

# 假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液的 筛选及保鲜效果研究

郑文雄<sup>1,2</sup>, 杨榕琳<sup>1,2</sup>, 高泽欣<sup>1</sup>, 姜依晴<sup>1</sup>, 陈佳敏<sup>1</sup>, 古盛辉<sup>1</sup>, 黄斯蕴<sup>1</sup>,  
汪薇<sup>1,3,4</sup>, 陈海光<sup>1,3,4</sup>, 任文彬<sup>1,3,4\*</sup>, 张敏纯<sup>5</sup>

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广州 510225; 2. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022;  
3. 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广州 510225; 4. 仲恺农业工程学院现代农业工程  
创新研究院, 广州 510225; 5. 广东省农产品质量安全协会, 广州 510599)

**摘要:** **目的** 筛选出最优的假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液, 同时探究抑菌液对冷鲜鸡肉的保鲜效果。**方法** 以冷鲜鸡肉及其主要腐败菌为研究对象, 研究假肠膜明串珠菌产细菌素的生长周期, 并利用假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液、乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液以及假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液分别浸泡鸡肉, 从肉的 pH、汁液流失率、色度、菌落总数、挥发性盐基氮和感官评定等方面评价其对鸡肉冷藏品质的影响, 比较以上几种抑菌液对鸡肉的保鲜效果, 筛选出最佳的抑菌液。**结果** 假肠膜明串珠菌产细菌素的生长周期与其抑菌活性呈一定正相关。实验组的 4 种抑菌液均能延缓冷鲜鸡肉劣变, 但 1.5%假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液对冷鲜鸡肉保鲜效果有限。而 40 mg/L 乳酸链球菌素、1.5%假肠膜明串珠菌产细菌素和 10%柚子精油复配抑菌液的保鲜效果较好, 尤其在以 1.5%假肠膜明串珠菌产细菌素和 10%柚子精油复配抑菌液处理时, 对冷鲜鸡肉的保鲜作用最强。**结论** 1.5%假肠膜明串珠菌产细菌素和 10%柚子精油复配抑菌液对冷鲜鸡肉具有最佳的保鲜效果。

**关键词:** 假肠膜明串珠菌; 细菌素; 冷鲜鸡肉; 抑菌效果; 复配保鲜

## Screening and fresh-keeping effects of bacteriocin-producing compound antibacterial solution of *Leuconostoc mesenteroides*

ZHENG Wen-Xiong<sup>1,2</sup>, YANG Rong-Lin<sup>1,2</sup>, GAO Ze-Xin<sup>1</sup>, JIANG Yi-Qing<sup>1</sup>,  
CHEN Jia-Min<sup>1</sup>, GU Sheng-Hui<sup>1</sup>, HUANG Si-Yun<sup>1,4</sup>, WANG Wei<sup>1,3,4</sup>,  
CHEN Hai-Guang<sup>1,3,4</sup>, REN Wen-Bin<sup>1,3,4\*</sup>, ZHANG Min-Chun<sup>5</sup>

(1. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;  
2. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 3. Lingnan Key Laboratory of  
Specialty Food Science and Technology of Guangdong Province, Guangzhou 510225, China; 4. Innovation Research  
Institute of Modern Agricultural Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225,  
China; 5. Guangdong Agricultural Products Quality and Safety Association, Guangzhou 510599, China)

**基金项目:** 广东省重点研发项目(2022B020205003)、广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室项目(2021B1212040013)、广东省大学生创新创业训练计划项目(S202111347044、S202211347058)

**Fund:** Supported by the Key Research and Development Project of Guangdong Province (2022B020205003), the Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology of Guangdong Province (2021B1212040013), and the Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students of Guangdong Province (S202111347044, S202211347058)

\***通信作者:** 任文彬, 博士, 副教授, 主要研究方向为生物防腐特性与机理研究、岭南特色食品风味与副产物深加工研究。E-mail: rwbzk@126.com

\***Corresponding author:** REN Wen-Bin, Ph.D, Associate Professor, College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, No.388, Guangxin Road, Zhongluotan Town, Baiyun District, Guangzhou 510225, China. E-mail: rwbzk@126.com

**ABSTRACT: Objective** To select the optimal bacteriocin compound antibacterial solution produced by *Leuconostoc mesenteroides*, and explore the preservation effect of the antibacterial solution on cold chicken. **Methods** In this study, chilled chicken and its main putrel bacteria were selected as the research object to study the optimal growth cycle of bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides*, bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides*, Nisin, bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* combined with grapefruit essential oil, bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* combined with grapefruit essential oil and bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* with tea polyphenol. The effects of the above bacteriostatic solution on chicken refrigeration quality were evaluated from the pH of meat, juice loss rate, color, total number of colonies, total volatile basic nitrogen and sensory evaluation, and the preservation effects of the above bacteriostatic solution on chicken were compared, and the best bacteriostatic solution was selected. **Results** There was a positive correlation between the growth cycle of bacteriocin production and its antibacterial activity. The 4 kinds of bacterial inhibition solutions in the experimental group could delay the deterioration of cold chicken meat, but the effect of 1.5% *Leuconostoc mesenteroides* bacterial inhibition solution on the preservation of cold chicken meat was limited. The effect of 40 mg/L *Streptococcus lactis*, 1.5% *Leuconostoc mesenteroides* and 10% essential oil of grapefruit was better, especially when treated with 1.5% *Leuconostoc mesenteroides* and 10% essential oil of grapefruit, which had the strongest effect on the freshness of cold chicken. **Conclusion** The bacteriostatic solution combined with 1.5% *Leuconostoc mesenteroides* and 10% grapefruit essential oil has the best preservation effect on chilled chicken.

**KEY WORDS:** *Leuconostoc mesenteroides*; bacteriocin; chilled chicken; bacteriostatic effect; compound preservation

## 0 引言

据《中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报》的数据显示, 当年我国的禽肉产量超过两千万 t, 同比增长 5.5%<sup>[1]</sup>。近年来, 我国食品加工技术不断提高, 肉制品加工机械化已成为不可阻挡的趋势, 鸡肉加工产业也开始迅猛发展, 以鸡肉为原料加工的产品种类越来越多, 国民对于此类产品的喜好程度也显著增强<sup>[2]</sup>。

