

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

Inhibitory effect of Lactobacillus bacteriocin Durancin GL on
L. monocytogenes in chilled chicken

吴学友¹

陈正行¹

鞠兴荣^{1,2,3}

WU Xue-you¹ CHEN Zheng-xing¹ JU Xing-rong^{1,2,3}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏 南京 210023;

3. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 江苏 南京 210023)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing, Jiangsu 210023, China; 3. Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

摘要:以乳酸菌细菌素 Durancin GL 处理冷鲜鸡肉, 进行储藏试验。从感官评定、品质分析以及有害微生物抑制情况考察该细菌素对冷鲜鸡肉的防腐保鲜效果。试验结果显示: 200 AU/mL 的细菌素保鲜液处理冷鲜鸡肉, 可抑制单增李斯特菌的生长, 减缓挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量增加以及 pH 上升, 减缓肉质劣变; 在 4 °C 储藏条件下, 一级冷鲜肉存储期由 4 d 延长至 8 d。表明该乳酸菌细菌素对冷鲜鸡肉延长储藏期具有积极效果。

关键词:乳酸菌细菌素; 单增李斯特菌; 鸡肉; 保鲜

Abstract: Lactobacillus bacteriocin is a kind of bacteriostatic protein or polypeptide produced by Lactobacillus. It has great application value in food preservation. In this study, Durancin GL, a Lactobacillus bacteriocin, was used to treat chilled chicken for storage. The antiseptic effect of Durancin GL on chilled chicken was investigated by sensory evaluation, quality analysis and inhibition of harmful microorganisms. The results show that treatment of chilled chicken with 200 AU/mL bacteriocin preservative solution can inhibit the growth of *L. monocytogenes*, slow down the increase of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content and pH, and slow down the deterioration of meat quality. Under

4 °C, the storage period of the first grade chilled meat was extended from 4 days to 8 days, suggesting the Lactobacillus bacteriocin has a positive effect on prolonging the storage period of chilled chicken.

Keywords: Lactobacillus bacteriocin; *L. monocytogenes*; chicken; preservation

中国是肉品生产大国也是消费大国, 国家统计局发布数据^[1-5]显示, 2014~2018 年中国肉类总产量分别为 8.707×10^7 , 8.625×10^7 , 8.540×10^7 , 8.431×10^7 , 8.517×10^7 t, 其中禽肉产量分别占 20.11%, 21.17%, 22.11%, 22.50%, 23.41%, 禽肉在中国肉品消费中占比逐年上升。目前, 中国消费的生肉主要以热鲜肉、冷鲜肉和冷冻肉 3 种形式供应市场^[6]。其中, 冷鲜肉因具有质地柔软、营养价值高、汁液损失少等独特优势, 在消费市场上越来越受消费者青睐^[7]。一般情况下, 健康禽畜的肉质是无菌肉, 然而在经历禽畜屠宰、胴体清洗分割、肉品加工等肉类工业生产流通环节, 肉的表层极易受到有害微生物的污染, 造成营养物质流失与腐败, 破坏肉的感官品质, 传播食源性疾病, 危害人们的营养和健康^[8-9]。因有害微生物污染肉及其制品引起的公众食品安全事件层出不穷, 一直是社会舆论的焦点^[10]。

微生物污染是中国乃至全球食品安全的首要问题。冷鲜肉在生产加工流通中不可避免受到环境和动物肠道、表皮等微生物的侵染, 常见的有大肠杆菌、沙门氏菌、李斯特菌等病原微生物^[11-14]。其中, 李斯特菌在自然环

基金项目:国家自然科学基金(编号:31271930); 江苏省研究生培养创新工程项目(编号: KYLX_1167)

