

张添菊, 李春阳, 吴 寒, 等. 盐蒿提取液抗食源性致病菌活性及其抑菌机理[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(4): 932-937.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.04.032

盐蒿提取液抗食源性致病菌活性及其抑菌机理

张添菊¹, 李春阳¹, 吴 寒¹, 闫 征¹, 贾成琦², 祁海春²

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏海苑食品有限公司, 江苏 滨海 224000)

摘要: 以 5 种常见的致病菌为试验对象, 采用体外抑菌试验筛选出盐蒿提取液作用效果最好的致病菌, 并通过研究盐蒿提取液对致病菌作用前后细菌培养液的 OD_{260} 、电导率、碱性磷酸酶 (AKP) 活性和细胞超微结构的变化, 初步探讨盐蒿提取液对单增李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*) 的抑菌机制。结果显示, 盐蒿提取液对 5 种致病菌均有抑菌活性, 但对单增李斯特菌抑制效果最好, 最小抑菌浓度 (MIC) 为 0.062 5 mg/ml, 对 5 种致病菌抑制效果表现为: 单增李斯特菌 > 金黄色葡萄球菌 > 大肠杆菌 > 肠炎沙门氏菌 > 鲍氏志贺氏菌。单增李斯特菌经盐蒿提取液处理后, 细菌培养液 260 nm 的吸光度、电导率和 AKP 活性均增大, 表明盐蒿提取液可破坏单增李斯特菌细胞壁和细胞膜的结构, 导致细胞通透性增加, 进而使细胞内容物外泄, 使细胞生长受到抑制, 进而导致死亡。

关键词: 盐蒿提取液; 抑菌活性; 抑菌机理

中图分类号: Q935

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2017)04-0932-06

Antimicrobial activities and mechanism of *Artemisia halodendron* extract

ZHANG Tian-ju¹, LI Chun-yang¹, WU Han¹, YAN Zheng¹, JIA Cheng-qi², QI Hai-chun²

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Haiyuan Food Limited Company, Binhai 224000, China)

Abstract: Five kinds of food-derived pathogenic bacteria were used for the detection of antimicrobial activity of *Artemisia halodendron* extract, and the antimicrobial mechanisms were studied by determining the change of OD_{260} , electric conductivity and alkaline phosphatase content of the culture solution for bacteria and the cell structure under scanning electron microscope of *Listeria monocytogenes*. *A. halodendron* extract exhibited inhibitory effects on *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *L. monocytogenes*, *Shigella bogdii* and *Salmonella*. The minimum inhibitory concentration (MIC) against *L. monocytogenes* was 0.062 5 mg/ml. The antibacterial activity on the bacteria from strong to weak followed the order of *L. monocytogenes* > *S. aureus* > *E. coli* > *Salmonella* > *S. bogdii*. The increase of OD_{260} , electric conductivity and alkaline phosphatase content of bacteria culture solution indicated that *A. halodendron* extract could damage the structure of cell wall and membrane, resulting in the increase of permeability of cell membrane and release of cell components, thereby inhibiting the growth of cell and causing death.

Key words: *Artemisia halodendron* extract; antimicrobial activity; antimicrobial mechanism

收稿日期: 2017-02-07

基金项目: 2015 年国家留学基金项目 (201508320085); 2014 年苏北科技发展计划 (富民强县) 项目 (BN2014147)

作者简介: 张添菊 (1992-), 女, 贵州贵阳人, 硕士研究生, 主要从事营养与功能食品研究。 (Tel) 15950572309; (E-mail) 1151201245@qq.com

通讯作者: 李春阳, (E-mail) lichunyang968@126.com

盐蒿 (*Artemisia halodendron*) 又名碱蓬、龙须菜, 属一年生草本植物, 是一种生长于盐碱地和海滨沙滩的抗逆性较强的盐生植物^[1]。中国盐蒿资源丰富, 共有盐蒿属植物 21 种和 1 个变种^[2], 江苏拥有中国最大的沿海滩涂湿地, 野生盐蒿的平均产量为 1.5 t/hm², 产量十分可观^[3]。盐蒿含有很多营养丰富的功能活性物质, 可直接作为动物饲料, 将盐蒿植

