

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241101003

引用格式: 谢曦, 杨达明, 郭淑贤, 等. 不同品种龙眼核多酚的提取及其抗氧化和抑菌活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 88-95.

XIE X, YANG DM, GUO SX, *et al.* Study on the extraction, antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from different varieties of longan kernels [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 88-95. (in Chinese with English abstract).

不同品种龙眼核多酚的提取及其抗氧化和 抑菌活性研究

谢曦¹, 杨达明¹, 郭淑贤¹, 林佳宜¹, 刘东杰^{1,2}, 肖更生¹, 梁苡铭³,
刘祎帆¹, 王琴^{1,2*}

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广州 510225; 2. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室茂名分中心, 茂名 525000; 3. 广州万珠央厨有限公司, 广州 510070)

摘要: **目的** 了解龙眼核多酚的生物活性在品种的区别, 提高对龙眼核多酚的生物利用率。**方法** 以不同品种的龙眼核样品为研究对象(分别来自储良龙眼、大广眼、双仔木龙眼、水涨龙眼、凤梨穗龙眼、泰国龙眼、石峡龙眼、福眼 8 个品种), 经过预处理后提取纯化的龙眼核多酚, 采用 2,2-联苯基-1-苦基肼基(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基清除能力测试、2,2'-氨基苯并三唑-6-磺酸 [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, ABTS)]以及抑菌圈实验对其抗氧化和抗菌功能进行分析, 比较不同品种之间的差异。**结果** 各品种龙眼核多酚均表现出较强的抗氧化能力, DPPH 自由基及 ABTS 阳离子自由基清除率最高分别可达 98.70%和 91.88%。龙眼核多酚对金黄色葡萄球菌、李斯特菌和枯草芽孢杆菌的生长均具有显著的抑制效果, 抑菌圈直径在 17.0~22.6 mm。各品种龙眼核多酚半抑制浓度结果显示双仔木抑制金黄色葡萄球菌率最高, 为 82.50%; 石峡抑制李斯特菌率最高, 为 84.6%; 泰国抑制枯草芽孢杆菌率最高, 为 83.8%。相关性分析结果显示, 总酚含量与 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基之间相关系数均大于 0.9, 说明 8 个品种龙眼核多酚具有良好的抗氧化能力; 福眼龙眼总酚含量与其抗枯草芽孢杆菌和抗李斯特菌表现出中等相关(相关系数 0.8~0.9), 双仔木龙眼和石峡龙眼对金黄色葡萄球菌相对于其他品种龙眼有抑制作用, 泰国龙眼对枯草芽孢杆菌有较强的抑制作用(相关系数>0.9), 储良龙眼对李斯特菌有强抑制作用(相关系数>0.9)。**结论** 本研究分析了不同品种龙眼的核多酚在总酚含量以及抗氧化和抗菌方面差异, 这些差异可以筛选出不同用途的龙眼核多酚, 为不同品种的龙眼核多酚的生物活性提供了参考依据。

关键词: 龙眼核; 多酚; 品种; 抗氧化; 抑菌

收稿日期: 2024-11-01

基金项目: 广东省科技计划项目(2021B07070100004, 2023B020250001)

第一作者: 谢曦(1988—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为生物技术。E-mail: xixie31@hotmail.com

*通信作者: 王琴(1973—), 女, 教授, 主要研究方向为果蔬加工。E-mail: wangqin@zhku.edu.cn

Study on the extraction, antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from different varieties of longan kernels

XIE Xi¹, YANG Da-Ming¹, GUO Shu-Xian¹, LIN Jia-Yi¹, LIU Dong-Jie^{1,2},
XIAO Geng-Sheng¹, LIANG Yi-Ming³, LIU Yi-Fan¹, WANG Qin^{1,2*}

(1. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. Maoming Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Maoming 525000, China;

3. Guangzhou Wanzhu Central Kitchen Co., Ltd., Guangzhou 510070, China)

ABSTRACT: Objective To enhance the bioavailability of longan kernels, investigate the bioactive properties of their polyphenols from different cultivars. **Methods** In this study, polyphenolic compounds were extracted and purified from longan kernels of 8 cultivars (Chuliang, Daguangyan, Shuangzimu, Shuizhang, Fenglisui, Thai, Shixia and Fuyan). The antioxidant and antibacterial functions were analyzed by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging capacity test, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) and inhibition zone experiment, and the differences among different varieties were compared. **Results** Polyphenols from all longan kernels exhibited substantial antioxidant activity, with DPPH and ABTS highest scavenging rates reaching 98.70% and 91.88%, respectively. Moreover, these polyphenols effectively inhibited the growth of *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* and *Bacillus subtilis*, with inhibition zone diameters ranging from 17.0 to 22.6 mm. The results of the half-maximal inhibitory concentration of polyphenols extracted from longan kernels of different cultivars indicated that Shuangzimu longan exhibited the highest inhibition rate against *Staphylococcus aureus*, at 82.50%. Similarly, Shixia longan showed the highest inhibition rate against *Listeria monocytogenes*, at 84.60%. Thai longan had the highest inhibition rate of *Bacillus subtilis*, which was 83.8%. Correlation analysis showed that the correlation coefficients between total phenol content and DPPH free radical and ABTS cation free radical were higher than 0.9, indicating that 8 varieties of longan kernel polyphenols had good antioxidant capacity. The total phenol content of Fuyan longan showed medium correlation to its resistance to *Bacillus subtilis* and *Listeria monocytogenes* (correlation coefficient 0.8–0.9). Specifically, Shuangzimu and Shixia longans demonstrated inhibitory effects against *Staphylococcus aureus*, while Thai longan showed strong inhibitory ability against *Bacillus subtilis*, and Shuliang longan effectively inhibited *Listeria monocytogenes*. **Conclusion** This study investigates the variation in total phenolic content as well as the antioxidant and antibacterial properties of longan kernel polyphenols across different cultivars. These observed differences may provide targeted selection of longan kernel polyphenols for specific applications and serve as a reference for understanding their biological activities across cultivars.

