量,这表明精油对细菌细胞内代谢产生了显著影响。

2 对不同微生物的抑菌效果

山苍子精油具有较为广谱的抑菌活性,对细菌和真菌都具一定抑制作用,包括食品腐败菌和食源性致病菌。

2.1 对细菌的抑菌效果

吴均等^[24]研究了山苍子精油对食品中常见的黑曲霉、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌的抑菌活性,发现山苍子精油对黑曲霉的抑制作用良好,而对金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌的抑制作用较弱。顾仁勇等^[26]的研究表明,山苍子精油对枯草杆菌和白葡萄球菌的抑菌圈在 10~15mm 之间,属于中度敏感;对大肠杆菌的抑菌圈达 15mm 以上,属最敏感。

2.2 对真菌的抑菌效果

顾仁勇等^[26]采用超临界 CO₂ 萃取法从山苍子中提取精油,并研究了山苍子精油对霉菌、酵母和细菌的抑菌效果,发现山苍子精油对黑曲霉、青霉和酵母的抑菌圈为 15 mm 以上,属于最敏感。彭湘莲等^[17]

研究发现山苍子精油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、白曲霉、青霉 4 种菌的最低抑菌体积分数分别为 1.88、0.94、0.94、0.47 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。此外,吕好新等^[27]研究了肉桂-山苍子复合精油对发霉花生中黑曲霉 BQM 的抑菌效果,发现复合精油的最佳体积配比 V(肉桂精油):V(山苍子精油)为 3:5,最小抑菌体积分数(MIC)为 0.125 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。彭媛媛等^[28]研究发现山苍子精油主要成分柠檬醛等萜类化合物和单萜氧化物,对枝孢菌的最小抑菌体积分数为 0.64%。万力等^[29]研究了山苍子精油对小鼠系统性白念珠菌感染的治疗作用,发现山苍子精油能明显延长小鼠的中位生存时间,降低肾脏菌落形成单位计数,说明山苍子精油对小鼠系统性白念珠菌感染具有治疗作用。山苍子精油对多种真菌具有显著的抑菌效果,其作用机制可能与破坏真菌细胞膜结构有关,因此,山苍子精油在食品防腐领域具有潜在的应用价值。

2.3 对酵母菌的抑菌效果

吴均等^[24]研究了山苍子精油对食品中常见酵母菌的抑菌活性,发现山苍子精油对黑曲霉的抑制作用良好, MIC 为 0.11 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。顾仁勇等^[26]研究发现山苍子精油对酵母的抑菌圈为 15 mm 以上,属于最敏感,且发现山苍子精油的抑菌效果在酸性条件下极为强烈,而在中性和碱性范围内随 pH 值的增大而有所减弱。孙月等^[20]研究了山苍子精油对白假丝酵母菌的抑菌活性及其作用机理,发现山苍子精油对白假丝酵母菌的最低抑菌质量浓度为 0.25 mg/mL,最低杀菌质量浓度为 1 mg/mL,同时发现山苍子精油具有良好的透膜能力,可以破坏细胞结构,使细胞膜通透性紊乱,胞内物质渗漏,从而导致细胞死亡。

2.4 对霉菌的抑制效果

余伯良等^[30]采用平板法比较了山苍子精油中的柠檬醛等 5 种主要成分对 8 种霉菌的抗菌效力,发现在培养基 pH 4.5 时,抗菌效力从强到弱依次为柠檬醛、香茅醛、山苍子精油、香叶醇、芳樟醇和甲基庚烯酮。柠檬醛对 5 种霉菌的最低抑菌体积分数为 0.10%,甲基庚烯酮对 6 种霉菌的最低抑菌体积分数为 $\geq 0.40\%$ 。同时,在对 6 种试剂与黄曲霉产毒关系的实验中还发现,柠檬醛、香茅醛、山苍子精油对黄曲霉产生黄曲霉毒素具有较强的抑制作用,其中柠檬醛的抑制作用最强,可以减少 85% 的黄曲霉毒素产生。黄晓霞等^[21]研究发现当山苍子精油体积分数为 0.100 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 时,肉眼看不到菌体生长;随精油浓度的增大,培养液电导率增大、还原糖利用率和菌体蛋白质含量减少、菌体内苹果酸脱氢酶和琥珀酸脱

