

ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对大黄鱼优势腐败菌的抑制作用

张卫斌^{1,2} 陈 帅^{1,2} 石双妮^{1,2} 叶知秋^{1,2}

(1. 浙江工商大学食品与生物工程学院, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江工商大学浙江省食品安全重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要: [目的] 探究 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对大黄鱼源波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的抑制作用。[方法] 通过测定最小抑菌浓度、生长曲线、菌液电导率、碱性磷酸酶活性、紫外吸收物质、生物膜生成抑制率、菌落总数以及挥发性盐基氮等指标分析 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌生长情况、生物膜破坏情况及致腐能力的影响。[结果] ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的最小抑菌浓度分别为 0.250, 0.125 mg/mL; 经 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐处理后, 波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的生长被明显抑制, 电导率、AKP 酶活性以及紫外吸收物质泄漏明显增加, 并呈质量浓度依赖性; 接种了波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的鱼块其细菌总数和 TVB-N 值明显下降。[结论] ϵ -聚赖氨酸盐酸盐能破坏波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌细胞壁, 增强细胞膜的通透性, 抑制生长和影响致腐能力。

关键词: ϵ -聚赖氨酸盐酸盐; 波罗的海希瓦氏菌; 荧光假单胞菌; 抑菌机制

The antibacterial effects of ϵ -polylysine hydrochloride against predominant spoilage bacteria from large yellow croaker

ZHANG Weibin^{1,2} CHEN Shuai^{1,2} SHI Shuangni^{1,2} YE Zhiqiu^{1,2}

(1. School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2. Zhejiang Province Key Laboratory of Food Safety, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract: [Objective] To investigate the antibacterial effect of ϵ -polylysine hydrochloride on *Shewanella baltica* and *Pseudomonas fluorescens* derived from large yellow croaker. [Methods] The antibacterial effects of ϵ -polylysine hydrochloride on the growth of *Shewanella baltica* and *Pseudomonas fluorescens* was analyzed by the minimum inhibitory concentration and the growth curve. By measuring the bacterial fluid conductivity, alkaline phosphatase activity, ultraviolet absorbent substances and biofilm formation inhibition rate, the cell integrity and permeability were evaluated. The aerobic plate count and total volatile basic nitrogen of the flesh of large yellow croaker inoculated with spoilage bacteria were determined the effect of ϵ -polylysine hydrochloride on the spoilage ability of *Shewanella baltica* and *Pseudomonas fluorescens*. [Results] The minimum inhibitory concentrations of ϵ -polylysine hydrochloride against *Shewanella baltica* was 0.250 mg/mL, while *Pseudomonas fluorescens* was 0.125 mg/mL. With the treatment of ϵ -polylysine hydrochloride, the growth of *Shewanella baltica* and *Pseudomonas fluorescens* was significantly inhibited, and the conductivity, AKP enzyme activity and UV absorbent leakage were significantly increased in a mass concentration dependent manner. Fish inoculated with *Shewanella baltica* and *Pseudomonas fluorescens* showed a significant decrease in total bacterial count and TVB-N values. [Conclusion] ϵ -polylysine hydrochloride can destroy the cell integrity of *Shewanella baltica* and *Pseudomonas fluorescens*, inhibit the growth and affect the spoilage ability.

Keywords: ϵ -polylysine hydrochloride; *Shewanella baltica*; *Pseudomonas fluorescens*; inhibitory mechanism

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 隶属于石首鱼科黄鱼属, 其肉质细腻鲜美, 是中国重要的经济鱼类, 2022 年全

基金项目: 浙江省自然科学基金重点项目 (编号: LZ23C200002)

通信作者: 石双妮 (1988—), 女, 浙江工商大学实验师, 硕士。E-mail: shishuangni@zjgsu.edu.cn

收稿日期: 2024-06-14 改回日期: 2024-11-22

国养殖量为 25.8 万 t^[1],主要集中在福建、浙江、广东等地区。由于大黄鱼捕捞出水后会立即死亡,因此主要以冰鲜的形式进行市场流通,新鲜大黄鱼在 5℃时的货架期为(9.0±1.0) d^[2]。腐败的发生与水产品中特定的腐败菌有关,希瓦氏菌和假单胞菌为有氧冷藏条件下大黄鱼的优势腐败菌^[3]。波罗的海希瓦氏菌(*Shewanella baltica*, *S. baltica*)产 H₂S,能将氧化三甲胺还原为三甲胺,并由群体感应(QS)系统参与调控致腐^[4-5]。荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*, *P. fluorescens*)可利用群体感应进行细胞间通信,通过蛋白酶分泌、鞭毛运动和生物膜形成促进腐败发生,是三文鱼、虾等水产品中的特定腐败菌^[6-7]。通过抗生素等化学制剂可有效抑制优势特定腐败菌的生长繁殖,但长期使用会危害人体健康^[8]。

