

含壳聚糖和Nisin的复合衬垫对鲜肉的保鲜效果

何叶子^{1,2}, 徐丹^{1,2,*}, 张春森¹, 许琦炀¹

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.西南大学食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 重庆 400715)

摘要:以壳聚糖、羧甲基纤维素钠和蒙脱土为基材, 添加不同质量分数的乳酸链球菌素(Nisin), 采用冷冻干燥法, 制备出高吸湿性抗菌衬垫, 用于冷鲜肉的保鲜。将各衬垫放置于托盘包装的底部, 其上放置新鲜猪肉末, 于4℃贮藏。每天测定各组鲜肉的菌落总数、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值、pH值、蒸煮损失率、硬度和颜色等质量指标。结果表明:该抗菌衬垫的应用显著抑制了鲜肉中微生物的生长, 减缓了TVB-N含量、TBARS值和pH值的生长速率, 降低了蒸煮损失率, 并有利于其硬度和颜色的保持;壳聚糖和Nisin共同使用有助于提高衬垫的抗菌和抗氧化能力, 从而对鲜肉起到较好的保鲜效果;当衬垫中Nisin添加量相当于在鲜肉中的添加量, 为0.5 g/kg时, 该衬垫的使用可将鲜肉的保质期由2 d延长至4 d。

关键词:壳聚糖; 乳酸链球菌素; 吸湿衬垫; 抗菌; 新鲜猪肉; 货架期

Composite Hygroscopic Pad Containing Chitosan and Nisin for the Preservation of Ground Pork

HE Yezi^{1,2}, XU Dan^{1,2,*}, ZHANG Chunsen¹, XU Qiyang¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Food Science and Technology Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Highly hygroscopic pads with antibacterial activity were prepared by freeze-drying using a combination of chitosan, sodium carboxymethyl cellulose and montmorillonite as base material with different amounts of nisin added, and they were applied for the preservation of chilled pork. Grounded fresh pork was placed on each of the pads, which was located at the bottom of a plastic tray, and stored at 4℃. Total viable count (TVC), total volatile basic nitrogen (TVB-N) content, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value, pH, cooking loss, hardness and color were examined every day. The results revealed that the application of the pads significantly inhibited microbial growth in meat, slowed down the increase in TVB-N content, TBARS value, and pH value, reduced cooking loss, and maintained the hardness and color of meat. The antimicrobial and antioxidant activities of the pads were improved by the combined use of chitosan and nisin, thus leading to better preservation of meat quality. By applying the nisin pad containing 0.5 g of nisin per kilogram of meat, the shelf life of fresh meat was extended to at least 4 days, which was twice longer than that of the control.

Keywords: chitosan; nisin; hygroscopic pad; antibacterial; fresh pork; shelf life

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171016-135

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)01-0286-06

引文格式:

何叶子, 徐丹, 张春森, 等. 含壳聚糖和Nisin的复合衬垫对鲜肉的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 286-291.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171016-135. <http://www.spkx.net.cn>

HE Yezi, XU Dan, ZHANG Chunsen, et al. Composite hygroscopic pad containing chitosan and nisin for the preservation of ground pork[J]. Food Science, 2019, 40(1): 286-291. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171016-135. <http://www.spkx.net.cn>

猪肉由于含有丰富的蛋白质和脂肪被认为是人类必需的营养来源之一。中国城市人口的总肉类消费中, 猪

肉占57%, 而在农村人口中更是高达71%^[1]。在所消费的猪肉中, 新鲜猪肉凭其良好的口感和丰富的营养更受消

收稿日期: 2017-10-16

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201610635014); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2016B012);

重庆市社会事业与民生保障科技创新专项一般项目(cstc2015shmszx80011)

第一作者简介: 何叶子(1996—)(ORCID: 0000-0002-8067-1466), 女, 本科生, 研究方向为食品包装材料。E-mail: yezi_he@163.com

*通信作者简介: 徐丹(1983—)(ORCID: 0000-0001-7334-0944), 女, 副教授, 博士, 研究方向为纳米复合包装材料与活性包装材料。E-mail: xud@swu.edu.cn

费者的欢迎。但新鲜猪肉即使在低温下也极易受到微生物感染而发生氧化酸败。因此,将具有抗菌和抗氧化功能的活性包装系统运用于肉类保鲜,可有效地延长其货架期,从而减少鲜肉因变质而造成的浪费和经济损失。