冷鲜鸡肉具有高蛋白和低脂肪等特点, 且与猪、牛和羊肉相比, 其性价比更高<sup>[3]</sup>, 十分契合消费者的需求, 因而也更加容易被人们接受和喜欢。然而, 有报道显示, 冷鲜肉在运输、贮藏及加工的过程中, 不仅容易被微生物污染, 而且易发生脂质氧化, 继而导致腐败变质<sup>[4]</sup>。冷鲜鸡肉在冷鲜肉产业中有着重要地位, 但由于其蛋白质和水分含量较高, 极易因微生物活动引发风味劣变和降低货架期, 因此, 对于冷鲜鸡肉的保鲜十分重要, 其抑菌保鲜与储藏技术和方法的研究与开发已成为研究热门。例如, PENG 等<sup>[5]</sup>以琼脂/魔芋葡甘露聚糖(agar/konjac glucomannan, KA)和香芹酚(carvacrol, CV) (1%、1.5%和 2%)为原料制备抗菌薄膜, 并对其表征, 研究表明该薄膜能抑制金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的生长繁殖, 从而延长鸡胸肉的货架期, 是一种很好的抗菌保鲜材料。LIN 等<sup>[6]</sup>根据空肠弯曲杆菌(*Campylobacter jejuni*, *C. jejuni*)的趋化性和蛋白酶特性, 以丝素蛋白和 L-岩藻糖为原料, 以山苍子精油为抑菌剂, 设计了一种生物响应型复合脂质体, 研究表明该种复合脂质体表现出显著且持续的抑菌活性, 且对鸡肉的颜色和质地

无负面影响, 在食品工业中有较好的运用前景。SHEN 等<sup>[7]</sup>从工业作物薯蓣(*Dioscorea zingiberensis* C.H. Wright, DZW)中分离出丰富的淀粉, 制备了一种新型牛至精油(oregano essential oil, OEO)生物活性包装膜, 研究表明其对鲜肉具有一定的保鲜效果。由此可得, 当前针对鸡肉保鲜与贮藏技术的研究已有一定的进展, 科研工作者更加关注纯天然抑菌防腐材料的挖掘与运用, 对植物和微生物来源的抑菌物质研究较为广泛, 并且将成为一大趋势, 未来对鸡肉保鲜的相关研究也因此不断深入。

当前, 食品腐败已成为我国主要食品安全问题, 如何控制食品加工过程中食源性致病菌及其他微生物的数量, 已然成为急需解决的难题<sup>[8]</sup>。随着国民生活质量的不断改善, 人们更加注重食品添加剂的使用安全, 对绿色、安全和无害的食品添加剂的需求也逐渐增加。天然来源的细菌素便有着取代传统食品添加剂的潜力, 其作为一种具备抑菌活性的多肽或前体多肽, 有较为理想的益生菌特性<sup>[9-11]</sup>。许多相关研究证实了细菌素的抑菌作用, 例如, 有研究表明, 细菌素可以单独使用或与现有抗生素联合使用, 达到较佳的防腐效果, 是解决当前抗生素危机的潜在工具<sup>[12]</sup>。此外, 细菌素相较抗生素而言, 更具发展优势。有研究发现, 细菌素比抗生素更易被消化酶降解<sup>[13]</sup>, 其对食品致病菌的生长有一定的抑菌作用且不产生副作用<sup>[14]</sup>, 在未来有望成为抗生素及化学防腐剂的替代品<sup>[15]</sup>。目前, 乳酸链球菌素(Nisin)<sup>[16]</sup>是唯一运用在食品保鲜方面的乳酸菌产细菌素, 其作为纯天然食品防腐剂, 被广泛的应用于食品生产和防腐保鲜, 而自 Nisin 首次发现以后, 科研工作者已经阐述了

许多具有独特结构和不同作用机制的细菌素。研究人员更是把注意力集中在可用于食品防腐保鲜的细菌素上<sup>[17]</sup>, 研究其抑菌机制和保鲜效果, 为控制微生物污染、预防食品腐败提供新思路。

实验前期, 从金仓鱼、石斑鱼、小黄鱼、马鲛鱼以及方斑东风螺等海洋生物中获得乳酸菌(假肠膜明串珠菌), 研究发现其所产细菌素对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌以及蜡样芽孢杆菌均具有一定的抑菌活性。有相关研究也证实了这个结论。例如, 朱传胜等<sup>[18]</sup>在发酵酸黄瓜中分离得到乳酸菌(肠膜明串珠菌 ZLG85), 其证实并报道了肠膜明串珠菌产细菌素对单核增生李斯特菌及其他常见致病菌(如金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和沙门氏菌等)有广谱的抑菌活性; 高玉荣等<sup>[19]</sup>以伤寒沙门氏菌作为研究对象, 探讨了肠膜明串珠菌 ZLG85 产细菌素对沙门氏菌的抑菌机制, 证实其具有较强的抑菌作用。综上可得, 该细菌素具有广谱抑菌效果。为开发出更多天然的冷鲜肉防腐抑菌剂, 得到最佳的假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液, 本研究通过对假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液的筛选及探究其对冷鲜鸡肉的保鲜效果, 以期对冷鲜鸡肉的保鲜与贮藏提供借鉴和参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

冷鲜鸡肉(广州市白云区钟落潭镇市场); 假肠膜明串珠菌、指示菌(大肠杆菌)(仲恺农业工程学院轻工食品学院微生物实验室); 乳酸链球菌素 Z、柚子精油、甲基红(分析纯)、茶多酚提取物(广州源叶生物科技有限公司); MRS 琼脂培养基、MRS 肉汤培养基、LB (Luria-Bertani) 琼脂培养基、LB 肉汤培养基、平板计数琼脂(plate count agar, PCA) 培养基(生物试剂, 青岛海博生物技术有限公司); 硫酸铵(分析纯, 广州化学试剂厂)。

### 1.2 实验仪器

PHS-2F 型 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司); UV-1780 型紫外可见分光光度计[岛津仪器(苏州)有限公司]; HH-S2 型数显恒温水浴锅(常州国宇仪器制造有限公司); SCIENTZ-18ND 型冷冻干燥机(宁波新芝生物科技股份有限公司); P6002 型电子分析天平(精度 0.001 g, 上海佑科仪器仪表有限公司); THZ-82 型恒温摇床培养箱(上海一恒科学仪器有限公司); PYX-280S-A 型生化培养箱(韶关市科力实验仪器有限公司); ZQZY-75C S 型振荡培养箱(上海知楚仪器有限公司); HC-1016 型离心机(安徽中科佳科学仪器有限公司); MODEL 型分光测色仪(深圳市威福光电科技有限公司); SW-CJ-1FD 型超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); DW-FL90 型超低温冷冻储存箱(中科美菱低温科技有限责任公司); Ldxx-50kbs 型立式压力蒸汽灭菌锅

(上海申安医疗器械厂)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 细菌素与指示菌的制备

在 MRS 肉汤培养基中接种假肠膜明串珠菌, 并置于 37℃、200 r/min 摇床培养箱中培养一段时间, 离心取上清液冷藏备用。

在 LB 液体培养基中接种指示菌(大肠杆菌), 置于 37℃、200 r/min 的摇床培养箱中摇至过夜, 备用。

#### 1.3.2 牛津杯抑菌圈实验

取指示菌悬液 1 mL, 与 LB 琼脂培养基混合凝固后, 用灭菌后的牛津杯在培养皿上打孔, 再往孔中添加 100  $\mu$ L 假肠膜明串珠菌发酵上清液, 将平板置于 37℃ 恒温培养箱中, 48 h 后测其抑菌圈大小。