ε-聚赖氨酸盐酸盐(ε-polylysine hydrochloride, ε-PLH)是淀粉酶产色链霉菌经受控发酵,培养液经离子交换树脂吸附、盐酸洗脱并精制后得到的具有天然性、较高的安全性和热稳定性,国家食品添加剂标准中允许使用的食品防腐剂^[9]。杨华等^[10]将茶多酚/ε-PLH复合微胶囊用于美国红鱼片的保鲜,经处理后的鱼片中微生物生长受到抑制,且 pH 值的变化速度减缓。Zhen 等^[11]研究发现,ε-PLH 可抑制鱼球中单核增生李斯特菌生长。蓝蔚青等^[12]研究发现,ε-PLH 可破坏腐败希瓦氏菌细胞壁和细胞膜的完整性,抑制其生长代谢。Yang 等^[13]制备的茶多酚/ε-聚赖氨酸核壳微胶囊可有效破坏腐败希瓦氏菌细胞膜的完整性,使细胞内酶渗漏,抑制细菌蛋白的合成和表达。

研究拟以大黄鱼源波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌为研究对象,采用最小抑菌浓度(MIC)、最小杀菌浓度和微生物生长曲线测定 ε-PLH 对腐败菌株的抑菌活性,根据生物被膜形成能力、上清液电导率、AKP 酶活力及紫外吸收物质泄漏分析 ε-PLH 对腐败菌株的损伤作用,通过接种腐败菌的无菌大黄鱼鱼块贮藏过程中菌的生长情况及其代谢产物的变化,研究 ε-PLH 对大黄鱼中优势腐败菌生长的影响,旨在为探索 ε-PLH 对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌生长的影响及作用机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌种与材料

新鲜大黄鱼:市售;

ε-聚赖氨酸盐酸盐(ε-PLH):浙江新银象生物工程有限公司;

波罗的海希瓦氏菌、荧光假单胞菌:浙江工商大学微生物实验室前期从腐败大黄鱼中分离鉴定保存^[14]。

1.1.2 培养基与试剂

LB 肉汤、MH 肉汤、胰酪胨大豆肉汤培养基(TSB)、胰酪大豆胨琼脂培养基(TSA):青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;

碱性磷酸酶(AKP)试剂盒:南京建成生物工程有限

公司;

氯化钠、无水乙醇、硼酸、氧化镁、结晶紫、甲基红、溴甲酚绿等:分析纯,上海国药集团试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

恒温振荡器:THZ-C 型,苏州培英实验设备有限公司;

高压蒸汽灭菌锅:YXQ-75SII 型,上海博迅实业有限公司;

冷冻离心机:TGL-16 型,湖南湘潭湘仪实验室仪器有限公司;

生化培养箱:LRH-150 型,上海一恒科技有限公司;

生物安全柜:BHC-1300IIA2 型,苏州市金净净化设备科技有限公司;

酶标仪:M200PRO 型,瑞士 Tecan 公司;

pH 计:FE20K 型,瑞士 Mettler Toledo 公司;

电导率仪:DDS-307 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

空气浴摇床:TS-100B 型,上海精宏实验设备有限公司;

紫外分光光度计:UV-2550 型,日本岛津公司;

凯氏定氮仪:Kjeltec™ 8100 型,丹麦 FOSS 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 腐败菌的活化 取 50 μL 经实验室鉴定保存的波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌菌株的甘油菌,接种于 5 mL TSB 肉汤中,28℃摇床(180 r/min)过夜活化两代。

1.3.2 最小抑菌浓度(MIC)测定 参照文献[15]。

1.3.3 细菌生长曲线测定 取波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌对数期菌液,按 1%接种量接种至含不同质量浓度 ε-PLH(0, 0.125, 0.250 mg/mL)的 LB 肉汤中,28℃培养 24 h,每隔 2 h 取样并用酶标仪测定 OD_{600 nm},绘制细菌生长曲线。

1.3.4 细菌上清液电导率测定 配制含 ε-PLH 质量浓度为 0, 0.125, 0.250 mg/mL 的 LB 肉汤,按 1%接种量分别接种波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌,28℃培养 6 h,每隔 1 h 取培养液,4℃、4 000 r/min 离心 10 min,测定上清液电导率。

1.3.5 碱性磷酸酶(AKP)酶活性测定 将活化的波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌菌株按 1%接种量接种于不同质量浓度 ε-PLH(0, 0.125, 0.250 mg/mL)的 LB 肉汤中,28℃培养 10 h,每隔 2 h 取样 2 mL,4℃、4 000 r/min 离心 10 min,取上清液,按 AKP 测试盒说明书测定胞外 AKP 酶活力。

