

王 钊,李 欣,张 乾,等. 羧甲基纤维素钠复合天然抗氧化剂对冷鲜鸡肉的抗氧化及保水效果[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):189-195.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.027

# 羧甲基纤维素钠复合天然抗氧化剂 对冷鲜鸡肉的抗氧化及保水效果

王 钊<sup>1</sup>,李 欣<sup>1</sup>,张 乾<sup>1</sup>,郝修振<sup>1</sup>,张晓静<sup>1</sup>,李玉江<sup>2</sup>,张本尚<sup>3</sup>,邹 建<sup>1</sup>

(1. 河南牧业经济学院食品与生物工程学院,河南郑州 450046; 2. 河南省科学院高新技术研究中心,河南郑州 450002;  
3. 河南省科学院同位素研究所有限责任公司,河南郑州 450015)

**摘要:**为提升冷鲜鸡肉品质和降低经济损失,以冷鲜鸡肉的硫代巴比妥酸值(TBARS)、失质量率和亮度值( $L^*$ )为评价指标,考察天然抗氧化剂复合涂膜对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水能力。将冷鲜鸡肉浸泡于不同浓度的羧甲基纤维素钠(CMC)涂膜剂中 3 min,在 4 ℃ 条件下分别测定冷鲜鸡肉在 2、4、6、8 d 失质量率,筛选出 CMC 最佳浓度。添加生姜提取物、茶多酚等天然抗氧化剂构建复合涂膜,浸泡 3 min 后在 4 ℃ 条件下分别测定不同涂膜在 2、4、6、8 d 对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水能力。结果表明,以浓度为 0.4% CMC 为涂膜剂,添加生姜提取物浓度 0.4%、茶多酚浓度 0.01%、没食子酸浓度 0.02% 和 D-异抗坏血酸钠浓度 0.004% 复合涂膜具有优秀的抗氧化和保水效果。通过本试验研究发现,CMC 涂膜具有良好的保水能力,在添加天然抗氧化剂后复合涂膜的抗氧化能力得到较明显提升,同时具有良好保水能力,对提升冷鲜鸡肉品质具有重要意义。

**关键词:**冷鲜鸡肉;CMC;天然抗氧化剂;抗氧化;失质量率

**中图分类号:**TS205.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)11-0189-07

冷鲜鸡肉是指对屠宰后的胴体在 24 h 内迅速冷却至 0 ~ 4 ℃,并在后续储运过程中保持在 0 ~

4 ℃ 的生鲜鸡肉,不但品质较好,且易于存储。然而,冷鲜鸡肉在储运期间随着时间延长,会逐渐发生氧化,其系水力也会缓慢下降,导致游离氨基酸等营养物质的流失和肉质劣变<sup>[1]</sup>。此外,因脂肪氧化而产生的大量自由基、过氧化物和小分子醛酮等有害物质会导致肉品酸败,降低肉品品质,并对消费者的人身安全造成潜在危害<sup>[2]</sup>。

近年来,对于可食性涂膜的研究逐渐受到人们重视。可食性涂膜为可食用的天然多糖、蛋白质和

收稿日期:2021-08-18

基金项目:河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(编号:212102110192、192102110075);河南牧业经济学院科研创新团队项目(编号:2018KYTD17)。

作者简介:王 钊(1982—),男,河南新乡人,博士,讲师,研究方向为天然产物化学、功能性食品。Email:hnxwz2005@163.com。

通信作者:邹 建,河南周口人,博士,副教授,研究方向为农产品加工。Email:zoujianzz@126.com。

Macromolecules,2020,155:1252-1261.

[23] Choque E, Rezzani G, Salvay A G, et al. Impact of fungal extracts on the physical and antioxidant properties of bioactive films based on enzymatically hydrolyzed yeast cell wall[J]. Journal of Polymers and the Environment,2021,29(6):1954-1962.

[24] Harker F R, Gunson F A, Brookfield P L, et al. An apple a day: the influence of memory on consumer judgment of quality [J]. Food Quality and Preference,2002,13(3):173-179.

[25] Najafi - Marghmaleki S, Mortazavi S M H, Saei H, et al. The effect of alginate - based edible coating enriched with citric acid and ascorbic acid on texture, appearance and eating quality of apple fresh - cut[J]. International Journal of Fruit Science,2021,21(1):40-51.

[26] Yilmaz F M, Ersus B S. Ultrasound - assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh - cut apple with calcium and black carrot

phenolics[J]. Ultrasonics Sonochemistry,2018,48:509-516.

[27] Liu X, Yang Q, Lu Y Z, et al. Effect of purslane (*Portulaca oleracea* L.) extract on anti - browning of fresh - cut potato slices during storage[J]. Food Chemistry,2019,283:445-453.

[28] Qiao L P, Gao M, Zheng J X, et al. Novel browning alleviation technology for fresh - cut products: preservation effect of the combination of *Sonchus oleraceus* L. extract and ultrasound in fresh - cut potatoes[J]. Food Chemistry,2021,348:129132.

