

茶多酚对植物乳杆菌的益生作用 及其在发酵香肠中的应用

江福林¹, 卢云浩², 何强^{1*}

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 610065) (2. 成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106)

摘要: 该研究探讨了不同质量浓度 (0、0.5、1、2、4、6 mg/mL) 的茶多酚对植物乳杆菌生长的影响, 以及其对香肠发酵过程中的乳酸菌数量、水分活度、pH 值、色泽、质构和脂肪氧化程度等理化品质的影响。结果显示, 茶多酚质量浓度为 2 mg/mL 时可显著促进植物乳杆菌的生长, 而当质量浓度增大到 6 mg/mL 时, 则体现出显著的抑制作用。添加 0.2% (m/m) 茶多酚有利于发酵香肠中乳酸菌的生长, 且能够显著降低香肠的 pH 值、硫代巴比妥酸反应物含量 (Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS) 和总挥发性盐基氮含量 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N), 分别为 5.37、0.49 mg/kg 和 13.65 mg/100 g, 提高了发酵香肠的安全性。此外, 添加茶多酚后, 发酵香肠的亮度值 (L^*)、红度值 (a^*) 和黄度值 (b^*) 均显著增加, 而香肠的弹性、内聚性和咀嚼性不受影响。总体而言, 茶多酚对培养基体系和发酵香肠中乳酸菌均具有益生作用, 同时能够提升发酵香肠品质和安全性, 该实验结果可以为茶多酚在香肠和类似发酵食品中的应用提供理论基础。

关键词: 茶多酚; 乳酸菌; 发酵香肠; 益生作用; 脂质氧化

文章编号: 1673-9078(2023)12-151-157

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.12.0051

Probiotic Effect of Tea Polyphenols on *Lactobacillus plantarum* and Their Application in Fermented Sausages

JIANG Fulin¹, LU Yunhao², HE Qiang^{1*}

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

(2. College of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: The growth of *Lactobacillus plantarum* in the presence of tea polyphenols at different concentrations (0, 0.5, 1, 2, 4, and 6 mg/mL) was investigated. The effects on the physicochemical quality of sausage during fermentation, including number of lactic acid bacteria, water activity, pH, color, texture, lipid oxidation, and TVB-N value, were also studied. The results showed that tea polyphenols significantly promoted *L. plantarum* growth at 2 mg/mL but showed a significant inhibitory effect when the concentration was increased to 6 mg/mL. The addition of 0.2% (m/m) tea polyphenols benefited the growth of lactic acid bacteria in fermented sausage; it significantly reduced the pH, contents of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), and total volatile basic nitrogen (TVB-N) with values of 5.37, 0.49 mg/kg and 13.65 mg/100 g, respectively, improving the safety of fermented sausages. Furthermore, the addition of tea polyphenols significantly increased the lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) values of fermented sausage without changing the springiness, gumminess, and cohesiveness. Tea polyphenols exhibit the potential to induce a probiotic effect on lactic acid bacteria in the culture medium system and fermented sausages, thereby enhancing their quality and safety. This study establishes a theoretical foundation for the application of tea phenols in sausage and similar fermented foods.

引文格式:

江福林, 卢云浩, 何强. 茶多酚对植物乳杆菌的益生作用及其在发酵香肠中的应用[J]. 现代食品科技, 2023, 39(12): 151-157

JIANG Fulin, LU Yunhao, HE Qiang. Probiotic effect of tea polyphenols on *Lactobacillus plantarum* and their application in fermented sausages [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12): 151-157

收稿日期: 2023-01-13

基金项目: 四川省重点研发计划项目 (2020YFNO149; 2020YFNO151)

作者简介: 江福林 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 健康食品工程, E-mail: jiangf9116@163.com

通讯作者: 何强 (1971-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工及质量安全, E-mail: heq361@163.com

Key words: tea polyphenols; lactic acid bacteria; fermented sausage; probiotic effect; lipid oxidation

发酵香肠是中国著名的传统肉制品,主要是以猪瘦肉、猪肥膘、盐和香料等为原料,经过微生物发酵而成的肉制品,因独特的风味、质地和丰富的营养而受到消费者的广泛青睐^[1]。早期的发酵香肠是基于原料中天然存在的微生物发酵而成的,难以保证最终产品的质量 and 风味。如今,为确保最终发酵产品的质量,人工控制发酵以及应用商业发酵剂已经是相当普遍的做法^[2]。乳酸菌作为发酵香肠生产中的最重要的发酵剂之一,可以产酸降低产品 pH 值,抑制致病菌和腐败菌的生长,同时使纤维蛋白凝固从而提高最终产品的硬度和内聚性。此外,一些乳酸菌具有脂解和蛋白水解活性,有助于香肠风味和感官品质的形成^[1,3]。