氢酶活性降低,说明山苍子精油对黄曲霉产生不可逆的破坏,推测山苍子精油可破坏细胞壁和细胞膜,影响细胞的生长和代谢,并最终导致细胞死亡。因此,山苍子精油对黄曲霉具有良好的抑制作用,可广泛用于粮食储藏、食品防霉等方面。此外,山苍子精油对辣椒疫霉的4个发育阶段均有抑制作用,对孢子囊的形成抑制作用最强,能破坏细胞膜的通透性^[31]。

2.5 对青霉的抑制效果

孙畅等^[32]采用碘化丙啶(PI)染色法检测了孢子细胞膜的完整性,并通过感染柑橘果实测定柑橘果实青霉病的发病率和病斑直径,探讨了山苍子精油对意大利青霉(*Penicillium italicum*)的抗菌活性及其机制,发现山苍子精油对意大利青霉的最小抑菌质量浓度为1.17 mg/mL,能显著抑制意大利青霉的菌丝的生长和孢子的萌发,随着山苍子精油质量浓度的增加,意大利青霉的胞外电导率和胞外pH值逐渐增加,核酸泄漏严重,青霉菌菌丝线性丧失,菌丝表面出现扭曲、皱缩和干瘪等不可逆形态变化,细胞膜完整性受到破坏,山苍子精油质量浓度越高,菌丝体的完整性和通透性受损越严重。

2.6 对病原菌的抑制作用

柏梅^[33]发现山苍子精油对金黄色葡萄球菌(*S. aureus*)的最小抑菌浓度和最小杀菌质量浓度分别为0.5和1.0 mg/mL,精油处理后菌体表面疏水性上升,且细胞膜通透性增加,进而导致胞内大分子物质的流出。*S. aureus*胞内ATP、DNA和可溶性蛋白质的含量均受到抑制,3种生理代谢相关的关键酶(ATP酶、 β -半乳糖苷酶和碱性磷酸酶)活性也受到抑制。山苍子精油能明显抑制生物膜的形成,破坏生物膜屏障而进入生物膜内,使细菌丧失新陈代谢能力;激光共聚焦和扫描电镜研究发现,山苍子精油会破坏细菌生物膜的三维立体结构,降低膜厚度,使紧密的生物膜变得稀疏,细菌从膜屏障内被释放成游离菌后被精油灭活。

2.7 对食源性致病菌的抑制作用

廖海霞^[34]研究了山苍子精油对蜡样芽孢杆菌及其生物膜的抑制作用,发现山苍子精油通过破坏生物膜结构完整性,抑制了胞外聚合物基质(EPS)分泌,显著削弱了生物膜稳定性,最小抑菌浓度和最小杀菌浓度分别为0.125和0.5 mg/mL;此外,山苍子精油还通过抑制鞭毛相关基因(*fla*、*fliY*)表达,显著降低细菌早期运动能力,从而抑制生物膜

初期粘附;通过抑制LuxS/AI-2群体感应系统干扰AI-2信号分子的合成与响应;山苍子精油主要活性成分柠檬醛与AI-2信号通路上的关键酶(*metC*、*metK*、*LuxS*、*LsrF*、*LsrK*)通过氢键结合,从而改变蛋白构象以阻断信号传导。

3 在食品保鲜中的应用

3.1 食品包装膜的制备与性能

黄晓霞等^[35]发现山苍子精油破坏细胞膜结构,导致胞内离子流失,显著抑制胶红酵母的生长, MIC为1.200 μ L/mL。戴荣宵等^[36]制备了不同添加量的山苍子精油壳聚糖-明胶复合抑菌膜,并对其结构和性能进行表征,结果表明,随着精油质量分数的增加,抑菌膜的抑菌性能和抗氧化性能逐渐增强,且对鲜切苹果的保鲜效果优于市售聚乙烯保鲜膜和不添加精油的复合膜。