[29] Li S, Chen G, Zhang C, et al. Research progress of natural antioxidants in foods for the treatment of diseases[J]. Food Science and Human Wellness,2014,3(3/4):110-116.

[30] Yang H M, Cheng S S, Lin R, et al. Investigation on moisture migration, microstructure and quality changes of fresh - cut apple during storage [J]. International Journal of Food Science & Technology,2021,56(1):293-301.

部分脂质<sup>[3]</sup>,可有效防止水分、氧气或其他物质渗透,具有良好的食品保鲜、抗氧化、保水等功效<sup>[4]</sup>。与传统包装方式相比,可食性涂膜不但具有制作简便、无毒可食、营养价值高、可抑菌除氧等优点,而且易于复合各种天然功能成分,能保持水分和风味物质,显示出了广泛的适用性<sup>[5-11]</sup>。各类涂膜剂中,羧甲基纤维素钠(CMC)引起人们注意,CMC 在食品表面成膜后可在膜与食品间形成低氧-高二氧化碳环境以延长食品保质期;其水化作用可降低肉制品水分的散逸<sup>[12]</sup>。许多研究还表明,向涂膜中添加天然抗氧化成分,可进一步延缓食品的氧化<sup>[13]</sup>。如茶多酚、迷迭香提取物、维生素 E 等天然抗氧化剂,不但在抗氧化研究中取得了突出的效果<sup>[14]</sup>,而且自身还具有多种保健功能<sup>[15-17]</sup>,因此受到了人们的广泛研究和关注<sup>[18-24]</sup>。

为有效降低冷鲜鸡肉的氧化程度和失质量率,本研究以 CMC 为基础涂膜剂,添加不同浓度的茶多酚、生姜提取物、没食子酸、D-异抗坏血酸钠等天然抗氧化剂,考察其对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水功效,并对结果进行优化,以期获得抗氧化和保水效果突出的复合可食性涂膜,一方面提升冷鲜鸡肉的品质,同时也为其他肉类食品提供应用方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与耗材

市售新鲜鸡胸肉,购于河南省郑州市丹尼斯超市;2-巯基-4,6-二羟基嘧啶(分析纯),购于毕得药业;没食子酸(分析纯),购于上海麦克林生化科技有限公司;三氯乙酸(分析纯),购于萨恩化学技术(上海)有限公司;羧甲基纤维素钠(CMC)(食品级),购于上海申光化工有限公司;氯化钙(食品级),购于万利达生物科技有限公司;D-异抗坏血酸钠(食品级),购于诸诚华源生物工程有限公司;茶多酚(分析纯),购于上海麦克林生化科技有限公司;1,1,3,3-四乙氧基丙烷(分析纯),购于上海麦克林生化科技有限公司;生姜提取物,自制。

### 1.2 仪器与设备

电子天平,FA2104 型,上海舜宇科技仪器有限公司;恒温水浴锅,HH-6 型,常州方科仪器有限公司;水浴恒温振荡器,SHA-B 型,金坛市杰瑞尔电器有限公司;色差仪,ST-Z16 型,山东盛泰仪器有限公司;紫外可见分光光度计,tu-1901 型,北京普析通用仪器有限公司。

### 1.3 检测指标与方法

1.3.1 硫代巴比妥酸值的测定 参照国家标准 GB 5009.181—2016《食品中丙二醛的测定》中第 2 法,测定样品在 532 nm 波长处的吸光度并绘制丙二醛标准曲线<sup>[25]</sup>。分别准确移取丙二醛标准液 0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mL 于 10 mL 容量瓶中,加三氯乙酸混合液定容,得到标准溶液浓度为 0.010、0.015、0.020、0.025、0.030 μg/mL,所有溶液均现配现用。为减小误差进行多次测定取平均值,并据此绘制丙二醛标准曲线(图 1),得到回归方程: $y = 0.1228x - 0.0581$ , $r^2 = 0.9993$ ,可靠性良好。参照国标中丙二醛含量计算公式: $X = C \times V \times 1\,000 / (m \times 1\,000)$ ,综合得吸光度与丙二醛浓度呈正相关。

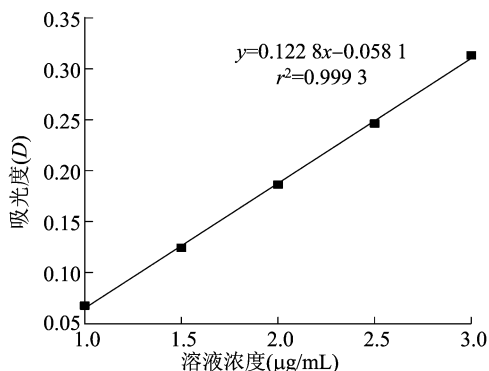


图1 丙二醛标准曲线

1.3.2 失质量率的计算 采用分析天平称量鸡肉的质量,鸡肉经涂膜后 2~8 d 的失质量率计算公式:

$$\text{失质量率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m_2$  表示不同贮藏时间涂膜样品失水后的质量,g; $m_1$  表示涂膜样品的初始质量,g。

