

半胱氨酸、大豆肽及大豆分离蛋白对添加茶多酚广式腊肠品质的影响

阳运军¹, 聂春霖², 高彤^{1*}, 向君毅^{2,3}, 周永强¹, 林锦¹, 孙为正^{2*}

(1. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442) (2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (3. 清远市食品检验中心, 广东清远 511538)

摘要: 茶多酚 (Tea Polyphenols, TP) 是常用的天然抗氧化剂, 同时具有降低腊肠亚硝酸钠残留的能力, 但 TP 会对广式腊肠品质造成部分负面影响, 如硬度增加和亮度降低。为改善添加 TP 广式腊肠的品质, 本研究在添加 TP 的广式腊肠中加入半胱氨酸 (Cysteine, CYS)、大豆肽 (Soybean Protein Peptide, SPP) 及大豆分离蛋白 (Soybean Protein Isolation, SPI) 等含游离巯基的组分, 研究其对广式腊肠的物理性质、色泽、感官品质和亚硝酸盐残留的影响, 探讨 CYS、SPP 和 SPI 对添加 TP 广式腊肠的品质改善作用。结果表明, 与 TP 复合添加后, SPP 和 CYS 使添加 TP 腊肠的硬度由 9 692.25 g 降低至 7 563.41 g 和 9 093.84 g, 此外 SPP 还能提高的腊肠 a^* 值和 b^* (分别为 10.42 的和 8.44)。在感官特性上, SPI 和 CYS 的添加使含茶多酚腊肠的红度评分由 4.75 显著增加至 6.25 和 5.85。同时, 添加 CYS、SPP 或 SPI 不会降低 TP 降低亚硝酸钠的能力, 而 TP 和 CYS 复合添加处理组的亚硝酸盐残留最低, 为 4.40 mg/kg。综上, SPP 和 CYS 对含茶多酚腊肠的质构和色泽具有一定改善作用, 该研究为含茶多酚腊肠的品质改善提供了新的方法。

关键词: 广式腊肠; 茶多酚; 亚硝酸钠

文章编号: 1673-9078(2025)09-289-296

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.0855

Effects of Cysteine, Soybean Peptide or Soybean Protein Isolate on the Quality of Cantonese Sausages with Added Tea Polyphenols

YANG Yunjun¹, NIE Chunlin², GAO Tong^{1*}, XIANG Junyi^{2,3}, ZHOU Yongqiang¹, LIN Jin¹, SUN Weizheng^{2*}

(1. Guangzhou Restaurant Enterprises Group Likofu Foodstuff Co. Ltd., Guangzhou 511442, China)

(2. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(3. Qingyuan Food Inspection Center, Qingyuan 511538, China)

Abstract: Tea polyphenols (TP) are commonly used natural antioxidants, and possess the capability to reduce sodium nitrite residuals in sausages. However, TP may cause some negative effects on the quality of Cantonese sausages, such as hardness increase and brightness decrease. To improve the quality of Cantonese sausages with added TP, this study added cysteine (CYS), soybean peptide (SPP) and soybean protein isolate (SPI) to the sausages, and studied the effects of CYS, SPP and SPI on the physical properties, color, sensory quality and nitrite residue of Cantonese sausages. The results showed that after composite addition of TP, SPP and CYS, the hardness of TP-added sausages decreased from 9 692.25 g to 7 563.41 g and 9 093.84 g, and SPP could also improve the a^* value and b^* (10.42 and 8.44) of the sausages. In terms of sensory characteristics, the addition of SPI and CYS significantly increased the redness score of the sausages from 4.75 to 6.25 and 5.85. At the same time, the addition of CYS, SPP or SPI did not reduce the ability of TP to reduce sodium nitrite, while the composite addition of TP and CYS resulted in the lowest nitrite residue, 4.40 mg/kg. In conclusion, SPP and CYS have a certain improvement effect on the texture and color of tea polyphenol-added sausages, and this study provides a new method for the quality improvement of tea polyphenol-added sausages.

引文格式:

阳运军, 聂春霖, 高彤, 等. 半胱氨酸、大豆肽及大豆分离蛋白对添加茶多酚广式腊肠品质的影响[J]. 现代食品科技, 2025, 41(9): 289-296.

YANG Yunjun, NIE Chunlin, GAO Tong, et al. Effects of cysteine, soybean peptide or soybean protein isolate on the quality of cantonese sausages with added tea polyphenols [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(9): 289-296.

