

石莼多酚对冷藏猪肉丸的保鲜效果

陈雨晴, 吕峰, 俞灿杰

(福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350000)

摘要: 以猪肉丸为研究对象, 以不同使用量的石莼多酚 (1.0、1.5、2.0 g/kg 样品) 为抗氧化、抑菌保鲜剂, 观察、测定猪肉丸在冷藏过程中微生物指标、理化指标及感官物理指标的变化趋势, 探究石莼多酚对猪肉丸冷藏保鲜效果的影响。结果表明, 石莼多酚对冷藏猪肉丸的抗氧化、抑菌保鲜作用显著。在试验周期内, 石莼多酚可有效抑制猪肉丸菌落总数、霉菌与酵母菌、大肠菌群、TVB-N 值、TBARS 值的增长, 较好地维持样品的硬度、弹性、白度与感官品质; 使用量为 1.0 g/kg (样品) 的石莼多酚试验组与 0.5 g/kg (样品) 山梨酸钾试验组的保鲜效果相当, 与空白组相比可延长猪肉丸冷藏保鲜期 3 d; 使用量为 1.5、2.0 g/kg (样品) 的石莼多酚试验组可使猪肉丸的冷藏保鲜期分别高达 9 d、12 d, 相比空白组依次延长了 6 d、9 d。综上, 石莼多酚可有效替代山梨酸钾保障冷藏猪肉丸的贮藏品质, 延长其保鲜期。

关键词: 猪肉丸; 石莼多酚; 抗氧化; 抑菌; 保鲜效果

文章编号: 1673-9078(2020)10-165-172

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.10.0368

Fresh-keeping Effect of the Polyphenols from *Ulva lactuca* on Pork Meatballs in Cold Storage

CHEN Yu-qing, LYU Feng, YU Can-jie

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350000, China)

Abstract: Taking pork balls as the research object, and different doses of polyphenols from *Ulva lactuca* (1.0, 1.5 and 2.0 g/kg sample) as the antioxidative and antibacterial preservative, the fresh-keeping effect of *Ulva lactuca*'s polyphenols on the pork meatballs in cold storage was examined, based on the changing trends of the microbiological indices, chemical indices and sensory and physical indicators. The results showed that the antioxidative, antibacterial and fresh-keeping effects of *Ulva lactuca*'s polyphenols on the pork meatballs in cold storage were significant. During the test period, the *Ulva lactuca*'s polyphenols could effectively inhibit the increases of total colony number, molds and yeasts, coliform group, TVB-N and TBARS values, while maintaining the hardness, elasticity, whiteness and sensory quality of the meatballs. The group treated with *U. lactuca*'s polyphenols at 1.0 g/kg exerted essentially the same fresh-keeping effect as that of the group treated with potassium sorbate at 0.5 g/kg, resulting in a prolonged shelf life (by 3 days) for the pork meatballs in cold storage, compared to the blank control. The treatments with *U. lactuca*'s polyphenols at 1.5 and 2.0 g/kg (sample) led to a shelf life up to 9 and 12 days, respectively, for the pork meatballs in cold storage (which were 6 and 9 days longer, respectively, compared with that of the blank control). In summary, *U. lactuca*'s polyphenols can be used in the place of potassium sorbate to preserve effectively the pork meatballs in cold storage, to ensure their storage quality and extend their shelf life.

Key words: pork meatballs; *U. lactuca* polyphenols; antioxidant; antibacterial; fresh-keeping effect

引文格式:

陈雨晴, 吕峰, 俞灿杰. 石莼多酚对冷藏猪肉丸的保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 165-172

CHEN Yu-qing, LYU Feng, YU Can-jie. Fresh-keeping effect of the polyphenols from *Ulva lactuca* on pork meatballs in cold storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 165-172

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2018J01695); 福建农林大学科技创新专项基金 (CXZX2017016); 福建农林大学高水平大学建设项目海洋生物资源综合加工及安全风险评估工程 (612014043)

作者简介: 陈雨晴 (1994-), 女, 硕士, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程

通讯作者: 吕峰 (1964-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 天然产物的综合利用、农产品加工及贮藏

漳浦猪肉丸历史悠久,是福建漳州名小吃之一。但猪肉丸富含蛋白质与脂肪,在加工、贮藏、流通过程中极易发生腐败变质与氧化,导致颜色、质地、风味等发生变化,甚至诱发食源性疾病,给消费者和企业造成巨大损失^[1]。因此,漳浦猪肉丸始终无法走出当地,远销省内及全国各地。针对上述问题,现代肉制品加工常采用添加抗氧化剂、防腐剂等保鲜剂来减缓其腐败变质,延长保鲜期。天然生物保鲜剂可根据来源分为植物源物质、动物源物质、微生物及其代谢产物,这些物质因天然无毒、高效安全、资源广泛,受到愈来愈多研究者的高度关注,并相继被研究、开发^[2]。

目前,酚类物质作为植物源性保鲜剂,已被开发、应用于肉制品抗氧化、抑菌保鲜领域。植物酚类物质具有活跃的化学反应活性,既能与多糖、蛋白质等相互作用,又能与金属结合,呈现出良好的抑菌、抗氧化活性^[3]。Li 等^[4]研究结果指出紫菜多酚能显著降低太平洋白虾的菌落总数,延缓 TVB-N 值和 TBARS 值的上升,抑制多酚氧化酶的活性,有效延长太平洋白虾的保鲜期。杨新磊等^[5]研究表明茶多酚能有效抑制冷却猪肉微生物的增长、蛋白质和脂质的氧化,其中以质量分数为 1.75% 茶多酚的保鲜效果与经济性最优,能将冷却猪肉的保鲜期延长 10 d 左右。