KEY WORDS: longan kernel; polyphenol; varieties; antioxidant; antibacterial

0 引言

龙眼(*Dimocarpus Longana* Lour), 又名“桂圆”, 属无患子科植物^[1]。龙眼既是食品又是药品, 具有药食同源价值^[2]。龙眼具有丰富的营养价值, 例如碳水化合物、钾、氨基酸和维生素 C 等^[3], 龙眼果实中富含多酚类物质, 具有重要的生物活性, 包括细胞内自由基清除能力、金属螯合、抑制细胞的抑制作用^[4]。中国的龙眼种质资源丰富, 主要的分布地在广东、福建、广西等南方省份^[5]。在当前的龙眼加工产业中,

主要的加工方法侧重于龙眼干、桂圆肉以及龙眼果肉罐头的制作。但在这些加工流程中, 龙眼核往往被视为副产品或废弃物, 其年产量高达数十万吨^[6]。龙眼核为龙眼的种仁, 含有大量的生物活性物质, 如多糖类^[7]、黄酮和多酚类物质等^[8-9]。因此, 废弃龙眼核中的高含量酚类物质成为了提取多酚的良好来源^[10]。多酚类物质是由多个酚基团连接而成的复杂分子, 具有抗氧化和抗菌等作用^[11]。人体内部的自由基生成是持续不断的, 它们会针对细胞膜、DNA 等关键组成部分发起攻击, 进而造成细胞的损

伤^[12]。而多酚的抗氧化能力,黄儒强等^[13]发现龙眼核提取物能显著提高小鼠血清中的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)等抗氧化酶活性,同时有效降低脂质过氧化物丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量。RANGKADILOK 等^[14]成功从龙眼核中分离出柯里拉京,并发现龙眼核的提取物在清除自由基和超氧阴离子自由基方面有显著的效果。此外多酚类化合物能一定程度地抑制金黄色葡萄球菌、大肠杆菌。邹金美等^[15]发现龙眼核经 95%乙醇提取后的物质对金黄色葡萄球菌的抑制作用尤为显著,抑菌圈直径高达 27.95 mm。此外,该提取物对另外 6 种细菌及白色念珠菌也展现出不同程度的抑制效果。SUDJAROEN^[16]的研究指出龙眼核提取物能够抑制金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞菌和白色念珠菌的生长,对 Vero 细胞具有较好的抗疟活性,无细胞毒性作用。ZHANG 等^[17]研究表明龙眼核提取物可以对牙龈卟啉单胞菌具有一定抑制作用。

通过了解前人的研究,发现目前对龙眼中多酚类物质的研究主要集中在龙眼果肉和果壳中的核多酚,而龙眼核多酚及品种间的差异化少有报道。龙眼因品种不同其内含的化学物质也不同^[18],不同品种的龙眼核在生长环境、遗传因素等方面存在差异,这可能导致其多酚成分和生物活性的不同。本研究提取不同品种龙眼核中的多酚,通过测定 2,2-联苯基-1-苦基肼基(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力和 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-Azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6- sulphonate), ABTS]阳离子自由基清除率,评价不同品种龙眼核多酚的抗氧化活性。采用抑菌圈试验,测定不同品种龙眼核多酚对常见食品腐败菌和致病菌的抗菌活性,比较不同品种龙眼核多酚的抗菌能力。从而筛选出抗氧化和抗菌效果显著的品种,以期为龙眼核多酚的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 菌种

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, GDMCC NO.1.1348)、李斯特菌(*Listeria monocytogenes*, GDMCC NO.1.5143)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*, GDMCC NO.1.131)、大肠杆菌(*Escherichia coli*, GDMCC NO.1.1917)、酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*, GDMCC NO.2.44)均购于广东微生物菌种保藏中心。

1.2 材料与试剂

8 个品种龙眼均采购于各产地市场;储良龙眼、双籽木龙眼和石峡龙眼均采自广东茂名开发区站南市场;大广龙

眼采自广东雷州上坡农贸市场;水涨龙眼和凤梨穗龙眼采自厦门市同安区城西农贸市场;福眼龙眼采自厦门泉州滨城农贸市场;泰国龙眼采自网络进口农贸产品。

无水乙醇、氯化钠、过硫酸钾、D-无水葡萄糖(分析纯,天津市永大化学试剂有限公司);2,2-联苯基-1-苦基肼基(纯度 96%)、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(上海麦克林生化科技股份有限公司);植物总酚测试盒(南京建成生物工程研究所);酵母提取物、TSA 固体培养基、胰蛋白胨、YPD 液体培养基、牛肉浸膏、营养琼脂(广东环凯微生物科技有限公司)。

1.3 仪器与设备

MA203E 电子天平(精度 0.1 mg,上海梅特勒托利多国际有限公司);RV 10 digital pro V Complete 真空旋转蒸发仪[艾卡(广州)仪器设备有限公司];Infinite 200 PRO 酶标仪(瑞士帝肯奥地利有限公司);UV 1800 紫外可见分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司);600 Y 高速多功能粉碎机(永康市铂欧五金制品有限公司);LHS-HC-II 恒温恒湿箱、DHG-9013 A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);L 550 台式低速离心机(湖南湘仪试验室仪器开发有限公司)。

1.4 方法

1.4.1 龙眼核多酚提取与浓缩

参考唐福才等^[19]的方法进行修改,将龙眼果核粉碎,过筛,称取 1.000 g 粉末,按 1:30 (g:mL)的料液比加入 75%的乙醇溶液,在 70 °C 下进行 40 min 超声提取。然后使用离心机以 4000 r/min 的转速离心 8 min,上清液转移至 100 mL 容量瓶中,再用 75%的乙醇溶液进行定容,最后通过真空旋转蒸发仪进行浓缩,制得龙眼核多酚的提取液。

