食品工业科技
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF FOOD INDUSTRY

• 荷兰《文摘与引文数据库》（Scopus）
• 瑞典开放存取期刊目录 DOAJ
• 美国《化学文摘》CA
• 英国《食品科技文摘》FSTA
• 日本科学技术振兴机构数据库JST
• 世界期刊影响力指数（WJCI）报告
• 食品科学与工程领域高质量科技期刊分级目录第一方阵T1
• 北大核心期刊
• 中国精品科技期刊
• 中国科技核心期刊CSTPCD
• 中国核心学术期刊RCCSE
• 中国农林核心期刊A
• 中国生物医学Sino Med

半月刊　ISSN 1002-0306　CN 11-1759/TS　邮发代号：2-399

迷迭香提取物的制备及抗氧化、抑菌活性研究进展

朱志妍，田 浩，潘 俊，吴昕怡，王瀚墨，刘秀微

Research Progress in Preparation, Antioxidant and Antibacterial Activities of Rosemary Extract

ZHU Zhiyan, TIAN Hao, PAN Jun, WU Xinyi, WANG Hanmo, and LIU Xiuwei

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060161

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

蓝莓花色苷抗氧化功能及稳定性研究进展
Research progress in antioxidant function and stability of blueberry anthocyanins
食品工业科技. 2018, 39(4): 312-317　https://doi.org/

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 aureusin in Vitro*
食品工业科技. 2020, 41(14): 108-113　https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.018

水分散型迷迭香抗氧化剂的制备及其在猪肉糜中的抗氧化效果的评价
Preparation of Water-dispersed Rosemary Antioxidant and Its Evaluation of Antioxidant Effect in Minced Pork
食品工业科技. 2020, 41(4): 234-241　https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.040

食品级W/O/W双重乳液的稳定性及应用研究进展
Research Progress on Stability and Application of Food Grade W/O/W Double Emulsion
食品工业科技. 2019, 40(11): 323-333　https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.054

甜菜红素提取、纯化、稳定性及抗氧化活性研究进展
Advances in Extraction,Purification, Stability and Antioxidant Activity of Betacyanin
食品工业科技. 2019, 40(16): 304-311,319　https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.051

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　https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.022

关注微信公众号，获得更多资讯信息

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060161

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. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060161

· 专题综述 ·

迷迭香提取物的制备及抗氧化、抑菌活性研究进展

朱志妍，田　浩，潘　俊，吴昕怡，王瀚墨，刘秀薇*

（云南省农业科学研究院农产品加工研究所，云南昆明 650223）

摘　要：迷迭香是重要的经济作物，其提取物中含有酚酸类、黄酮类、萜类等多种生物活性物质，具有抗氧化、抑菌等重要的生理功能，因此可作为天然抗氧化剂、天然抑菌剂应用于生产中。本文综述了迷迭香提取物目前采用的提取、纯化方法，提高提取物稳定性所应用的微胶囊技术、纳米颗粒载体技术和复合涂膜技术。重点讨论了迷迭香提取物的抗氧化、抑菌活性，以及在肉类制品、蔬菜水果、油脂、饮料等加工过程中的具体应用。最后对迷迭香提取物的不足和后续研究进行了讨论与展望，为迷迭香提取物的进一步推广应用提供参考。

关键词：迷迭香，稳定性，抗氧化活性，抑菌性，应用

中图分类号：TS201.2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1002−0306(2023)12−0461−09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060161

本文网刊：

Research Progress in Preparation, Antioxidant and Antibacterial Activities of Rosemary Extract

ZHU Zhiyan，TIAN Hao，PAN Jun，WU Xinyi，WANG Hanmo，LIU Xiuwei*

（Agro-products Processing Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China）

Abstract: Rosemary is an important economic crop. Its extract contains phenolic acids, flavonoids, terpenes and other biologically active substances. It also has antioxidant and antibacterial functions, so it can be used as a natural antioxidant and bacteriostatic agent in production. In this paper, extraction and purification methods of rosemary, microcapsule technology, nanoparticle carrier technology and composite coating are reviewed, in order to improve the stability of the extract. The antioxidant and antibacterial activities of rosemary extract and its application in meat products, vegetables, fruits, oils and beverages are discussed. Finally, application deficiencies and potential for future research and promotion of rosemary extract are discussed.

Key words: rosemary; stability; antioxidation activity; antibacterial activity; application

迷迭香(*Rosmarinus officinalis* L.)为唇形科迷迭香属的灌木，原产于环地中海沿岸地区，是法国、西班牙、意大利、摩洛哥等国重要的经济作物[1]。上世纪八十年代引种后于我国南方广泛栽种，有十分悠久的使用历史，其鲜切枝条、干燥叶片是传统的香料及调味品，精油常被用于驱虫、净化空气及防治感冒等[2]。

迷迭香提取物中含有多种有效成分，如酚酸类（迷迭香酸、迷迭香酚、鼠尾草酚、鼠尾草酸、咖啡酸等）、黄酮类（橙皮素、芹菜素、芫花素、蓟黄素等）、挥发类化合物（柠檬烯、樟脑、α-蒎烯、β-蒎烯、莰烯、松油醇等）[3−4]，是重要的天然抗氧化剂，也具备天然抑菌剂的潜力[5−6]，在食品工业、日化产业及医药等领域具有很好的应用前景。基于 Web of Science 核心合集数据库，以 rosemary extract 为主题词，对

收稿日期：2022−06−21

基金项目：云南省科技计划重大专项（202202AE090017）；云南省科技计划人才平台（202005AD160122）。

作者简介：朱志妍（1995−），女，硕士研究生，研究实习员，研究方向：农产品原料品质研究，E-mail: zhuzhiyan@yaas.org.cn。

*** 通信作者：**刘秀薇（1982−），女，博士，助理研究员，研究方向：农产品精深加工，E-mail: lxw@yaas.org.cn。

2017~2022 年研究论文进行检索分析后发现，近五年共发表高被引论文 33 篇，主要围绕迷迭香提取物作为天然抗氧化剂和抑菌剂展开。

食品中大量使用合成添加剂引发了许多安全问题，人们逐渐认识到合成抗氧化剂、防腐剂残留带来的过敏、致癌等隐患，导致市场对天然抗氧化剂及抑菌剂的需求不断增加，因此安全高效的天然植物源抗氧化剂、抑菌剂受到了学界的广泛关注，并成为了世界范围内的研究热点及趋势。提升提取效率、减少提取能源消耗、优化提取溶剂选择从而获得高质量的天然提取物，是目前优化天然提取物提取技术、进行绿色提取必须面对的挑战。迷迭香提取物已广泛应用于食品工业中，但迷迭香提取物中含有的功能性成分存在稳定性差、易挥发等问题，限制了其在产业中的应用。因此文章综述了迷迭香提取物的稳定性、抗氧化活性、抑菌活性，及其在肉类制品、蔬菜水果、油脂、饮料等加工过程中抗氧化、抑菌领域的国内外研究进展，为迷迭香提取物在食品工业中作为天然抗氧化剂、天然抑菌剂的具体应用提供理论参考。