收稿日期: 2024-06-16; 修回日期: 2024-09-25; 接受日期: 2024-09-29

基金项目: 广州市科技计划项目 (202206070052); 清远市科技计划项目 (2022KJJH018; 2021SJXM032); 企事业委托项目 (利口福 (合)-31-C-2020-026)

作者简介: 阳运军 (1973-), 男, 研发工程师, 研究方向: 广式腊味及休闲肉制品工艺创新, E-mail: 3091576351@qq.com

通讯作者: 高彤 (1990-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 食品工艺工程, E-mail: 1361427505@qq.com; 共同通讯作者: 孙为正

(1983-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品蛋白质化学与营养, E-mail: fewzhsun@scut.edu.cn

as increased hardness and decreased brightness. To improve the quality of TP-added Cantonese sausages, an ingredient containing free sulfhydryl groups, such as cysteine (CYS), soybean protein peptide (SPP) or soybean protein isolate (SPI) was added into the TP-added Cantonese sausages. The impacts of these added ingredients on the physical properties, color, sensory quality, and nitrite residue content of the sausages were investigated in this study, and the role of CYS, SPP or SPI in improving the quality of TP-added Cantonese sausages was also explored. The results showed that after the combined addition of TP, the addition of SPP or CYS decreased the hardness of TP-added sausage from 9 692.25 g to 7 563.41 g and 9 093.84 g, respectively, and with the addition of SPP increased the a^* (10.42) and b^* (8.44) values of the TP-sausage. In terms of sensory characteristics, the addition of SPI or CYS significantly increased the redness score of TP-sausage from 4.75 to 6.25 and 5.85, respectively. Meanwhile, the addition of CYS, SPP or SPI did not reduce the ability of TP to reduce sodium nitrite, with the combination of TP and CYS resulting in the lowest nitrite residue content (4.40 mg/kg). In conclusion, SPP and CYS can improve the texture and color of TP-sausage to certain extents. This study provides a new approach for improving the quality of TP-sausage.

Key words: Canton sausage; tea polyphenols; nitrite residue

广式腊肠是中国岭南地区的传统肉制品，具有外形美观、口感醇厚和色泽鲜艳等特点，深受消费者喜爱^[1]。但是，广式腊肠在加工和储藏过程中容易发生脂质氧化，造成过氧化值和羰基价的升高，从而影响腊肠的品质和安全。为提高肉制品的色泽和防腐效果，肉制品生产过程中通常添加亚硝酸盐，而该类物质被报道具有潜在食品安全风险^[2,3]。因此，肉制品加工中常通过添加抗氧化剂、亚硝酸钠替代物等方法抑制脂质氧化、降低亚硝酸钠残留^[4]。

茶多酚 (Tea Polyphenols, TP) 是茶叶中含有一类多酚化合物，具有良好的抗氧化和抑菌作用。近年来，由于对合成抗氧化剂安全性的担忧，TP 被作为天然抗氧化剂广泛应用于肉制品的氧化调控^[4]。研究表明，TP 具有降低肉制品亚硝酸盐残留和抑制亚硝胺形成的潜在作用^[5,6]。然而，TP 也被报道出对肉制品品质的不利影响，如可以通过与肌原纤维蛋白相互作用而影响肉制品的硬度、色泽和风味^[7,8]。这种相互作用包括非共价相互作用和共价相互作用。非共价相互作用主要包括静电力、氢键、疏水作用等，共价相互作用主要为 Michael 加成反应、Schiff 碱反应等^[9]。其中，当 TP 被氧化为邻苯醌后，与蛋白质侧链的亲核基团发生的 Michael 加成反应对肉制品物性和品质具有重要的影响^[9]。一些研究者通过环状糊精包埋^[10]、焦磷酸钠改良^[11]等方法尝试控制多酚对肌原纤维蛋白凝胶的不利影响，但目前研究主要集中在肌原纤维蛋白模拟体系中。

同时，不同的食品添加剂也具有改善添加茶多酚的腊肠品质的潜力。如大豆分离蛋白 (Soybean

Protein Isolation, SPI) 具有优异的凝胶性和乳化性，常添加至肉制品中以提高肉制品出品率，改善肉制品品质。大豆肽 (Soybean Protein Peptide, SPP) 是大豆分离蛋白经酶解改性或微生物发酵后得到的小分子肽，相比大豆分离蛋白具有更好的溶解性、消化吸收性和生物活性^[12]。L-半胱氨酸 (L-cysteine, CYS) 是一种含有游离巯基的氨基酸，可作为肉制品风味增强剂和抗氧化剂^[13]。这些食品组分都含有亲核基团，如巯基、氨基等，可与茶多酚发生共价相互作用^[14]，从而减少茶多酚与肌原纤维蛋白之间的共价相互作用，具有改善肉制品中多酚带来的负面影响的潜力。因此，为降低茶多酚对广式腊肠的负面影响，本文以 SPI、SPP、CYS 和添加茶多酚的广式腊肠为研究对象，探讨它们对添加茶多酚的广式腊肠的品质影响，开发简便且经济的控制茶多酚负面影响的方法。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

食品级茶多酚 (484 mg gallic acid equivalent/g)、L-半胱氨酸，山东齐鲁生物科技有限公司；SPI，临沂山松生物制品有限公司；Alcalase 2.4 L，诺维信 (中国) 生物技术有限公司；北京二锅头酒 (53%vol)，北京七星酒业有限责任公司；红棉精制白砂糖，广州华糖食品有限公司；加碘雪晶盐，广东省广盐集团有限公司；亚硝酸钠，四川金山制药有限公司；胶原蛋白肠衣 20~21 mm 人造肠衣，梧州神冠蛋白肠衣有限公司；猪肥膘、猪后腿肉，华