石莼(*Ulva lactuca*)别名海白菜、海莴苣等,主要分布于黄海西区、东海西区、南海北区和南海南区,是我国资源极为丰富的野生绿藻。据报道,石莼有机相提取物具有高效的抗氧化能力与广谱的抑菌性能,而儿茶酚、表儿茶素等多种酚类物质被认为是其抗氧化、抑菌的主要活性成分^[6]。基于此,本研究以漳浦猪肉丸为研究对象,以石莼多酚为抗氧化抑菌保鲜剂,观察、测定漳浦猪肉丸在冷藏过程中微生物指标(菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠菌群、金黄色葡萄球菌)、理化指标(TVB-N 值、TBARS 值)及物理感官指标(硬度、弹性、白度、感官可接受性评价)的变化趋势,探讨石莼多酚对冷藏猪肉丸抗氧化、抑菌保鲜效果的影响,以期对石莼多酚在肉制品的防腐保鲜应用领域提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

石莼粉(80 目),购于福建海兴保健食品有限公司;猪肉丸,购于福建碗里有味食品有限公司;山梨酸钾(食品级),购于河南恩苗食品有限公司;平板计数琼脂(Plate Count Agar, PCA)、孟加拉红培养基

(Rose Bengal Medium, RBM)、月桂基硫酸盐胰蛋白胨(Lauryl Sulfate Tryptose, LST)肉汤、煌绿乳糖胆盐(Brilliant Green Lactose Bile, BGLB)肉汤、Baird-Parker(B-P)琼脂,购于杭州微生物试剂有限公司;亚碲酸盐卵黄增菌液、冻干兔血浆,购于青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;氧化镁(轻质)、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、盐酸、乙醇、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸、1,1,3,3-四乙氧基丙烷、乙二胺四乙酸二钠、氢氧化钠、氯化钠(均为分析纯),国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要设备

LDZX-50KBS 立式压力蒸汽灭菌锅,上海博讯医疗生物仪器有限公司;SW-CJ-2FD 超净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;GSP-9160MBE 恒温培养箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;MIKRO 220R 立式高速冷冻离心机,德国 Hettich 公司;SepetraMax i3X 酶标仪,美谷分子仪器有限公司;ADCI 全自动色差计,北京辰泰仪器技术有限公司;SMSTA TA.XT Plus 质构仪,英国 Stable Micro Systems 有限公司;K9840 自动凯氏定氮仪,海能仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 石莼多酚样品的制备

参照文献^[7]的制备方法,以石莼多酚为目标产物,采用超声辅助乙醇溶液提取、制备石莼乙醇浸提液,经离心、浓缩、醇沉、冷冻干燥即得石莼乙醇粗提物;通过锌离子螯合、乙二胺四乙酸解离,进一步分离纯化粗提物中的多酚,将解离液浓缩、冷冻干燥即得石莼多酚样品。采用福林酚法^[8]测定多酚含量,以没食子酸当量(Gallic Acid Equivalent, GAE)计,所得样品中的多酚含量为 251.8 mg·GAE/g 样品干重。将石莼多酚用无菌去离子水配制成一定质量浓度的样液,经 0.22 μm 滤菌器过滤除菌后备用。

1.3.2 处理方法

在超净工作台中将新鲜猪肉丸随机分为 5 组,空白组 CK₁: 不添加任何防腐剂;阳性对照组 CK₂: 山梨酸钾 0.5 g/kg 样品;试验组分 U₁~U₃ 3 组,对应样品的石莼多酚使用量分别依次为 1.0 g/kg 样品、1.5 g/kg 样品、2.0 g/kg 样品(石莼多酚的使用量参考许一琳等^[9]葡萄籽提取物的添加范围: 0~4 g/kg 鱼糜)。用无菌去离子水将上述石莼多酚与山梨酸钾制成等体积的保鲜液,并以 0.22 μm 滤膜过滤除菌;将保鲜液分别均匀且全部地裹于猪肉丸表面,用无菌保鲜袋包装后置于 4 °C 冰箱冷藏。以处理当天为计时起点第 0

d, 分别在第 0、3、6、9、12 和 15 d 定期测定猪肉丸的各项指标。

1.3.3 猪肉丸微生物指标测定

按照 GB 4789 中规定的方法分别对菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠菌群、金黄色葡萄球菌进行检测。

1.3.4 猪肉丸理化指标测定

按照 GB 5009 中规定的方法分别对挥发性盐基氮含量 (TVB-N) 和硫代巴比妥酸值 (TBARS) 进行检测。

1.3.5 猪肉丸物理感官指标测定

1.3.5.1 质构剖面分析

参照 Chen 等^[10]的实验方法稍作修改, 将猪肉丸切

成高为 1 cm 的立方体, 选用质构仪的 TPA 模型测定其硬度与弹性。测定参数为测前速率 2 mm/s; 测试速率 3 mm/s; 测后速率 1 mm/s; 压缩程度 50%; 间隔时间 5 s; 触发类型自动; 触发力 5 g。每组样品平行重复测定 3 次。

1.3.5.2 白度测定

参照 Moroney 等^[11]的实验方法, 使用色差计测量猪肉丸内表面的 L^* (亮度值)、 a^* (红绿值) 和 b^* (黄蓝值), 每个样品重复 3 次平行。白度计算公式如下:

$$\text{白度}/\% = 100 - \left[(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2} \right]^{1/2}$$