作者简介:吴学友, 男, 江南大学在读博士研究生。

通信作者:陈正行(1960—), 男, 江南大学教授, 博士。

E-mail: zxchen_2008@126.com

鞠兴荣(1957—), 男, 南京财经大学教授, 博士。

E-mail: xingrongju@163.com

收稿日期:2019-12-03

境中分布极为广泛,特别是可食用的肉类、禽类、蛋类、乳制品、蔬菜等都是其良好的宿主^[15-16]。李斯特菌具有很强的适应能力,即使在 4℃ 的冷藏环境下仍可生长繁殖^[17],而且通常的热加工处理不能完全杀灭该病原微生物^[18]。该菌属中的单增李斯特菌是一种危害性非常严重的病原菌,可以导致严重的人畜共患传染病,如脑膜炎、败血症、流产和单核细胞增多等,由它引起的李斯特菌病致死率超过 25%^[16]。近年来,世界各地爆发多起单核细胞增生李斯特氏菌引起的中毒事件,使得李斯特菌成为了研究食品安全防控的热点^[19-20]。为此,抑制李斯特菌的生长,控制其对食品的污染,对保障食品质量安全具有至关重要的现实意义^[21]。

由于李斯特菌在冷藏温度下仍可以生长繁殖,这是目前冷鲜肉加工储藏中的难点问题,因此,亟需寻求控制冷鲜肉中李斯特菌生长的有效方法。细菌素是一类由细菌产生的具有抑菌活性的蛋白质或者多肽,其对目标细菌的生长抑制作用具有浓度低、效率高的特点^[22-25],且在人体内可被降解,具有无毒、无残留、高效、耐酸、耐高温、无抗药性等特点^[26-27]。在对化学防腐剂的安全隐患越来越重视的今天,食品级微生物来源的细菌素作为生物防腐剂的应用符合消费者对于安全、健康和天然的要求^[28]。乳酸菌细菌素具有安全、高效且无毒副作用和无抗药性等诸多优点^[29],受到从事食品防腐剂^[30]、饲料添加剂以及医药开发等相关科研人员的极大关注,是目前国内外的重要研究热点之一^[31-35]。Nisin 是首个商业应用的乳酸菌细菌素,具有广谱抑菌性,但在食品工业应用中专一性抑菌细菌素的研究开发鲜有报道。课题组^[36-37]前期从西班牙干酪中分离出一株耐久肠球菌,研究发现其可产生一种新型细菌素 Durancin GL,具有靶向抑制李斯特菌生长的特性。将该细菌素应用于食品保鲜时有望避免广谱杀菌细菌素 Nisin 对食品中有益菌的抑制,在不影响食品正常菌群的前提下达到对病原李斯特菌的专一性抑制。

本研究以乳酸菌细菌素 Durancin GL 处理冷鲜鸡肉进行储藏试验,从感官评定、品质分析以及有害微生物抑制情况考察该细菌素作为冷鲜鸡肉防腐保鲜效果,为开发新型天然安全高效食品防腐保鲜剂提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

E.coli Rosetta (DE3) (表达菌株):内含本实验室构建的 pGEX/his-durAB 质粒,用于表达细菌素 Durancin GL;

单增李斯特菌 (*L. monocytogenes* Scott A):江苏省

疾病预防控制中心提供,本实验室保藏;

冷鲜鸡肉:购自南京市苏果超市;

BHI 培养基、LB 肉汤培养基:北京路桥技术股份有限公司;

氨苄青霉素:美国 Ameresco 公司;

IPTG(异丙基硫代半乳糖苷):BBI 生命科学公司;

宽范围彩色预染蛋白质 Marker:天根生化科技有限公司;

HisTrap HP、GSTrap 4B 亲和色谱柱:美国 GE 公司;

肠激酶:≥ 5.0 U/μL,上海生物工程科技有限公司;

其他试剂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电泳仪:DYY-6C 型,北京六一仪器厂;

全自动凝胶成像分析仪:GelDoc XR+ 型,美国 Bio-Rad Laboratories 公司;

纯水机:Milli-Q 型,美国密理博公司;

落地式高速冷冻离心机:J-26XP 型,美国 Beckman Coulter 公司;

紫外可见分光光度计:U-3900 型,日本 Hitachi 公司;

恒温振荡器:THZ-D 型,江苏太仓市强乐实验设备有限公司;