茶多酚具有良好的抗氧化和抗菌作用,已经被广泛应用于发酵食品中,如发酵香肠、火腿等^[4]。此外,一些研究已经证明茶多酚对于某些益生菌(如乳酸菌)的生长表现出促进作用。Tabasco 等^[5]的研究表明,质量浓度为 0.25~1.0 mg/mL 的多酚(包括儿茶素、表儿茶素和黄烷-3-醇)可以有效刺激乳酸菌的生长。Zhang 等^[6]研究发现,乌龙茶多酚有助于增强乳酸菌的代谢能力,产生更多的乳酸。另一方面,当茶多酚的浓度过高时,对乳酸菌也可能表现出广谱的抗菌效果。因此,研究茶多酚益生作用的边界浓度,对于指导茶多酚在发酵食品实际生产中的应用具有重要意义。

本实验研究了不同浓度茶多酚对植物杆菌生长的影响,探究了茶多酚益生作用的边界浓度,并在发酵香肠的生产过程中进一步证明了这种益生作用。通过测定乳酸菌数、pH 值、水分活度(Water Activity, a_w)、色泽、质构、脂质氧化和挥发性盐基氮含量,探讨了益生作用浓度下的茶多酚对发酵香肠理化品质的影响,以期茶多酚在香肠和类似发酵食品中的应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

猪肉和香肠辅料,购于成都沃尔玛超市;植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum* 6253),购于中国工业微生物菌种保藏管理中心;茶多酚(纯度:98%),购于上海源叶生物科技有限公司;三氯乙酸、氯仿、硫代巴比妥酸、乙二胺四乙酸、硼酸、甲基红、亚甲基蓝、碳酸钾、盐酸均为分析纯,购于成都市科龙化工试剂厂;MRS 培养基、MRS 琼脂培养基、乳酸杆菌选择培养琼脂,购于青岛海博生物有限公司。

1.2 主要仪器与设备

ZWY-2102C 恒温培养箱,上海智城分析仪器制造有限公司;HWS-150B 恒温恒湿箱,杭州绿博仪器有限公司;FiveEasy plus pH 计,德国梅特勒托利多公司;S2-A808 绞肉机,济南九阳股份有限公司;Labmaster-aw STANDARD 水分活度仪,瑞士 Novasina 公司;CM-5 色度色差仪,日本柯尼卡美能达公司;TA.XT.plus 质构仪,英国 SMS 公司;Biotek 微孔板检测仪,美国伯腾仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 菌种活化

将植物乳杆菌接种于 MRS 培养基中,在 37 °C 下培养 24 h,反复活化 3 次。实验前用无菌磷酸盐缓冲液(0.01 mol/L PBS, pH 值 6.8)将菌液进行适度稀释,得 0.5×10^8 CFU/mL 的菌悬液。

1.3.2 茶多酚益生效果的测定

称取不同质量的茶多酚溶解于 50 mL MRS 培养基中,得到质量浓度分别为 0、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0 mg/mL 的培养基。将 1 mL 菌悬液接种于该培养基中,于 37 °C、120 r/min 条件下培养 24 h。培养结束后,测定培养基的 pH 值。菌液进行适度稀释后,将稀释菌液均匀涂布于 MRS 琼脂培养基上,37 °C 下培养 48 h 后,进行计数。实验重复三次。

1.3.3 生长曲线的测定

准确称取 0.10、0.20 g 茶多酚溶解于 50 mL MRS 培养基中,得到质量浓度分别为 0、2.0、4.0 mg/mL 的培养基。将 1 mL 植物乳杆菌菌悬液接种于该培养基中,在 37 °C、120 r/min 条件下培养。分别于 0、5、15、20、25、30 h 取样,测定 pH 值和活菌数。

1.3.4 发酵香肠制备

参照文献^[7]的方法,将 800 g 猪瘦肉和 200 g 猪肥膘绞碎,与 25 g 氯化钠、50 g 葡萄糖、0.09 g 亚硝酸钠、0.1 g 抗坏血酸钠、3 g 味精、10 g 白酒和 3 g 混合香料混合,搅拌均匀后灌入天然猪肠衣。实验分组如下:CN 组(自然发酵组);LP 组(植物乳杆菌接种量: 10^7 CFU/g);LPTP 组(植物乳杆菌接种量: 10^7 CFU/g, 0.2% (m/m) 茶多酚添加量)。所有批次的香肠在恒温恒湿箱中风干 1 d (25 °C、30%~50%相对湿度),然后在 25 °C、75%~85%相对湿度下发酵 9 d。在不同发酵时间(0、1、3、6、9 d)对每个处理组的香肠进行取样,以测量乳酸菌数、质构、脂质氧化等

