

# 植物提取物抑菌机理及联合现代新兴技术在肉类保鲜中的应用进展

徐元柳<sup>1</sup> 刘迪迪<sup>1</sup> 王兆丹<sup>1</sup> 肖国生<sup>1</sup> 唐华丽<sup>1,2</sup>

(1. 重庆三峡学院生物与食品工程学院, 重庆 404100; 2. 渝东北特色生物资源开发利用工程中心, 重庆 404100)

**摘要:**天然植物提取物是一种可应用于食品工业的新型防腐剂,具有绿色环保、安全无毒、高效抑菌等优点。但是其具体的抑菌活性和抑菌机制尚不完全明确,且应用的深度和广度仍有待提升。该综述分析总结了常见天然植物提取物的活性成分种类及抑菌效果,探讨了其潜在的抑菌机理以及当这些提取物与新兴食品保存技术结合应用于肉类保鲜时的增效作用。

**关键词:**植物提取物;活性成分;抑菌机理;肉类保鲜;纳米保鲜;超声波杀菌

## Research progress on the antibacterial mechanism of natural plant extracts and its application in meat preservation by combining with modern emerging technologies

XU Yuanliu<sup>1</sup> LIU Didi<sup>1</sup> WANG Zhaodan<sup>1</sup> XIAO Guosheng<sup>1</sup> TANG Huali<sup>1,2</sup>

(1. School of Biology and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China;

2. Special Biological Resources Development and Utilization of Engineering Center of Northeast

Chongqing, Chongqing 404100, China)

**Abstract:** Natural plant extracts are emerging as a new class of preservative in the food industry, offering advantages such as being green, safe, non-toxic, and highly effective in inhibiting bacterial growth. However, their specific antimicrobial activity and underlying mechanism remain incompletely understood, and their applications require further exploration and optimization. This review analyzed and summarized the types of active ingredients and bacteriostatic effects of common natural plant extracts, and explored their potential bacteriostatic mechanisms as well as the synergistic effects of these extracts used for meat preservation in combination with emerging food preservation technologies.

**Keywords:** natural plant extracts; active ingredient; antibacterial mechanism; meat preservation; nano-preservation; ultrasonic sterilization

肉及肉制品因含有丰富的营养物质、良好的风味及特殊的口感而被消费者喜爱,但在生产、包装、贮藏、运输和销售过程中由于富含蛋白质易发生微生物污染,从而引起腐败变质。常用的人工合成化学物质虽能在肉制品中起到防腐保鲜作用,但这些物质带来的副作用使得其在消费者中的接受度较低。因此,天然植物提取物逐渐成为研究和应用的焦点。

植物提取物是通过物理或化学方法从植物中提取出特定有效成分而形成的产品,这些成分通常包括抗氧化、

抗癌、抑菌和增强免疫力等多种功效。它们可通过破坏细胞结构的完整性、影响生物大分子的新陈代谢及细胞内环境的电生理特性等多种途径发挥抑菌作用,实现食品防腐保鲜的目的。随着科技的进步,天然植物提取物除了用于传统的中药产品,还可作为功能性成分应用于食品、化妆品、动物饲料等领域。

### 1 天然植物提取物的抑菌活性成分分类

植物提取物是从植物的叶子、种子、果实、根、茎和农

基金项目:重庆市技术创新与应用发展专项 乡村振兴(对口帮扶)项目(编号:CSTB2022TIAD-ZXX0034)

通信作者:刘迪迪(1984—),女,重庆三峡学院讲师,博士。E-mail:86064396@qq.com

收稿日期:2024-04-02 改回日期:2024-10-14

(花青素、黄烷醇、苯甲酸、单宁)、精油(肉桂精油、大蒜精油、山苍子精油、丁香精油、薄荷精油)和生物碱等。普遍具有抑菌、抗氧化、抗肿瘤、降血脂、免疫调节等作用。植物提取物中活性成分的提取方法及抑菌效果见表1。

1.1 植物多酚类化合物

多酚类化合物是植物组织中的次生代谢物,普遍分布于植物的茎部、果实、叶片和花朵等多个部位。根据其结构大致被分为4个类别:酚酸、类黄酮、苯乙烯及木脂素。不同种类植物中多酚类化合物的含量差异很大,且影响植物和植物提取物中多酚的组成、浓度以及抗氧化能力的因素有很多,如生长部位、品种、生长季节等<sup>[16]</sup>。