南理工大学后勤集团；盐酸萘乙二胺、与对氨基苯磺酸，上海麦克林生化科技股份有限公司；冰乙酸，购于天津市大茂化学试剂厂；乙酸锌，购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

FW100 高速粉碎机，天津市泰斯特仪器有限公司；Tenfly12 型绞肉机，腾辉电器有限公司；7 L 灌肠机，瑞安市广丰机械厂；DGX-9843B-2 电热鼓风干燥箱，上海福玛实验设备有限公司；UV1800 紫外-可见分光光度计，日本岛津公司；TA-XT plus 物性测定仪，英国 Stable Micro Systems 有限公司；Aqualab 4TE DUO 水分活度仪，培安（PYNNE CORP）有限公司；WSC-2B 便携式精密色差仪，上海仪电分析仪器有限公司；NMI20-040H-I 核磁共振成像分析仪，苏州纽迈分析仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 大豆肽的制备

使用 Acalase 酶酶解 SPI 制备 SPP。制备条件如下：料液比 1:10 (*m:m*)，使用 1 mol/L HCl 或 NaOH 调节酶解 pH 值为 8.5，酶解温度 50 ℃，加酶量为 0.8% (*m/m*)，酶解时间为 8 h。酶解过程结束后沸水浴 15 min 灭酶，酶解液于 8 000 g 离心 20 min，取上清液 50 ℃减压蒸馏浓缩后，冻干浓缩液得到酶解产物。

1.3.2 广式腊肠的制备

表 1 不同处理组广式腊肠配方 (g/kg)

	TP	CYS	SPP	SPI
blank	0	0	0	0
CYS	0	0.3	0	0
CYS-TP	0.3	0.3	0	0
SPP	0	0	1.5	0
SPP-TP	0.3	0	1.5	0
SPI	0	0	0	15
SPI-TP	0.3	0	0	15
TP	0.3	0	0	0

广式腊肠参照陈瑞霞^[1]的配方进行制备，每 500 g 肉的腊肠配料如下：350 g 猪后腿肉、150 g 猪

肥膘、17.5 g 食盐，60 g 糖，0.6 g 味精，0.1 g 亚硝酸钠，20 g 白酒和 100 g 水，配料混匀后进行灌肠、扎绳，随后于电热鼓风干燥箱中 50 ℃烘干 72 h 后得到腊肠成品。结合 SPI、SPP、CYS 在腊肠中的常用添加量合国家标准使用限量，SPI、SPP、CYS 和茶多酚添加量见表 1 所示，添加量以肉基计算。

1.3.3 水分含量和水分活度的测定

参照 GB5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[15]中的第一法直接干燥法测定广式腊肠水分含量。将腊肠粉碎后，使用 Aqualab 4TE DUO 水分活度仪测定广式腊肠水分活度。

1.3.4 蛋白含量的测定

称取约 0.5 g 粉碎后的腊肠样品，使用凯氏定氮法测定腊肠蛋白质含量。计算腊肠蛋白含量时 R 值取 6.25。

1.3.5 腊肠低场核磁共振波谱的测定

参考邱舒娴等^[8]的方法，将腊肠切成 2 cm 高圆柱体，使用 NMI20-040H-I 核磁共振成像分析仪测定广式腊肠的横向弛豫时间 (T_2)。采用 CPMG 模式，40 mm 探头，参数设置为：W=200 kHz，TW=7 000 ms，NS=8，TE=0.200 ms，NECH=4 000。

1.3.6 腊肠物性测定

参考邱舒娴等^[8]的方法，将腊肠切成 2 cm 高圆柱体。使用 TA-XT plus 物性测定仪进行物性测定，使用 P36R 探头和 TPA 模式进行测定。测定参数为：测前速度 1.0 m/s，测中速度和测后速度均为 2.0 m/s，压缩比为 30%。

1.3.7 腊肠色度的测定

使用色差仪测定粉碎后腊肠的亮度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*) 值，以白板校准色度计，样品填满测试皿中，重复测定三次。

1.3.8 腊肠感官特性的测定

参考邱舒娴等^[8]的感官评价方法，以空白样品为 5 分对照样品，选取 10 名具有感官分析经验的科研人员对腊肠的红度、组织状态、酒香、咸味和硬度进行 0~10 分的评价。优质的腊肠应具有以下特性：瘦肉鲜红，枣红或玫瑰红色，红白分明，有光泽；肠体干爽，呈完整的圆柱形，表面有自然皱纹，断面组织紧密；气味上酒香浓郁、醇香芬厚；咸、甜味协调；硬度适中有嚼劲。

1.3.9 腊肠亚硝酸盐残留的测定

参照 GB 5009.33-2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》^[16]中的第二分光光度法测定腊肠中亚硝酸盐的含量。

1.3.10 数据分析

使用 SPSS 21 中的单样本 *t* 检验和 Duncan 检验比较实验结果在 $P<0.05$ 水平上的显著差异。每组实验至少三次平行。使用 Origin 2021 进行数据可视化。