情况。

1.3.5 发酵香肠中乳酸菌数的测定

参照国标 GB 4789.35-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验乳酸菌检验》^[8]进行乳酸菌计数。

1.3.6 发酵香肠 a_w 和 pH 值的测定

a_w 值: 参照赵改名等^[9]的方法测定; pH 值: 使用 pH 计测定^[10]。

1.3.7 发酵香肠色泽和质构的测定

色差值: 参照周垚卿等^[11]的方法测定; 质构: 参照何琪等^[12]的方法测定。

1.3.8 发酵香肠 TBARS 值和 TVB-N 值的测定

TBARS 值: 将 5 g 香肠样品与 25 mL 7.5% (m/V) 的三氯乙酸溶液[含 0.1% (m/V) 乙二胺四乙酸]以 6 000 r/min 混合匀浆 60 s, 然后过滤两次。吸取 3 mL 滤液与 3 mL 硫代巴比妥酸溶液 (0.02 mol/L) 混合均匀后, 于沸水中加热 20 min。空白组与等量三氯乙酸溶液混合。冷却至室温后, 加入 3 mL 氯仿, 混合均匀后以 4 000 r/min 离心 10 min。测量上层清液在 532 nm 和 600 nm 的吸光度, TBARS 值以每千克样品中丙二醛的毫克数 (mg/kg) 表示^[13]。

TVB-N 值: 参照国标 GB 5009.228-2016《食品中挥发性盐基氮的测定》测定^[14]

1.3.9 数据处理

实验结果均以平均值±标准差表示。使用 SPSS 26.0 进行方差分析、显著性分析, $P < 0.05$ 时为差异显著; 使用 Origin 2021 进行相关性分析、绘图。所有实验重复三次, 每个试验设置三个平行样品。

2 结果与分析

2.1 茶多酚对植物乳杆菌生长的影响

不同质量浓度茶多酚对植物乳杆菌生长的影响如图 1 所示。由图 1 可知, 随着茶多酚质量浓度增加, 植物乳杆菌活菌数先增加后减少, 且在 2 mg/mL 时达到最大。与空白组相比, 当茶多酚质量浓度为 2 mg/mL 时, 活菌数增长了 21.39%, 能够明显促进植物乳杆菌生长 ($P < 0.05$)。当茶多酚质量浓度为 6 mg/mL 时, 活菌数则减少了 11.63%, 显著抑制植物乳杆菌的生长 ($P < 0.05$)。以上结果表明在一定浓度范围内, 低浓度茶多酚能够促进植物乳杆菌的生长, 高浓度茶多酚则抑制其生长^[15]。研究表明, 部分乳酸菌能够合成没食子酸酯酶和脱羧酶, 代谢相关酚类物质以刺激生长^[5]。另一方面, 茶多酚对乳酸菌的细胞膜和细胞器具有保护作用, 能够防止膜脂质过氧化和保护膜流动性^[16]。

随着茶多酚质量浓度的增大, 培养基的 pH 值先增加后降低。如图 1 所示, 茶多酚质量浓度为 2 mg/mL 时, 培养基的 pH 值为 3.42, 显著低于空白组, 这是由于低浓度茶多酚能够促进植物乳杆菌生长导致产酸增加, 从而降低 pH 值。Zhang 等^[6]也发现茶多酚有利于乳酸菌产生各种有机酸。

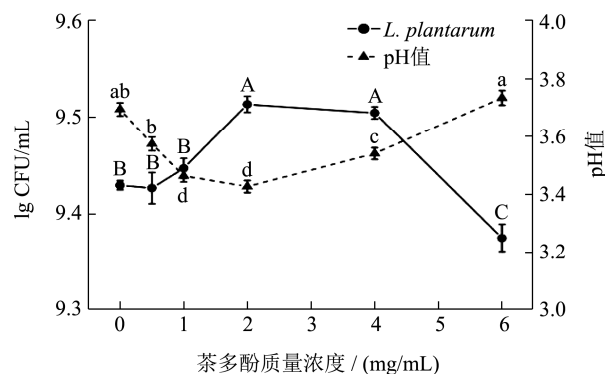


图 1 茶多酚对植物乳杆菌生长和培养基 pH 的影响

Fig.1 Effects of tea polyphenols on the growth of *Lactobacillus plantarum* and pH of medium

