

## 湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及其稳定性

宋姗姗, 杨艾华, 王小敏, 龙 婉, 王微微

### Antibacterial Activity and Stability of Polysaccharides from Meitan White Tea on *Staphylococcus aureus*

SONG Shanshan, YANG Aihua, WANG Xiaomin, LONG Wan, and WANG Weiwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050041>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 湄潭白茶多糖提取工艺优化及其抑菌活性研究

Optimization of Extraction Technology of Polysaccharides from Meitan White Tea and Its Antibacterial Activity

食品工业科技. 2021, 42(13): 230-234

#### 合浦珍珠提取物对金黄色葡萄球菌的体外抑菌活性及稳定性研究

Antibacterial Activity and Stability of Hepu Pearl Extracts on the *Staphylococcus aureus* in Vitro

食品工业科技. 2020, 41(14): 108-113

#### 迷迭香酸协同 $\epsilon$ -聚赖氨酸对金黄色葡萄球菌的抑菌机理初探

Primary Exploration on Antibacterial Mechanism of the Combination of Rosmarinic Acid and  $\epsilon$ -polylysine Against *Staphylococcus aureus*

食品工业科技. 2020, 41(14): 192-196,227

#### 大蒜汁对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌食品分离菌株的生长和生物被膜形成的影响

Antibacterial activity of garlic juices against Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*(MRSA) and its effects on biofilm formation

食品工业科技. 2018, 39(9): 102-105

#### 花生壳分级提取物抑菌活性及其稳定性

Antibacterial Characteristics and Stability of Fractionated Extracts from Peanut Hull

食品工业科技. 2020, 41(3): 120-124,130

#### 蒜片加工废水抑菌活性及稳定性初步研究

Preliminary Study on Antibacterial Activity and Stability of Garlic Processing Waste Water

食品工业科技. 2018, 39(13): 51-55,61



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

宋姗姗, 杨艾华, 王小敏, 等. 湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及其稳定性 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 114-119. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050041

SONG Shanshan, YANG Aihua, WANG Xiaomin, et al. Antibacterial Activity and Stability of Polysaccharides from Meitan White Tea on *Staphylococcus aureus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 114-119. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050041

· 生物工程 ·

# 湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及其稳定性

宋姗姗<sup>1</sup>, 杨艾华<sup>1</sup>, 王小敏<sup>1</sup>, 龙 婉<sup>2</sup>, 王微微<sup>1,\*</sup>

(1. 遵义医科大学基础医学院, 贵州遵义 563000;

2. 遵义医科大学药学院, 贵州遵义 563000)

**摘要:**目的: 研究湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的体外抑菌活性及其稳定性。方法: 采用牛津杯法和微量肉汤稀释法测定湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及最小抑菌浓度 (Minimum inhibitory concentration, MIC), 并进一步探讨温度、pH、紫外线照射和金属离子对其抑菌活性稳定性的影响。结果: 湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌具有抑菌活性, 其 MIC 为 8 mg/mL。对湄潭白茶多糖进行抑菌稳定性实验, 以金黄色葡萄球菌的 OD<sub>600</sub> 值为指标进行分析。结果表明, 湄潭白茶多糖在 20~60 °C 时抑菌活性保持稳定, 但经高温 (80~100 °C) 处理后, 抑菌活性略有下降, 相比 4 °C 实验组抑菌活性保留约 45.8%; 在 pH4~10 抑菌活性保持稳定; 经 30 W 紫外线处理 10~50 min 后, 抑菌活性无显著变化 ( $P>0.05$ ); 在 0.1 mol/L Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 处理下, 抑菌活性稳定, 但在 0.1 mol/L Ca<sup>2+</sup> 处理下, 抑菌活性丧失。结论: 湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌具有稳定的体外抑菌活性, 为其作为天然防腐剂的开发提供依据。

**关键词:** 湄潭白茶, 茶多糖, 金黄色葡萄球菌, 抑菌活性, 稳定性

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0114-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050041



本文网刊:

## Antibacterial Activity and Stability of Polysaccharides from Meitan White Tea on *Staphylococcus aureus*

SONG Shanshan<sup>1</sup>, YANG Aihua<sup>1</sup>, WANG Xiaomin<sup>1</sup>, LONG Wan<sup>2</sup>, WANG Weiwei<sup>1,\*</sup>

(1. College of Basic Medical Sciences, Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China;