2 结果与讨论

2.1 腊肠水分含量、水分活度及蛋白含量变化

表 2 显示了不同处理组腊肠的水分含量和水分活度。结果表明，TP 的添加降低了广式腊肠的

水分含量和水分活度，这可能是由于 TP 与肌原纤维蛋白相互作用，降低了肉制品的持水性和凝胶性^[17]，导致添加 TP 广式腊肠在烘干过程中水分迁移更快，丧失更多水分，含水率降低，同时水分活度降低。Jongberg 等^[18]也发现绿茶多酚降低了肉糜的乳化特性，增加了肉糜的蒸煮损失。与空白组相比，SPI 组水分活度显著降低 ($P<0.05$)，添加 SPI 可以增加肉制品的蛋白质含量，提高肉制品保水性，蛋白含量的增加导致蛋白对水的束缚增加，限制了水分的自由度，水分活度降低。添加 CYS 和 SPP 后，腊肠的水分含量和空白组相比无显著差异 ($P>0.05$)，同时 CYS 和 SPP 的添加也未显著提高添加 TP 广式腊肠的含水率 ($P>0.05$)。这可能是由于 CYS 和 SPP 与 TP 之间的相互相互作用不足以抵消 TP 与肌原纤维蛋白之间的共价相互作用，或者 CYS 和 SPP 本身也与肌原纤维蛋白发生了一定程度的相互作用。

表 2 腊肠水分含量、水分活度和蛋白含量
Table 2 Moisture content, water activity and protein content of sausages

组别	blank	CYS	CYS-TP	SPP	SPP-TP	SPI	SPI-TP	TP
水份含量/%	13.27 ± 0.91 ^b	12.9 ± 0.37 ^{ab}	12.27 ± 0.36 ^a	12.47 ± 0.22 ^{ab}	12.72 ± 0.20 ^{ab}	13.27 ± 0.33 ^b	13.03 ± 0.33 ^{ab}	12.65 ± 0.60 ^{ab}
水份活度	0.636 1 ± 0.003 3 ^c	0.625 6 ± 0.001 3 ^b	0.624 1 ± 0.002 2 ^b	0.611 4 ± 0.007 8 ^a	0.624 6 ± 0.000 8 ^b	0.614 6 ± 0.004 4 ^a	0.625 2 ± 0.004 2 ^b	0.609 2 ± 0.000 4 ^a
蛋白含量/%	22.89 ± 0.69 ^{bc}	24.07 ± 0.68 ^{cd}	21.39 ± 0.39 ^a	22.62 ± 0.10 ^{ab}	22.32 ± 0.98 ^{ab}	24.52 ± 0.06 ^d	25.10 ± 0.03 ^d	23.01 ± 0.33 ^{bc}

注：表中同一行不同的小写字母表示样品间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

表 3 不同广式腊肠T₂弛豫时间及峰面积占比
Table 3 T₂ relaxation time and peak area proportion of different Cantonese sausages

组别	T _{21a} /ms	T _{21b} /ms	T ₂₂ /ms	T ₂₃ /ms	A ₂₁ /%	A ₂₂ /%	A ₂₃ /%
blank	0.19 ± 0.04 ^a	2.99 ± 0.10 ^{dc}	86.25 ± 4.67 ^b	556.01 ± 36.38 ^{ab}	41.95 ± 1.58 ^d	57.12 ± 1.56 ^a	0.76 ± 0.04 ^{cd}
CYS	0.17 ± 0.02 ^a	2.67 ± 0.11 ^b	80.14 ± 3.38 ^a	525.77 ± 41.28 ^a	40.86 ± 1.28 ^{cd}	58.36 ± 1.27 ^{ab}	0.78 ± 0.02 ^d
CYS-TP	—	3.02 ± 0.14 ^{ef}	85.60 ± 5.41 ^b	599.12 ± 54.19 ^{bc}	35.77 ± 0.64 ^a	63.46 ± 0.65 ^d	0.77 ± 0.02 ^d
SPP	—	2.53 ± 0.09 ^a	85.93 ± 5.18 ^b	614.73 ± 65.28 ^c	38.63 ± 0.90 ^b	60.67 ± 0.90 ^c	0.70 ± 0.03 ^a
SPP-TP	—	2.88 ± 0.12 ^{cd}	86.48 ± 4.52 ^b	613.07 ± 45.53 ^c	37.20 ± 1.13 ^b	62.06 ± 1.12 ^c	0.74 ± 0.02 ^{bc}
SPI	—	2.79 ± 0.18 ^c	88.30 ± 5.63 ^b	622.00 ± 53.54 ^c	40.07 ± 0.81 ^c	59.20 ± 0.81 ^b	0.73 ± 0.02 ^b
SPI-TP	—	3.12 ± 0.16 ^f	85.34 ± 4.93 ^b	604.79 ± 43.67 ^c	37.58 ± 1.30 ^b	61.68 ± 1.31 ^c	0.74 ± 0.02 ^{bc}
TP	0.20 ± 0.05 ^a	2.82 ± 0.15 ^c	80.97 ± 6.56 ^a	549.25 ± 68.85 ^a	37.98 ± 3.48 ^b	61.21 ± 3.46 ^c	0.81 ± 0.04 ^c