1.3.6 紫外吸收物质的泄露情况测定 将 ε-PLH 加入培养液中,使其终质量浓度为 0.125, 0.250 mg/mL,28℃、150 r/min 摇床培养 10 h,每隔 2 h 取样 2 mL,4℃、4 000 r/min 离心 10 min,取上清液,用紫外分光光度计测定菌体上清液 OD_{260 nm}。

1.3.7 生物被膜抑制率测定 将活化培养至稳定期的波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌菌液稀释 10 倍,按 1%接

种量接种于不同质量浓度 ε-PLH (0, 0.125, 0.250 mg/mL) 的 LB 肉汤的 96 孔板中, 每孔 200 μL, 28 °C 培养 24 h。去除菌液, 加入 250 μL 生理盐水漂洗 3 次, 烘干。每孔加入 200 μL 0.2% 的结晶紫溶液, 染色 15 min, 清洗并烘干, 加入 200 μL 乙醇, 静置 5 min, 用酶标仪测定 590 nm 处吸光值, 按式(1)计算生物被膜抑制率。

$$c = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——生物被膜抑制率, %;

A_0 ——对照组 OD_{590 nm} 值;

A_1 ——处理组 OD_{590 nm} 值。

1.3.8 ε-PLH 对接种腐败菌大黄鱼品质的影响 用酒精擦拭大黄鱼表面, 无菌条件下, 去除鱼鳞、内脏, 取鱼背脊处鱼块分成两组, 一组接种过夜活化并稀释至 10⁶ CFU/mL 波罗的海希瓦氏菌, 另一组接种过夜活化并稀释至 10⁶ CFU/mL 荧光假单胞菌。取接种波罗的海希瓦氏菌的鱼块分别于 0.125, 0.250 mg/mL ε-PLH 溶液中浸泡 8 min, 以接种波罗的海希瓦氏菌鱼块无菌水浸泡 8 min 为对照, 4 °C 冷藏 12 d。另一组接种荧光假单胞菌的鱼块采用相同方法浸泡处理。

分别于贮藏第 0、2、4、6、8、10、12 天, 取鱼块测定菌落总数和挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量。取 5 g 鱼肉样品加入 45 mL 0.85% 的生理盐水, 均质 2 min, 测定样品菌落总数。参照周倩倩等^[16]的方法测定挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量。

1.3.9 数据分析 采用 SPSS19 软件进行差异性分析 ($P < 0.05$), 使用 Origin8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 ε-PLH 的最小抑菌浓度 (MIC)

由表 1 可知, 0.062 5, 0.125 mg/mL ε-PLH 对应孔中有少量波罗的海希瓦氏菌生长, 而 0.25 mg/mL 及其以上质量浓度 ε-PLH 对应的孔澄清, 因此, ε-PLH 对波罗的海希瓦氏菌的最小抑菌浓度为 0.25 mg/mL。同理, ε-PLH 对荧

光假单胞菌的最小抑菌浓度为 0.125 mg/mL。这与马子祯等^[17]的研究结果基本一致。因此, 选取 0.125, 0.250 mg/mL 的 ε-PLH 进行后续试验。

表 1 ε-PLH 质量浓度对腐败菌生长的影响[†]

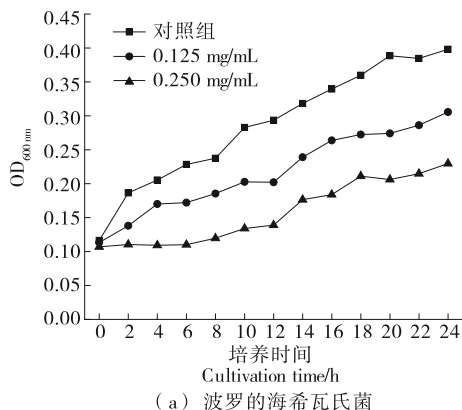
Table 1 Effects of different concentrations of ε-PLH on the growth of predominant spoilage bacteria

ε-PLH 质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	波罗的海希瓦氏菌	荧光假单胞菌
0	+	+
0.062 5	+	+
0.125	+	—
0.25	—	—
0.5	—	—
1	—	—
2	—	—
4	—	—