1 迷迭香提取物的制备方法

目前迷迭香的提取方法主要有水蒸气蒸馏法、超临界 CO_2 萃取法、酶法辅助提取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法等[7]。水蒸气蒸馏法是实现工业生产最简单、最常用的方法，但萃取时间长、溶剂消耗量高[8]。研究发现，当使用水蒸气蒸馏法提取迷迭香精油时，将枝叶切碎至约 2 cm，采用 1∶3 的水料比，5% 的 NaCl 能够得到较高的提取率，在最佳提取条件下的产率为 2.67%[9]。酶法辅助提取法具有能耗低、无污染、产品品质高、反应条件温和等优势，但存在反应条件局限、成本高等问题，研究发现当纤维素酶用量为 0.2%、pH 为 4、酶解温度为 35~40 ℃、酶解时间为 4 h，鼠尾草酸得率最高[10]。超临界 CO_2 萃取法利用超临界状态下 CO_2 作为萃取剂，将精油提取、分离和纯化，萃取能力强、萃取温度低、无需借助有机溶剂，绿色天然、能够有效保护热敏性成分[11]。采用超临界 CO_2 萃取法提取迷迭香精油，以乙醇为夹带剂，平均提取率达 1.94%[12]。超声波和微波辅助提取法均能够大幅提升提取效率[13]。使用无水乙醇为溶剂，超声波辅助法提取鼠尾草酸，迷迭香叶中鼠尾草酸的提取率可达 93.6%[14]。使用微波辅助法提取迷迭香中的黄酮，当乙醇体积分数 45%，微波温度 77℃，微波功率 500 W，提取时间 7 min，总黄酮得率为 7.88%，黄酮的纯度为 30%[15]。超声波和微波辅助提取法能够减少有机溶剂等试剂的使用量，更符合当下环境友好型技术的要求，但能耗高、成本高，在工业层面上实现规模化生产还存在诸多问题[16]。

为获得纯度较高的有效成分，提取所获得的粗提物一般需经过纯化工艺来去除杂质[17]。以迷迭香酸为例，目前纯化方法主要有大孔树脂吸附法、结晶法、膜分离技术、色谱分离技术等[18]。以迷迭香酸为例，研究发现使用乙酸乙酯作为洗脱液、利用大孔吸附树脂可较好的富集和纯化，纯化后的迷迭香酸纯度可以达到 90% 以上[19]。选用高速逆流色谱分离制备紫苏叶中的迷迭香酸，与大孔树脂吸附简单纯化工艺相比，可将迷迭香酸的纯度由 24.8% 提高到 64.3%[20]。以鼠尾草酸为例，目前主要使用的纯化方法有缓冲溶液精制法、pH 控制沉淀法、柱层析精制法[21]。经过干燥、粉碎、去精油处理后的迷迭香粉末，以正己烷为溶剂，经过超声波辅助提取、pH 调节、硅胶柱层析 3 步分离纯化后，最终可获得纯度为 95.18% 鼠尾草酸[22]。大孔吸附树脂理化性质较为稳定，不溶于酸、碱和有机溶剂，被吸附和脱附都比较容易，操作简便安全、条件容易满足，已被广泛应用于植物中所需物质的纯化，但在提取迷迭香提取物时应注意选择新型绿色低共溶溶剂进行提取[23]。高速逆流色谱技术操作快捷、重现性好、无不可逆吸附、回收率高等的优点，已被广泛应用于天然活性成分的制备分离、食品原料的开发利用等领域[24]。但在溶剂体系的选择上极其依赖于操作者的经验、缺乏系统成熟的理论指导，制备能力还未达到中试和规模化，在产业应用中还需要进一步解决相关技术问题。

2 迷迭香提取物稳定性研究

迷迭香提取物一般分为粉末状和液体状，粉末状提取物存在分散速度慢、物理稳定性差等问题；液体状提取物在实际使用中需要加热到 60 ℃ 以上，并经过长时间搅拌才能溶解，因此为了避免有效成分降解失活，提高稳定性和生物利用度，可通过微胶囊化、纳米颗粒包埋和复合涂膜等技术进行处理[25]。

2.1 微胶囊技术

微胶囊技术是一种用成膜材料包覆气体、固体或液体材料，形成一种直径在 1~5000 μm 范围内，具有半透性或密封囊膜的微型胶囊[26]。采用微胶囊技术对活性成分进行包埋，可保护对热、pH、水分、氧化剂等环境条件敏感的组分，保护活性、改善稳定性、延长贮藏期[27−28]。研究发现使用明胶和阿拉伯胶作为壁材，包埋月见草油和迷迭香精油，对迷迭香有明显的缓释功效，能使香味更加持久，分别在低温、室温和高温条件下放置一个月，迷迭香的释放率分别为 25%、55% 和 80%[29]。将迷迭香中的迷迭香酸、肉豆醇和肉豆蔻酸等成分使用喷雾干燥法进行微胶囊包埋，可以将迷迭香酚类化合物包埋成为亲水性和亲脂性的产品[30]。将迷迭香精油通过电喷雾法包埋在辛烯基丁二酸酐淀粉胶囊中，添加 20% 乙醇制备的乳状液液滴较小，能够在 7 d 内保持稳定[31]。微胶囊技术能够提高活性成分的稳定性和生物利用度，缓释试验证明了微胶囊化可以减缓迷迭香提取物活性成分的释放速度，但具体到产业中进行规模化生产还需进一步的研究。

2.2　纳米颗粒载体

纳米颗粒载体是由人工制造、粒径在 1~1000 nm 范围内的微型颗粒，具备均匀性、强渗透性及特殊光学性质，可以用于包裹活性物质，减少外界对活性物质的影响[32]。研究发现壳聚糖与迷迭香提取物经过纳米粒包埋后，抗氧化能力明显提高，其 $ABTS^+$自由基清除率可达 93.98%，其清除自由基活性显著高于壳聚糖单独使用、壳聚糖纳米粒与迷迭香提取物未包埋使用[33]。使用丝素蛋白纳米粒包埋从迷迭香提取物中得到的酚类化合物，37 ℃ 孵育 24 h 后包埋的提取物仍具有 85% 的 DPPH 自由基清除活性[34]。使用 15.50% 的聚氧乙烯蓖麻油、15.50% 的无水乙醇、6.90% 的迷迭香精油和 62.10% 的蒸馏水制备的迷迭香精油纳米乳，平均粒径为(18.43±0.50) nm，稳定性好，对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、白色念珠菌有显著抑制作用[35]。采用高压均质法制备迷迭香中提取出的粉末状迷迭香酚、鼠尾草酚等纳米晶体，与未加工的迷迭香提取物对比，明显改善了提取物的溶解度，进而提高其抗油脂氧化能力[36]。纳米颗粒载体技术在延迟活性成分释放、改善溶解度和生物利用率等方面显示了良好的发展前景，能够精准得使活性成分在局部达到较高且持久的浓度。但作为新兴技术，还需要更多深层次的研究确保其能够应用于产业中。

