DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260417004
引用格式: 段佩君, 李会珍, 武东轶, 等. 3 种唇形科植物多酚富集物的抗氧化与抑菌活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(18): 67–77.
Duan Peijun Li Huizhen, Wu Dongyi, et al. Study on antioxidant and antimicrobial properties of polyphenol-enriched extracts from 3 Lamiaceae species [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(18): 67–77. (in Chinese with English abstract).

3 种唇形科植物多酚富集物的抗氧化与抑菌活性研究

段佩君[1,2], 李会珍[1,2], 武东轶[3], 高 涛[3], 张志军[1,2*], 牛培蓉[1,2], 郭彩蓉[1,2], 张 宏[1,2]

(1. 中北大学化学与化工学院, 太原 030051; 2. 山西大健康生物产业技术研究院, 太原 030051; 3. 山西省乡村产业融合发展中心, 太原 030000)

摘 要: 目的 比较紫苏、迷迭香和百里香 3 种唇形科植物多酚富集物的抗氧化性及抑菌能力的特征。**方法** 采用大孔吸附树脂制备 3 种植物多酚富集物, 测定其总多酚及共有成分迷迭香酸的含量, 以对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH·)、2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐阳离子自由基[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) disodium salt positive ion radical, $ABTS^{+}$·]的清除能力以及铁离子还原能力评价抗氧化活性, 以最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)及真菌抑制率评价对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和黑曲霉的抑菌能力。**结果** 经大孔树脂富集后, 紫苏、迷迭香和百里香的多酚富集物中迷迭香酸含量分别为(21.59±0.19)%、(20.56±0.03)%和(23.25±0.97)%。3 种富集物均表现出较强的抗氧化性, 随着总多酚和迷迭香酸的含量的提高, 其抗氧化性也随之增强; 其中, 百里香富集物的铁离子还原能力尤为突出, 高于阳性对照维生素 C 组。抑菌试验表明, 3 种富集物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有一定的抑制作用, 对金黄色葡萄球菌尤为敏感, 紫苏、迷迭香和百里香富集物的 MIC 分别为 0.31、0.63 和 0.31 mg/mL; 在针对黑曲霉的抗真菌试验中, 百里香富集物抑菌效果最佳, 第 4 d 抑制率达(51.55±3.27)%, 而紫苏无明显抑制作用。**结论** 3 种唇形科植物多酚富集物具有优良的抗氧化性与抑菌性, 其活性与富集的总多酚和迷迭香酸密切相关。本研究为植物源天然食品防腐保鲜剂的开发提供理论依据。

关键词: 紫苏; 迷迭香; 百里香; 多酚富集物; 迷迭香酸; 抗氧化; 抑菌活性
中图分类号: TS213 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)18–0067–11

收稿日期: 2026-04-17
基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFD1600100); 山西省科技创新人才团队专项(2024D151000140530104307820880 24); 山西省乡村产业融合发展项目(SXDJK202506002)

第一作者: 段佩君(1999—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生物提取与分离工程。E-mail: 1762882765@qq.com
***通信作者:** 张志军(1973—), 男, 教授, 主要研究方向为植物功能成分提取及高效利用。E-mail: sxzzj@163.com

Study on antioxidant and antimicrobial properties of polyphenol-enriched extracts from 3 Lamiaceae species

DUAN Pei-Jun[1,2], LI Hui-Zhen[1,2], WU Dong-Yi[3], GAO Tao[3], ZHANG Zhi-Jun[1,2*], NIU Pei-Rong[1,2], GUO Cai-Rong[1,2], ZHANG Hong[1,2]

(1. *College of Chemistry and Chemical Engineering*, *North University of China*, *Taiyuan* 030051, *China*; 2. *Shanxi Institute of Biotechnology for Great Health Industry*, *Taiyuan* 030051, *China*; 3. *Shanxi Provincial Rural Industry Integration Development Center*, *Taiyuan* 030000, *China*)

ABSTRACT: Objective To compare the characteristics of antioxidant and antimicrobial activities of polyphenol-enriched extracts from 3 Lamiaceae plants—*Perilla frutescens*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*. **Methods** The polyphenol-enriched extracts of the 3 plants were prepared using macroporous adsorption resin. The content of total polyphenols and their common component-rosmarinic acid were determined. The antioxidant activities were evaluated by the scavenging capacities against 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH・) and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) disodium salt positive ion radical ($ABTS^{+}$・), as well as the ferric ion reducing capacity. The antimicrobial activities against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Aspergillus niger* were evaluated by the minimum inhibitory concentration (MIC) and fungal inhibition rate. **Results** After enrichment with macroporous resin, the content of rosmarinic acid in the polyphenol-enriched extracts of *Perilla frutescens*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris* were (21.59±0.19)%, (20.56±0.03)% and (23.25±0.97)%, respectively. All 3 extracts exhibited strong antioxidant activities, which enhanced with the increase of total polyphenol and rosmarinic acid content; among them, the ferric ion reducing capacity of the *Thymus vulgaris* extract was particularly prominent, higher than that of the positive control group (vitamin C). Antimicrobial tests showed that the 3 extracts had certain inhibitory effects on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, being particularly sensitive to *Staphylococcus aureus*. The MIC of the extracts from *Perilla frutescens*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris* were 0.31, 0.63 and 0.31 mg/mL, respectively. In the antifungal test against *Aspergillus niger*, the *Thymus vulgaris* extract showed the best inhibitory effect, with an inhibition rate of (51.55±3.27)% on the 4th day, while *Perilla frutescens* showed no significant inhibitory effect. **Conclusion** The polyphenol-enriched extracts of the 3 Lamiaceae plants possess excellent antioxidant and antimicrobial activities, which are closely related to the enriched total polyphenols and rosmarinic acid. This provides a theoretical basis for the formulation development of plant-based natural food preservatives and preservation agents.

KEY WORDS: *Perilla frutescens*; *Rosmarinus officinalis*; *Thymus vulgaris*; polyphenol-enriched extracts; rosmarinic acid; antioxidant; antimicrobial activity

0 引 言

随着食品工业的快速发展，消费者对食品安全与品质的关注度不断提高，开发一种安全、高效的天然植物源食品抗氧化剂与防腐剂已成为食品科学领域的一项重要课题[1]。迷迭香酸(rosmarinic acid, RA)是一种在唇形科及紫草科植物中广泛分布的水溶性多酚酸类化合物[2]。有研究表明, RA 具有抗氧化、抗炎及广谱抑菌等多重生物活性[3], 作用机制主要依赖于分子结构中的多个酚羟基, 其能够有效阻断食品基质中的脂质过氧化等自由基链式反应[4], 同时也会破坏微生物细胞膜的完整性与通透性[5–6]。基于这些优良的生物学功能, RA 及其植源性提取物在天然食品防腐保鲜领域展现出良好的应用前景。

紫苏(*Perilla frutescens*)、迷迭香(*Rosmarinus officinalis*)和百里香(*Thymus vulgaris*)是 3 种在全国乃至全世界广泛种植的唇形科植物, 也是重要的植物资源。目前, 这 3 种植物已被人类长期开发利用, 如紫苏在亚洲地区常作为蔬菜食用并应用于传统医药[7]; 迷迭香提取物作为食品抗氧化剂应用于食品加工领域[8–9]; 百里香提取物对细菌和真菌均具有明显的抑制作用从而产生独特的防腐性能[10–11]。研究表明, 紫苏、迷迭香和百里香 3 种植物提取物对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*)等常见食源性致病菌具有抑制作用[12–14]。但现有研究多集中于对细菌活性的抑制作用, 提取物对典型食品腐败霉菌[如黑曲霉(*Aspergillus niger*)]抑制作用的系统评价相对较少, 这限制了其作为广谱食品防腐剂被开发与应用。