#### 1.3.3 不同发酵时间上清液的抑菌活性研究

按照 2% 的接种量将假肠膜明串珠菌转接于容积为 100 mL 的 MRS 肉汤培养基, 并置于 37℃、200 r/min 摇床培养箱中培养 48 h, 分别在培养 0、8、16、24、32、40、48 h 后取其发酵液, 再将菌种发酵液置于 4℃、规格为 8000 r/min 的离心机中离心 15 min, 去除沉淀留上清液冷藏。用牛津杯法分别测定以上不同时间段内所取发酵上清液对指示菌(大肠杆菌)的抑菌活性, 记录抑菌圈直径大小。

参照以上方式, 分别取得在 37℃、200 r/min 摇床培养箱中培养 0、8、16、24、32、40、48 h 的假肠膜明串珠菌发酵液, 再分别测定不同时间段发酵液的 OD<sub>600</sub> 值。

#### 1.3.4 假肠膜明串珠菌产细菌素粗提粉的制备

将假肠膜明串珠菌接种于 MRS 肉汤培养基, 置于 37℃、200 r/min 的摇床培养箱中培养 40 h, 离心得到上清液。在上清液中加入 65% 的饱和硫酸铵, 搅拌一段时间直至出现沉淀, 然后采用规格为 8000 r/min 的离心机进行高速离心, 分离得到上清液和沉淀<sup>[20-21]</sup>。将沉淀装进透析袋, 并用橡皮筋把透析袋两端扎好, 置于纯净水中搅拌过夜, 而后取出, 进行冷冻干燥得到假明串珠菌产细菌素粗提粉, 冻藏保存。

#### 1.3.5 不同浓度假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌的抑菌效果研究

根据前期实验结果, 将假肠膜明串珠菌产细菌素浓度设定为 0%、0.3%、0.9%、1.5%, 按照实验 1.3.2 的方法, 对指示菌(大肠杆菌)进行抑菌实验, 得到细菌素 A 的最佳活性浓度。

#### 1.3.6 抑菌液的配制

##### (1) 假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液的制备

将假肠膜明串珠菌产细菌素溶于无菌去离子水中, 配制成 1.5% 的抑菌液, 其中, 假肠膜明串珠菌产细菌素的浓度由实验 1.3.5 得出, 备用<sup>[22]</sup>。

##### (2) 乳酸链球菌素抑菌液的制备

将乳酸链球菌素溶于无菌去离子水中, 配制成质量浓度为 40 mg/L 乳酸链球菌素抑菌液, 备用。其中乳酸链

球菌素抑菌液浓度的确定参照李清秀等<sup>[23]</sup>的研究结果。

### (3) 茶多酚和假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液的制备

将茶多酚溶于无菌去离子水中, 配制成 0.2% 的抑菌液, 再与配制好的假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液以一定比例复配, 备用。其中茶多酚浓度(0.2%)参照游庆红等<sup>[24]</sup>的研究结果。

### (4) 柚子精油和假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液的制备

将柚子精油溶于无菌去离子水中, 配制成 10% 的抑菌液, 再与配制好的假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液以一定的比例复配, 备用。其中, 柚子精油浓度(10%)由前期实验得出。

### (5) CK 对照组

取等量蒸馏水进行实验对照。

## 1.3.7 假肠膜明串珠菌产细菌素复配抑菌液对冷鲜鸡肉抑菌效果研究

### (1) 肉样的处理

将提前准备好的冷鲜鸡肉切割成大小均匀的肉块, 漂洗去污, 分别在不同抑菌液中浸泡 15 s, 取出沥干 5 min, 用保鲜袋封存, 置于冰箱 4℃ 保藏, 分别测定冷藏 1、3、5、7、9 d 后鸡肉的 pH、色差、汁液流失率、菌落总数、感官评定、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)<sup>[25]</sup>。

### (2) pH 的测定

参照吴学友等<sup>[26]</sup>的实验操作方法, 用 pH 计测量浆液的 pH。pH 测定按照如下评价标准, 记录数据结果:  $5.6 \leq \text{pH} \leq 6.2$  记为一级新鲜肉,  $6.3 \leq \text{pH} \leq 6.6$  记为二级新鲜肉,  $\text{pH} > 6.7$  则记为变质肉<sup>[27]</sup>。

### (3) 色度的测定

参照郑文雄等<sup>[28]</sup>和谢婧等<sup>[29]</sup>的方法, 记录鸡肉亮度  $L^*$  的变化,  $L^*$  代表黑白, 即肉的白度, “+”代表偏白, “-”表示偏暗。

### (4) 汁液流失率的测定

依据自然流失法, 并参照张晓燕等<sup>[30]</sup>和陈晓梅等<sup>[31]</sup>的实验操作方法, 进行实验并记录实验数据, 最后计算汁液流失率 W。

### (5) 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》严格进行测定, 分别于 1、3、5、7、9 d 测定菌落总数, 记录实验数据。

### (6) 挥发性盐基氮的测定

参照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》严格进行实验操作, 分别于 1、3、5、7、9 d 测定 TVB-N, 记录实验数据。

### (7) 感官评定

由具备相关知识和经验的人员组成感评小组, 进行感官评定<sup>[32]</sup>, 具体的评价标准见表 1。

表 1 感官评价标准  
Table 1 Sensory evaluation criteria

感官指标	感官得分/分				
	5	4	3	2	1
色泽	肉色嫩粉有光泽	肉发红稍差	肉色稍暗	肉色发暗	肉色局部呈黄绿色
气味	气味正常	正常气味变淡	轻微异味	轻腐味	明显的腐败
弹性	肉柔软弹性好	弹性较好	弹性一般	弹性差	无弹性

## 1.4 数据分析

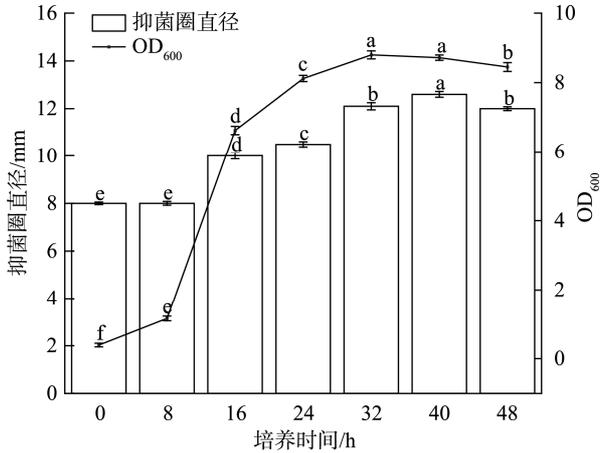
利用 Origin 2021 作图, 用 IBM SPSS Statistics 25 进行方差分析。文中所示数值均为平均值±标准偏差( $n=3$ ), 且牛津杯直径为 8 mm, 均计入最终数据, 不同字母表示不同处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 假肠膜明串珠菌生长曲线