注: 不同大写字母表示活菌数显著性差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示培养基 pH 值显著性差异 ($P < 0.05$)。

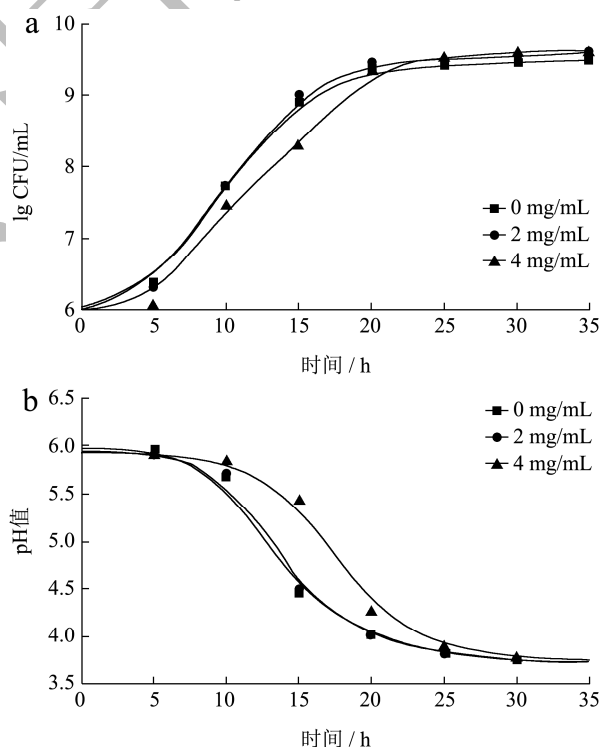


图 2 植物乳杆菌生长曲线 (a) 和培养基 pH 值 (b) 的变化
Fig.2 Changes of growth curve of *Lactobacillus plantarum* (a) and pH of medium (b)

为了进一步说明培养过程中植物乳杆菌活菌数的变化趋势, 研究了茶多酚质量浓度为 0、2、4 mg/mL 时菌株的生长曲线。如图 2 所示, 茶多酚增强了菌株的生长速度和产酸速度, 且稳定期的活菌数高于空白

对照组 ($P < 0.05$)。因此, 以上结果说明茶多酚对植物乳杆菌生长的影响具有浓度依赖性, 即适宜质量浓度的茶多酚促进乳酸菌的生长, 高质量浓度则体现抑菌作用。

2.2 发酵香肠乳酸菌数的变化

在香肠发酵过程中进一步研究了茶多酚对乳酸菌的益生作用, 以探究茶多酚在实际食品生产过程中对产品的质量和安全的影响。发酵香肠的乳酸菌数如图3所示, 接种 10^7 CFU/g 植物乳杆菌后, 香肠在9 d的发酵过程中保持高水平的乳酸菌数量。自然发酵组的乳酸菌数显著增加, 从 $2.81 \lg$ CFU/mL 增长到 $3.62 \lg$ CFU/mL, 但始终显著低于其他两组 ($P < 0.05$)。发酵结束后, LPTP 组的乳酸菌数显著高于 LP 组, 这与 Xiang 等^[17]的研究一致, 添加桑葚多酚的香肠在贮藏期间显示出最高的乳酸菌数量, 这可能是由于多酚可以防止食品基质中的乳酸菌受到氧化损伤和毒性^[15]。这些发现与上述培养基体系的结果一致, 表明在发酵香肠的生产过程中, 茶多酚仍能对乳酸菌发挥益生作用。

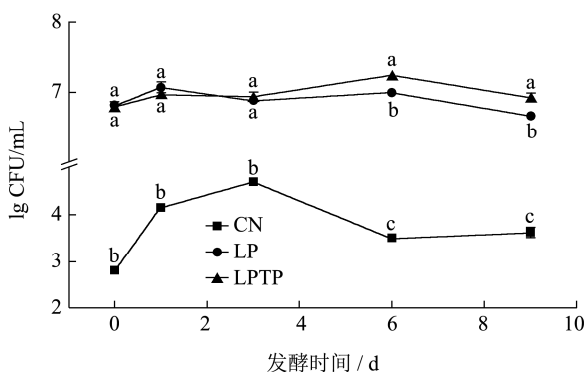


图3 茶多酚对发酵香肠乳酸菌数的影响

Fig.3 Effect of tea polyphenols on the number of lactic acid bacteria in fermented sausage

注: 不同小写字母表示在同一发酵时间不同组有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.3 发酵香肠 a_w 和 pH 值的变化