株作为牲畜混合饲料的一部分,取代传统的干草饲料,不仅能够降低饲养成本,而且可以提高牧产品的品质^[4]。盐蒿中黄酮类化合物是植物产生的一类次生代谢产物,是一类重要的天然化合物,对人体健康起着重要的作用^[5]。大量研究结果表明,黄酮类物质具有降血压、降血脂、改善血液循环、保护心脏、肝脏、止咳祛痰、抗菌消炎、抗肿瘤的功效^[6-9]。

盐蒿具有较强的抑菌活性,可以开发成抑菌剂的新型植物源。韩进萍等^[10]发现,不同生长期内的盐蒿总黄酮提取液对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌均具有较强的抑制作用。刘诗扬等^[11]从盐蒿健康组织中分离出1株内生芽孢杆菌(EB0901),其对供试的9种植物病原真菌菌丝生长均有一定的抑制作用,对玉米大斑病菌、辣椒菌核病菌、平脐霉孢病菌、辣椒炭疽病菌的抑菌能力较强。本研究拟以江苏沿海地区的盐蒿为研究对象,探究盐蒿对常见食源性致病菌的抑菌活性及抑菌机理,以期盐蒿资源的高效利用以及天然抗菌剂的开发提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本试验以江苏省沿海地区的盐蒿为试验材料,以单增李斯特菌(*Listeria monocytogenes*, G^+)、肠炎沙门氏菌(*Salmonella enteritidis*, G^-)、大肠杆菌(*Escherichia coli*, G^-)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, G^+)、鲍氏志贺氏菌(*Shigella boydii*, G^-)为供试菌,均取自南京师范大学。营养肉汤培养基购自广东环凯微生物科技有限公司,戊二醛、那他霉素和无水乙醇均购自南京助研生物技术有限公司,碱性磷酸酶试剂盒购自南京建成生物工程公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器有JSM-5610LV扫描电镜、DDS-11A电导率仪、LDZX-50KBS立式压力蒸汽灭菌锅、SW-CJ-IF型无菌超净工作台、DD-5M大型高速离心机、HPX-9162数显电热培养箱、UV-6100紫外分光光度计、N-1001型旋转蒸发仪、DGG-9140A型电热恒温鼓风干燥箱、Mill-Q Academic超纯水系统和722N型可见分光光度计。

1.3 方法

1.3.1 盐蒿提取液 盐蒿提取液的提取参照文献^[12],盐蒿于50℃下烘干,粉碎并过筛后,取1g样品,加10ml石油醚超声(200W、60~70℃)提取30

min,除去石油醚后,加40ml 70%甲醇(体积比),浸泡40min后再超声提取20min,重复2次,合并提取液,将提取液离心10min(5000r/min),取上清液定容后备用。

1.3.2 菌悬液 在无菌超净工作台中,将致病菌活化18h,转接到无菌营养肉汤培养基中,37℃培养12h,用液体培养基稀释,使得菌悬液浓度为 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ CFU/ml,备用。

1.3.3 抑菌效果 采用打孔法^[13]对抑菌效果进行测定。待无菌营养肉汤培养基凝固后,加入100μl制备好的菌悬液涂布均匀,用直径为8mm的打孔器于培养基中央打1个圆孔,加入100μl盐蒿提取液,以二甲基亚砜为阴性对照,那他霉素为阳性对照,每组重复3次。37℃培养24h后,游标卡尺测实际抑菌圈直径。抑菌圈直径按公式1^[14]计算。

$$D = D_1 - 8 \quad (1)$$

D (mm):抑菌圈直径; D_1 (mm):测量的抑菌圈直径;8(mm):打孔器直径。

1.3.4 最小抑菌浓度(MIC)及最小致死浓度(MBC) 采用肉汤稀释法^[15]测定MIC:在96孔板中,加入150μl配制好的菌液,加入同体积盐蒿提取液进行2倍梯度稀释,将浓度从2.000 000 mg/ml稀释到0.015 625 mg/ml,37℃培养24h。根据盐蒿提取液浓度从低到高观察致病菌生长状况,以第一个出现不浑浊的提取液浓度为盐蒿提取液对供试致病菌的最小抑制浓度。MBC的测定:将高于1倍最小抑菌浓度(1 MIC)的菌液置于固体培养基中,37℃培养24h,不长菌的浓度为最小致死浓度。