2. College of Pharmacy, Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China)

**Abstract:** Objective: To study the antibacterial activity and stability of polysaccharides from Meitan White Tea against standard strains of *Staphylococcus aureus* *in vitro*. Method: The minimum inhibitory concentration (MIC) of polysaccharides from Meitan White Tea on *Staphylococcus aureus* was determined by oxford cup test and microdilution broth method. The effects of temperature, pH, ultraviolet and metal ion on the antibacterial activity of polysaccharides from Meitan White Tea were studied. Results: The polysaccharides from Meitan White Tea had significant antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, and the minimum inhibitory concentration was 8 mg/mL. The bacteriostatic stability experiment of MIC was carried out, and the OD<sub>600</sub> value of *Staphylococcus aureus* was used as an index. The results showed that the antibacterial activity of polysaccharides from Meitan White Tea was stable at 20~60 °C, but it decreased slightly after being treated at high temperature (80~100 °C), about 45.8% retained at high temperature compared with 4 °C. The antibacterial activity remained stable at pH4~10. After 30 W ultraviolet treatment for 10~50 min, the antibacterial

收稿日期: 2021-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31860706); 贵州省中医药管理局中医药、民族医药科学技术课题研究资助 (QZYY-2021-004); 遵义市科技局市校联合基金项目 (遵市科合 HZ 字 [2021] 274 号); 遵义医科大学大学生创新创业训练计划 (ZYDC2020109)。

作者简介: 宋姗姗 (1986-), 女, 硕士, 助理实验师, 研究方向: 微生物学, E-mail: 86636356@qq.com。

\* 通信作者: 王微微 (1984-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 微生物学, E-mail: wangww1114@163.com。

activity had no significant change ( $P>0.05$ ). Under the treatment of 0.1 mol/L  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$ , the antibacterial activity was stable, but under the treatment of 0.1 mol/L  $\text{Ca}^{2+}$ , the antibacterial activity was lost. Conclusion: The polysaccharides from Meitan White Tea have stable inhibitory activity against *Staphylococcus aureus in vitro*, which provides a basis for its development as a natural preservative.

**Key words:** Meitan White Tea; tea polysaccharides; *Staphylococcus aureus*; antibacterial activity; stability

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)是引起食品污染和食物中毒的重要和常见细菌<sup>[1]</sup>,该细菌污染食品后,可导致食品腐败变质,降低食用价值,且能产生肠毒素,引起毒素型食物中毒<sup>[2]</sup>。在我国,由金黄色葡萄球菌引起的食物中毒在细菌性食物中毒中占有较大的比例,食物中毒事件时有发生<sup>[3-4]</sup>。由于金黄色葡萄球菌在自然界中无处不在,空气、水、灰尘及人和动物的排泄物中都可找到,食品受到污染的机会很多,因此为保证食品品质以及防腐、保鲜和加工工艺的要求,需在食品中添加防腐剂<sup>[5]</sup>。目前,在食品工业上广泛使用的防腐剂为化学防腐剂,但研究显示,若化学防腐剂用量超过一定限度后可能对人体健康有一定毒副作用<sup>[6-8]</sup>,故来源广泛、种类繁多、安全健康且具有较好抑菌效果的天然防腐剂有望取代化学防腐剂<sup>[9-10]</sup>。

白茶(white tea)属于轻微发酵的茶类,具有外形芽毫完整、汤色淡黄、滋味清纯、香气清雅等品质特点,是我国茶类中的特殊珍品,深受广大消费者的认可<sup>[11-12]</sup>。白茶因其独特的加工工艺,很大程度上保留了茶叶中的营养成分,主要包括初级代谢产物蛋白质、糖类、脂肪以及次级代谢产物多酚类、茶氨酸、生物碱、芳香类等物质<sup>[13-16]</sup>。其中茶多糖(tea polysaccharide)作为茶叶中的多糖类复合物,是仅次于茶多酚的功能性物质<sup>[17-20]</sup>。茶多糖除具有抑菌作用外<sup>[21-22]</sup>,还能清除自由基,提高抗氧化指标,因此将茶多糖用于食品防腐保鲜具有广阔的应用前景。