水分活度对食品贮藏稳定性有重要影响, 较低的水分活度有利于发酵香肠的货架寿命。由图4a可知, 由于水分流失, a_w 在发酵期间不断降低, 从 0.77 下降至 0.65, 但各组之间不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。发酵香肠的 pH 值如图4b所示, 在整个发酵过程中, CN 组的 pH 值稳定在 6.05 左右, 而 LP 组和 LPTP 组的 pH 值不断下降, 最低分别为 5.30 和 5.42, 这是由于乳酸菌在适宜条件下生长繁殖, 不断分解糖类产酸, 导致 pH 值的降低^[9]。发酵 6 d 后, LPTP 组的 pH 值

显著低于 LP 组 ($P < 0.05$), 说明茶多酚可以降低发酵香肠的 pH 值, 这与 Zhang 等^[10]的发现类似, 含有玫瑰多酚的香肠具有较低的 pH 值。较低的 pH 值能抑制发酵香肠中有害微生物的生长, 有利于产品安全^[18]。发酵 9 d 后, LPTP 组的 pH 值有所上升, 可能是由于微生物或酶的作用, 分解蛋白质产生游离氨基酸和胺等碱性物质, 限制了 pH 值降低^[19]。结果表明, 添加茶多酚能够促进乳酸菌发酵产酸, 降低产品 pH 值, 提高发酵香肠的安全性。

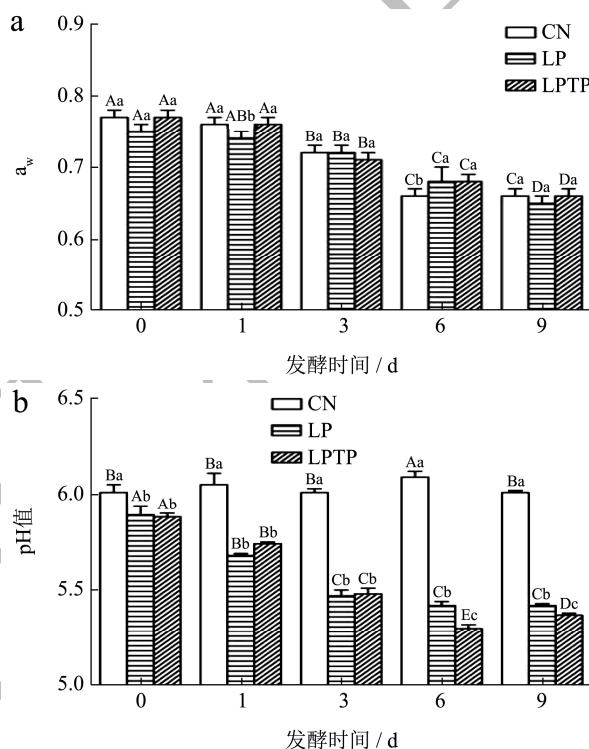


图4 茶多酚对发酵香肠水分活度 (a) 和 pH (b) 的影响

Fig.4 Effects of tea polyphenols on water activity (a) and pH (b) of fermented sausage

注: 不同小写字母表示不同组在同一发酵时间有显著性差异 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示同一组在不同发酵时间有显著性差异 ($P < 0.05$)。下同。

2.4 发酵香肠色泽和质构的变化

发酵过程中香肠的色泽和质构特性变化如表1所示。由表1可知, 发酵过程中各组香肠的 a^* 值不断增加, 而 L^* 、 b^* 值不断降低。发酵结束后, LPTP 组的 L^* 值和 a^* 值分别为 60.61 和 3.70, 均显著高于其他两组 ($P < 0.05$), Nowak 等^[20]也发现樱桃多酚赋予发酵香肠更高的 L^* 值和 a^* 值, 这是因为多酚能抑制肉中肌红蛋白氧化形成棕色的高铁肌红蛋白, 从而起到护色的作用^[21]。同样地, LPTP 组的 b^* 值也显著高于其他两组, 这可能是由茶多酚自身颜色属性导致的。

由表1可知, 三组香肠的硬度、弹性、粘附性、

内聚性和咀嚼性在发酵过程中均不断增加。发酵结束后, 各组的弹性、内聚性和咀嚼性不存在显著性差异 ($P>0.05$)。在硬度方面, 各组大小顺序为: LP>LPTP>CN。LP 组的硬度显著高于 CN 组, 这是因为低 pH 促使溶解的纤维蛋白聚集, 形成有序的蛋白质网络, 从而导致硬度增加^[22]。然而 LPTP 组的硬度显著低于 LP 组, 这可能是因为多酚可以通过与蛋白质相互作用改变香肠的质地^[23]。