具有抗菌或抗氧化效果的活性化合物可通过多种方式引入到包装系统中,例如直接喷洒^[2],将挥发性活性化合物以小袋的形式置于包装系统中^[3],也可将活性化合物通过物理混合或共价结合的方式引入包装材料中^[4-5]等。采用以上形式制备的活性包装系统均能起到延长肉类保质期的作用。但是以上包装系统均无法有效吸收鲜肉溢出的汁液,而这些汁液如果残留在包装系统中,其中富含的大量营养成分会促进病原体或腐败微生物的繁殖^[6],同时也会对产品的外观品质产生负面影响。含有抗菌或抗氧化活性化合物的吸湿性衬垫则可有效地吸收肉汁,并释放出活性物质,从而有效地延长鲜肉的保质期并提高消费者接受度。本实验室在前期研究中发现将茶多酚加入复合衬垫中,利用其强抗氧化性可显著延长鲜猪肉货架期^[7]。

本研究采用天然原料羧甲基纤维素钠(sodium carboxymethyl cellulose, CMC-Na)、壳聚糖(chitosan, CS)、蒙脱土(montmorillonite, MMT)和乳酸链球菌素(Nisin)制备高吸湿性的抗菌衬垫。CMC-Na和CS都具有良好的生物相容性和生物可降解性,且CS具有一定的抗菌作用,对于减缓鲜肉的腐败有一定效果^[8]。MMT是目前应用最广泛的无机纳米粒子之一,与聚合物共混时,加入质量分数为5%的MMT,使其均匀分布在集合物基体中,即可显著提高衬垫的压缩强度,并使其具有较高的吸湿速率^[9]。Nisin是从乳酸链球菌发酵产物中得到的一种多肽抗菌素类物质^[10],能有效抑制引起食品腐败的革兰氏阳性菌,如李斯特菌、金黄色葡萄球菌等^[11];作为一种安全的食品添加剂,它已被用于鱼类^[12]和乳制品^[13]等的保鲜。将Nisin与其他保鲜剂如CS共同使用,可以进一步扩大其抗菌谱,增强活性^[12]。

本研究将不同质量分数的Nisin添加到复合衬垫中,用于冷鲜猪肉的托盘包装,通过测定各样品在贮藏期间的菌落总数、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值、pH值、蒸煮损失率、硬度和颜色变化,以评价该复合衬垫对鲜肉的保鲜效果。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜肉为本地超市购买的当天宰杀的新鲜后腿猪肉。

CS(脱乙酰度90.1%,相对分子质量 2×10^5) 潍坊海之源生物制品有限公司;钠基MMT 美国

Nanocor公司;CaCl₂(食品级) 浙江巨化股份新联化工有限公司;Nisin 浙江新银象生物工程有限公司;甲基红、次甲基蓝、三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)(均为分析纯)、CMC-Na(黏度 $\geq 1\ 200\ \text{mPa} \cdot \text{s}$) 成都市科龙化工试剂厂;硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)(分析纯) 上海科丰化学试剂有限公司;平板计数琼脂 杭州微生物试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

LGJ-10型真空冷冻干燥机 北京松源华兴科技发展有限公司;SP-756P紫外-可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司;SW-CJ-1FD洁净工作台 苏州安泰空气技术有限公司;BXM-30R立式压力蒸汽灭菌器 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;DHP-9082电热恒温培养箱 上海齐欣科学仪器有限公司;CT3质构仪 美国博勒飞公司;5810型台式高速离心机 德国Eppendorf公司。

1.3 方法

1.3.1 CMC-Na/CS/MMT/Nisin保鲜衬垫的制备

称取2 g CMC-Na于100 mL去离子水中,搅拌至完全溶解。称取0.6 g CS于60 mL体积分数1%的乙酸溶液中,搅拌至完全溶解,然后与CMC-Na溶液混合,得到溶液A。称取0.13 g MMT,分散于20 mL、体积分数1%的乙酸溶液中,超声30 min后加入到溶液A中,搅拌均匀,得到溶液B。根据GB 2760—2014《食品添加剂使用标准》^[14]中规定的预制肉类Nisin的最大添加量为0.5 g/kg(以鲜肉质量计,下同),设置Nisin在猪肉中的添加量分别为0(CMC-Na/CS/MMT衬垫)、0.1、0.3 g/kg和0.5 g/kg。按照每个衬垫上放置30 g新鲜猪肉,计算每个衬垫中Nisin的添加量,准确称取后溶于10 mL去离子水中,搅拌均匀后倒入溶液B中,得到溶液C。将0.46 g CaCl₂溶于10 mL去离子水后,再加入溶液C作为交联剂,搅拌均匀后静置一定时间,得到溶液E。称取40 g静置后的溶液E倒入直径为90 mm的培养皿中,冷冻干燥32 h即得复合衬垫。