1.3.5 细胞膜通透性 参照Lou等^[16]试验方法,取对数期致病菌的菌悬液,离心(5000r/min、10min)收集菌体,用无菌磷酸缓冲液(0.1 mol/ml、pH7.4)洗涤3次,重新悬浮于PBS中,取20ml菌液,与盐蒿提取液混合使最终浓度达到1 MIC和1倍最小致死浓度(1 MBC),摇床[(37±1)℃、200r/min]分别培养0min、10min、20min、40min、60min、80min、100min、120min,立即取5ml,离心(5000r/min、10min)取上清液,电导仪测定菌悬液电导率。每个样品重复3次,不加提取液组为空白对照。

1.3.6 细胞膜完整性 取对数期致病菌的菌悬液,离心(5000r/min、10min)收集菌体,用无菌磷酸缓冲液(0.1 mol/ml、pH7.4)洗涤3次,重新悬浮于PBS中,取20.00ml菌液,与盐蒿提取液混合使得

终浓度达到 1 MIC 和 1 MBC, 摇床 $[(37\pm 1)^\circ\text{C}、200\text{ r/min}]$ 培养, 每组分别在 0 h、1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h 取 1.00 ml 菌液离心 $(5\,000\text{ r/min}、10\text{ min})$, 取 0.05 ml 上清液按照碱性磷酸酶 (AKP) 试剂盒说明书的方法^[17]进行 AKP 含量测定, 以不加提取液组为空白对照。

1.3.7 紫外吸收 参照 Feng 等^[18]试验方法, 取对数期致病菌的菌悬液, 离心 $(5\,000\text{ r/min}、10\text{ min})$ 收集菌体, 用无菌磷酸缓冲液 $(0.1\text{ mol/ml}、\text{pH}7.4)$ 洗涤 3 次, 重新悬浮于 PBS 中, 取 20 ml 菌液, 与盐蒿提取液混合使得终浓度达到 1 MIC 和 1 MBC, 摇床 $[(37\pm 1)^\circ\text{C}、200\text{ r/min}]$ 分别培养 0 h、1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h、7 h 和 8 h, 离心 $(4\,000\text{ r/min}、10\text{ min})$ 去除菌体, 取上清液于紫外分光光度计 260 nm 处测定吸光值 (A_{260}) , 每个样品重复 3 次, 以不加提取液组为空白对照。

1.3.8 细胞显微特征 将对数期的菌悬液调整到 $1\times 10^7\text{ CFU/ml}$, 添加盐蒿提取液使其终浓度为 1 MIC 和 1 MBC。摇床 $[(37\pm 1)^\circ\text{C}、200\text{ r/min}]$ 处理 24 h, 以不加提取液组为空白对照。菌悬液用无菌磷酸缓冲液 $(0.1\text{ mol/ml}、\text{pH}=7.4)$ 洗涤 3 次, 离心 $(4\,000\text{ r/min}、10\text{ min})$, 收集菌体后用 2.5% 戊二醛溶液固定过夜。处理好的菌体经过离心、洗涤后, 依次用 30.0%、50.0%、70.0%、90.0%、100.0% 乙醇脱水 (2 次), 1 次 15 ml, 脱水 10 min, 离心 10 min, 最后一次脱水时将菌体转入 1 ml 离心管中, 加入少量醋酸异戊酯, 轻轻打散菌体并蘸取 1 滴醋酸异戊酯菌液, 滴加在盖玻片的扫描专用器具上, 待醋酸异戊酯挥发干燥后, 进行喷金处理^[19-20]。

1.4 数据处理分析

采用 SPSS17.0 统计软件进行数据分析, origin8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 盐蒿提取液的抑菌活性

2.1.1 盐蒿提取液对食源性致病菌的抑制效果 抑制效果可以通过测定抑菌圈来进行评价, 抑菌圈直径越大, 说明该抑菌剂抑菌效果越好。由表 1 可知, 盐蒿提取液对 5 种常见致病菌均有抑制效果, 但不同致病菌对盐蒿提取液的耐受性有明显的个体差异^[21]。在质量浓度为 2 mg/ml 时, 盐蒿提取液对 5 种致病菌抑菌圈直径最高为 $(16.67\pm 0.10)\text{ mm}$, 最低为 $(5.78\pm$

$0.29)\text{ mm}$, 其对大肠杆菌、单增李斯特菌及金黄色葡萄球菌的抑制效果优于质量浓度为 25 $\mu\text{g/ml}$ 那他霉素阳性对照, 然而对另外 2 种致病菌的抑菌效果低于阳性对照的。因此, 盐蒿提取液对大肠杆菌、单增李斯特菌和金黄色葡萄球菌抑制作用较强, 对鲍氏志贺氏菌、肠炎沙门氏菌抑制作用较弱。

