

云南木姜子提取物对蜡样芽孢杆菌 抑菌作用的研究

魏美娟¹, 陈 聪¹, 牛 刚¹, 胡永金¹, 朱仁萍², 朱仁俊^{1*}, 薛桥丽^{3*}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 昆明 650201; 2. 昭通市食品药品检验所, 昭通 657000;
3. 云南农业大学学报编辑部, 昆明 650201)

摘 要: **目的** 研究云南木姜子(*Yunnan Litsea cubeba*)的抑菌活性及抑菌稳定性。**方法** 用乙醇对云南木姜子果实进行提取并分别用石油醚、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇进行萃取。比较不同萃取相对蜡样芽孢杆菌的抑制作用, 并通过热处理、酸碱处理、紫外照射、金属离子处理、糖和盐处理对其稳定性进行考察。**结果** 云南木姜子提取物对蜡样芽孢杆菌具有良好的抑菌作用, 其活性成分主要分布于乙酸乙酯相, 其对蜡样芽孢杆菌的最小抑菌浓度为 0.08 mg/mL; 云南木姜子乙酸乙酯萃取相经紫外线照射、酸碱处理和不同温度处理仍表现出良好的稳定性, 盐和糖处理条件使其对蜡样芽孢杆菌的抑菌活性增强, 对于金属离子处理, Mg^{2+} 使其对蜡样芽孢杆菌的抑菌活性提高, Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 和 Ca^{2+} 等使其抑菌活性降低。**结论** 云南木姜子提取物具有良好的抑菌活性, 温度、紫外和 pH 对其抑菌成分的稳定性有较小的影响, 金属离子、糖和盐浓度对其抑菌活性影响较大。因此可考虑将云南木姜子作为一种天然植物源防腐剂, 它在保鲜方面具有良好的开发和利用前景。**关键词:** 云南木姜子; 蜡样芽孢杆菌; 抑菌活性; 稳定性

Study on the bacteriostatic effect of the extract of Yunnan *Litsea cubeba* on *Bacillus cereus*

WEI Mei-Juan¹, CHEN Cong¹, NIU Gang¹, HU Yong-Jin¹, ZHU Ren-Ping²,
ZHU Ren-Jun^{1*}, XUE Qiao-Li^{3*}

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;
2. Zhaotong Food and Drug Inspection Institute, Zhaotong 657000, China; 3. Editorial Office of
Journal of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

ABSTRACT: Objective To study the antibacterial activity and stability of Yunnan *Litsea cubeba*. **Methods** The fruit of *Litsea cubeba* was extracted with ethanol and extracted with petroleum ether, chloroform, ethyl acetate and *n*-butanol respectively. The inhibitory effect of different extraction phases on *Bacillus cereus* was compared, and its stability was investigated by heat treatment, acid-base treatment, ultraviolet irradiation, metal ion treatment, sugar and salt treatment. **Results** The extract of Yunnan *Litsea cubeba* had a good antibacterial effect on *Bacillus cereus*.

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060520)

Fund: Supported by the Project of National Natural Science Foundation of China (32060520)

*通信作者: 朱仁俊, 教授, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 2421125201@qq.com

薛桥丽, 硕士, 主要研究方向为食品安全与品质控制。E-mail: 227352290@qq.com

*Corresponding author: ZHU Ren-Jun, Professor, College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, No.452 Fengyuan Road, Panlong District, Kunming 650201, China. E-mail: 2421125201@qq.com

XUE Qiao-Li, Master, Journal Editorial Department, Yunnan Agricultural University, No.452 Fengyuan Road, Panlong District, Kunming 650201, China. E-mail: 227352290@qq.com

Its active components were mainly distributed in the ethyl acetate phase, and its minimum inhibitory concentration against *Bacillus cereus* was 0.08 mg/mL; the ethyl acetate extract of *Litsea cubeba* showed good stability after ultraviolet irradiation, acid-base treatment and different temperature treatment. The salt and sugar treatment conditions enhanced its antibacterial activity against *Bacillus cereus*. For metal ion treatment, Mg^{2+} increased its antibacterial activity against *Bacillus cereus*, while Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} and Ca^{2+} decreased its antibacterial activity.

