

蒲公英提取物对凡纳滨对虾优势腐败菌群体感应及保鲜效果的影响

刘泰戈¹, 许腾腾², 钱怡霖², 闫师杰^{1*}, 刘尊英^{2*}
(1.天津农学院 食品科学与生物工程学院, 天津 300392;
2.中国海洋大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 目的 旨在探究蒲公英提取物 (*Taraxacum mongolicum* Extracts, TME) 对凡纳滨对虾的优势腐败菌嗜水气单胞菌 (*Aeromonas hydrophila*) 群体感应 (Quorum Sensing, QS) 系统的抑制作用, 并探究 TME 对凡纳滨对虾低温贮藏保鲜效果的影响。方法 本研究采用菌株紫色杆菌 (*Chromobacterium violaceum*, CV026) 测定 TME 群体感应抑制活性, 并在亚抑菌浓度下测定 TME 对嗜水气单胞菌群体感应系统的抑制作用; 随后测定凡纳滨对虾储藏过程中的菌落总数、挥发性盐基氮 (Total Volatile Base Nitrogen, TVB-N)、pH 值、汁液流失率以及感官评分的变化。结果 TME 对嗜水气单胞菌的最小抑菌浓度 (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) 值为 32 mg/mL。在 1/4 MIC 浓度下, TME 显著抑制了嗜水气单胞菌群体感应信号分子的产生, 并显著抑制嗜水气单胞菌群集运动能力和蛋白酶活性 ($P < 0.05$), TME 处理显著抑制了凡纳滨对虾储存过程中感官评分的降低和菌落总数、TVB-N、pH 值、汁液流失率的上升 ($P < 0.05$)。结论 蒲公英提取物通过调控腐败菌的 QS 系统, 降低了腐败菌的致病能力, 有效延长了凡纳滨对虾的保质期。

关键词: 蒲公英提取物; 嗜水气单胞菌; 群体感应抑制剂; 保鲜技术

中图分类号: TB484.3; S983 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)23-0103-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.23.012

Effects of *Taraxacum mongolicum* Extract on Quorum Sensing System of Specific Spoilage Organism and Preservation of *Litopenaeus Vannamei*

LIU Tai-ge¹, XU Teng-teng², QIAN Yi-lin², YAN Shi-jie^{1*}, LIU Zun-ying^{2*}

(1. College of Food Science and Bioengineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China;
2. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Shandong Qingdao 266003, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the inhibitory effect of *Taraxacum mongolicum* extracts (TME) on the quorum sensing (QS) system of *Aeromonas hydrophila* and the specific spoilage organism of *Litopenaeus vannamei*, and explore the preservation effect of TME on the refrigerated *L. vannamei*. The quorum-sensing inhibitory activity of TME was investigated by using *Chromobacterium violaceum*(CV026). The preservation effect of TME on *L. vannamei* and its inhibitory effect on the quorum sensing system of *A. hydrophila* were measured at the subminimal inhibitory concentration. The total number of colonies, volatile base nitrogen (TVB-N), pH value, drip loss rate and sensory score of *L. vannamei* during storage were determined. The minimum inhibitory concentration (MIC) value of TME against *A. hydrophila*

收稿日期: 2023-04-25

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD2100504); 国家自然科学基金 (31972141)

*通信作者

was 32 mg/mL. At 1/4 MIC, TME significantly inhibited the production of quorum sensing signal molecules, and inhibited the mobility and protease activity of *A. hydrophila* ($P < 0.05$). TME significantly inhibited the decrease of sensory score and the increase of the total number of colonies, TVB-N, pH value and drip loss of *L. vannamei* ($P < 0.05$). TME can reduce the spoilage ability of spoilage bacteria and effectively prolong the shelf life of *L. vannamei* by regulating QS system of the bacteria.

KEY WORDS: *Taraxacum mongolicum* extract; *Aeromonas hydrophila*; quorum sensing inhibitor; preservation technology

嗜水气单胞菌 (*Aeromonas hydrophila*) 是一种常见的革兰氏阴性水产品腐败菌, 其毒力因子表达和生物膜形成受群体感应系统调控^[1]。群体感应是一种细菌细胞之间依靠自诱导物 (Autoinducers, AIs) 作为信号分子进行交流的系统, 自诱导物在环境中积累达到一定浓度时会通过结合受体蛋白激活特定基因表达, 并导致细菌的多种群体性行为的产生, 如毒力因子分泌、生物发光、生物被膜的产生、细菌胞外酶的分泌等^[2-3]。革兰氏阴性菌存在由 N-酰基高丝氨酸内酯 (Acyl Homoserine Lactones, AHLs) 及其衍生物类信号分子介导的 QS 系统和由自诱导物-2 (Autoinducer-2, AI-2) 信号分子介导的 QS 系统^[4-5]。

传统的食品防腐剂会诱导细菌产生耐药性, 而群体感应抑制剂 (Quorum Sensing Inhibitor, QSI) 可以在亚抑菌浓度下通过多种方式干扰细菌群体感应过程来抑制细菌行为, 并有效降低细菌的耐药性^[6-7]。研究表明, 天然植物提取物有群体感应抑制活性, 可以降低信号分子的产量。例如, 红洋葱皮、三叶金桃和银杏叶外果皮提取物均可通过抑制细菌的 QS 系统有效抑制不同腐败菌和致病菌的致腐能力、毒性和生物膜产生能力^[8-10]。

蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 是菊科多年生草本植物, 营养丰富且有多重生理及抑菌功能, 其提取物中的黄酮类、多酚类等物质可对大肠杆菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌等常见的食品腐败菌和致病菌有不同程度的抑制作用^[11]。但是目前缺乏蒲公英提取物对嗜水气单胞菌 QS 系统抑制作用及机理的报道。本研究利用报告菌株紫色杆菌 CV026 测试蒲公英提取物的 QSI 活性, 进而探究其对嗜水气单胞菌群体感应系统的抑制效果和对冷藏凡纳滨对虾保鲜效果的影响, 为开发以蒲公英为原料的新型抑菌剂提供理论依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 蒲公英, 购于青岛医保城药业集团有限公司; 新鲜的凡纳滨对虾, 购买于青岛南山水产市场; 紫色杆菌 CV026, 接受自美国 Texas State Uni-

versity 的 McLean JC 教授; 嗜水气单胞菌, 分离自凡纳滨对虾, 实验室保存^[12]; C4-HSL 标准品, Sigma 公司; 卡那霉素和 5-溴-4-氯-3-吡啶- β -D-半乳糖苷 (X-gal), 北京索莱宝科技有限公司。

主要仪器: THZ-98AB 全温振荡培养箱, 上海润度生物科技有限公司; Multiskan FC 酶标仪、NanoDrop Lite Plus 分光光度计, Thermo Fisher Scientific 公司; H2-16KR 高速冷冻离心机, 湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 蒲公英提取物的制备与 MIC 测定

蒲公英提取物 (*Taraxacum mongolicum* extracts, TME) 制备: 蒲公英在 50 °C 烘箱中烘烤 24 h, 磨碎, 按照料液比 1 : 10 (质量体积比) 加入蒸馏水煮沸 15 min, 上清液冷冻干燥成干粉状并贮存于 -20 °C。使用时需在复溶后用 0.22 μ m 滤膜过滤除菌。TME 对嗜水气单胞菌的最小抑菌浓度通过倍比稀释法确定^[13]。

1.3 蒲公英提取物群体感应抑制活性检测

参考潘玉荣等^[14]的方法进行检测, 在含有 20.00 μ g/mL C4-HSL 的 LB 肉汤中添加 TME 使浓度分别为 1.00、2.00、4.00 和 8.00 mg/mL。接种 1% 的紫色杆菌 CV026, 在 160 r/min、28 °C 条件下振荡培养 24 h。另设置一组不含 C4-HSL 的 LB 肉汤培养基做空白对照^[15]。依次取添加了 C4-HSL 的培养液 500 μ L, 然后将其放置在 4 °C、1 000 r/min 的条件下离心 5 min, 最后将上清液弃去, 将二甲亚砜溶解紫色菌素加入沉淀中, 再将其放置在 4 °C、1 000 r/min 的离心机内离心 5 min, 最终测定上清液的 OD₅₈₅ 值。

1.4 嗜水气单胞菌生长及群集运动的测定

在 LB 肉汤中添加 TME 使其质量浓度分别为 2.00、4.00 和 8.00 mg/mL, 接种嗜水气单胞菌, 以 160 r/min 的速率、28 °C 的温度进行振荡, 每隔 2 h 检查一次, 记录 48 h 的生长情况。

通过测迁移圈直径计算 TME 对嗜水气单胞菌群集运动的抑制率^[16]。活化嗜水气单胞菌备用, 在 200 mL 蒸馏水中分别加入 2 g 胰蛋白胨、1.0 g 氯化钠、1.0 g 琼脂及 1.0 g 葡萄糖制成群集培养基。将不同质

量浓度的 TME (0.00、2.00、4.00 和 8.00 mg/mL) 加入到群集培养基中, 然后倒板, 凝固后在平板中央加 2 μ L 菌液于 28 $^{\circ}$ C 恒温培养箱中培养 48 h, 并测量迁移直径。

1.5 嗜水气单胞菌蛋白酶活性的测定

将灭菌的 15% 脱脂乳与 LB 琼脂培养基冷却至 50 $^{\circ}$ C, 并按体积比 1:9 混合均匀后倒平板并打孔。将 1.4 节中的嗜水气单胞菌菌液于 9 000 r/min 下离心 10 min, 吸取 100 μ L 上清液加入牛奶平板中, 在 28 $^{\circ}$ C 恒温培养 48 h 后测量分解圈直径并计算抑制率^[17], 以未加提取物组作为对照。

1.6 蒲公英提取物对嗜水气单胞菌 N-酰基高丝氨酸内酯产量的影响

提取并采用报告平板法检测 N-酰基高丝氨酸内酯 (AHLs)^[18-19]。将嗜水气单胞菌以 1% 的体积分数种于 200 mL LB 肉汤中, 添加 TME 使其终质量浓度分别为 4.00 mg/mL 和 8.00 mg/mL。在 28 $^{\circ}$ C、160 r/min 下振荡培养 18 h 后于 4 $^{\circ}$ C、10 000 r/min 离心 10 min, 用等体积含 0.5% 甲酸的乙酸乙酯萃取上清液, 于 40 $^{\circ}$ C 下旋蒸上层有机相, 并用 1.00 mL 甲醇溶解得到 AHL 粗提液, 经 0.22 μ m 滤膜过滤粗提液除菌, 置于 -20 $^{\circ}$ C 储存, 以未添加提取物的液体培养基组作为阴性对照组。

过夜培养的紫色杆菌 CV026 以 2% 的体积分数接种于 LB 琼脂中 (加入卡那霉素使质量浓度为 20.00 mg/mL), 倒平板打孔并加入 20 μ L 上述不同浓度的 AHL 粗提液。在 28 $^{\circ}$ C 恒温培养箱静置培养 24 h, 并测量紫色晕圈直径。