多酚化合物的抑菌效果受到分子结构、提取方法、纯化程度等的影响。Li等<sup>[3]</sup>研究证明了纯化后的酰基化花青素抑菌效果显著高于粗提物,并且发现在0.625 mg/mL

表1 植物提取物中活性成分的提取方法及抑菌效果

| Table 1 Extraction methods and bacteriostatic effects of active ingredients in plant extracts |          |               |                                 |                                                                                                                                                                     |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 活性成分                                                                                          | 种类       | 提取方法          | 抑菌类别                            | 抑菌效果                                                                                                                                                                | 文献   |
| 多酚类化合物                                                                                        | 红豆皮多酚    | 超声辅助醇提法       | 李斯特菌、沙门氏菌                       | 对两种细菌的最小抑菌质量浓度(MIC)分别为625,2 500 $\mu\text{g/mL}$                                                                                                                    | [1]  |
|                                                                                               | 绿茶多酚     | 水浴加热提取法       | 枯草芽孢杆菌等6种革兰                     | 秦岭绿茶茶多酚对16株菌株均有抑制作用                                                                                                                                                 | [2]  |
|                                                                                               |          | 超声辅助提取法       | 氏阳性菌和大肠杆菌等                      |                                                                                                                                                                     |      |
|                                                                                               |          | 微波辅助提取法       | 7种革兰氏阴性菌                        |                                                                                                                                                                     |      |
|                                                                                               | 酰基化花青素   | 有机溶剂萃取法       | 大肠杆菌、金黄色葡萄球菌                    | 对大肠杆菌有中等抑菌活性(MIC为5.000 mg/mL);对金黄色葡萄球菌有较强抑菌活性(MIC为0.312 5 mg/mL)                                                                                                    | [3]  |
| 生物碱类化合物                                                                                       | 鼠李茎皮提取物  | 索氏提取法         | 4种革兰氏阳性菌、7种革兰氏阴性菌               | 对11种细菌展现出良好至中等的抗菌活性(MIC为1.56~100.00 $\mu\text{g/mL}$ )                                                                                                              | [4]  |
|                                                                                               | 艾叶生物碱    | 超声结合酶提取法      |                                 | 对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径均>10 mm,MIC分别为3.2,1.6 mg/mL                                                                                                                      | [5]  |
|                                                                                               | 细叶小檗根生物碱 | 超声辅助乙醇提取法     |                                 | 对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的MIC均为0.31 g/L,MBC均为0.63 g/L,对枯草芽孢杆菌、沙门氏菌的MIC为0.63 g/L,MBC为1.25 g/L                                                                                    | [6]  |
| 多糖类化合物                                                                                        | 茶树菌丝多糖   | 超声辅助提取法       | 金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌             | 对3种细菌的抑菌率分别为80.00%,75.47%,67.74%                                                                                                                                    | [7]  |
|                                                                                               | 艾叶多糖     | 水提醇沉法         | 金黄色葡萄球菌                         | MIC为1.25 mg/mL                                                                                                                                                      | [8]  |
|                                                                                               | 米糠多糖     | 水提醇沉法         | 金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌;大肠杆菌、沙门氏菌和铜绿假单胞菌 | 抑菌圈分别为(19.26 $\pm$ 0.38),(18.13 $\pm$ 0.33),(18.93 $\pm$ 0.35),(17.27 $\pm$ 0.39),(18.84 $\pm$ 0.42) mm;对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的MIC值为4 mg/mL,对铜绿假单胞菌、沙门氏菌和枯草芽孢杆菌的MIC值为8 mg/mL | [9]  |
| 有机酸类化合物                                                                                       | 马齿苋有机酸   | 超声辅助乙醇提取法     | 金黄色葡萄球菌                         | MIC为12.5 mg/mL;体内试验表明中剂量的马齿苋有机酸可以提高小鼠伤口愈合率                                                                                                                          | [10] |
|                                                                                               | 杜松果有机酸   | 甲醇提取法         | 肉毒葡萄球菌、单增李斯特菌                   | MIC为3.12,25.00 mg/mL                                                                                                                                                | [11] |
|                                                                                               | 辣木籽有机酸   | 超声辅助乙醇提取法     | 大肠埃希氏菌、蜡样芽孢杆菌                   | 对两种细菌的MIC均为3.12 mg/g,添加3%的提取物可使鸡肉肠中的蜡样芽孢杆菌和大肠杆菌减少至1.0 lg(CFU/g)                                                                                                     | [12] |
| 挥发油类化合物                                                                                       | 山茱萸精油    | 水蒸气蒸馏法结合溶剂萃取法 | 大肠杆菌、金黄色葡萄球菌                    | 对大肠杆菌的MIC为125 $\mu\text{g/mL}$ ,最低杀菌浓度MBC为1 000 $\mu\text{g/mL}$ ;对金黄色葡萄球菌的MIC为250 $\mu\text{g/mL}$ ,MBC为1 000 $\mu\text{g/mL}$                                     | [13] |
|                                                                                               | 柠檬精油     | 超声辅助水蒸气蒸馏法    | 金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、嗜水气单胞菌、维氏气单胞菌    | 抑菌圈直径分别为(10.48 $\pm$ 0.83),(7.89 $\pm$ 0.67),(11.25 $\pm$ 1.10),(12.57 $\pm$ 0.87) mm                                                                               | [14] |
|                                                                                               | 玫瑰精油     | 超声微波协同萃取法     | 金黄色葡萄球菌、大肠杆菌                    | 抑菌圈直径分别为(13.53 $\pm$ 0.21),(11.45 $\pm$ 0.18) mm;MIC分别为(1.250 $\pm$ 0.010),(0.625 $\pm$ 0.030) $\mu\text{L/mL}$                                                     | [15] |