不同培养时间获得的假肠膜明串珠菌发酵上清液对大肠杆菌的抑菌效果以及假肠膜明串珠菌的生长曲线如图 1 所示, 抑菌圈直径越大表示抑菌效果越好。此外, 由于鸡肉中常见致病菌大多为大肠杆菌和金黄色葡萄球菌<sup>[33-34]</sup>, 且经前期实验发现, 假肠膜明串珠菌发酵上清液对大肠杆菌的抑菌效果较好, 故实验选取大肠杆菌作为指示菌。经分析, 在培养 40 h 时, 抑菌圈直径大小与其他时间段相比, 存在显著性差异( $P < 0.05$ ); 在培养 32 h 及 40 h 时, 假肠膜明串珠菌发酵液  $\text{OD}_{600}$  值与其他时间段相比, 存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

根据图 1 所示, 首先, 在培养 0~8 h 期间, 由于培养时间较短, 且假肠膜明串珠菌需要适应环境的变化, 导致生长迟缓, 菌种数量较少, 所产生的细菌素含量也相应较少, 此时可能由于假肠膜明串珠菌处于生长迟缓期, 导致对大肠杆菌的抑菌效果不明显。其次, 假肠膜明串珠菌在培养 8 h 时, 开始进入对数生长期, 对大肠杆菌的抑菌效果增强。最后, 在培养 24 h 时进入生长稳定期<sup>[35]</sup>, 这个过程中, 假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌的抑菌效果在一开始时逐渐增强, 表现出较好的抑菌活性, 且在培养 40 h 抑菌效果最佳, 随后抑菌效果减弱。上述结果显示, 假肠膜明串珠菌发酵上清液的抑菌活性与其生长期成一定的正相关关系, 在培养 40 h 假肠膜明串珠菌发酵上清液所表现出的抑菌活性最佳。因此, 将假肠膜明串珠菌的最佳生长期确定为 40 h。



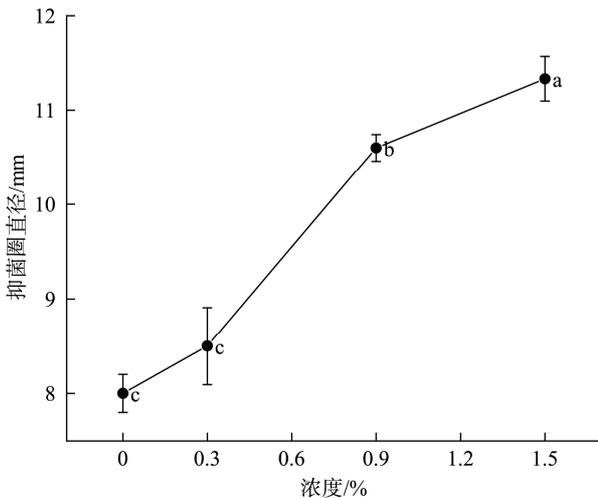
注: 将牛津杯直径(8 mm)计入实验数据; 不同字母表示组间具有显著性差异( $P < 0.05$ ), 下同。

图1 假肠膜明串珠菌生长曲线与抑菌效果

Fig.1 Growth curve and bacteriostatic effects of *Leuconostoc mesenteroides*

## 2.2 不同浓度假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌抑菌效果研究的结果分析

不同浓度假肠膜明串珠菌产细菌素的抑菌效果如图2所示, 抑菌圈直径越大表示抑菌效果越好, 不同浓度抑菌圈直径大小存在显著性差异( $P < 0.05$ )。此外, 为探明假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌活性是否与细菌素浓度有关, 实验探究了不同浓度假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌抑菌效果的影响。



注: 已将牛津杯直径(8 mm)计入实验数据, 假肠膜明串珠菌产细菌素浓度为0%时表示对照组。

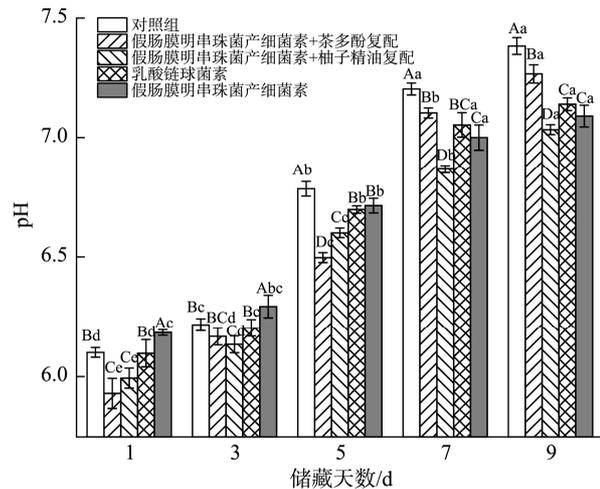
图2 不同浓度的假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌抑菌效果的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* on the bacteriostatic effect of *Escherichia coli*

结果表明, 不同浓度假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌的抑菌效果差异显著, 随着细菌素浓度的增加, 抑菌圈直径也不断增大。当浓度为1.5%时, 假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌的抑菌效果最佳, 抑菌圈直径均值达到11.43 mm。这可能是因为假肠膜明串珠菌产细菌素对大肠杆菌的抑菌效果存在浓度效应关系<sup>[36]</sup>, 即细菌素浓度与抑菌效果成一定的正相关关系。

## 2.3 pH的测定结果

4种抑菌液对冷鲜鸡肉pH的影响如图3所示, 对照组及乳酸链球菌素抑菌液实验组在第1、3、5、7 d之间存在显著性差异( $P < 0.05$ )。假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液实验组及假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组在第1、3、5、7、9 d均存在显著性差异( $P < 0.05$ )。



注: 不同小写字母表示同一处理组在不同储藏天数下差异显著( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示同一储藏天数下不同处理方式差异显著( $P < 0.05$ ), 图4、5、6、7同。

图3 不同抑菌液处理冷鲜鸡肉期间pH变化趋势

Fig.3 Variation trend of pH during different antibacterial solution treatment of chilled chicken

由图3可得, 在第1~3 d期间, 实验组和对照组的鸡肉pH均有不同程度增加。首先, 在第3 d时, 假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液实验组的鸡肉pH达到6.29, 为此期间的最大pH, 相较于起始的pH 6.18增加0.11; 与此同时, 假肠膜明串珠菌产细菌素与柚子精油复配抑菌液实验组的鸡肉pH达到6.13, 为此期间最小pH, 相较于起始的pH 5.99增加0.14, 此期间冷鲜鸡肉均处于一级鲜度范围。其次, 在第3~5 d期间, 实验组和对照组的鸡肉pH增长数值较大, 均增加0.2以上。在第5 d时, 假肠膜明串珠菌产细菌素与茶多酚复配抑菌液实验组的鸡肉pH达到6.50, 而假肠膜明串珠菌产细菌素与柚子精油复配抑菌液实验组的鸡肉pH达到6.60, 以上两组均处于二级鲜肉范围。而此时对照组pH达到6.78, 假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液、乳酸链球菌素抑菌液这2

