儿茶素对虾滑贮藏和食用品质的影响

赵钜阳[1]，孙昕萌[2]，李 越[1]，王鹏宇[1]，
许天一[1]，尹浩然[1]，袁惠萍[3]，陈 宝[4]

（1. 哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院，黑龙江 哈尔滨 150076；2. 江苏旅游职业学院 烹饪科技学院，江苏 扬州 225000；3. 郑州科技学院 食品科学与工程学院，河南 郑州 450064；4. 江苏理工学院 文化与旅游学院，江苏 常州 213001）

摘要：为研究儿茶素添加量对虾滑贮藏期间脂肪和蛋白质氧化、微生物侵染程度、色泽以及硬度的影响，以不同时间点样品所含过氧化值（peroxide value，POV）和硫代巴比妥酸（thiobarbituric acid，TBA）值、蛋白质的羰基和巯基含量（质量摩尔浓度）分析儿茶素对虾滑脂肪和蛋白质氧化的抑制作用，以挥发性盐基氮（volatile base nitrogen，TVB-N）值和菌落总数表征微生物对虾滑的侵染程度，以虾滑白度、硬度、pH 和感官评分来判断虾滑食用品质的变化。结果显示，儿茶素的添加能够延缓虾滑 POV、TBA 值、羰基质量摩尔浓度的升高以及巯基质量摩尔浓度的下降，抑制微生物生长繁殖；贮藏期间虾滑的白度值呈先上升后下降的趋势，硬度呈上升趋势，pH 无显著变化。结果表明，儿茶素添加量在 0.20 g/kg 及以上时，能够改善虾滑贮藏期间的品质，具有较好的应用前景。

关键词：抗氧化；虾滑；儿茶素；贮藏品质；食用品质

中图分类号：TS 254.4　**文章编号：**1673-1689(2023)05-0035-08　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.05.005

Effects of Catechins on Storage and Edible Quality of Shrimp Paste

ZHAO Juyang[1]，*SUN Xinmeng*[2]，*LI Yue*[1]，*WANG Pengyu*[1]，*XU Tianyi*[1]，
YIN Haoran[1]，*YUAN Huiping*[3]，*CHEN Bao*[4]

(1. College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China; 2. College of Cooking Science and Technology, Jiangsu College of Tourism, Yangzhou 225000, China; 3. School of Food Science and Engineering, Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450064, China; 4. School of Culture and Tourism, Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, China)

Abstract: To study the effect of catechins concentration on the lipid and protein oxidation, microbial infection degree, color and hardness during the storage period of shrimp paste, the peroxide value (POV), thiobarbituric acid value (TBA), and the carbonyl and sulfhydryl content (mass molar concentration) of protein for samples at different time points were analyzed to examine the inhibitory effects of catechins on the oxidation of lipid and protein in shrimp paste. The degree of microbial infection of shrimp paste was characterized by the level of volatile base nitrogen (TVB-N) and the total colony count. Changes in the edible quality of shrimp paste were determined by the

收稿日期：2021-09-15

基金项目：黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划项目（UNPYSCT-2020213）；哈尔滨商业大学校级教学改革与教学研究项目（HSDJY202127Z）。

作者简介：赵钜阳（1987—），女，博士，副教授，硕士研究生导师，主要从事大豆蛋白加工、烹饪科学研究。
E-mail：zhaojuyang1987@163.com

whiteness value, hardness, pH and sensory score. The results showed that the addition of catechins could delay the increase of shrimp paste's POV value, TBA value, carbonyl molar concentration and the decrease of sulfhydryl molar concentration, while inhibiting the growth and reproduction of microorganisms. During storage, the whiteness value of shrimp paste showed an initial increase followed by a decrease, while the hardness showed an increasing trend. There was no significant change in pH value. The results show that the addition of catechins at 0.20 g/kg and above could improve the quality of shrimp paste during storage, indicating a good application prospect.
Keywords: antioxidation, shrimp paste, catechins, storage quality, edible quality

虾滑是以虾肉为原料经过多次摔打制成,由于其口感嫩滑且具有丰富的营养价值,广受消费者喜爱。虾滑中蛋白质含量较高,极易发生氧化[1],因此需采用合适的方法来延长其货架期。近年来,多酚类化合物广泛应用在水产品贮藏和保鲜领域[2],其抑菌、抗氧化等作用为水产品保鲜提供了依据。儿茶素具有多羟基结构,抗氧化作用很强[3],在食品领域应用广泛。例如有研究者发现在冷藏的骆驼肉中加入一定量的儿茶素可以抑制脂肪氧化和微生物生长,并且能够有效保持冷藏期间骆驼肉的感官品质[4]。然而,目前将儿茶素应用在水产制品中的研究甚少,因此作者主要探究添加不同质量分数儿茶素对虾滑贮藏期间品质变化的影响,通过测定贮藏品质指标(POV、TBA、TVB-N、菌落总数、羰基和巯基质量摩尔浓度)以及食用品质指标(白度、pH、硬度和感官评价),综合评价其贮藏期间的品质变化,以期为儿茶素在虾类水产制品中的开发利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料与实验试剂