2.3　复合涂膜

复合涂膜采用高分子物质为成膜材料，加入添加剂后通过混匀、加热、加压、涂布等工艺，使膜、液体分子之间发生相互作用，膜液中水分子蒸发而形成具有一定工程特性和选择透过性薄膜[37]，是抗氧化剂或抑菌剂等食品添加剂的优良载体，能够起到缓释作用，同传统难降解的包装材料相比，能够保障食品安全，减少环境污染[38]。研究发现 1% 壳聚糖溶液与 200 μL/L 迷迭香精油溶液复合涂膜能够有效延缓柑橘的失重率、维生素 C 含量、SOD 活性、可溶性固形物含量及可溶性酸含量变化，其复合液也能表现出一定保鲜效果[39]。果胶-迷迭香精油复合膜协同冰温贮藏，可显著地减缓牛肉贮藏过程中 pH、色度、菌落总数等指标的上升[40]。添加 0.1% 迷迭香提取物能提高明胶/壳聚糖复合膜的抗氧化能力，对 DPPH 自由基的清除能力从不足 15% 提高到了 60% 以上，并且在 5 d 内始终保持高活性，显著提高了明胶/壳聚糖复合膜的热稳定性能，使明胶/壳聚糖复合膜的热变性温度从 130.97 ℃ 升至 167.52 ℃，虽然迷迭香提取物改变了复合膜的外观颜色，明亮度降低，但对膜的力学性能与超微结构并无影响[41]。目前大部分复合涂膜技术的研究往往采用简单混合的模式制备、涂膜，而要精确共价复合物在更加复杂的食品体系中发挥的作用，需要更多的基础研究和产业实际应用提供支撑。

3　迷迭香提取物的抗氧化及抑菌机理

3.1　迷迭香提取物的抗氧化机理

迷迭香提取物能够通过淬灭单重态氧，清除多种自由基，终止自动氧化反应[42−43]。迷迭香的抗氧化主要成分为鼠尾草酸、鼠尾草酚、迷迭香酚、迷迭香酸和迷迭香双醛，其中鼠尾草酸和鼠尾草酚的含量直接影响着产品的抗氧化效果[44]。由于合成抗氧化剂及其代谢产物毒性大、有致癌风险，迷迭香提取物用作天然抗氧化剂，绿色无毒，对环境友好，耐高温 200 ℃，比合成抗氧化剂丁基羟基茴香醚(Butyl hydroxyanisole, BHA)和二丁基羟基甲苯(Butylated hydroxytoluene, BHT)高 2~4 倍，在 120 ℃ 的高温条件下抗氧化性能优于茶多酚[45]。迷迭香中所含的迷迭香二酚、迷迭香醌等酚类，不易挥发，具有良好的热稳定性，这些酚类物质还能够以加合作用来表现整体的抗氧化性[46]。有学者研究迷迭香粗提物中的主要抗氧化成分(鼠尾草酚、迷迭香二醛、鼠尾草酸、迷迭香酚和表迷迭香酚)及其具体成分含量，但分别将单体抗氧化成分按照测定含量比混合，发现混合后的抗氧化性低于原粗提物，因此学界提出提取物中可能还存在黄酮等微量成分，能够使主要抗氧化成分在高温下仍能在较长时间内保持稳定，并且通过协同作用使其抗氧化性提高[47]。目前迷迭香提取物在《食品添加剂使用标准》中批准可作为食品抗氧化剂使用[48]。

3.2　迷迭香提取物的抑菌机理

迷迭香中含有的迷迭香酚、迷迭香酸、鼠尾草酚、鼠尾草酸等二萜类化合物，龙脑、乙酸龙脑酯、月桂烯等单萜类化合物，均具有抑菌防腐的功能[49]，柠檬烯、樟脑、α-蒎烯、β-蒎烯、莰烯、松油醇等挥发性化合物也具有一定的抑菌能力[50]。这类具有生物活性的植物化学成分在抑菌方面能够发挥协同作用，如粗提物能破坏细菌的细胞壁，损伤细菌的外膜和内膜，破坏细胞膜的通透性和完整性，引起胞内物质(K^+、核酸、蛋白质)外渗，从而对细菌起到抑制作用[51]。α-蒎烯被认为能通过抑制真菌的 DNA、RNA、多糖及麦角固醇的生物合成途径导致细胞破裂从而起到杀菌作用[52]。迷迭香酸协同 ε-聚赖氨酸能够使金黄色葡萄球菌的表面蛋白降解，从而抑制金黄色葡萄球菌表面毒力因子的毒性[53]。根据抑菌活性的大小对迷迭香提取物中的化学成分进行排序：酚>醛>酮>醇>醚>烃基，抑菌活性最强的是酚类[54]。酚类化合物在酸性和中性条件下稳定性较好，强酸和碱性条件下较不稳定，具有较强的热稳定性，紫外线、大多数金属离子均不影响其抑菌效果[55]。研究表明，迷迭香提取物对白色念珠菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、伤寒沙门氏菌、荧光假单细胞菌、肠炎沙门氏菌、枯草杆菌、黑曲霉、黄曲霉、桔青霉和毛癣菌等多种细菌和真菌均具有抑制能力和杀灭作用[56−59]。

4 迷迭香提取物在食品抗氧化及抑菌方面的应用

4.1 抗氧化作用

迷迭香提取物抗氧化活性成分的理化性质，可分为油溶性提取物（鼠尾草酸、鼠尾草酚、迷迭香酚、齐墩果酸、熊果酸等）和水溶性提取物（迷迭香酸、绿原酸、咖啡酸等），其中脂溶性物质可添加在动、植物油中，提高油脂的抗氧化性及稳定性，保证油脂的质量[60]。表 1 列出了迷迭香提取物的抗氧化作用。研究发现迷迭香提取物对储存和高温油炸过程中牡丹籽油氧化稳定性影响，牡丹籽油富含不饱和脂肪酸，高温油炸时会因油脂降解产生有害的醛、酮、反式脂肪酸等物质，而添加迷迭香提取物能够改善牡丹籽油的极性组分、过氧化值、酸价、颜色等理化性质，并显著抑制高温油炸所产生的反式脂肪酸[61]。此外，研究发现添加迷迭香提取物后，对核桃油、亚麻荠籽油、紫苏籽油货架期均具有一定影响，但会因纯度不同而影响其抗氧化效果，需要复配其它抗氧化剂，从而确保油脂的氧化稳定性[62−64]。迷迭香提取物中的鼠尾草酸等多酚类物质能够有效抑制亚油酸等不饱和脂肪酸的氧化，在热加工处理的椰子油中添加 0.02% 鼠尾草酸，其抗氧化作用与 TBHQ 相差不大，鼠尾草酸能够替代 TBHQ 作为油制热加工的替代抗氧化剂[65]。崔国梅等[66] 发现由黑豆冷榨油制成的人造肉，由于成品为高含油量固态豆制品极易氧化酸败，使用迷迭香提取物（鼠尾草酸 5.07%）、茶多酚、维生素 C 及柠檬酸复配后抗氧化能力略强于特丁基对苯二酚（Tert-butyl hydroquinone, TBHQ）。周旭[67] 发现，核桃油和葡萄籽油因本身富含维生素 E，继续添加维生素 E 抗氧化效果不佳，通过迷迭香提取物、茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯等油溶性天然抗氧化剂进行复配，能够提高其抗氧化性。迷迭香提取物除了在油脂中能够发挥较好的抗氧化作用，也可通过抑制脂质氧化，增强肉质品在贮藏过程中的稳定性。迷迭香提取物和环糊精钾金属有机骨架包结物共同使用能够改善迷迭香提取物的溶解性和化学稳定性，可有效抑制中式培根的脂质氧化[68]。迷迭香提取物与鱼肌原纤维蛋白、壳聚糖溶液混合后制备生物膜包裹冰鲜草鱼片，能够很好地抑制鱼片的脂质氧化，且植物提取物本身的色素能够降低生物膜透明度，使鱼片中的部分感光成分不易降解，从而进一步延长产品的货架期[69]。