Conclusion The extract of *Litsea cubeba* has good antibacterial activity. Temperature, ultraviolet irradiation and pH have a small impact on the stability of antibacterial components, while metal ions, sugar and salt concentrations have a greater impact on their antibacterial activity. Therefore, Yunnan *Litsea cubeba* can be considered as a natural plant-derived preservative, which has good prospects for development and utilization in terms of preservation.

KEY WORDS: Yunnan *Litsea cubeba*; *Bacillus cereus*; bacteriostatic activity; stability

0 引言

随着生活条件的改善,人们对食品各方面的要求变高,食品安全问题和食品防腐剂的应用也引起了关注^[1]。在食品工业中,常用的防腐剂主要是化学合成防腐剂^[2],它对人体健康存在隐患^[3]。当化学防腐剂的安全性不能得到保证时,天然防腐剂引起了大家的关注^[4]。天然防腐剂是一类从植物、动物、微生物等中提取出来的具有抑制微生物生长、延缓食品防腐变质作用的物质^[5-6]。

山苍子[*Litsea cubeba* (Lour) Pers.], 别名木姜子、山姜子、山胡椒等^[7], 属于樟科木姜子属落叶小乔木。在我国约有 72 种, 另外还有 18 个变种和 3 个变型^[8]。木姜子广泛分布于华南和西南各省份, 其中, 云南省木姜子品种最多, 长期以来它一直被作为当地特色食品、调味品和民间药材^[9-10]。目前对木姜子的研究大多集中在其挥发油的提取和生物活性方面^[11-14], 而对其果实中的非挥发油成分的研究较少。有研究显示木姜子非挥发油醇提物对部分植物病原菌有抑制效果^[15], 但对于食源性致病细菌的抑菌研究较少。前期实验发现, 木姜子果实醇提物对部分革兰氏阳性细菌及阴性细菌具有一定的抑菌作用^[16], 有开展进一步研究的价值。

蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)是一种常见的食源性致病菌^[17-19], 广泛分布于土壤与食物中, 它通过产生催吐毒素和肠毒素引起食物中毒, 其症状从轻微呕吐和腹泻到严重死亡不等。近年来, 蜡样芽孢菌污染引起的食品安全事件逐年上升^[20], 它已是导致食源性感染病例的十大病原体之一, 对蜡样芽孢杆菌的控制已经成为了一项食品行业的挑战, 因此本研究选用蜡样芽孢杆菌作为指示菌。

本研究以云南木姜子为原材料, 采用不同溶剂提取其果实成分, 以蜡样芽孢杆菌为目标致病菌开展抑菌活性及稳定性研究, 以期对云南木姜子新型抑菌物质发掘及应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

云南木姜子: 购于云南省临沧市。

蜡样芽孢杆菌: 由云南农业大学食品科学技术学院提供。LB 肉汤培养基、LB 琼脂培养基(广东环凯生物科技股份有限公司); 乙醇、乙酸乙酯、石油醚、氯仿、正丁醇、 $AlCl_3$ 、 $FeCl_3$ 、 $CuSO_4$ 、 $ZnSO_4$ 、 $MgSO_4$ 、 $FeCl_2$ (分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司); 葡萄糖(分析纯, 上海源叶生物科技有限公司); HCl (分析纯, 重庆川东化工有限公司); $NaOH$ (分析纯, 成都金山化学试剂有限公司); KCl (分析纯, 西陇科学股份有限公司); $CaCl_2$ (分析纯, 广东光华科技股份有限公司)

1.2 仪器与设备

IHX3002Z 电子天平(精度 0.01 g, 慈溪市天东衡器厂); GZX-GH01-3-BS 电热恒温鼓风干燥箱(上海跃进医疗器械有限公司); DC-3010 恒温水浴锅(宁波新芝生物科技有限公司); SHZ-D 真空泵(上海力辰邦西仪器有限公司); RE-5205 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); UV-6100 SW-CJ-1F 超净工作台(苏净集团苏州安泰空气技术有限公司); UV-6100 紫外-可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司); ST3100 pH 计(奥豪斯国际贸易上海有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 木姜子不同醇浓度提取物的制备