1.3.5.3 感官可接受性评价

表 1 冷藏猪肉丸感官评定分值表

Table 1 The sensory evaluation standards for the pork meatballs

色泽	气味	组织状态	总体可接受性	评分
色泽均匀, 呈乳白色	肉香明显, 清香柔和	表面光滑, 切面紧致, 富有弹性, 无汁液流失	可接受性高	8~10
色泽稍有不均, 颜色变暗	香味不明显, 无异味	表面、切面粗糙, 略微松软, 少量汁液流失	可接受性中等	5~7
色泽不均匀, 整体暗黄	有酸败味	表面发黏, 结构松散, 无弹性, 汁液流失严重	不可接受	1~4

感官评价方法参照 GB/T12315-2008 (感官分析方法学排序法) 进行, 选择具有 5 年以上专业经验的人员 5 名 (2 名男性和 3 名女性) 组成感官评定小组, 参照表 1 对冷藏保鲜猪肉丸的色泽、气味、组织状态和总体可接受性 4 项指标进行综合评分, 计算均值。每项指标分 3 个等级, 4 分以下则表示猪肉丸已经腐败变质, 感官上不可接受。

1.4 统计分析

采用 Origin Lab 2017 软件对试验数据进行作图分析; 采用 DPS 15.10 软件对试验数据进行方差分析, 各数据间的多重比较使用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 冷藏保鲜猪肉丸的微生物指标分析

2.1.1 菌落总数的变化趋势

微生物污染是食品腐败变质的主要因素, 而菌落总数是评判微生物污染程度的重要指标。参照 GB 2726-2016《熟肉制品》相关规定, 肉制品的菌落总数不应超过 $5.00 \lg \cdot \text{cfu/g}$ 。如图 1 所示, 随着冷藏时间的延长, 各组样品的菌落总数均呈显著 ($p < 0.05$) 上升趋势。其中空白组 CK_1 的菌落总数增速最快, 显著 ($p < 0.05$) 高于其他样品组, 第 3 d 时菌落总数为 $4.52 \lg \cdot \text{cfu/g}$, 已接近猪肉丸的鲜度标准限值, 在第 6 d 时已高达 $5.77 \lg \cdot \text{cfu/g}$, 表明 CK_1 组样品的冷藏保鲜期为 3 d 左右。而 CK_2 、 U_1 、 U_2 、 U_3 组样品的菌落总数

分别对应在第 6、6、9、12 d 时接近 $5.00 \lg \cdot \text{cfu/g}$, 依次为 4.42 、 4.08 、 4.54 、 $4.47 \lg \cdot \text{cfu/g}$, 即与 CK_1 相比, 各组样品的冷藏保鲜期分别依次延长了 3、3、6、9 d。上述结果表明, 使用量为 1.0 g/kg (样品) 的石莼多酚试验组与 0.5 g/kg (样品) 山梨酸钾的保鲜效果相当, 且石莼多酚的使用量与抑制微生物繁殖呈明显的量效关系。有报道指出, 植物酚类物质具有广谱的抑菌性能, 对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等细菌与链格孢菌、青霉菌等真菌具有良好的抑制作用^[12]。Fahad 等^[13]研究结果表明银杏多酚可有效抑制肉制品微生物的繁殖, 减缓其腐败变质的速度, 延长冷藏保鲜期, 本实验结果与此结论一致。

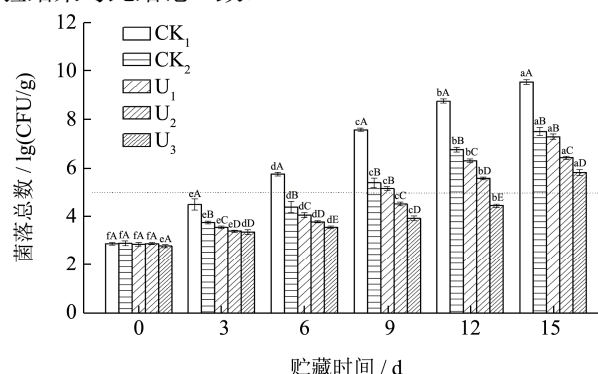


图 1 石莼多酚对冷藏猪肉丸菌落总数的影响

Fig.1 Effects of the *U. lactuca* polyphenols on total bacterial count of the pork meatballs (n=3)

注: 图中不同小写字母表示组内显著差异 ($p < 0.05$); 不同大写字母表示组间显著差异 ($p < 0.05$), 下同。

2.1.2 霉菌和酵母菌的变化趋势

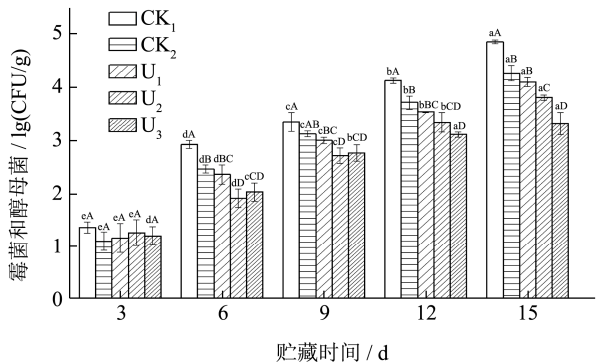


图 2 石莼多酚对冷藏猪肉丸霉菌和酵母菌的影响

Fig.2 Effects of the *U. lactuca* polyphenols on molds and yeasts count of the pork meatballs (n=3)