1.7 凡纳滨对虾处理

鲜活的凡纳滨对虾加冰猝死, 去掉虾头、虾壳, 使用无菌牙签挑出虾线, 流水冲洗 2~3 次。将虾仁随机等量地分为 3 组 (每组 1.0 kg \pm 0.1 kg), 分别为空白对照组 (未经提取物处理)、阳性对照组 (经 8.00 mg/mL 卡那霉素浸泡处理 15 min)、蒲公英处理组 (经 8.00 mg/mL TME 浸泡处理 15 min)。然后将处理后的样品无菌密

封保存, 并于 4 $^{\circ}$ C 条件下进行贮藏, 每间隔 2 d 随机取样进行相关指标测定。每个实验均重复 3 次。

1.8 保鲜效果测定

1.8.1 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2—2022《食品微生物学检验菌落总数测定》中的方法测定^[20]。

1.8.2 挥发性盐基氮菌落总数的测定

挥发性盐基氮 (Total Volatile Base Nitrogen, TVB-N) 参照 GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》中微量扩散法测定^[21]。准确称取不同处理组的样品 20 g, 加入 100.0 mL 水, 均匀混合后, 浸渍 30 min, 过滤收集滤液。然后参照标准中的方法进行 TVB-N 值的测定。

1.8.3 pH 的测定

准确称取不同处理组的样品 10 g, 加水至 100 mL, 混合均匀后进行打浆, 取过滤后的滤液使用 pH 计进行测定。

1.8.4 感官评分的测定

感官评定参考文献[22]中的方法。感官评价小组由 7 名人员组成, 评定内容主要包括色泽、气味、组织形态等方面。评价总分在 0~10 分, 当分数低于 6 分时, 视为不可接受。具体评分标准如表 1 所示。

1.8.5 汁液流失率测定

根据岑剑伟等^[23]的方法加以修改, 测定汁液流失率。测定贮藏过程中样品及残留在包装袋内的汁液质量 (m_1)、取出虾肉后袋内渗出的汁液质量 (m_2)。汁液流失率 (S) 的计算公式如下: $S = (m_2/m_1) \times 100\%$ 。

1.8.6 凡纳滨对虾中 AHLs 的提取及检测

参考文献[18]中的方法对凡纳滨对虾体内的 AHLs 进行提取。取不同处理组切碎后的对虾样品 200 g, 加入 200 mL 含有 0.5% 甲酸的乙酸乙酯, 均质 8 min 后, 以 8 000 r/min 的转速离心 5 min; 收集乙酸乙酯相, 经过旋蒸浓缩后使用 1 mL DMSO 溶解, 冷冻储存备用。

表 1 感官评分标准
Tab.1 Evaluation standards of sensory score

评分项目	分值 (分)				
	8~10	6~8	4~6	2~4	0~2
气味	鲜虾气味, 无异味	略有异味, 较轻	异味较强	出现腥臭味	刺鼻臭味
色泽	色泽光亮	色泽降低, 出现异色	虾体出现黑斑	失去色泽, 虾体发黑	完全失去色泽, 出现大面积黑斑
组织形态	肌肉紧密, 非常有弹性, 无黏性物质	肌肉紧密, 弹性较好, 无黏性物质	肌肉组织弹性一般, 体表出现少量黏性物质	肌肉组织弹性差, 体表有大量黏性物质	肌肉无弹性, 组织软烂, 黏性物质非常多

将提取物、根癌农杆菌 A136 裂解物和 KH_2PO_4 (20 mmol/L) 以 1:1:2 的体积比均匀混合,取 200 μL 于无菌 96 孔板中,加入 X-gal(500 $\mu\text{g}/\text{mL}$),28~30 $^\circ\text{C}$ 培养 3 h,测定 OD_{635} 处吸光度值。以等体积 DMSO 作为对照。

1.9 数据处理

实验数据采用 Origin 2021 进行统计分析。每个处理有 3 个平行,数据均采用平均值 \pm 标准偏差的形式表示, $P<0.05$ 表示差异性显著。

2 研究结果

2.1 蒲公英提取物最小抑菌浓度的结果

如图 1 所示,蒲公英提取物对 *A. hydrophila* 的 MIC 值为 32.00 mg/mL, 低于该浓度的 TME 仅抑制 *A. hydrophila* 的群体感应行为而不直接杀灭细菌。后续实验浓度可选择的亚抑菌浓度为 0.00、1.00、2.00、4.00 和 8.00 mg/mL。

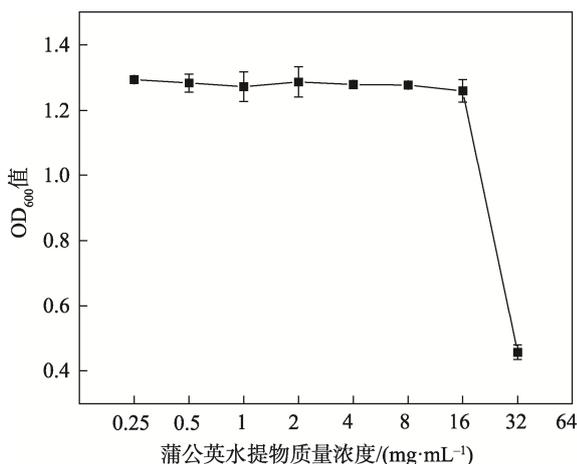


图 1 TME 对嗜水气单胞菌的最小抑菌浓度
Fig.1 MIC of TME on *A. hydrophila*

2.2 蒲公英提取物的群体感应抑制活性

如图 2 所示,细菌密度显示亚抑菌浓度下 TME 对紫色杆菌 CV026 的生长没有显著影响,但显著影响紫色菌素的产生,8 mg/mL 的 TME 对紫色素产量的抑制率达到 49.04% ($P<0.05$)。表明 TME 可在不影响紫色杆菌生长的情况下调控其群体感应系统,从而抑制紫色菌素的产生。