我国贵州省湄潭县因其具有“低纬度、高海拔、多云雾、少日照、无污染”的地理条件,为白茶的生长提供了优质的条件<sup>[11]</sup>。目前,对茶多糖的研究集中于普洱茶多糖、绿茶多糖、乌龙茶多糖等<sup>[23-25]</sup>,湄潭白茶多糖作为一种安全无毒的活性物质,关于其抗菌性能的研究鲜有报道。因此,本文以湄潭白茶为原材料,通过水提醇沉法制备湄潭白茶多糖,并对湄潭白茶多糖体外抑制金黄色葡萄球菌活性及其稳定性进行研究,为其开发成高效、无毒、稳定的食品天然防腐剂提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

湄潭白茶 购于贵州省湄潭县沁园春茶业,将其在 55 °C 烘箱中烘至恒重,粉碎过筛(40 目),自封袋密封保存;金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, CMCC26003) 遵义医科大学微生物学与免疫学实验室保存;苯酚、浓硫酸、三氯甲烷、正丁醇、无水乙醇、无水葡萄糖、浓盐酸 均为分析纯,成都化学试

剂厂;柠檬酸钠、氯化钠、氯化钙、氯化钾 天津市致远化学试剂有限公司;营养琼脂培养基、营养肉汤培养基 北京奥博星生物技术有限公司;双蒸水 实验室自制。

BCM-1000A 超净工作台 苏州安泰空气技术有限公司;HH-W21·600S 恒温水浴锅、HH-B11·600BY 电热恒温培养箱 上海跃进医疗器械有限公司;TD5M-WS 高速离心机 上海卢湘仪离心机仪器有限公司;101-2AB 电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司;ELx800 酶标仪 美国博腾仪器有限公司;LGJ-10D 真空冷冻干燥机 四环科仪(天津)有限公司;TS-110/LE407 pH 检测仪 上海阔思电子有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 湄潭白茶多糖的制备 准确称取 10.0 g 白茶粉末,按 1:20 g/mL 料液比加入双蒸水,90 °C 水浴中提取 4 h,3500 r/min 离心 15 min 得到粗多糖提取液。按体积比 1:1 加入 Sevage 试剂(氯仿:正丁醇=4:1, v/v),混匀后静置 20 min,上清液即为脱蛋白的多糖提取液。向上述提取液中加入 4 倍体积的无水乙醇,4 °C 静置过夜,3500 r/min 离心 15 min 收集醇沉物。经真空冷冻干燥处理,得湄潭白茶多糖样品。采用苯酚-硫酸法测定多糖含量<sup>[26]</sup>。

1.2.2 葡萄糖标准曲线的制备 取 0.1 g 葡萄糖配制成 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准品溶液,再用蒸馏水调节溶液浓度,配制成系列不同浓度的溶液。在 6 支试管中分别加入不同浓度(0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mg/mL)葡萄糖溶液 1 mL,再各加入 6% 的苯酚水溶液 0.5 mL,迅速加入 5 mL 浓硫酸混匀,沸水浴 15 min 显色,冷水浴冷却,以空白管为对照,在 490 nm 波长下,测定各葡萄糖标准品溶液吸光度,绘制标准曲线,得线性回归方程。

1.2.3 金黄色葡萄球菌的活化及菌悬液的制备 从营养琼脂平板上挑取金黄色葡萄球菌单菌落,接种到 3 mL 新鲜的营养肉汤培养基中,37 °C 180 r/min 振荡培养至对数生长期,调整细菌密度为  $1.5 \times 10^6$  CFU/mL。

1.2.4 湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌体外抑菌活性的测定 采用牛津杯法检测湄潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的体外抑菌活性。取 100  $\mu\text{L}$  菌悬液,均匀涂布于营养琼脂平板上,静置 5 min 后,将已灭菌的牛津杯置于平板表面,轻轻按压固定,分别吸取 100  $\mu\text{L}$  溶液(实验组:100 mg/mL 湄潭白茶多糖溶

液;对照组:无菌双蒸水)加入牛津杯中,每组实验重复3次,37℃培养18h观察抑菌圈的形成,测量抑菌圈直径<sup>[27]</sup>。

**1.2.5 涪潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌最小抑菌浓度(MIC)的测定** 采用微量肉汤稀释法测量涪潭白茶多糖的最小抑菌浓度。将100 μL茶多糖溶液与100 μL菌悬液混合。实验组:不同浓度茶多糖溶液(100、80、60、40、20、10、8、6、4、2、1 mg/mL);阴性对照组:菌悬液100 μL+营养肉汤培养基100 μL。每组实验重复3次,37℃培养18h,随后使用酶标仪检测OD<sub>600</sub>,确定涪潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的MIC<sup>[27]</sup>。