1.3.3 亮度值的测定 使用标准白板校正色差计,将涂膜样品平铺均匀,每个样品分别取 3 个不同部位测定后取平均值。 $L^*$  为亮度值、 $a^*$  为红度值、 $b^*$  为黄度值,冷鲜鸡肉常用  $L^*$  值进行判定。

### 1.4 试验方法

试验于 2021 年 3 月 1 日进行,地点位于河南牧业经济学院食品与生物工程学院综合实验中心。

1.4.1 可食性涂膜溶液浓度的确定 参照文献[26]的方法,将羧甲基纤维素钠(CMC)和 0.125 g  $\text{CaCl}_2$  加入至 100 mL 蒸馏水中分别配制成 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 成膜溶液,根据其保水能力确定最优成膜溶液浓度。

1.4.2 单因素试验设计 在确定成膜溶液中加入生姜提取物、茶多酚、没食子酸、*D*-异抗环血酸钠和叔丁基对苯二酚(TBHQ)各配制成 5 个浓度梯度的可食性涂膜溶液,对冷鲜鸡肉进行涂膜处理,浸泡 3 min 后取出晾干,采用自封袋封装后放入 0~4℃ 冷藏柜中保存,通过对其 2、4、6、8 d 失质量率、硫代巴比妥酸值和亮度值来确定每种抗氧化剂的最适浓度。不同浓度抗氧化剂设计见表 1。

表 1 单因素试验设计

序号	姜油 (%)	茶多酚 (%)	没食子酸 (%)	<i>D</i> -异抗 环血酸钠(%)	TBHQ (%)
1	0.70	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.80	0.02	0.02	0.02	0.02
3	0.90	0.03	0.03	0.03	0.03
4	1.00	0.04	0.04	0.04	0.04
5	1.10	0.05	0.05	0.05	0.05

1.4.3 正交试验设计 将鸡脯肉均匀切成 8 cm<sup>3</sup>正

方体,并均匀分成 9 组,根据单因素试验结果将 4 种天然抗氧化剂按照筛选出的浓度设置为影响冷鲜鸡肉品质的 4 个主要因素,在单因素试验的基础上设计 4 因素 3 水平正交试验,对其 2、4、6、8 d 硫代巴比妥酸值、失质量率和亮度值进行检测,得到效果最好的复合抗氧化剂。

2 结果与分析

2.1 羧甲基纤维素钠涂膜剂浓度的筛选

测定不同浓度的 CMC 溶液(含 0.125 g CaCl<sub>2</sub>)对冷鲜鸡肉失质量率的影响,由表 2 可知,浓度为 0.4% 的 CMC 溶液具有较好保水效果,在 2~8 d 时间范围内均显示了较低的失质量率,虽然在 6~8 d 的阶段中浓度为 0.4% 的 CMC 溶液组失质量率均有所升高,但其总失质量率依然最小,且其失质量率明显小于未涂膜的空白肉样。因此以 0.4% CMC 为基础涂膜剂。

表 2 CMC 浓度对鸡肉失质量率的影响

CMC 溶液浓度 (g/mL)	失质量率(%)			
	2 d	4 d	6 d	8 d
0.1	7.29 ± 0.013bD	7.94 ± 0.015bC	9.00 ± 0.007bB	9.59 ± 0.009bA
0.2	3.32 ± 0.008eD	5.18 ± 0.018dC	6.53 ± 0.027cB	7.55 ± 0.011dA
0.3	4.47 ± 0.029cD	5.48 ± 0.008cC	6.35 ± 0.012dB	8.99 ± 0.027cA
0.4	2.57 ± 0.012fD	3.34 ± 0.029fC	4.20 ± 0.017fB	6.24 ± 0.009fA
0.5	3.63 ± 0.011dD	4.72 ± 0.013eC	5.46 ± 0.025eB	6.54 ± 0.021eA
空白	9.29 ± 0.302aD	12.12 ± 2.184aC	13.56 ± 0.372aB	15.58 ± 4.256aA

注:同行不同大写字母表示差异显著( $P < 0.05$ );同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

2.3 单因素试验结果分析

在已确定 CMC 涂膜剂浓度的基础上,分别考察复合天然抗氧化剂生姜提取物、茶多酚、没食子酸、*D*-异抗环血酸钠和合成抗氧化剂 TBHQ 的涂膜对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水作用,与未添加抗氧化剂的浓度为 0.4% CMC 膜对照组进行对比研究。

2.3.1 硫代巴比妥酸值的测定 以浓度为 0.4% CMC 溶液为初始涂膜剂,分别复合天然抗氧化剂生姜提取物、茶多酚、没食子酸、*D*-异抗环血酸钠和合成抗氧化剂 TBHQ,每种抗氧化剂分 5 个浓度,考察其对鸡肉的抗氧化能力。由图 2 至图 6 可知,复合了生姜提取物的涂膜组鸡肉,当浓度为 1.00% 时其吸光度最小,抗氧化性最好。复合了茶多酚的涂膜组鸡肉,当茶多酚浓度为 0.03% 时其吸光度最小,抗氧化能力最强。复合了没食子酸的涂膜组鸡肉,当没食子酸浓度为 0.05% 时其吸光度相对较