1.3.2 鲜肉的包装

将新鲜猪后腿肉打碎成肉末后,每份称取30 g肉末,分别置于无衬垫、有CMC-Na/CS/MMT衬垫和不同Nisin含量的CMC-Na/CS/MMT/Nisin衬垫(对应猪肉中Nisin添加量分别为0.1、0.3、0.5 g/kg)的塑料托盘中,封上保鲜膜,依次标记为CK、A、B、C、D,于4℃下贮藏。

1.3.3 菌落总数的测定

参考Liu Qian等^[15]的方法测定菌落总数。称取10 g猪肉于无菌烧杯中,向其中加入90 mL 8.5 g/L的无菌生理盐水,均质1 min。然后用无菌生理盐水进行以10为倍数的系列稀释,取3个稀释度的样品匀液各1 mL到无菌培养皿内,用平板计数琼脂在(36±1)℃培养(48±2) h。

1.3.4 TVB-N含量的测定

参考GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》^[16]的半微量定氮法测定TVB-N含量。称取10 g碎肉于烧杯中,加入100 mL蒸馏水,搅匀,并于25 ℃恒温振荡30 min后过滤。取5 mL滤液和5 mL 10 g/L MgO混悬液进行蒸馏,用蒸馏水作试剂空白。蒸出物质用10 mL含甲基红(2 g/L)和次甲基蓝(1 g/L)的硼酸吸收液(20 g/L)吸收,然后用0.01 mol/L的标准盐酸进行滴定。TVB-N含量按公式(1)进行计算。

$$\text{TVB-N含量}/(\text{mg}/100\text{ g}) = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 14}{\frac{m \times 5}{100}} \times 100 \quad (1)$$

式中: V_1 为液消耗盐酸标准溶液体积/mL; V_2 为试剂空白组消耗的盐酸标准液体积/mL; c 为盐酸标准液浓度/(mol/L); 14为与1.00 mL盐酸标准滴定溶液相当的氮的质量(mg); m 为试样质量/g。

1.3.5 TBARS值的测定

参考Lan Yang等^[17]的方法测定TBARS值。称取碎肉10 g于100 mL离心管中,加入25 mL、体积分数20% TCA和20 mL蒸馏水,10 000 r/min高速匀浆30 s,于4 ℃、5 500 r/min离心15 min,取上清液并过滤。于25 mL比色管中各加入2 mL上述滤液和0.02 mol/L TBA溶液,沸水浴加热20 min,同时做空白对照(2 mL、体积分数50% TCA+2 mL 0.02 mol/L TBA,冷却至室温,在532 nm波长处测定混合液的吸光度,每个样品重复3次,结果取平均值。以每千克样品中所含丙二醛的质量来表示TBARS值,具体计算见公式(2)。

$$\text{TBARS值}/(\text{mg}/\text{kg}) = (A_{532\text{ nm}} + 0.002) \times 2.587 \quad (2)$$

式中: $A_{532\text{ nm}}$ 为实验组溶液在532 nm波长处测定的吸光度。

1.3.6 pH值的测定

称取10 g碎肉,加入100 mL去离子水,6 000 r/min匀浆1 min,然后用校正后的pH计测定混合液的pH值,待稳定后读数。重复测定3次,结果取平均值。

1.3.7 蒸煮损失率的测定

参考Honikel^[18]的方法测定蒸煮损失率。切取5 cm×5 cm×2 cm大小的肉块,擦去肉样的表面水分后称质量并装入高温蒸煮袋中,扎紧袋口,然后放入70 ℃的水浴锅内恒温30 min。取出肉样后立即用流水冷却至室温,擦去表面水分后称质量。蒸煮损失率的计算见式(3)。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{\text{蒸煮前样品质量}/\text{g} - \text{蒸煮后样品质量}/\text{g}}{\text{蒸煮前样品质量}/\text{g}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.8 硬度的测定

参考Martinez等^[19]的方法采用质构仪进行测定。切取4 cm×4 cm×2 cm大小的肉块,在70 ℃水浴锅内加热

30 min,取出肉样后立即用流水冷却至室温。使用直径为5 mm的圆柱形探头沿着垂直于肌纤维方向测定。每个样品选取3个不同位置进行测定,重复测定3个样品,结果取平均值。测试条件如下:TPA模式,50%形变,测前和测后速率均为1 mm/s,触发点负载为5 g,循环次数为2,夹具为TA-BT-KIT。