参考杨艾华等^[21]的方法略作改动, 云南木姜子阴干, 粉碎过 40 目筛。精确称取 100 g 粉末, 按料液比 1:10 加入纯水、55%、75%、95%、无水乙醇, 分别于 30℃恒温水浴 2 h, 真空抽滤 3 次, 合并滤液, 于 40℃旋转蒸发器浓缩至膏状^[22], 保存备用。

1.3.2 木姜子不同溶剂萃取物的制备

参考田强等^[23]的方法并做改进, 称取无水乙醇制备的提取物 10 g, 加去离子水溶解, 分别用石油醚、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇萃取, 各萃取液减压浓缩至膏状, 得到

木姜子提取物石油醚相、氯仿相、乙酸乙酯相、正丁醇相,置于-20℃冰箱中密闭冷藏,用于后续抑菌实验。

1.3.3 菌悬液的制备

无菌条件下,将活化好的蜡样芽孢杆菌接种于已灭菌的LB肉汤培养基,于36℃恒温培养18 h左右,使用LB液体培养基调整菌液浓度至 $1 \times 10^8 \sim 5 \times 10^8$ CFU/mL,4℃保存备用^[24]。

1.3.4 抑菌圈的测定

采用滤纸片法测定云南木姜子的抑菌活性。采用无菌纯水将云南木姜子提取物和各萃取相配制为质量浓度50 mg/mL的药液,以未处理的各有机溶剂作为对照,加入直径6 mm的无菌滤纸片,浸泡4 h后取出,烘干备用。将菌悬液按1:10 (V:V)的比例加入LB琼脂培养基中,充分混匀后制备带菌平板,备用。将滤纸片置于带菌平板表面,于37℃恒温培养箱中倒置培养。使用游标卡尺,通过交叉法测量抑菌圈直径(diameter of inhibitory zone, DIZ)^[24]。实验重复3次,取平均值。

1.3.5 最小抑菌浓度的测定

采用二倍稀释法,将云南木姜子各萃取相用LB肉汤培养基稀释为10个浓度,分别为10.00、5.00、2.50、1.20、0.60、0.30、0.15、0.08、0.04、0.02 mg/mL,吸取50 μL不同稀释度的提取液至96孔板中,再加50 μL浓度为 10^8 CFU/mL的菌液于96孔板中,对照组不加样,将其置于37℃恒温培养箱中培养24 h后,每孔再添加50 μL 2,3,5-氯化三苯基四氮唑(triphenyl tetrazolium chloride, TTC)染色剂,静置2 h,观察颜色。若有活菌,则被染成红色^[25]。

1.3.6 云南木姜子乙酸乙酯萃取相的稳定性研究

(1)温度对抑菌稳定性的影响

参考张声源等^[26]方法,将质量浓度为0.05 g/mL样品水溶液,放置于4、25、60、80、100、125℃处理30 min,以蜡样芽孢杆菌为指示菌,采用滤纸片法测定DIZ大小。实验重复3次,取平均值。

(2)紫外线照射对抑菌稳定性的影响

将质量浓度为0.05 g/mL样品水溶液,置于紫外灯下(254 nm, 20 W, 样距5~10 cm),分别照射5、10、20、40、60 min,采用滤纸片法测定其抑菌活性。实验重复3次,取平均值。

(3) pH对抑菌稳定性的影响

采用0.1 mol/L NaOH和0.1 mol/L HCl溶液调节样液pH为3、4、5、6、7、8、9、10,采用滤纸片法测定其抑菌活性。实验重复3次,取平均值。

(4)金属离子对抑菌稳定性的影响

采用0.1 mol/L AlCl₃溶液、KCl溶液、FeCl₃溶液、CaCl₂溶液、ZnSO₄溶液、MgSO₄溶液、CuSO₄溶液、FeCl₂溶液分别溶解样品,并使其溶液质量浓度为0.05 g/mL,以未经处理的样液作为对照(CK),静置5 h。采用滤纸片法测定其抑菌活性。实验重复3次,取平均值^[27]。

(5)糖浓度对抑菌稳定性的影响

将浓度为2%、4%、6%、8%、10%、20%、30%的葡萄糖(C₆H₁₂O₆)水溶液分别加入样品使其溶液质量浓度为0.05 g/mL,以未经处理的样液作为对照(CK),采用滤纸片法测定其抑菌活性。实验重复3次,取平均值。