虽然紫苏、迷迭香和百里香在形态特征、风味及传统用途等方面各有不同, 但三者均以 RA 作为特征性活性成分。植物提取物中 RA 的含量, 直接决定了其抗氧化及抑菌性能的上限[15]。目前相关研究多采用粗提物进行活性评价, 但粗提物中往往含有糖类、蛋白质等杂质, 这些杂质不仅会干扰活性成分的有效发挥[16], 也可能在实际食品应用中引起不良风味或色泽问题。在天然食品防腐剂的开发中, 明确特征成分含量与生物活性的关联, 是实现制剂标准化、保障防腐功效的科学前提。因此, 借助适宜的分离富集手段提高提取物中多酚及 RA 的纯度, 排除杂质干扰、准确验证其“成分-活性”内在关联的必要研究途径。

本研究选取紫苏、迷迭香和百里香作为原料, 根据前期筛选和课题组研究基础[17–19], 选用 D101 和 XDA-8 型大孔树脂制备富含 RA 的多酚富集物, 结合超高效液相色谱(ultra performance liquid chromatography, UPLC)等方法明确其成分基础。在体外条件下, 对 3 种富集物的抗氧化活性和抑菌效力(针对典型食源性致病菌和腐败霉菌)进行了系统评估和比较, 旨在探索总多酚及 RA 的高含量特征与生物活性之间是否存在正向关联。本研究有助于从物质基础层面解释这 3 种唇形科植物为何具有抗氧化与抑菌功能, 同时也为天然植物源食品防腐剂的定向开发提供一条新的理论参考路径。

1　材料与方法

1.1　材料、试剂与菌株

紫苏 1 号、直立迷迭香、蒙古百里香植物原料由山西大健康生物产业技术研究院种植并提供。

RA(纯度≥98%)(南京源植生物科技有限公司); 没食子酸(纯度≥99.0%)、*L*-抗坏血酸(纯度≥99%)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)(纯度 96%)、2,2’-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐[2,2’-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) disodium salt, ABTS](纯度 98%)、2,4,6-三吡啶基三嗪(2,4,6-tripyridyl-s-triazine, TPTZ)(纯度 99%)、福林酚(生物试剂)、硫胺素、磷酸二氢钾、硫酸镁、硫酸亚铁($FeSO_4$)、三氯化铁($FeCl_3$)、芦丁(纯度≥98%)、过硫酸钾(纯度 99.9%)(上海麦克林生化科技股份有限公司); 冰乙酸(分析纯, 天津市天力化学试剂有限公司); *D*-(+)-葡萄糖(纯度≥99.5%, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 纤维素酶(3500 U/g, 宁夏夏盛集团有限公司); XDA-8 型大孔树脂(粒径 0.3~1.2 mm, 比表面积 140~450 m^2/g, 平均孔径 20~30 nm, 西安蓝晓科技新材料股份有限公司); D101 型大孔树脂(粒径 0.3~1.2 mm, 比表面积 550~600 m^2/g, 平均孔径 9~10 nm, 海思新材料科技有限公司); 牛肉膏、蛋白胨、琼脂粉、马铃薯浸粉(北京奥博星生物技术有限责任公司); 无水乙醇(分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司); 甲醇(色谱纯, 纯度 99.9%, 瑞典欧森巴克化学公司); 无水乙酸钠(纯度 99.99%)、盐酸、氯化钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、碳酸钠(Na_2CO_3)(分析纯)(天津市北辰方正试剂厂); 吐温-80(化学纯, 天津市众联化学试剂有限公司)。

大肠杆菌 BNCC336435、金黄色葡萄球菌 BNCC186335、黑曲霉 BNCC186380 均由山西大健康生物产业技术研究院微生物实验室保藏并提供。

1.2　仪器与设备

JL-4500A 型多功能粉碎机(永康市速峰工贸有限公司); SB25-12DTD 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司); JJ-1A 数显电动搅拌器(金坛市杰瑞尔电器有限公司); N-1300 型旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司); TG20.5 高速离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司); FD-304 型箱式冷冻干燥机(济南骏得仪器有限公司); SPX-250B-Z 型生化培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); HZK-FA210 电子天平[精度 0.0001g, 华智(福建)电子科技有限公司]; SuPerMax 2500F 型酶标仪(上海闪谱生物科技有限公司); ZYCGF 常规分析型超纯水机(四川卓越水设备有限公司); P4PC 型紫外-可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司); UltiMate 3000 型超高效液相色谱仪(美国赛默飞世尔科技公司); 5C18-MS-II色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)(日本科思美析公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　粗提物的制备

参照任志清等[17]的方法制备粗提取物。精确称取紫苏、迷迭香和百里香粉末各 50.00 g, 分别按料液比 1:10 (g:mL)加入 65%的乙醇, 混合均匀后, 按底物质量的 2% (*m*:*m*)加入纤维素酶, 并调节 pH 至 3.00。在 50 ℃条件下进行超声提取 15 min, 提取结束后, 经双层纱布粗滤。滤液以 4000 r/min 离心 20 min, 收集上清液、浓缩、冻干, 得粗提物, 备用。

1.3.2　多酚的纯化与富集

参照张彦昕等[18]的方法略作修改。基于前期预实验筛选结果, 紫苏和百里香选用 XDA-8 型[19], 迷迭香选用 D101 型大孔树脂[18]。配制紫苏、迷迭香粗提物质量浓度为 5.00 mg/mL, 百里香粗提物为 2.00 mg/mL, 作为上样液。以 2 BV/h 的流速进行动态吸附, 当流出液浓度达到上样液浓度的 0.1 倍时停止上样。用体积为 2 BV, 流速为 1 BV/h 的去离子水进行洗柱, 当流出液为无色时停止洗脱。随后用 65%乙醇以 1 BV/h 的流速洗脱目标组分(紫苏和迷迭香洗脱体积为 12 BV, 百里香为 14 BV)。收集乙醇洗脱液、浓缩、冻干, 得到富含 RA 的多酚富集物(以下简称“富集物”), 备用。

1.3.3　总多酚和迷迭香酸含量的测定

(1)总多酚含量的测定

参照 T/AHFIA 005—2018《植物提取物及其制品中总多酚含量的测定 分光光度法》。以没食子酸为标准品, 配制系列质量浓度工作液(0.00~0.03 mg/mL), 加入福林酚试剂

与 15% Na_2CO_3 溶液, 混匀后于 40 ℃水浴避光反应 60 min, 在 778 nm 处测定吸光度。以质量浓度为横坐标(X, mg/mL), 吸光度为纵坐标(Y, Abs)绘制标准曲线, 回归方程为 Y=14.097X+0.0483 (r^2=0.9994)。将富集物配制成 1.00 mg/mL 溶液, 按上述方法进行测定。根据标准曲线计算样品中总多酚浓度, 结果以没食子酸当量的质量分数(%)表示。每组平行测定 3 次, 总多酚含量计算公式(1)如下。

$$\text{总多酚含量/\%}=\frac{\text{总多酚质量浓度(mg/mL)}}{\text{样品质量浓度(mg/mL)}}\times 100\% \quad (1)$$

(2)迷迭香酸含量的 UPLC 测定

参照杨馥菡[20]的方法, 以 RA 为标准品, 配制系列标准工作液(0.01~0.20 mg/mL), 以 RA 的质量浓度为横坐标(X, mg/mL), 峰面积为纵坐标(Y, mAU・min)绘制标准曲线, 回归方程为 Y=176.31X–1.287 (r^2=0.9997)。将富集物配制成 1.00 mg/mL 溶液, 经过 0.22 μm 滤膜过滤后进样。色谱条件: 采用 5C18-MS-II色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 柱温 35 ℃; 进样量 10 μL; 流速 1.0 mL/min; 检测波长 280 nm。流动相 A 为 0.1%冰乙酸溶液, 流动相 B 为甲醇。梯度洗脱程序: 0~5 min, 20%~40% B; 5~10 min, 40%~55% B; 10~15 min, 55%~60% B; 15~20 min, 60%~65% B。每组平行测定 3 次, RA 含量计算公式(2)如下。

$$\text{RA 含量/\%}=\frac{\text{总多酚质量浓度(mg/mL)}}{\text{样品质量浓度(mg/mL)}}\times 100\% \quad (2)$$