据报道，酵母菌与霉菌在冷藏条件下生长缓慢，通常不是引起冷藏肉制品腐败变质的主要原因，所以目前尚未有肉制品食品安全标准的相关参考依据；但若贮藏温度过高，则会造成霉菌和酵母菌过度增殖，使肉制品表面产生大量黏液，生成灰色至黑色的绒毛

状或絮状菌丝^[14]。为了系统性的进行探究，本研究特别对猪肉丸在冷藏过程中霉菌和酵母菌的变化情况进行了试验，结果如图 2 所示。各组样品的初始霉菌和酵母菌的检出量较小，均小于 1.00 lg·cfu/g，但随冷藏时间的延长，呈不同程度的上升趋势；到第 15 d 时，CK₁、CK₂、U₁、U₂、U₃ 组样品霉菌和酵母菌总数的检出量分别为 4.86、4.28、4.10、3.81、3.12 lg·cfu/g。其中，空白组 CK₁ 样品的霉菌和酵母菌总数增速最快，均显著 ($p<0.05$) 高于其他各组；U₁ 组样品的霉菌和酵母菌总数的检出量低于 CK₂ 组，但二者并无显著性差异 ($p>0.05$)；U₂ 与 U₃ 组样品的检出情况基本相当（除第 15 d 外），且始终显著 ($p<0.05$) 低于 U₁ 组的，揭示石莼多酚可有效抑制霉菌与酵母菌的增长，这与 Dimitrios 等^[15]的研究结果类似。需要说明的是，在试验周期内各组样品的酵母菌检出量远远高于霉菌，提示酵母菌是猪肉丸在冷藏过程中生长繁殖的优势菌之一。

2.1.3 大肠菌群与金黄色葡萄球菌的变化趋势

表 2 石莼多酚对冷藏猪肉丸大肠菌群与金黄色葡萄球菌的影响

Table 2 Effects of the *U.lactuca* polyphenols on *Coliforms* and *Staphylococcus aureus* of the pork meatballs (n=3)

指标	样品组	贮藏时间/d					
		0	3	6	9	12	15
大肠菌群 MPN/g	CK ₁	<3	<3	<3	3	7.4	28
	CK ₂	<3	<3	<3	<3	3.6	9.2
	U ₁	<3	<3	<3	<3	<3	3
	U ₂	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	U ₃	<3	<3	<3	<3	<3	<3
金黄色葡萄球菌	CK ₁	-	-	-	-	-	-
	CK ₂	-	-	-	-	-	-
	U ₁	-	-	-	-	-	-
	U ₂	-	-	-	-	-	-
	U ₃	-	-	-	-	-	-

注：-表示无检出。

参照 NY/T 843-2015《绿色食品 畜禽肉制品》相关规定，肉制品的大肠菌群最高安全限量值为 3 MPN/g，金黄色葡萄球菌不得检出。如表 2 所示，CK₁、CK₂ 组猪肉丸的大肠菌群 MPN 值在各自的冷藏保鲜期（分别为 3 d 和 6 d）内均小于 3 MPN/g，到第 12 d 时才超过安全限量值；而使用量不同的石莼多酚试验组在整个试验周期内均符合标准限值，揭示石莼多酚可有效抑制猪肉丸中大肠菌群的生长繁殖。此外，在整个试验周期内，各个样品组均无金黄色葡萄球菌检出，表明试验猪肉丸均符合致病菌卫生标准，产品质量较为安全。

2.2 冷藏保鲜猪肉丸的理化指标分析

2.2.1 TVB-N 值的变化趋势

在酶和微生物的作用下，肉制品中的蛋白质会分解产生氨和胺类等碱性含氮物质，通过测定冷藏过程中的挥发性盐基氮含量（TVB-N 值），可表征肉制品蛋白质的分解程度与鲜度的变化^[16]。参照 Q/SCN 0001S-2019《速冻调理肉制品》相关规定，肉制品 TVB-N 值的鲜度限量为 15.00 mg/100 g。由图 3 可知，在贮藏期间各组冷藏猪肉丸的 TVB-N 值均呈上升趋势，且空白组 CK₁ 的增长速率显著 ($p<0.05$) 高于其

他各组,表明各组样品在冷藏期间均发生一定程度的蛋白质分解。其中,CK₁、CK₂、U₁、U₂、U₃组样品在各自的冷藏保鲜期(分别对应为3、6、6、9、12 d)内均符合鲜度标准,且分别对应在第6、9、12、15、15 d时超过限量值,依次为17.01、15.97、16.17、18.90、16.60 mg/100 g。结果显示CK₁组样品的微生物增长速度较快,促使蛋白质分解产生大量含氮物质,导致TVB-N值显著($p<0.05$)增高,而石莼多酚的添加则在一定程度上抑制了微生物的繁殖与蛋白质的分解,延缓了TVB-N值的增加,这与2.1.1中菌落总数的变化趋势大致吻合。李颖畅等^[17]研究表明,蓝莓叶多酚可有效抑制鱼丸TVB-N值的上升,延缓肉制品的氧化劣变。可见,酚类物质的加入,可降低肉制品的腐败变质的速率。

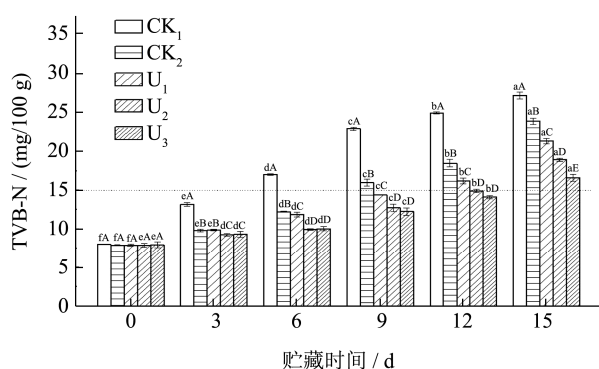


图3 石莼多酚对冷藏猪肉丸TVB-N的影响

Fig.3 Effects of the *U. lactuca* polyphenols on TVB-N of the pork meatballs (n=3)