生物安全柜:1300-A2 型,美国赛默飞世尔科技有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,上海精密科学仪器有限公司;

酶标仪:SpectraMax M2e 型,美国 Molecular Devices 公司;

蛋白纯化系统:AKTA 型,美国 GE 公司。

1.2 方法

1.2.1 Durancin GL 的制备 参照文献^[38]制备细菌素。按照文献^[39]的方法测定制备的细菌素效价,并配置 0 (不含细菌素,用作对照),50,100,200,400 AU/mL 的保鲜液备用。

1.2.2 单增李斯特菌菌悬液制备 参考文献^[40]方法,培养并制备 1.02×10^3 CFU/mL 单增李斯特菌菌悬液备用。

1.2.3 冷鲜鸡肉处理及储藏试验 将冷鲜鸡肉分割为块状,每块 40 g 左右。置于超净工作台紫外灯下灭菌处理 1 h 后浸润于 1.2.2 中配置的单增李斯特菌菌悬液中保持 1 min,取出晾干 2 h 后,再浸润于 1.2.1 中制备的 Durancin GL 保鲜液中保持 1 min,取出沥干后装入无菌密封袋中。以上操作均在生物安全柜中进行。试验设置两组对照:① 未侵染单增李斯特菌组;② 侵染单增李斯

特菌 + 0 AU/mL 保鲜液处理组。将上述装入无菌密封袋中样品全部转移至 4 ℃ 培养箱进行储藏试验,每隔一段时间取样检测,直至样品判定为变质肉,终止试验。

1.2.4 感官评定 参照文献[41]。

1.2.5 pH 测定 称取 2 g 样品置于准备好的研钵中,加入 18 mL 去离子水,进行充分研磨后,用 pH 计测量浆液的 pH 值。

1.2.6 挥发性盐基氮测定 按 GB/T 5009.44—2016 中半微量定氮法执行。

1.2.7 单增李斯特菌生长曲线 取 1.2.3 中储藏试验的样品,加入 5 mL 灭菌生理盐水洗涤样品,制备单增李斯特菌悬液,按照通用平板计数法对冷鲜鸡肉储藏期单增李斯特菌进行计数,绘制单增李斯特菌生长曲线。

1.2.8 数据处理 本研究试验均设置 3 平行,试验数据结果用平均值±标准差表示。采用 IBM SPSS v19.0 数据统计分析软件对试验数据进行处理。

2 结果与讨论

2.1 Durancin GL 的制备

本实验室基于大肠杆菌表达载体 pGEX-6p-1,成功构建出融合 GST 和 His 的双标签融合 Durancin GL 表达载体 pGEX/his-durAB,将构建好的表达载体转化进大肠杆菌表达菌株 Rosetta(DE3)进行 IPTG 诱导表达。对表达菌体进行超声破碎处理后,利用 HisTrap HP、GSTrap 4B 亲和和色谱柱对表达蛋白进行分离纯化,用肠激酶酶切处理后得到游离的 Durancin GL。利用双标签纯化确保获得高纯度细菌素。试验结果如图 1 所示,制备的细菌素 HPLC、MS 以及 SDS-PAGE 检测结果均表明获得了高纯度细菌素 Durancin GL。图 1(d)显示,制备的细菌素 Durancin GL 对指示菌单增李斯特菌和无害李斯特菌均有显著的抑菌效果,形成的抑菌圈清晰可见。制备的细菌素 Durancin GL 检测结果与 Ju 等^[38]报道一致。