2.5 发酵香肠 TBARS 值和 TVB-N 值的变化

脂质在食品中起着关键作用, 脂质过度氧化会产生不良风味物质, 降低产品质量和消费者接受程度。TBARS 值用于评估脂质次级氧化产生的醛类物质的

数量, 能够反映脂质氧化的程度^[24]。由图 5a 可知, 各组香肠的 TBARS 值随着发酵时间的增长而显著升高 ($P<0.05$), 发酵结束时 CN 组、LP 组和 LPTP 组分别为 0.71、0.61 和 0.49 mg/kg。在发酵过程中, 自然发酵组的 TBARS 值显著高于其他两组 ($P<0.05$), 说明乳酸菌能够延缓脂肪氧化^[25]。在香肠发酵过程中, 乳酸菌可以利用过氧化氢酶或超氧化物歧化酶分解过氧化物, 从而降低脂质氧化程度^[9]。此外, 在发酵过程中, LPTP 组的 TBARS 值始终保持最低水平, 说明茶多酚能够增强发酵香肠的抗氧化性, 这可能是因为茶多酚能够清除自由基和螯合金属离子, 阻断脂质氧化反应链, 从而有效抑制脂质氧化进程, 减少氧化产物生成^[11]。

表 1 茶多酚对发酵香肠色泽和质构特性的影响

Table 1 Effects of tea polyphenols on color and texture characteristics of fermented sausage

组别	指标	组别		
		CN	LP	LPTP
0 d	L^*	60.92±0.73 ^a	60.87±0.49 ^a	61.66±1.38 ^a
	a^*	2.11±0.25 ^a	2.00±0.17 ^a	2.29±0.12 ^a
	b^*	4.38±0.36 ^a	4.30±0.51 ^a	4.58±0.08 ^a
	硬度/g	1 070.57±148.48 ^a	1 131.54±11.55 ^a	1 343.85±264.00 ^a
	弹性	0.30±0.01 ^a	0.38±0.04 ^b	0.35±0.03 ^{ab}
	粘附性	0.27±0.06 ^a	0.26±0.01 ^a	0.33±0.03 ^a
	内聚性/g	280.01±20.92 ^a	289.27±2.01 ^a	455.77±13.31 ^b
9 d	咀嚼性	106.37±6.67 ^a	109.08±13.56 ^a	115.54±7.10 ^a
	L^*	57.58±0.78 ^a	58.28±1.03 ^a	60.61±0.14 ^b
	a^*	2.84±0.11 ^a	3.02±0.11 ^a	3.70±0.29 ^b
	b^*	2.47±0.47 ^a	2.61±0.20 ^a	3.57±0.16 ^b
	硬度/g	14 334.16±1 120.42 ^a	17 423.44±417.97 ^b	15 708.29±760.99 ^a
	弹性	0.46±0.05 ^a	0.48±0.03 ^a	0.49±0.03 ^a
	粘附性	0.38±0.02 ^{ab}	0.40±0.03 ^a	0.36±0.01 ^b
9 d	内聚性/g	5 508.15±651.97 ^a	5 934.01±880.38 ^a	5 645.40±359.83 ^a
	咀嚼性	2 533.94±589.62 ^a	2 889.53±590.15 ^a	2 742.05±134.50 ^a

注: 同行不同小写字母表示显著性差异 ($P<0.05$)。

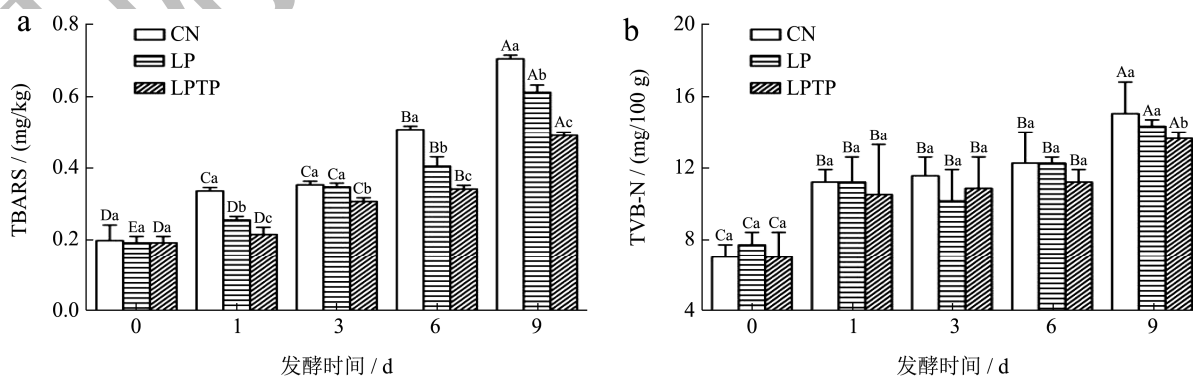


图 5 茶多酚对发酵香肠脂质氧化 (a) 和挥发性盐基氮含量 (b) 的影响

Fig.5 Effects of tea polyphenols on lipid oxidation (a) and the content of volatile base nitrogen (b) of fermented sausage