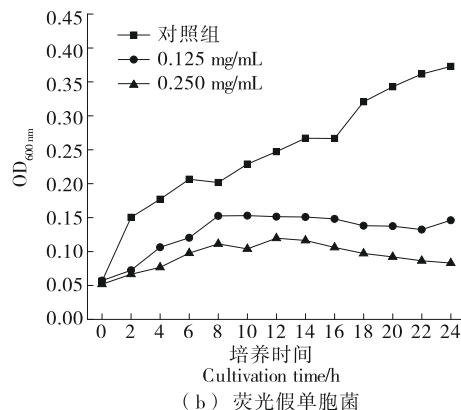
† “+”表示生长; “—”表示不生长。

2.2 对腐败菌生长曲线的影响

由图 1 可知, 对照组的波罗的海希瓦氏菌在 28 °C 下生长迅速, 培养 2 h 后达到对数生长期, 20 h 左右达到稳定期。与对照组相比, 0.125, 0.250 mg/mL ε-PLH 处理组的波罗的海希瓦氏菌生长较缓慢, 且 ε-PLH 质量浓度越高, 菌生长越缓慢。经 0.250 mg/mL ε-PLH 处理后波罗的海希瓦氏菌对数生长期延后至 8 h, 说明 ε-PLH 可抑制波罗的海希瓦氏菌的生长与繁殖, 延缓波罗的海希瓦氏菌进入对数期从而实现抑菌作用。对照组的荧光假单胞菌培养 2 h 后达到对数生长期, 18 h 后达到稳定期。ε-PLH 处理组前 8 h 内荧光假单胞菌均有一定的增长, 8 h 后其 OD_{600 nm} 值明显下降, 表明荧光假单胞菌的增长被明显抑制。综上, ε-PLH 对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的生长均存在抑制作用, 且 ε-PLH 质量浓度越高, 菌生长越缓慢; 相比波罗的海希瓦氏菌, ε-PLH 对荧光假单胞菌的



(a) 波罗的海希瓦氏菌



(b) 荧光假单胞菌

图 1 ε-PLH 对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌生长曲线的影响

Figure 1 Effects of ε-PLH on the growth curves of *S. baltica* and *P. fluorescens*

抑菌活性更强。

2.3 对腐败菌电导率的影响

细菌处于不利环境下,细胞膜的流动性降低,胞内电解质大量外泄,导致菌液电导率升高,因此细胞膜通透性的变化可由菌液电导率的变化来体现^[18]。由图 2 可知,对照组的电导率在前 2 h 增加,后 4 h 基本稳定。与对照组相比, ϵ -PLH 处理使波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌上

清液中电导率均明显上升,且质量浓度越大上升越显著。经 0.250 mg/mL ϵ -PLH 处理 6 h 后,波罗的海希瓦氏菌的菌液电导率为 543 μ S/cm,对照组为 480.3 μ S/cm;经 0.250 mg/mL ϵ -PLH 处理 6 h 后荧光假单胞菌菌液电导率为 659 μ S/cm,对照组为 462 μ S/cm。综上, ϵ -PLH 处理可破坏波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌细胞内稳态,改变细胞膜的通透性,进而起到抑菌作用。