3.2 食品防腐剂的开发与应用

战鑫^[37]研究发现,*V*(蛇床子)、*V*(山苍子)、*V*(补骨脂)为1:1:1的比例下对稻谷的防霉效果极为显著,对黄曲霉和黑曲霉的抑菌率分别达到48.7%和52.6%。此外,刘甜甜等^[38]研究发现体积分数25%的山苍子精油水乳剂在1500倍稀释液下对室内和田间马铃薯晚疫病菌的抑菌率分别达到98.2%和75.00%。马子祯等^[16]研究发现山苍子精油与聚赖氨酸联合使用可具有相加效应,能有效扩大精油对水产品腐败菌的抑菌范围并减少其使用量。张琦等^[39]研究发现通过酸性蛋白酶酶解制备的山苍子蛋白抗菌肽在高温热处理、冻融、紫外线和不同pH下均表现出良好的稳定性。李亚萍^[40]以明胶和海藻酸钠为复合壁材,山苍子精油为芯材,采用复合凝聚法制备山苍子精油微胶囊,发现明胶-海藻酸钠可保持山苍子精油原有的性质,且能提高其在250℃以内的热稳定性,在4℃避光条件下储藏最为稳定,18d的释放率为25.6%,同时山苍子精油微胶囊可使冷鲜牛肉保质期延长4~6d。

3.3 食品工业应用现状和分析

近年来山苍子精油因天然、安全的特性,在食品添加剂领域的需求快速增长。2024年我国食品添加剂领域对山苍子精油的需求量约为2万t,同比增长20%。尤其是微胶囊技术等新技术的开发和应用,使其可以更广泛地应用于水果、蔬菜、肉类、水产品等多种食品的保鲜中。

但是山苍子精油产品在储存和使用过程中还存

在易挥发导致有效成分含量降低,保鲜效果下降、气味强烈,影响食品的风味和口感、不溶于水,在食品体系难以均匀分散等问题。另外,山苍子精油产品种类相对单一,不利于其进一步拓展。

因此,山苍子精油在食品工业应用领域有几个方面应加强技术研发:优化山苍子精油的提取工艺,提高产品纯度和质量;加强山苍子精油在食品工业中作用机制的研究,拓展其应用范围和应用方式;强化品牌建设,提升市场竞争力;加强产业链上下游企业的合作,形成从种植、加工到销售的全产业链布局。

4 结论

本文综述了山苍子精油的化学成分、抑菌机制,以及对不同微生物的抑菌效果和其在食品保鲜中的应用。山苍子精油含有多种活性成分,能够通过影响细胞膜与细胞壁的完整性,同时干扰细胞内代谢过程,从而发挥显著的抑菌作用。此外,山苍子精油对多种细菌、真菌和酵母均表现出良好的抑菌效果,显示出其在食品保鲜领域的巨大潜力。未来研究应着重于进一步解析山苍子精油的抑菌机制,特别是其对细胞膜和细胞壁的具体作用方式,对细胞内代谢的影响,山苍子精油的长期稳定性评估,以及在实际食品保鲜中的应用效果。