的浓度下可完全杀灭金黄色葡萄球菌,具有一定的杀菌潜力。进一步揭示了酰基化花青素的抑菌机制:通过破坏细菌细胞膜结构、降低胞内 pH 和 ATP 浓度达到抑制细菌生长的目的。如今酚类化合物由于其较好的抗菌活性和安全性,已被广泛应用于食品贮藏保鲜。

## 1.2 植物生物碱类化合物

生物碱是一类含氮有机化合物,可以从各种植物体中分离出来,大多呈苦味。因其复杂的环状结构,而难溶于水,但可以溶于有机溶剂,能与酸结合生成盐类。生物碱种类繁多,根据其结构被分为有机胺类、吡咯烷类、吡啶类、异喹啉类、莨菪烷类、咪唑类、嘌呤类、二萜类及其他种类。

赵海桃等<sup>[6]</sup>对细叶小檗不同生长部位抑菌性进行了对比分析,当生物碱质量浓度为 60 g/L 时,纯化前不同部位抑菌作用强弱次序为果>根>茎>叶;纯化后不同部位抑菌作用强弱次序为根>茎>果>叶。纯化前后抑菌效果不同可能是因为细叶小檗根、茎和叶纯化后生物碱纯度的提高。生物碱抗菌机制包括改变细菌细胞膜通透性、抑制核酸和蛋白质的合成、破坏细胞结构和干扰细菌的正常代谢,还可以靶向作用于细菌的毒力因子来降低细菌的致病性。另外,某些生物碱的抗菌活性还高于标准抗生素<sup>[17]</sup>。由于生物碱具有广谱抑菌性这一特点,未来或可以作为植物防腐保鲜剂或代替抗生素,在食品工业和医药等其他行业发挥出更大的价值。

## 1.3 植物多糖类化合物

植物多糖又称多聚糖,是由多个具有  $\alpha$ - 或  $\beta$ -糖苷键的单糖组成的化合物,广泛存在于淀粉、纤维素、多糖、果胶和其他天然植物原料中。根据植物多糖所在的部位不同,可分为植物花果类多糖、植物茎叶类多糖、植物块根茎类多糖。

近年来,国内外学者对多糖的研究与应用日益深入。研究人员通过从蓝莓中提取出的 3 种果胶多糖对细菌的抑菌情况和体外抗氧化情况得出结论,3 种多糖具有较强的抗氧化和抗菌特性。进一步研究<sup>[18]</sup>发现,这些多糖的相对分子质量与其抑菌和抗氧化特性之间存在着密切的关联。杏多糖是一种新型的包封和递送活性药物成分的天然载体。Zhou 等<sup>[19]</sup>以纯化后的杏多糖为载体制备了姜黄素纳米颗粒,这种新型药物载体不仅提高了植物利用率,还显著提升了难溶性化合物的溶解度、稳定性和抗菌活性。