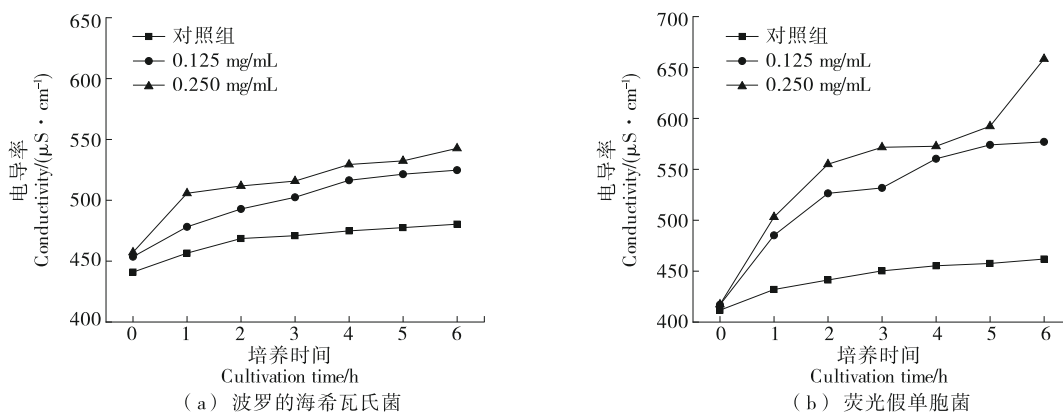


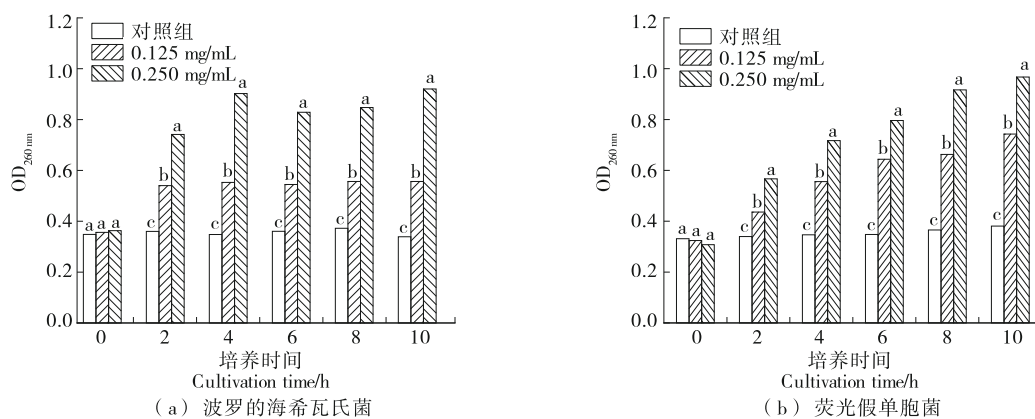
图 2 ϵ -PLH 质量浓度对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌上清液电导率的影响

Figure 2 Effects of different concentrations of ϵ -PLH on the electrical conductivity of supernatant of *S. baltica* and *P. fluorescens*

2.4 对腐败菌紫外吸收物质泄露情况的影响

由图 3 可知,相对于对照组,经 ϵ -PLH 处理后,2 种腐败菌上清液中 OD_{260 nm} 值显著上升,经 0.125, 0.250 mg/mL ϵ -PLH 处理 10 h 后波罗的海希瓦氏菌上清液 OD_{260 nm} 分别

增至 0.56, 0.92 ($P < 0.05$), 而荧光假单胞菌分别增至 0.74, 0.97 ($P < 0.05$)。 ϵ -PLH 长时间作用于细菌细胞,细胞膜通透性屏障受损,会引起具有紫外吸收特性的胞内组分渗出。这与刘海晴等^[19]的研究结果类似。



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

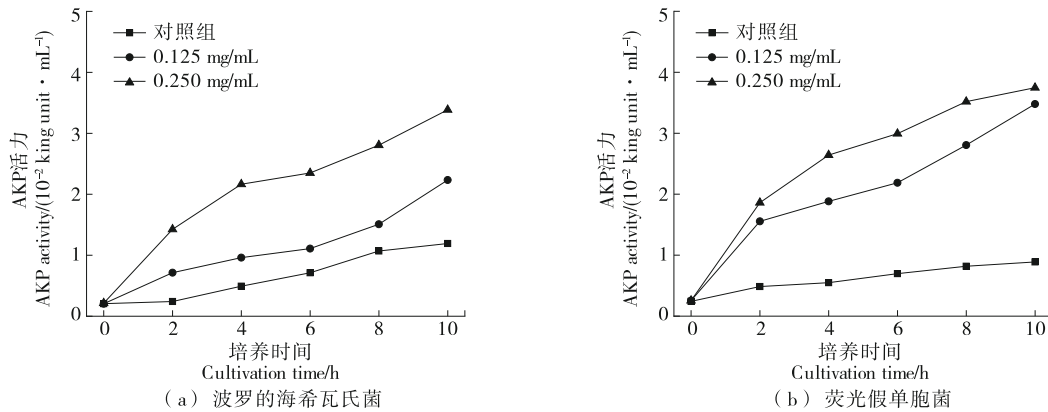
图 3 ϵ -PLH 质量浓度对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌紫外吸收物质泄露的影响

Figure 3 Effects of different concentrations of ϵ -PLH on leakage of UV absorbing material of *S. baltica* and *P. fluorescens*

2.5 对腐败菌 AKP 酶活力的影响

AKP 存在于细胞壁与细胞膜之间,在胞外通常不能检测到其酶活性,但当细胞壁被破坏,其会泄漏至胞外^[20]。由图 4 可知,与对照组相比,经 ϵ -PLH 处理后,菌液 AKP 酶活力在培养 2 h 内迅速提高, ϵ -PLH 质量浓度越高,

AKP 酶活力越大。经 0.250 mg/mL ϵ -PLH 处理波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的 AKP 酶活力分别为 3.39, 3.75 金氏单位/100 mL,而空白组的仅为 1.19, 0.89 金氏单位/100 mL。Guo 等^[21]研究发现,芳樟醇处理会引起腐败希瓦氏菌菌悬液中 AKP 浓度显著升高和细胞壁的破坏。

图4 ϵ -PLH质量浓度对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌AKP酶活力的影响Figure 4 Effects of different concentrations of ϵ -PLH on AKP of *S. baltica* and *P. fluorescens*