迷迭香提取物还具有一定的护色效果（表 2），能够使肉类、饮料等的亮度值、红度值、黄度值在贮藏期间保持稳定[70]。光照、pH、酶、金属离子等会破坏类花色苷等色素，导致色素降解，迷迭香提取物能有效地保持色泽，并部分代替化学护色剂，从而降低亚硝酸盐、抗坏血酸等的用量[71]。迷迭香提取物能够抑制萨拉米加工过程中的脂肪及蛋白质氧化，其效果相当于或优于异抗坏血酸钠，能够赋予肉制品独特的风味、抑制微生物生长、稳定色泽[72]。有研究发现脂溶性的迷迭香抗氧化剂与茶多酚相比，能更有效地

表 1 迷迭香提取物的抗氧化作用

Table 1 Antioxidant effect of rosemary extract

产品种类	添加对象	添加量	作用效果	参考文献
牡丹籽油	迷迭香提取物	0.02%、0.04%、0.06%(w/w)	0.04%添加量的迷迭香提取物抗氧化效果比较接近0.02%TBHQ, 0.06%添加量时牡丹籽油的过氧化值增长速率最慢，添加0.02%迷迭香提取物能使牡丹籽油货架期从48 d延长至122.67 d	[61]
核桃油	迷迭香提取物	200、400、690 mg/kg	迷迭香提取物的抗氧化作用较强，当添加量为200、400 mg/kg时，核桃油的氧化诱导时间相对空白油样分别增加了1.47、2.78 h; 复配天然抗氧化剂最佳配方为迷迭香提取物添加量690 mg/kg、维生素E添加量880 mg/kg和茶多酚添加量340 mg/kg，氧化诱导时间为8.82 h，常温20 ℃条件下核桃油的理论货架期相比于空白组延长5.6倍。	[62]
紫苏籽油	迷迭香提取物	0.08%(w/w)	0.08%迷迭香提取物作为在紫苏籽油抗氧化保护的最佳添加量，同2,6-二叔丁基对甲苯酚、丁基羟基茴香醚、2-叔丁基对苯二酚相对比，迷迭香提取物为仅次于2-叔丁基对苯二酚的紫苏籽油高效天然抗氧化剂	[63]
鱼肝油	迷迭香提取物	10、20、50、100、200、500 μg/mL	添加终浓度为10、20、50、100、200、500 μg/mL的迷迭香提取物能够有效抑制鱼肝油在模拟胃消化过程中发生的氧化，提取物对模拟胃消化鱼肝油氧化的抑制作用随其添加浓度的升高而增强，呈良好的剂量效应关系; 添加终浓度为500 μg/mL的迷迭香提取物可使丙二醛含量下降60.16%	[64]
椰子油	鼠尾草酸	0.02%(w/w)	鼠尾草酸对椰子油热加工过程中游离脂肪酸、酸价、茴香胺值和总氧化值的抑制作用与TBHQ差异不显著，而对椰子油热加工过程中过氧化值的抑制作用略优于TBHQ	[65]
人造肉	迷迭香提取物	0.4%(w/w)	当迷迭香提取物添加量0.4%,茶多酚添加量0.03%，维C添加量0.02%,柠檬酸0.02%时复配出的天然抗氧化剂性能最为优异，其抗氧化性能比TBHQ略好	[66]
核桃油、葡萄籽油	迷迭香提取物	0.11、0.15 g/kg	经优化后的天然抗氧化剂复合配方在核桃油中的组成为茶多酚棕榈酸酯0.40 g/kg、抗坏血酸棕榈酸酯0.02 g/kg、迷迭香提取物0.15 g/kg; 在葡萄籽油中的组成为茶多酚棕榈酸酯0.39 g/kg、抗坏血酸棕榈酸酯0.04 g/kg、迷迭香提取物0.11 g/kg	[67]
中式培根	迷迭香提取物	0.3%(w/w)	研究迷迭香提取物(RE)与其环糊精钾金属有机骨架包结物(RE-K-CDMOF)在中式培根中的应用发现，与添加RE各组相比，添加RE-K-CD-MOF各组表现出更好的稳定性和抑制脂质氧化效果; 与添加0.3%RE相比，添加0.3%RE-K-CD-MOF时，加工结束时中式培根的过氧化值降低了17.8%，丙二醛含量降低了17.2%	[68]
草鱼	迷迭香提取物	0.2%(V/V)	使用鱼肌原纤维蛋白、壳聚糖溶液与迷迭香提取物对冷藏草鱼鱼片进行复合涂膜，能够有效抑制鱼片脂质氧化	[69]

表 2　迷迭香提取物的护色作用

Table 2　Color protection effect of rosemary extract

产品种类	添加对象	添加量	作用效果	参考文献
迷迭香提取物	萨拉米	0.03%(w/w)	能显著抑制蛋白质氧化，维持色泽稳定，效果与0.02%的异抗坏血酸钠相当	[72]
迷迭香提取物	火腿	0.05%(w/w)	单一组中添加迷迭香提取物抗氧化效果最佳，复合组比单一组表现出更好的抗氧化效果，迷迭香、茶多酚、维生素E复合使用对切块火腿护色效果显著	[73]
迷迭香酸	黑米花色苷模拟饮料体系(含L-抗坏血酸)	0.025 g/L	迷迭香酸和黄原胶联合使用时，模拟饮料体系中黑米花色苷的颜色稳定性最好，黄原胶存在时更有利于迷迭香酸发挥其对花色苷的辅色作用	[74]

抑制火腿脂质氧化，迷迭香、茶多酚、维生素 E 复合使用更能够抑制脂肪氧化过程中产生的过氧化物与氧合肌红蛋白反应，减少高铁肌红蛋白的形成，护色效果显著[73]。在黑米花色苷模拟饮料体系(含 L-抗坏血酸)中联合使用迷迭香酸和黄原胶时，受氢键和范德华力驱动，黄原胶形成的网络结构可将花色苷与迷迭香酸包裹在一起，从而保护花色苷并避免发生降解反应，迷迭香酸也能够更好地发挥其对花色苷的辅色作用[74]。

4.2　抑菌作用

迷迭香提取物和精油能够明显抑制大肠杆菌、铜绿假单胞菌、粘质沙雷氏菌、白色粘质沙雷氏菌、紫色杆菌、金黄色葡萄球菌和李斯特菌等细菌及腐败微生物的生长，具有广谱抑菌活性[75]，对保持肉类、水产品、水果、烘焙和奶酪等产品的品质，延长货架期有很好的效果(表 3)。在聚乳酸壳聚糖活性涂层中添加迷迭香精油能够延缓水分蒸发，防止鸡肉变质，是一种具有抑菌作用的新鲜肉制品包装方法[76]。使用迷迭香提取物、海藻酸钠对冷却猪肉进行涂膜，能够有效减缓 pH、细菌总数、挥发性盐基氮的升高，将冷却猪肉的保质期从 3 d 延长到 9 d，降低感官指标的变差速度[77]。将迷迭香提取物和海藻酸钠涂膜能够有效减少柑橘与微生物的接触，降低柑橘的水分蒸发和呼吸作用，有效减少微生物产生的纤维素酶和果胶酶对柑橘细胞壁的作用，维持柑橘储藏过程中的品质[78]。采用迷迭香提取物、壳聚糖、卡拉胶、乳酸链球菌素复配对青虾进行涂膜处理，可在 4 ℃ 条件下贮藏 3 d 后仍符合一级鲜度标准[79]。国外学者研究发现迷迭香精油和桃金娘精油均对奶酪中的李斯特菌等单核细菌有抑制性，同时不影响霉菌生长，适合需要霉菌发酵的奶酪用作抑菌剂，然而由于精油的芳香性可能会影响感官评价[80]。Veronika 等[81] 研究了迷迭香、薰衣草和薄荷三种精油对烘焙产品的抑菌性，结果表明迷迭香精油对金黄色葡萄球菌的生长抑制效果最强，多种植物精油能够复合使用能够作为新型天然抑菌剂用于烘焙产品的存储延长货架期。