(6)盐浓度对抑菌稳定性的影响

将盐(NaCl)浓度为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、2.0%、4.0%、6.0%、8.0%、10.0%的水溶液分别加入样品使其溶液质量浓度为0.05 g/mL,以未经处理的样品液(质量浓度0.05 g/mL)作为对照(CK),以蜡样为指示菌,采用滤纸片法测定其抑菌活性。实验重复3次,取平均值。

1.4 数据处理

采用SPSS Statistics 22对实验数据进行显著性差异分析,应用Microsoft Excel 2010和Origin 2018软件对数据进行整理和作图。

2 结果与分析

2.1 木姜子不同醇浓度提取物的抑菌效果

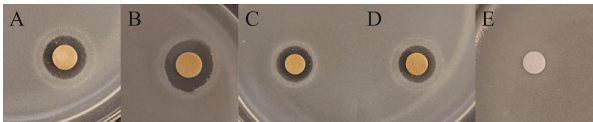
通过测定抑菌圈直径的大小,可以直接判定其抑菌能力的强弱,直径越大,抑菌效果越强^[28]。采用抑菌圈法测试木姜子醇提取物的抑菌活性,滤纸片的大小为6 mm。其结果显示纯水和55%、75%、95%、100%醇提取物对应抑菌圈分别为6 mm、(9.57±0.07) mm、(10.36±0.06) mm、(11.82±0.04) mm、(13.13±0.07) mm。表明云南木姜子纯水提取物对蜡样芽孢杆菌无抑菌作用,不同醇浓度提取物对蜡样芽孢杆菌都有抑制作用,且存在显著性差异,其中无水乙醇提取物抑菌圈的直径最大,它的抑菌效果最明显。该抑菌实验证明了它含有抑菌成分^[29],且抑菌成分可能难溶于水,易溶于乙醇。因此,选用无水乙醇提取物作为下一步研究的对象。

2.2 木姜子不同溶剂萃取物的抑菌效果

由图1可以看出,不同溶剂萃取物对蜡样芽孢杆菌的抑制效果不同,石油醚相、乙酸乙酯相、正丁醇相、氯仿相对应的抑菌圈分别为(13.50±0.03) mm、(14.65±0.02) mm、(12.37±0.05) mm、(12.07±0.03) mm。其中乙酸乙酯萃取相对蜡样芽孢杆菌抑菌圈的直径最大,它的抑菌效果最明显。木姜子各萃取相对蜡样芽孢杆菌抑菌圈直径大小排序为:乙酸乙酯相>石油醚相>正丁醇相>氯仿相,且各萃取相抑菌活性存在显著性差异。此外,各有机溶剂对照组均未产生抑菌圈,推测它们无抑菌作用。也可能是在滤纸片处理过程中溶剂挥发,未发挥其抑菌作用。云南木姜子乙酸乙酯萃取相对蜡样芽孢杆菌有更好的抑菌效果,溶剂为乙酸乙酯表明云南木姜子抑菌活性成分主要集中在极性较大的部分。由于木姜子的研究目前主要集中于精油方面,

有大量研究表明精油中含有较高含量的柠檬醛,且具有广谱抑菌性,初步分析云南木姜子乙酸乙酯相中的抑菌主体成分为柠檬醛^[30]。

最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)可以用来评价抑菌物质抑菌活性强弱。MIC 值越小,则表明该样品的抑菌作用越强。MIC 值结果如表 1 所示,该结果与抑菌圈直径结果一致,云南木姜子抑菌成分在不同极性溶剂中的溶解程度不同,乙酸乙酯相中含有主要的抑菌活性物质,该萃取相的 MIC 值为 0.08 mg/mL。在后续实验中,选用云南木姜子乙酸乙酯相作为研究对象。



注: A. 石油醚相; B. 乙酸乙酯相; C. 正丁醇相; D. 氯仿相; E. 纯水。

图 1 各萃取相的抑菌活性

Fig.1 Antibacterial activities of each extracted phase

表 1 各萃取相的 MIC
Table 1 MIC of each extracted phase

质量浓度 /(mg/mL)	萃取相			
	石油醚	乙酸乙酯	正丁醇	氯仿
10.00	-	-	-	-
5.00	-	-	-	-
2.50	-	-	-	-
1.20	-	-	-	+
0.60	-	-	+	+
0.30	-	-	+	+
0.15	-	-	+	+
0.08	+	-	+	+
0.04	+	+	+	+
0.02	+	+	+	+