2.6 对腐败菌生物被膜形成能力的影响

生物被膜是细菌依附于接触表面所形成的多聚体复合物^[22]。腐败菌生物膜的存在,增强了其对外环境的抵抗力,并加速了鱼体腐败^[23]。由表2可知,培养24 h后,0.125,0.250 mg/mL ϵ -PLH对波罗的海希瓦氏菌生物被膜抑制率分别为22.30%,80.54%,对荧光假单胞菌生物被膜抑制率分别为69.29%,86.33%。0.250 mg/mL ϵ -PLH对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌生物被膜的抑制率可达80%,说明 ϵ -PLH可显著抑制腐败菌生物膜的形成,可能是 ϵ -PLH影响了腐败菌的黏附能力^[24]。

2.7 对接种腐败菌鱼肉菌落总数的影响

冷藏过程中未接种无菌鱼块菌落总数维持在较低水平,初始值为1.11 lg(CFU/g),增长缓慢,贮藏4 d时接近4 lg(CFU/g),而接种腐败菌的鱼块细菌繁殖迅速^[25]。由图5可知,接种波罗的海希瓦氏菌、荧光假单胞菌鱼块处理组和对照组的菌落总数随贮藏时间的延长呈上升趋势,经 ϵ -PLH处理后其菌落总数增长均小于对照组。与对照组相比,接种波罗的海希瓦氏菌鱼块的 ϵ -PLH处理组菌

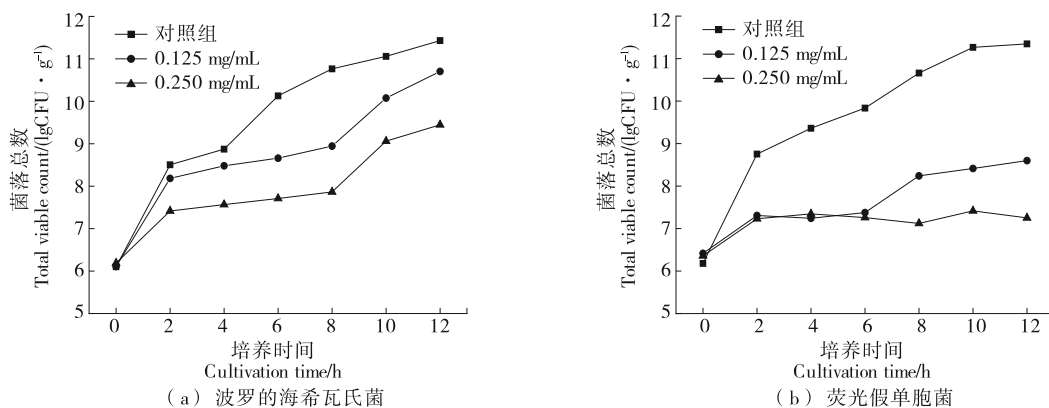
表2 ϵ -PLH质量浓度对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌生物被膜的影响Table 2 Effects of different concentrations of ϵ -PLH on biofilm of *S. baltica* and *P. fluorescens*

ϵ -PLH 质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	波罗的海希瓦氏菌/%	荧光假单胞菌/%
0.125	22.30±1.57	69.29±3.17
0.250	80.54±1.55	86.33±0.81

落总数前2 d有所下降, ϵ -PLH质量浓度越大,下降越明显;接种假单胞菌鱼块的 ϵ -PLH处理组前2 d菌落总数增速明显下降。贮藏第12天, ϵ -PLH处理组的菌落总数均明显小于对照组,说明 ϵ -PLH对两种腐败菌均有明显抑制作用并延缓了鱼体腐败,且对假单胞菌的抑制作用比波罗的海希瓦氏菌的更显著,这与 ϵ -PLH直接作用于菌体的结果类似。

2.8 对接种腐败菌鱼肉TVB-N的影响

由图6可知,对照组中接种波罗的海希瓦氏菌鱼块的

图5 ϵ -PLH对接种波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌鱼肉菌落总数的影响Figure 5 Effects of different concentrations of ϵ -PLH on the total number of bacterial colonies in large yellow croaker inoculated with *S. baltica* and *P. fluorescens*

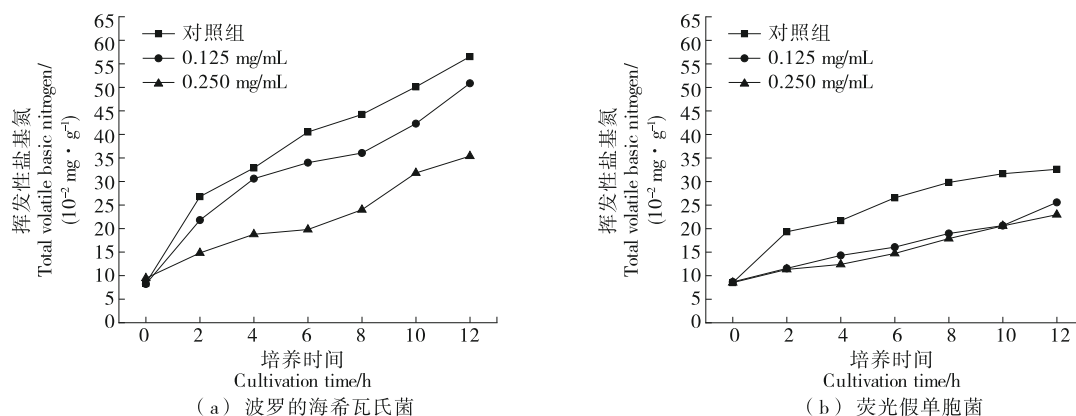

 图 6 ϵ -PLH 质量浓度对接种波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌鱼肉 TVB-N 的影响