**1.2.6 涪潭白茶多糖抑菌稳定性的测定** 采用 $1.5 \times 10^6$  CFU/mL金黄色葡萄球菌为指示菌、终浓度为8 mg/mL茶多糖溶液进行实验。其中未处理组为未经处理的茶多糖溶液与菌悬液等体积混合;对照组为不加茶多糖溶液的菌悬液。设置3次平行实验,采用96孔板法检测不同条件对白茶多糖抑菌活性的影响。

**1.2.6.1 温度对涪潭白茶多糖抑菌活性的影响** 实验组分别为20、40、60、80和100℃下处理30 min的茶多糖溶液。

**1.2.6.2 pH对涪潭白茶多糖抑菌活性的影响** 实验组分别为使用1 mol/L HCl和1 mol/L NaOH溶液调节pH为4.0、6.0、8.0和10.0的茶多糖溶液。

**1.2.6.3 紫外线照射对涪潭白茶多糖抑菌活性的影响** 实验组分别为30 W紫外灯光下照射10、20、30、40和50 min的茶多糖溶液。

**1.2.6.4 金属离子对涪潭白茶多糖抑菌活性的影响** 实验组分别为使用0.1 mol/L NaCl、KCl和CaCl<sub>2</sub>溶液处理的茶多糖溶液。

## 1.3 数据处理

所有实验数据采用Excel 2019进行图表处理,SPSS 19.0软件进行数据统计和单因素方差分析, $P < 0.05$ ,表明具有显著性差异; $P < 0.01$ ,表明具有极显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 标准曲线的绘制

测定葡萄糖溶液的吸光值绘制标准曲线,如图1所示,在波长490 nm处,每个梯度重复3次取平均值,得到葡萄糖标准曲线,回归方程为 $y = 2.938x + 0.001$ , $R^2 = 0.998$ ,所得葡萄糖标准曲线具有统计学意义。

### 2.2 涪潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的抑菌活性

采用牛津杯法检测涪潭白茶多糖抑菌活性,根据药理学实验方法<sup>[27]</sup>进行判断:抑菌圈直径 $\leq 6$  mm为无抑菌活性, $> 6$  mm判断为有抑菌活性,10 mm $\geq$ 抑菌圈直径 $> 6$  mm视为低度敏感,15 mm $\geq$ 抑菌圈直径 $> 10$  mm视为中度敏感,抑菌圈直径 $> 15$  mm视为高度敏感<sup>[28]</sup>。实验结果显示,100 mg/mL涪潭白

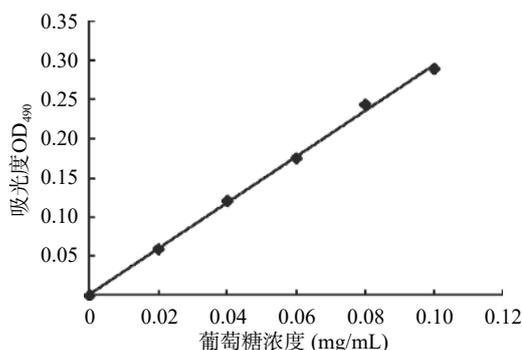


图1 葡萄糖标准曲线

Fig.1 The standard curve of dextrose density

茶多糖溶液对金黄色葡萄球菌具有强抑菌活性,抑菌圈直径为 $(15.51 \pm 0.12)$  mm,为高度敏感。

### 2.3 涪潭白茶多糖 MIC 测定

涪潭白茶多糖 MIC 结果如图2所示。实验组均有细菌生长,通过组间单因素方差分析,与对照组相比,8~100 mg/mL涪潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌生长具有极显著差异( $P < 0.01$ ),且对金黄色葡萄球菌的抑菌效果呈一定的剂量依赖关系。MIC为8 mg/mL。

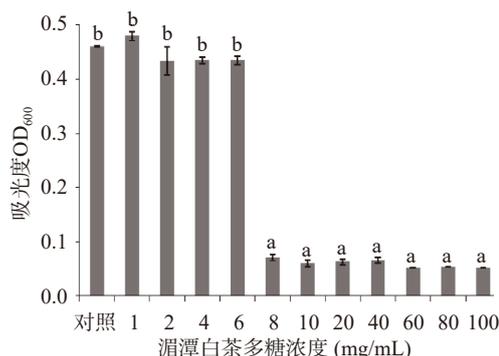


图2 涪潭白茶多糖对金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度  
Fig.2 The MIC of polysaccharides from Meitan White Tea against *Staphylococcus aureus*