表 1 盐蒿提取液的抑菌圈直径

Table 1 Antimicrobial diameter of *Artemisia halodendron* extract

供试致病菌	盐蒿提取液抑菌圈直径 (mm)		
	盐蒿粗提物	阳性对照	阴性对照
大肠杆菌	13.50 \pm 0.18a	12.58 \pm 0.09b	-
金黄色葡萄球菌	15.31 \pm 0.09a	13.10 \pm 0.08a	-
单增李斯特菌	16.67 \pm 0.10b	8.95 \pm 0.23d	-
肠炎沙门氏菌	5.78 \pm 0.29d	6.40 \pm 0.18e	-
鲍氏志贺氏菌	9.33 \pm 0.31c	10.50 \pm 0.08c	-

同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); -: 抑菌圈不明显。

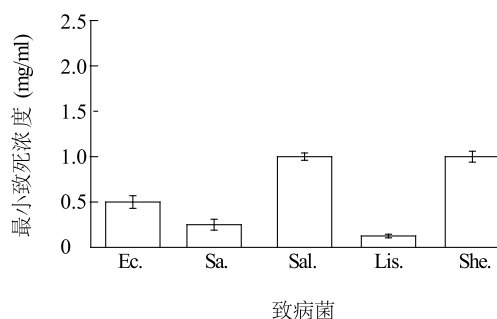
2.1.2 盐蒿提取液的 MIC 由表 2 可知, 盐蒿提取液对单增李斯特菌的 MIC 为 0.062 500 mg/ml, 对大肠杆菌的 MIC 为 0.250 000 mg/ml, 对金黄色葡萄球菌的 MIC 为 0.125 000 mg/ml, 对肠炎沙门氏菌的 MIC 为 1.000 000 mg/ml, 对鲍氏志贺氏菌的 MIC 为 0.500 000 mg/ml。表明盐蒿提取液对单增李斯特菌、大肠杆菌及金黄色葡萄球菌的抑制效果较强, 对肠炎沙门氏菌的抑制效果相对较弱。盐蒿提取液对 5 种致病菌的致死效果 (图 1) 表现为: 单增李斯特菌>金黄色葡萄球菌>大肠杆菌>肠炎沙门氏菌>鲍氏志贺氏菌。盐蒿提取液对革兰氏阳性菌的抑制效果强于革兰氏阴性菌。盐蒿提取液对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和单增李斯特菌抑制效果最为显著。

表 2 盐蒿提取液对致病菌的最小抑制浓度

Table 2 MIC of the *A. halodendron* extract

盐蒿提取液浓度 (mg/ml)	致病菌				
	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌	肠炎沙门氏菌	单增李斯特菌	鲍氏志贺氏菌
2.000 000	-	-	-	-	-
1.000 000	-	-	-	-	-
0.500 000	-	-	+	-	-
0.250 000	-	-	+	-	+
0.125 000	+	-	++	-	+
0.062 500	+	+	++	-	++
0.031 250	++	++	++	+	++
0.015 625	++	++	++	++	++

-: 无菌生长; +: 有少量菌生长; ++: 有大量菌生长。



Ec.: 大肠杆菌; Sa.: 金黄色葡萄球菌; Sal.: 肠炎沙门氏菌; Lis.: 单增李斯特菌; She.: 鲍氏志贺氏菌。

图1 盐蒿提取液对致病菌的最小致死浓度

Fig.1 MBC of the *A. halodendron* extract

2.2 盐蒿提取液的抑菌机理

2.2.1 盐蒿提取液对菌体细胞膜通透性的影响

盐蒿提取液对单增李斯特菌电导率影响如图2显示。随着培养时间的增加,对照组电导率呈现稳定上升的趋势,这可能是菌液中菌体浓度增加所致。当加入1 MIC和1 MBC盐蒿提取液后,在短时间内菌液电导率明显高于对照组($P < 0.05$),尤其是1 MBC盐蒿提取液对菌液电导率影响最大,说明盐蒿提取液对单增李斯特菌细胞膜造成破坏,使得细胞膜固有的功能丧失,降低细胞膜的流动性,增加其通透性,导致细胞内部大量电解质外泄至细胞外^[22],菌悬液电导率明显增加。