2.3 蒲公英提取物对嗜水气单胞菌群集运动的影响

如图 3 所示,随 TME 浓度增加,嗜水气单胞菌迁移直径减小,细菌的群集运动受到明显抑制。当 TME 质量浓度为 4.00 mg/mL 和 8.00 mg/mL 时,对

嗜水气单胞菌群集运动的抑制率分别为 32.67% 和 80.78% ($P<0.05$) (表 2),表明蒲公英提取物在亚抑菌浓度下可以显著抑制嗜水气单胞菌的群集运动能力。

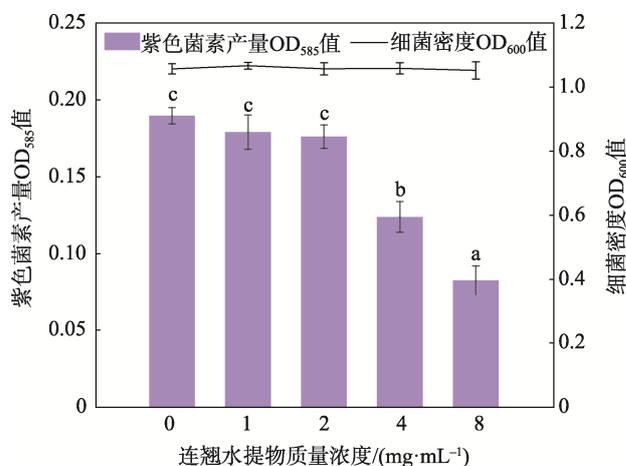


图 2 TME 对紫色杆菌 CV026 生长和产紫色菌素的影响

Fig.2 Effects of TME on the growth and violacein production of *C. violaceum* CV026

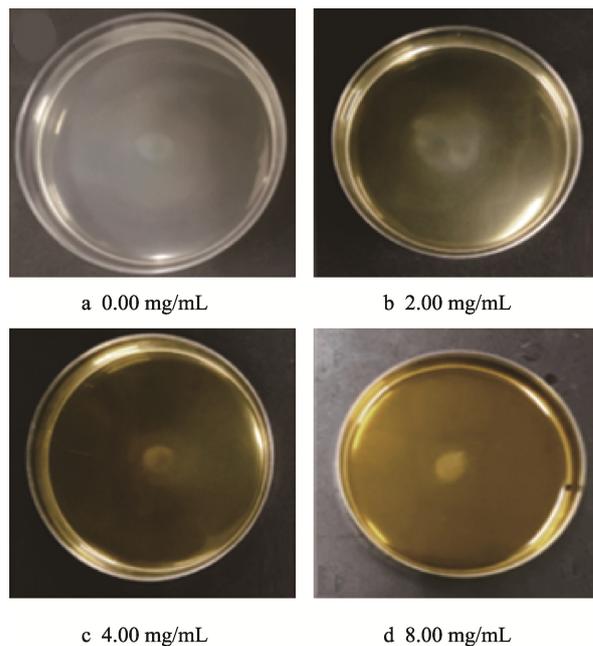


图 3 不同质量浓度 TME 对 *A. hydrophila* 群集运动的影响

Fig.3 Effect of different concentrations of TME on the swarming motility of *A. hydrophila*

2.4 蒲公英提取物对嗜水气单胞菌蛋白酶活性的影响

微生物分泌的蛋白酶可以分解食物中的蛋白质,并加速食品品质劣变^[24]。如图 4 所示,随 TME 浓度增加,嗜水气单胞菌蛋白酶分解透明圈直径逐渐减小,蛋白酶活性逐渐降低。TME 对嗜水气单胞菌蛋白酶活性抑制率在其质量浓度为 4.00、8.00 mg/mL

时分别达到 10.81%和 20.91% ($P<0.05$) (表 3), 表明蒲公英提取物在亚抑菌浓度下可以显著抑制嗜水气单胞菌的蛋白酶活性。

表 2 不同质量浓度 TME 对嗜水气单胞菌群集迁移直径及抑制率的影响

Tab.2 Effect of different concentrations of TME on the swarming motility and inhibition rate of *A. hydrophila*

质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	群集迁移直径/mm	抑制率/%
0.00	40.89±0.23 ^d	—
2.00	35.46±0.20 ^c	13.27
4.00	27.53±0.25 ^b	32.67
8.00	7.86±0.31 ^a	80.78

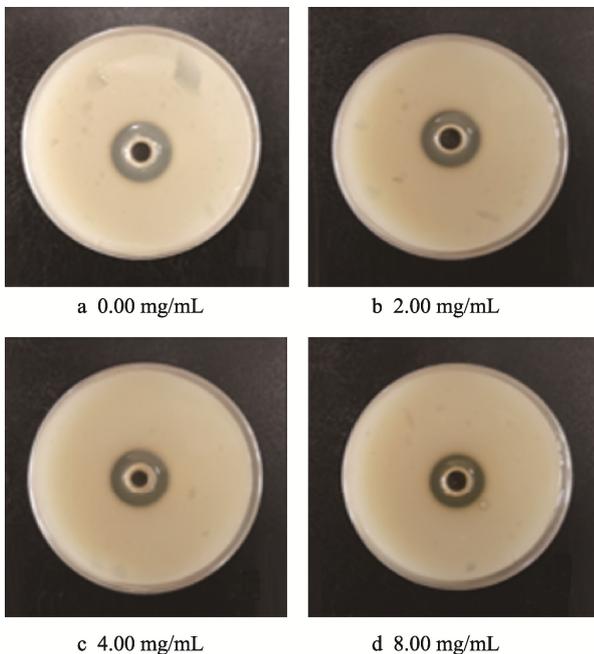


图 4 不同质量浓度 TME 对嗜水气单胞菌胞外蛋白酶活性的影响

Fig.4 Effect of different concentrations of TME on the proteinase activity of *A. hydrophila*.