参考文献

- [1] Zhang J, Tao R, Wang Y, et al. Enzyme-assisted deep eutectic solvent extraction of *Litsea cubeba* essential oil and its anti-*Aspergillus flavus* activity [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2025, 217:117292
- [2] Huang J, Liu S, Liu R, et al. Mechanisms of *Litsea cubeba* essential oil in the control of *Colletotrichum scovillei* in pepper (*Capsicum annuum* L.): cell membrane/wall perspective [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2023, 127:102103
- [3] Liu S, Lan W, Xie J. Natural preservative *Litsea cubeba* essential oil; with emphasis on its biological activities, encapsulation methods and application in food preservation [J]. *Food Bioscience*, 2024, 62:105557
- [4] 方学军. 山苍子油的功能及应用[J]. *湖南林业科技*, 2007(3):82-84
- [5] Liu T, Yang T. Antimicrobial impact of the components of essential oil of *Litsea cubeba* from Taiwan and antimicrobial activity of the oil in food systems [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 156(1):68-75
- [6] Dai J, Li C, Cui H, et al. Unraveling the anti-bacterial mechanism of *Litsea cubeba* essential oil against *E. coli* O157: H7 and its application in vegetable juices [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2021, 338:108989
- [7] Li H, Kong Y, Hu W, et al. *Litsea cubeba* essential oil: component analysis, anti-*Candida albicans* activity and mechanism based on molecular docking [J]. *Journal of Oleo Science*, 2022, 71(8):1221-1228
- [8] Wang H, Li Y, Li Z, et al. Inhibition of *Cronobacter sakazakii* by *Litsea cubeba* essential oil and the antibacterial mechanism [J]. *Foods*, 2022, 11(23):3900
- [9] Li A, Shi C, Qian S, et al. Evaluation of antibiotic combination of *Litsea cubeba* essential oil on *Vibrio parahaemolyticus* inhibition mechanism and anti-biofilm ability [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2022, 168:105574
- [10] Bai M, Li C, Cui H, et al. Preparation of self-assembling *Litsea cubeba* essential oil/diphenylalanine peptide micro/nanotubes with enhanced antibacterial properties against *Staphylococcus aureus* biofilm [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 146:111394
- [11] Hu W, Li C, Dai J, et al. Antibacterial activity and mechanism of *Litsea cubeba* essential oil against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) [J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 130:34-41
- [12] 崔海英, 李虹, 方厚智, 等. 山苍子精油对 MRSA 生物被膜及其调控基因 (*ica A*) 的抑制机理研究 [J]. 2020(5):9-13
- [12] Cui H, Li H, Fang H, et al. Antibacterial mechanism of *Litsea cubeba* oil on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) biofilm and its regulatory gene *ica A* [J]. *China Food Additives*, 2020(5):9-13
- [13] 张爱华, 唐春艳, 胡楠, 等. 我国山苍子产业发展现状及对策 [J]. *生物质化学工程*, 2020, 54(6):25-32
- [13] Zhang A, Tang C, Hu N, et al. Investigation on the development of the *Litsea cubeba* (Lour.) pers. industry in China [J]. *Biomass Chemical Engineering*, 2020, 54(6):25-32
- [14] 张丽, 陈尚钡, 范国荣, 等. 山苍子精油的化学成分和功能活性及其应用研究进展 [J]. *江西农业大学学报*, 2021, 43(2):355-363
- [14] Zhang L, Chen S, Fan G, et al. Research progress in application and functions of *Litsea cubeba* essential oil components [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2021, 43(2):355-363
- [15] 周玉慧, 甘仙女, 陈尚钡, 等. 山苍子油及柠檬醛提取分离与生物活性研究进展 [J]. *生物灾害科学*, 2013, 36(2):148-153
- [15] Zhou Y, Gan X, Chen S, et al. Research progress in the