个实验组的鸡肉 pH 均达到 6.70 以上, 均处于变质肉范围。再次, 在第 5~9 d 期间, 实验组和对数组的鸡肉 pH 均超过 6.70, 均处于变质肉范围。最后, 在第 9 d 时, 假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液实验组的鸡肉 pH 为 7.09, 乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素与茶多酚复配抑菌液这 2 个实验组的鸡肉 pH 则高于 7.09, 而假肠膜明串珠菌产细菌素与柚子精油复配抑菌液实验组的鸡肉 pH 最小。

研究发现在第 5、7、9 d, 实验组的鸡肉 pH 均小于对照组, 可能的原因是乳酸链球菌素、假肠膜明串珠菌产细菌素、茶多酚及柚子精油在起抑菌作用<sup>[24]</sup>。综上, 结果表明假肠膜明串珠菌产细菌素与柚子精油复配抑菌液实验组对冷鲜鸡肉具有较佳的保鲜效果。

## 2.4 汁液流失率的测定结果

4 种抑菌液对冷鲜鸡肉汁液流失率的影响如图 4 所示, 除假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液实验组外, 其余实验组和对数组的汁液流失率测定结果在第 1、3、5、7、9 d 之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

由图 4 可得, 随着储藏时间的增加, 对照组和实验组的汁液流失率均不断增大, 然而第 3 d 及以后, 对照组的汁液流失率都高于实验组, 与此同时, 在 1~9 d 期间, 对照组汁液流失率增加 32.47%, 且在第 9 d 达到 33.00%, 较实验组变化大。而假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组的汁液流失率整体变化较小, 只增加 25.71%, 相较该复配抑菌液实验组, 假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液、乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液这 3 个实验组的汁液流失率较高。由此表明实验组中的 4 种抑菌液均有一定的保鲜持水作用, 但假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组的汁液流失率变化最小, 说明该实验组对冷鲜鸡肉的保鲜效果最好。

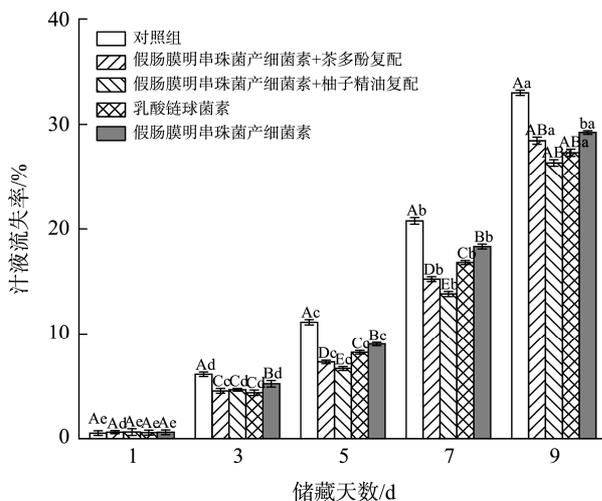


图 4 不同抑菌液处理冷鲜鸡肉期间汁液流失率变化趋势  
Fig.4 Variation trend of juice loss rate during different antibacterial solution treatment of chilled chicken

## 2.5 色度的测定结果

4 种抑菌液对冷鲜鸡肉亮度  $L^*$  的影响如图 5 所示。经显著性差异分析, 所有组的色度测定结果在第 1、3、5、7、9 d 均存在显著性差异( $P<0.05$ )。

由图 5 可知, 第 1 d 时, 对照组和实验组均表现出较高的亮度值, 随着储藏时间的增加, 亮度值均有所下降, 其中对照组的亮度值下降最多。然而, 假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组的亮度整体维持在较高水平, 亮度值下降最少, 尤其是第 5 d 之后, 该复配抑菌液实验组亮度均高于其他实验组, 且亮度值变化不大。由此表明实验组中 4 种抑菌液对冷鲜鸡肉均有一定的保鲜效果, 但假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组对冷鲜鸡肉的保鲜效果最佳。

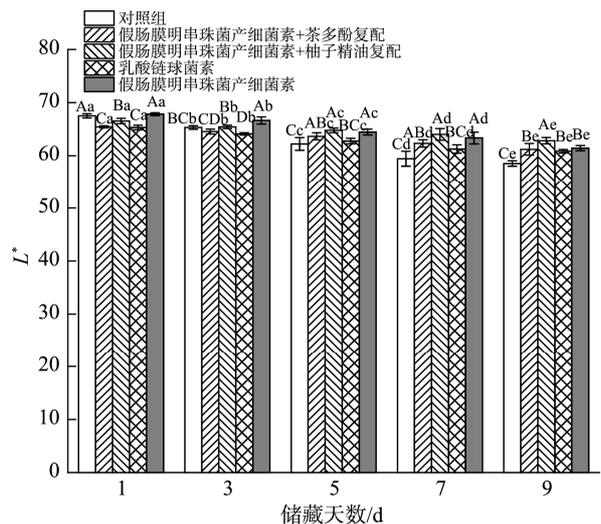


图 5 不同抑菌液处理冷鲜鸡肉期间亮度  $L^*$  变化趋势  
Fig.5 Variation trend of brightness  $L^*$  in chilled chicken treated with different antibacterial solution

## 2.6 菌落总数的测定结果

4 种抑菌液对冷鲜鸡肉菌落总数的影响如图 6 所示。经显著性差异分析, 除假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液实验组以外, 其余组在第 1、3、5、7、9 d 之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液实验组的数据在第 1 和 3 d 之间不存在显著性差异( $P>0.05$ )。

有报道显示, 微生物的污染已成为影响冷鲜肉菌落总数变化的主要原因<sup>[37]</sup>。由图 6 可得, 随着储藏时间的增加, 对照组和实验组菌落总数均呈上升趋势, 其中, 对照组变化最明显, 而实验组变化较对照组小, 表明实验组的 4 种抑菌液对冷鲜鸡肉均具有一定的保鲜效果。在第 7 d 时, 对照组菌落总数的对数值已达到 6.4, 根据洪军等<sup>[38]</sup>报道显示, 菌落总数的对数值大于 6.0, 表明该肉已超过鲜肉菌落总数的判定标准, 说明此时对照组的鸡肉已变质,

且在第 9 d 时菌落总数对数值超过 8.0, 呈现明显的腐败迹象。与此同时, 在第 9 d 时, 对照组和实验组菌落总数的对数值均超过 6.0, 鸡肉均已变质, 但乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液这 2 个实验组此时的菌落总数较少, 说明对冷鲜鸡肉的保鲜效果较好。