2.2.2 TBARS 值的变化趋势

肉制品中含有丰富的脂肪,极易发生自由基链式反应(脂肪自动氧化),导致肉制品产生不良气味甚至有害的过氧化脂质,是引起肉制品品质劣变的主要因素之一^[18]。硫代巴比妥酸值(TBARS)是通过测定脂肪氧化后期终产物(丙二醛,MDA)的含量来反映肉制品酸败程度的重要指标,已广泛应用于肉制品脂肪氧化程度的测定。参考Q/SCN 0001S-2019《速冻调理肉制品》相关规定,肉制品MDA最高限量值为2.50 mg/kg。如图4所示,各组冷藏猪肉丸在试验期间的TBARS值均未超过此限量值;特别是经不同保鲜剂处理的各组样品TBARS值的增长速率显著($p<0.05$)低于空白组CK₁的,表明空白组样品的脂肪氧化程度显著($p<0.05$)高于其他各组。在整个试验周期内,CK₂与U₁组样品的TBARS值无显著性差异($p>0.05$);冷藏到第15 d时,U₁、U₂、U₃组样品的TBARS值分别为0.95、0.86、0.77 mg·MDA/kg,相比CK₁(1.25 mg·MDA/kg)分别依次减少了0.30、0.39、0.48 mg·MDA/kg,表明石莼多酚具有优异的抑制冷藏猪肉

丸脂肪氧化的性能,并呈明显的量效关系;而高波^[19]的研究结果表明石莼多酚具有高效的自由基清除能力,为石莼多酚可阻断肉制品脂肪自动氧化的途径提供了理论依据,揭示其具有开发为天然食品抗氧化剂的潜质。

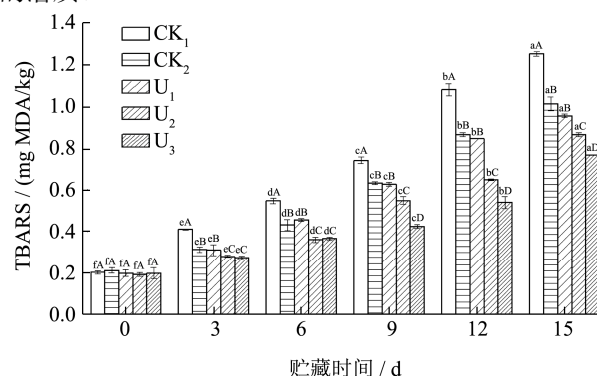


图4 石莼多酚对冷藏猪肉丸TBARS的影响

Fig.4 Effects of the *U. lactuca* polyphenols on TBARS of the pork meatballs (n=3)

2.3 冷藏保鲜猪肉丸的物理感官指标分析

2.3.1 质构剖面分析

人们对食品的感官评定除以技术人员较为主观的评价方式外,还可通过质构分析仪等仪器更准确地检测、分析食品组织质地的变化。由表3可知,在试验冷藏周期内,CK₁组样品的弹性下降速度较快,显著($p<0.05$)低于其他组样品的;相比之下,CK₂、U₁组样品的弹性呈缓慢下降趋势,而U₂、U₃组样品的弹性均维持在较高水平,二者间无显著性差异($p>0.05$),冷藏到第15 d时,CK₁、CK₂、U₁、U₂、U₃组样品的弹性较其初始值分别依次下降了19.25%、8.92%、9.40%、3.19%、2.58%。类似的,各组样品的硬度亦均呈逐渐下降趋势,但添加石莼多酚试验组样品的硬度始终显著($p<0.05$)高于CK₁、CK₂两对照组;冷藏到第15 d时,CK₁、CK₂、U₁、U₂、U₃组样品的硬度较其初始值分别依次下降了41.87%、35.19%、27.10%、15.66%、17.62%。需要说明的是,在冷藏初期,石莼多酚试验组猪肉丸的硬度显著大于($p<0.05$)CK₁、CK₂组,可能是因为石莼多酚中的酚类物质可结合猪肉丸表面的蛋白质,促进凝胶内部结构的凝聚而增大硬度。这与Zhao等^[20]的研究结果类似。据报道,冷藏肉制品质构特性的变化是因为微生物大量繁殖,降解了肉糜制品中的肌球蛋白,使其持水能力下降,亦导致硬度与弹性下降^[21];而石莼多酚能够利用其良好的抑菌活性,在一定程度上缓解猪肉丸硬度与弹性下降的速率。

表3 石莼多酚对冷藏猪肉丸质构特性的影响

Table 3 Effect of the *U.lactuca* polyphenols on textural properties of the pork meatballs (n=3)