表 3　迷迭香提取物的保鲜作用

Table 3　Preservation effect of rosemary extract

产品种类	添加对象	添加量	作用效果	参考文献
鸡肉	迷迭香精油	2%(w/w)	当在聚乳酸/壳聚糖涂层中添加2%迷迭香精油时，水蒸气透过率最低，样品丙二醛(MDA)和颜色在14 d内保持稳定	[76]
猪肉	迷迭香提取物	0.02 g/mL	迷迭香提取物/海藻酸钠复合涂膜能够减缓pH、细菌总数和挥发性盐基氮的升高，冷却猪肉保质期由3 d提高到9 d	[77]
柑橘	迷迭香提取物	200 mg/L	迷迭香提取物/海藻酸钠涂膜的失重率、呼吸作用强度、可溶性固形物、可滴定酸和还原糖的指标均优于海藻酸钠涂膜组和对照组	[78]
青虾	迷迭香提取物	0.09%(w/w)	采用最优复配天然保鲜剂涂膜处理的青虾在4 ℃条件下贮藏3 d后，青虾的TVB-N值为(11.22±0.81) mg/100 g，符合一级鲜度(≤15 mg/100 g)标准	[79]
奶酪	迷迭香精油	0.4 μL/mL	将迷迭香精油以最低抑菌浓度0.4 μL/mL添加至奶酪中，与对照组相比添加迷迭香精油的样品李斯特菌计数较低	[80]
面包	迷迭香精油	125 μL/L	对比薰衣草精油和薄荷精油，迷迭香精油对面包中的金黄色葡萄球菌抑菌效果最佳	[81]

5　结论与展望

我国迷迭香植物资源丰富，迷迭香提取物作为天然抗氧化剂、天然抑菌剂，来源充足、天然安全且具有良好的效果，已应用到食品工业、日化工业、医药保健品工业等多个领域，但在实际生产应用中还存在诸多问题。首先，目前种植的迷迭香大部分仅用于提取迷迭香粗提物及精油，提取、纯化和精制后的单一性成分较少，需继续优化提取工艺，研究替代有毒有机溶剂的绿色提取技术，减少提取时间和能耗，产出高稳定性、高品质的提取物。其次，在感官评价中高剂量添加迷迭香提取物会导致有浓重的迷迭香味、辛辣味和苦味，因此在按照相关标准严格控制添加量的同时，还需考虑添加提取物后的感官评价问题。除添加剂量外，目前研究还集中于微胶囊技术、纳米颗粒包埋技术和复合涂膜技术，能够在保护迷迭香提取物有效成分的同时，减弱提取物本身具有的独特味道、减缓活性成分释放速度，避免添加迷迭香提取物带来不良的感官评价，从而提高产品的品质和安全性，但在产业中实现大规模应用还需进一步探索。尤其是在实际的加工生产中，由于氧化酸败的产品其成分比起常见的肉类制品、蔬菜水果、油脂、饮料等更为复杂，迷迭香提取物作为抗氧化剂、抑菌剂应用

于含蛋白质、糖类等物质的高含油量制成品(预制食品、火锅底料、人造肉等)还存在一定局限性,需进一步研究迷迭香天然抗氧化剂、抑菌剂对复杂成分类型食品的抗氧化性及抑菌性,在保证活性成分有效稳定应用的同时,复合其他天然抗氧化剂、抑菌剂联合应用,探索适宜的复配组合。

参考文献

[1] NIETO G, HUVAERE K, SKIBSTED L H. Antioxidant activity of rosemary and thyme by-products and synergism with added antioxidant in a liposome system[J]. European Food Research & Technology, 2011, 233(1): 11−18.

[2] VIEIRA C, REBOCHO S, CRAVEIRO R, et al. Selective extraction and stabilization of bioactive compounds from rosemary leaves using a biphasic NADES[J]. Front Chem, 2022, 10: 954835.

[3] 许艺凡, 刘普, 刘佩佩, 等. HPLC-DAD 法测定迷迭香茎和叶中 11 种抗氧化活性成分[J]. 中草药, 2018, 49(9): 2153−2157. [XU Y F, LIU P, LIU P P, et al. Simultaneous determination of main anti-oxidant constituents in *Rosmarinus officinalis* by HPLC-DAD[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(9): 2153−2157.]

[4] 汪镇朝, 张海燕, 邓锦松, 等. 迷迭香的化学成分及其药理作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(24): 211−218. [WANG Z C, ZHANG H Y, DENG J S, et al. Chemical constituents and pharmacological activities of *Rosmarini officinalis* herba[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2019, 25(24): 211−218.]

[5] ROSEMARY C, 毕良武, 赵振东. 欧洲迷迭香的研究状况[J]. 生物质化学工程, 2006(2): 41−44. [Rosemary C, Bi L W, Zhao Z D. Research progress of rosemary in europe[J]. Biomass Chemical Engineering, 2006(2): 41−44.]

[6] POLITI M, FERRANTE C, MENGHINI L, et al. Hydrosols from *Rosmarinus officinalis, Salvia officinalis*, and *Cupressus sempervirens*: phytochemical analysis and bioactivity evaluation[J]. Plants (Basel), 2022, 11(3): 349.

[7] 王秀环, 孙伟卫, 季新燕, 等. 迷迭香精油提取工艺研究进展[J]. 山西中医学院学报, 2015, 16(1): 73−76. [WANG X H, SUN W W, JI X Y. Review on extraction of essential oil from *Rosmarinus officialis* L.[J]. Journal of Shanxi University of Chinese Medicine, 2015, 16(1): 73−76.]

[8] MOHAMAD N, RAMLI N, ABD-AZIZ S, et al. Comparison of hydro-distillation, hydro-distillation with enzyme-assisted and supercritical fluid for the extraction of essential oil from pineapple peels[J]. 3 Biotech, 2019, 9(6): 1−9.

[9] CHEN H, GU Z, YANG L, et al. Optimization extraction of rosemary essential oils using hydrodistillation with extraction kinetics analysis[J]. Food Science Nutrition, 2021, 9(11): 6069−6077.

[10] 郭然, 梁待亮. 酶法辅助提取迷迭香中主要活性成分研究[J]. 广东科技, 2014, 23(14): 227,238. [GUO R, LIANG D L. Study on enzyme-assisted extraction of main active components from rosemary[J]. Guangdong Science & Technology, 2014, 23(14): 227,238.]

[11] 马铃, 郭川川, 张峰轶, 等. 白豆蔻精油超临界 CO_2 萃取工艺优化及挥发性成分分析[J]. 中国酿造, 2022, 41(3): 204−212. [MA L, GUO C C, ZHANG F Y, et al. Optimization of supercritical CO_2 extraction process and volatile component analysis of *Amomum cardamomum* essential oil[J]. China Brewing, 2022, 41(3): 204−212.]