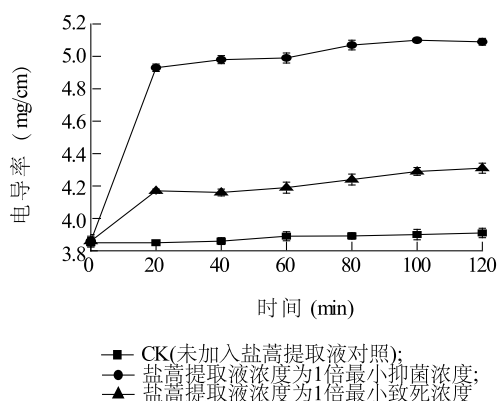


图2 盐蒿提取液对单增李斯特菌电导率的影响

Fig.2 Effects on electric conductivity of *Listeria monocytogenes* of *A. halodendron* extract

2.2.2 盐蒿提取液对菌体细胞壁的影响 盐蒿

提取液对单增李斯特菌细胞壁的影响如图3显示,随着培养时间的增加,对照组碱性磷酸酶含量始终处于相对较低且趋于平稳的水平,在细胞外很难检测到碱性磷酸酶活性。但经过1 MIC和1 MBC处理后的菌液,在4 h内碱性磷酸酶活性迅速上升至较高水平,之后趋于平稳状态,且1 MBC处理的碱性磷酸酶含量远远高于1 MIC处理。这表明盐蒿提取液短期内能有效破坏单增李斯特菌细胞壁的完整性,其中1 MBC盐蒿提取液对单增李斯特菌细胞壁完整性的破坏程度更为明显。因为细菌细胞壁完整性遭到破坏,使得碱性磷酸酶渗透到细胞外,菌液中碱性磷酸酶活性迅速升高^[23]。

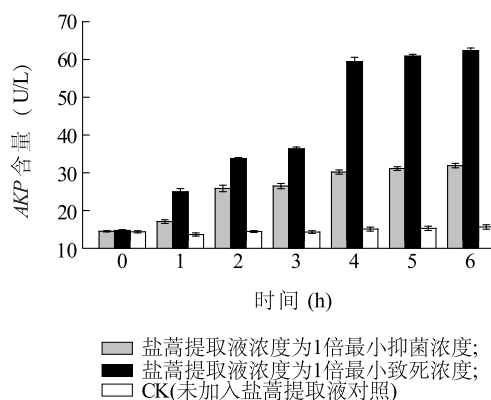


图3 盐蒿提取液对单增李斯特菌细胞壁的影响

Fig.3 Effects on cell wall of *L. monocytogenes* of *A. halodendron* extract

2.2.3 盐蒿提取液对菌体细胞紫外吸收的影响

盐蒿提取液对单增李斯特菌紫外吸收的影响如图4显示。随着盐蒿提取液作用时间的延长,对照组 OD_{260} 值呈现缓慢上升的趋势,分别经过1 MIC和1 MBC处理后的菌悬液260 nm处的吸光度值均呈逐渐升高的趋势,在3 h内迅速上升至较高水平,之后趋于平稳,且1 MBC盐蒿提取液处理后的菌悬液260 nm处的吸光度值远远高于1 MIC处理菌悬液。表明盐蒿提取液的加入可以导致菌体的膜通透性增加,导致正常状态下具有紫外吸收的大分子物质通过细胞膜泄漏到菌悬液中^[24]。

2.2.4 盐蒿提取液对菌体细胞显微特征的影响

盐蒿提取液对单增李斯特菌细胞显微特征的

影响如图 5 显示。对照组的单增李斯特菌形状为短杆形,菌体表面光滑饱满,细胞分布均匀,形态正常。1 MIC 盐蒿提取液处理组的细胞呈现畸形且表面有一定的凹陷,菌体表面粗糙,结构破坏严重。1 MBC 盐蒿提取液处理组单增李斯特菌细胞的边缘不整齐呈缺刻状,有不规则凸起或凹陷,菌体断裂、残缺,最后被裂解成碎片。以上结果表明,盐蒿提取液可以使单增李斯特菌细胞壁形成孔洞,1 MBC 盐蒿提取液对单增李斯特菌造成的破坏更严重,甚至可以使得细胞断裂。因此,盐蒿提取液具有成为一种新型天然防腐剂的巨大潜能^[21,25]。