新鲜对虾、鸡蛋、猪脂肪:购于大润发超市(哈尔滨松北店);白砂糖:古糖业(中国)有限公司产品;食盐(精制盐):中盐上海市盐业有限公司产品;香辛料:内蒙古蒙香调味食品有限公司产品;味精:廊坊梅花调味食品有限公司产品;三聚磷酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、变性木薯淀粉:河南万邦实业有限公司产品;儿茶素(质量分数≥98%)、氧化镁(分析纯):合肥博美生物公司产品;琼脂(分析纯):北京金泰宏达生物科技有限公司产品;正辛醇(分析纯):天津市致远化学试剂有限公司产品;硼酸(分析纯):福州飞净生物科技有限公司产品;盐酸(分析纯):天津市风船化学试剂科技有限公司产品;三氯乙酸(TCA)、硫代巴比妥酸(TBA)、石油醚(均为分析纯):济南萧试化工有限公司产品。

1.2 实验仪器

JD200-3 精密电子天平:沈阳天平仪器有限公司产品;TMS-Touch (250N) 质构仪:英国 Food Technology Corporation 产品;CM-600d 分光测色计:日本柯尼卡美能达产品;T18DS25 均质机、RHBS025 磁力搅拌器、VORTEX 3 涡流振荡仪:德国 IKA 公司产品;H1850R 高速离心机:湖南湘仪实验室仪器开发有限公司产品;UV-800 紫外可见分光光度计:上海元析仪器有限公司产品;DK-9S-II 电热恒温水浴锅:天津市泰斯仪器有限公司产品。

1.3 虾滑制作流程

参考张广春等[5]的方法稍加修改。

1)原料修整 将对虾去除虾壳、虾线,仅保留虾肉部分清洗后备用。猪脂肪切小块备用。

2)绞制 虾肉、猪脂肪、食盐、味精、三聚磷酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、白砂糖、蛋清、变性木薯淀粉、香辛料、适量冰水、儿茶素(儿茶素的使用量参考杨玲玲等[6]茶多酚的添加范围 0.10~0.40 g/kg,以不添加儿茶素的处理组为对照组)放入粉碎机进行绞制。

3)蒸煮 分割为质量、形状相同的小块,进行蒸煮。

4)冷却、包装、速冻 将虾滑成品冷却至中心温度 25 ℃以下,真空包装后放入-18 ℃冰箱贮藏 13 d。

1.4 指标测定

1.4.1 过氧化值(POV) 参照文献[7]的方法。

1.4.2 硫代巴比妥酸(TBA)值 参照文献[8]的方法。

1.4.3 羰基含量(质量摩尔浓度)的测定 参照文献[9]的方法。

1.4.4 巯基含量(质量摩尔浓度)的测定 参照文献[10]的方法。

1.4.5 挥发性盐基氮(TVN-B)值 参照GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》[11]中的方法。

1.4.6 菌落总数 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》[12]中的方法。

1.4.7 白度值 参考文献[13]中的方法。用色度仪测定样品的L^*值、a^*值、b^*值。其中,L^*值为样品的亮度,a^*值为红绿值,b^*为黄蓝值。按照下式计算不同儿茶素添加量虾滑的白度值(W)。

$$W=100-\sqrt{(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}}$$

1.4.8 pH 参照GB 5009.237—2016《食品pH值的测定》中的方法[14]。

1.4.9 硬度的测定 将虾滑切成1.5 cm^3大小的立方体,用质构仪TPA模式分析,其中参数设置参考文献[9]。

1.4.10 感官评价 虾滑感官评价见表1。

表1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

指标	评分标准	分值
气味	无腥味,有虾滑独特香味	5
	基本无腥味,有香味	4
	腥味较重,香味较淡	3
	腥味较重,香味几乎没有	2
	腥味重,无香味	1
色泽	色泽正常,富有光泽	5
	色泽正常,有光泽	4
	色泽稍暗淡,稍有光泽	3
	色泽较暗淡,无光泽	2
	色泽暗淡,无光泽	1