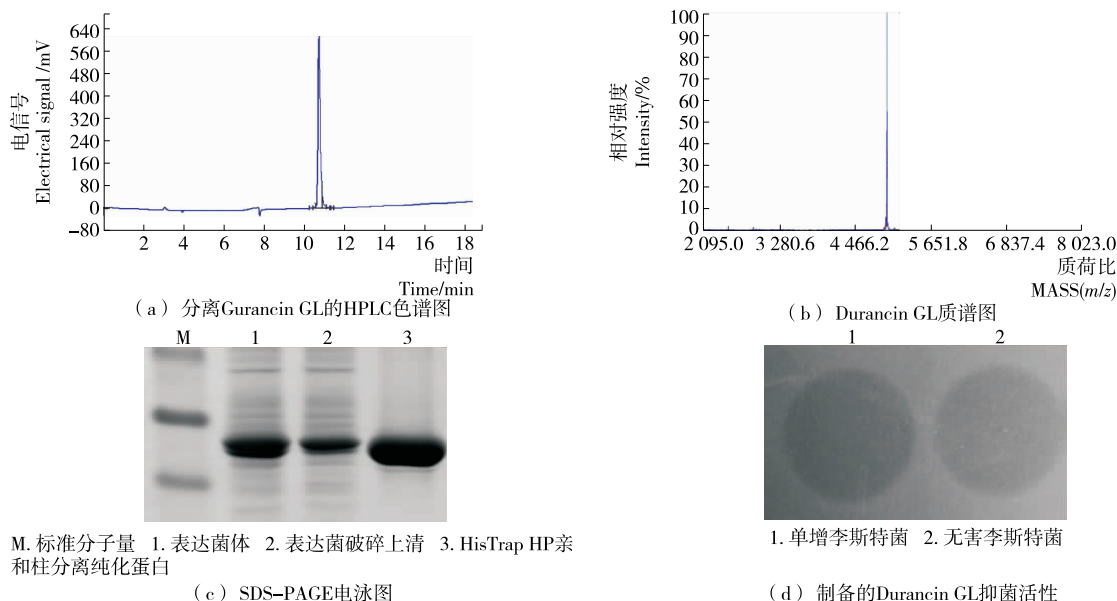


图 1 细菌素 Durancin GL 分离纯化以及抑菌活性

Figure 1 Isolation, purification and antimicrobial activity of bacteriocin Durancin GL

2.2 冷鲜鸡肉储藏试验

2.2.1 感官评定 鸡肉属于典型的白肉,与红肉(如猪肉、牛肉等)相比,其蛋白质含量更高,而且鸡肉的肌纤维相对更加纤细,有利于微生物生长繁殖^[42-44]。如图 2 所示,随着储藏时间的增加,冷鲜鸡肉各感官指标均呈下降趋势。储藏至 16 d [图 2(d)]时,细菌素含量 200 AU/mL 和 400 AU/mL 保鲜液处理组,冷鲜鸡肉仍具有较高评分,可见细菌素含量 200 AU/mL 和 400 AU/mL 保鲜液处理组可以显著地延缓冷鲜鸡肉的品质劣变,而储藏 8 d [见图 2(c)]时,细菌素含量低于 100 AU/mL 保鲜液处理组,冷鲜鸡肉已经劣变严重,说明低浓度细菌素保鲜液对

冷鲜鸡肉的品质劣变延缓作用有限。

2.2.2 pH 图 3 为冷鲜鸡肉储藏期内 pH 变化规律,冷鲜鸡肉初始 pH 值为 6.12,样品较为新鲜。在 16 d 的储藏期内,各处理组样品 pH 均呈现先下降然后持续上升的规律性,原因是生鸡屠宰后,其体内肌糖原会经无氧酵解形成酸性物质——乳酸,引起鸡肉 pH 下降,随后,在微生物以及内源酶的分解作用下,蛋白质分解出碱性物质,如胺类等,为此,鸡肉 pH 呈现出上升趋势。高浓度细菌素保鲜液处理组,pH 上升较慢,单增李斯特菌生长繁殖受细菌素抑制对肉中蛋白质、脂肪等分解作用相对减弱。