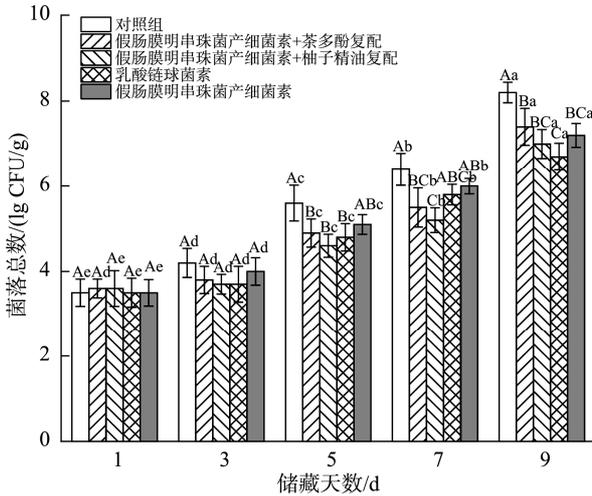


图 6 不同抑菌液处理冷鲜鸡肉期间菌落总数变化趋势

Fig.6 Variation trend of total bacterial colonies in chilled chicken treated with different antibacterial solution

## 2.7 挥发性盐基氮的测定结果

4 种抑菌液对冷鲜鸡肉 TVB-N 的影响如图 7 所示。经显著性差异分析, 所有组的测定结果在第 1、3、5、7、9 d 均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

董周永等<sup>[39]</sup>报道显示, 根据肉类新鲜程度可将肉类分为一级鲜度、二级鲜度以及变质肉。当肉类 TVB-N 值  $\leq 15$  mg/100 g 时, 判定为一级鲜度; 当  $15$  mg/100 g  $\leq$  肉类 TVB-N 值  $\leq 25$  mg/100 g 时, 判定为二级鲜度; 当肉类 TVB-N 值  $\geq 25$  mg/100 g 时, 判定为变质肉。由图 7 可知, 对照组和实验组鸡肉的 TVB-N 值曲线均随着时间的增加呈现正增长趋势。此外, 在第 9 d 时, 对照组的 TVB-N 值较第 1 d 增加 25.31 mg/100 g, 变化最大, 而实验组的变化相对较小, 说明实验组的 4 种抑菌液对冷鲜鸡肉有一定的保鲜作用。与此同时, 在第 1~3 d 期间, 对照组和实验组鸡肉均处于一级鲜度; 在第 5 d 时, 假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液这 2 个实验组的 TVB-N 值分别为 14.54 mg/100 g 和 13.23 mg/100 g, 此时的鸡肉均处于一级鲜度范围, 而对照组和乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液这 2 个实验组的鸡肉处于二级鲜度范围; 到第 7 d 时, 对照组和实验组均处于二级鲜度范围; 在第 9 d 时, 假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组鸡肉虽已变质, 但其 TVB-N 值较其余实验组低, 说明其对冷鲜鸡肉的保鲜效果较佳。

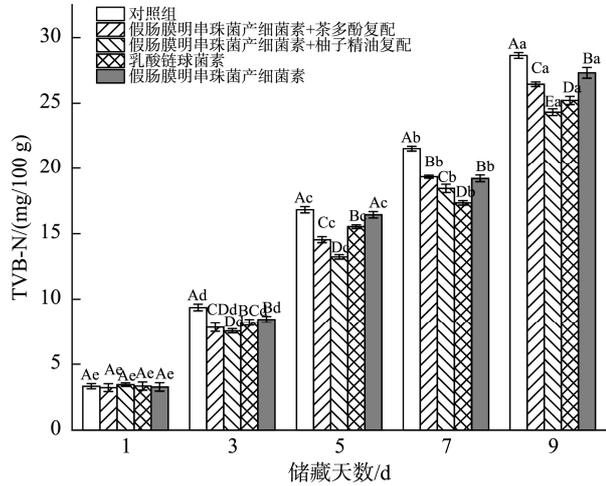


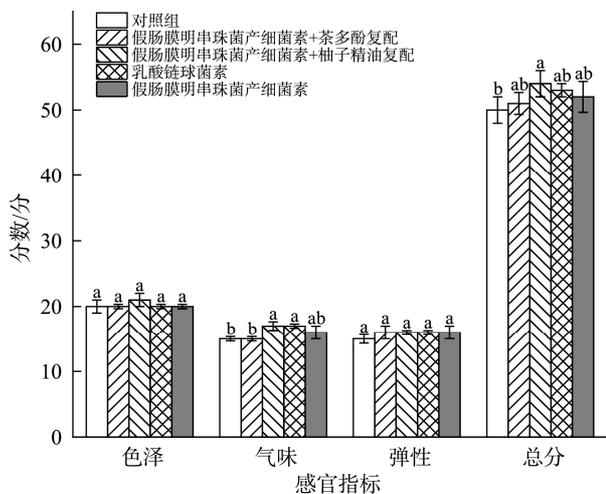
图 7 不同抑菌液处理冷鲜鸡肉期间 TVB-N 变化趋势

Fig.7 Variation trend of TVB-N in chilled chicken treated with different antibacterial solution

## 2.8 感官评定结果

4 种抑菌液对冷鲜鸡肉感官评定(色泽、气味、弹性)的影响如图 8 所示, 感官得分均为第 1~9 d 的分数总和。经显著性差异分析, 假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组总分与对照组存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液、乳酸链球菌素抑菌液这两个实验组的气味得分与对照组、假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液实验组存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

鸡肉是日常生活中最常见的白肉, 与红肉相比, 鸡肉有着高蛋白的特点, 并且鸡肉的肌纤维也较纤细, 这为微生物的生长繁殖提供了有利的条件<sup>[26]</sup>。由图 8 可得, 假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组在第 1~9 d 期间的鸡肉色泽得分、总分最高, 且气味得分与乳酸



注: 不同字母表示组间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

图 8 冷鲜鸡肉在处理期内感官评定

Fig.8 Sensory assessment of chilled chicken during the treatment period

链球菌素抑菌液实验组相同, 均高于其他组。此外, 乳酸链球菌素抑菌液实验组的鸡肉色泽得分和总分虽低于假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组, 但较其他实验组及对照组高, 说明假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液实验组、乳酸链球菌素抑菌液实验组这 2 个实验组可更好地延缓冷鲜鸡肉劣变, 对鸡肉具有一定的保鲜作用。

### 3 结 论

以冷鲜鸡肉作为研究对象, 经过前期对假肠膜明串珠菌产细菌素的抑菌活性研究, 得出假肠膜明串珠菌产细菌素的生长周期并进行大量培养, 采用硫酸铵沉淀法、冷冻干燥法制备假肠膜明串珠菌产细菌素粗提粉。整个过程以低温保藏的方式, 研究假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液、乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液对冷鲜鸡肉的保鲜效果。通过测定被处理过的鸡肉 pH、汁液流失率、色度(亮度  $L^*$ )、菌落总数、TVB-N 等评价指标以及进行感官评定得到保鲜效果最佳的抑菌液。