总挥发性盐基氮被认为是蛋白质和胺类降解的生物标志物,是评价肉类产品新鲜度和保质期的关键指标^[26]。TVB-N 值越高,表明肉制品腐败程度越高。由图 5b 可知,随着发酵时间延长,各组的 TVB-N 值均不断增加。在发酵期间,各组 TVB-N 值的顺序为: CN>LP>LTP,但各组的 TVB-N 值差异不显著 ($P>0.05$)。发酵结束后, LTP 组的 TVB-N 值显著低于其他两组,这可能是由于多酚抑制香肠中腐败微生物的生长繁殖,从而延缓了腐败。

2.6 相关性分析

对发酵香肠的各项指标做了相关性分析,结果如图 6 所示。发酵香肠的乳酸菌数与 L^* 、 a^* 、硬度呈显著正相关,而与 pH 值、TBARS 值呈显著负相关 ($P<0.05$),说明乳酸菌数显著影响香肠的色泽和脂质氧化程度。香肠 pH 值与硬度呈显著负相关、而与 TBARS 值呈显著正相关 ($P<0.05$),表明 pH 越低,氧化程度越轻,但硬度会有所提高。香肠色泽指标 (L^* 、 a^* 、 b^*) 与 TBARS 值呈显著负相关,表明脂质氧化程度对香肠色泽具有重要影响,较低的氧化能赋予产品更好的颜色属性。香肠弹性与内聚性、咀嚼性呈显著正相关 ($P<0.05$)。因此,茶多酚能够促进香肠中乳酸菌的生长,进而对香肠色泽、pH、脂质氧化和质构等属性产生影响。

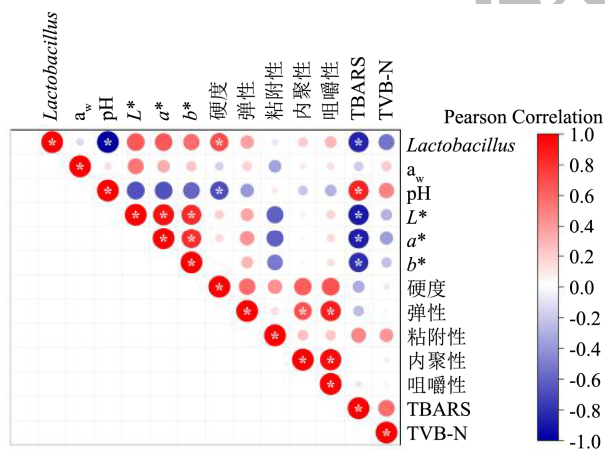


图 6 发酵香肠各项指标相关性分析

Fig.6 Correlation analysis of various indicators of fermented sausage

注: *表示显著性差异 ($P<0.05$)。

3 结论

本文探讨了不同浓度茶多酚对植物乳杆菌的影响及其对发酵香肠理化品质的影响。结果表明,在适宜的浓度下,茶多酚体现出对植物乳杆菌的益生作用,浓度过高则体现抑制作用。在生产发酵香肠的过程中,

茶多酚仍能显著促进植物乳杆菌的生长。此外,茶多酚有效降低了香肠发酵过程中的 TBARS 值和 TVB-N 值,从而延缓脂肪氧化和腐败,并在一定程度上提升了产品的色泽和质量。相关性分析表明,发酵香肠的色泽、pH、质构和脂质氧化等理化品质与乳酸菌数存在一定的关联。这些结果对茶多酚在发酵肉制品中的应用具有重要意义,后续可以进一步探索茶多酚促进植物乳杆菌生长的详细机制以及发酵香肠的风味和代谢物分析,为茶多酚在发酵食品中的应用奠定理论基础。