 Figure 6 Effects of different concentrations of ϵ -PLH on TVB-N in large yellow croaker inoculated with *S. baltica* and *P. fluorescens*

TVB-N 增长比接种荧光假单胞菌鱼块的明显,是由于鱼块中波罗的海希瓦氏菌与荧光假单胞菌的生长繁殖能力较为接近,但波罗的海希瓦氏菌的胺类代谢能力、产三甲胺能力、TVB-N 形成能力强于荧光假单胞菌^[26]。接种波罗的海希瓦氏菌鱼块对照组在贮藏第 4 天的 TVB-N 含量为 32.95 mg/100 g, 0.250 mg/mL ϵ -PLH 处理组在贮藏第 12 天的 TVB-N 含量为 35.47 mg/100 g; 接种荧光假单胞菌的鱼块贮藏第 12 天,对照组的 TVB-N 含量为 32.67 mg/100 g, 0.125, 0.250 mg/mL ϵ -PLH 处理组的下降至 25.62, 23.01 mg/100 g。贮藏过程中,接种波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的 ϵ -PLH 处理组鱼肉 TVB-N 含量始终低于对照组,表明 ϵ -PLH 可抑制微生物繁殖,延缓鱼体腐败。

3 结论

研究了 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对大黄鱼源波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的抑制作用。结果表明, ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌均有抑制作用,且荧光假单胞菌更敏感。经 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐处理后,两种菌液电导率、紫外吸收物质、AKP 酶活力均高于对照组,是因为 ϵ -聚赖氨酸盐通过破坏波罗地海希瓦氏菌和荧光假单胞菌细胞膜的完整性,使得细胞膜通透性增加、胞内物质流出、AKP 酶活力上升,且生物膜的形成能力下降。相较于对照组,接种波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌鱼肉经 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐浸渍处理后,贮藏期内菌落总数和挥发性盐基氮含量明显下降,说明 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐能有效减弱波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌的腐败能力,延缓大黄鱼肉在低温贮藏下的品质劣变,进而延长货架期。在后续工作中,可进一步探究 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对腐败菌细胞水平的能量代谢与物质运输的影响,从分子角度解释抑菌机制,为拓展 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的应用范围提供理论参考。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴[R]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 22.
- [2] 李学英, 许钟, 郭全友, 等. 大黄鱼冷藏过程中的鲜度变化[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 442-450.
- [3] 张雯, 倪莉, 黄志清, 等. 冰鲜大黄鱼肠腔细菌类群鉴定及菌群结构分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 188-196.
- [4] ZHU J L, ZHAO A F, FENG L F, et al. Quorum sensing signals affect spoilage of refrigerated large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) by *Shewanella baltica*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 217: 146-155.
- [5] LI J P, YU H L, YANG X Y, et al. Complete genome sequence provides insights into the quorum sensing-related spoilage potential of *Shewanella baltica* 128 isolated from spoiled shrimp [J]. Genomics, 2020, 112(1): 736-748.
- [6] 梅俊, 许振琨, 郁慧洁, 等. 冷链物流中海水鱼的腐败机制及保鲜技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(7): 84-99.
- [7] MOSHYNETS O V, FOSTER D, KARAKHIM S A, et al.