1.4.2 总酚含量测定

在碱性环境中,酚类物质与钨钼酸发生还原反应,从而生成一种具有蓝色特征的化合物,这种化合物在光谱的 760 nm 波长处展现出特定的吸收峰。通过精确测量这一波长下的吸光值,本研究可以有效地计算出样品中总酚的含量。这种方法不仅准确可靠,而且为酚类物质的定量分析提供了一种有效的手段。本研究根据植物总酚测试盒进行测定。

1.4.3 DPPH 自由基清除率测定

参照梁志等^[20]的方法略微进行一些修改,事先用无水乙醇配制好 0.04 mg/mL 的 DPPH 溶液,将其放置于 4 °C 环境下避光保存备用。取 100 μ L 提取液,加入 100 μ L DPPH 溶液并避光室温反应 30 min,用无水乙醇作为参比,在 517 nm 下测定提取液吸光值 A_1 ,将 DPPH 溶液换无水乙醇作为对照组吸光值为 A_1' ,设置未加提取液仅加 DPPH 和无水乙醇作空白组 1 吸光值为 A_2 ,用等体积的无水乙醇作空白组 2 吸光值为 A_2' 。计算公式见(1):

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{1 - (A_1 - A_1')}{A_2 - A_2'} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.4 ABTS 阳离子自由基清除率测定

准确称取 0.192 g ABTS 试剂, 随后采用 2.45 mg/mL 的过硫酸钾溶液进行溶解, 定容至 50 mL, 并在室温下避光静置保存 12 h。为了后续的试验需要, 将 ABTS 溶液进行适当稀释, 直至吸光值达到 0.70±0.02 (734 nm) 的范围内。取 50 μL 提取液并加入 150 μL ABTS 溶液混合, 并避光反应 6 min, 在 734 nm 下测定提取液吸光值 A_3 ^[21], 将 ABTS 溶液换蒸馏水作为对照组吸光值为 A_3' , 设置未加提取液仅加蒸馏水和 ABTS 作空白组 1 吸光值为 A_4 , 用等体积的蒸馏水作空白组 2 吸光值为 A_4' 。计算公式见(2):

$$\text{ABTS 阳离子自由基清除率}/\% = \frac{1 - (A_3 - A_3')}{A_4 - A_4'} \times 100\% \quad (2)$$

1.4.5 滤纸片法测抑菌圈直径

(1) 菌种复苏活化

将保存的菌种接种于合适的平板培养基上, 置于恒温培养箱中, 37 °C/30 °C(酿酒酵母)培养 24 h 使菌种复苏。从复苏的平板上挑取单菌落, 接种于新的平板培养基上, 划线分离, 再次培养 24 h, 以获得纯种菌落。

(2) 供试菌株悬液的制备

用干净的接种环挑取已经培养好的平板上的单菌落, 接种于相应的液体培养基中, 置于恒温摇床机中, 37 °C/30 °C(酿酒酵母)、150 r/min 培养 12 h。取培养好的菌液, 用紫外可见分光光度计测定其在 600 nm 时的吸光值, 根据试验需要, 通过稀释获得特定 OD 值的菌液, 本研究取 $OD_{600}=0.3$ 。

(3) 菌液涂布与滤纸片

取 200 μL 稀释后的菌液, 用无菌涂布器将菌液均匀涂布于新的固体平板培养基上。事先用打孔机将定性滤纸打成直径为 6 mm 的小圆纸片, 放进培养皿中 121 °C 高压蒸汽灭菌 15 min, 用无菌镊子将滤纸片贴在涂布好的平板上, 确保滤纸片与培养基表面紧密贴合。每个平板贴 4 个滤纸片, 分别为 4 个品种, 8 个品种则为两个平板, 以及一个空白对照平板, 平行试验 3 次。

(4) 样品添加与培养

用无菌水分别稀释待测样品, 设 4 个浓度梯度, 分别为原液、2、4、8 倍。取 10 μL 待测样品, 以 5% 的乙醇溶液为空白对照, 分别精准滴加在滤纸片中央, 确保样品完全浸透滤纸片。用封口膜将处理好的平板包好, 保证其不受污染, 放入恒温培养箱中, 37 °C/30 °C(酵母菌)培养 24 h。

(5) 抑菌圈结果记录与直径测量

培养结束后取出平板, 在同一水平面上与标尺一起拍照记录, 将图片导入 ImageJ 2.0 软件并设置比例尺, 观察滤纸片周围抑菌圈的形成情况, 根据图片实际情况测量抑菌圈直径。

1.4.6 抑菌半抑制浓度的测定

半抑制浓度 (half maximal inhibitory concentration, IC_{50})。根据稀释倍数 0、2、4、8、16、32、64 处理样品, 进行预试验, 筛选出合适的倍数区间进行正式试验。准备灭好菌的 1.5 mL 离心管, 相应的液体培养基, 菌悬液, 无菌水, 用无菌水稀释样品至目标倍数, 用培养基按 1:1000 的比例稀释菌液, 按照待测样品:菌液=1:9 的比例加入离心管, 本研究采用 36 μL 样品加 324 μL 菌液的体积进行试验, 以不加样品的菌液作为阴性对照, 其测定值为 $A_{阴}$, 加样品的菌液测定值为 $A_{实}$, 平行试验 3 次, 37 °C/30 °C(酵母菌)培养 48 h 后, 在 600 nm 下测定 OD 值, 计算抑菌率。计算见公式(3):

$$\text{抑菌率}/\% = \frac{(A_{阴} - A_{实})}{A_{阴}} \times 100\% \quad (3)$$

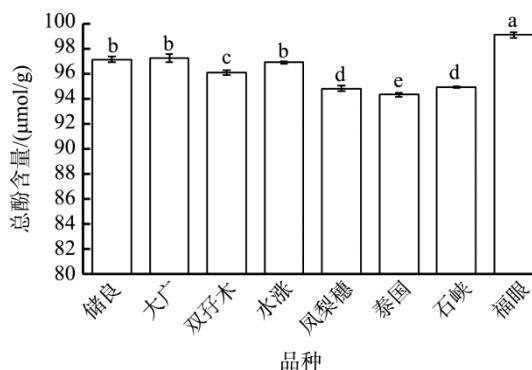
1.5 数据处理

所有试验均做 3 次平行, 结果以平均值±标准偏差表示。测量抑菌圈直径采用 ImageJ 2.0 软件; 所有数据分析采用 GraphPad Prism 10 软件进行分析, 使用 Excel 2019 和 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 不同龙眼总酚含量结果分析