## 1.4 植物有机酸类化合物

植物有机酸是从植物或果实中提取出来的一种具有一定生理活性的酸性化合物,常易溶于水和乙醇,难溶于其他有机溶剂。广泛分布于植物的根、叶、果实中,果实中的有机酸含量最为丰富。不同植物的结构、相对分子质量不同,从而导致有机酸的功能特性不同。

因有机酸绿色环保、天然健康的特点广泛被学者关

注研究。研究<sup>[20]</sup>证实,不同的脂肪酸和芳香酸对大肠杆菌和铜绿假单胞菌等革兰氏阴性菌比粪肠球菌和金黄色葡萄球菌等革兰氏阳性菌的抑制作用更强,各种细菌对植物中的活性成分的敏感趋势为大肠杆菌>铜绿假单胞菌>粪肠球菌>金黄色葡萄球菌。有机酸之所以能显著抑制革兰氏阴性菌的生长,是因为它们能够穿透细菌细胞壁,干扰其代谢过程,破坏细胞内环境的稳定性,从而发挥出强大的抗菌效果。相较之下,对于革兰氏阳性菌而言,由于其细胞壁结构的特殊性,有机酸的渗透与破坏作用相对较弱,因此抑制效果不明显。

## 1.5 植物挥发油

植物挥发油是从植物根、茎、叶等不同部位提取出的一类具有芳香气味和生物活性的物质,包含醇、醛、酸、酚、丙酮、萜烯等多种化合物,其含量在伞形科、唇形科、菊科等植物中较为丰富。八角茴香油、罗勒油、丁香叶油、广藿香油、山苍子油、大蒜油、肉豆蔻油等植物挥发油已被纳入中国《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2014)中食品用天然香料名单,允许使用。

研究<sup>[21]</sup>表明,超声有机溶剂法提取的精油含量高于水蒸气蒸馏法,但后者提取的精油品质更佳。通过 GC-MS 鉴定,发现其主要成分 1,8-桉叶素可能是其实现抗菌、抗肿瘤、抗病毒等药理作用的重要基础。陈文丹等<sup>[22]</sup>采用琼脂扩散法测定黄芩精油对大肠杆菌及金黄色葡萄球菌的抑菌活性,发现其对两种细菌均有明显抑制作用,且对金黄色葡萄球菌的抑菌效果优于大肠杆菌。抑制作用可能与精油特殊的性质和结构有关。由于精油易挥发、水溶性差等特性,在实际应用中大多是结合纳米乳、微胶囊等方式使用。

# 2 天然植物提取物的抑菌机理

天然植物提取物种类繁多,应用广泛,植物提取物在抗菌、抗氧化等方面的研究取得诸多进展,其抗菌特性的研究也越发深入。主要通过改变微生物细胞膜和细胞壁结构及成分,干扰微生物的能量代谢、细胞代谢活动,从而抑制微生物生长繁殖;也可通过抑制蛋白质合成以及和遗传物质 RNA 结合而起到抑菌作用。一种植物提取物同时还可以发挥几种不同的抑菌机制共同促进细菌死亡。

## 2.1 破坏菌体的细胞结构

植物提取物能够破坏细胞壁和细胞膜的完整性,使抑菌成分进入膜内,引发细胞死亡。植物精油能导致碱性磷酸酶活性和电导率增加,以及细胞内大分子成分(如核酸和蛋白质)的显著泄漏,证明细胞壁和细胞膜的完整性受到损害。从而达到抑制细菌生长和防止腐败的目的<sup>[23]</sup>。萜类化合物通过改变微生物细胞膜的通透性,导致内部大量成分流失,细胞破碎和死亡<sup>[24]</sup>。茶多酚的抑制作用也是如此<sup>[2]</sup>。

## 2.2 抑制蛋白质及核酸的合成

蛋白质和核酸是微生物生命的重要物质基础,在微

生物的呼吸、代谢、生长和繁殖过程中发挥着重要作用。植物提取物中的活性成分可以与细菌DNA发生反应使其结构改变,进而影响细胞内蛋白质及核酸的合成导致菌体破坏死亡,达到抑菌效果。