- Examining c-di-GMP and possible quorum sensing regulation in *Pseudomonas fluorescens* SBW25: links between intra- and inter-cellular regulation benefits community cooperative activities such as biofilm formation[J]. The Ukrainian Biochemical Journal, 2018, 90(3): 17-31.
- [8] 李红艳, 徐明磊, 翟赛亚. 植物提取物在肉制品保鲜中的作用研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(9): 236-240.
- LI H Y, XU M L, ZHAI S Y. Research progress of plant extracts in preservation of meat products[J]. Food & Machinery, 2024, 40(9): 236-240.
- [9] 史文艳, 孙震. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐与 Nisin 对蜡状芽孢杆菌的协同作用及机理[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 15-19, 103.
- SHI W Y, SUN Z. Synergistic effect and mechanism of ϵ -polylysine hydrochloride and Nisin on *Bacillus cereus*[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 15-19, 103.
- [10] 杨华, 杨丽丽, 王明, 等. 茶多酚/ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐复合微胶囊对美国红鱼鱼片的保鲜作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 98-105.
- YANG H, YANG L L, WANG M, et al. The preservative effect of tea polyphenols/ ϵ -polylysine hydrochloride composite microcapsules on *Sciaenops ocellatus* fillets[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 98-105.
- [11] JIA Z, LI C C, FANG T, et al. Predictive modeling of the effect of ϵ -polylysine hydrochloride on growth and thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in fish balls[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(1): 127-132.
- [12] 蓝蔚青, 陈雪宁, 冯豪杰, 等. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对腐败希瓦氏菌的作用机制初探[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(6): 1 562-1 569.
- LAN W Q, CHEN X N, FENG H J, et al. Preliminary research on the antibacterial mechanism of ϵ -polylysine hydrochloride against *Shewanella putrefaciens*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(6): 1 562-1 569.
- [13] YANG H, LI Q Y, YANG L L, et al. The competitive release kinetics and synergistic antibacterial characteristics of tea polyphenols/epsilon-poly-L-lysine hydrochloride core-shell microcapsules against *Shewanella putrefaciens*[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2020, 55(12): 3 542-3 552.
- [14] GE Y, ZHU J, YE X, et al. Spoilage potential characterization of *Shewanella* and *Pseudomonas* isolated from spoiled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Letters in Applied Microbiology, 2017, 64(1): 86-93.
- [15] WIEGAND I, HILPERT K, HANCOCK R E W. Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances[J]. Nature Protocols, 2008, 3(2): 163-175.
- [16] 周倩倩, 方士元, 梅俊, 等. 丁香酚对腐败希瓦氏菌和荧光假单胞菌的抑制机理[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 1-6.
- ZHOU Q Q, FANG S Y, MEI J, et al. Inhibitory mechanism of eugenol on *Shewanella putrefaciens* and *Pseudomonas fluorescens*[J]. Food Science, 2020, 41(9): 1-6.
- [17] 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): 3 598-3 606.
- MA Z Z, ZHAO Q C, 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): 3 598-3 606.
- [18] 王梓源, 李欣颖, 吕俊阁, 等. ϵ -聚赖氨酸对大肠杆菌的抑菌机制[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 34-41.
- WANG Z Y, LI X Y, LU J G, et al. The antimicrobial mechanism of ϵ -poly-L-lysine against *Escherichia coli*[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(21): 34-41.
- [19] 刘海晴, 李万鹏, 王奕飞, 等. 酿酒黄水对希瓦氏菌和假单胞菌抑菌机理的研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(5): 68-74.
- LIU H Q, LI W P, W Y F, et al. Antibacterial mechanism of yellow water from liquor against *Shewanella* and *Pseudomonas* [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(5): 68-74.
- [20] 王晓芸, 张婷, 黄剑, 等. 3 种多酚对腐败希瓦氏菌的抑菌效果和机理[J]. 食品科学, 2024, 45(16): 1-9.
- WANG X Y, ZHANG T, HUANG J, et al. Antibacterial effects and mechanisms of three polyphenols against *Shewanella putrefaciens*[J]. Food Science, 2024, 45(16): 1-9.
- [21] GUO F, LIANG Q, ZHANG M, et al. Antibacterial activity and mechanism of linalool against *Shewanella putrefaciens*[J]. Molecules, 2021, 26(1): 245.
- [22] O'TOOLE G, KAPLAN H B, KOLTER R. Biofilm formation as microbial development[J]. Annual Review of Microbiology, 2000, 54: 49-79.
- [23] 张国丽, 敖晓琳, 刘书亮. 群体感应食源性微生物生物膜形成中的作用[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 194-198.
- ZHANG G L, AO X L, LIU S L. The role of quorum sensing in biofilm formation of foodborne micro-organism[J]. Food & Machinery, 2017, 33(2): 194-198.
- [24] WANG Y, WANG Y, 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(1): 111749.
- [25] 赵二科, 朱军莉, 冯立芳, 等. 冷藏大黄鱼 SSO 希瓦氏菌腐败能力差异机制初探[J]. 水产学报, 2015, 39(2): 256-264.
- ZHAO E K, ZHU J L, FENG L F, et al. Preliminary mechanism of different spoilage potential of specific spoilage organism, *Shewanella*, in refrigerated *Larimichthys crocea*[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(2): 256-264.
- [26] 葛阳杨. 大黄鱼源三种优势腐败菌致腐表型及其菌群互作效应研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016: 46.
- GE Y Y. Evaluation of spoilage potential and the interactions of three spoilage bacteria isolated from spoiled large yellow croaker[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2016: 46.