1.3.9 色度的测定

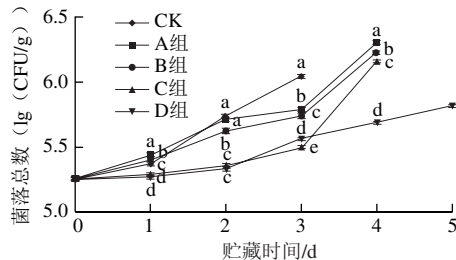
利用色差仪测定猪肉样品的亮度 L^* 值、红绿度 a^* 值和黄蓝度 b^* 值。光源为D65,观察角为10°,测定直径为10 mm。使用色差仪前,用配套光阱和白板进行校正。擦干肉样表面水分,并将其置于色差屏的圆孔上进行样品测定。每个样品选取3个不同位置进行测定,重复测定3个样品,结果取平均值。

1.4 数据分析

采用SPSS 17.0软件进行数据的差异显著性分析(ANOVA), $P < 0.05$ 表示差异显著;利用Origin 2016软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中菌落总数的影响



小写字母表示相同贮藏时间不同处理组间差异显著($P < 0.05$)。下同。

图1 复合衬垫中Nisin的添加量对鲜肉贮藏过程中菌落总数的影响

Fig. 1 Effect of nisin content in composite pads on TVC of fresh meat during storage

各组鲜肉在贮藏期间的菌落总数变化如图1所示。由于猪肉在屠宰、分割及运输过程中,易受到细菌污染^[20],初始菌落总数为5.25(lg(CFU/g))。在4 ℃下贮藏3 d后,CK组的菌落总数就已超过GB/T 9959.2—2008《分割鲜冻猪瘦肉》^[21]对鲜冻猪瘦肉菌落总数的要求(不高于6.0(lg(CFU/g)))。而有衬垫组的菌落总数则显著低于CK组($P < 0.05$),A、B和C组的菌落总数均在第4天超标。但D组菌落总数的增长率一直保持在较低的水平,至贮藏的第5天,D组菌落总数仍低于6.0(lg(CFU/g));因此,复合衬垫中添加Nisin可有效抑制鲜肉中微生物的生长。有研究表明,Nisin的抗菌机理在于它可与细菌的细胞膜相互作用,导致细胞膜变形和破裂,并干扰细胞壁的生物合成^[22],因此其抗菌效果与剂量相关。然而,

Nisin抗菌谱较窄, 仅对革兰氏阳性菌有效, 对猪肉中生长的革兰氏阴性菌如假单胞菌 (*Pseudomonas*)^[23]等则无明显作用; 但衬垫中的CS对革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌均有良好的生长抑制作用^[24]。因此, 复合衬垫的抗菌功能可以通过两种方式实现, 即衬垫基材中的CS与鲜肉直接接触, 以及衬垫吸收肉类汁液发生溶胀时, 释放出Nisin至鲜肉表面。二者的联合使用扩大了衬垫的抗菌谱^[25], 显著降低了鲜肉中细菌的生长速率。

2.2 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中TVB-N含量的影响

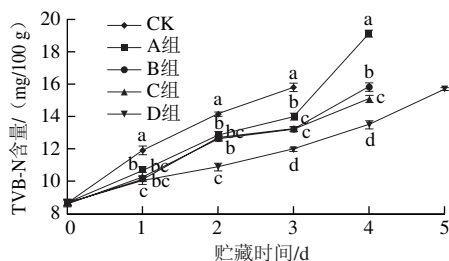


图2 复合衬垫中Nisin的添加量对鲜肉贮藏过程中TVB-N含量的影响

Fig. 2 Effect of nisin content in composite pads on TVB-N content of fresh meat during storage

鲜肉中TVB-N含量是判定其新鲜度的重要指标。如图2所示, 在贮藏第3天, CK组的TVB-N含量就达到15.87 mg/100 g, 已经超过了GB/T 9959.2—2008《分割鲜冻猪瘦肉》^[22]中规定的鲜猪肉TVB-N含量标准 (15 mg/100 g)。因此, CK组的货架期仅为2 d, 与菌落总数结果相一致。贮藏时间相同时, 采用复合衬垫包装的各组鲜肉的TVB-N含量显著低于CK组 ($P<0.05$)。按照此标准, A、B和C组的货架期延长至3 d, 而D组则延长至4 d。TVB-N含量与肉中氨、二甲胺、三甲胺等含量有关^[26]。当细菌大量繁殖, 部分微生物产生胞外蛋白酶, 使得肌肉蛋白质和非蛋白质含氮化合物发生分解, 就会产生这类物质, 从而导致TVB-N含量增加^[27]。因此, 使用具有抑菌效果的复合衬垫, 可显著抑制鲜肉中TVB-N含量上升。