1.3.4 富集物体外抗氧化活性研究

(1) DPPH・清除能力测定

DPPH・清除率用于体外评价各种活性物质的抗氧化能力[21], 采用 Cao 等[22]和徐源等[23]的方法并稍作修改。为确保测试浓度能有效覆盖各样品的半数抑制浓度(semi-inhibitory concentration, IC_{50}), 基于预实验结果, 将紫苏、百里香富集物配制成 5.00~100.00 μg/mL 系列质量浓度, 迷迭香富集物配制成 40.00~200.00 μg/mL 系列质量浓度。向各梯度样品中分别加入 0.08 mg/mL DPPH 无水乙醇工作液。以维生素 C (vitamin C, VC)为阳性对照, 室温避光反应 30 min, 在 517 nm 处测定吸光度。每个样品平行 3 次, 计算清除率及 IC_{50}。DPPH・清除率按公式(3)计算。

$$\text{DPPH•清除率/\%}=(1-\frac{A_1-A_2}{A_3})\times 100\% \quad (3)$$

式中: A_1 为样品溶液与 DPPH 溶液混匀后的吸光度; A_2 为样品溶液与无水乙醇混匀后的吸光度; A_3 为 DPPH 溶液与去离子水混匀后的吸光度。

(2) $ABTS^+$・清除能力测定

参照文献[24–25]的方法并稍作修改。将 ABTS 与 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液混合, 于 4 ℃冰箱避光反应 12~16 h, 得到 ABTS 储备液。使用前, 取适量 ABTS 储备液, 用 70%乙醇稀释, 在 734 nm 处调节其吸光度为 (0.70±0.02) Abs, 得到 ABTS 工作液。以 VC 为阳性对照, 室温下避光反应 60 min, 在 734 nm 处测定吸光度。每个样品平行 3 次, 计算清除率及 IC_{50}。$ABTS^+$・清除率按公式(4)计算。

$$ABTS^+\text{•清除率/\%}=(1-\frac{A_4-A_5}{A_6})\times 100\% \quad (4)$$

式中: A_4 为样品溶液与 ABTS 工作液混匀后的吸光度; A_5 为样品溶液与 70%乙醇混匀后的吸光度; A_6 为 ABTS 工作液与去离子水混匀后的吸光度。

(3)总抗氧化能力测定

参照陈涛林等[26]和 Dravie 等[27]的方法测定总抗氧化能力。将 30.00 mmol/L 醋酸钠缓冲液、10.00 mmol/L TPTZ 溶液、20.00 mmol/L $FeCl_3$ 溶液按体积比为 10:1:1 混匀, 得到铁离子还原抗氧化能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)工作液。以 $FeSO_4$ 为标准品, 配制系列浓度标准溶液(0.10~0.80 mmol/L), 加入 FRAP 工作液, 室温避光反应 20 min, 在 593 nm 处测定吸光度, 以 $FeSO_4$ 质量浓度为横坐标(X, mg/mL), 吸光度为纵坐标(Y, Abs)绘制标准曲线 Y=0.3081X+0.0652 (r^2=0.9994)。将富集物配制成 100.00~1000.00 μg/mL 的系列质量浓度溶液, 以 VC 为阳性对照, 按上述条件同法测定。根据标准曲线计算, 总抗氧化能力以 $FeSO_4$ 当量(mmol/L)表示。每个样品平行测定 3 次。

1.3.5 富集物体外抑菌活性研究

(1)对食源性致病菌(细菌)的抑制作用

依照 Assefa 等[28]和孙增红等[29]的方法稍作修改。

①菌悬液制备: 将保存的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌接种至 LB 液体培养基活化, 37 ℃培养 18~24 h。利用平板计数法将菌液浓度调整至 1×10^6 CFU/mL, 4 ℃备用。

最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)测定: 采用肉汤稀释法[30–31]。富集物以无菌水配制成 10.00 mg/mL 储备液, 经 0.22 μm 滤膜除菌。采用二倍稀释法制备系列工作液。在 96 孔板中加入样品液与等体积菌悬液, 以 0.50%山梨酸钾为阳性对照, 设阴性对照及空白对照。37 ℃培养, 分别于 0、12、24 h 测定 600 nm 处吸光度(OD_{600})。以完全抑制细菌生长的最低样品浓度判定为 MIC。

③抑菌圈测定(琼脂打孔法): 将富集物用无菌水配制成系列浓度溶液, 用于金黄色葡萄球菌抑菌试验的样品为 1.00~5.00 mg/mL; 大肠杆菌为 3.00~7.00 mg/mL。样品溶液经 0.22 μm 滤膜除菌, 备用。以 0.50%山梨酸钾溶液为阳性对照, 无菌去离子水为阴性对照。用无菌棉棒将菌悬液均匀涂布于 LB 平板, 无菌打孔器打孔(直径 9.00 mm), 每孔加入 100 μL 样品液。37 ℃培养 18~24 h 后测量抑菌圈直径。

(2)对食品腐败霉菌(黑曲霉)的抑制作用

参照 Yang 等[32]和杨志坤[33]的方法稍作修改。

①孢子悬浮液的制备: 将黑曲霉接种于马铃薯葡萄糖琼脂(complete potato dextrose agar, CPDA)固体培养基, 28 ℃培养 5~7 d 至黑色孢子完全成熟。加入 10 mL 含 0.1%吐温-80 的无菌生理盐水(或无菌水)洗刷洗脱孢子, 洗脱液

经无菌纱布过滤去除菌丝体。采用平板计数法对孢子悬液进行活菌计数, 将其浓度调整至 1×10^6 孢子/mL, 4 ℃备用。

②含药平板抑制率的测定: 将富集物用无菌水配制成 50 mg/mL 的储备液, 0.22 μm 滤膜过滤。取 200 μL 的富集物溶液, 与 15 mL 已灭菌并冷却至 60 ℃左右的 CPDA 固体培养基混匀后倒平板。待平板冷却凝固后, 用直径为 9 mm 的无菌打孔器在平板中央打孔, 向孔内准确注入 100 μL 的孢子悬浮液。空白对照以 200 μL 无菌水代替。将平板置于 28 ℃恒温培养 2~5 d, 每日采用十字交叉法测量以孔为中心向外辐射生长的霉菌菌落直径。每组平行 3 次。抑菌率计算公式(5)如下。

$$\text{抑制率}/\% = \frac{\text{对照平板中菌丝体生长的直径(cm)}-\text{含样品菌丝体生长的直径(cm)}}{\text{对照平板中菌丝体生长的直径(cm)}} \quad (5)$$