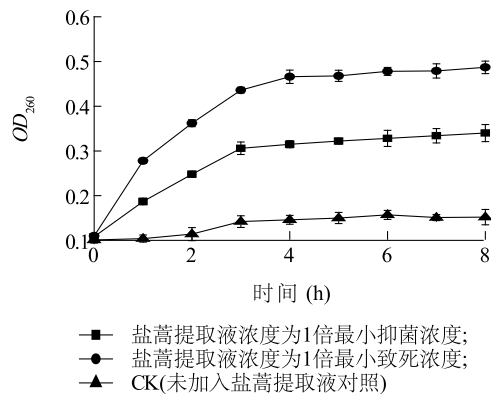
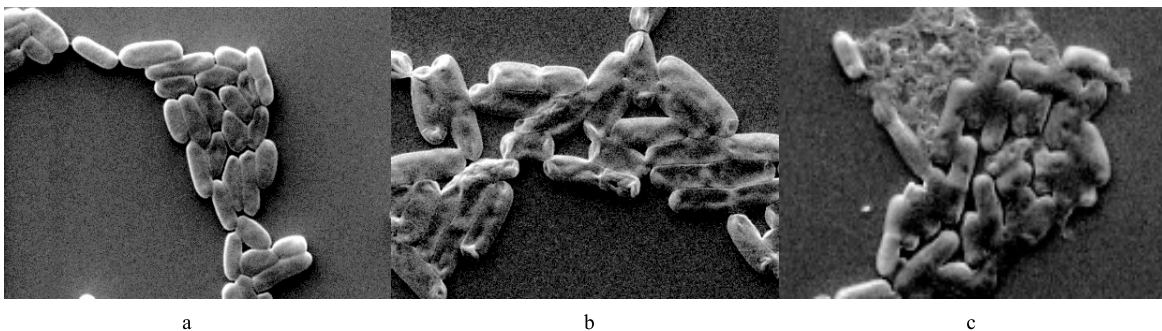


图 4 盐蒿提取液对单增李斯特菌细胞膜的影响

Fig.4 Effects on cell membrane of *L.monocytogenes* of *A. halodendron* extract



a:对照组;b:1 倍最小抑菌浓度盐蒿提取液处理;c:1 倍最小致死浓度盐蒿提取液处理。

图 5 盐蒿提取液处理后单增李斯特菌扫描电镜图

Fig.5 Scanning electron microscopy (SEM) images of *L.monocytogenes* with or without *A. halodendron* extract treatment

3 结论

本研究探索了盐蒿提取液对 5 种常见食源性致病菌的抑菌活性,同时以单增李斯特菌作为盐蒿提取液的研究对象,对其机理进行深入研究。盐蒿提取液对 5 种常见致病菌抑菌效果表明,盐蒿提取液对单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、鲍氏志贺氏菌、肠炎沙门氏菌都具有较好的抑制效果。盐蒿提取液对单增李斯特菌的 MIC 为 0.062 5 mg/ml,对大肠杆菌的 MIC 为 0.250 0 mg/ml,对金黄色葡萄球菌的 MIC 为 0.125 0 mg/ml,对肠炎沙门氏菌的 MIC 为 1.000 0 mg/ml,对鲍氏志贺氏菌的 MIC 为 0.500 0 mg/ml。此外,通过盐蒿提取液对 5 种致病菌进行 MBC 测定,盐蒿提取液对致病菌抑制效果为:单增李斯特菌>金黄色葡萄球菌>大肠杆菌>肠炎沙门氏菌>鲍氏志贺氏菌。

通过测定盐蒿提取液处理后菌液电导率的变化、菌液胞外碱性磷酸酶含量变化、单增李斯特菌紫外吸收情况和细胞显微特征,发现盐蒿提取液能在较短时间内破坏单增李斯特菌细胞壁、细胞膜的结构,增加细胞的通透性,致使细胞电解质、酶等物质渗透到细胞外,从而影响细胞结构的完整性和稳定性,导致细胞逐渐死亡。以上结果表明,盐蒿提取液能有效抑制常见食源性致病菌生长,为将盐蒿提取液开发成一种新型天然防腐剂运用于食品加工中提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 尹金来,李玉林.海涂盐土农业的兴起及展望[J]. 江苏农业科学,1999(6):49-51.
- [2] 任伟重,姜华,郑音,等.碱蓬资源的开发价值[J]. 辽宁农业科学,2011(5):51-53.
- [3] 韩进萍,徐敏.江苏沿海滩涂开发利用评价[J]. 海洋开发与管理,2006,23(2):99-102.