小,抗氧化能力较强。复合了 *D*-异抗环血酸钠的涂膜组鸡肉,当 *D*-异抗环血酸钠浓度为 0.02% 时其吸光度较小,抗氧化能力较强。TBHQ 在各个浓度条件下均显示了一定的抗氧化能力,但是与前面的天然抗氧化剂相比,抗氧化能力相对较弱。与对照组相比,所有复合了天然抗氧化剂的涂膜均显示出了突出的抗氧化能力。

2.3.2 抗氧化剂对冷鲜鸡肉失质量率的影响 以浓度为 0.4% CMC 溶液为初始涂膜剂,分别复合天然抗氧化剂生姜提取物、茶多酚、没食子酸、*D*-异抗环血酸钠和合成抗氧化剂 TBHQ,每种抗氧化剂分 5 个浓度,考察其对鸡肉失质量率的影响(图 7 至图 11)可知。由图 7 可知,生姜提取物组鸡肉在 2、4 d 失水率相对较高,其余阶段水分损失较少且较稳定,其中,浓度为 0.8%、1.0% 和 1.1% 时,鸡肉的总水分损失相对较少。由图 8 可知,浓度为 0.01%

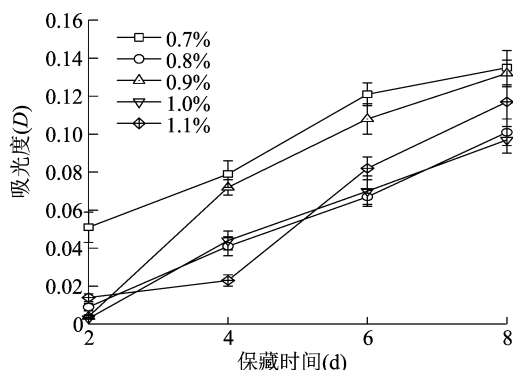


图2 生姜提取物浓度对鸡肉 TBARS 的影响

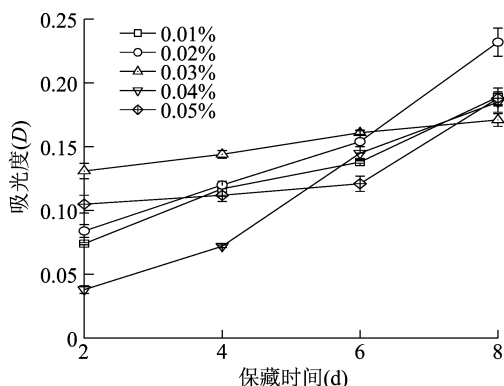


图6 TBHQ 浓度对鸡肉 TBARS 的影响

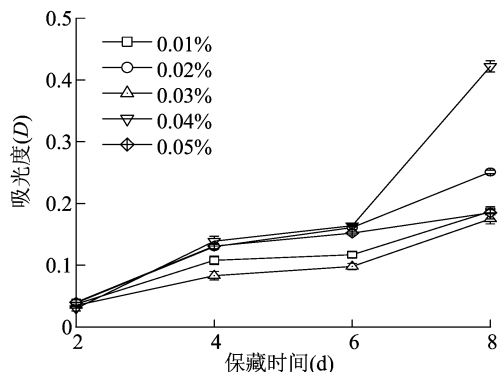


图3 茶多酚浓度对鸡肉 TBARS 的影响

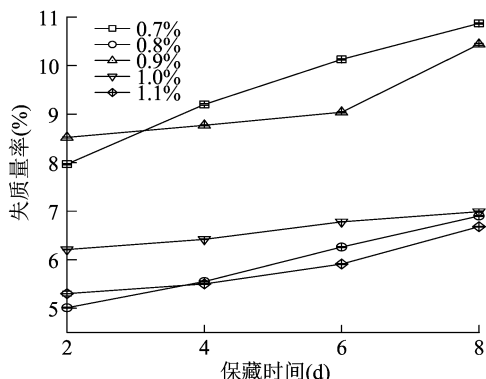


图7 生姜提取物浓度对鸡肉失质量率的影响

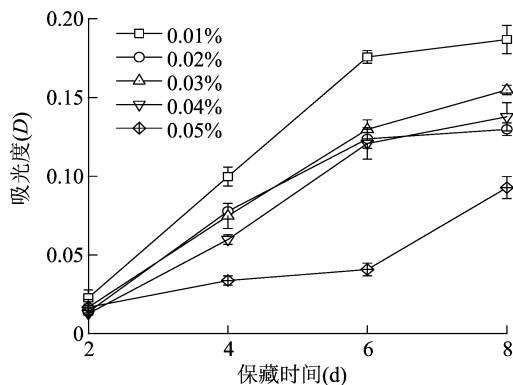


图4 没食子酸浓度对鸡肉 TBARS 的影响

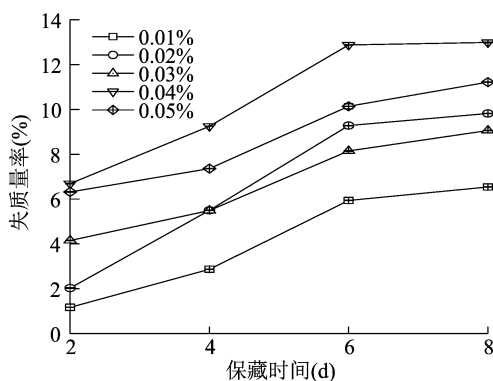


图8 茶多酚浓度对鸡肉失质量率的影响

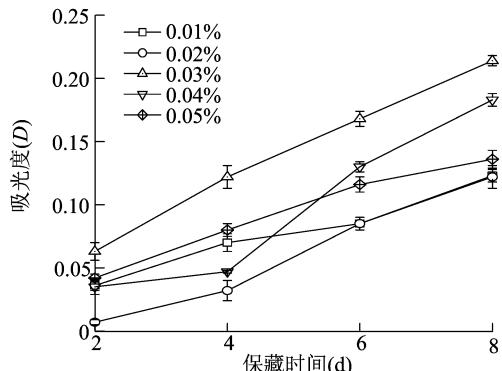