8 个品种龙眼核总酚含量如图 1 所示, 福眼核提取的多酚化合物总酚含量相对最高, 为 99.12 μmol/g, 与其他品种有显著性差异。其中储良龙眼、大广龙眼和水涨龙眼也都具有较高的总酚含量, 双仔木龙眼次之, 另外凤梨穗、泰国、石峡 3 个品种总酚含量偏低, 其中以泰国龙眼含量最低, 为 94.34 μmol/g。根据方差分析结果显示, 不同品种之间总酚含量具有显著性差异 ($P < 0.05$)。不同品种之间含量产生差异, 可能与生长地的地理环境(如气候、土壤等)有关系^[22]。



注: 不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$, 下同。

图 1 不同品种龙眼核多酚总酚含量

Fig.1 Total polyphenol content of different varieties of longan kernels

2.2 不同龙眼抗氧化性能结果分析

如图 2A 所示, 各个品种的 DPPH 自由基清除率范围在 93.42%~98.70%, 清除率相近, 都在 90%以上。图 2B 方差分析结果显示各品种对于 ABTS 阳离子自由基清除能力具有显著性差异($P<0.05$), 以大广龙眼的清除率最高。ABTS 阳离子自由基清除率依次为大广(91.88%)>双仔木(91.18%)>石峡(90.02%)>福眼(89.72%)>水涨(85.59%)>储良(85.83%)>泰国(84.86%)>凤梨穗(84.72%)。储良、水涨、凤梨穗和泰国的抗氧化效果偏弱。但分别对比 DPPH 自由基以及 ABTS 阳离子自由基清除率, 大广、双仔木、石峡和福眼都表现出较高的自由基清除率水平, 反之, 储良、水涨、凤梨穗和泰国都表现出较低的自由基清除率水平。因此 8 个品种在清除效果方面二者具有一定相似度, 这可能与龙眼核中的抗氧化活性成分对各类自由基的敏感性和作用机制有关^[23]。

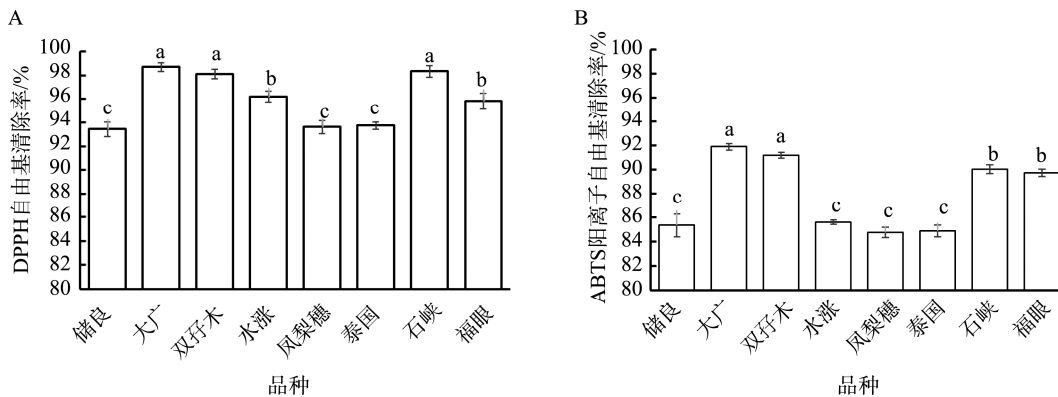


图 2 不同品种龙眼核多酚的抗氧化能力

Fig.2 Antioxidant capacity of different varieties of longan kernels

表 1 不同品种龙眼核多酚抑菌圈直径(mm)

Table 1 Diameters of the antibacterial inhibition zones of polyphenols from different longan varieties (mm)

稀释 倍数/倍	储良	大广	双仔木	水涨	凤梨穗	泰国	石峡	福眼
金黄色 葡萄球菌	0 19.09±0.8 ^{bc}	21.73±0.33 ^a	19.80±0.42 ^b	18.04±0.72 ^c	17.99±0.09 ^c	19.83±0.22 ^b	19.80±0.41 ^b	17.97±0.20 ^c
	2 15.07±0.68 ^c	16.93±0.27 ^a	16.76±0.35 ^a	16.38±0.17 ^{ab}	15.16±0.23 ^c	15.73±0.44 ^{bc}	17.07±0.19 ^a	15.45±0.43 ^c
	4 13.17±0.6 ^{ab}	12.46±1.13 ^{bc}	11.72±0.63 ^c	11.65±1.01 ^c	13.25±0.49 ^{ab}	13.40±0.35 ^{ab}	13.92±0.74 ^a	12.89±0.25 ^{abc}
	8 11.31±0.63 ^{bc}	10.94±0.42 ^{cd}	11.72±0.13 ^b	11.14±0.12 ^{bc}	10.09±0.22 ^c	10.34±0.28 ^{de}	12.47±0.32 ^a	11.03±0.48 ^{bcd}
李斯特菌	0 19.25±0.44 ^c	20.49±0.25 ^{bc}	22.03±1.43 ^{ab}	20.80±1.07 ^{bc}	20.06±0.27 ^c	20.76±0.77 ^{bc}	22.60±0.62 ^a	20.28±0.74 ^c
	2 16.93±0.51 ^c	18.80±0.71 ^{ab}	19.53±0.32 ^a	18.97±0.43 ^{ab}	18.46±0.43 ^{ab}	17.83±0.31 ^{bc}	18.83±1.33 ^{ab}	18.00±0.85 ^{bc}
	4 15.11±1.34 ^b	17.38±1.49 ^a	17.08±0.99 ^a	17.34±1.05 ^a	13.96±0.75 ^b	14.23±0.46 ^b	15.56±0.62 ^{ab}	13.83±0.53 ^b
	8 11.86±0.42 ^{bc}	13.65±1.9 ^{ab}	14.65±1.22 ^a	13.38±1.56 ^{ab}	11.97±0.71 ^{bc}	12.71±0.63 ^{abc}	13.52±0.93 ^{ab}	10.97±0.69 ^c
枯草芽孢 杆菌	0 19.59±2.48 ^{abc}	20.69±1.12 ^{ab}	21.96±0.83 ^a	20.37±0.75 ^{ab}	18.66±1.39 ^{bc}	17.00±1.17 ^c	19.99±0.39 ^{ab}	19.34±1.21 ^{abc}
	2 16.16±0.45 ^e	16.86±0.19 ^d	19.50±0.14 ^a	18.55±0.51 ^b	17.68±0.03 ^c	17.37±0.15 ^{cd}	17.84±0.44 ^c	18.58±0.04 ^b
	4 12.57±0.23 ^d	13.49±0.44 ^c	15.75±0.30 ^a	15.94±0.29 ^a	12.62±0.20 ^d	11.84±0.20 ^e	15.74±0.30 ^a	14.23±0.38 ^b
	8 11.44±0.31 ^{bc}	11.30±0.59 ^{bc}	13.36±0.08 ^a	12.80±1.08 ^{ab}	10.90±1.39 ^c	10.87±0.72 ^c	11.75±1.09 ^{abc}	11.98±1.10 ^{abc}