2.3 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中TBARS值的影响

TBARS值是指示肉类脂质氧化程度的重要指标之一^[28]。如图3所示, 复合衬垫的应用有效地降低了鲜肉中TBARS值的生长速率, 即延缓了鲜肉中脂质的氧化进程。贮藏时间相同时, CK组TBARS值均显著高于采用复合衬垫包装的各组 ($P<0.05$), 在贮藏2 d后, D组TBARS值就显著低于其余3个衬垫包装组 ($P<0.05$)。有研究表明, CS对羟自由基具有一定的清除能力, 且作用与其分子中的羟基和氨基有关^[29]。而从图3还可看出, TBARS值的生长速率与猪肉中的Nisin添加量呈负相关。

由此说明, Nisin可能也参与了抗氧化过程。尽管Nisin的抗氧化活性并没有被广泛报道, 但Fan Lihong等^[30]发现, Nisin接枝的氨基羟丙基甲基纤维素的自由基清除活性随着Nisin接枝程度的增加而提高。因此, 在本研究中, Nisin可能与CS共同作用产生抗氧化活性, 但其机制还需要进一步研究。

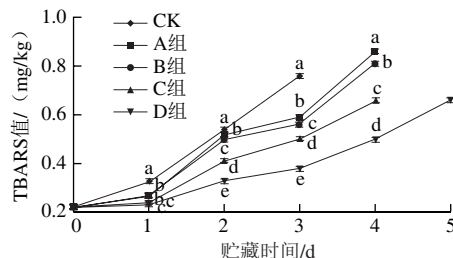


图3 复合衬垫中Nisin的添加量对鲜肉贮藏过程中TBARS值的影响

Fig. 3 Effect of nisin content in composite pads on TBARS value of fresh meat during storage

2.4 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中pH值的影响

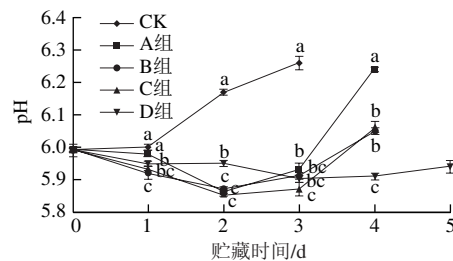


图4 复合衬垫中Nisin的添加量对鲜肉贮藏过程中pH值的影响

Fig. 4 Effect of nisin content in composite pads on pH of fresh meat during storage

各组鲜肉的pH值变化如图4所示。由于微生物繁殖过程中产生的碱性物质不断积累^[31], CK组的pH值在贮藏2 d后均显著高于采用复合衬垫包装的各组 ($P<0.05$)。A、B和C组的pH值在前3 d都有所下降, 这可能是由于肌糖原的无氧酵解产生了乳酸^[32]以及三磷酸腺苷分解后产生了无机磷酸^[33]。D组在整个贮藏过程中呈现出相对稳定的pH值。这些变化进一步证实了复合衬垫的使用有效抑制了鲜肉中微生物的生长。

2.5 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中蒸煮损失率的影响

由图5所示, 随贮藏时间的延长, CK组的蒸煮损失率迅速增加。而复合衬垫的应用, 尤其是添加了0.5g/kg Nisin的衬垫, 对降低鲜肉的蒸煮损失率有显著效果, 贮藏时间相同时, D组蒸煮损失率均显著低于其余各组 ($P<0.05$)。在贮藏第3天, D组的蒸煮损失率仅为CK组的56.84%; 这表明Nisin的添加可有效降低鲜肉的蒸煮损失率。蒸煮损失率与鲜肉的持水能力有关, 而肌肉

细胞间结构的破坏和蛋白质的降解会导致其持水能力降低^[34]。因此, A、B、C和D组的蒸煮损失率均低于CK组, 且随Nisin添加量的增加而降低。

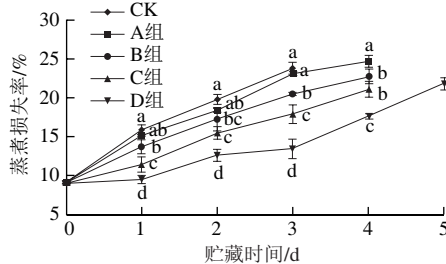


图5 复合衬垫中Nisin的添加量对鲜肉贮藏过程中蒸煮损失率的影响
Fig. 5 Effect of nisin content in composite pads on cooking loss of fresh meat during storage