[12] 毕静, 叶荷生. 响应面试验优化超临界 CO_2 萃取迷迭香精油工艺[J]. 中国调味品, 2021, 46(6): 132−135. [BI J, YE H S. Optimization of supercritical CO_2 extraction of *Rosmarinus officinalis* essential oil by response surface methodology[J]. China Condiment, 2021, 46(6): 132−135.]

[13] 吕晓玲, 姚慧, 张琳琳, 等. 酶法辅助提取紫苏中迷迭香酸条件的研究[J]. 中国食品添加剂, 2010(1): 122−127. [LU X L. YAO H, ZHANG L L, et al. Study on the conditions of enzyme-assisted extraction of rosmarinic acid from *Perilla frutescens*[J]. China Food Additives, 2010(1): 122−127.]

[14] 罗小芳, 陈启燕, 王钗, 等. 迷迭香叶中鼠尾草酸的超声破碎提取工艺及其抗油脂氧化研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(5): 118−122. [LUO X F, CHEN Q Y, WANG C, et al. Ultrasonic crushing extraction process of carnosic acid from rosemary leaves and its antioxidant effect on oil[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(5): 118−122.]

[15] 聂吉语, 姜子涛, 李荣, 等. 迷迭香黄酮的微波提取及其 β-环糊精钾金属有机骨架材料包结物稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 187−194,201. [NIE J Y, JIANG Z T, LI R, et al. Microwave-assisted extraction of flavonoids from rosemary and the stability of its potassium-cyclodextrin metal organic frameworks inclusion complex[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(1): 187−194,201.]

[16] SANTOS D T, VEGGI P C, MEIRELES M A A. Extraction of antioxidant compounds from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: Yield, composition and economical evaluation[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(1): 23−31.

[17] 任春晖, 王晓梅, 王新玲, 等. 新疆鼠尾草根中酚酸类化学成分的纯化工艺研究[J]. 西北药学杂志, 2021, 36(4): 527−532. [REN C H, WANG X M, WANG X L, et al. Study on the techniques of purification for the phenolic acid constitutets from roots of *Salvia deserta* Schang[J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2021, 36(4): 527−532.]

[18] 凌敏, 翟婷, 李利明. 超声波微波辅助萃取法提取迷迭香酸的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2008(4): 194−195,198. [LIN M, ZHAI T, LI L M, et al. Study on extracting process of rosmarinic acid from rosemary[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(4): 194−195,198.]

[19] 周平, 吕晓玲, 胡淳罡. 大孔吸附树脂分离纯化迷迭香酸的研究[J]. 离子交换与吸附, 2011, 27(4): 304−314. [ZHOU P, LV X L, HU C G. Study on separation and purification of rosmarinic acid by macroporous adsorption resin[J]. Ion Exchange and Adsorption, 2011, 27(4): 304−314.]

[20] 杨馥菡, 张志军, 李会珍, 等. 高速逆流色谱法分离纯化紫苏叶中迷迭香酸和咖啡酸[J]. 食品科技, 2020, 45(9): 196−202. [YANG F H, ZHANG Z J, LI H Z, et al. Introduction, cultivation and antioxidant experiment of rosemary[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(9): 196−202.]

[21] 尹思力. 迷迭香鼠尾草酸的纯化工艺及快速检测方法探索[D]. 重庆: 重庆大学, 2020. [YIN S L. Research on the purification process and rapid detection methods of rosemary carnosic acid[D]. Chongqing: Chinese Academy of Chongqing University, 2020.]

[22] 夏田娟, 毕良武, 赵振东, 等. 迷迭香叶中鼠尾草酸的分离纯化[J]. 林产化学与工业, 2015, 35(5): 105−110. [XIA T J, BI L W, ZHAO Z D, et al. Separation and purification of carnosic acid from rosemary leaves[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2015, 35(5): 105−110.]

[23] 杨敏, 张天锡, 史磊, 等. 大孔吸附树脂分离纯化中药成分影响因素探讨[J]. 中草药, 2020, 51(15): 4050−4058. [YANG M, ZHANG T X, SHI L, et al. Review on factors influencing separation and purification of Chinese materia medica components by macrop-

orous adsorption resin[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(15): 4050−4058.]

[24] 刘育颖, 张源生. 高速逆流色谱分离蓝靛果花色苷及其对 α-葡萄糖苷酶抑制活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(7): 75−82. [LIU Y Y, ZHANG Y S. Separation of anthocyanins from *Lonicera edulis* by high-speed counter-current chromatography and its inhibitory activity on α-glucosidase[J]. China Food Additives, 2022, 33(7): 75−82.]

[25] 柴佳丽, 张德权, 田建文. 迷迭香提取物在肉制品中应用的研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30: 31−34. [CHAI J L, ZHANG D Q, TIAN J W, et al. Progress in the application of rosemary extracts in meat products[J]. Meat Research, 2016, 30: 31−34.]

[26] 杨小兰, 袁娅, 谭玉荣, 等. 纳米微胶囊技术在功能食品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 359−368. [YANG X L, YUAN Y, TAN Y R, et al. Research and applications on nanocapsule technology in functional foods[J]. Food Science, 2013, 34(21): 359−368.]

[27] LV Y, ZHANG X, ABBAS S, et al. Simplified optimization for microcapsule preparation by complex coacervation based on the correlation between coacervates and the corresponding microcapsule[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111(2): 225−233.

[28] 蔡茜彤, 段小明, 冯叙桥, 等. 微胶囊技术及其在食品添加剂中的应用与展望[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 247−251,270. [CAI Q T, DUAN X M, FENG X Q, et al. Microencapsulation technology and its application and prospect in food additives[J]. Food & Machinery, 2014, 30(4): 247−251,270.]

[29] 邓庆芝. 月见草/迷迭香混合油脂微胶囊的制备及应用[D]. 大连: 大连工业大学, 2015. [DENG Q Z. Microencapsule preparation and applying from lipid mixture of evening primrose and rosemary[D]. Dalian: Chinese Academy of Dalian Polytechnic University, 2015.]

[30] JONGHOON, KIM, HAN, et al. Synergistic oxygen generation and reactive oxygen species scavenging by manganese ferrite/ceria co-decorated nanoparticles for rheumatoid arthritis treatment [J]. ACS Nano, 2019, 13(3): 3206−3217.

[31] BIDUSKI B, KRINGEL D H, COLUSSI R, et al. Electrosprayed octenyl succinic anhydride starch capsules for rosemary essential oil encapsulation[J]. Int J Biol Macromol, 2019, 132: 300−307.

[32] BANKOLE V O, OSUNGUNNA M O, SOUZA C R, et al. Spray-dried proliposomes: An innovative method for encapsulation of *Rosmarinus officinalis* L. polyphenols[J]. AAPS Pharm Sci Tech, 2020, 21(5): 143.

[33] 武苗苗, 李晨辉, 董汝月, 等. 壳聚糖/迷迭香提取物纳米粒的制备及其对冷藏草鱼蛋白氧化的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2018, 8(6): 11−17. [WU M M, LI C H, DONG R Y, et al. Preparation of chitosan/rosemary extract nanoparticles and their effects on protein oxidation of refrigerated grass carp[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2018, 8(6): 11−17.]

[34] HCINI K, LOZANO-PÉREZ A, LUIS CENIS J, et al. Extraction and encapsulation of phenolic compounds of tunisian rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extracts in silk fibroin nanoparticles[J]. Plants (Basel), 2021, 10(11): 2312.