蛋白表达差异分析发现,芳樟醇可使志贺氏菌细胞内蛋白质的合成发生显著变化,经过芳樟醇处理的志贺氏菌,其中参与细胞防御的208种蛋白质表达上调,49种蛋白质表达下调(其中包括参与志贺氏菌细胞内能量代谢的蛋白质)<sup>[25]</sup>。二氢叶酸还原酶(dihydrofolate reductase, DHFR)是维持细菌生长所需的重要酶,其在细胞内主要参与一碳单位的代谢过程,作用是通过催化二氢叶酸向四氢叶酸的转化等关键反应,进而调控细胞内蛋白质合成和DNA复制所需的前体供应。研究<sup>[26]</sup>发现,没食子儿茶素没食子酸酯能够通过抑制DHFR活性来抑制结核分枝杆菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的生长。而灵芝多糖能与牛血清白蛋白通过美拉德反应形成共价键,改变蛋白质构象,提高蛋白质的稳定性,进而影响其功能特性<sup>[27]</sup>。

### 2.3 干扰细胞的呼吸和能量代谢

ATP是调节机体能量代谢的重要物质,主要分布在线粒体、叶绿体和细胞质基质中,为生物体的合成代谢和分解代谢提供能量。植物提取物中的活性物质可通过抑制ATP活力使菌体细胞内代谢失衡及紊乱,破坏细胞膜的通透性导致ATP泄露,从而达到抑菌效果。

绿原酸能诱导枯草芽孢杆菌细胞发生三羧酸循环和糖酵解代谢紊乱,使细胞内稳态失衡导致细菌死亡<sup>[28]</sup>。 $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{-ATP}$ 酶是镶嵌在细胞膜磷脂双分子层上的一种蛋白酶,位于组织细胞及细胞膜,该酶可通过改变分子结构使ATP被催化然后水解为ADP,为细胞膜物质提供能量<sup>[29]</sup>。王晓芸等<sup>[30]</sup>提取出的3种植物多酚,分别为葡萄籽提取物(grape seed extract, GSE)、莲房原花青素(lotus seed proanthocyanidins, LSPC)和莲藕多酚提取物(lotus root polyphenol extract, LRPE)。经研究发现,这3种多酚可使腐败希瓦氏菌的 $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{-ATP}$ 酶发生不同程度的失活,当分别以62.5  $\mu\text{g/mL}$ 的GSE、250.0  $\mu\text{g/mL}$ 的LSPC、124.5  $\mu\text{g/mL}$ 的LRPE进行处理后,酶活力分别下降33.21%, 58.16%, 57.90%,进而使得细胞内物质运输、能量转换和信号传导等生命活动发生紊乱,导致细胞死亡。

## 3 天然植物提取物在肉类保鲜中的应用

由于肉和肉制品中含有丰富的蛋白质和营养物质,这些物质会在某些条件下导致微生物污染以及脂质和蛋白质的氧化。因此,保存肉制品的关键在于抑制微生物的生长和减缓营养物质的氧化。目前,植物提取物主要被用作抗氧化剂和抗菌剂添加到肉及肉制品中。常见的应用方式包括直接添加、制成可食用薄膜或纳米颗粒,以及结合新兴灭菌技术使用,从而提高其抑菌和保鲜效果。

### 3.1 香辛料提取物在肉类保鲜中的应用

香辛料是烹饪食品中不可或缺的调味料,在现代食品工业中被广泛应用,它们不仅能给食物增味和赋香,提高食欲,还具有抗氧化、抗炎、抑菌和抗癌等功效。Zhang等<sup>[31]</sup>研究了一种创新方案,制备大蒜精油纳米乳的同时加入羧甲基壳聚糖和吐温80以增强其稳定性。并将这一成果应用于猪肉保鲜,使猪肉的保质期有效延长了约1周。与游离大蒜精油相比,包封在纳米乳中的大蒜精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有更强的抑制作用,表明GEO包封在纳米乳中显著提高了其抗氧化和抗菌活性。