表 3 不同质量浓度 TME 对嗜水气单胞菌胞外蛋白酶的抑制效果

Tab.3 Inhibition effect of different concentrations of TME on proteinase activity of *A. hydrophila*

质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	群集迁移直径/mm	抑制率/%
0.00	18.60±0.17 ^d	—
2.00	17.51±0.23 ^c	5.86
4.00	16.59±0.16 ^b	10.81
8.00	14.71±0.11 ^a	20.91

2.5 蒲公英提取物对嗜水气单胞菌 AHLs 的影响

紫色杆菌 CV026 本身不产生 AHLs 型信号分子, 但在外源信号分子 AHLs 存在时产生紫色素。因此, 可用深色晕圈直径表示 AHLs 的相对产量。如图 5 所示, 随 TME 浓度增加, 嗜水气单胞菌信号分子所展示的紫色晕圈逐渐减小。低浓度 TME 对嗜水气单胞菌信号产率无显著影响, 当浓度增加至 8.00 mg/mL 时, 对嗜水气单胞菌信号分子抑制率可达 7.48% ($P<0.05$)。表明蒲公英提取物可以通过抑制嗜水气单胞菌 AHLs 的产生干扰其 QS 系统, 进而影响其代谢能力与行为特征^[25]。

2.6 蒲公英提取物对凡纳滨对虾菌落总数的影响

菌落总数是表征食品腐败变质的重要指标。如图 6 所示, 对照组与处理组的菌落总数均随着贮藏时间的延长而增加, 其中空白对照组增加最快。贮藏前 2 d, 对照组及不同处理组的细菌增加缓慢, 无明显差异。在约第 6 天时空白对照组菌落总数值增加至 7.45 lg(CFU/g), 超过微生物上限 7 lg(CFU/g); 蒲公英提取物处理组以及阳性对照组的菌落总数值分别为 6.11、6.04 lg(CFU/g), 显著低于对照组的 ($P<0.05$)。

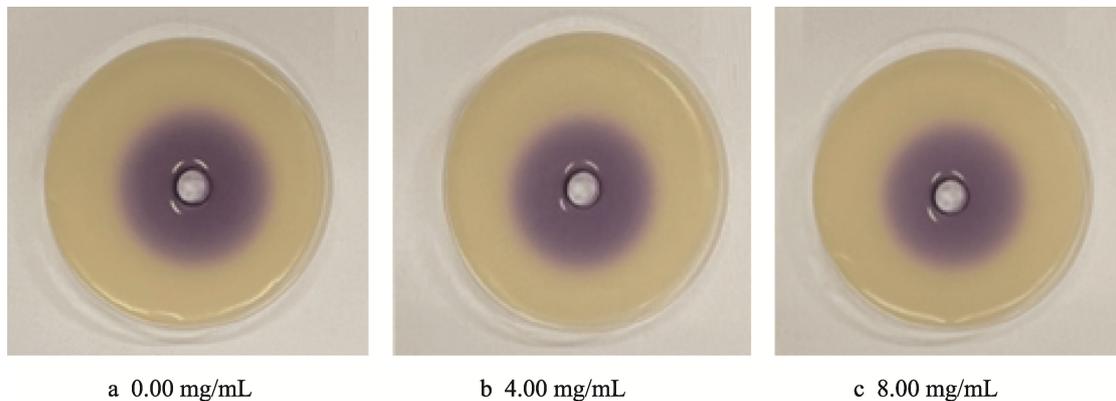


图 5 TME 对嗜水气单胞菌 C4-HSL 合成的影响
Fig.5 Effects of TME on the C4-HSL

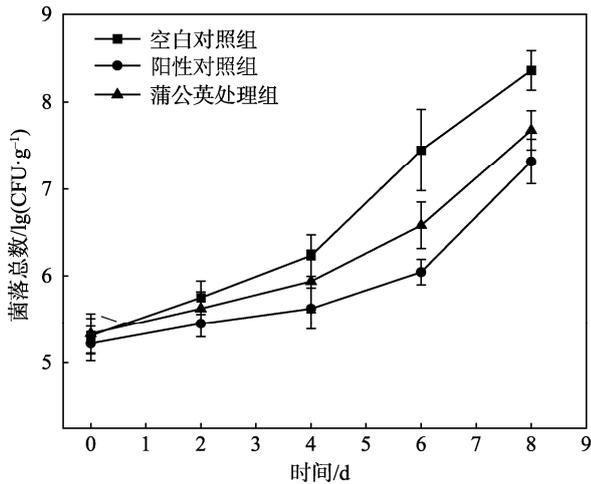


图6 TME对冷藏凡纳滨对虾菌落总数的影响
Fig.6 Effects of TME on the total number of colonies of refrigerated *L. vannamei*

2.7 蒲公英提取物对凡纳滨对虾贮藏品质的影响

挥发性盐基氮 (TVB-N) 是反映水产品新鲜度的重要指标,新鲜水产品的 TVB-N 值可接受水平为 300 mg/kg^[26-27]。如图 7a 所示,空白对照组以及不同处