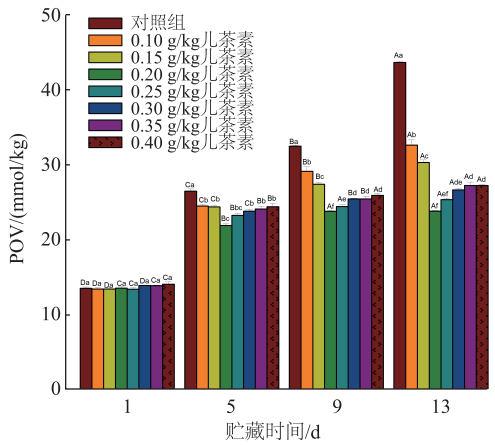
1.5 数据处理与作图

使用Statistix 8.0软件分析数据的显著性,使用Sigmaplot 11.0软件进行图标制作,数据通过平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间过氧化值(POV)的影响

过氧化值(POV)表征的是脂肪氧化过程中间产物的积累量[15]。不同儿茶素添加量的虾滑制品贮藏期间POV变化如图1所示。随着贮藏天数的增加,所有样品的POV都有所增加。第1天时,各处理组之间无显著性差异;第5天开始,对照组与其余添加了儿茶素的处理组之间出现显著差异($P<0.05$)。这是因为贮藏后期氧化反应不断加强,导致脂肪酸氢过氧化物生成的速度变快。与对照组相比,添加儿茶素的虾滑能够显著抑制脂肪氧化程度,并且添加量为0.20 g/kg的虾滑样品相对于其他样品POV较低,抗氧效果最佳。有研究表明,一些植物提取物的抗氧化剂随添加质量分数的增加反而降低了抗氧化作用[16],与本研究中的结果相似。这种影响可能会因热加工、酚类物质结构、食物基质及其组分的氧化稳定性而发生剧烈变化。



大写字母A~D表示同一处理组在不同贮藏时间差异显著($P<0.05$),小写字母a~d表示同一贮藏期内不同处理组差异显著($P<0.05$)。

图1 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间过氧化值(POV)的影响

Fig. 1 Effect of catechin addition on peroxide value (POV) of shrimp paste during storage

2.2 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间硫代巴比妥酸(TBA)值的影响

在水产品贮藏过程中,脂肪氧化产生的初级产物会快速分解,进而形成次级产物,因此需测定次级氧化产物的含量[17-18]。不同儿茶素添加量的虾滑制品贮藏期间TBA值变化如图2所示。可见,随着贮藏时间的延长,各处理组TBA值均有所增加,其中对照组的TBA值增加最多。贮藏13 d内,添加儿茶素的处理组TBA值显著低于对照组($P<0.05$),表明儿茶素对延缓虾滑脂肪氧化有一定效果,这是因为儿茶素具有抗氧化性,降低了脂肪的氧化速率,减少了不饱和脂肪酸氧化产物的产生[19]。其中在儿茶素添加量为0.20 g/kg时,抗氧化效果最佳,当添加量超过0.20 g/kg时,反而促进了氧化作用。这是由于高添加量下儿茶素中酚羟基含量过高,会分解氢

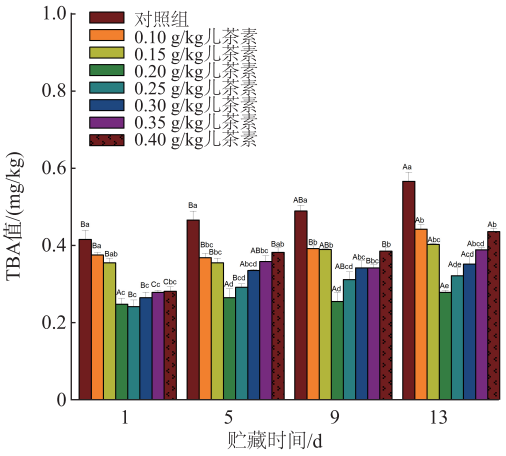


图 2　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间硫代巴比妥酸(TBA)值的影响

Fig. 2　Effect of catechin addition on thiobarbituric acid value (TBA) of shrimp paste during storage

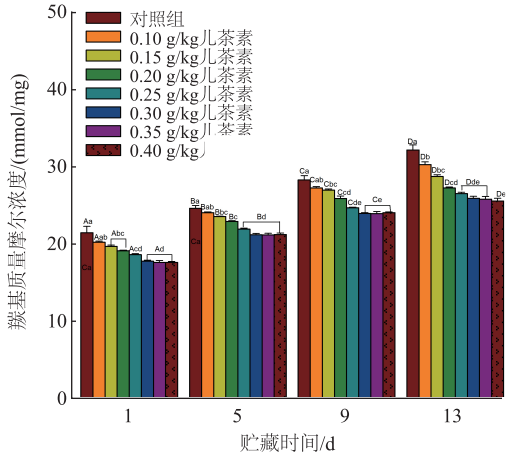


图 3　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间羰基质量摩尔浓度的影响

Fig. 3　Effect of catechin addition on carbonyl molar concentration of shrimp paste during storage