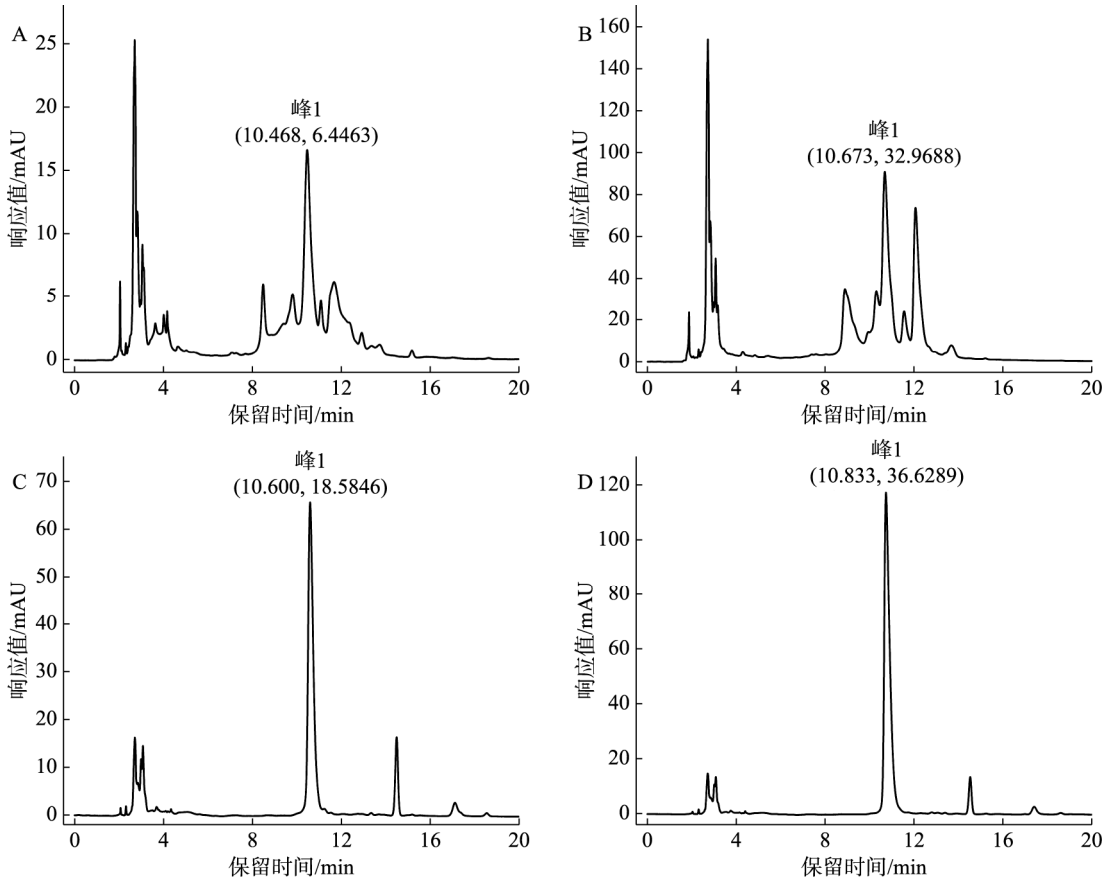
1.4　数据处理

所有试验均做 3 次平行, 结果以平均值±标准偏差表示。所有数据分析采用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行分析, 组间差异采用单因素方差分析, 运用 Duncan 多重比较法进行显著性检验(以 $P<0.05$ 表示差异显著)。使用 Excel 2020 进行数据汇总与制表, 使用 GraphPad Prism 10.1.2 和 Origin 2024 软件作图。

2　结果与分析

2.1　大孔树脂富集前后总多酚与迷迭香酸含量对比

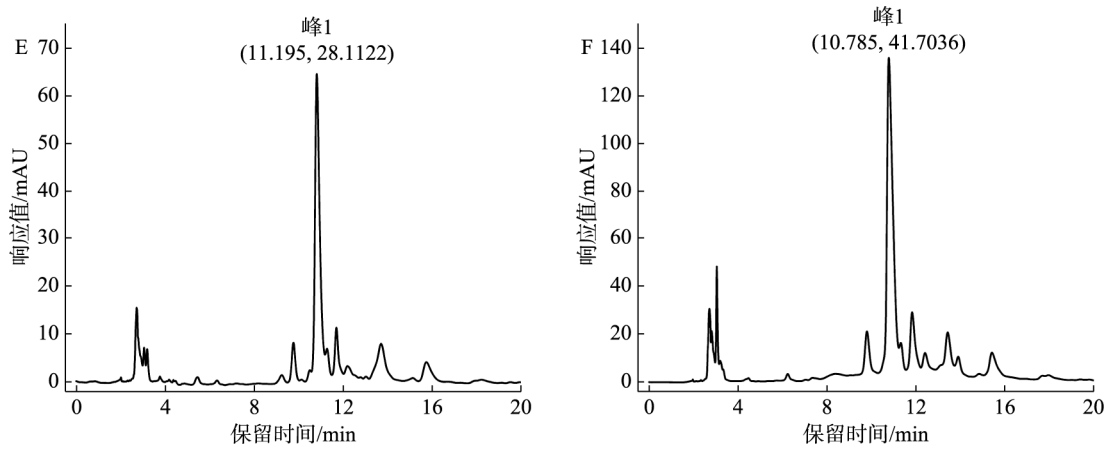
由图 1 可知, 富集前, 3 种粗提物中 RA 的特征峰(峰 1)峰面积较小, 且杂峰较多; 经大孔树脂富集后, 特征峰面积明显增加, 说明 RA 得到了有效富集。具体数据见表 1, 富集后的总多酚含量呈现明显的上升趋势, 提升至粗提物的 1.95~3.30 倍。其中, 紫苏、迷迭香、百里香中 RA 的含量分别从富集前的 (4.37±0.36)% 、(10.87±0.27)% 和 (9.45±0.11)%, 提高到富集后的 (21.59±0.19)% 、(20.56±0.03)% 和 (23.25±0.97)%, 富集倍数依次达到了 4.94、1.89、2.46 倍。这表明, XDA-8 和 D101 大孔树脂对酚酸类成分具有良好的富集效果。其主要原因在于, 多酚类及 RA 结构中丰富的酚羟基和苯环, 能够与大孔树脂骨架之间产生较强的氢键作用与范德华力; 同时, 树脂较大的比表面积也增加了多酚类物质与树脂之间的结合位点数量[34], 提升了样品中总多酚及 RA 的含量, 为后续的抗氧化及抑菌活性提供了直接的物质支撑。



注: A. 紫苏粗提物; B. 紫苏富集物; C. 迷迭香粗提物; D. 迷迭香富集物; E. 百里香粗提物; F. 百里香富集物。

图 1　各样品的 UPLC 图

Fig.1　UPLC chromatograms of various samples



注: A. 紫苏粗提物; B. 紫苏富集物; C. 迷迭香粗提物; D. 迷迭香富集物; E. 百里香粗提物; F. 百里香富集物。

图 1(续) 各样品的 UPLC 图

Fig.1 UPLC chromatograms of various samples

表 1 紫苏、迷迭香及百里香富集前后总多酚与 RA 含量测定结果

Table 1 Determination results of total polyphenols and RA content in *Perilla frutescens*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgari* before and after enrichment

样品		总多酚含量/%	RA 含量/%
紫苏	粗品(富集前)	10.45±0.05	4.37±0.36
	纯品(富集后)	33.18±0.18	21.59±0.19
迷迭香	粗品(富集前)	16.57±0.55	10.87±0.27
	纯品(富集后)	27.40±0.08	20.56±0.03
百里香	粗品(富集前)	10.16±0.33	9.45±0.11
	纯品(富集后)	33.83±0.21	23.25±0.97

注: 表中数据均以平均值±标准偏差(n=3)表示。

2.2 富集物体外抗氧化活性分析

2.2.1 DPPH·清除能力分析

由图 2 可知, 3 种植物富集物对 DPPH·的清除率均呈现明显的浓度相关性, 随着浓度升高清除能力逐渐增强。在相同质量浓度下, 各富集物的清除率均略低于阳性对照 VC。综合图 2A 和图 2B, 3 种富集物对 DPPH·的清除能力强弱顺序为紫苏>百里香>迷迭香。其中, 紫苏在质量浓度为 60 μg/mL 时清除率达(87.78±1.11)%, 之后趋于平缓, 最大清除率已接近 VC 水平, 表明紫苏富集物具有较强的抗氧化活性。迷迭香富集物对 DPPH·的清除作用相对较弱, 质量浓度为 180 μg/mL 时清除率仅为(68.65±1.16)%, 对 DPPH·的半数清除率 IC_{50} 为(90.99±1.00) μg/mL。尽管 3 种富集物中 RA 含量相近, 但紫苏的清除能力最优。这可能与 RA 及紫苏中特有的黄酮、花色苷等多酚产生的协同增效作用有关[35], 表明富集物的整体抗氧化活性受其多酚组分构成的综合影响。