理组的 TVB-N 值均随着贮藏时间的延长而逐渐上升;第 6 天时空白对照组的 TVB-N 含量为 324.8 mg/kg,超过可接受范围。TME 处理组样品的 TVB-N 值为 245.5 mg/kg,显著低于空白对照组的 ($P<0.05$)。

样品的 pH 值在贮藏期间表现出先降低后增加的趋势 (图 7b)。这是因为在贮藏初期,对虾体内的糖原发生分解产生酸从而导致 pH 值的降低,而随贮藏时间的延长,蛋白质分解并产生碱性含氮物质,又使得 pH 值升高。与空白对照组相比,经过蒲公英提取物和阳性对照处理后,样品的 pH 值在后期升高缓慢。在贮藏第 8 天时,蒲公英提取物处理组和阳性对照组的 pH 值分别为 7.19 和 7.18,显著低于空白对照组的 pH 值 (7.43) ($P<0.05$)。上述结果可能与添加群体感应抑制剂降低了细菌的蛋白酶活性而引起蛋白质降解变慢有关,这与 Wang 等研究结果相一致^[28]。

水产品贮藏过程中品质劣变可导致汁液流失,而流失的汁液为微生物的生长繁殖提供了有利条件^[23],从而进一步加速水产品腐败。凡纳滨对虾汁液流失率均随着贮藏时间的延长而增高 (图 7c),在贮藏第 8 天,处理组样品的汁液流失率均低于对照组的。由图 7d 结果可知,在贮藏过程中,TME 处理组及阳性对照组的感官评分下降较慢,表明其可以延缓冷藏

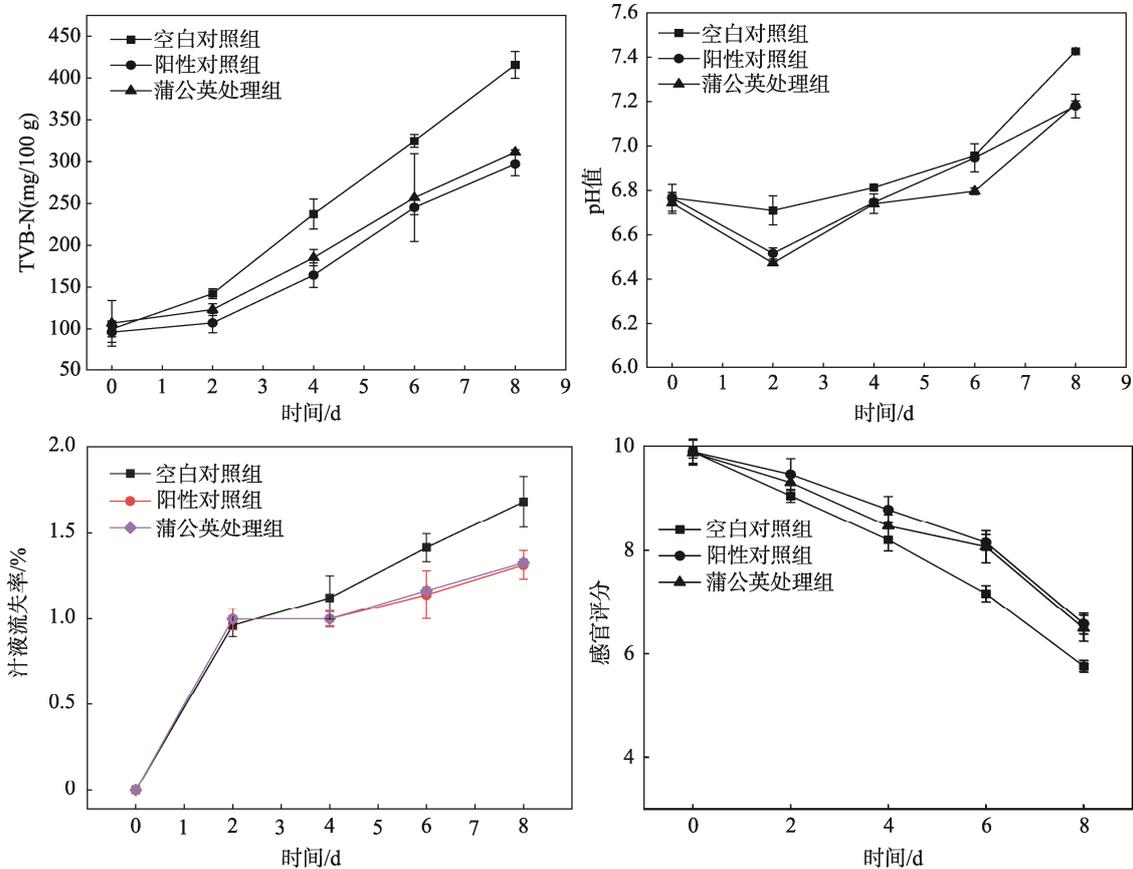


图7 TME对冷藏凡纳滨对虾贮藏品质的影响
Fig.7 Effects of TME on the storage quality properties of refrigerated *L. vannamei*

凡纳滨对虾的品质劣变时间。在贮藏期内, 感官评分的分值从大到小为阳性对照组、蒲公英处理组、空白对照组。在贮藏第 8 天时, 空白对照组的感官评分降至 6 分以下, 样品发生严重腐败并达到不可接受程度, 而蒲公英处理组的样品在第 8 天时仍高于 6 分, 延缓了凡纳滨对虾的品质劣变时间。