过氧化物,生成过氧自由基(ROOH + AH·⟶ ROO· + AH_2)[20]。总体来看,儿茶素的添加可有效抑制虾滑脂肪氧化,延长其货架期。

2.3　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间羰基质量摩尔浓度的影响

评价蛋白质氧化的重要指标之一为羰基质量摩尔浓度(mmol/mg,以虾滑质量计)的变化。研究表明脂肪氧化产物会引发蛋白质氧化产生更多的羰基[21],随着贮藏时间的增加,虾滑中脂肪氧化产物增加,导致羰基的质量摩尔浓度随之增加。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,各处理组羰基质量摩尔浓度均有所增加,但均低于对照组,并且随着儿茶素添加量的增加,对羰基生成的抑制程度增强,当添加量超过 0.30 g/kg 时,各处理组之间无显著性差异(P≥0.05)。儿茶素能够抑制蛋白质羰基质量摩尔浓度的增加,与其酚羟基结构有关,儿茶素通过接收羟基自由基的方式[10],避免了蛋白质侧链被氧化修饰。武思敏等也发现儿茶素在肉制品中能够抑制羰基质量摩尔浓度的增加[22]。

2.4　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间巯基质量摩尔浓度的影响

判定蛋白质氧化的另一个重要指标是巯基含量。儿茶素添加量对虾滑巯基质量摩尔浓度(mmol/mg,以虾滑质量计)的影响如图 4 所示。虾滑制品巯基质量摩尔浓度随着贮藏时间的增加而逐渐减少,这是因为在贮藏过程中存在于虾滑蛋白质表面的巯基被氧化成二硫键,导致巯基含量下降[22]。贮藏第 1 天时,添加了儿茶素的各处理组之间无显著性差异(P≥0.05),随着贮藏天数的增加,对照组巯基质量摩尔浓度下降最快,处理组随着儿茶素添加量的增加,巯基质量摩尔浓度下降趋势减缓,这表明儿茶素的添加能够保护虾滑中的蛋白质结构不被自由基攻击,从而抑制虾滑蛋白质中巯基的氧化[22]。贮藏后期,儿茶素添加量超过 0.30 g/kg 时,巯基质量摩尔浓度呈现随添加量的增加而下降的趋势,这可能是因为儿茶素中多余的羟基被氧化成醌,进而与巯基交联形成巯基–醌加成物,从而导致巯基质量摩尔浓度下降[23]。

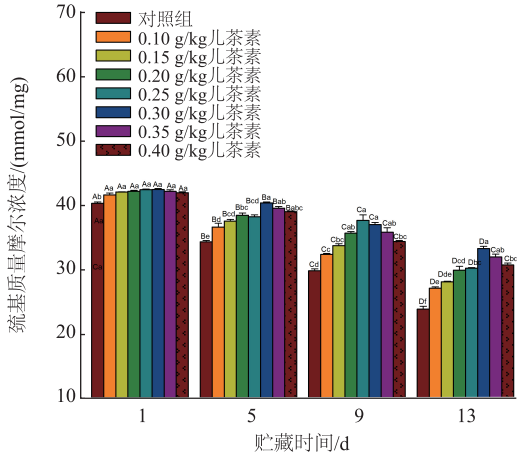


图 4　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间巯基质量摩尔浓度的影响

Fig. 4　Effect of catechin addition on sulfhydryl molar concentration of shrimp paste during storage

2.5　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间挥发性盐基氮(TVB–N)值的影响

TVB–N 是反映水产品制品腐败变质程度的指

标。其原理是虾滑中的蛋白质在微生物和酶的作用下分解产生碱性含氮物质,此类物质有挥发性,含量越高,表明蛋白质中的氨基酸被破坏的越多[24],因此可用来判断虾滑的新鲜程度。不同儿茶素添加量的虾滑制品贮藏期间 TVB-N 值变化如图 5 所示。在贮藏期内各处理组样品 TVB-N 值呈先上升后下降的趋势。在贮藏前 5 d,各种细菌在此期间迅速繁殖,并分解蛋白质,造成 TVB-N 值快速升高。贮藏第 9 天开始,对照组 TVB-N 值趋于稳定,添加儿茶素的处理组 TVB-N 值随贮藏期的延长呈下降趋势。在较低的温度以及 pH 条件下,中温菌和好氧菌停止了生长,可以繁殖的嗜冷菌的代谢效率又相对较低,从而使 TVB-N 值有所降低。儿茶素的添加能够有效抑制虾滑中蛋白质的变质,延缓了虾滑制品的腐败。由图 5 可以看出,在儿茶素添加量为 0.30 g/kg 时,对虾滑 TVB-N 的抑制效果最好。