注:图中不同小写字母表示差异显著 $P < 0.01$ ;图3~图6同。

### 2.4 涪潭白茶多糖抑菌稳定性

**2.4.1 温度对涪潭白茶多糖抑菌活性的影响** 以金黄色葡萄球菌的OD<sub>600</sub>值为指标探讨茶多糖的抑菌活性<sup>[29]</sup>,吸光度值越低,其抑菌活性越强,结果如图3所示。实验组与未处理组相比较,20~60℃处理30 min,其抑菌活性相对稳定;80~100℃处理30 min,抑菌活性下降明显,大约为未处理组的45.8%,分析原因为温度过高茶多糖易发生分解或转化反应,导致抑菌活性下降<sup>[30]</sup>。但与对照组相比,其他组均具有极显著的抑菌活性( $P < 0.01$ )。表明涪潭白茶多糖具有较好的热稳定性。

**2.4.2 pH对涪潭白茶多糖抑菌活性的影响** 涪潭白茶多糖在pH4~10范围内的抑菌活性结果如图4所示。与未处理组相比,碱性条件下,抑菌活性略有下降,其中pH10处理的茶多糖,其抑菌活性保留约

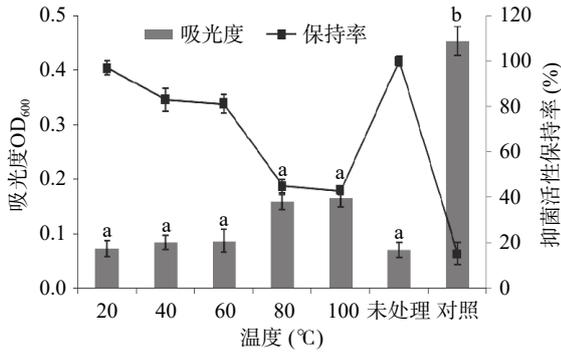


图 3 不同温度对湄潭白茶多糖抗菌活性的影响

Fig.3 Effect of different temperature on the antibacterial activity of polysaccharides from Meitan White Tea

58.5%, 原因可能为茶多糖受到 OH<sup>-</sup>的破坏, 结构发生改变, 从而影响其抑菌性能。但与对照组相比, 其他组均具有极显著抑菌活性(P<0.01)。表明湄潭白茶多糖中的活性物质具有良好的酸碱稳定性。

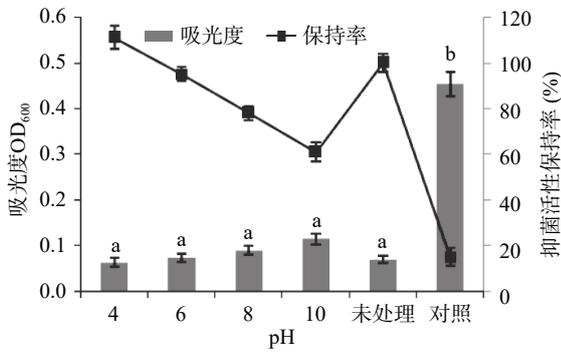


图 4 不同 pH 对湄潭白茶多糖抗菌活性的影响

Fig.4 Effect of different pH on the antibacterial activity of polysaccharides from Meitan White Tea

2.4.3 紫外线对湄潭白茶多糖抑菌活性的影响 湄潭白茶多糖经 30 W 紫外线处理 10~50 min 后, 抑菌活性相对稳定, 结果如图 5 所示。实验组与未处理组相比较, 抑菌活性均保留 80.0% 以上。与对照组相比, 其他组均具有极显著抑菌活性(P<0.01)。说明湄潭白茶多糖中的活性物质能够对抗紫外线的破坏, 保证其在自然环境中也能发挥较好的抑菌活性。