2.6 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中硬度的影响

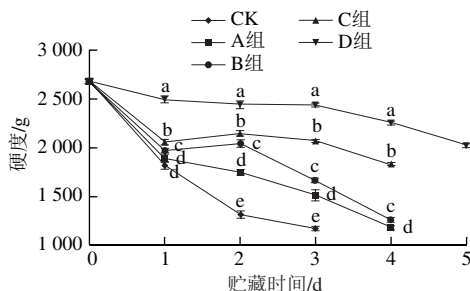


图6 复合衬垫中Nisin的添加量对鲜肉贮藏过程中硬度的影响
Fig. 6 Effect of nisin content in composite pads on hardness of fresh meat during storage

从图6可看出, 各组鲜肉的硬度随贮藏时间的延长而降低, 但D组的下降速率最慢, 且在同一贮藏时间, D组硬度均显著高于其余各组 ($P < 0.05$)。鲜肉硬度下降主要是由于结缔组织和肌纤维在酶的作用下发生降解^[17]; 而Nisin作为一种多肽, 自身可水解消耗部分蛋白酶, 从而减少肌肉中蛋白质的降解, 以此保持鲜肉的硬度^[35]。

2.7 衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中色度的影响

鲜肉的颜色是影响消费者购买意愿的直接因素。由表1可看出, 所有样品的 L^* 、 a^* 值均随时间的延长而显著降低, 表明随贮藏时间的延长, 鲜肉的亮度降低。相比之下, 复合衬垫的应用有效地降低了 L^* 和 a^* 值的降低速率, 其中D组降低最明显。在贮藏前3 d, CK组的 b^* 值显著升高 ($P < 0.05$), C、D组则升高不显著 ($P > 0.05$)。鲜肉的颜色变化主要是由氧合肌红蛋白被氧化成褐色的高铁肌红蛋白导致的, 而氧合肌红蛋白的氧化主要由细菌污染^[36]及脂肪氧化^[37]所引起。因此, 使用具有抗菌和抗氧化作用的复合衬垫, 能有效抑制鲜肉中氧合肌红蛋白的氧化, 从而延缓鲜肉颜色的变化, 提高其感官品质。

表1 复合衬垫中Nisin添加量对鲜肉贮藏过程中 L^* 、 a^* 和 b^* 值的影响
Table 1 Effect of nisin content in composite pads on color parameters (L^* , a^* and b^*) of fresh meat during storage

指标	贮藏时间/d	CK	A	B	C	D
L^*	0	54.83±0.28 ^a	54.83±0.28 ^a	54.83±0.28 ^a	54.83±0.28 ^a	54.83±0.28 ^a
	1	50.65±1.85 ^{Ab}	46.17±0.42 ^{Bb}	46.41±0.53 ^{BCb}	47.26±0.47 ^{BCb}	48.62±0.85 ^{ABb}
	2	47.44±0.17 ^{Bc}	44.60±0.14 ^{Cb}	44.56±0.90 ^{Cc}	46.51±0.24 ^{Bc}	48.74±0.44 ^{Ab}
	3	39.63±0.49 ^{Cd}	42.57±1.26 ^{Bc}	43.43±0.95 ^{ABc}	45.00±0.06 ^{Ad}	44.50±0.68 ^{Ac}
	4		40.82±1.22 ^{Bd}	41.77±0.76 ^{Bd}	40.84±0.48 ^{Bc}	44.44±1.21 ^{Ac}
a^*	5					41.35±0.27 ^d
	0	11.38±0.17 ^a	11.38±0.17 ^a	11.38±0.17 ^a	11.38±0.17 ^a	11.38±0.17 ^a
	1	6.78±0.23 ^{BCb}	6.57±0.26 ^{Cb}	7.61±0.28 ^{Bb}	7.15±0.60 ^{BCb}	9.52±0.53 ^{ABb}
	2	3.42±0.18 ^{Bc}	6.16±0.67 ^{Cb}	7.13±0.48 ^{Bc}	7.38±0.20 ^{Bc}	10.07±0.61 ^{Ab}
	3	2.92±0.24 ^{Bd}	5.35±0.30 ^{Cc}	6.86±0.17 ^{Bc}	6.62±0.74 ^{Bc}	8.32±0.39 ^{Ac}
b^*	4		5.37±0.06 ^{Cd}	5.25±0.26 ^{Cd}	5.78±0.22 ^{Bd}	8.63±0.12 ^{Ac}
	5					7.75±0.18 ^d
	0	6.87±0.48 ^c	6.87±0.48 ^d	6.87±0.48 ^d	6.87±0.48 ^b	6.87±0.48 ^c
	1	10.77±0.37 ^{Ab}	8.69±0.33 ^{Bc}	7.58±0.30 ^{Bcd}	7.78±0.14 ^{Bb}	6.06±1.33 ^{Cc}
	2	11.38±0.24 ^{Ab}	9.83±0.83 ^{Bb}	8.21±0.32 ^{Cb}	7.50±0.92 ^{Cb}	7.53±0.22 ^{Cc}
	3	13.82±0.57 ^{Aa}	9.64±0.23 ^{Bbc}	8.40±0.07 ^{Cb}	8.03±0.25 ^{DB}	7.54±0.19 ^{Bbc}
	4		12.96±0.11 ^{Aa}	10.66±0.52 ^{Ba}	10.87±0.74 ^{Ba}	9.46±1.19 ^{Ba}
	5					8.68±0.07 ^{ab}