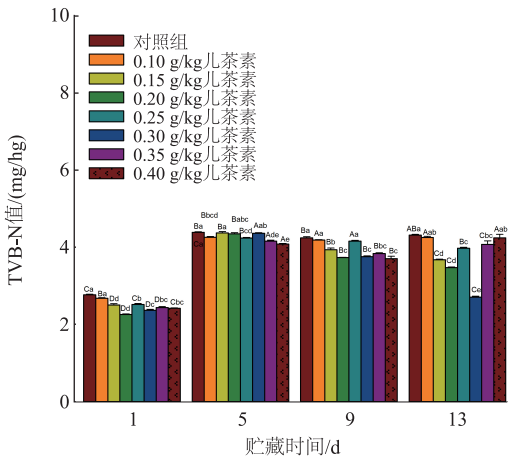


图 5 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间挥发性盐基氮(TVB-N)值的影响

Fig. 5 Effect of catechin addition on volatile base nitrogen (TVB-N) of shrimp paste during storage

2.6 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间菌落总数的影响

样品中菌落总数的变化可以反映微生物的生长情况进而反映虾滑的腐败程度[25]。总菌量的变化与 TBA、TVB-N、POV 的变化存在内在联系。儿茶素添加量在虾滑贮藏期间对菌落总数的影响如图 6 所示,结果以 lg N(N 为菌落数)表示。随着贮藏期的增加,各处理组菌落总数均有增加。在同一贮藏期,菌落总数随着儿茶素添加量的增加而降低,这与 POV、TBA 的趋势相一致。与对照组相比,添加儿茶素后菌落总数明显减少,且随着儿茶素添加量的增加,抑菌效果越来越明显;但当儿茶素添加量超过 0.30 g/kg 后,抑菌效果差别不大。Cai 等发现 1×10^7 CFU/g 是水产菌落总数的卫生标准限量值,并将该值作为评价水产品货架期终点的标志[26]。由图 6 可知,贮藏期在第 13 天时,对照组菌落总数对数值达到 7.68,已不具有食用价值。而添加儿茶素的处理组在第 13 天时,菌落总数对数值在 7 以下,儿茶素具有很强的抑菌活性,可以增加细胞膜的通透性,破坏其结构,从而将细胞内容物外泄[27];并且儿茶素能够阻碍蛋白质的合成与表达,使细菌的活性下降,从而抑制细菌的生长[28]。

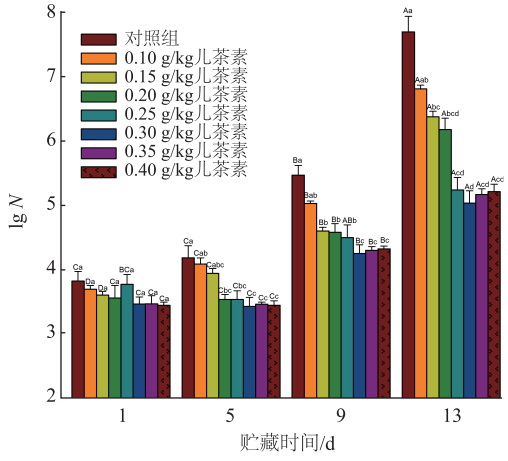


图 6 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间菌落总数的影响

Fig. 6 Effect of catechin addition on total colony count of shrimp paste during storage

2.7 儿茶素添加量对虾滑贮藏期间白度值的影响

白度值是评价虾滑品质的重要指标。不同添加量儿茶素的虾滑制品贮藏期间的白度值变化如图 7 所示。对照组白度值明显高于其他处理组,因为处理组虾滑中添加了不同质量分数的儿茶素,儿茶素本身呈现黄褐色,将其加到虾滑后,虾滑颜色受到了影响。在虾滑贮藏期间白度值呈先上升后下降的趋势,在前 5 d 时,白度值增加较大,是因为微生物迅速繁殖,导致肌肉蛋白减少,白度值升高。随着贮藏时间的延长,虾滑制品开始腐败变质,由于水分的流失,以及蛋白质、脂肪的氧化,白度值降低。并且姜晴晴等发现蛋白质氧化产生的羰基与氨基发生反应会生成深色的物质,使白度值降低[29]。由图 7 可以看出高添加量的儿茶素能够有效保持虾滑制品感官品质,使其色泽稳定。