复合使用香辛料提取物比单一使用更能提高抑菌效果。研究<sup>[32]</sup>发现,与未处理的对照组相比,添加桂皮、生姜和八角茴香混合物( $m_{\text{桂皮}}:m_{\text{生姜}}:m_{\text{八角茴香}}=2:2:1$ )的提取物能有效地抑制冷藏猪肉糜的氧化,延缓其品质劣变,同时显著改善其质地和风味。郑欧阳等<sup>[33]</sup>的研究也获得了类似的成效。然而,在两者的研究中都存在一个共同的问题,由于所选提取物本身色泽较深,其在提升产品品质的同时,也可能对产品的感官产生一定的负面影响。因此,在实际应用过程中,应综合考虑各方面因素,根据不同产品的特性和需求,选择最为适宜的提取物,以最大限度地避免对产品品质及外观造成不利影响。

### 3.2 果蔬提取物在肉类保鲜中的应用

果蔬提取物作为一种安全且有效的天然抑菌资源,其在控制食品微生物污染及开发新型抗菌药物方面具有重要价值。例如,使用芡实壳的醇提取物和水提取物以及菱角壳醇提取物对冷鲜鸭肉进行浸渍处理,可以有效延缓鸭肉风味和口感的劣变,延长鸭肉的货架期1~2 d<sup>[34]</sup>。提取物的浓度越高,其抑菌效果越好,表明蔬菜提取物的抑菌作用与其内部的黄酮和多酚含量成正比关系。葡萄籽的醇提取物能够抑制黑鱼鱼片中细菌生长繁殖,尤其是气单胞菌,同时也可以减少总挥发性碱氮、腐胺、尸胺和组胺的积累,使冷藏鱼片的保质期延长约3 d<sup>[35]</sup>,显示出作为天然防腐保鲜剂的潜力。

然而,单独使用果蔬提取物存在局限性,如将果蔬提取物与其他抑菌剂或新兴技术结合使用,可以更好地抑制微生物生长、延缓脂质氧化,从而达到更好的抑菌效果。例如,将柠檬精油与热稳定的多孔蛭石吸附形成配合物,并与魔芋葡甘聚糖接枝聚丙烯酸/聚乙烯醇复合成包装膜,这种膜能更有效地抑制大肠杆菌的生长,使冰鲜猪肉的保质期延长3 d<sup>[36]</sup>。为提升抑菌效果,将乳酸链球菌素、壳聚糖、迷迭香提取物及石榴皮粗提取物作为复合保鲜剂涂抹于鸡脯肉表面,经紫外线照射后,真空包装,于4℃下冷藏,发现其保鲜效果明显高于单一石榴皮提取物,可将保鲜期延长10 d左右<sup>[37]</sup>。该保鲜剂含有大量天然植物抑菌成分,避免了使用化学防腐剂的有害残留物质,即能显著抑制各类微生物的生长,有极佳的保鲜作用。

### 3.3 中草药提取物在肉类保鲜中的应用

中草药不仅具有显著的药用价值,在食品保鲜和抑菌方面也发挥着重要作用。例如,将柠檬草提取物作为天然保鲜剂加入到鸡肉肠中,与对照组相比,可以有效抑制微生物繁殖和脂质氧化,将鸡肉香肠货架期延长至 42 d<sup>[38]</sup>,且柠檬草提取物的保鲜效果优于 0.1% 赤藓酸钠,并且不会影响鸡肉肠的感官特性,有望替代合成添加剂在食品工业中的应用。

另外,石榴皮和橄榄叶复合提取物对鲜肉具有良好的保鲜效果。橄榄叶提取物(OLE)可以调节肠道微生物群,石榴提取物在胃肠道细胞中具有抗氧化活性,因此,它们用作食品防腐剂不仅可以延长鸡肉和兔肉等易腐新鲜产品的保质期,还可以增加产品的营养价值,对消费者的健康产生有益的影响<sup>[39]</sup>。此外,制备的冬凌草甲素/壳聚糖复合膜,能有效延缓冷藏鸡胸肉的颜色和质地变化,显著提高其保水性,进而延长鸡胸肉的货架期 5 d<sup>[40]</sup>。这些研究成果不仅提升了保鲜效果,也为食品保鲜领域带来了新的应用前景。

## 4 植物提取物联合新兴技术在肉类保鲜中的应用

尽管植物提取物因其天然属性和抑菌特性被广泛用于肉制品的保鲜中,但单一植物提取物的使用存在一定的局限性,如有效浓度高和感官影响等。为了克服这些负面因素,联合食品保藏技术的研究和应用显得尤为重要。这一技术不仅可以提高产品的安全性、营养价值和感官品质,还可以通过将抑菌物质与新的杀菌技术相结合,增强抑菌物质的抗菌特性,从而改善肉质、延长保质期并提升食品风味。