指标	时间/d	CK ₁	CK ₂	U ₁	U ₂	U ₃
硬度	0	3936.98±105.04 ^{aA}	3975.20±204.99 ^{aB}	4164.65±99.60 ^{aC}	4418.98±86.36 ^{aD}	4657.28±90.31 ^{aD}
	3	3518.98±101.25 ^{bA}	3831.39±76.61 ^{aB}	4123.94±102.30 ^{aB}	4331.39±87.53 ^{aC}	4623.05±230.55 ^{aD}
	6	3249.67±154.78 ^{cA}	3472.37±219.79 ^{bB}	3808.54±64.20 ^{bC}	4185.98±117.97 ^{abD}	4529.34±85.53 ^{abD}
	9	2971.36±152.68 ^{dA}	3186.30±149.49 ^{bcB}	3703.22±100.12 ^{bcC}	3972.06±93.41 ^{bcD}	4302.64±95.57 ^{bD}
	12	2662.67±164.12 ^{eA}	2983.47±174.05 ^{cdA}	3473.85±239.56 ^{cB}	3936.63±95.22 ^{cdC}	3997.79±132.80 ^{cC}
	15	2288.44±137.38 ^{fA}	2576.17±63.08 ^{dA}	3035.97±208.16 ^{dB}	3727.09±181.02 ^{dC}	3836.55±144.75 ^{cC}
弹性	0	0.97±0.01 ^{aA}	0.95±0.01 ^{aA}	0.96±0.01 ^{aA}	0.95±0.01 ^{aA}	0.95±0.01 ^{abA}
	3	0.95±0.01 ^{aA}	0.96±0.00 ^{aA}	0.94±0.01 ^{aA}	0.93±0.01 ^{aA}	0.95±0.00 ^{aA}
	6	0.92±0.01 ^{bA}	0.94±0.01 ^{abA}	0.95±0.01 ^{aA}	0.93±0.02 ^{aA}	0.94±0.01 ^{aA}
	9	0.89±0.02 ^{cA}	0.93±0.01 ^{bcA}	0.94±0.02 ^{aA}	0.91±0.01 ^{aA}	0.93±0.01 ^{aA}
	12	0.86±0.00 ^{cB}	0.92±0.01 ^{cAB}	0.92±0.00 ^{bA}	0.94±0.01 ^{aAB}	0.95±0.01 ^{aA}
	15	0.78±0.01 ^{dC}	0.85±0.00 ^{dB}	0.87±0.01 ^{cB}	0.92±0.01 ^{aAB}	0.93±0.00 ^{aA}

注：表中不同小写字母表示组内显著差异 ($p<0.05$)；不同大写字母表示组间显著差异 ($p<0.05$)，下同。

2.3.2 白度测定

白度是评价肉糜制品色泽与品质变化的重要感官指标之一。在冷藏过程中微生物的污染与脂肪氧化可导致肉糜制品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值发生不同程度的改变，进而影响其白度值^[22]。如表4所示，在试验周期内，CK₁、CK₂组样品的白度呈逐渐下降趋势，冷藏第15 d时，其白度值分别较其初始值依次下降了6.43%、5.29%；而U₁、U₂、U₃组样品的白度分别较其初始值依次下降了4.80%、2.96%、2.05%；表明石莼多酚可有效延缓样品的微生物繁殖与脂肪氧化，抑制其白度

的降低。需要说明的是，U₁、U₂、U₃组样品的初始白度值分别为71.90%、71.30%、70.83%，与对照组CK₁、CK₂样品的（分别为72.14%、72.41%）相比均略低些，其中U₁、U₂与CK₁、CK₂组样品间无显著性差异 ($p>0.05$)，且在感官上肉眼难以分辨，但U₃样品的白度下降较为明显，主要是添加了棕褐色的石莼多酚所致，这与刘楠等^[23]的研究结果相类似。综上，鉴于石莼多酚本身颜色的干扰，其使用量为1.5 g/kg(样品)左右为宜，对猪肉丸的色泽影响较小。

表4 石莼多酚对冷藏猪肉丸白度的影响

Table 4 Effects of the *U.lactuca* polyphenols on whiteness of the pork meatballs (n=3)

贮藏时间/d	白度/%				
	CK ₁	CK ₂	U ₁	U ₂	U ₃
0	72.14±0.17 ^{aA}	72.41±0.52 ^{aA}	71.90±0.47 ^{aAB}	71.30±0.01 ^{aAB}	70.83±0.09 ^{aB}
3	71.89±0.36 ^{aA}	71.86±0.41 ^{abA}	71.55±0.52 ^{aAB}	70.84±0.01 ^{aB}	70.88±0.23 ^{aB}
6	70.40±0.54 ^{bA}	71.32±0.41 ^{bcA}	70.89±0.56 ^{bA}	70.85±0.02 ^{aA}	70.80±0.29 ^{aA}
9	69.59±0.30 ^{bA}	70.75±0.39 ^{cA}	70.62±0.60 ^{bA}	70.40±0.00 ^{abA}	70.07±0.28 ^{abA}
12	68.87±0.26 ^{cA}	69.32±0.74 ^{dA}	69.14±0.20 ^{cA}	69.38±0.01 ^{bcA}	69.50±0.71 ^{abA}
15	67.50±0.01 ^{dB}	68.58±0.23 ^{dA}	68.45±0.01 ^{cA}	69.19±0.25 ^{cA}	69.38±0.52 ^{bA}

2.3.3 冷藏保鲜猪肉丸的感官可接受性评价

随着冷藏时间的延长，各组猪肉丸的感官可接受性评价均呈逐渐下降趋势。如表5所示，除U₃组的初始评价略低(9.25±0.84)外，各组样品的初始评价均最高(10±0.00)，这是因为U₃组的石莼多酚使用量较大(2.0 g/kg 样品)，其本身颜色较暗，导致猪肉丸表面色泽变暗而影响外观。在冷藏第3 d时，CK₁组样品的感官可接受性较高(10±0.00)，但随着冷藏时间的延长，其逐渐出现酸败味，表面发黏，无弹性等现