注：“—”表示未检出。

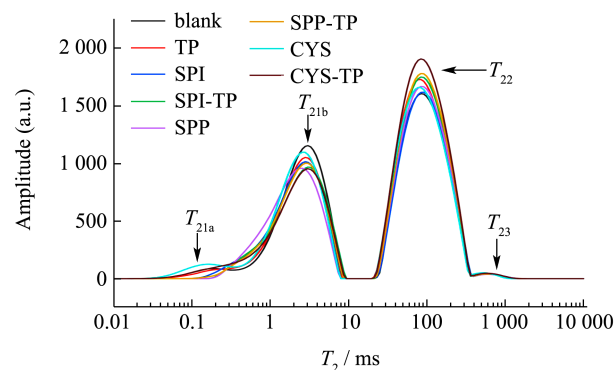


图 1 不同广式腊肠核磁共振波谱图

Fig.1 Low-field nuclear magnetic resonance spectra of different Cantonese sausages

2.2 腊肠低场核磁共振波谱

不同处理组的腊肠水分分布变化和磁场核磁共振波谱图见表 3 和图 1。低场核磁共振波谱可以通过腊肠中的水分子的弛豫时间，来反映腊肠中水分子的状态和分布。根据弛豫时间的不同，可将食品中的水分为结合水（ T_{21} ，0~10 ms）、不易流动水（ T_{22} ，100~1 000 ms）和游离水（ T_{23} ，1 000~10 000 ms）^[19]。现有研究已经表明，TP 和肉蛋白相互作用，将导致蛋白对水的结合能力降低，结合水含量减少^[6]。在本实验中，与空白组相比，TP 的添加显著降低（ $P<0.05$ ）了广式腊肠结合水的占比，结合水峰面积由 41.95% 降低至 37.98%，同时显著增加了（ $P<0.05$ ）不易流动水占比，不易流动水峰面积占比由 57.12% 增加至 61.21%，不易流动水 T_{22} 峰顶点时间显著降低（ $P<0.05$ ），与食品基质结合强度增加，说明 TP 的添加导致腊肠结合水向不易流动水转化，这可能是因为 TP 和肉蛋白相互作用，从而导致蛋白对水的结合能力降低，结合水含量减少。同时，与 TP 组相比，SPP、SPI 的添加使腊肠的结合水含量降低，不易流动水含量增加，对添加 TP 腊肠水分分布并没有显著改善作用。而与 TP 组相比，CYS 的添加也未显著提高（ $P>0.05$ ）TP 导致的腊肠水分含量。表明三种添加物和 TP 复配，并没改善腊肠的水分分布情况。

2.3 不同处理组腊肠色度变化

腊肠的色度是影响消费者选择的重要因素。腊肠的色度测定结果如表 4 所示，与空白组相比，TP 显著降低（ $P<0.05$ ）了腊肠的 L^* 值，TP 和 SPP 的添加显著降增加（ $P<0.05$ ）了腊肠的 a^* 和 b^* 值，而 CYS 和 SPI 的添加则降低了腊肠的 a^* 值。

SPI 和 SPI-TP 的添加显著提高了腊肠的 b^* 值。肉制品的红色通常受血红素和肌红蛋白的浓度和氧化-还原状态的影响，特别是亚硝基肌红蛋白的含量^[20]。茶多酚可以通过阻碍肌红蛋白氧化和促进亚硝基肌红蛋白形成的方式增加肉制品的红色^[21]。而加入 SPI 的腊肠会由于 SPI 本身的颜色而导致肉制品颜色变浅^[22,23]。CYS-TP 组 a^* 值却显著低于空白组，但 Miura 等^[21]的研究表明，在 CYS 存在下，儿茶酚结构的多酚可以有效地将高铁肌红蛋白还原为氧合肌红蛋白，从而保持猪肉匀浆的鲜红色。表明肉制品的种类、加工工艺不同，多酚对肉制品的影响也可能存在差异。因此，从肉制品颜色角度，SPP 或 SPI 更适合和 TP 作为复合改良剂添加至广式腊肠中。

表 4 不同广式腊肠的 L^* 、 a^* 和 b^* 值

Table 4 The L^* , a^* and b^* value of different Cantonese sausages

组别	L^*	a^*	b^*
blank	13.27 ± 0.91^c	8.14 ± 0.65^{bc}	6.4 ± 0.85^a
CYS	12.9 ± 0.37^c	7.93 ± 0.3^b	6.37 ± 0.21^a
CYS-TP	12.27 ± 0.36^a	6.57 ± 0.27^a	5.44 ± 0.36^a
SPP	12.47 ± 0.22^{bc}	9.38 ± 1.33^d	7.93 ± 1.66^b
SPP-TP	12.72 ± 0.2^a	10.42 ± 1.65^{dc}	8.44 ± 0.77^b
SPI	13.27 ± 0.33^{bc}	8.09 ± 0.82^{bc}	7.76 ± 0.71^b
SPI-TP	13.03 ± 0.33^{bc}	8.47 ± 1.19^{bcd}	7.62 ± 1.18^b
TP	12.65 ± 0.6^{ab}	9.16 ± 0.88^{cd}	8.36 ± 1.08^b

注：表中同一列不同的小写字母表示样品间差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.4 不同处理腊肠物性变化