注: 同一组标注相同小写字母表示无差异显著, 实验结果的统计分析采用单因素方差分析($P<0.05$)。

另外, 结合总酚含量可以发现不同品种总酚类化合物与其抗氧化活性表现出弱相关性^[18], 原因可能是在高浓度多酚的情况下, 可能会存在分子间的相互作用或聚集, 影响它们与自由基的反应^[24]。

2.3 不同龙眼抑菌圈直径结果分析

抑菌实验结果显示龙眼核多酚对金黄色葡萄球菌、李斯特菌和枯草芽孢杆菌都有抑菌圈的出现, 核多酚原液抑菌圈直径在 17.0~22.6 mm 范围, 可以说明龙眼核多酚具有不同程度的抗菌能力。

如表 1 所示, 3 个菌种的抑菌圈直径结果都有同样的趋势, 随着稀释倍数的增加, 抑菌圈的直径随之递减, 说明在相同培养条件下, 龙眼核多酚对金黄色葡萄球菌、李斯特菌和枯草芽孢杆菌的抑制作用与多酚提取液的浓度成正相关。此外, 可以看出金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径长度总体低于李斯特菌和枯草芽孢杆菌, 表明龙眼核多酚对金黄色葡萄

球菌的抑制效果相比于其他两个菌较弱, 这可能是由于金黄色葡萄球菌的细胞壁较厚, 面对多酚类物质时可以弱化其效果^[25]。也可能是金黄色葡萄球菌表面形成了一层生物膜, 这层膜与菌本身相互作用使其更难被抗菌物质抑制^[26]。

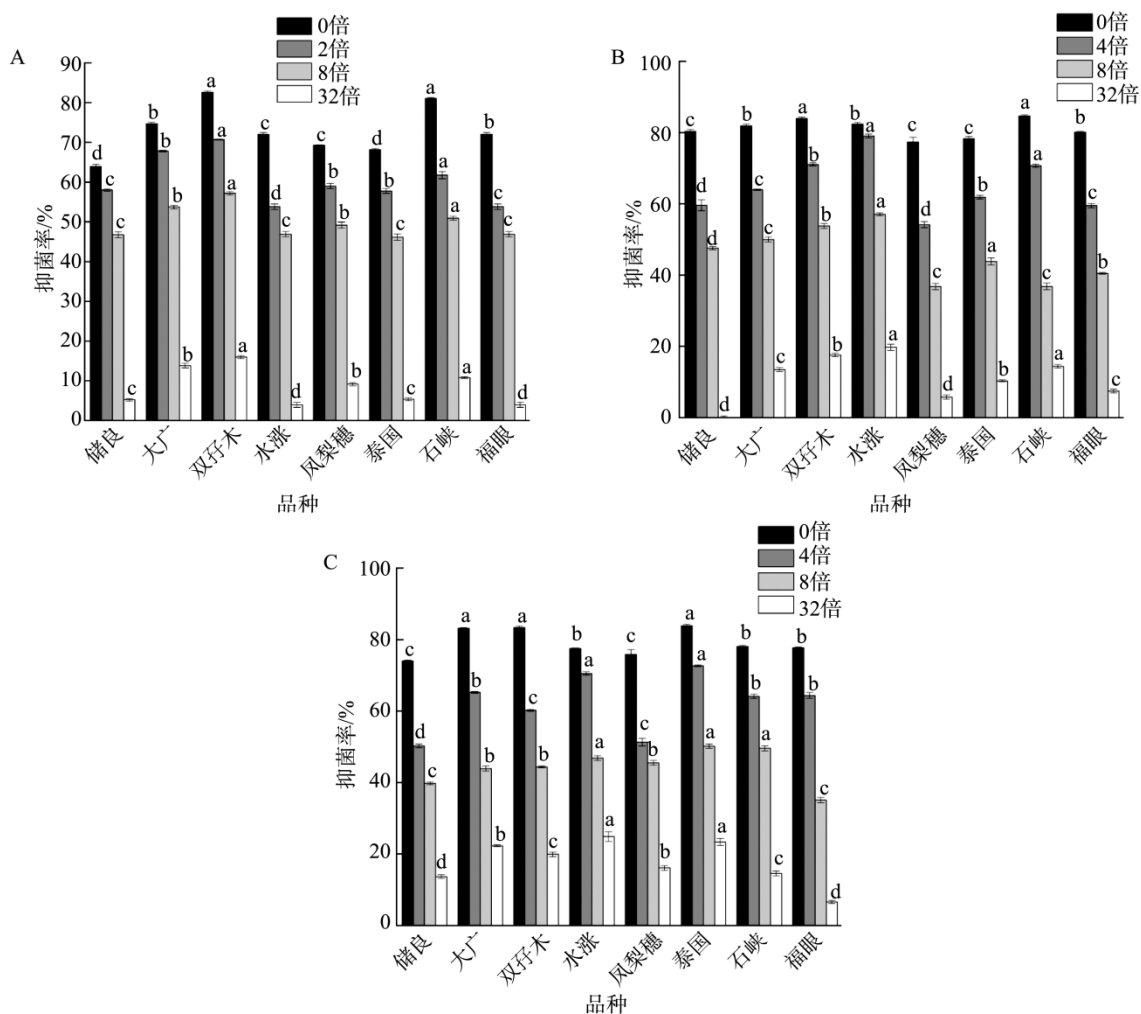
为了确保本研究的科学性, 因此仅以龙眼核多酚原提取浓度的抑菌圈直径数据作分析。对于金黄色葡萄球菌抑制作用较强的是大广和泰国, 分别为(21.73±0.33)、(19.83±0.22) mm。而凤梨穗和福眼抑菌效果比较差, 仅为(17.99±0.09)、(17.97±0.20) mm; 凤梨穗、储良和福眼抑制李斯特菌效果相对于其他品种较差, 在 20 mm 左右; 双孖木抑制枯草芽孢杆菌的抑菌圈直径最高, 泰国龙眼则明显比其他品种抑制枯草芽孢杆菌效果差, 仅为 17 mm 左右 ($P<0.05$)。