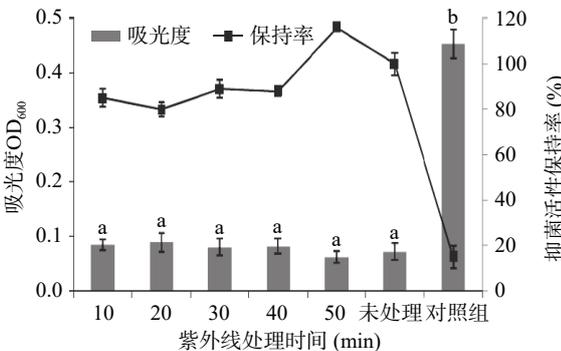


图 5 紫外线对湄潭白茶多糖抗菌活性的影响

Fig.5 Effect of ultraviolet ray on the antibacterial activity of polysaccharides from Meitan White Tea

2.4.4 金属离子对湄潭白茶多糖抑菌活性的影响

如图 6 所示, 与对照组相比, 经 0.1 mol/L NaCl 和 0.1 mol/L KCl 处理的茶多糖, 仍具有较强的抑菌活性, 而经 0.1 mol/L CaCl<sub>2</sub> 处理的茶多糖, 抑菌活性丧失, 分析原因为钙离子与多糖间存在较强的络合作用, 对其结构有一定的影响, 从而使其抗菌活性丧失<sup>[31]</sup>。与未处理组相比较, 经 0.1 mol/L NaCl 和 0.1 mol/L KCl 处理的茶多糖, 抑菌活性无显著差异(P>0.05), 活性均保留 82.0% 以上, 说明湄潭白茶多糖对钠离子和钾离子具有一定的耐受性。

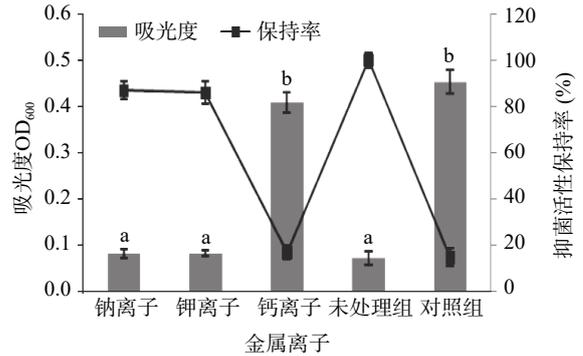


图 6 金属离子对湄潭白茶多糖抗菌活性的影响

Fig.6 Effect of metal ions on the antibacterial activity of polysaccharides from Meitan White Tea

### 3 结论

我国作为茶叶生产大国, 白茶原料来源广泛, 同时, 白茶多糖作为一种植物源天然防腐剂, 提取工艺流程简便, 将其运用到食品防腐保鲜中, 既能够降低食品企业的应用成本, 也利于消费者身体健康。因此, 本研究采用水提醇沉法制备湄潭白茶多糖, 以金黄色葡萄球菌为指示菌, 探讨湄潭白茶多糖的体外抑菌活性及抑菌稳定性。牛津杯实验表明湄潭白茶多糖具有抑菌活性, 微量肉汤稀释法测定其最小抑菌浓度为 8 mg/mL。抑菌稳定性实验表明, 湄潭白茶多糖表现出良好的抑菌稳定性, 对 20~60 °C 不敏感, 耐酸碱, 对紫外线和 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>其抑菌活性比较稳定, 而 Ca<sup>2+</sup>可使其丧失抑菌作用。总体上, 湄潭白茶多糖表现出了良好的体外抑菌活性和稳定性。在后续研究中, 课题组将探讨其抑菌机理和安全性评价, 进一步开发湄潭白茶多糖在食品保藏中的应用, 为我国食品行业的发展及茶叶资源综合利用奠定理论基础。

#### 参考文献

[1] 龙婧, 李婷婷, 王全林, 等. 快速检测金黄色葡萄球菌的一种氮源的酶解优化策略[J]. 微生物学杂志, 2018, 38(3): 29-35.

[2] LONG J, LI T T, WANG Q L, et al. Optimization tactics of enzymatic hydrolysis of nitrogen source for rapid detection of *Staphylococcus aureus*[J]. Journal of Microbiology, 2018, 38(3): 29-35.

[3] 刘骥, 田万帆, 唐俊妮, 等. 热诱导潜在食物中毒威胁源重组 M 型金葡菌肠毒素去折叠及聚合过程的研究 (英文)[J/OL]. 食品科学: 1-18[2021-04-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201229.1111.067.html>.