[35] 余海艳, 李康, 崔荣洽, 等. 迷迭香精油纳米乳的制备研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(8): 28−36. [YU H Y, Li K, CUI R Q, et al. Preparation of rosemary essential oil nanoemulsion[J]. China Food Additives, 2022, 33(8): 28−36.]

[36] 于欣欣, 刘涛. 迷迭香提取物纳米晶体制备研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(2): 104−106,111. [YU X X, LIU T. Study on the preparation of rosemary extract nanocrystals[J]. China Condiment, 2020, 45(2): 104−106,111.]

[37] 刘尧, 刘健华, 夏琛, 等. 山苍子精油生物活性及其包埋技术的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(2): 188−195. [LIU Y, LIU J H, XIA C, et al. Research progress on bioactivity and embedding technology of *Litsea cubeba* essential oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2022, 37(2): 188−195.]

[38] MONDAL K, BHATTACHARJEE SK, MUDENUR C, et al. Development of antioxidant-rich edible active films and coatings incorporated with de-oiled ethanolic green algae extract: a candidate for prolonging the shelf life of fresh produce[J]. RSC Advances, 2022, 12(21): 13295-13313.

[39] 孙婕, 尹国友, 王博文, 等. 3 种精油与壳聚糖复合涂膜对贡柑保鲜效果[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 157−161. [SUN J, YIN G Y, WANG B W, et al. The effect of three essential oils and chitosan on the preservation of tribute tangerine[J]. The Food Industry, 2020, 41(11): 157−161.]

[40] 李维正, 杨丽华, 韩玲, 等. 果胶-迷迭香精油复合膜协同冰温贮藏对牛肉保鲜的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 146−151. [LI W Z, YANG L H, HAN L, et al. Effects of pectin-rosemary essential oil composite film synergistic storage at ice temperature on beef freshness[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 146−151.]

[41] 李晨辉, 于晓倩, 董汝月, 等. 明胶/壳聚糖/迷迭香复合膜的制备与表征[J]. 食品工业科技, 2019, 40(10): 57−61,67. [LI C H, YU X Q, DONG R Y, et al. Preparation and characterization of composite films incorporated with chitosan, gelatin and rosemary [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(10): 57−61, 67.]

[42] 肖露平, 陈季武, 孔静思, 等. 迷迭香叶非精油组分的清除自由基和抗氧化作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 53−59. [XIAO L P, CHEN J W, KONG J S, et al. Study on scavenging free radical and antioxidant effects of nonessential oil in *Rosmarinus officinalis* L. leaves[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2010, 38(1): 53−59.]

[43] 刘胜男, 余敏敏, 郭晓莉, 等. 迷迭香提取物对自由基诱导蛋白质、油脂及 DNA 氧化的抑制作用[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(14): 22−27. [LIU S N, YU M M, GUO X L, et al. Inhibition effect of rosemary extract against oxidation of protein, lipid and DNA induced by free radicals[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14): 22−27.]

[44] 乐振窍. 超临界二氧化碳萃取天然迷迭香抗氧化剂有效成分工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 122−125. [LE Z Q. Study on the process of extracting the active ingredients of natural rosemary antioxidants by supercritical carbon dioxide[J]. China Food Additives, 2009(4): 122−125.]

[45] 王文中, 王颖. 迷迭香的研究及其应用——抗氧化剂[J]. 中国食品添加剂, 2002(5): 60−65. [WANG W Z, WANG Y. Research and application of rosemary-antioxidant[J]. China Food Additives, 2002(5): 60−65.]

[46] 邵金良, 董宝生, 黎其万, 等. 迷迭香在油香椿制品储藏过程中的抗氧化效果研究[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 86−88. [SHAO J L, DONG B S, LI Q W, et al. Study on the antioxidant effect of rosemary in the storage process of toona oil products[J]. China Food Additives, 2009(4): 86−88.]

[47] RAKOVI A, ISIDORA M. Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil and its hepatoprotective potential[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2014 (14): 225.

[48] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB

1886.172-2016 食品安全国家标准 食品添加剂 迷迭香提取物[S]. 北京：中华人民共和国国家标准，2016. [National Health and Family Planning Commission of the PRC. GB 1886.172-2016 National standards for food safety food additive rosemary extract [S]. Beijing: National Standards of the People's Republic of China, 2016.]

[49] 殷燕，张万刚，周光宏，等. 迷迭香的生理功能及其在食品中的应用[J]. 食品工业科技，2014，35(22)：364−370. [YIN Y, ZHANG W G, ZHOU G H, et al. Physiological functions of rosemary and its application in food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(22): 364−370.]

[50] 郭冬云，万娜，吴意，等. 江西迷迭香精油的成分分析及抗氧化、抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发，2022，34(2)：263−271. [GUO D Y, WAN N, WU Y, et al. Study on chemical compositions, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from *Rosmarinus officinalis* L. in Jiangxi[J]. Natural Product Research and Development, 2022, 34(2): 263−271.]

[51] BENINCA J P, DALMARCO J B, PIZZOLATTI M G, et al. Analysis of the anti-inflammatory properties of *Rosmarinus officinalis* L. in mice[J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 468−475.

[52] 夏忠弟，毛学政，罗映辉. α-蒎烯抗真菌机制的研究[J]. 湖南医科大学学报，1999(6)：507−509. [XIA Z D, MAO X Z, LUO Y H. Study on antifungal mechanism of α-pinene[J]. Journal of Central South University(Medical Science), 1999(6): 507−509.]

[53] 汪蕾，刘洋，孙杨赢，等. 迷迭香酸协同 ε-聚赖氨酸对金黄色葡萄球菌的抑菌机理初探[J]. 食品工业科技，2020，41(14)：192−196,227. [WANG L, LIU Y, SUN Y Y, et al. Primary exploration on antibacterial mechanism of the combination of rosmarinic acid and ε-polylysine against *staphylococcus aureus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(14): 192−196,227.]

[54] ERTAS O N, TALAT G, MEHMET C, et al. The effect of an essential oil mix derived from oregano, clove and anise on broiler performance[J]. International Journal of Poultry Science, 2005, 4(11): 444−451.

[55] 孙长花，丁娟芳，王君，等. 迷迭香提取液的抑菌作用及稳定性研究[J]. 中国调味品，2020，45(11)：42−45. [SUN C H, DING J F, WANG J, et al. Study on the antibacterial effect and stability of rosemary extract[J]. China Condiment, 2020, 45(11): 42−45.]

[56] BOZIN B, MIMICA-DUKIC N, SAMOJLIK I, et al. Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2007, 55: 7879−85.

[57] 刘雪，王静楠，陈文学，等. 柠檬烯对铜绿假单胞菌的抑菌活性及其机理[J]. 食品工业科技，2018，39(7)：1−5. [LIU X, WANG J N, CHEN W X, et al. Antibacterial activity and mechanism of limonene against *Pseudomonas aeruginosa*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 1−5.]

[58] 刘昭明，田玉红，黄翠姬，等. 迷迭香挥发油成分及抑菌活性研究[J]. 安徽农业科学，2009，37(2)：654−656. [LIU Z M, TIAN Y H, HUANG C J, et al. Study on the composition and antibacterial activity of rosemary volatile oil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(2): 654−656.]