2.4 不同龙眼抑菌 IC₅₀ 结果分析

为了深入探讨不同品种龙眼核多酚提取液的稀释倍数对 3 种菌抑制效果, 将抑制金黄色葡萄球菌试验的样品稀释

倍数区间定为 0、2、8、32 倍, 李斯特菌和枯草芽孢杆菌则定为 0、4、8、32 倍, 结果见如图 3A 所示。在龙眼核多酚原液中, 双孖木的抑菌率最高, 其次是石峡, 可达到 80% 以上的抑菌效果, 分别约为 82.50%、81.08%, 并且所有品种的 IC₅₀ 都在稀释倍数 8 倍左右, 根据图 3A 上整体趋势来看, 抑菌率较高的为双孖木、石峡和大广, 较低的为储良。综上所述, 不同品种龙眼核多酚对金黄色葡萄球菌的 IC₅₀ 在 8 倍稀释度左右, 其中储良、凤梨穗、泰国和福眼这 4 个品种在 8 倍稀释度时抑菌率仍未达到 50%, 表明大广、双孖木、水涨和石峡龙眼抑制金黄色葡萄球菌的效果较好。

对于李斯特菌的抑制效果见图 3B。凤梨穗的 IC₅₀ 为稀释倍数 4 倍, 其他品种的 IC₅₀ 为稀释倍数 8 倍; 8 个品种的原液都可达到 80% 左右的抑菌效果, 最高的为双孖木和石峡, 分别为 83.96%、84.6%, 但是凤梨穗原液的抑菌率相比于其他品种都低; 储良 32 倍样液则没有抑菌效果。整体上看, 水涨原液抑菌率高于 80%, 在 4 倍稀释后抑菌率仍然高达 79%, 同比下降 2%。其余 7 个品种下降趋势均大于 8%,



注: A. 金黄色葡萄球菌, B. 李斯特菌, C. 枯草芽孢杆菌。

图 3 不同品种龙眼核多酚的抑菌率

Fig.3 Antibacterial rate of different varieties of longan kernels polyphenols

并且水涨 32 倍稀释时抑菌率仍是所有品种中最高,因此水涨龙眼抑制李斯特菌的效果最好。

对于枯草芽孢杆菌的抑制效果见图 3C。储良和凤梨穗的 IC_{50} 为稀释倍数 4 倍,其他品种龙眼的 IC_{50} 为稀释倍数 8 倍,泰国和石峡最为接近;除了储良和凤梨穗,其他品种的 0 倍稀释都可达近 80% 的抑菌效果。整体上看,抑菌效果较好的是泰国和水涨,其中泰国 0 倍稀释抑菌率高达 83.8%;水涨虽然 0 倍稀释抑菌率不高,但是其随稀释倍速增加抑菌率下降范围较小,32 倍稀释后可达到 25%。较低的储良,0 倍稀释及 32 倍稀释都较低。综上所述,泰国龙眼和水涨龙眼抑制枯草芽孢杆菌的效果最好。

2.5 不同龙眼核多酚含量与抗氧化能力和抗菌能力的相关性分析

如图 4 所示,可以看出各品种之间总酚含量具有一定的相关性;右侧各品种总酚含量与 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基之间的相关性系数均大于 0.9,表现为强相关,说明龙眼核多酚含量与其抗氧化能力具有一定的相关性,即为总酚含量越大,抗氧化能力越强。福眼总酚含量高但是对比抗菌能力,抗枯草芽孢杆菌和李斯特菌与各品种总酚含量之间相关系数在 0.8~0.9 之间,推测可能与其抗菌活性物质的含量有关^[27]。储良对抗李斯特菌较其他品种表现出更高的相关性(相关系数为 0.9),说明储良龙眼中有较多的黄酮类化合物^[28]。泰国龙眼与抗枯草芽孢杆菌之间呈现显著相关(相关系数大于 0.9),原因可能是泰国龙眼中的主要多酚类物质是鞣花酸^[29],有研究表明该物质对枯草芽孢杆菌抑制作用^[30]。对于抗金黄色葡萄球菌能力则大部分品种表现为低相关,相关系数在 0.8 以下,然而石峡与双仔木相对于其他品种抗金黄色葡萄球菌能力较好一点,其相关系数在 0.8~0.9 之间。出现大部分品种抗金黄色葡萄球菌能力较差