- [4] GLENN E P, JED BROWN J, O'LEARY J W. Irrigating crops with seawater[J]. Scientific American, 1998, 279(2): 76-81.
- [5] AGATI G, AZZARELLO E, POLLASTRI S, et al. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance[J]. Plant Science, 2012, 196: 67-76.
- [6] BONDONNO C P, YANG X, CROFT K D, et al. Flavonoid-rich apples and nitrate-rich spinach augment nitric oxide status and improve endothelial function in healthy men and women: a randomized controlled trial[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2012, 52(1): 95-102.
- [7] SEAL T. HPLC determination of phenolic acids, flavonoids and ascorbic acid in four different solvent extracts of *Zanthoxylum acanthopodium*, a wild edible plant of Meghalaya state of India[J]. International Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 2016, 8(3): 103-109.
- [8] 韦日明,高雅,张可峰,等.杠板归总黄酮对小鼠酒精性肝损伤的保护作用[J].南方农业学报,2016,47(4):664-669.
- [9] 董蒙蒙,喻樊,刘佳,等.中华补血草5种黄酮类化合物抗氧化和抗肿瘤活性的比较[J].江苏农业科学,2015,43(2):297-299.
- [10] 韩进萍,徐敏.江苏沿海滩涂开发利用评价[J].海洋开发与管理,2006,23(2):99-102.
- [11] 刘诗扬,马莲菊,卜宁.1株碱蓬内生芽孢杆菌的分离及抑菌活性测定[J].贵州农业科学,2011,39(3):135-138.
- [12] 赵学思,师仁丽,李岩,等.碱蓬黄酮提取物的体外抗氧化及抑菌性研究[J].食品工业科技,2016,37(13):63-71.
- [13] 武运,李远,王冰峰,等.新疆酸乳中细菌素乳酸菌的筛选及其抑菌性[J].食品与机械,2011,27(3):25-28.
- [14] 张添菊,王帆,李春阳,等.蓝莓叶多酚组成及其抗食源性致病菌活性分析[J].食品科学,2016,37(23):95-99.
- [15] 王帆,杨静东,王春梅,等.肉桂醛对大肠杆菌和绿脓杆菌的作用机制[J].江苏农业学报,2011,27(4):888-892.
- [16] LOU Z, WANG H, ZHU S, et al. Antibacterial activity and mechanism of action of chlorogenic acid[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(6): M398-M403.
- [17] ZHANG X H, WANG Z, YIN B, et al. A complex of trypsin and chymotrypsin effectively inhibited growth of pathogenic bacteria inducing cow mastitis and showed synergistic antibacterial activity with antibiotics[J]. Livestock Science, 2016, 188:25-36.
- [18] FENG H, YING Y, YANG G A, et al. Studies on antibacterial activity and antibacterial mechanism of a novel polysaccharide from *Streptomyces virginia* H03[J]. Food Control, 2010, 21(9): 1257-1262.
- [19] 张赟彬,刘笑宇,姜萍萍,等.肉桂醛对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌作用及抑菌机理研究[J].现代食品科技,2015,31(5):31-35.
- [20] DIAO W R, HU Q P, ZHANG H, et al. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare*, Mill.)[J]. Food Control, 2014, 35(1): 109-116.
- [21] 陈峰,田维娜,孙东哲,等.微藻对微生物的抑制作用及其抑菌机理[J].中国食品学报,2014,14(4):1-9.
- [22] 曾哲灵,赵存洋,罗春燕,等.单癸月桂酸甘油酯的抑菌作用及机理研究[J].食品科学,2013,34(3):70-74.
- [23] 谢晶,侯伟峰,汤毅,等.植酸对腐败希瓦氏菌的抑菌机理[J].食品工业科技,2011(10):85-88.
- [24] 刘唤明,孙力军,王雅玲,等.纳豆菌脂肽对金黄色葡萄球菌抑菌机理的研究[J].食品工业科技,2012,33(11):109-112.
- [25] CUI H Y, ZHOU H, LIN L, et al. Antibacterial activity and mechanism of cinnamon essential oil and its application in milk[J]. Japs Journal of Animal & Plant Sciences, 2016, 26(2): 532-541.

(责任编辑:王妮)