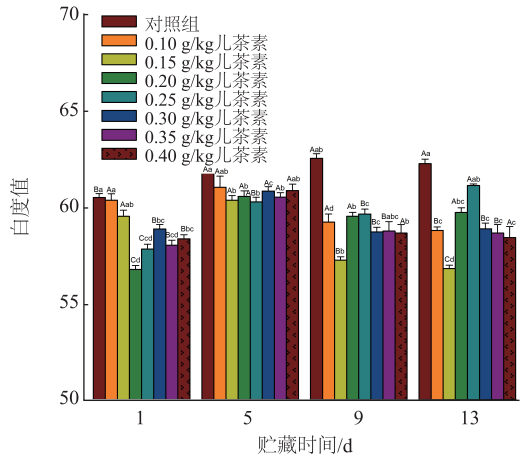


图 7　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间白度值的影响

Fig. 7　Effect of catechin addition on whiteness value of shrimp paste during storage

2.8　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间 pH 的影响

不同儿茶素添加量的虾滑贮藏期间 pH 变化如图 8 所示。所有虾滑样品 pH 为 7.02~7.47，处于弱碱性状态，在贮藏期呈现先升高后降低的趋势。pH 在贮藏第 5 天时显著增加，这归因于微生物数量的增加[30]。虾滑中各种微生物大量繁殖，微生物利用虾滑中的蛋白质生成胺、三甲胺等碱性含氮化合物[31]，使 pH 出现了迅速升高的现象。第 9 天时 pH 下降，是由于微生物在代谢过程中，与虾滑中的有机小分子进行反应产生酸类物质。随着贮藏期的延长，pH 又略微增加，是因为有机酸与儿茶素中的醇类物质发生酯化反应，对照组有所增加可能是蛋白质分解导致的[15]。同一贮藏期各处理组间 pH 没有显著性差异（$P \geqslant 0.05$），表明儿茶素的添加对虾滑的 pH 影响不大。

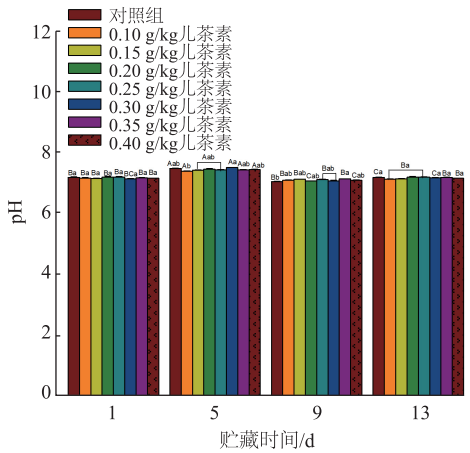


图 8　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间 pH 的影响

Fig. 8　Effect of catechin addition on pH of shrimp paste during storage

2.9　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间硬度的影响

不同儿茶素添加量的虾滑制品贮藏期间硬度变化如图 9 所示。在贮藏初期，添加儿茶素的处理组的硬度显著大于对照组，是因为儿茶素可结合虾滑制品中的蛋白质，促进凝胶内部结构的凝聚导致硬度增大[32]。随着贮藏期的延长，虾滑中的蛋白质水解，脂肪发生氧化[33]，出现腐败现象而使硬度降低。儿茶素可以减缓虾滑的脂肪氧化，保护蛋白肌纤维膜不被破坏，减缓水分流失[34]。在儿茶素添加量为 0.30 g/kg 时，能够较好地维持虾滑的硬度。