注: - 为无菌生长, + 为有菌生长。

2.3 云南木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性研究结果

2.3.1 温度对木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性的影响

温度变化会对云南木姜子乙酸乙酯相抑菌效果产生影响,对于蜡样芽孢杆菌而言,其抑制作用变化总体来看并不明显。木姜子乙酸乙酯相在处理温度 0~25℃时,抑菌效果基本不变,当处理温度高于 60℃时,抑菌圈直径降低较明显。且随着处理温度的升高,其抑菌圈直径逐渐变小,抑菌效果逐渐减弱。整体来看,云南木姜子乙酸乙酯相具有较好的热稳定性,云南木姜子提取物在热加工处理后,仍能够保持较好的抑菌效果。

2.3.2 紫外线照射对木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性的影响

不同紫外处理时长会对云南木姜子乙酸乙酯相抑菌效果产生影响,随着紫外处理时间的延长,其抑菌效果会有所减弱,当紫外处理时长在 20 min 内时,抑菌效果产生轻微变化,当紫外处理时长在 20 min 以上时,抑菌效果才会发生显著降低。表明云南木姜子提取物在紫外照射一定时间范围内具有较好的稳定性,若处理时间过长,可能会对抑菌主体成分产生破坏,造成成分含量下降,抑菌效果减弱。

2.3.3 pH 对木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性的影响

云南木姜子乙酸乙酯相抑菌效果随着 pH 改变发生不同变化。当 pH 在 3~8 的范围内时,随着 pH 的增加,抑菌圈直径逐渐增大,在 pH 为 8 时抑菌效果达到最佳;当 pH 再逐渐变大时,抑菌圈直径逐渐减小,抑菌效果减弱。表明云南木姜子提取物在酸性和碱性环境下也有较好的抑菌作用,在弱碱环境下,它的抑菌效果最好。可能是偏酸和偏碱条件会对抑菌活性物质产生影响,造成该物质稳定性和理化性质的改变。

2.3.4 金属离子对木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性的影响

经过不同金属离子处理后,木姜子乙酸乙酯相的抑菌效果各有改变(图 2)。与对照组相比,只有 Mg^{2+} 可增强萃取相抑菌活性。通过分析,可能是它与抑菌活性物质产生了协同作用,增强了抑菌活性,还有可能是 Mg^{2+} 直接作用于蜡样芽孢杆菌,对菌体产生了破坏。 Al^{3+} 、 K^{+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 都减弱了萃取相抑菌活性,其中 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 对乙酸乙酯相抑菌活性有较大影响。可能是这些金属离子破坏了抑菌活性成分,成分含量下降,导致其抑菌活性降低。若对云南木姜子进行加工处理、包装或者将其应用于防腐保鲜时,可适当避开金属离子环境^[31]。

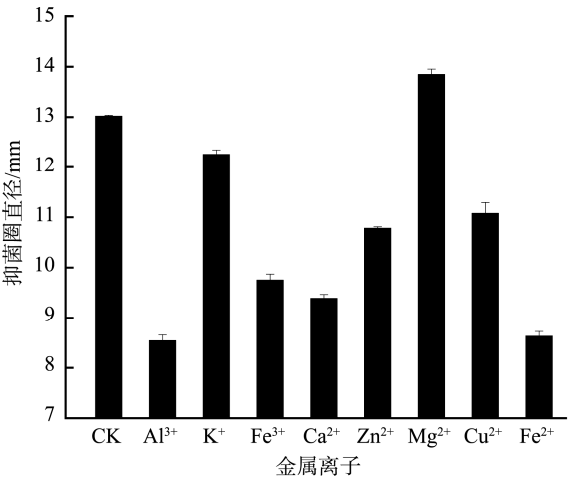


图 2 金属离子对云南木姜子提取物抑菌活性的影响
Fig.2 Effects of metal ion on antibacterial activity of Yunnan Litsea cubeba extract