图5 D-异抗坏血酸钠浓度对鸡肉 TBARS 的影响

0.03% 没食子酸组鸡肉的总失质量率较低。由图 10 可知,复合了 *D*-异抗坏血酸钠的涂膜对冷鲜鸡肉具有较好的保水作用,其中,浓度为 0.02% *D*-异抗坏血酸钠组鸡肉的总失质量率最少。由图 11 可知,复合了 TBHQ 的涂膜的保水效果不佳,明显差于其他各种天然抗氧化剂,甚至失质量率远远超过了对照组;因此,后续试验中不再考虑 TBHQ。

鉴于冷鲜鸡肉抗氧化和保水的重要性,综合考虑各组涂膜剂的抗氧化和保水效果,选取生姜提取物浓度 1.00%、茶多酚浓度 0.03%、没食子酸浓度 0.05%、*D*-异抗坏血酸钠浓度 0.02%,作为 4 种抗氧化剂各自的较优浓度。其中,生姜提取物组、茶多

茶多酚组鸡肉失质量率最低,浓度 0.03% 茶多酚组鸡肉失质量率次之。由图 9 可知,没食子酸组在 0~8 d 内失质量率相对比较平均,其中,浓度为

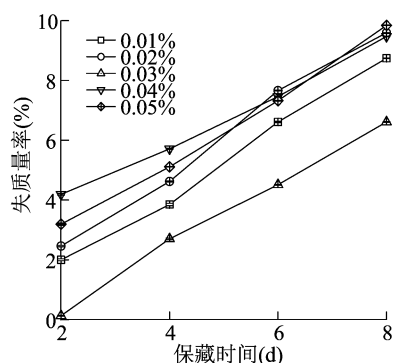


图9 没食子酸浓度对鸡肉失质量率的影响

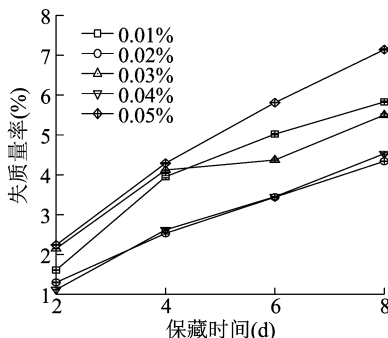


图10 *D*-异抗坏血酸钠浓度对鸡肉失质量率的影响

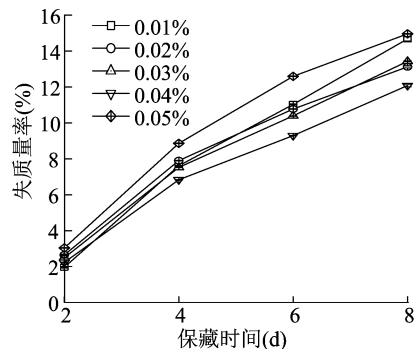


图11 TBHQ 浓度对鸡肉失质量率的影响

酚组和没食子酸组的失质量率相对略高,并高于对照组,这是因为综合考虑抗氧化和保水后,这3种抗氧化剂所选浓度具有更为突出的抗氧化能力。*D*-异抗坏血酸钠可有效降低冷鲜鸡肉的失质量率,提示同为盐类的*D*-异抗坏血酸钠与CMC有较好交互作用。抗氧化剂组与对照组的对比情况见表3、

表4。

由表3可知,与未添加任何抗氧化剂的空白CMC涂膜相比,4种天然抗氧化剂均显示出了突出的抗氧化作用,其中,没食子酸的抗氧化效果最佳。因此,可以认为在涂膜溶液中添加天然抗氧化剂可以很好地增强其抗氧化能力。