2.2.2 $ABTS^+$·清除能力分析

由图 3A 可知, 3 种植物富集物对 $ABTS^+$·的清除率均随浓度增加而升高, 对 $ABTS^+$·的清除能力强弱顺序为紫苏>百里香>迷迭香。当质量浓度为 20 μg/mL 时, 紫苏和百里香的清除率分别为(99.06±0.69)%和(98.37±0.46)%, 高于同浓度阳性对照 VC (95.34±0.95)%; 迷迭香提取物清除能

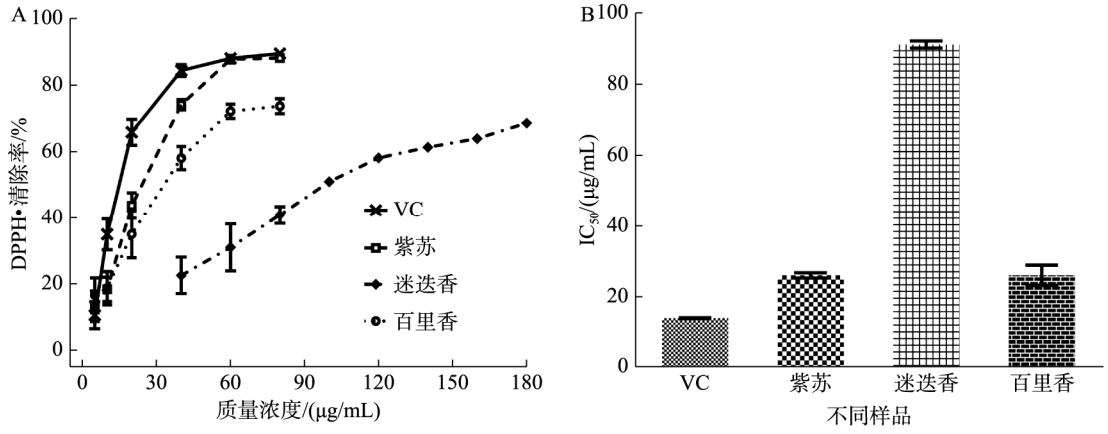


图 2 各样品对 DPPH·的清除效果

Fig.2 Scavenging effects of various samples on DPPH·

力相对较弱, 仅在 80 μg/mL 时清除率达(99.66±0.27)%。图 3B 结果显示, 迷迭香的 IC_{50} 最高, 百里香略高于紫苏, 进一步验证了上述活性强弱顺序。结合表 1 成分含量, 紫苏与百里香的总多酚含量相近, 其 $ABTS^{+}$ • 清除能力也无明显差异, 表明总多酚是贡献 $ABTS^{+}$ • 清除活性的重要物质基础[36]。迷迭香的 $ABTS^{+}$ • 清除能力相对较弱, 与其总多酚含量较低相一致。

2.2.3　总抗氧化能力分析

由图 4A 可知, 在 100~1000 μg/mL 范围内, 各样品的 FRAP 与样品质量浓度呈正相关, 且随着浓度的升高而升高。各供试样品的 FRAP 大小依次为: 百里香>VC>紫苏>迷迭香。结合图 4B, 百里香的还原能力最强, 高于阳性对照 VC。迷迭香最弱, 其 IC_{50} 为 365.81 μg/mL(以达到 500 μmol/L $FeSO_4$ 还原能力所对应的样品浓度计)[26]。结合表 1 成分含量, 百里香的总多酚含量最高(33.83%±0.21%), 其 FRAP 还原能力最强; 迷迭香的总多酚含量相对较低(27.40%±0.08%), 其还原能力较弱。紫苏的总多酚含量(33.18%±0.18%)虽与百里香相近, 但其 FRAP 弱于百里香。这表明, 富集物的 FRAP 不仅取决于总多酚的含量, 也受到多酚组分结构特征的影响。这主要依赖于其骨架上酚羟基的数量与空间排布, 含有邻二酚羟基结构的特定黄酮或酚酸, 具备极强的供电子能力和较低的氧化还原电位, 能够高效地将单电子传递给 Fe^{3+} 从而完成还原反应[37]。因此, 推测百里香富集物中可能含有更多提供电子的酚类物质, 使其展现出较好的抗氧化能力。

综合上述抗氧化活性评价结果, 纯化后 3 种植物富集物对 DPPH • 、$ABTS^{+}$ • 及铁离子均表现出良好的清除或还原能力, 且活性强弱与总多酚及 RA 含量密切相关, 表明总多酚及 RA 是上述植物发挥抗氧化作用的主要物质基础。

2.3　富集物体外抑菌活性分析

2.3.1　对典型食源性致病菌(细菌)的抑制作用分析

(1)最小抑菌浓度测定结果

3 种富集物对供试细菌的 MIC 见表 2。MIC 越小, 抑菌能力越强[38]。阳性对照山梨酸钾组菌悬液澄清, 培养 24 h 后 OD 无明显变化。结果显示, 紫苏、迷迭香和百里香对金黄色葡萄球菌的 MIC 分别为 0.31、0.63、0.31 mg/mL, 对大肠杆菌的 MIC 分别为 1.25、5.00、2.50 mg/mL。在上述质量浓度下, 96 孔板中菌悬液开始变澄清, 其 OD 与阳性对照组接近。表明 3 种样品对两种供试菌均具有一定抑制作用, 其中对金黄色葡萄球菌的抑制效果更佳。