2.2.3 挥发性盐基氮(TVB-N)含量 图 4 为冷鲜鸡肉储

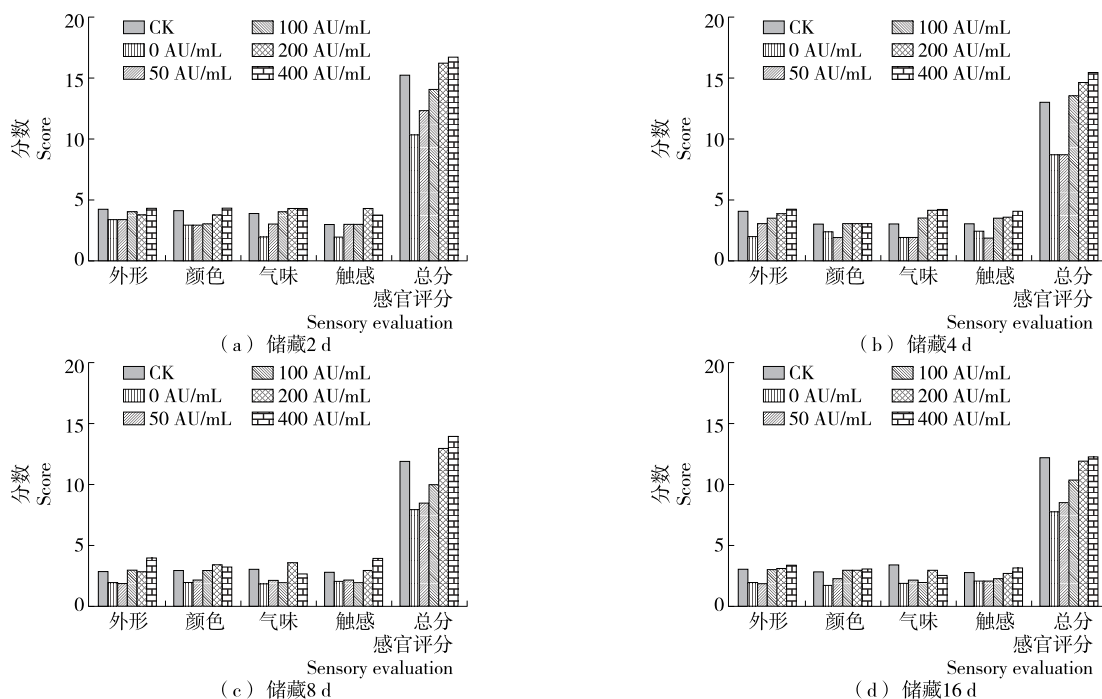


图2 冷鲜鸡肉储藏期内感官评定

Figure 2 Sensory evaluation of chilled chicken during storage

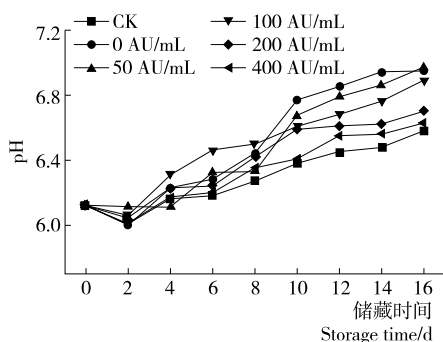


图3 冷鲜鸡肉储藏期内 pH 变化规律

Figure 3 Changes of pH in chilled chicken during storage

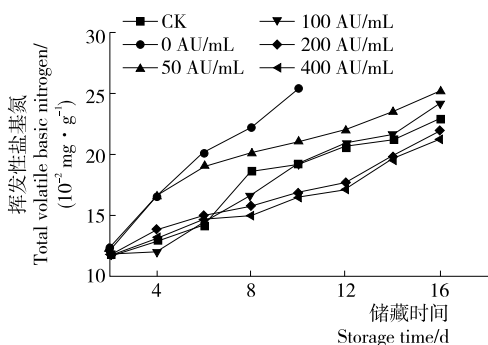


图4 冷鲜鸡肉储藏期内 TVB-N 含量

Figure 4 Content of TVB-N in chilled chicken during Storage

藏期内 TVB-N 含量变化规律,在储藏 6 d 时,0 AU/mL 和 50 AU/mL 细菌素保鲜液处理组样品 TVB-N 含量已超过 GB 16869—2005 规定(低于 15 mg/100 g)。《中华人民共和国卫生部食品检查方法理化部分》的划分标准将肉分为 3 个等级,即:一级鲜肉(TVB-N 含量 $\leq 15 \text{ mg/100 g}$),二级鲜肉($15 \text{ mg/100 g} < \text{TVB-N 含量} \leq 20 \text{ mg/100 g}$)和变质肉(TVB-N 含量 $> 20 \text{ mg/100 g}$)。储藏至 12 d 时,细菌素浓度超过 100 AU/mL 的处理组样品仍属于二级鲜肉,可见细菌素 Durancin GL 对单增李斯特菌抑制,一方面减少了该食源性病原菌的增长,另一方面也间接减缓冷鲜鸡肉的变质进程。细菌素 200 AU/mL 和 400 AU/mL 保鲜液处理组的冷鲜鸡肉储藏 2 周时,仍可保持二级鲜肉的品质。0 AU/mL 保鲜液处理组样品在储藏至第 10 天时,TVB-N 含量已经超过 25 mg/100 g,属于变质肉,失去继续储藏价值。

2.2.4 单增李斯特菌生长曲线 按照菌落总数对肉品新鲜度进行分类的标准,可分为一级鲜肉(菌落总数不超过 10^6 CFU/g),二级鲜肉(菌落总数介于 $10^6 \sim 10^8 \text{ CFU/g}$)和腐败肉(菌落总数超过 10^8 CFU/g)^[6]。一般来说,将菌落总数 10^6 CFU/g 作为区分肉品新鲜与否的分界线^[45]。图 5 为根据单增李斯特菌计数绘制的冷鲜鸡肉储藏期内单增李斯特菌的生长曲线,试验结果显示:冷鲜鸡肉样品储藏 10 d 时,0 AU/mL 和 50 AU/mL 保鲜液处理组中单增李斯特菌计数已经达到 10^6 CFU/mL ,可见,即使低温条件下,单增李斯特菌的生长繁殖依然发生,少量的细

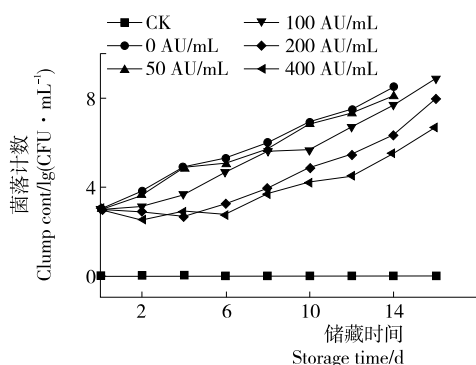


图 5 冷鲜鸡肉储藏期单增李斯特菌生长曲线

 Figure 5 Growth curve of *L. monocytogenes* in chilled chicken during Storage