[4] LIU J, TIAN W F, TANG J N, et al. Thermal-induced unfolding and aggregation process in recombinant

- staphylococcal enterotoxin M (r SEM) associated with potential toxin responsible for staphylococcal food poisoning[J/OL]. Food Science: 1-18[2021-04-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201229.1111.067.html>. ]
- [ 3 ] 马敏. 一起金黄色葡萄球菌肠毒素食物中毒调查分析[J]. 河南预防医学杂志, 2020, 31(12): 931-933. [ MA M. Investigation and analysis of a food poisoning caused by *Staphylococcus aureus* enterotoxin[J]. Henan Journal of Prevention Medicine, 2020, 31(12): 931-933. ]
- [ 4 ] 熊玉华, 王敏, 丁恒, 等. 一起由金黄色葡萄球菌引起食物中毒的调查分析[J]. 临床医学研究与实践, 2018, 3(34): 125-126, 135. [ XIONG Y H, WANG M, DING H, et al. An investigation and analysis of food poisoning caused by *Staphylococcus aureus*[J]. Clinical Research and Practice, 2018, 3(34): 125-126, 135. ]
- [ 5 ] YANG H L, WANG Y R, LIU S Y, et al. Lateral flow assay of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* using bacteriophage cellular wall-binding domain as recognition agent[J]. Biosensors and Bioelectronics, 2021: 182.
- [ 6 ] 周建新. 植物源天然食品防腐剂的研究现状、存在问题及前景[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 263-268. [ ZHOU J X. Reviews on research progresses, actual problem and prospects on natural food preservatives from plant materials[J]. Food Science, 2006, 27(1): 263-268. ]
- [ 7 ] JIANG Y, LI Y. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit[J]. Food Chemistry, 2001, 73(2): 139-143.
- [ 8 ] 张强, 胡维岗, 金新文. 壳聚糖-蒲公英提取物的抑菌活性与稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(20): 150-154. [ ZHANG Q, HU W X, JIN X W. Study on antibacterial activity and stability of chitosan and dandelion extract[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(20): 150-154. ]
- [ 9 ] MARTINEZ J L. Natural antibiotic resistance and contamination by antibiotic resistance determinants: The two ages in the evolution of resistance to antimicrobials[J]. Frontiers in Microbiology, 2012, 3(3): 1-3.
- [ 10 ] YU L, SHI H. Effect of two mulberry (*Morus alba* L.) leaf polyphenols on improving the quality of fresh-cut cantaloupe during storage[J]. Food Control, 2021: 121.
- [ 11 ] 郑思梦, 赵峥山, 武慧慧, 等. 白茶药理作用及保健功效研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(3): 16-18. [ ZHENG S M, ZHAO Z S, WU H H, et al. Research progress on pharmacological action and health efficacy of white tea[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(3): 16-18. ]
- [ 12 ] 欧阳明秋, 傅海峰, 朱晨, 等. 白茶保健功效研究进展[J]. 亚热带农业研究, 2019, 15(1): 66-72. [ OUYANG M Q, FU H F, ZHU C, et al. Research progress on health effects of white tea[J]. Subtropical Agriculture Research, 2019, 15(1): 66-72. ]
- [ 13 ] 汤鸣绍. 中国白茶的起源、品质成分与保健功效[J]. 福建茶叶, 2015, 37(2): 45-50. [ TANG M S. Origin, quality components and health care effect of Chinese white tea[J]. Tea in Fujian, 2015, 37(2): 45-50. ]
- [ 14 ] TANG X H, YAN L F, GAO J, et al. Antitumor and immunomodulatory activity of polysaccharides from the root of *Limonium sinense* Kuntze[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 51(5): 1134-1139.
- [ 15 ] GUO W, ZHOU B X, LUO L, et al. Analysis of monosaccharide composition of puerh tea polysaccharide by pre column derivatization HPLC[J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(4): 556-558, 572.
- [ 16 ] 陈海霞, 谢笔筠. 茶多糖不同提取工艺的比较研究[J]. 食品工业科技, 2001, 22(2): 8-19. [ CHEN H X, XIE M J. Comparative study on different extraction processes of tea polysaccharide[J]. Science and Technology of Food Industry, 2001, 22(2): 8-19. ]
- [ 17 ] CHEN X, WANG Y, WU Y, et al. Green tea polysaccharide-conjugates protect human umbilical vein endothelial cells against impairments triggered by high glucose[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 49(1): 50-54.
- [ 18 ] DU L L, FU Q Y, XIANG L P, et al. Tea polysaccharides and their bioactivities[J]. Molecules, 2016, 21(11): 1449.
- [ 19 ] CHEN G, YUAN Q, SAEEDUDDIN M, et al. Recent advances in tea polysaccharides: Extraction, purification, physicochemical characterization and bioactivities[J]. Carbohydrate Polymers, 2016(153): 663-678.
- [ 20 ] WANG H S, CHEN J R, REN P F, et al. Ultrasound irradiation alters the spatial structure and improves the antioxidant activity of the yellow tea polysaccharide[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021: 70.
- [ 21 ] 蔡鹏, 黄敏桃, 黄云峰, 等. 苦丁茶多糖活性成分动态累积及其抑菌活性[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 43-47. [ CAI J, HUANG M T, HUANG Y F, et al. Dynamic change in bioactive polysaccharides and antimicrobial activity of Kudingcha (*Ilex kudingcha* C. J. Tseng.)[J]. Food Science, 2014, 35(9): 43-47. ]
- [ 22 ] 王贺, 方学智, 杜孟浩, 等. 茶粕多糖纯化及其理化特性、抗氧化和抑菌活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 48-53. [ WANG H, FANG X Z, DU M H, et al. Purification, physicochemical properties, antioxidant and antibacterial activity of polysaccharide from tea seed cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 48-53. ]
- [ 23 ] 丁世环, 张嘉杨, 鲁群岷. 普洱茶茶渣中茶多糖的超声波辅助提取及其抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 193-198, 206. [ DING S H, ZHANG J Y, LU Q M. Ultrasonic assisted extraction and antioxidant activity of tea polysaccharides from Pu'er tea residue[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(18): 193-198, 206. ]
- [ 24 ] 何晓梅, 张颖, 许星云, 等. 低档绿茶多糖的酶法辅助提取及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(10): 153-157. [ HE X M, ZHANG Y, XU X Y, et al. Enzymatic-assisted extraction process and antioxidant activities of tea polysaccharide from low quality green tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(10): 153-157. ]
- [ 25 ] 周向军, 高义霞, 袁毅君, 等. 乌龙茶多糖提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(8): 80-84. [ ZHOU X J, GAO Y X, YUAN Y J, et al. Extraction technology and antioxidant activity of polysaccharide from oolong tea[J]. China Brewing, 2011, 30(8): 80-84. ]