象，感官评分显著 ($p<0.05$) 低于其他各组，且在第12 d时感官评价已不可接受(3.40±0.84)。在冷藏期间，虽然CK₂与U₁组样品的感官评分无显著性差异 ($p>0.05$)，但U₁组样品的感官评分始终高于CK₂的，这可能是得益于石莼多酚良好的抗氧化、抑菌活性，有效抑制样品在冷藏过程中的微生物繁殖、蛋白质分解与脂肪氧化；在整个试验周期内，U₂、U₃组样品的感官评分相当，可接受性均为中等以上(感官评分均大于6)。王当丰等^[24]认为茶多酚中的色素含量会影响

鱼丸的颜色,但适量茶多酚的添加则不会影响到产品的感官特性,亦可改善鱼的脂质氧化与微生物污染,有效延长货架期。综上,本研究认为每 kg 猪肉丸添加

1.5 g 的石莼多酚维持样品的感官品质,对抑制其微生物的繁殖、蛋白质与脂肪的氧化具有积极作用。

表 5 石莼多酚对冷藏猪肉丸感官评定的影响

Table 5 Effects of the *U.lactuca* polyphenols on sensory evaluation results of the pork meatballs (n=3)

贮藏时间/d	感官可接受性评价				
	CK ₁	CK ₂	U ₁	U ₂	U ₃
0	10.00±0.00 ^{aA}	10.00±0.00 ^{aA}	10.00±0.00 ^{aA}	10.00±0.00 ^{aA}	9.25±0.84 ^{aB}
3	10.00±0.00 ^{aA}	10.00±0.00 ^{aA}	10.00±0.00 ^{aA}	10.00±0.00 ^{aA}	9.45±0.37 ^{abA}
6	6.40±0.49 ^{bB}	9.20±0.33 ^{bA}	9.50±0.31 ^{aA}	9.60±0.38 ^{aA}	9.00±0.50 ^{abA}
9	5.85±0.38 ^{bD}	7.05±0.76 ^{cC}	7.40±0.52 ^{bBC}	8.60±0.49 ^{bA}	8.40±0.49 ^{bcAB}
12	3.40±0.84 ^{cC}	5.60±0.38 ^{dB}	6.25±0.25 ^{cB}	7.80±0.20 ^{cA}	7.85±0.45 ^{cA}
15	1.80±0.84 ^{dD}	3.80±0.70 ^{cC}	4.65±0.42 ^{dB}	6.25±0.18 ^{dA}	6.45±0.41 ^{dA}

3 结论与讨论

本研究以漳浦猪肉丸为研究对象,以石莼多酚为抗氧化、抑菌保鲜剂,探讨石莼多酚在冷藏猪肉丸抗氧化、抑菌保鲜方面的应用。试验结果如下:在冷藏过程中,石莼多酚试验组猪肉丸的微生物指标如菌落总数、霉菌与酵母菌、大肠菌群的测定结果均显著($p<0.05$)低于 CK₁ 空白组,而各个试验组样品均无金黄色葡萄球菌检出;与 CK₁ 相比,石莼多酚试验组猪肉丸的 TVB-N 值、TBARS 值均处于相对较低水平,并较好地维持样品的硬度、弹性与色泽;在整个试验周期内其感官评价的可接受度均达中等及以上。使用量为 1.0 g/kg(样品)的石莼多酚试验组与 0.5 g/kg(样品)山梨酸钾试验组的保鲜效果相当,两组样品的冷藏保鲜期均为 6 d,均比 CK₁ 组延长了 3 d;而使用量为 1.5、2.0 g/kg(样品)的石莼多酚试验组可使猪肉丸的冷藏保鲜期分别达 9 d 与 12 d,相比 CK₁ 组依次延长了 6 d、9 d。本研究结果提示,石莼多酚能够以其优良的抑菌、抗氧化活性抑制冷藏过程中猪肉丸脂肪和蛋白质的氧化程度,抑制微生物的大量繁殖,稳定样品的颜色与质构,可代替山梨酸钾用于猪肉丸的抑菌保鲜,并呈显著的量效关系。但鉴于石莼多酚本身颜色的干扰,本研究认为其使用量为 1.5 g/kg(样品)左右为宜。

参考文献

- [1] FAN Xiao-jing, LIU Shan-zhi, LI Huan-huan, et al. Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipid oxidation and color of pork meat during refrigerated storage [J]. Meat Science, 2018, 147: 82-90
- [2] 李睿,钟正泽,王海燕.植物源生物保鲜剂在动物食品应用中的研究进展[J].农产品加工,2019,9:66-67

- LI Rui, ZHONG Zheng-ze, WANG Hai-yan. Advances in the application of botanical biopreservatives in animal food [J]. Farm Products Processing, 2019, 9: 66-67
- [3] ZHANG Jing, YUE Lin, Hayat K, et al. Purification of flavonoid from *Ginkgo biloba* extract by zinc complexation method and its effect on antioxidant activity [J]. Separation and Purification Technology, 2010, 71(3): 273-278
- [4] LI Ying-chang, YANG Zhong-yan, LI Jian-rong. Shelf-life extension of Pacific white shrimp using algae extracts during refrigerated storage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(1): 291-298
- [5] 杨新磊,丁武.茶多酚对冷却猪肉保鲜效果的应用研究[J].食品研究与开发,2013,34(14):126-129
- YANG Xin-lei, DING Wu. Study on application of tea polyphenols extracts in preservation of chilled pork meat [J]. Food Research and Development, 2013, 34(14): 126-129
- [6] 吴淳涛,童国忠,章卢超.石莼提取物抗氧化及抗菌活性研究[J].中国民族民间医药,2011,20(6):33-35
- WU Chun-tao, TONG Guo-zhong, ZHANG Lu-chao. Study of antioxidant and antibacterial activities of *Ulva lactuca* extract [J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2011, 20(6): 33-35
- [7] 陈雨晴,吕峰,王金铭.锌螯合法提纯石莼多酚工艺优化及其体外抗氧化活性评价[J].福建农业学报 2019,34(12):1453-1462
- CHEN Yu-qing, LYU Feng, WANG Jing-ming. Optimized purification by zinc-chelation and in vitro antioxidant activity of polyphenols extracted from *Ulva lactuca* [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2019, 34(12): 1453-1462
- [8] Miranda A, Montoya M, Araos M, et al. Antioxidant and anti cancer activities of brown and red seaweed extracts from Chilean coasts [J]. Latin American Journal of Aquatic