2.3.5 糖浓度对木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性的影响

经过糖处理的云南木姜子乙酸乙酯相,其抑菌效果发生了变化。随着糖浓度的提高,抑菌圈直径逐渐增大,其抑菌效果也更强。糖浓度在0%~4%范围内,其抑菌效果变化不明显。当糖浓度为6%时,抑菌效果显著性提高。可能是糖与木姜子产生协同作用,也可能是糖直接作用于蜡样芽孢杆菌,打破了渗透压平衡,破坏了菌体。在云南木姜子进行加工处理时,若考虑糖的使用,可以增强其抑菌效果,并延长保质期。

2.3.6 盐浓度对木姜子乙酸乙酯萃取相抑菌稳定性的影响

盐浓度的提高增强了云南木姜子乙酸乙酯萃取相的抑菌效果。当盐浓度在0%~0.8%范围内,其抑菌效果会随浓度的升高发生显著性变化。在盐浓度高于0.8%时,盐浓度的提高会对其抑菌效果有较弱的影响。微生物生长需要适宜的渗透压,可能是盐浓度升高时^[32],引起了渗透压的不平衡,导致菌体细胞失水,抑制了菌体的生长。因此在云南木姜子的加工处理过程中,可以考虑盐的应用。

3 结 论

云南木姜子乙酸乙酯萃取相经过不同条件处理后,其抑菌效果均有所变化。整体来说,在高温、紫外线照射和酸碱条件下,抑菌活性物质能够保持稳定^[33]。各金属离子处理对其抑菌作用有不同影响,大部分的金属离子降低了其抑菌效果,只有 Mg^{2+} 处理增强了其抑菌效果。此外,糖和盐处理都明显增强了云南木姜子提取物的抑菌能力。实际应用中,将云南木姜子作为调味品时,可以适当考虑其与糖或盐结合使用,协同发挥抑菌作用,在一定程度上能够延长食品防腐保鲜时间。在对其相关食品进行包装时,也可尽量避免金属包装材料,以防其抑菌功能的减退。

本研究证明云南木姜子提取物对蜡样芽孢杆菌有抑制作用,该结果可为蜡样芽孢杆菌引起的食品污染问题提供借鉴,也可为云南木姜子在天然防腐剂和抑菌剂方面的开发和利用提供参考,促进木姜子产业的发展。

参考文献

- [1] 黄伟英,陈海光,刘巧瑜,等.天然防腐剂在肉制品中的保鲜和抑菌效果及其应用研究进展[J].肉类工业,2022,(12):41-47.
HUANG WY, CHEN HG, LIU QY, et al. Research progress in the preservation and bacteriostatic effects of natural preservatives in meat products and their application [J]. Meat Ind, 2022, (12): 41-47.
- [2] PANITSA A, PETSI T, KANDYLIS P, et al. Tubular cellulose from orange juice by-products as carrier of chemical preservatives; delivery kinetics and microbial stability of orange juice [J]. Foods, 2021, 10(8): 1882.
- [3] 吕奎莹,赵秋香,赵媛媛,等.天然食品防腐剂及其在食品中的应用研究[J].中国调味品,2020,45(4):186-188.
LV KY, ZHAO QX, ZHAO YY, et al. Natural food preservatives and their application in food [J]. China Cond, 2020, 45(4): 186-188.