- [26] 宋姗姗, 杨艾华, 王微微, 等. 湄潭白茶多糖提取工艺优化及其抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 230-234. [ SONG S S, YANG A H, WANG W W, et al. Optimization of extraction technology of polysaccharides from Meitan white tea and its antibacterial activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 230-234. ]
- [27] 胡燕敏, 周爱梅, 宋倩, 等. 4 种中草药提取液的工艺优化及其抗菌效果对比[J]. 食品安全质量检测学报, 2017(8): 341-348. [ HU Y M, ZHOU A M, SONG Q, et al. Optimization of 4 kinds of Chinese herbal extracts and comparative study on their antibacterial activity[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017(8): 341-348. ]
- [28] 杜娟, 邹园, 罗秋水. 香水百合总黄酮提取液体外抑菌活性研究[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(14): 2743-2745. [ DU J, ZOU Y, LUO Q S. Study on the antibacterial activity of total flavonoids from *Lilium casa blanca* in vitro[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(14): 2743-2745. ]
- [29] 刘鹏, 刘瑜倩, 兰太进, 等. 合浦珍珠提取物对金黄色葡萄球菌的体外抑菌活性及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 108-113. [ LIU P, LIU Y Q, LAN T J, et al. Antibacterial activity and stability of hepu pearl extract on the *Staphylococcus aureus* in vitro[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(14): 108-113. ]
- [30] 刘艳芳. 赤芝多糖结构和构象表征及其免疫调节构效关系研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [ LIU F. Structure and conformation characterization of polysaccharide from *Ganoderma lucidum* and the structure-activity relationship on immunoregulation[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018. ]
- [31] 伍亚华, 石亚中. 宣木瓜多糖超声波提取工艺的优化及其稳定性研究[J]. 怀化学院学报, 2019, 38(11): 6-11. [ WU Y H, SHI Y Z. Optimization and stability of ultrasonic extraction process for polysaccharide from *Chaenomeles speciosa*[J]. Journal of Huaihua University, 2019, 38(11): 6-11. ]