不同处理组的物性测定结果如表 5 所示，与空白组相比，TP 组的腊肠硬度显著增加（ $P<0.05$ ），添加 CYS 和 SPI 都导致了腊肠的硬度增加，而添加 SPP 的腊肠硬度降低。这可能是因为，CYS 可能通过增加肌球蛋白的活性巯基和表面疏水性，增加肉制品凝胶特性^[24]，从而增加腊肠硬度。SPI 可以通过填充在肉制品基质的空隙中，从而提高肉制品的硬度^[25]。而小分子的肽可以破坏肌原纤维蛋白的凝胶网络，从而导致肉制品的硬度下降^[26]。与 TP 复合添加后，CYS-TP 组和 SPI-TP 组的腊肠较单纯添加 CYS 或 SPI 的腊肠硬度和咀嚼性降低，而 SPP-TP 处理组腊肠较 SPP 处理组腊肠硬度和咀嚼性略有升高。而 TP 可以在氧化条件下和 CYS 发生迈克尔加成反应，导致 CYS 侧链巯基的损失^[21]。因此

TP 和 CYS 的相互作用可能会减少 TP 和 CYS 与肌原纤维蛋白的相互作用, 导致 CYS-TP 组腊肠较 TP 和 CYS 组显著降低 ($P<0.05$), 而与空白组无显著差异 ($P>0.05$)。

2.5 不同处理组腊肠的感官特性

腊肠感官评定结果如表 6 所示, 感官评价红度结果与色度测定结果基本一致。添加 CYS 和 CYS-TP 组腊肠的红度显著高于 ($P<0.05$) 空白组, 这可能和 CYS 及 CYS-TP 复合物能够将高铁血红蛋白还原为氧合亚铁血红蛋白, 以及能够将高铁肌红蛋白还原为氧合肌红蛋白的能力有关^[21,24]。添加 SPI 腊肠的红度与空白组相比显著降低 ($P<0.05$), 这可能是由于 SPI 自身的颜色以及 SPI 的添加降低了肉蛋白的含量导致的^[25], 但 SPI 和 TP 复合添加时提高了腊肠的红度。此外, 与空白组相比, SPP 也显著增加 ($P<0.05$) 了腊肠的红度。Fan^[6]等也发现绿茶多酚能够增加猪肉肠红度从而增加感官接受度。Jongberg 等^[27]研究表明, 茶多酚可以将博洛尼亚香肠的肉味评分由 0.7 增加至 1.2, 但同时会增加

香肠的辛辣味和陈旧味。但对于广式腊肠, 除色度外, 各处理组腊肠和空白组感官结果无显著差异, 说明各种腊肠具有较高的消费者接受度, 这可能是广式腊肠中高添加量的糖、盐和白酒掩盖了茶多酚带来的不良风味。

2.6 不同处理组亚硝酸钠残留

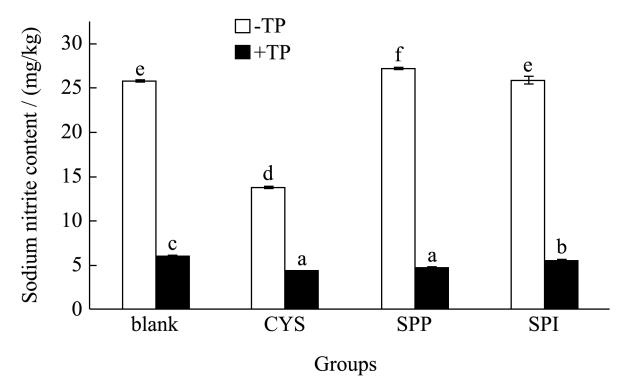


图 2 不同处理组腊肠亚硝酸钠残留量
Fig.2 Sodium nitrite residue of different Cantonese sausage
注: 图中不同的小写字母表示样品间差异显著 ($P<0.05$)。

表 5 不同广式腊肠的质构特性					
Table 5 The texture properties of different Cantonese sausages					
组别	硬度 /g	弹性	内聚性	咀嚼性/(g.sec)	回复性
blank	8 396.50 ± 510.99 ^{ab}	0.76 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.04 ^{ab}	3 531.61 ± 307.52 ^a	0.16 ± 0.02 ^a
CYS	9 093.84 ± 678.80 ^{bc}	0.77 ± 0.03 ^{ab}	0.59 ± 0.02 ^b	4 113.66 ± 349.35 ^b	0.17 ± 0.01 ^a
CYS-TP	8 101.09 ± 796.46 ^a	0.79 ± 0.02 ^b	0.56 ± 0.03 ^{ab}	3 597.25 ± 437.94 ^a	0.17 ± 0.01 ^a
SPP	7 563.41 ± 548.13 ^a	0.77 ± 0.03 ^{ab}	0.55 ± 0.04 ^a	3 195.22 ± 211.95 ^a	0.16 ± 0.02 ^a
SPP-TP	8 223.42 ± 870.76 ^{ab}	0.78 ± 0.05 ^{ab}	0.57 ± 0.04 ^a	3 624.64 ± 500.61 ^a	0.17 ± 0.02 ^a
SPI	10 118.23 ± 1 687.19 ^d	0.76 ± 0.04 ^{ab}	0.55 ± 0.04 ^a	4 243.80 ± 886.48 ^b	0.16 ± 0.02 ^a
SPI-TP	9 497.48 ± 863.89 ^{cd}	0.77 ± 0.03 ^{ab}	0.56 ± 0.03 ^{ab}	4 083.96 ± 516.98 ^b	0.17 ± 0.01 ^a
TP	9 692.25 ± 1 025.22 ^{cd}	0.76 ± 0.01 ^{ab}	0.58 ± 0.04 ^{ab}	4 281.12 ± 589.75 ^b	0.17 ± 0.02 ^a