实验结果表明, 假肠膜明串珠菌产细菌素的抑菌活性与假肠膜明串珠菌产细菌素的生长周期成一定正相关关系, 在 40 h 时假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌活性最佳。与此同时, 实验组与对照组结果存在的差异较为显著, 实验组指标上升速度相对较慢, 说明假肠膜明串珠菌产细菌素抑菌液、乳酸链球菌素抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液、假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液这 4 个实验组均能够延长冷鲜鸡肉保藏期, 具有一定的保鲜效果。此外, 假肠膜明串珠菌产细菌素单独使用时, 保鲜效果弱于乳酸链球菌素, 但通过复配后可以提高其保鲜效果。不仅如此, 相较假肠膜明串珠菌产细菌素和茶多酚复配抑菌液, 假肠膜明串珠菌产细菌素和柚子精油复配抑菌液对冷鲜鸡肉的保鲜效果更佳, 由此可得该抑菌液具有最佳的保鲜效果。

目前, 冷鲜鸡肉多通过控制贮藏温度来达到保鲜目的, 国内外学者对肉类的抑菌保鲜也有一定研究, 但研究相对欠缺。此外, 由于化学防腐剂对人体健康有一定危害, 而细菌素具有天然、安全、无毒副作用和来源广泛等特点, 且对食品致病菌及腐败菌具有良好抑菌活性<sup>[10]</sup>, 未来有望成为研究鸡肉及其他肉类保鲜的较好原料。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2021, 471(3): 8-22.  
Statistical Bulletin of National Economic and Social Development of the People's Republic of China in 2020 [J]. China Statist, 2021, 471(3): 8-22.
- [2] 王燕明. 2012 年全球鸡肉产业发展状况及未来趋势[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(2): 24-27.  
WANG YM. Development status and future trend of the global broiler industry in 2012 [J]. China J Anim Sci, 2013, 49(2): 24-27.
- [3] 刘梦竹, 魏琦麟, 向蓉, 等. 鸡肉低温储藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(3): 104-110, 120.

- LIU MZ, WEI QL, XIANG R, *et al.* Research progress on preservation technology of chicken in low temperature storage [J]. Storage Process, 2022, 22(3): 104-110, 120.
- [4] 王雯雯. 肉桂精油纳米乳的制备、抗菌机理及其在冷鲜鸡肉中的应用研究[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2022.  
WANG WW. Preparation, antibacterial mechanism and application of cinnamon essential oil nanoemulsion in chilled chicken [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2022.
- [5] PENG SR, ZHANG J, ZHANG T, *et al.* Characterization of carvacrol incorporated antimicrobial film based on agar/konjac glucomannan and its application in chicken preservation [J]. J Food Eng, 2022. DOI: 10.1016/J.JFOODENG.2022.111091
- [6] LIN L, MEI CH, CHEN XC, *et al.* Bio-responsive composite liposomes against *Campylobacter jejuni* *in vitro* and its application in chicken preservation [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2022. DOI: 10.1016/J.IFSET.2022.103122
- [7] SHEN YP, ZHOU JW, YANG CY, *et al.* Preparation and characterization of oregano essential oil-loaded *Dioscorea zingiberensis* starch film with antioxidant and antibacterial activity and its application in chicken preservation [J]. Int J Biol Macromol, 2022, 212: 20-30.
- [8] YI LH, QI T, HONG Y, *et al.* Screening of bacteriocin-producing lactic acid bacteria in Chinese homemade pickle and dry-cured meat, and bacteriocin identification by genome sequencing [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 125: 109177.
- [9] 郑文雄, 陈燕清, 肖凯帆, 等. 细菌素抑菌作用及其应用的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(1): 119-125.  
ZHENG WX, CHEN YQ, XIAO KF, *et al.* Research progress of bacteriostatic effect and application of bacteriocin [J]. China Food Addit, 2021, 32(1): 119-125.
- [10] GARCIA-GUTIERREZ E, O'CONNOR PM, COLQUHOUN IJ, *et al.* Production of multiple bacteriocins, including the novel bacteriocin gassericin M, by *Lactobacillus gasseri* LM19, a strain isolated from human milk [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2020, 104(9): 3869-3884.
- [11] YI LH, DANG Y, WU JL, *et al.* Purification and characterization of a novel bacteriocin produced by *Lactobacillus crustorum* MN047 isolated from koumiss from Xinjiang, China [J]. J Dairy Sci, 2016, 99(9): 7002-7015.
- [12] CAVERA VL, ARTHUR TD, KASHTANOV D, *et al.* Bacteriocins and their position in the next wave of conventional antibiotics [J]. Int J Antimicrob Ag, 2015, 46(5): 494-501.
- [13] BAGDE P, VIGNESHWARAN N. Improving the stability of bacteriocin extracted from *Enterococcus faecium* by immobilization onto cellulose nanocrystals [J]. Carbohydr Polym, 2019, 209: 172-180.
- [14] HOLCOMB DA, KNEE J, SUMNER T, *et al.* Human fecal contamination of water, soil, and surfaces in house holds sharing poor-quality sanitation facilities in Maputo, Mozambique [J]. Inter J Hygi Environ Health, 2020, 226(C): 113496.
- [15] 涂会鑫, 董文龙, 孟雨晴, 等. 抗奶牛乳房炎金黄色葡萄球菌-细菌素的筛选及特性研究[J]. 中国饲料, 2023, 719(3): 23-27.  
TU HX, DONG WL, MENG YQ, *et al.* Screening and characterization of *Staphylococcus aureus* bacteriocin against cow mastitis [J]. China Feed, 2023, 719(3): 23-27.
- [16] WU JJ, ZANG MW, WANG SW, *et al.* Nisin: From a structural and meat preservation perspective [J]. Food Microbiol, 2023, 111: 104207.
- [17] 王利君, 郇萍, 付碧石, 等. 乳酸菌细菌素抗菌作用机制研究进展[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 36-42.  
WANG LJ, LI P, FU BS, *et al.* Progress in the antibacterial mechanism of *Lactobacillins* [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(1): 36-42.
- [18] 朱传胜, 高玉荣. 肠膜明串珠菌素 ZLG85 抗菌谱及稳定性的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2014, 26(4): 57-60, 65.  
ZHU CS, GAO YR. Study of biological stability and antimicrobial