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 同行肩标大写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 结论

本研究通过在CMC-Na/CS/MMT吸湿衬垫中添加不同量的Nisin, 制备出一种抗菌复合衬垫, 将该衬垫用于鲜肉的保鲜包装实验, 结果表明, 该衬垫可有效抑制鲜肉中细菌的生长, 并可降低鲜肉的TVB-N含量、TBARS值和pH值, 减少蒸煮损失率, 较好地维持鲜肉的硬度和色泽。Nisin和CS的共同作用进一步提高了复合衬垫的抗菌性能, 并使其具有一定的抗氧化效果。当衬垫中Nisin添加量相当于在鲜肉中的添加量0.5 g/kg时, 采用此衬垫包装的鲜肉在4 °C下的保质期相较于不加衬垫时延长了1倍。此复合衬垫具有良好的生物可降解性和生物相容性, 且因其良好的吸湿性能, 可用于保存具有高含水量的易腐食品, 如鲜肉、鲜切水果及蔬菜等。

参考文献:

- GONG S L, YANG Y S, SHEN H, et al. Meat handling practices in households of Mainland China[J]. Food Control, 2011, 22(5): 749-755. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.11.009.
- 丛建民. Nisin在草莓保鲜中的应用研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 131-133. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2008.02.028.
- HUANG S R, LIU B, GE D, et al. Effect of combined treatment with supercritical CO₂ and rosemary on microbiological and physicochemical properties of ground pork stored at 4 °C[J]. Meat Science, 2017, 125: 114-120. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.11.022.
- ROJAS-GRAU M A, SOLIVA-FORTUNY R, MARTÍN-BELLOSO O. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 20(10): 438-447. DOI:10.1016/j.tifs.2009.05.002.