表 6 不同处理组腊肠的感官特性						
Table 6 Sensory characteristics of different Cantonese sausages						
组别	红度	外观	酯香	咸味	硬度	可接受性
CYS	6.00 ± 1.08 ^{cd*}	5.30 ± 0.71 ^b	4.80 ± 1.38 ^a	5.45 ± 1.01 ^a	5.35 ± 0.91 ^a	4.50 ± 1.22 ^{ab}
CYS-TP	5.85 ± 0.67 ^{cd*}	5.25 ± 0.82 ^{ab}	5.45 ± 0.83 ^a	5.55 ± 1.23 ^a	5.30 ± 0.82 ^a	5.13 ± 0.64 ^a
SPP	6.05 ± 0.72 ^{cd*}	5.00 ± 0.62 ^{ab}	5.25 ± 0.92 ^a	5.35 ± 1.00 ^a	5.10 ± 0.74 ^a	4.69 ± 0.75 ^{ab}
SPP-TP	5.30 ± 0.48 ^{bc}	4.35 ± 1.00 ^a	4.45 ± 0.69 ^a	6.05 ± 1.26 ^a	5.25 ± 0.63 ^a	4.69 ± 0.65 ^{ab}
SPI	3.80 ± 0.82 ^{a*}	4.60 ± 0.99 ^{ab}	4.65 ± 1.11 ^a	5.10 ± 1.51 ^a	5.55 ± 1.21 ^a	4.25 ± 1.71 ^a
SPI-TP	6.25 ± 0.63 ^{d*}	4.90 ± 0.97 ^{ab}	5.20 ± 0.89 ^a	5.20 ± 1.25 ^a	5.65 ± 0.88 ^a	5.69 ± 0.96 ^b
TP	4.75 ± 1.03 ^b	5.20 ± 1.06 ^{ab}	4.95 ± 0.96 ^a	5.25 ± 1.25 ^a	5.55 ± 0.90 ^a	5.00 ± 0.46 ^{ab}

注: * 表示样品与 5 分空白样品存在显著差异。

酚类化合物是食品中常用的降低亚硝酸钠残留、抑制亚硝胺形成的添加剂^[28]。添加 0.3 g/kg 的 TP 可直接将亚硝酸钠残留由空白组的 25.82 mg/kg 降低至 5.99 mg/kg, 同时所有添加 TP 的腊肠处理组的亚硝酸钠残留量均显著低于 ($P < 0.05$) 未加 TP 的处理组, 可能是由于 TP 具有良好的抗氧化活性, 能够和亚硝酸钠反应生成硝酸钠和一氧化氮, 从而降低腊肠中的亚硝酸钠残留^[29,30]。CYS 的添加使腊肠亚硝酸钠残留降低至 13.78 mg/kg, 可能是 CYS 可与亚硝酸钠发生氧化还原反应和取代反应, 降低腊肠中的亚硝酸盐残留, Fox 等^[31]的研究也表明 CYS 可以减少肉制品中 30%~50% 的亚硝酸盐残留。TP-CYS 复合添加处理组具有最低为 4.40 mg/kg 的亚硝酸盐残留。综上所述, SPI、SPP 和 CYS 的添加不会影响 TP 降低亚硝酸盐残留的能力, 同时 CYS 也具有一定的降低亚硝酸盐残留的能力。

3 结论

本文研究了 SPI、SPP 和 L-CYS 对添加 TP 广式腊肠品质的改善。TP 的添加导致腊肠水分含量降低、硬度升高和感官特性中红度的降低。添加 SPI、SPP 和 CYS 等含游离巯基的组分可以部分改善添加 TP 广式腊肠的质构和感官特性。在质构特性上, 与 TP 组相比, CYS 和 SPP 与 TP 复合添加后, CYS-TP 和 SPP-TP 组硬度显著降低, 并和空白组相比无显著差异。在感官特性上, 各处理组在红度以外的感官特性上与空白组无显著差异, 与 TP 组相比 SPI-TP 和 CYS-TP 的腊肠红度显著增加, 验证了这些添加剂在改善腊肠外观上的积极作用。在亚硝酸钠残留上, SPI、SPP 未影响 TP 降低亚硝酸盐残留的能力, 同时 CYS 表现出一定的降亚硝能力, 与 TP 复配可将亚硝酸钠残留降低至 4.40 mg/kg。因此, CYS 在降低腊肠硬度、提高色泽红度和降低亚硝酸盐残留方面表现突出, 是改善添加 TP 广式腊肠品质的理想添加剂。