表3 涂膜剂对鸡肉TBARS的影响

抗氧化剂	浓度 (%)	硫代巴比妥酸值			
		2 d	4 d	6 d	8 d
生姜提取物	1.00	0.003 ± 0.0005eD	0.044 ± 0.005cC	0.070 ± 0.008dB	0.097 ± 0.007dA
茶多酚	0.03	0.035 ± 0.002bD	0.083 ± 0.007bC	0.098 ± 0.005bB	0.175 ± 0.008bA
没食子酸	0.05	0.010 ± 0.002cD	0.027 ± 0.003eC	0.034 ± 0.004eB	0.086 ± 0.007eA
<i>D</i> -异抗坏血酸钠	0.02	0.007 ± 0.002dD	0.032 ± 0.008dC	0.085 ± 0.005cB	0.122 ± 0.009cA
对照组(CMC)		0.311 ± 0.003aD	0.333 ± 0.005aC	0.348 ± 0.002aB	0.362 ± 0.007aA

由表4可知,与未添加任何抗氧化剂的空白CMC涂膜相比,4种天然抗氧化剂中的*D*-异抗坏血酸钠具有良好的保水性能,其他三者保水能力略

显不足。但与未进行涂膜保护的空白鸡肉相比,由表2可知,所有4组复合可食性涂膜均显示出有效的保水性。

表4 涂膜剂对鸡肉失质量率的影响

抗氧化剂	浓度 (%)	失质量率(%)			
		2 d	4 d	6 d	8 d
生姜提取物	1.00	6.21 ± 0.008aD	6.42 ± 0.007aC	6.78 ± 0.005cB	6.99 ± 0.011cA
茶多酚	0.03	4.15 ± 0.009bD	5.49 ± 0.003bC	8.15 ± 0.021aB	9.06 ± 0.012bA
没食子酸	0.05	3.19 ± 0.039cD	5.11 ± 0.005cC	7.32 ± 0.012bB	9.84 ± 0.008aA
<i>D</i> -异抗坏血酸钠	0.02	1.30 ± 0.010eD	2.53 ± 0.019eC	3.44 ± 0.012eB	4.34 ± 0.007eA
对照组(CMC)		2.57 ± 0.012dD	3.34 ± 0.029dC	4.20 ± 0.017dB	6.24 ± 0.009dA

**2.3.3 亮度值的测定** 由“2.3.1~2.3.2”节可知,在0.4% CMC涂膜剂中添加1.00%生姜提取物、0.03%茶多酚、0.05%没食子酸和0.02%*D*-异抗坏血酸钠,同时显示出了突出的抗氧化性和一定的保水性,因此,在本节中对这些选定涂膜条件下的冷鲜鸡肉的 $L^*$ 进行了测定,结果见表5。

参照NY/T 1333—2007《畜禽肉质的测定》,肉色是肌肉外观评定的重要指标,直接决定消费者对

鸡肉的接受程度,可用色差仪来测定; $L^*$ 为亮度值,根据 $L^*$ 值判断鸡肉肉色。由表5可知,随着时间的延长, $L^*$ 值逐渐减小,其中,*D*-异抗坏血酸钠组相对较小,其肉色较好。与对照组相比,在8d时除*D*-异抗坏血酸钠组外,其他添加天然抗氧化剂组的 $L^*$ 值均有一定升高,但是升高幅度并不显著。

## 2.4 正交试验结果分析

以0.4% CMC为涂膜剂,分别选取1.00%生

表 5 涂膜剂对鸡肉  $L^*$  的影响

抗氧化剂	浓度 (%)	$L^*$ 值			
		2 d	4 d	6 d	8 d
生姜提取物	1.00	62.62 ± 0.837aA	59.25 ± 1.105aB	59.07 ± 1.960aC	57.17 ± 1.063aD
茶多酚	0.03	58.62 ± 3.030bA	58.18 ± 3.970bB	57.31 ± 1.150bC	54.33 ± 1.060bD
没食子酸	0.05	53.01 ± 1.200eA	52.63 ± 1.317dB	51.26 ± 1.077eC	50.94 ± 1.950eD
$D$ -异抗坏血酸钠	0.02	57.35 ± 1.427cA	57.04 ± 0.625cB	51.90 ± 0.370eC	50.29 ± 0.530eD
对照组		56.30 ± 1.009dA	52.10 ± 1.001eB	51.30 ± 1.011dC	50.93 ± 1.008dD

姜提取物、0.03% 茶多酚、0.05% 没食子酸和 0.02%  $D$ -异抗坏血酸钠为单因素条件,以单因素试验添加量的 1/3 为基准,上下浮动取 3 个水平,进行正交试验。因素水平设计见表 6。

表 6 正交试验因素设计

水平	添加量(%)			
	A:生姜提取物	B:茶多酚	C:没食子酸	D: $D$ -异抗坏血酸钠
1	0.20	0.007	0.01	0.004
2	0.30	0.010	0.02	0.007
3	0.40	0.013	0.03	0.010