[59] 孙岣，汪靖超，李洪涛，等. 迷迭香酸的抗菌机理研究[J]. 青岛大学学报(自然科学版)，2005(4)：41−45. [SUN X, WANG J C, LI H T, et al. Study on antibacterial mechanism of rosmarinic acid[J]. Journal of Qingdao University(Natural Science Edition), 2005(4): 41−45.]

[60] 张雅楠，梁鹏，谢静仪，等. 天然食品抗氧化剂的研究进展[J]. 中国食物与营养，2019，25(1)：67−71. [ZHANG Y N, LIANG P, XIE J Y, et al. Research progress on antioxidants in natural foods[J]. Food and Nutrition in China, 2019, 25(1): 67−71.]

[61] 王俊朋，张立攀，王春杰，等. 脂溶性迷迭香提取物对牡丹籽油氧化稳定性的研究[J]. 食品科技，2021，46(12)：198−203. [WANG J P, ZHANG L P, WANG C J, et al. Oxidation stability of lipid soluble rosemary extract on peony seed oil[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(12): 198−203.]

[62] 杨进芳，彭丹，陈名扬，等. 复配天然抗氧化剂对核桃油抗氧化性能及货架期的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版)，2021，42(5)：64−69. [YANG J F, PENG D, CHEN M Y, et al. Effect of compound natural antioxidants on the antioxidant performance and shelf life of walnut oil[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2021, 42(5): 64−69.]

[63] 李环通，许泽文，郭晓敏，等. 迷迭香提取物对紫苏籽油的抗氧化研究[J]. 食品科技，2020，45(3)：213−218. [LI H T, XU Z W, GUO X M, et al. Antioxidant research of rosemary extract on perilla seed oil[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 213−218.]

[64] 李云菲，郭晓莉，曹腾正，等. 迷迭香提取物对自由基诱导鱼肝油氧化及模拟消化过程中脂质氧化的抑制作用研究[J]. 食品研究与开发，2020，41(21)：28−33. [LI Y F, GUO X L, CAO T Z, et al. Inhibitory effects of rosemary extract on oxidation of cod liver oil induced by free radicals or during the simulated digestion[J]. Food Research and Development, 2020, 41(21): 28−33.]

[65] 姚梦莹，匡婷，云永欢，等. 鼠尾草酸对椰子油热加工过程中主要理化性质、脂肪酸组成与自由基的影响研究[J]. 中国油脂，2020，45(8)：39−44. [YAO M Y, KUANG T, YUN Y H, et al. Effects of carnosic acid on main physicochemical properties, fatty acid composition and free radicals in coconut oil thermal processing[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(8): 39−44.]

[66] 崔国梅，许方方，魏书信，等. 复配天然抗氧化剂对人造肉抗氧化性能的研究[J]. 农产品加工，2019(18)：10−13. [CUI G M, XU F F, WEI S X, et al. Study on antioxidation of natural antioxidant compound on artificial meat[J]. Farm Products Processing, 2019(18): 10−13.]

[67] 周旭. 几种油溶性天然抗氧化剂在核桃油、葡萄籽油中的应用研究[J]. 中国油脂，2017，42(3)：64−68. [ZHOU X. Application of oil soluble natural antioxidants in walnut oil and grape seed oil[J]. China Oils and Fats, 2017, 42(3): 64−68.]

[68] 聂吉语，李荣，王颖，等. 迷迭香提取物及其包结物在中式培根中的应用[J]. 食品工业科技，2020，41(1)：12−16,24. [NIE J Y, LI R, WANG Y, et al. Application of rosemary extract and its inclusion complex in Chinese bacon[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 12−16,24.]

[69] HDA B, CHEN L A, OU C, et al. Development and characterization of fish myofibrillar protein/chitosan/rosemary extract composite edible films and the improvement of lipid oxidation stability during the grass carp fillets storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 184: 463−475.

[70] 冷桂华，邹佑云. 迷迭香在食品工业中的应用[J]. 安徽农业科学，2007(21)：6587−6588,6595. [LEN G H, ZOU Y Y. Application of rosemary in food industry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007(21): 6587−6588,6595.]

[71] 徐馨，丁金龙. 提高天然色素稳定性方法的研究进展[J]. 中国调味品，2018，43(1)：175−179. [XU X, DING J L. Research progress of methods to improve the stability of natural pigments[J]. China Condiment, 2018, 43(1): 175−179.]

[72] 姜蕾，康大成，张万刚，等. 迷迭香提取物在体外和萨拉米中的抗氧化活性[J]. 食品科学，2018，39(13)：68−73. [JIANG L, KANG D C, ZHANG W G, et al. Antioxidant activity in vitro of

rosemary extract and its inhibitory effect against lipid and protein oxidation in salami[J]. Food Science, 2018, 39(13): 68−73.]

[73] 廖婵, 靳国锋, 章建, 等. 迷迭香、茶多酚、V_E 对干腌火腿贮藏过程中抗脂质氧化及护色效果的研究[J]. 食品工业科技, 2008(8): 82−86. [LIAO C, JIN G F, ZHANG J, et al. Anti-lipid oxidation and color protection effects of rosemary, tea polyphenols and V_E during storage of dry-cured ham[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(8): 82−86.]

[74] ZHAO L, PAN F, MEHMOOD A, et al. Improved color stability of anthocyanins in the presence of ascorbic acid with the combination of rosmarinic acid and xanthan gum[J]. Food Chemistry, 2021(1–4): 129317.

[75] 施宇, 黄小芹, 王文婷, 等. 迷迭香精油对紫色杆菌群体感应抑制实验[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(4): 90−101. [SHI Y, HUANG X Q, WANG W T, et al. Quorum sensing inhibition experiment of rosemary essential oil on *Bacillus violaceum*[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 41(4): 90−101.]

[76] AF A, SPA C, SV B, et al. Active packaging based on PLA and chitosan-caseinate enriched rosemary essential oil coating for fresh minced chicken breast application-ScienceDirect[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 29: 100708.

[77] 盘艳梅, 吴海铃, 刘啸, 等. 海藻酸钠/迷迭香涂膜对冷却猪肉品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(14): 166−168,171. [PAN Y M, WU H L, LIU X, et al. Effects of sodium alginate/rosemary coating on the quality of chilled pork[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(14): 166−168,171.]

[78] 柳富杰, 盘艳梅, 吴海铃, 等. 迷迭香提取物/海藻酸钠涂膜对柑橘的保鲜研究[J]. 山东化工, 2021, 50(16): 25−28. [LIU F J, PAN Y M, WU H L, et al. Study on preservation of citrus by rosemary extract/sodium alginate coating[J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(16): 25−28.]

[79] 黄昊, 何涓源, 赖思婷, 等. 青虾复配天然保鲜剂配方优化[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 80−85. [HUANG H, HE J Y, LAI S T, et al. Formula optimization of a compound natural preservative for *Macrobrachium nipponense*[J]. Food Research and Development, 2021, 42(24): 80−85.]

[80] JOSÉ M A. Antimicrobial activity of *Myrtus communis* L. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils against listeria monocytogenes in cheese[J]. Foods, 2021, 10.

[81] VALKOVÁ V, ÚRANOVÁ H, GALOVIOVÁ L, et al. *In vitro* antimicrobial activity of lavender, mint, and rosemary essential oils and the effect of their vapours on growth of *Penicillium* spp. in a bread model system[J]. Molecules, 2021, 26(13): 3859.