- spectrum of *Leuconostoc mesenteroides* ZLG85 [J]. J Heilongjiang Bayi Agric Reclamat Univ, 2014, 26(4): 57–60, 65.
- [19] 高玉荣, 李大鹏, 张凤琴, 等. 肠膜明串珠菌素 *Mesenterocin* ZLG85 分子结构及对伤寒沙门氏菌的抗菌机理[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 59–65. GAO YR, LI DP, ZHANG FQ, *et al.* Molecular structure and antimicrobial mechanism of *Mesenterocin* ZLG85, a bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* against *Salmonella typhi* [J]. Food Sci, 2020, 41(7): 59–65.
- [20] 刘静, 杨富民, 王丽君, 等. 一株伯克霍尔德菌所产类细菌素的分离纯化[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 138–141. LIU J, YANG FM, WANG LJ, *et al.* Isolation and purification of bacteriocins produced by a *Burkholderia* strain [J]. China Brew, 2021, 40(1): 138–141.
- [21] 赵圣明, 赵岩岩, 马汉军. 植物乳杆菌 JLA-9 产细菌素的分离纯化[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 60–65. ZHAO SM, ZHAO YY, MA HJ. Isolation and purification of bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* [J]. Food Ferment Ind, 2017, 43(6): 60–65.
- [22] 王莹, 吴二建, 王碌碌, 等. 新型复合天然保鲜剂对冷鲜鸡肉保鲜效果的研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2019, 42(6): 820–825, 839. WANG Y, WU ERJ, WANG LL, *et al.* Research on the preservation effect of the new compound natural preservative on chilled chicken [J]. J Hefei Univ Technol (Nat Sci Ed), 2019, 42(6): 820–825, 839.
- [23] 李清秀, 房兴堂, 贺锋, 等. 乳酸链球菌素和纳他霉素对鸡肉保鲜效果的研究[J]. 农产品加工, 2008, (2): 22–25. LI QX, FANG XT, HE F, *et al.* Study on the efficacy of streptococcus lactin and natamycin on chicken preservation [J]. Farm Prod Process, 2008, (2): 22–25.
- [24] 游庆红, 尹秀莲, 尤苗苗, 等. 正交设计优化冷鲜鸡肉天然防腐剂保鲜工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(2): 50–53, 81. YOU QH, YIN XL, YOU MM, *et al.* Research on the preservation technology of natural preservative for chilled chicken [J]. Food Ferment Technol, 2017, 53(2): 50–53, 81.
- [25] 李苗云, 樊静, 赵改名, 等. 不同保鲜剂对生鲜鸡肉的保鲜效果[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(5): 580–584, 595. LI MY, FAN J, ZHAO GM, *et al.* The preservation effect of different preservatives on fresh chicken [J]. J Henan Agric Univ, 2010, 44(5): 580–584, 595.
- [26] 吴学友, 陈正行, 鞠兴荣. 乳酸菌细菌素 Durancin GL 对冷鲜鸡肉中单增李斯特菌抑制效果研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 124–129. WU XY, CHEN ZX, JU XR. Inhibition efficacy of *Lactobacillus bacteriocin* Durancin GL on *Listeria monocytogenes* in cold chicken meat [J]. Food Mach, 2019, 35(3): 124–129.
- [27] 陆宽, 黄运安, 武剑, 等. 异硫氰酸烯丙酯包合物壳聚糖复合保鲜纸对冷鲜肉的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(4): 117–119. LU K, HUANG YAN, WU J, *et al.* The preservation effect of allyl isothiocyanate compound chitosan composite plastic paper on chilled fresh meat [J]. Guizhou Agric Sci, 2013, 41(4): 117–119.
- [28] 郑文雄, 陈燕清, 刘小欣, 等. 无核黄皮果酱的制备及其理化性质研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(22): 8864–8869. ZHENG WX, CHEN YQ, LIU XX, *et al.* Preparation of seedless yellow peel jam and its physicochemical properties [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(22): 8864–8869.
- [29] 谢婧, 陈映霞, 肖晓霞, 等. 低糖番茄枸杞复合果酱的研制[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(4): 49–53. XIE J, CHEN YX, XIAO XX, *et al.* Development of the low-sugar tomato barberry wolfberry complex jam [J]. Cere Food Ind, 2020, 27(4): 49–53.
- [30] 张晓燕, 云雪艳, 梁敏, 等. 含有海藻糖的生物可降解薄膜对冷鲜肉的保鲜与护色作用[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 298–304. ZHANG XY, YUN XY, LIANG M, *et al.* The preservation and color protection of chilled meat [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(8): 298–304.
- [31] 陈晓梅, 刘巧瑜, 陈海光, 等. 葛根淀粉-壳聚糖复合膜对鸽肉保鲜性能的研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(8): 179–182. CHEN XM, LIU QY, CHEN HG, *et al.* Study on the performance of puerstarch-chitosan composite film on the preservation of pigeon meat [J]. Anhui Agric Sci, 2019, 47(8): 179–182.
- [32] 杨灵玲, 农绍庄, 韩筱. 鲜切鸡肉的保鲜工艺研究[J]. 食品工业, 2010, 31(3): 67–70. YANG LL, NONG SZ, HAN X. Research on the fresh-preservation process of fresh-cut chicken [J]. Food Ind, 2010, 31(3): 67–70.
- [33] LIN L, ZHU Y, CUI H. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 treated by poly-L-lysine-coated bacteriophages liposomes in pork [J]. J Food Saf, 2018. DOI: 10.1111/jfs.12535
- [34] MANUKUMAR HM, CHANDRASEKHAR B, RAKESH KP, *et al.* Novel T-C@AgNPs mediated biocidal mechanism against biofilm associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (Bap-MRSA) 090, cytotoxicity and its molecular docking studies [J]. Med Chem Comm, 2017, 8(12): 2181–2194.
- [35] 朱军莉, 王晔, 励建荣. 生物保鲜乳酸菌的筛选及其细菌素特性研究[J]. 中国酿造, 2010, (5): 42–46. ZHU JL, WANG Y, LI JR. Screening of biological preservative lactic acid bacteria and characterization of the bacteriocin [J]. Chin Brew, 2010, (5): 42–46.
- [36] 卜坚珍, 梁慧, 于立梅, 等. 冷鲜鸡肉抑菌剂筛选及保鲜效果研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3473–3478. BU JZ, LIANG H, YU LM, *et al.* Study on the antibacterial agent screening and preservation effect of chilled fresh chicken [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(9): 3473–3478.
- [37] 彭乃才. 茶多酚对肉品保鲜的机理及应用研究[J]. 肉类工业, 2015, (5): 47–50. PENG NC. Research on the mechanism and application of tea polyphenols for meat preservation [J]. Meat Ind, 2015, (5): 47–50.
- [38] 洪军, 李文玉, 卫夏怡, 等. 石榴皮提取物的抑菌活性及其对冷却鸡肉保鲜效果[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 73–76, 82. HONG J, LI WY, WEI XY, *et al.* The antibacterial activity of pomegranate peel extract and its effect on cooled chicken preservation [J]. China Cond, 2020, 45(3): 73–76, 82.
- [39] 董周永, 刘兴华, 杨东兴, 等. 石榴果皮提取物对冷却猪肉的保鲜效果[J]. 西北农业学报, 2011, (8): 48–52. DONG ZY, LIU XH, YANG DX, *et al.* Fresh-keeping effect of pomegranate peel extract on chilled pork [J]. J Northwest Agric, 2011, (8): 48–52.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



郑文雄, 硕士研究生, 主要研究方向为水产食品分子营养、水产品加工及贮藏、生物防腐特性与机理研究。  
E-mail: 1326670069@qq.com



任文彬, 博士, 副教授, 主要研究方向为生物防腐特性与机理研究、岭南特色食品风味与副产物深加工研究。  
E-mail: rwbzk@126.com