2.4.1 硫代巴比妥酸值正交试验结果分析 正交试验对鸡肉 TBARS 的影响见表 7。

表 7 TBARS 正交试验结果

试验号	A	B	C	D	吸光度
1	1	1	1	1	0.258
2	1	2	2	2	0.239
3	1	3	3	3	0.310
4	2	1	2	3	0.265
5	2	2	3	1	0.148
6	2	3	1	2	0.186
7	3	1	3	2	0.205
8	3	2	1	3	0.213
9	3	3	2	1	0.148
$k_1$	0.269	0.243	0.219	0.185	
$k_2$	0.200	0.200	0.217	0.210	
$k_3$	0.189	0.215	0.221	0.263	
$R$	0.080	0.043	0.004	0.078	

由表 7 可知,虽然 4 个单因素条件均对冷鲜鸡肉的抗氧化产生影响,但不同因素的影响力却彼此不同,各影响因素的顺序为: $A$ (生姜提取物) $>D$ ( $D$ -异抗坏血酸钠) $>B$ (茶多酚) $>C$ (没食子酸),其中,生姜提取物的浓度是更主要的影响因素,对试验结果影响最显著,而  $D$ -异抗坏血酸钠的浓度对试验结果的影响与其相差较小。通过正交试验所预测到的最优方案为: $A_3D_1B_2C_2$ ,即 0.200% 生

姜提取物、0.004%  $D$ -异抗坏血酸钠、0.010% 茶多酚和 0.030% 没食子酸。

2.4.2 失质量率正交试验结果分析 正交试验对鸡肉失质量率的影响见表 8。

表 8 失重率正交试验结果

试验号	A	B	C	D	失重率 (%)
1	1	1	1	1	5.03
2	1	2	2	2	5.40
3	1	3	3	3	4.74
4	2	1	2	3	6.71
5	2	2	3	1	5.97
6	2	3	1	2	7.63
7	3	1	3	2	5.03
8	3	2	1	3	5.37
9	3	3	2	1	5.56
$k_1$	5.06	5.59	6.01	5.52	
$k_2$	6.77	5.58	5.89	6.02	
$k_3$	5.32	5.98	5.25	5.61	
$R$	1.71	0.40	0.76	0.50	

由表 8 中的极差  $R$  值可知,虽然 4 个单因素条件均对冷鲜鸡肉的抗氧化产生影响,但不同因素的影响力却彼此不同,各影响因素的顺序为: $A$ (生姜提取物) $>C$ (没食子酸) $>D$ ( $D$ -异抗坏血酸钠) $>B$ (茶多酚),其中,生姜提取物的浓度是更主要的影响因素,对试验结果影响最显著。通过正交试验所预测到的最优方案为  $A_1C_3D_1B_2$ ,即 0.400% 生姜提取物、0.020% 没食子酸、0.004%  $D$ -异抗坏血酸钠和 0.010% 茶多酚。

2.4.3 验证性试验 TBARS 与失质量率的正交试验各自最优方案并不完全一致,其中,TBARS 的最优方案为:0.200% 生姜提取物、0.010% 茶多酚、0.030% 没食子酸、0.004%  $D$ -异抗坏血酸钠,而失质量率的最优方案为:0.400% 生姜提取物、0.010% 茶多酚、0.020% 没食子酸、0.004%  $D$ -异抗坏血酸钠;两者差别在于生姜提取物和没食子酸的浓度略有不同。鉴于抗氧化为本研究首要考察

指标,因此选择抗氧化效果最佳方案进行验证试验,在 8 d 时鸡肉的吸光度为 0.143,此时的失质量率为 4.68%,显示出了良好的抗氧化作用和保水能力。因此,在综合考虑硫代巴比妥酸值和失质量率后,最优复合涂膜条件为:0.400% CMC、0.400% 生姜提取物、0.010% 茶多酚、0.020% 没食子酸和 0.004% *D*-异抗坏血酸钠。

### 3 结论

本研究选取了羧甲基纤维素钠为基础涂膜剂,考察了 CMC 浓度对鸡肉保水能力的影响,并进一步考察了 CMC 涂膜复合多种天然抗氧化剂对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水作用,还引入了合成抗氧化剂 TBHQ 进行比较研究。结果表明,0.4% CMC 组与空白鸡肉相比具有良好的保水作用;在复合抗氧化剂后,由于抗氧化剂不同,结果有所差别,其中,生姜提取物、茶多酚、没食子酸和 *D*-异抗坏血酸钠等天然抗氧化剂显示了突出的抗氧化功效。4 种天然抗氧化剂具有一定保水性,其中,*D*-异抗坏血酸钠尤其具有优秀的保水能力,这可能与它是盐类有关。而合成抗氧化剂 TBHQ 不论是抗氧化还是保水性能,均显著弱于天然抗氧化剂。在通过单因素试验确定了天然抗氧化剂的最佳浓度后,通过正交试验确定最佳工艺条件为 CMC 浓度 0.4%,生姜提取物浓度 0.4%、茶多酚浓度 0.010%、没食子酸浓度 0.02% 和 *D*-异抗坏血酸钠浓度 0.004%。本研究所展示的复合天然抗氧化剂 CMC 涂膜可有效降低冷鲜鸡肉的氧化程度和失质量率,在不降低鸡肉感官性状的同时提升了产品的安全性,具有重要的市场应用价值。