- [5] VALDÉS A, BURGOS N, JIMÉNEZ A, et al. Natural pectin polysaccharides as edible coatings[J]. *Coatings*, 2015, 5(4): 865-886. DOI:10.3390/coatings5040865.
- [6] DE AZEREDO H M C. Antimicrobial nanostructures in food packaging[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2013, 30(1): 56-69. DOI:10.1016/j.tifs.2012.11.006.
- [7] 许琦炀, 秦海容, 郭帆, 等. 茶多酚复合衬垫的性能及其对鲜肉的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(1): 246-251. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201701041.
- [8] DEHNAD D, MIRZAEI H, EMAM-DJOMEH Z, et al. Thermal and antimicrobial properties of chitosan-nanocellulose films for extending shelf life of ground meat[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 109: 148-154. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.03.063.
- [9] 卢唱唱, 许琦炀, 徐丹. 蒙脱土对纤维素基吸湿衬垫结构与性能的影响[J]. *包装工程*, 2016, 37(11): 6-10. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2016.11.002.
- [10] DE ARAUZ L J, JOZALA A F, MAZZOLA P G, et al. Nisin biotechnological production and application: a review[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2009, 20(3/4): 146-154. DOI:10.1016/j.tifs.2009.01.056.
- [11] GHARSALLAOUI A, OULAHAL N, JOLY C, et al. Nisin as a food preservative: part I: physicochemical properties, antimicrobial activity, and main uses[J]. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 2016, 56(8): 1262-1274. DOI:10.1080/10408398.2013.763765.
- [12] 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. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.01.122.
- [13] 余保宁. 乳酸链球菌素应用于延长软雪糕奶浆保质期的研究[J]. *食品工业科技*, 2002, 23(5): 38-40. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2002.05.017.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会. 食品添加剂使用标准: GB 2760—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 71.
- [15] LIU Qian, KONG Baohua, HAN Jianchun, et al. Effects of superchilling and cryoprotectants on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi: microbial growth, oxidation, and physicochemical properties[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 57(1): 165-171. DOI:10.1016/j.lwt.2014.01.008.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局. 肉与肉制品卫生标准的分析方法: GB/T 5009.44—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 354.
- [17] LAN Yang, SHANG Yongbiao, SONG Ying, et al. Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures[J]. *Meat Science*, 2016, 117: 173-181. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.02.017.
- [18] HONIKEL K O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat[J]. *Meat Science*, 1998, 49(4): 447-457. DOI:10.1016/s0309-1740(98)00034-5.
- [19] MARTINEZ O, SALMERÓN J, GUILLÉN M D, et al. Texture profile analysis of meat products treated with commercial liquid smoke flavourings[J]. *Food Control*, 2004, 15(6): 457-461. DOI:10.1016/s0956-7135(03)00130-0.
- [20] NYCHAS G J, SKANDAMIS P N, TASSOU C C, et al. Meat spoilage during distribution[J]. *Meat Science*, 2008, 78(1/2): 77-89. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.06.020.
- [21] 国家质量监督检验检疫总局. 分割鲜冻猪瘦肉: GB/T 9959.2—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 3.
- [22] PRINCE A, SANDHU P, ROR P, et al. Lipid-II independent antimicrobial mechanism of nisin depends on its crowding and degree of oligomerization[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 41346. DOI:10.1038/srep41346.
- [23] JIANG Y, GAO F, XU X L, et al. Changes in the composition of the bacterial flora on tray-packaged pork during chilled storage analyzed by PCR-DGGE and real-time PCR[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(1): M27-M33. DOI:10.1111/j.1750-3841.2010.01879.x.
- [24] DUTTA P K, TRIPATHI S, MEHROTRA G K, et al. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(4): 1173-1182. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.11.047.
- [25] WU T T, WU C H, FANG Z X, et al. Effect of chitosan microcapsules loaded with nisin on the preservation of small yellow croaker[J]. *Food Control*, 2017, 79: 317-324. DOI:10.1016/j.foodcont.2017.04.016.
- [26] FAUSTMAN C, SPECHT S M S, MALKUSL A, et al. Pigment oxidation in ground veal: influence of lipid oxidation, iron and zinc[J]. *Meat Science*, 1992, 31(3): 351-362. DOI:10.1016/0309-1740(92)90064-B.
- [27] CAI J R, CHEN Q S, WAN X M, et al. Determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content and Warner-Bratzler shear force (WBSF) in pork using Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(3): 1354-1360. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.11.098.
- [28] ZANARDIA E, DORIGONIA V, BADIANIB A, et al. Lipid and colour stability of Milano-type sausages: effect of packing conditions[J]. *Meat Science*, 2002, 61(1): 7-14. DOI:10.1016/S0309-1740(01)00152-8.
- [29] YANG S L, GUO Z Y, MIAO F P, et al. The hydroxyl radical scavenging activity of chitosan, hyaluronan, starch and their *O*-carboxymethylated derivatives[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 82(4): 1043-1045. DOI:10.1016/j.carbpol.2010.06.014.
- [30] FAN Lihong, HU Jin, HU Zhihai, et al. Preparation and characterization of aminoethyl hydroxypropyl methyl cellulose modified with Nisin[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 89: 62-69. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2016.03.009.
- [31] WANG S S, KUANG X, LI B, et al. Physical properties and antimicrobial activity of chilled meat pads containing sodium carboxymethyl cellulose[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 127(1): 612-619. DOI:10.1002/app.37828.
- [32] PEREIRA M, MALFEITO-FERREIRA M. A simple method to evaluate the shelf life of refrigerated rabbit meat[J]. *Food Control*, 2015, 49: 70-74. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.10.021.
- [33] SCHERER R, AUGUSTI P R, STEFFENS C, et al. Effect of slaughter method on postmortem changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) stored in ice[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(5): 348-353. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.tb09965.x.
- [34] HUFF-LONERGAN E, LONERGAN S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes[J]. *Meat Science*, 2005, 71(1): 194-204. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.04.022.
- [35] LEE S S, MANTOVANI H C, RUSSELL J B. The binding and degradation of nisin by mixed ruminal bacteria[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2002, 42(3): 339-345. DOI:10.1111/j.1574-6941.2002.tb01023.x.
- [36] BEN ABDALLAH M, MARCHELLO J A, AHMAD H A. Effect of freezing and microbial growth on myoglobin derivatives of beef[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(10): 4093-4099. DOI:10.1021/jf9809434.
- [37] GATELLIER P, ANTON M, RENERRE M. Lipid peroxidation induced by H₂O₂-activated metmyoglobin and detection of a myoglobin-derived radical[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, 43(3): 651-656. DOI:10.1021/jf00051a018.