菌素不足以抑制其对肉品的破坏。

3 结论

本研究采用对李斯特菌具有专一抑制作用的乳酸菌细菌素 Durancin GL 处理冷鲜鸡肉进行储藏试验,评估该乳酸菌细菌素对冷鲜鸡肉中单增李斯特菌的抑制效果。研究发现,Durancin GL 可有效控制冷鲜鸡肉中单增李斯特菌菌落总数和 TVB-N 含量,有效延长冷鲜鸡肉储藏期。综合试验结果和成本控制,200 AU/mL 的细菌素保鲜液可应用于冷鲜肉加工储藏,有望解决目前冷鲜肉加工储藏中李斯特菌难以控制的问题,但是乳酸菌细菌素 Durancin GL 在肉品保藏中的抑菌机理以及在食品工业中的应用仍需深入研究与探索。

参考文献

- [1] 国家统计局. 2014 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2015-02-26) [2019-03-02]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201502/t20150226_685799.html.
- [2] 国家统计局. 2015 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2016-02-29) [2019-03-02]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201602/t20160229_1323991.html.
- [3] 国家统计局. 中华人民共和国 2016 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2017-02-28) [2019-03-02]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201702/t20170228_1467424.html.
- [4] 国家统计局. 中华人民共和国 2017 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2018-02-28) [2019-03-02]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201802/t20180228_1585631.html.
- [5] 国家统计局. 2018 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2019-02-28) [2019-03-02]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.htm.
- [6] 刘雪, 刘娇, 周鹏, 等. 冰鲜鸡肉品质及其货架期的研究进展与展望[J]. 现代食品科技, 2017, 33(3): 328-340.
- [7] 吉莉莉, 王卫, 贺婷, 等. 鸡肉产品生物保鲜技术研究及其

应用进展[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 192-195.