- extract and separation and the biological activity of citral and *Litsea cubeba* oil[J]. *Biological Disaster Science*, 2013, 36(2):148-153
- [16] 马子祯, 赵前程, 李萌, 等. 山苍子精油与食品添加剂对水产品腐败菌的联合抑制作用研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(11):3598-3606
- Ma Z, Zhao Q, Li M, et al. Combined antimicrobial effects of *Litsea cubeba* essential oil and food additives against spoilage bacteria isolated from aquatic products[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(11):3598-3606
- [17] 彭湘莲, 付红军, 刘微微. 湘西永顺产山苍子精油成分分析与抑菌活性研究[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(11):61-64
- Peng X, Fu H, Liu W. Antibacterial activity research and composition analysis on *Litsea cubeba* essential oil produced in Yongshun of western Hunan Province[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(11):61-64
- [18] Yang Y, Jiang J, Qimei L, et al. The fungicidal terpenoids and essential oil from *Litsea cubeba* in Tibet[J]. *Molecules*, 2010, 15(10):7075-7082
- [19] 王雪, 梁晓洁, 高暝, 等. 三种山苍子精油化学成分及抑菌效果差异分析[J]. *天然产物研究与开发*, 2019, 31(11):1847-1856
- Wang X, Liang X, Gao M, et al. Analysis of chemical constituents and antimicrobial activity of essential oils in three species from May Chang tree[J]. *Natural Product Research and Development*, 2019, 31(11):1847-1856
- [20] 孙月, 曾朝懿, 李梓钰, 等. 山苍子精油对白假丝酵母菌细胞膜屏障影响的机理[J]. *食品科学*, 2023, 44(17):29-35
- Sun Y, Zeng C, Li Z, et al. Mechanism for the effect of *Litsea cubeba* essential oil on *Candida albicans* cell membrane barrier[J]. *Food Science*, 2023, 44(17):29-35
- [21] 黄晓霞, 彭伟斌, 李振宇, 等. 山苍子精油抑制黄曲霉菌的生长和产毒作用研究[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(9):160-166
- Huang X, Peng W, Li Z, et al. Inhibitory effect of *Litsea cubeba* essential oil on *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin production[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(9):160-166
- [22] Luo M, Jiang L, Huang Y, et al. Effects of citral on *Aspergillus flavus* spores by quasi-elastic light scattering and multiplex microanalysis techniques[J]. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 2004, 36(4):277-283
- [23] 李欣越, 苟玉虹, 申瀚君, 等. 山苍子精油抑制沙门菌作用机制研究[J]. *四川农业大学学报*, 2021, 39(3):385-390
- Li X, Gou Y, Shen H, et al. Antibacterial mechanism of *Litsea cubeba* essential oil on *Salmonella*[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2021, 39(3):385-390
- [24] 吴均, 杨钦滢, 赵晓娟, 等. 山苍子油的抑菌活性及机理研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17):119-121
- Wu J, Yang Q, Zhao X, et al. Study on antimicrobial activities and antimicrobial mechanism of essential oil from *Litsea cubeba*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(17):119-121
- [25] 聂冬阳, 郝凯源, 徐百昌, 等. 山苍子精油与丁香精油对金黄色葡萄球菌的协同抑菌作用[J]. *饲料研究*, 2022, 45(16):78-82
- Nie D, Hao K, Xu B, et al. Synergistic bacteriostatic effect of *Litsea cubeba* essential oil and clove essential oil on *Staphylococcus aureus*[J]. *Feed Research*, 2022, 45(16):78-82
- [26] 顾仁勇, 刘莹莹. 山苍子精油抑菌及抗氧化作用的研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(11):86-89
- Gu R, Liu Y. Study on the anti-oxidation and bacteriostasis of *Litsea cubeba* extraction oil[J]. *Food Science*, 2006, 27(11):86-89
- [27] 吕好新, 赵玲丽, 霍珊珊, 等. 肉桂-山苍子复合植物精油对发霉花生黑曲霉 BQM 菌的抑菌效果[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12):222-229
- Lü H, Zhao L, Huo S, et al. The antifungal effect of cinnamon-*Litsea cubeba* compound essential oil on *Aspergillus niger* BQM of moldy peanuts[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(12):222-229
- [28] 彭媛媛, 刘振钰, 黄琪, 等. 山苍子精油对枝孢菌的抑菌活性及其作用机制[J]. *食品科学*, 2025, 46(10):51-58
- Peng Y, Liu Z, Huang Q, et al. Antimicrobial activity and mechanism of action of *Litsea cubeba* essential oil against *Cladosporium*[J]. *Food Science*, 2025, 46(10):51-58
- [29] 万力, 朱敬山, 李志锋, 等. 山苍子油对小鼠系统性白念珠菌感染的影响[J]. *中国真菌学杂志*, 2006, 1(4):211-214
- Wan L, Zhu J, Li Z, et al. Effect of *Litsea cubeba* oil on disseminated candidiasis of mice[J]. *Chinese Journal of Mycology*, 2006, 1(4):211-214
- [30] 余伯良, 罗惠波, 周健, 等. 山苍子油抗霉菌及抑制黄曲霉产毒的有效成分研究[J]. *四川轻化工学院学报*, 2002, 15(1):32-36
- Yu B, Luo H, Zhou J, et al. Study on the active ingredient of antibiotic activities of *Litsea cubeba* oil on moulds and the effect on aflatoxin production[J]. *Journal of Sichuan Institute of Light Industry and Chemical Technology*, 2002, 15(1):32-36