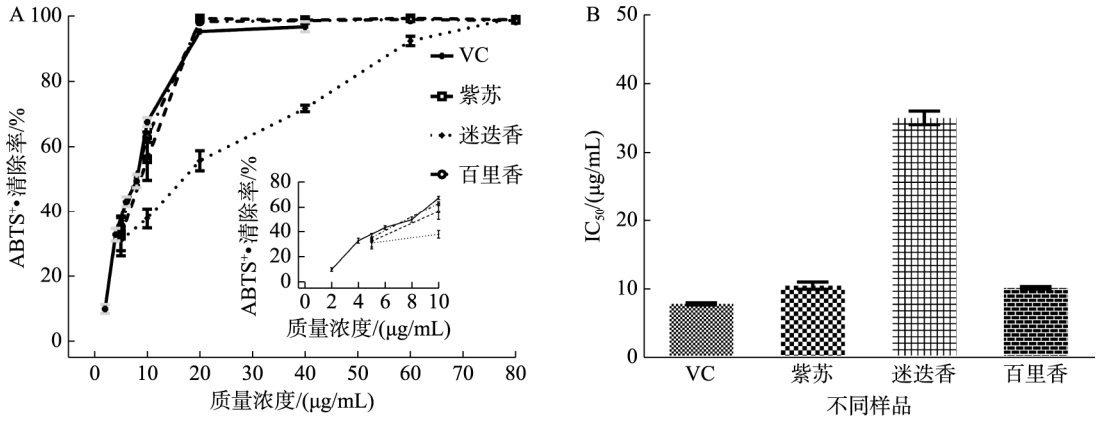


图 3　各样品对 $ABTS^{+}$ • 的清除效果

Fig.3　Scavenging effects of various samples on $ABTS^{+}$ •

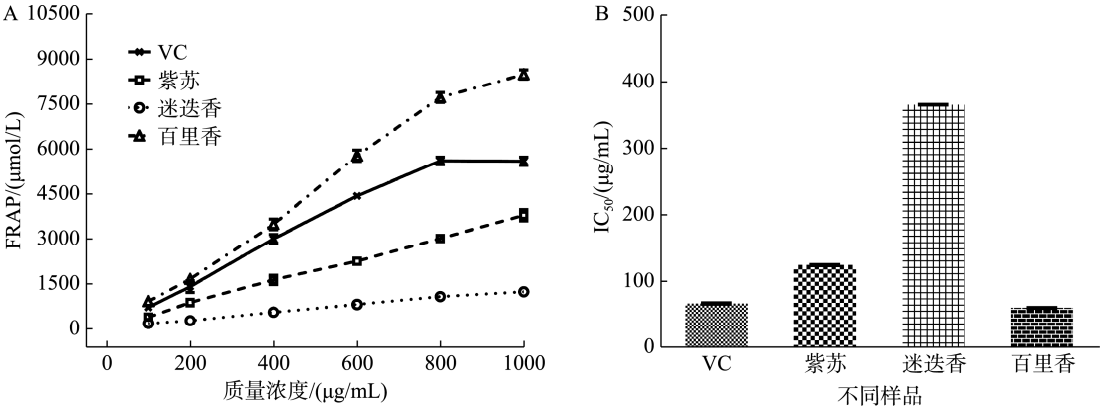


图 4　各样品的 FRAP

Fig.4　FRAP of various samples

表 2 各样品对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的 MIC

Table 2 MIC of the various samples against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*

供试菌种	样品种类	样品质量浓度 10.00	5.00	2.50	1.25	0.63	0.31	0.16	0.08	MIC/(mg/mL)
金黄色葡萄球菌	紫苏	–	–	–	–	–	–	+	+	0.31
	迷迭香	–	–	–	–	–	+	+	+	0.63
	百里香	–	–	–	–	–	–	+	+	0.31
大肠杆菌	紫苏	–	–	–	–	+	+	+	+	1.25
	迷迭香	–	–	+	+	+	+	+	+	5.00
	百里香	–	–	–	+	+	+	+	+	2.50

注: +代表有菌生长; –代表无菌生长。样品质量浓度单位为 mg/mL。

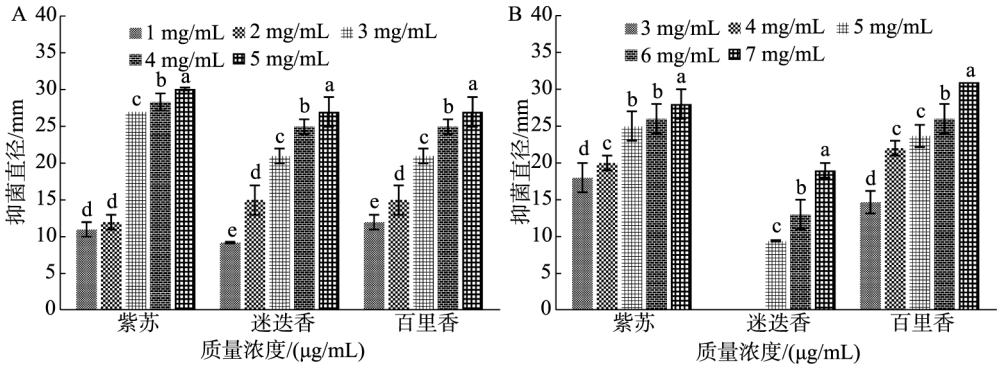
(2)抑菌圈直径测定结果

3 种富集物对供试细菌的抑菌圈直径和抑菌效果见图 5~6。在浓度范围内, 3 种多酚富集物对供试菌种的抑菌圈直径均随浓度的升高而显著增大(P<0.05), 富集物对金黄色葡萄球菌(1~5 mg/mL)和大肠杆菌(3~7 mg/mL)的抑菌圈直径范围分别为 (9.20±0.10)~(30.10±0.20) mm 和 (9.40±0.10)~(31.00±0.00) mm; 在最高浓度下, 其抑菌圈大小与阳性对照[(35.50±0.20) mm]接近。综合来看, 3 种富集物对两种致病菌均表现出一定的抑制能力; 在相同浓度下, 整体抑菌效力依次为: 紫苏>百里香>迷迭香。

结合表 1 可知, 紫苏与百里香中总多酚及 RA 含量较高, 其对金黄色葡萄球菌的 MIC 均为 0.31 mg/mL, 抑菌圈直径也相对较大; 相比之下, 迷迭香富集物的含量较低, MIC 为 0.63 mg/mL, 体外抑菌效力相对较弱。上述结果表明, 总多酚及特征成分 RA 是富集物发挥抑菌活性的物质基础, 与 Zhao 等[39]对紫苏总多酚及单体成分抑菌活性的研究结果一致。

2.3.2 对食品腐败霉菌(黑曲霉)的抑制作用分析

菌落直径是评价样品抑菌活性的直观指标。紫苏、迷迭香和百里香对黑曲霉的菌落直径、抑菌率及抑菌效果见图 7。结果表明, 百里香的抑菌效果最佳, 培养至第 4 d 时对黑曲霉的抑制率达(51.55±3.27)%。迷迭香对黑曲霉也具有一定抑制作用, 但抑制率自第 4 d 起有所下降, 整体效果始终弱于百里香。紫苏在培养第 2 d、3 d 时菌落生长状况与对照组接近, 至第 5 d 已长满培养基, 表明其对黑曲霉无明显抑制作用。



注: A. 金黄色葡萄球菌; B. 大肠杆菌。不同小写字母表示各处理组(含阳性对照)间存在显著性差异(P<0.05); 无柱形且无字母标注处, 表示在该浓度下未观察到宏观抑菌圈。

图 5 各样品对供试细菌的抑菌圈直径

Fig.5 Diameters of the inhibition zones of various sample against the test bacteria

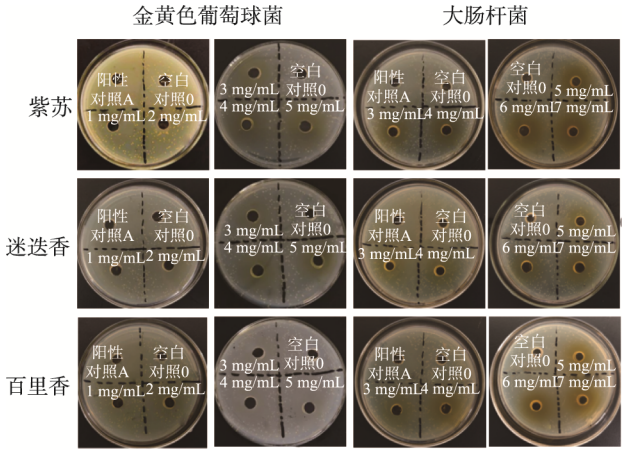
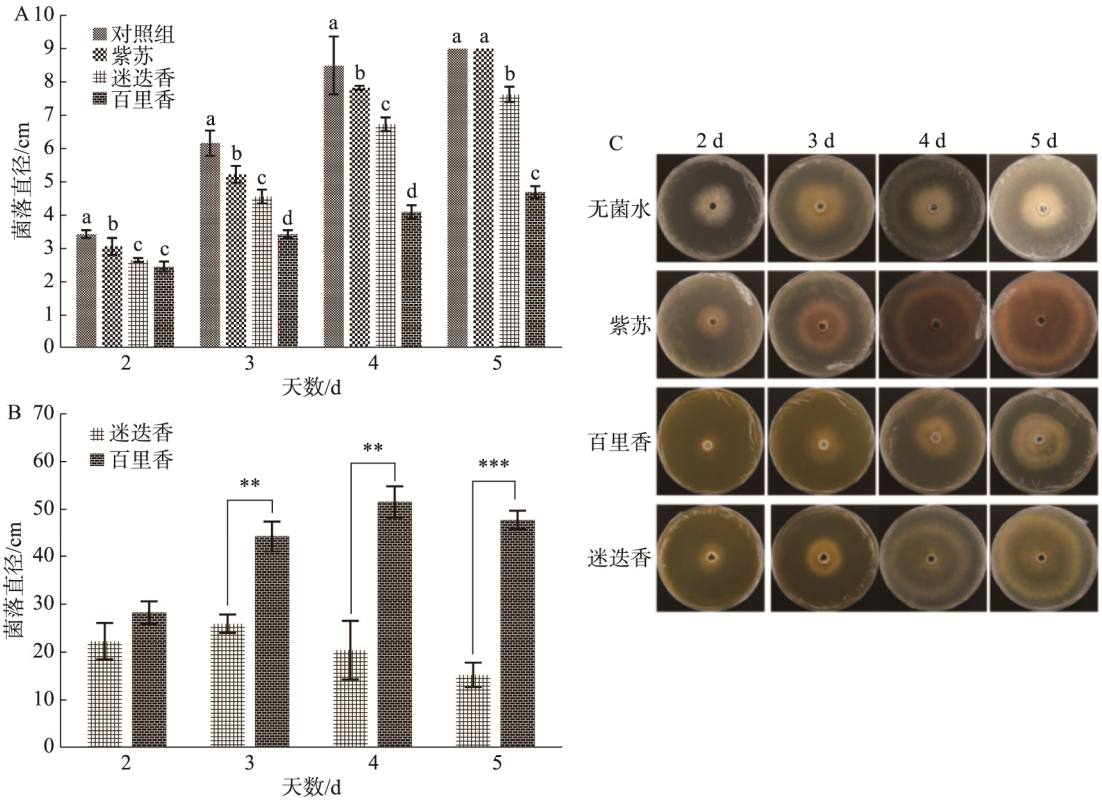