- [4] 周富裕.7种天然防腐剂对气调包装酱肉制品的抑菌效果[J].食品工业科技,2018,39(5):235-240.
ZHOU FY. Bacteriostatic effect of seven natural preservatives on modified atmosphere packaging sauce marinated meat products [J]. Food Ind Technol, 2018, 39(5): 235-240.
- [5] 黄淑婷,姚和莹,俞梦婷,等.天然防腐剂食品保鲜作用研究进展[J].现代食品,2022,28(23):26-29.
HUANG ST, YAO HY, YU MT, et al. Research progress in the preservation of natural preservatives [J]. Mod Food, 2022, 28(23): 26-29.
- [6] AWAD AM, KUMAR P, ISMAILFITRY MR, et al. Overview of plant extracts as natural preservatives in meat [J]. J Food Proc Preserv, 2022. DOI: 10.1111/JFPP.16796
- [7] 赵红艳,张淑颖,张玲,等.木姜子乙醇提取物抑菌活性研究[J].山地农业生物学报,2008,27(6):557-559.
ZHAO HY, ZHANG SY, ZHANG L, et al. Study on the antibacterial activity of the ethanol extract from *Litsea zingiberensis* [J]. J Mount Agric Biol, 2008, 27(6): 557-559.
- [8] 蒲丹丹,陕怡萌,张玉玉.木姜子香气成分与生物活性及其代谢途径的研究进展[J].食品工业科技,2022,43(17):435-448.
PU DD, SHAN YM, ZHANG YY. Research progress on aroma components, biological activities and metabolic pathway of *Litsea zingiberensis* [J]. Food Ind Technol, 2022, 43(17): 435-448.
- [9] 黄志端.木姜子的研究进展及应用价值[J].当代化工研究,2022,(9):164-166.
HUANG ZD. Research progress and application value of *Litsea zingiberensis* [J]. Contemp Chem Res, 2022, (9): 164-166.
- [10] 宁娜.木姜子属植物的研究现状[J].凯里学院学报,2012,30(6):38-42.
NING N. Current status of research on *Litsea plants* [J]. J Kaili Univ, 2012, 30(6): 38-42.
- [11] 赖鹏英,肖志红,黎继烈,等.山苍子果实制备精油与核仁油的研究进展[J].湖南林业科技,2019,46(1):65-69.
LAI PY, XIAO ZH, LI JL, et al. Research progress in the preparation of essential oil and kernel oil from *Litsea cubeba* fruit [J]. Hunan For Sci Technol, 2019, 46(1): 65-69.
- [12] KUNOVA S, SENDRA E, HASCIK P, et al. Microbiological quality of deer meat treated with essential oil *Litsea cubeba* [J]. Animals (Basel), 2022, 12(18): 1-5.
- [13] BOROTOVA P, GALOVICOVA L, VUKOVIC NL, et al. Role of *Litsea cubeba* essential oil in agricultural products safety: Antioxidant and antimicrobial applications [J]. Plants (Basel), 2022, 11(11): 1-6.
- [14] 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]. Int J Food Microbiol, 2021, 338: 108989.
- [15] 肖磊.滇产香花木姜子的化学成分研究[D].昆明:云南大学,2019.
XIAO L. Study on the chemical constituents of the seed of *Alpinia zingiberensis* from Yunnan [D]. Kunming: Yunnan University, 2019.
- [16] 陈聪,薛桥丽,胡永金,等.云南木姜子醇提物抑菌活性及其稳定性研究[J].食品工业科技,2023. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100111
CHEN C, XUE QL, HU YJ, et al. Study on the bacteriostatic activity and stability of the alcohol extract of *Litsea yunnanensis* [J]. Food Ind Technol, 2023. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100111