- [8] PERUMALLA A V S, HETTIARACHCHY N S. Green tea and grape seed extracts-Potential applications in food safety and quality[J]. Food Research International, 2011, 44(4): 827-839.
- [9] 赖宏刚, 蒋云升, 张元嵩, 等. 辐照处理对冷鲜鸡肉的品质影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 206-211.
- [10] BALI V, PANESAR P S, BERA M B, et al. Bacteriocins: Recent Trends and Potential Applications[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2016, 56(5): 817-834.
- [11] WORAPRAYOTE W, MALILA Y, SORAPUKDEE S, et al. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products[J]. Meat Science, 2016, 120: 118-132.
- [12] SIVARAJAN M, LALITHAPRIYA U, MARIAJENITA P, et al. Synergistic effect of spice extracts and modified atmospheric packaging towards non-thermal preservation of chicken meat under refrigerated storage [J]. Poult Sci, 2017, 96(8): 2 839-2 844.
- [13] FERROCINO I, GREPPI A, LA STORIA A, et al. Impact of Nisin-Activated Packaging on Microbiota of Beef Burgers during Storage[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2016, 82(2): 549-559.
- [14] VIJAYAKUMAR P P. Bacteriocins of lactic acid bacteria as potential biopreservatives for ready to eat meats[D]. Oklahoma: Oklahoma State University, 2014: 2-4.
- [15] TAKAHASHI H, TAKADA K, TSUCHIYA T, et al. *Listeria monocytogenes* develops no resistance to ferulic acid after exposure to low concentrations[J]. Food Control, 2015, 47: 560-563.
- [16] NIEMAN R E, LORBER B. Listeriosis in adults: a changing pattern; Report of eight cases and review of the literature, 1968-1978[J]. Reviews of Infectious Diseases, 1980, 2(2): 207-227.
- [17] FARBER J M, PETERKIN P I. *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen [J]. Microbiol Rev, 1991, 55(3): 476-511.
- [18] ALVAREZ ORDONEZ A, LEONG D, HICKEY B, et al. The challenge of challenge testing to monitor *Listeria monocytogenes* growth on ready-to-eat foods in Europe by following the European Commission (2014) Technical Guidance document [J]. Food Research International, 2015, 75: 233-243.
- [19] GANDHI M, CHIKINDAS ML. *Listeria*: A foodborne pathogen that knows how to survive [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 113(1): 1-15.
- [20] ALEJANDRO T-A, DUSSURGET O, NIKITAS G, et al. The *Listeria* transcriptional landscape from saprophytism to virulence[J]. Nature, 2009, 459(7 249): 950-956.
- [21] 罗佩文, 刘书亮, 朱永清, 等. 植物乳杆菌 SJ35 的抑菌特性