的现象可能是由于龙眼核多酚中的主要多酚种类为柯里拉京,这种物质可以通过改变细胞膜的通透性从而使细菌的内容物流出达到抑菌的效果;但是针对于金黄色葡萄球菌的细胞,NA 等^[31]通过结晶紫和十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳结果显示,柯里拉京对金黄色葡萄球菌对细胞膜通透性无影响,其细胞膜上对特殊位点与该物质作用后并不会影响膜的完整性。

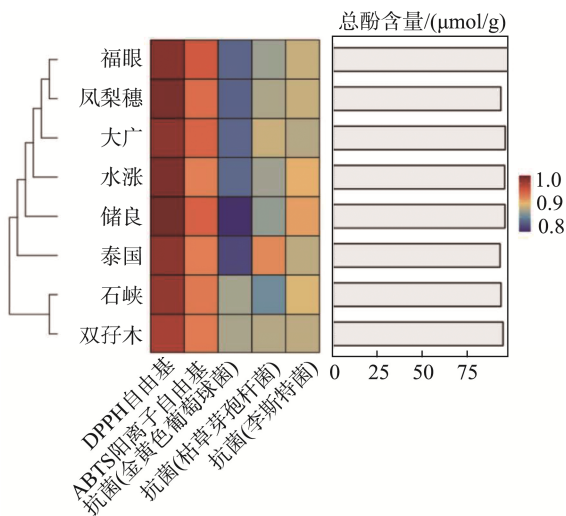
有研究发现^[32],龙眼核多酚的总酚含量与抗氧化性能、抗菌性能部分相关,本研究基本能验证这一点。多酚类化合物成分复杂,包括黄酮类、花色苷类、类黄酮类等,而产生抗菌活性的具体物质还不清晰,还有待研究。植物多酚的抑菌机制复杂,抑菌活性归因于它们的疏水性及羟基官能团的存在^[33-34],这决定了它们穿透微生物膜的能力,并引起细胞壁、细胞膜和细胞器的物理化学性质的变化,从而发挥抑菌作用。

3 结论

本研究以不同品种的龙眼核样品为研究对象,通过提取其总酚并进行自由基清除能力、抑菌圈直径测定、抑菌 IC_{50} 的测定等试验性评价测试。可以看出不同品种龙眼核总酚含量相差不大,都在 94.00 $\mu\text{mol/g}$ 以上。在抗氧化能力方面,各品种之间均表现出显著的抗氧化活性,说明龙眼核多酚具有一定的抗氧化能力,其中 DPPH 自由基清除率都高达 98.70%,而 ABTS 阳离子自由基清除率也在 84%~92% 范围内。在抗菌活性方面,随着提取的多酚浓度不断稀释,其抗菌能力逐渐减弱;但是大部分品种在原浓度下均有较强的抗菌能力。在多酚原浓度下,抗菌率可达 70% 以上。本研究结果则可为 8 种龙眼的核多酚的生物活性研究提供参考。

参考文献

- [1] 曾铮,梁国华,黄松清,等.基于超高效液相色谱-串联质谱法的一测多评法同时测定龙眼肉中 8 种核苷类成分含量[J].食品安全质量检测学报,2024,15(13):10-18.
ZENG Z, LIANG GH, HUANG SQ, et al. Simultaneous determination of 8 nucleosides in longan meat by QAMS based on ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(13): 10-18.
- [2] SUN-WATERHOUSE DX, CHEN XY, LIU ZH, et al. Transformation from traditional medicine-food homology to modern food-medicine homology [J]. Food & Medicine Homology, 2024, 1: 9420014.
- [3] ZHANG X, GUO S, HO CT, et al. Phytochemical constituents and biological activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit: A review [J]. Food Science Humam Wellness, 2020, 9(2): 95-102.
- [4] ALI A, COTTRELL JJ, DUNSHEA FR. Characterization, antioxidant potential, and pharmacokinetics properties of phenolic compounds from native australian herbs and fruits [J]. Plants, 2023, 12(5): 993.
- [5] 郑少泉,曾黎辉,张积森,等.新中国果树科学研究 70 年—龙眼[J].果树学报,2019,36(10):1414-1420.
ZHENG SQ, ZENG LH, ZHANG JS, et al. 70 Years of fruit science