参考文献

- [1] Cruxen C, Funck G D, Haubert L, et al. Selection of native bacterial starter culture in the production of fermented meat sausages: Application potential, safety aspects, and emerging technologies [J]. Food Research International, 2019, 122: 371-382.
- [2] 王洋. 玫瑰花提取液对发酵香肠品质的影响[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2021.
- [3] Xiao Y, Liu Y, Chen C, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus xylosus* on flavour development and bacterial communities in Chinese dry fermented sausages [J]. Food Research International, 2020, 135: 109247.
- [4] 陈露, 尹礼国, 张超, 等. 茶多酚在发酵食品中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(2): 339-346.
- [5] Tabasco R, Sanchez-Patan F, Monagas M, et al. Effect of grape polyphenols on lactic acid bacteria and bifidobacteria growth: resistance and metabolism [J]. Food Microbiology, 2011, 28(7): 1345-1352.
- [6] Zhang X, Zhu X, Sun Y, et al. Fermentation *in vitro* of EGCG, GCG and EGCG3"Me isolated from Oolong tea by human intestinal microbiota [J]. Food Research International, 2013, 54(2): 1589-1595.
- [7] Hu Y, Zhang L, Zhang H, et al. Physicochemical properties and flavour profile of fermented dry sausages with a reduction of sodium chloride [J]. Lwt, 2020, 124(1): 109061.
- [8] GB 4789.35-2016, 食品安全国家标准食品微生物学检验乳酸菌检验[S].
- [9] 赵改名, 李璇, 祝超智, 等. 牛肉发酵香肠成熟过程中理化性质和微生物菌群变化[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(10): 91-99.
- [10] Zhang Q Q, Jiang M, Rui X, et al. Effect of rose polyphenols on oxidation, biogenic amines and microbial diversity in naturally dry fermented sausages [J]. Food Control, 2017, 78: 324-330.

- [11] 周焱卿,董静雯,李学理,等.茶多酚对不同肥瘦比猪肉的护色作用及差异机制研究[J].食品科技,2020,45(12):98-103.
- [12] 何琪,董怡,邓莎,等.NaCl对腌制兔肉食用品质的影响[J].食品工业科技,2022,43(15):115-122.
- [13] Ying W, Ya Ting J, Jin Xuan C, et al. Study on lipolysis-oxidation and volatile flavour compounds of dry-cured goose with different curing salt content during production [J]. Food Chemistry, 2016, 190: 33-40.
- [14] GB 5009.228-2016,食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定[S].
- [15] Shah N P, Ding W K, Fallourd M J, et al. Improving the stability of probiotic bacteria in model fruit juices using vitamins and antioxidants [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(5): M278-282.
- [16] 王丽,许奇,徐顺,等.茶多酚对微生物生长影响的研究进展[J].现代食品科技,2013,29(7):1737-1741.
- [17] Xiang R, Cheng J, Zhu M, et al. Effect of mulberry (*Morus alba*) polyphenols as antioxidant on physiochemical properties, oxidation and bio-safety in Cantonese sausages [J]. Lwt, 2019, 116: 108504.
- [18] Laranjo M, Potes M E, Elias M. Role of starter cultures on the safety of fermented meat products [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 853.
- [19] Ruiz-Moyano S, Martin A, Benito M J, et al. Application of *Lactobacillus fermentum* HL57 and *Pediococcus acidilactici* SP979 as potential probiotics in the manufacture of traditional Iberian dry-fermented sausages [J]. Food Microbiology, 2011, 28(5): 839-847.
- [20] Nowak A, Czynowska A, Efenberger M, et al. Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products [J]. Food Microbiology, 2016, 59: 142-149.
- [21] Dong J, Zhou Y, Lu Y, et al. Effect of tea polyphenols on the oxidation and color stability of porcine hemoglobin [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(8): 2086-2090.
- [22] Ikonić P, Jokanović M, Petrović L, et al. Effect of starter culture addition and processing method on proteolysis and texture profile of traditional dry-fermented sausage petrovska klobása [J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19(9): 1924-1937.
- [23] Xu Q, Zhou Z, Jing Z, et al. Pine needle extract from *Cedrus deodara*: Potential applications on hazardous chemicals and quality of smoked bacon and its mechanism [J]. Food Control, 2021, 130: 6.
- [24] Abeyrathne E, Nam K, Ahn D U. Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems [J]. Antioxidants, 2021, 10(10): 1587.
- [25] Wang J, Hou J, Zhang X, et al. Improving the flavor of fermented sausage by increasing its bacterial quality via inoculation with *Lactobacillus plantarum* MSZ2 and *Staphylococcus xylosus* YCC3 [J]. Foods, 2022, 11(5): 736.
- [26] Bekhit A E-D A, Holman B W B, Giteru S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 280-302.