- Research, 2018, 46(2): 301-313
- [9] 许一琳,宋素珍,李颖畅,等.葡萄籽提取物对鱿鱼鱼丸品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(7):41-44
XU Yi-lin, SONG Su-zhe, LI Ying-chang, et al. Effect of grape seed extracts on storage quality of squid balls [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(7): 41-44
- [10] CHEN Lin, ZHOU Guang-hong, ZHANG Wan-gang. Effects of high oxygen packaging on tenderness and water holding capacity of pork through protein oxidation [J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(11): 2287-2297
- [11] Moroney N C, O'Grady M N, O'Doherty J V, et al. Effect of a brown seaweed (*Laminaria digitata*) extract containing laminarin and fucoidan on the quality and shelf-life of fresh and cooked minced pork patties [J]. Meat Science, 2013, 94: 304-311
- [12] QIN Yu-yue, YANG Ji-yi, LU Hong-bo, et al. Effect of chitosan film incorporated with tea polyphenol on quality and shelf life of pork meat patties [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61: 312-316
- [13] Al-Juhaimi F Y, Shahzad S A, Ahmed A S, et al. Effect of argel (*Solenostemma argel*) leaf extract on quality attributes of chicken meatballs during cold storage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(5): 1797-1805
- [14] 聂炎炎,刘冬虹,黄宇锋,等.肉及其制品中酵母菌和霉菌计数方法的建立[J].现代食品科技,2011,27(2):239-241
NIE Yan-yan, LIU Dong-hong, HUANG Yu-feng, et al. Establishment of a method for counting yeast and mold in meat and its products [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(2): 239-241
- [15] Georgantelis D, Ambrosiadis I, Katikou P, et al. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 °C [J]. Meat Science, 2007, 76(1): 172-181
- [16] Ruiz-Capillas C, Moral A. Sensory and biochemical aspects of quality of whole bigeye tuna (*Thunnus obesus*) during bulk storage in controlled atmospheres [J]. Food Chemistry, 2005, 89(3): 347-354
- [17] 李颖畅,王亚丽,励建荣.蓝莓叶多酚和壳聚糖对冷藏秘鲁鱿鱼鱼丸品质的影响[J].中国食品学报,2016,16(5):103-108
LI Ying-chang, WANG Ya-li, Li Jian-rong. Effects of polyphenol of blueberry leaves and chitosan on the preservation of Peru squid fish balls [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(5): 103-108
- [18] Mathenjwa S A, Hugo C J, Bothma C, et al. Effect of alternative preservatives on the microbial quality, lipid stability and sensory evaluation of boerewors [J]. Meat Science, 2012, 91(2): 165-172
- [19] 高波.孔石莼中体外抗氧化活性物质的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013
GAO Bo. Study on the antioxidant activity of *Ulva pertusa* extracts [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013
- [20] ZHAO Yue-liang, KONG Hong-yun, ZHANG Xu, et al. The effect of perilla (*Perilla frutescens*) leaf extracts on the quality of surimi fish balls [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(6): 2083-2090
- [21] 国竞文,李婷婷,王当丰,等.迷迭香-鱼精蛋白复合保鲜剂对冷藏白鲢鱼丸的保鲜效果研究[J].食品工业科技,2017,38(7):275-280
GUO Jing-wen, LI Ting-ting, WANG Dang-feng, et al. Preservation effect of rosemary and protamine for refrigerated silver carp fish balls [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(7): 275-280
- [22] 庞彩霞,王利民.银杏叶提取物对冷藏金钱鱼鱼丸的保鲜效果研究[J].食品研究与开发,2017,38(13):194-198
PANG Cai-xia, WANG Li-min. *Ginkgo biloba* leaves extract research on effect of preservation of *Nemipterus virgatus* fish balls [J]. Food Research and Development, 2017, 38(13): 194-198
- [23] 刘楠,李婷婷,王当丰,等.迷迭香与葡萄籽复合保鲜剂对白鲢鱼丸的保鲜效果[J].食品与发酵工业,2017,43(3):247-253
LIU Nan, LI Ting-ting, WANG Dang-feng, et al. Rosemary and grape seed compound on the quality of silver carp fish balls quality during refrigerated storage [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(3): 247-253
- [24] 王当丰,李婷婷,国竞文,等.茶多酚-溶菌酶复合保鲜剂对白鲢鱼丸保鲜效果[J].食品科学,2017,38(7):224-229
WANG Dang-feng, LI Ting-ting, GUO Jing-wen, et al. Effect of composite preservatives consisting of tea polyphenols and lysozyme on the quality of silver carp meatballs during storage [J]. Food Science, 2017, 38(7): 224-229