注:强相关(>0.9);中等程度相关(0.8~0.9);低相关(<0.8)。

图 4 相关性分析热图

Fig.4 Correlation analysis heat map

- research in new china-longan [J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(10): 1414–1420.
- [6] 罗汝锋, 赵雷, 胡卓炎, 等. 龙眼果酒发酵条件优化及其抗氧化活性[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(7): 2658–2665.
LUO RF, ZHAO L, HU ZY, *et al.* Optimization of fermentation conditions of longan wine and its antioxidant activity [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2015, 6(7): 2658–2665.
- [7] 张玲, 陈淇, 高伟芳, 等. 龙眼核淀粉的液化及糖化工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2024, 45(1): 115–122.
ZHANG L, CHEN Q, GAO WF, *et al.* Liquefaction and saccharification process optimization of longan kernel starch [J]. *Food Research & Development*, 2024, 45(1): 115–122.
- [8] WANG M, CHEN T, WANG Q, *et al.* Antioxidant, bacteriostatic and preservative effects of extractable condensed tannins isolated from longan pericarps and seeds [J]. *Plants*, 2023, 12: 512.
- [9] HE N, WANG Z, YANG C, *et al.* Isolation and identification of polyphenolic compounds in longan pericarp [J]. *Separation and Purification Technology*, 2009, 70(2): 219–224.
- [10] LEI Z, KAI W, WEICHAO L, *et al.* Protective effects of polyphenolic extracts from longan seeds promote healing of deep second-degree burn in mice [J]. *Food Function*, 2019, 10(3): 1433–1443.
- [11] KEBAL L, DJEBLI N, POKAJEWICZ K, *et al.* Antioxidant activity and effectiveness of fig extract in counteracting carbon tetrachloride-induced oxidative damage in rats [J]. *Molecules*, 2024, 29(9): 198–226.
- [12] PJ K, LARS-OLIVER K. Free radicals and related reactive species as mediators of tissue injury and disease: Implications for Health [J]. *Critical Reviews in Toxicology*, 2015, 45(9): 765–98.
- [13] 黄儒强, 刘学铭. 龙眼核提取物提高小鼠抗氧化功能的研究[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2008(1): 108–111.
HUANG RQ, LIU XM. Antioxidant activity of longan seed extract in mice [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Sci Edition)*, 2008(1): 108–111.
- [14] RANGKADILOK N, TONGCHUSAK S, BOONHOK R, *et al.* *In vitro* antifungal activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed extract [J]. *Fitoterapia*, 2012, 83(3): 545–553.
- [15] 邹金美, 黄冰晴, 韦丽香, 等. 龙眼核提取物的抑菌活性研究[J]. *漳州师范学院学报(自然科学版)*, 2011, 24(4): 87–92.
ZOU JM, HUANG BQ, WEI LX, *et al.* Study on the antibacterial activity of longan seed extract [J]. *Journal of Zhangzhou Normal University (Natural Sci Edition)*, 2011, 24(4): 87–92.
- [16] SUDJAROEN Y. Screening for antimicrobial and antimalarial activities of longan (*Dimocarpus longan* Lour) seeds [J]. *Scientific Research and Essays*, 2013, 8(21): 917–920.
- [17] SUGIAMAN VK, MURDANY GA, MANDALAS HY. Antibacterial activity of longan seed extract (*Dimocarpus longan* L.) to *P. gingivalis* [J]. *Makassar Dental Journal*, 2023, 12(3): 333–337.
- [18] ZHANG R, KHAN SA, LIN Y, *et al.* Phenolic profiles and cellular antioxidant activity of longan pulp of 24 representative Chinese cultivars [J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 746–759.
- [19] 唐福才, 姚敦琛, 关天旺, 等. 龙眼核中多酚提取及抗氧化活性的研究[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(12): 5–9.
TANG FC, YAO DC, GUAN TW, *et al.* Extraction and antioxidant activity of polyphenols from longan seed [J]. *Food Research & Development*, 2015, 36(12): 5–9.
- [20] 梁志, 胡鑫鑫. 废弃龙眼核壳多酚、黄酮含量与抗氧化性的相关性研究[J]. *山东化工*, 2022, 51(24): 132–134.
LIANG Z, HU XX. Study on the correlation between polyphenol, flavonoid content and antioxidant activity of abandoned longan core shell [J]. *Shandong Chemical Industry*, 2022, 51(24): 132–134.
- [21] 刘晓庚, 李凤月, 张少青, 等. 女贞果实的抗氧化性测定[J]. *食品科学*, 2010, 31(21): 58–61.
LIU XG, LI FY, ZHANG SQ, *et al.* Determination of antioxidant activity in fruits of *Ligustrum lucidum* [J]. *Food Science*, 2010, 31(21): 58–61.
- [22] YAOSHENG L, DAOBANG T, XUEMING L, *et al.* Phenolic profile and antioxidant activity of longan pulp of different cultivars from South China [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 165. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113698
- [23] TANG Y, HE X, SUN J, *et al.* Polyphenols and alkaloids in byproducts of longan fruits (*Dimocarpus Longan* Lour.) and their bioactivities [J]. *Molecules*, 2019, 24(6): 1186.
- [24] DAI J, MUMPER RJ. Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties [J]. *Molecules*, 2010, 15(10): 7313–7352.
- [25] SUTTON JAF, CARNELL OT, LAFAGE L, *et al.* Staphylococcus aureus cell wall structure and dynamics during host-pathogen interaction [J]. *PLoS Pathogens*, 2021, 17(3): e1009468–e1009468.
- [26] HALL CW, MAH TF. Molecular mechanisms of biofilm-based antibiotic resistance and tolerance in pathogenic bacteria [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2017, 41(3): 276–301.
- [27] LONG L, LAI T, HAN D, *et al.* A comprehensive analysis of physiologic and hormone basis for the difference in room-temperature storability between ‘Shixia’ and ‘Luosanmu’ longan fruits [J]. *Plants*, 2022, 11(19): 2503–2503.
- [28] LAI T, SHUAI L, HAN D, *et al.* Comparative metabolomics reveals differences in primary and secondary metabolites between “Shixia” and “Chuliang” longan (*Dimocarpus longan* Lour) pulp [J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(10): 5785–5799.
- [29] SUDJAROEN Y, HULL WE, ERBEN G, *et al.* Isolation and characterization of ellagitannins as the major polyphenolic components of longan (*Dimocarpus longan* Lour) seeds [J]. *Phytochemistry*, 2012, 77: 226–237.
- [30] 孙茜峥. 龙眼核多酚的分离纯化及抗氧化性能的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
SUN HZ. Study on separation, purification and antioxidant properties of polyphenols from longan seed [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [31] NA L, MENG L, YU-JIE F, *et al.* Effect of corilagin on membrane permeability of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* [J]. *Phytother Research*, 2013, 27(10): 1517–1523.
- [32] MERVE B, CANSEL K, TANER S, *et al.* Antibiofilm effects of pomegranate peel extracts against *B. cereus*, *B. subtilis*, and *E. faecalis* [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(10): 4915–4924.
- [33] FEI P, ALI AM, GONG S, *et al.* Antimicrobial activity and mechanism of action of olive oil polyphenols extract against *Cronobacter sakazakii* [J]. *Food Control*, 2018, 94: 289–294.
- [34] BOUARAB LC, PASCAL D, HICHAM F, *et al.* Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 99(4): 1457–1474.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)