参考文献

- [1] 陈瑞霞. 淘汰蛋鸡蛋白咸味增强肽的制备及其在广式腊肠中的应用研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2020.
- [2] 任双, 叶浪, 乔晓玲, 等. 天然抗氧化剂替代部分亚硝酸钠对乳化肠护色及抗氧化效果的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(1): 9-15.
- [3] 向荣. 桑椹多酚对广式腊肠品质及其蛋白质氧化调控机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [4] ESTÉVEZ M. Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives [J]. Meat Science, 2021, 181: 108610.
- [5] PANZELLA L, MANINI P, NAPOLITANO A, et al. The acid-promoted reaction of the green tea polyphenol epigallocatechin gallate with nitrite ions [J]. Chemical Research in Toxicology, 2005, 18(4): 722-729.
- [6] FAN W, CHEN Y, SUN J, et al. Effects of tea polyphenol on quality and shelf life of pork sausages [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2014, 51(1): 191-195.
- [7] 曹云刚. 植物多酚对肉蛋白氧化稳定性和功能特性的影响机理及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [8] 邱舒娴, 聂春霖, 阳运军, 等. 不同茶叶提取物对广式腊肠品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 170-176.
- [9] GUO A, XIONG Y L. Myoprotein-phytophenol interaction: Implications for muscle food structure-forming properties [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(3): 2801-2824.
- [10] ROY P, DINDA A K, CHAUDHURY S, et al. β -cyclodextrin encapsulated polyphenols as effective antioxidants [J]. Biopolymers, 2018, 109: e23084.
- [11] CAO Y, MA W, HUANG J, et al. Effects of sodium pyrophosphate coupled with catechin on the oxidative stability and gelling properties of myofibrillar protein [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 104: 105722.
- [12] 田霄艳. 大豆分离蛋白水解物苦味肽的鉴定及掩苦研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2021.
- [13] 刘玉婷, 吴宏伟, 尹大伟, 等. 半胱氨酸在食品中的应用研究[J]. 中国调味品, 2009, 34(12): 33-35.
- [14] QUAN T H, BENJAKUL S, SAE-LEAW T, et al. Protein-polyphenol conjugates: Antioxidant property, functionalities and their applications [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 91: 507-517.
- [15] GB5009.3-2016, 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [16] GB5009.33-2016, 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
- [17] CAO Y, AI N, TRUE A D, et al. Effect of (-)-epigallocatechin-3-gallate incorporation on the physicochemical and oxidative stability of myofibrillar protein-soybean oil emulsions [J]. Food Chemistry, 2018, 245: 7.
- [18] JONGBERG S, DE S TERKELSEN L, MIKLOS R, et al. Green tea extract impairs meat emulsion properties by disturbing protein disulfide cross-linking [J]. Meat Science, 2015, 100: 8.
- [19] ZHANG Z, XIONG Z, LU S, et al. Effects of oxidative modification on the functional, conformational and gelling properties of myofibrillar proteins from Culter alburnus [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 162: 1442-1452.

- [20] SHAHIDI F, AMBIGAIPALAN P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects-A review [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 820-897.
- [21] MIURA Y, INAI M, HONDA S, et al. Reducing Effects of polyphenols on metmyoglobin and the *in vitro* regeneration of bright meat color by polyphenols in the presence of cysteine [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(39): 9472-9478.
- [22] AMBROSIADIS I, VARELTZIS K, DRAGATIDOU E, et al. Soy-proteins-Some technological effects on the fine comminuted Bologna type sausages [J]. Fleischwirtschaft, 1998, 78(12): 1304-1307.
- [23] 石长波,姚恒喆,袁惠萍,等.儿茶素/大豆分离蛋白复合物对猪肉肠品质的影响[J].中国调味品,2021,46(5):60-65.
- [24] ZHU X, NING C, LI S, et al. Effects of L-lysine/L-arginine on the emulsion stability, textural, rheological and microstructural characteristics of chicken sausages [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(1): 88-96.
- [25] 何志勇,安丰富,曾茂茂,等.预乳化大豆分离蛋白对乳化香肠品质的影响[J].食品与发酵工业,2014,40(6):179-182.
- [26] 张祎.商业大豆分离蛋白酶解产物分析及其对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[D].广州:华南理工大学,2021.
- [27] JONGBERG S, TORNGREN 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.
- [28] MARTÍNEZ L, JONGBERG S, ROS G, et al. Plant derived ingredients rich in nitrates or phenolics for protection of pork against protein oxidation [J]. Food Research International, 2020, 129: 108789.
- [29] DENG S, SHI S, XIA X. Effect of plant polyphenols on the physicochemical properties, residual nitrites, and N-nitrosamine formation in dry-fried bacon [J]. Meat Science, 2022, 191: 108872.
- [30] ŠOJIC B, PAVLIĆ B, TOMOVIĆ V, et al. Tomato pomace extract and organic peppermint essential oil as effective sodium nitrite replacement in cooked pork sausages [J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127202.
- [31] FOX J B J, NICHOLAS R A. Nitrite in meat. Effect of various compounds on loss of nitrite [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1974, 22(2): 302-306.