### 参考文献:

- [1] 王波,罗海玲. 氧化反应对肌肉滴水损失的影响及抗氧化剂对其调控机制的研究进展[J]. 中国畜牧杂志,2019,55(6):1-5.
- [2] 朱香,林剑军,白卫东. 肉制品天然抗氧化剂的研究进展[J]. 农产品加工,2019(16):53-56.
- [3] 李雪,贺稚非,李洪军. 可食性膜在肉及肉制品保鲜贮藏中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业,2019,45(2):233-239.
- [4] Fishman M L. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities[J]. Food Technology,1997,51:16.
- [5] 张小敏. 天然抗氧化剂与涂膜处理对宣威火腿抗氧化效果的影响[D]. 昆明:云南农业大学,2016.
- [6] 高立红,郑艳. 可食用膜在冷鲜肉保鲜中的应用研究进展[J]. 肉类研究,2017,31(12):56-59.
- [7] 刘可,高峰,刘佳豪,等. 壳聚糖在食品保鲜中的应用研究

- 展[J]. 食品安全导刊,2021(8):16-19.
- [8] 施肇源,柳甜,彭津津,等. 香辛料保鲜液与壳聚糖魔芋葡甘聚糖复合膜在冰鲜鸡肉保鲜中的应用[J]. 食品研究与开发,2018,39(22):157-163.
- [9] 马青青. 海藻酸钠涂膜对冷却鸡胸肉保鲜效果的影响[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [10] Peralta - Ruiz Y, Tovar C D G, Sinning - Mangonez A, et al. Reduction of postharvest quality loss and microbiological decay of tomato "Chonto" (*Solanum lycopersicum* L.) using chitosan - E essential oil - based edible coatings under low - temperature storage[J]. Polymers,2020,12(8):1822.
- [11] Monjazebe Marvdashti L, Abdolmajid Ayatollahi S, Salehi B, et al. Optimization of edible *Alyssum homalocarpum* seed gum - chitosan coating formulation to improve the postharvest storage potential and quality of apricot (*Prunus armeniaca* L.) [J]. Journal of Food Safety,2020,40(4):e12805.
- [12] 何韵晴. 羧甲基纤维素钠复合膜的制备及其在食品保鲜中的应用[D]. 昆明:昆明理工大学,2020.
- [13] Ribeiro J S, Santos M J M C, Silva L K R, et al. Natural antioxidants used in meat products: a brief review[J]. Meat Science,2019,148:181-188.
- [14] 类红梅,罗欣,毛衍伟,等. 天然抗氧化剂的功能及其在肉与肉制品中的应用研究进展[J]. 食品科学,2020,41(21):267-277.
- [15] 朱臻怡,冯民,熊华萱,等. 食品中抗氧化剂的应用及其检测技术研究进展[J]. 化学分析计量,2013,22(5):104-108.
- [16] 杜荣茂,刘梅森,何唯平. 天然功能性食品添加剂茶多酚[J]. 中国食品添加剂,2004(2):56-60.
- [17] 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.
- [18] 霍晓娜,李兴民,谢辉,等. 天然抗氧化剂对控制猪肉脂肪氧化及保鲜效果研究[J]. 食品与发酵工业,2005,31(10):145-148.
- [19] 莎丽娜,李晓波,李秀丽. 三种天然抗氧化剂对冷却羊肉抗氧化效果的比较试验[J]. 肉类工业,2008(1):31-33.
- [20] 姜绍通,吴洁方,刘国庆,等. 茶多酚和大蒜素在冷却肉涂膜保鲜中的应用[J]. 食品科学,2010,31(10):313-316.
- [21] 蒋建平,陈洪,周晓媛. 以茶多酚为主体的抗氧化剂联用对冷却肉保鲜作用的研究[J]. 株洲工学院学报,2005,19(1):17-19.
- [22] 赵莉君,赵改名,李苗云,等. 冷藏调理川香鸡柳生产用抗氧化剂的筛选[J]. 现代食品科技,2020,36(8):160-165,364.
- [23] 付丽,吴丽,胡晓波,等. 三种天然抗氧化剂复合对冻藏牛肉丸抗氧化效果的研究[J]. 现代食品科技,2018,34(3):159-166.
- [24] Ruan C C, Zhang Y M, Sun Y E, et al. Effect of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible coating with epigallocatechin gallate on quality and shelf life of fresh pork [J]. International Journal of Biological Macromolecules,2019,141:178-184.
- [25] 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定:GB 5009.181-2016[S].
- [26] 李磊,崔丽伟,张冉,等. 3 种香辛料精油在牛排涂膜保鲜中的应用研究[J]. 食品科技,2019,44(2):138-142,151.