图 6 各样品对供试细菌的抑菌效果图

Fig.6 Antibacterial effects of various samples against test bacteria



注: A. 不同处理组在不同培养时间的黑曲霉菌落直径, 不同小写字母表示相同天数各处理组间差异显著(P<0.05); B. 迷迭香与百里香富集物对黑曲霉的抑制率对比, **表示同一天内两组间差异极显著(P<0.01), ***表示差异强极显著(P<0.001)。紫苏富集物对黑曲霉无抑制作用(抑制率为 0%), 未在图 B 中展示; C. 各处理组在不同培养时间的黑曲霉生长形态图。

图 7　各样品对黑曲霉的抑制效果

Fig.7　Antibacterial effects of various samples against *Aspergillus niger*

3　结论与讨论

通过大孔吸附树脂对紫苏、迷迭香和百里香 3 种植物的粗提物进行了分离富集。富集后各样品的总多酚含量提升至原提取物的 1.95~3.30 倍; 其中紫苏的 RA 富集倍数达到 4.94 倍, 百里香和迷迭香分别为 2.46 倍和 1.89 倍。抗氧化方面, 紫苏和百里香在质量浓度为 20 μg/mL 时, 对 $ABTS^{+}$·的清除率分别为(99.06±0.69)%和(98.37±0.46)%, 略高于同浓度阳性对照 VC; 百里香富集物的 FRAP 最为突出, 其活性也超过 VC。抑菌方面, 3 种富集物对典型食源性致病菌均具显著抑制作用, 且对金黄色葡萄球菌的敏感性普遍高于大肠杆菌; 针对食品腐败霉菌黑曲霉, 百里香富集物的抑制效果最佳, 迷迭香次之, 紫苏则无明显抑制作用。结果表明, 3 种富集物的抗氧化和抑菌活性与其总多酚及特征单体 RA 的富集程度密切相关[39]。

综上, 经大孔树脂富集后的紫苏、迷迭香和百里香多酚提取物同时具备优良的抗氧化与抑菌双重功效, 这为其替代人工合成防腐剂和抗氧化剂、在清洁标签食品领域进行深度开发与应用等提供了较为扎实的数据依据。但本研究仅局限于体外生化测定和抑菌活性, 未来应将富集物引入烘焙食品、肉制品等真实复杂食品基质中, 系统评估其在加工过程中的热稳定性、品质保护效应及对感官风味的影响, 为其在食品工业中的深度开发与产业化应用奠定科学基础。

参考文献

[1] De Oliveira I, Santos-Buelga C, Aquino Y, et al. New frontiers in the exploration of phenolic compounds and other bioactives as natural preservatives [J]. Food Bioscience, 2025, 68: 106571.

[2] Jakovljević D, Warchoł M, Skrzypek E. Rosmarinic acid as bioactive compound: molecular and physiological aspects of biosynthesis with future perspectives [J]. Cells, 2025, 14(11): 850.

[3] Leong K F, Chen Zihan, Coghi P. Unveiling rosmarinic acid: understanding its broad spectrum of bioactivities [J]. Planta Medica, 2026, 92(2): 84–111.

[4] Topal M, Gulcin İ. Evaluation of the *in vitro* antioxidant, antidiabetic and anticholinergic properties of rosmarinic acid from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) [J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2022, 43: 102417.

[5] Zhang Jinhua, Cui Xin, Zhang Min, et al. The antibacterial mechanism of *Perilla* rosmarinic acid [J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 2022, 69(4): 1757–1764.

[6] Ivanov M, Kostić M, Stojković D, et al. Rosmarinic acid–modes of antimicrobial and antibiofilm activities of a common plant polyphenol [J].

South African Journal of Botany, 2022, 146: 521–527.

[7] 陆敏婷, 刘鹏, 沈奇, 等. 紫苏的食药价值及栽培历史考证[J]. 广州中医药大学学报, 2024, 41(10): 2815–2822.
Lu Minting, Liu Peng, Shen Qi, et al. Textual research on the edibleness and cultivation history of *Perilla frutescens* (L.) britt [J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2024, 41(10): 2815–2822.

[8] Moczkowska M, Karp S, Horbanczuk O K, et al. Effect of rosemary extract addition on oxidative stability and quality of hemp seed oil [J]. Food and Bioproducts Processing, 2020, 124: 33–47.

[9] 王金香, 李云聪, 田洪, 等. 迷迭香提取物稳定性研究[J]. 食品科技, 2021, 46(11): 224–228.
Wang Jinxiang, Li Yuncong, Tian Hong, et al. Stability of rosemary extract [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(11): 224–228.

[10] Mokhtari R, Kazemi Fard M, Rezaei M, et al. Antioxidant, antimicrobial activities, and characterization of phenolic compounds of thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and thyme–sage mixture extracts [J]. Journal of Food Quality, 2023, 2023: 2602454.

[11] Spréa R M, Caleja C, Pereira E, et al. Effect of heat-assisted and ultrasound-assisted extraction methods on the phenolic profile and biological activity of *Thymus vulgaris* L. extracts [J]. Antioxidants, 2025, 14(5): 567.

[12] Hou Tianyu, Netala V R, Zhang Hongjiao, et al. *Perilla frutescens*: a rich source of pharmacological active compounds [J]. Molecules, 2022, 27(11): 3578.

[13] 朱志妍, 田浩, 潘俊, 等. 迷迭香提取物的制备及抗氧化、抑菌活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 461–469.
Zhu Zhiyan, Tian Hao, Pan Jun, et al. Research progress in preparation, antioxidant and antibacterial activities of rosemary extract [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(12): 461–469.

[14] Ndhlala A R, Işık M, Kavaz Yüksel A, et al. Phenolic content analysis of two species belonging to the *Lamiaceae* family: antioxidant, anticholinergic, and antibacterial activities [J]. Molecules, 2024, 29(2): 480.