- [31]王轶楠. 山苍子精油对辣椒疫霉抑菌作用研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019: 18
Wang Y. Study on the Antifungal activity of *Listsea cubeba* essential oils against *Phytophthora capsici*[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2019: 18
- [32]孙畅, 李湘, 王银红, 等. 山苍子精油对柑橘意大利青霉的抑菌活性及作用机制[J]. 食品科学, 2023, 44(11):17-25
Sun C, Li X, Wang Y, et al. Antibacterial activity and mechanism of *Listsea cubeba* essential oil against *Penicillium italicum* in *Citrus fruits*[J]. Food Science, 2023, 44(11): 17-25
- [33]柏梅. 山苍子精油对金黄色葡萄球菌及其生物膜的抑制机制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2019: 27
Bai M. Inhibition mechanism of *Listsea cubeba* essential oil on *Staphylococcus aureus* and its biofilm[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019: 27
- [34]廖海霞. 山苍子精油对蜡样芽孢杆菌生物膜的抑制机制及应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2025: 36
Liao H. Investigation into the Inhibitory Mechanism and Application of *Listsea cubeba* Essential Oil on *Bacillus cereus* Biofilm[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2025: 36
- [35]黄晓霞, 杨东润, 杨世锟. 胶红酵母的分离鉴定与山苍子油的抑菌研究[J]. 嘉应学院学报, 2023, 41(3):46-52
Huang X, Yang D, Yang S. Isolation and identification of *Rhodotorula mucilaginosa* and antimicrobial activity of *Listsea cubeba* oil[J]. Journal of Jiaying University, 2023, 41(3): 46-52
- [36]戴荣宵, 叶正明, 王丽君, 等. 山苍子精油复合抑菌膜的制备、表征及应用[J]. 林产化学与工业, 2025, 45(1):123-134
Dai R, Ye Z, Wang L, et al. Preparation, characterization, and application of *Listsea cubeba* essential oil composite antibacterial films[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2025, 45(1):123-134
- [37]战鑫. 稻谷复合植物提取物防霉剂的研制[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(4):109-110
- [38]刘甜甜, 张星, 熊兴耀, 等. 25%山苍子油水乳剂的研发及其对马铃薯晚疫病菌的防治效果[J]. 河南农业科学, 2020, 49(10):85-91
Liu T, Zhang X, Xiong X, et al. Development of 25% *Listsea cubeba* Essential oil emulsion and its control effect on *Phytophthora infestans*[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(10):85-91
- [39]张琦, 王凤扬, 鄢梦, 等. 山苍子蛋白抗菌肽的抑菌特性及稳定性研究[J]. 中国测试, 2023, 49(8):81-86
Zhang Q, Wang F, Yan M, et al. Study on antibacterial properties and stability of antibacterial peptides from *Listsea cubeba* protein[J]. China Measurement & Test, 2023, 49(8):81-86
- [40]李亚萍. 山苍子精油微胶囊的制备及其在牛肉保鲜中的应用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2021: 27
Li Y. Fabrication of *Listsea cubeba* essential oil microcapsules and its application in beef preservation[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2021: 27.