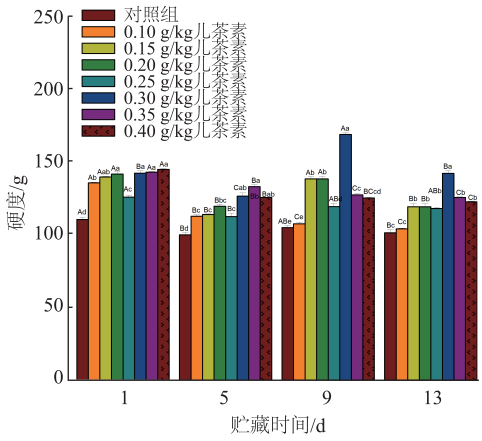


图 9　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间硬度的影响

Fig. 9　Effect of catechin addition on hardness of shrimp paste during storage

2.10　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间感官评价的影响

对虾滑制品的色泽与气味进行综合的感官评价，通过评分可以反映出虾滑的保鲜效果。添加不同质量分数儿茶素的虾滑制品贮藏期间的感官评分如图 10 所示。在第 1 天时，各组感官评分差别不大，随着贮藏期的延长各组感官评分逐渐降低。在第 13 天时，对照组的感官评分为 2.7 分，此时的虾滑已经腐败变质，不能食用。添加了儿茶素的虾滑样品在第 13 天的感官评分仍保持在 3.0 分以上，并且综合贮藏品质和食用品质测定指标可以看出，儿茶素的添加能够延长虾滑制品的货架期，在添加量为 0.15 g/kg 时，感官评分最高（$P<0.05$）。贮藏第 9 天时，儿茶素添加量为 0.20 g/kg 时的虾滑感官评分显著高于其他组（$P<0.05$）。因此，综合各指标的测定结果发现，儿茶素添加量为 0.20 g/kg 时能够显著改善虾滑食用和贮藏品质。

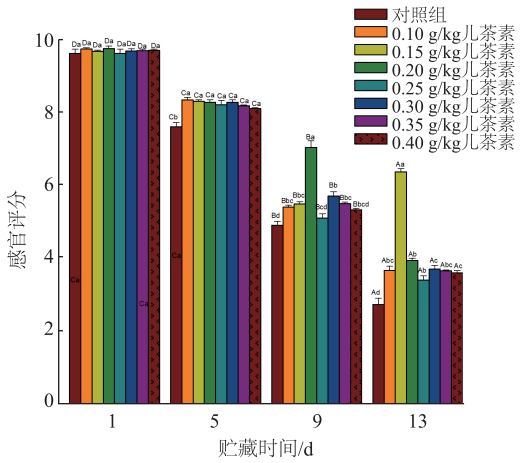


图 10　儿茶素添加量对虾滑贮藏期间感官评价的影响

Fig. 10　Effect of catechin addition on sensory evaluation of shrimp paste during storage

3 结　语

虾滑制品在贮藏过程中容易发生脂肪和蛋白质氧化反应,随着贮藏时间延长,POV 和 TBA 值不断升高,羰基质量摩尔浓度增加,巯基质量摩尔浓度下降,TVB-N 值和菌落总数增加;蛋白质结构发生改变导致虾滑的色泽变暗,硬度减弱,说明在贮藏过程中,虾滑制品发生了氧化反应从而使其品质不断下降。

儿茶素的添加抑制了虾滑的氧化程度,降低了 POV 和 TBA 值的增加和巯基的损失,减少了羰基的生成,延缓了微生物的生长;尤其是高质量分数儿茶素(≥0.20 g/kg)对虾滑的作用效果更明显。以上说明,儿茶素能够抑制虾滑贮藏过程中的氧化,然而在选择儿茶素作为抗氧化剂时,还需考虑选择合适的剂量进行应用,从而使其在水产制品的加工、生产中发挥更好的效果。此外,因为儿茶素本身呈黄褐色,在贮藏过程中添加儿茶素的虾滑色泽偏暗,可在产品中添加天然增白剂,用来解决儿茶素造成的虾滑制品色泽变化的问题。

参考文献:

[1] 姚志琴. 鱼滑类预凝胶鱼糜制品的制备研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2015.
[2] 王帅,任丹丹,吴哲,等. 多酚类化合物及其在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(21):7200-7206.
[3] 吴婕煜. 儿茶素脂质体对腊肉脂肪氧化及亚硝胺控制的研究[D]. 杭州:中国计量大学,2019.
[4] MAQSOOD S,ABUSHELAIBI A,MANHEEM K,et al. Lipid oxidation,protein degradation,microbial and sensorial quality of camel meat as influenced by phenolic compounds[J]. **LWT – Food Science Technology**,2015,63(2):953-959.
[5] 张广春,马文庆,刘金波,等. 火锅虾滑肠加工工艺研究[J]. 肉类工业,2021(1):7-11.
[6] 杨玲玲,李飞,朱静,等. 茶多酚对南湾鱼肉肠品质的影响[J]. 现代食品,2021(7):200-203.
[7] BUAMARD N,BE NJAKUL S. Effect of ethanolic coconut husk extract and pre-emulsification on properties and stability of surimi gel fortified with seabass oil during refrigerated storage[J]. **LWT – Food Science Technology**,2019,108:160-167.
[8] 李暮春,孔保华,孙方达,等. 肉桂提取物降低哈尔滨风干肠中亚硝胺作用的研究[J]. 现代食品科技,2015,31(3):228-233.
[9] 郝教敏,杨文平,靳明凯,等. 黑麦多酚提取物对猪肉丸冷藏期间氧化稳定性和品质的影响[J]. 食品科学,2020,41(9):175-181.
[10] 刘鑫鑫,陈彧,陈徐欢,等. 生姜提取物对鱿鱼肌原纤维蛋白氧化的影响[J]. 中国食品学报,2021,21(9):225-232.
[11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中挥发性盐基氮的测定:GB 5009.228—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:9.
[12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:9.
[13] 杨育静,丁家琪,白辰雨,等. 山药粉添加量对猪肉丸品质的影响[J]. 东北农业大学学报,2021,52(6):56-62.
[14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定:GB 5009.237—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:9.
[15] 李翔,聂青玉,赵福奎,等. 低温长时间熏制过程中香肠挥发性物质及脂肪氧化变化[J]. 西南大学学报(自然科学版),2021,43(8):57-64.
[16] JONGBERG S,TRNGREN M A,GUNVIG A,et al. Effect of green tea or rosemary extract on protein oxidation in Bologna type sausages prepared from oxidatively stressed pork[J]. **Meat Science**,2013,93(3):538-546.
[17] UZUN O A,MASKANB M,BEDIR M,et al. Effect of ohmic cooking followed by an infrared cooking method on lipid oxidation

and formation of polycylic aromatic hydrocarbons(PAH) of beef muscle[J]. **Grasas Aceites**,2018,69(4):1-10.
[18] SADETTIN T,FURKAN T S,MUSTAFA M,et al. Evaluation of color,lipid oxidation and microbial quality in meatballs formulated with bee pollen during frozen storage[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**,2017,41(3):1-8.
[19] 蓝蔚青,张溪,赵盼盼,等. 迷迭香提取物对凡纳滨对虾冷藏期间品质与蛋白特性变化影响[J]. 广东海洋大学学报,2021,41(3):82-90.
[20] 靳明凯,杨文平,赵芳芳,等. 黄玉米粗类黄酮在牛肉丸保鲜中的应用[J]. 食品工业科技,2019,40(23):278-282.
[21] 黄莉,曹爱华,丁波,等. 日粮添加表没食子儿茶素没食子酸酯对鸡肉品质和非酶抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业,2020,46(1):177-183.
[22] 武思敏,黄莉,任晓云,等. 不同植物多酚对鸡肉饼冷藏过程中 N- 亚硝胺含量影响[J]. 食品与发酵工业,2018,44(9):163-169.
[23] JONGBERG S,TERKELSEN L D S,MIKLOS R,et al. Green tea extract impairs meat emulsion properties by disturbing protein disulfide cross-linking[J]. **Meat Science**,2015,100:2-9.
[24] 刘雪云. 挥发性盐基氮检测方法的现状及研究方向[J]. 农产品加工,2014,9(2):51-53.
[25] 林娇芬,苏秋芳,蔡真珍,等. 海带多酚提取物对冷藏中国对虾品质的影响[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版),2020,32(1):63-69.
[26] CAI L Y,CAO A L,LI Y C,et al. The effects of essential oil treatment on the biogenic amines inhibition and quality preservation of red drum(*Sciaenops ocellatus*) fillets[J]. **Food Control**,2015,56:1-8.
[27] 李颖畅,杨钟燕,仪淑敏,等.蓝莓叶多酚和大蒜提取物对冷藏鱿鱼鱼丸品质的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(10):331-336.
[28] 赵冬雪,杨晓溪,郎玉苗. 天然抗菌剂在食品抑菌保鲜中的研究进展[J]. 食品工业,2021,42(7):204-207.
[29] 姜晴晴,李珊,刘文娟,等. 冻融循环对秘鲁鱿鱼蛋白及肌肉品质的影响[J]. 现代食品科技,2014,30(7):171-178.
[30] ANDRES A I,PETRON M J,ADAMEZ J D,et al. Food by-products as potential antioxidant and antimicrobial additives in chill stored raw lamb patties[J]. **Meat Science**,2017,129:62-70.
[31] HUI G H,LIU W,FENG H L,et al. Effects of chitosan combined with nisin treatment on storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. **Food Chemistry**,2016,203:276-282.
[32] 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.
[33] 周雅琪. 亚牛磺酸对南美白对虾黑变抑制机理及品质的影响研究[D]. 杭州:浙江大学,2021.
[34] 刘光宪,王丽,李雪,等. 3 种天然抗氧化剂对腊肉理化性质的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(15):6177-6184.