- [17] 吴霜, 张紫薇, 李虹甫, 等. 婴幼儿配方乳粉加工环境中蜡样芽孢杆菌多位点序列分型[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 134–138.
- WU S, ZHANG ZW, LI HF, *et al.* Multi-point sequence typing of *Bacillus cereus* in the processing environment of infant formula milk powder [J]. Food Ind Technol, 2018, 39(23): 134–138.
- [18] 种婷. 食品中蜡样芽孢杆菌检测技术应用进展[J]. 现代食品, 2022, 28(7): 28–30.
- ZHONG T. Progress in the application of detection technology for *Bacillus cereus* in food [J]. Mod Food, 2022, 28(7): 28–30.
- [19] PORCELLATO D, ASPHOLM M, SKEIE SB, *et al.* Application of a novel amplicon-based sequencing approach reveals the diversity of the *Bacillus cereus* group in stored raw and pasteurized milk [J]. Food Microbiol, 2019, 81: 32–39.
- [20] EHLING-SCHULZ M, LERECULUS D, KOEHLER TM. The *Bacillus cereus* group: *Bacillus* species with pathogenic potential [J]. Microbiol Spectr, 2019. DOI: 10.1128/microbiolspec.GPP3-0032-2018
- [21] 杨艾华, 宋姗姗, 王微微. 火炭母提取物对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及稳定性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 148–152.
- YANG AIH, SONG SS, WANG WW. Study on the bacteriostatic activity and stability of the extract of mother cinnabar against *Staphylococcus aureus* [J]. Food Mach, 2021, 37(11): 148–152.
- [22] 郭俊花, 张增帅, 马欣, 等. 11 种食药同源植物提取物对果蔬常见腐败菌的抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(12): 2025–2031.
- GUO JH, ZHANG ZS, MA X, *et al.* Study on the antibacterial activity of extracts from 11 edible and medicinal homologous plants against common spoilage bacteria of fruits and vegetables [J]. Nat Prod Res Dev, 2019, 31(12): 2025–2031.
- [23] 田强, 赵琳, 罗毅冲, 等. 厚朴籽不同溶剂萃取物抗氧化活性比较分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 54–58.
- TIAN Q, ZHAO L, LUO YC, *et al.* Comparative analysis of antioxidant activity of extracts from *Magnolia officinalis* seeds in different solvents [J]. Food Ind Technol, 2019, 40(18): 54–58.
- [24] 中国标准化研究院. 微生物源抗生素类次生代谢产物抗菌活性测定[Z]. 2020.
- China Institute of Standardization. Determination of antibacterial activity of secondary metabolites of antibiotics from microorganisms [Z]. 2020.
- [25] SAVIANO AM, LOURENCO FR. Rapid microbiological methods (RMMs) for evaluating the activity of cephalosporin antibiotics employing triphenyltetrazolium chloride [J]. Talanta, 2018, 185: 520–527.
- [26] 张声源, 邹可欣, 吴志明, 等. 野生红冬蛇菰提取物抑菌活性评价及作用机理[J]. 北方园艺, 2020, (16): 109–115.
- ZHANG SY, ZOU KX, WU ZM, *et al.* Evaluation of antibacterial activity and mechanism of action of wild *Zizania rubra* extract [J]. Northern Hort, 2020, (16): 109–115.
- [27] 孙长花, 丁娟芳, 王君, 等. 迷迭香提取液的抑菌作用及稳定性研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 42–45.
- SUN CH, DING JF, WANG J, *et al.* Study on the bacteriostasis and stability of rosemary extract [J]. Chin Cond, 2020, 45(11): 42–45.
- [28] 孙群, 易华西, 张冬, 等. 潜在益生菌的筛选及抑菌功能特性评价[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 1–5.
- SUN Q, YI HX, ZHANG D, *et al.* Screening of potential probiotics and evaluation of antibacterial function characteristics [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(12): 1–5.
- [29] 秦楠, 杨金梅, 梁莹支, 等. 解淀粉芽孢杆菌 HRH317 菌株抗菌肽发酵条件优化及其抑菌活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(15): 6169–6176.
- QIN N, YANG JM, LIANG YZ, *et al.* Optimization of fermentation conditions of *Bacillus amyloliquefaciens* strain HRH317 and its antibacterial activity [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(15): 6169–6176.
- [30] 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, 2022, 1: 1–10.
- SUN Y, ZENG CY, LI ZY, *et al.* Mechanism of the effect of essential oil of *Phyllostachys* spp. on the cell membrane barrier of *Pseudomonas albicans* [J]. Food Sci, 2022, 1: 1–10.
- [31] 丁仁惠, 何小娥, 王文龙, 等. 博落回中绿霉病抑菌物质的提取工艺及抑菌稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 26–34.
- DING RH, HE XE, WANG WL, *et al.* Study on the extraction process and antibacterial stability of *Chloromycete* bacteriostatic substances in *Macleaya japonica* [J]. Food Res Dev, 2019, 40(9): 26–34.
- [32] 翟佳琳, 赵景娜, 王丹丹, 等. 具有抑菌活性植物乳杆菌的筛选及抑菌物质特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(13): 84–90.
- ZHAI JL, ZHAO JN, WANG DD, *et al.* Screening of *Lactobacillus plantarum* with antibacterial activity and study on the characteristics of antibacterial substances [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(13): 84–90.
- [33] 任国媛, 郭启新, 王静, 等. 雪地茶甲醇提取物体外抑菌活性及其稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 147–154.
- REN GY, GUO QX, WANG J, *et al.* Study on the antibacterial activity and stability of methanol extract from snow tea *in vitro* [J]. Food Ind Technol, 2022, 43(1): 147–154.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



魏美娟, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: 798110487@qq.com



朱仁俊, 教授, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: 2421125201@qq.com



薛桥丽, 硕士, 主要研究方向为食品安全与品质控制。

E-mail: 227352290@qq.com