2.8 对虾贮藏过程中 AHLs 含量变化

嗜水气单胞菌可以产生 C4-HSL, 启动自身 QS 系统, 调控蛋白酶活性、群集运动迁移等, 从而增加嗜水气单胞菌的致病能力^[29]。冷藏凡纳滨对虾贮藏过程中体内的 AHLs 含量变化如图 8 所示。在贮藏期间各处理组的 AHLs 含量显著低于空白对照组, 且蒲公英提取物处理组的 AHLs 含量显著低于阳性对照组 ($P < 0.05$)。在第 8 天时, 蒲公英提取物处理组对 AHLs 产生的抑制率达到 21.25%, 而阳性对照组对 AHLs 产生的抑制率仅为 11.36%。表明, 蒲公英提取物延缓凡纳滨对虾的品质劣变可能与其阻碍了腐败菌之间的群体感应信号交流有关。

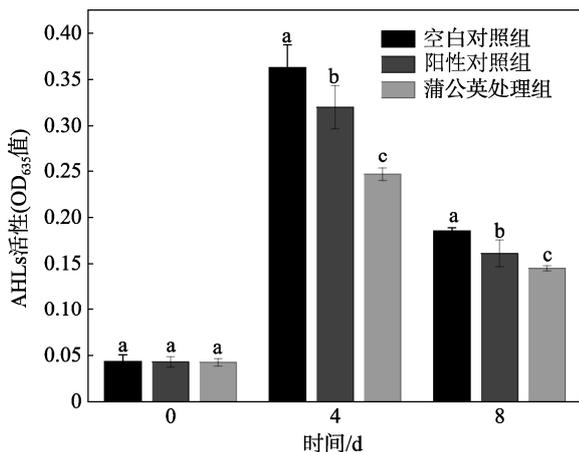


图 8 冷藏凡纳滨对虾贮藏过程中 AHLs 相对含量的变化

Fig.8 Changes of AHLs of refrigerated *L. vannamei*

3 结语

蒲公英提取物可显著抑制嗜水气单胞菌群集运动、蛋白酶活性和信号分子 AHLs 的产生, 表现出了良好的群体感应抑制效果。

蒲公英提取物可降低贮藏期间凡纳滨对虾的菌落总数、TVB-N 含量和汁液流失率, 维持较高的感官评分保持了对虾的新鲜度。蒲公英提取物可通过抑制腐败菌的信号分子产生从而调控腐败菌的 QS 系统, 进而降低腐败菌的致病能力, 保持凡纳滨对虾的良好品质。因此, 蒲公英提取物可作为群体感应抑制剂作用于腐败菌群体感应系统, 可为开发以腐败菌群体感应为靶点的新型防腐剂奠定理论基础。

本文仅探究了蒲公英提取物对凡纳滨对虾嗜水气单胞菌群体感应的调控作用, 而蒲公英提取物对水产品腐败菌菌群结构的调控、群体感应信号分子对菌群结构的影响, 以及嗜水气单胞菌群体感应系统与其他腐败菌之间的作用关系与机制等仍待进一步研究。

参考文献:

- [1] GARDE C, BJARNSHOLT T, GIVSKOV M, et al. Quorum Sensing Regulation in *Aeromonashydrophil*[J]. Journal of Molecular Biology, 2010, 396 (4): 849-857.
- [2] TRUCHADO P, LARROSA M, TOMAS-BARBERAN F A, et al. Food Phytochemicals Act as Quorum Sensing Inhibitors Reducing Production and/or Degrading Autoinducers of *Yersinia enterocolitica* and *Erwinia carotovora*[J]. Food Control, 2012, 24(1/2): 78-85.
- [3] HENSE B A, SCHUSTER M. Core Principles of Bacterial Autoinducer Systems[J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2015, 79(1): 153-169.
- [4] YONG Y C, WU X Y, SUN J Z, et al. Engineering Quorum Sensing Signaling of *Pseudomonas* for Enhanced Wastewater Treatment and Electricity Harvest: a Review[J]. Chemosphere, 2015, 140: 18-25.
- [5] GUO M, GAMBY S, ZHENG Y, SINTIM H O. Small Molecule Inhibitors of AI-2 Signaling in Bacteria: State-of-the-Art and Future Perspectives for Anti-Quorum Sensing Agents[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2013, 14: 17694-17728.
- [6] LOU Z, WANG H, TANG Y, et al. The Effect of Burdock Leaf Fraction on Adhesion, Biofilm Formation, Quorum Sensing and Virulence Factors of *Pseudomonas Aeruginosa*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2017, 122(3): 615-624.
- [7] DELAGO A, MANDABI A, MEIJLER, M M. Natural Quorum Sensing Inhibitors—Small Molecules, Big Messages[J]. Israel Journal of Chemistry, 2016, 56: 310-320.
- [8] DHOWLAGHAR N, DHANANI T, PILLAI S S, et al. Accelerated Solvent Extraction of Red Onion Peel Extract and Its Antimicrobial, Antibiofilm, and Quorum-Sensing Inhibition Activities Against *Listeria monocytogenes* and *Chromobacterium violaceum*[J]. Food Bioscience, 2023, 53: 102649.
- [9] KHIDHR R J, AHMED A A, GANJO A R, et al. Assessment of Toxicity, Anti-Quorum Sensing and Anti-Biofilm Production Effects of *Hypericum triquetrifolium Turra* Extract on Multi-Drug Resistant *Acinetobacter Baumannii*[J]. Journal of King Saud University-Science, 2023, 35(5): 102714.
- [10] SUO A, HUA Z, WU C, et al. Effects of Ginkgolic Acid(C15:1)on Biofilm Formation, Pathogenic Factor