[15] Quradha M M, Tamfu A N, Duru M E, et al. Evaluation of HPLC profile, antioxidant, quorum sensing, biofilm, swarming motility, and enzyme inhibition activities of conventional and green extracts of *Salvia triloba* [J]. Food Science & Nutrition, 2024, 12(12): 10716–10733.

[16] Sun Nan, Xie Jiayan, Xie Jianhua, et al. Purification, composition and activity of bound polyphenols from mung bean coat dietary fiber [J]. Food Research International, 2022, 162: 111997.

[17] 任志清, 李会珍, 张志军, 等. 不同品种紫苏叶迷迭香酸的提取及其生物活性[J]. 现代食品科技, 2021, 37(1): 92–100.
Ren Zhiqing, Li Huizhen, Zhang Zhijun, et al. Extraction of rosmarinic acid from different varieties of *Perilla* leaves and its biological activity [J]. Modern Food Science & Technology, 2021, 37(1): 92–100.

[18] 张彦昕, 柴贝贝, 石玉节, 等. 迷迭香三种成分提取及其体外抗氧化和抑菌活性研究[J]. 云南化工, 2025, 52(1): 63–68.
Zhang Yanxin, Chai Beibei, Shi Yujie, et al. Extraction and isolation of three components from rosemary and their antioxidant and antibacterial activities *in vitro* [J]. Yunnan Chemical Technology, 2025, 52(1): 63–68.

[19] 薛姣, 张志军, 李晓君, 等. 大孔树脂分离纯化紫苏迷迭香酸的研究[J]. 食品科技, 2015, 40(9): 184–187.
Xue Jiao, Zhang Zhijun, Li Xiaojun, et al. Separation and purification of rosmarinic acid from *Perilla* with macroporous resins [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(9): 184–187.

[20] 杨馥菡. 高纯度紫苏叶迷迭香酸和咖啡酸的制备研究[D]. 太原: 中北大学, 2021: 16–17.
Yang Fuhan. Study on preparation of high purity *Perilla* leaves rosmarinic acid and caffeic acid [D]. Taiyuan: North University of China, 2021: 16–17.

[21] Shang Xianchao, Zhang Manman, Hu Jing, et al. Chemical compositions, extraction optimizations, and *in vitro* bioactivities of flavonoids from *Perilla* leaves (*Perillae folium*) by microwave-assisted natural deep eutectic solvents [J]. Antioxidants, 2022, 12(1): 104.

[22] Cao Qingming, Yan Jianye, Sun Zhicheng, et al. Simultaneous optimization of ultrasound-assisted extraction for total flavonoid content and antioxidant activity of the tender stem of *Triarrhena* lutarioriparia using response surface methodology [J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(1): 37–45.

[23] 徐源, 赫丁轩, 赵丽平, 等. 紫苏叶多糖提取工艺的优化及抗氧化活性分析[J]. 中国农业科技导报(中英文), 2025, 27(10): 170–179.
Xu Yuan, He Dingxuan, Zhao Liping, et al. Optimization of extraction process and analysis of antioxidant activity of polysaccharides from *Perilla* leaves [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2025, 27(10): 170–179.

[24] Vinci G, D'Ascenzo F, Maddaloni L, et al. The influence of green and black tea infusion parameters on total polyphenol content and antioxidant activity by ABTS and DPPH assays [J]. Beverages, 2022, 8(2): 18.

[25] Gutierrez Montiel D, Guerrero Barrera A L, Martínez Ávila G C G, et al. Influence of the extraction method on the polyphenolic profile and the antioxidant activity of *Psidium guajava* L. leaf extracts [J]. Molecules, 2023, 29(1): 85.

[26] 陈涛林, 陈美丽, 葛智文, 等. 茶组植物新资源-元宝山茶的主要化学成分及其抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 87–96.
Chen Taolin, Chen Meili, Ge Zhiwen, et al. Chemical Components and Antioxidative Activities of *Camellia* yungkiangensis var. yuanbaoshanica-a new resources of *Camellia sinensis* [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 87–96.

[27] Dravie E E, Kortei N K, Essuman E K, et al. Antioxidant, phytochemical and physicochemical properties of sesame seed (*Sesamum indicum* L) [J]. Scientific African, 2020, 8: e00349.

[28] Assefa A, Belay S, Kloos H. Evaluation of *in-vitro* antibacterial activity of extracts of Calpurina *Aurea*, *Vernonia amygdalina* and *Rumex nepalensis* in Goba district, southeastern Ethiopia [J]. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 2024, 11(1): 69–83.

[29] 孙增红, 张莎, 王丽娃, 等. 黄蜀葵花提取物中总黄酮与总多酚含量测定及体外抑菌与抗氧化活性研究[J]. 化学与生物工程, 2024, 41(2): 26–32.
Sun Zenghong, Zhang Sha, Wang Liwa, et al. Determination of total flavonoids and total polyphenols in abelmoschi *Corolla* extracts and their *in vitro* antibacterial and antioxidant activities [J]. Chemistry & Bioengineering, 2024, 41(2): 26–32.

[30] Jam N, Hajimohammadi R, Gharbani P, et al. Antibacterial activity of *Punica granatum* L. and *Areca nut* (P. A) combined extracts against some food born pathogenic bacteria [J]. Saudi Journal of Biological Sciences,

2022, 29(3): 1730–1736.

[31] Belay D, Kenubih A, Yesuf M, et al. Antioxidant and antimicrobial activity of solvent fractions of *Calpurnia aurea* (Ait.) Benth. (Fabaceae) [J]. Journal of Experimental Pharmacology, 2021, 13. : 499–509.

[32] Yang Zhikun, Li Mingrui, Li Yanxiao, et al. Improving properties of *Litsea cubeba* oil Pickering emulsion-loaded gelatin-based bio-nanocomposite film *via* optimizing blending ratio: application for mango preservation [J]. Food Hydrocolloids, 2023, 145: 109052.

[33] 杨志坤. 负载天然植物精油的缓释抗菌膜的制备及其在果蔬保鲜中的应用[D]. 镇江: 江苏大学, 2024: 23–24.
Yang Zhikun. Development of natural plant essential oils-loaded antimicrobial film with slow-release property and its application in fruit and vegetable preservation [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2024: 23–24.

[34] Zhu Yujie, Meng Ling, Zhao Yi, et al. Adsorption and desorption of lignans, flavonoids, phenolic acids by macroporous adsorbent resins during extraction of Astragali *Radix* and stir-fried Arctii Fructus [J]. Chemical Papers, 2025, 79(8): 5125–5138.

[35] Lia F, Baron B. Analysis of polyphenolic composition, antioxidant power and stress-response effects of fractionated *Perilla* leaf extract on cells *in vitro* [J]. Biologics, 2025, 5(1): 2.

[36] 王玉梅, 王莹, 李娜, 等. 锁阳不同萃取物总黄酮、总多酚含量与其抗氧化活性的相关性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37(9): 1638–1644.
Wang Yumei, Wang Ying, Li Na, et al. Correlation between total flavonoids and total polyphenols content with antioxidant activities of different extracts of *Cynomorium songaricum* [J]. Natural Product Research and Development, 2025, 37(9): 1638–1644.

[37] Rudrapal M, Khairnar S J, Khan J, et al. Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism(s) of action [J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 806470.

[38] Tumpa N I, Chowdhury M H U, Asma A A. Deciphering the antimicrobial, antibiofilm and membrane stabilizing synergism of *Mikania scandens* (L.) Willd. leaves and stems substantiation through *in vitro* and in silico studies [J]. Biotechnology Reports, 2023, 38: e00797.

[39] Zhao Yana, Li Huizhen, Zhang Zhijun, et al. Extraction, preparative monomer separation and antibacterial activity of total polyphenols from *Perilla frutescens* [J]. Food & Function, 2022, 13(2): 880–890.

(责任编辑: 安香玉　曹岱琳)