- 及复合保鲜剂配制[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 112-116, 201.
- [22] ZINEB Benmechernene, INMACULADA Fernandez-No, MEBROUK Kihal, et al. Recent patents on bacteriocins: food and biomedical applications[J]. Recent Pat DNA Gene Seq, 2013, 7(1): 66-73.
- [23] HASSAN M, KJOS M, NES I F, et al. Natural antimicrobial peptides from bacteria: characteristics and potential applications to fight against antibiotic resistance[J]. Journal of Applied Microbiology, 2012, 113(4): 723-736.
- [24] MUNOZ M, JARAMILLO D, MELENDEZ A D P, et al. Native and heterologous production of bacteriocins from gram-positive microorganisms[J]. Recent Patents on Biotechnology, 2011, 5(3): 199-211.
- [25] MARQUES J D L, FUNCK G D, DANNENBERG G D S, et al. Bacteriocin-like substances of *Lactobacillus curvatus* P99: characterization and application in biodegradable films for control of *Listeria monocytogenes* in cheese[J]. Food Microbiology, 2017, 63: 159-163.
- [26] ZOU Jiong, JIANG Han, CHENG Hui, et al. Strategies for screening, purification and characterization of bacteriocins[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 117: 781-789.
- [27] BAINDARA P, KORPOLE S, GROVER V. Bacteriocins: perspective for the development of novel anticancer drugs[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102(24): 10 393-10 408.
- [28] 张梅梅, 索化夷, 赵欣, 等. 传统发酵牦牛酸乳中细菌素产生菌的筛选与鉴定[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 21-26.
- [29] GHARSALLAOUI A, OULAHAL N, JOLY C, et al. Nisin as a Food Preservative: Part 1: Physicochemical Properties Antimicrobial Activity, and Main Uses[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2016, 56(8): 1 262-1 274.
- [30] TIRLONI E, STELLA S, BERNARDI C, et al. Predicting growth of *Listeria monocytogenes* in fresh ricotta[J]. Food Microbiology, 2019, 78: 123-133.
- [31] 尹乐斌, 张臣飞, 孙菁, 等. 一株产细菌素乳酸菌的分离、鉴定及生物学特性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 12-15, 64.
- [32] 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, 62.
- [33] BEN BRAIEK O, SMAOUI S, ENNOURI K, et al. Genetic Analysis with Randomly Amplified Polymorphic DNA of the Multiple Enterocin-Producing *Enterococcus lactis* 4CP3 Strain and Its Efficient Role in the Growth of *Listeria monocytogenes* in Raw Beef Meat[J]. Biomed Research International, 2018, DOI: 10.1155/2018/5827986.
- [34] SMAOUI S, ENNOURI K, CHAKCHOUK-MTIBAA A, et al. Relationships Between Textural Modifications, Lipid and Protein Oxidation and Sensory Attributes of Refrigerated Turkey Meat Sausage Treated with Bacteriocin BacTN635[J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(9): 1 655-1 667.
- [35] JUTURU V, WU J C. Microbial production of bacteriocins: Latest research development and applications[J]. Biotechnology Advances, 2018, 36(8): 2 187-2 200.
- [36] DU Li-hui, SOMKUTI GA, RENYE JA. Molecular analysis of the bacteriocin-encoding plasmid pDGL1 from *Enterococcus durans* and genetic characterization of the durancin GL locus[J]. Microbiology-Sgm, 2012, 158: 1 523-1 532.
- [37] DU L, SOMKUTI G A, RENYE JR J A, et al. Properties of durancin GL, a new antilisterial bacteriocin produced by *enterococcus durans* 41d[J]. Journal of Food Safety, 2012, 32(1): 74-83.
- [38] JU Xing-rong, CHEN Xin-quan, DU Li-hui, et al. Alanine-scanning mutational analysis of durancin GL reveals residues important for its antimicrobial activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(28): 6 402-6 409.
- [39] 都立辉, 施荣华, 张虹, 等. 肠球菌素的分离提取及其在牛乳杀菌中的应用[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 1-4.
- [40] WU Xue-you, JU Xing-rong, DU Li-hui, et al. Production of Bacterial Ghosts from Gram-Positive Pathogen *Listeria monocytogenes* [J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2016, 14(1): 1-7.
- [41] 贲浩. 复合生物保鲜剂及其使用方式对冷鲜鸡肉保鲜效果的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016: 20-21.
- [42] AZIZ M, KARBOUNE S. Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: A review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(3): 486-511.
- [43] 周乐丹, 艾民珉, 凌子庭, 等. 4℃贮藏下粤式盐焗鸡品质变化及保质期研究 [J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 115-120.
- [44] 谢安国, 康怀彬, 王飞翔, 等. 高光谱成像检测煎制中调理牛肉品质的变化 [J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 20-23, 54.
- [45] 韩雪, 牛苑文, 栗俊广, 等. 响应面法优化冰温鸡肉复合保鲜剂研究[J]. 肉类工业, 2016(6): 39-42.