- Production and Quorum Sensing of *Pseudomonas aeruginosa*[J]. *Microbial Pathogen*, 2022, 173: 105813.
- [11] 聂文佳, 徐帅师, 张咏梅. 蒲公英有效成分及其药理作用研究进展[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2020, 22(7): 140-145.
NIE Wen-jia, XU Shuai-shi, ZHANG Yong-mei. Advances in the Study of Effective Components and Pharmacological Action of Dandelion[J]. *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine*, 2020, 22(7): 140-145.
- [12] 于红雷, 韩云艳, 曾名湧, 等. 凡纳滨对虾源气单胞菌的分离鉴定及群体感应[J]. *生物加工过程*, 2019, 17(3): 324-328.
YU Hong-lei, HAN Yun-yan, ZENG Ming-yong, et al. Identification and Quorum Sensing of *Aeromonas* from *Litopenaeus Vannamei*[J]. *Chinese Journal of Bioprocess Engineering*, 2019, 17(3): 324-328.
- [13] ADONIZIO A L. Anti-Quorum Sensing Agents from South Florida Medicinal Plants and Their Attenuation of *Pseudomonas aeruginosa* Pathogenicity[D]. Miami: Florida International University, 2008.
- [14] 潘玉荣, 张彩丽, 朱素芹, 等. 溴化呋喃酮对鳃弧菌群体感应调控行为的抑制研究[J]. *生物技术通报*, 2017, 33(4): 231-237.
PAN Yu-rong, ZHANG Cai-li, ZHU Su-qin, et al. Inhibition of Brominated Furanone to Quorum Sensing Regulating Behaviors of *Vibrio anguillarum*[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2017, 33(4): 231-237.
- [15] KESHAVAN N D. Isolation and Characterization of Quorum Sensing Interfering Compounds Produced by[D]. Dallas: The University of Texas, 2006.
- [16] GANESH P S, RAI V R. Evaluation of Anti-Bacterial and Anti-Quorum Sensing Potential of Essential Oils Extracted by Supercritical CO₂ Method Against *Pseudomonas aeruginosa*[J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2015, 18(2): 264-275.
- [17] SACHERER P, DÉFAGO G, HAAS D. Extracellular Protease and Phospholipase C are Controlled by the Global Regulatory Gene *gacA* in the Biocontrol Strain *Pseudomonas fluorescens* CHA0[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 1994, 116(2): 155-160.
- [18] BLANA V A, NYCHAS G J E. Presence of Quorum Sensing Signal Molecules in Minced Beef Stored under Various Temperature and Packaging Conditions[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2014, 173: 1-8.
- [19] DUBERN J F, DIGGLE S P. Quorum Sensing by 2-Alkyl-4-Quinolones in *Pseudomonas Aeruginosa* and other Bacterial Species[J]. *Molecular BioSystems*, 2008, 4(9): 882-888.
- [20] GB 4789.2—2022, 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]. GB 4789.2-2022, Microbiological Examination-Determination of Colony-Forming Units[S].
- [21] GB 5009.228—2016, 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
GB 5009.228-2016, National Food Safety Standards-Determination of TVB-N in Foods[S].
- [22] 柏韵. 壳聚糖的制备及对中国对虾保鲜效果的影响[D]. 锦州: 锦州医科大学, 2018
BAI Yun. Preparation of Chitosan and its Influence on the Effect of Chinese Shrimp[D]. Jinzhou: Jinzhou Medical University, 2018.
- [23] 岑剑伟, 蒋爱民, 李来好, 等. 高压静电场结合冰温技术对罗非鱼片贮藏期品质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 282-288.
CEN Jian-wei, JIANG Ai-min, LI Lai-hao, et al. Effect of High Voltage Electrostatic Field Combined with Modified Atmosphere Packaging and Controlled Freezing-Point Storage on the Quality of Tilapia Fillet[J]. *Food Science*, 2016, 37(22): 282-288.
- [24] RAI S, TYAGI A, NAVEEN KUMAR B T, et al. Isolation and Characterization of *Aeromonas hydrophila* lytic Phage, and Evaluation of a Phage Cocktail Against *A. hydrophila* Contamination in Fish Fillet[J]. *Food Control*, 2023, 145: 109460.
- [25] LI J, LIU H, WU P, et al. Quorum Sensing Signals Stimulate Biofilm Formation and Its Electroactivity for Chain Elongation: System Performance and Underlying Mechanisms[J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 859(1): 160192.
- [26] TAHIR H E, HASHIM S B H, KOMLA MAHUNUG, et al. Smart Films Fabricated from Natural Pigments for Measurement of Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) Content of Meat for Freshness Evaluation: A Systematic Review[J]. *Food Chemistry*, 2022, 396: 133674.
- [27] GB 10136—2015, 食品安全国家标准 动物性水产制品[S].
GB 10136-2015, National Food Safety Standards for Animal Derived Aquatic Products[S].
- [28] WANG YB, WANG YZ, CHEN J, et al. Screening and Preservation Application of Quorum Sensing Inhibitors of *Pseudomonas fluorescens* and *Shewanella baltica* in Seafood Products[J]. *LWT- Food Science and Technology*, 2021, 149: 111749.
- [29] TANHAY M H, ZAMANI H, SHAHANGIAN S S, et al. Effect of Curcumin on the Expression of *ahyI/R* Quorum Sensing Genes and some Associated Phenotypes in Pathogenic *Aeromonas Hydrophila* Fish Isolates[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2020, 36(5): 70.