### 4.1 纳米保鲜联用技术

纳米技术在食品保鲜领域的应用为提高肉制品保质期提供了创新解决方案。通过绿色生物合成技术制备的纳米粒子不仅环保,而且能有效抑制微生物生长。例如,纳米乳液和纳米复合膜的使用,通过提高抑菌物质的稳定性和接触面积,显著增强了其抗菌效果。此外,纳米封装技术如明胶交联封装能有效控制抗菌成分的释放,延长其活性,从而提高牛肉糜的保质期至 15 d<sup>[41]</sup>。

### 4.2 超声波杀菌联用技术

超声波技术结合植物提取物,在杀菌方面显示出显著的协同效应。特别是百里香酚和超声的联合处理,将腐败希瓦氏菌减少 2.36 lg (CFU/mL)<sup>[42]</sup>。此外,超声波处理还能改变肉类蛋白质的结构,有助于肉类嫩化,提升食品质感<sup>[43]</sup>。

### 4.3 其他新兴杀菌保鲜联用技术

随着食品科学技术的发展,更多新兴的杀菌保鲜技术如超高压灭菌、辐照灭菌和低温等离子体灭菌等被探索用于肉制品。这些技术与植物提取物的联合使用不仅能提高抑菌效率,还能减少对食品质感和营养的破坏,如

$\gamma$ -辐照与小茴香精油纳米乳液的联合使用能显著延长牛肉片的货架期,同时控制辐照诱导的脂质氧化<sup>[44]</sup>。0.3% 的木瓜提取物结合高压处理过后的鸡胸肉,沙门氏菌减少了 5 lg (CFU/g),并且联合处理显著提高了肉的嫩度<sup>[45]</sup>。值得注意的是,辐照技术杀菌彻底,但放射性强,其安全性问题仍需进一步提升。而高压灭菌技术低碳环保、低耗能,但在食品中的应用仍面临一定限制。

联合食品保藏技术的应用不仅能提高肉制品的保质期和安全性,还能改善其营养价值和感官品质。然而,这些技术的实际应用还需考虑成本、操作复杂性和消费者接受度等因素。此外,对于联合技术的机理研究及其长期效果的评估仍需进一步深入,以确保其在食品安全和公共卫生领域的可持续应用。

## 5 结语及展望

在肉品及其制品中添加植物提取物,不仅能显著抑制微生物生长,还可以减少对肉类制品的负面感官影响,延缓脂质的氧化过程,并有效延长产品货架期。当不同的植物提取物复合使用或与现代保鲜技术结合时,其抑菌效果获得显著提升。随着科技的发展和天然资源不断被探索,预计天然植物提取物将逐步替代化学添加剂,在食品防腐与保鲜领域发挥重要作用。

然而,当前针对天然植物提取物的毒理学评估尚不完善,迫切需要建立一套全面的安全评估标准,以确保其安全性并保护消费者健康。在使用复配植物提取物时,虽然可能产生协同增效或叠加效应;但现有研究很少涉及潜在的拮抗作用。因此,在开发复配配方时,必须严格评估任何可能的拮抗效应。此外,肉类加工过程中,加工操作技术不当可能会破坏所添加活性物质的稳定性,因此在此加工过程中应特别注意其对有效性的潜在影响。

### 参考文献

- [1] 贾睿,蔡丹,葛思彤,等. 红豆皮多酚提取物对两种致病菌的抑菌活性及作用机理[J]. 食品科学, 2021, 42(23): 64-71.  
JIA R, CAN D, GE S T, et al. Antibacterial activity and mechanism of polyphenol extracts from adzuki bean seed coat against two pathogens[J]. Food Science, 2021, 42(23): 64-71.
- [2] 陈琛,徐尤美,蔺蓓蓓,等. 秦岭绿茶茶多酚抑菌活性及其机理研究[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(6): 821-827.  
CHEN C, XU Y M, LIN B B, et al. Antibacterial activity and mechanism of green tea polyphenols from Qinling mountains [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2019, 37(6): 821-827.
- [3] LI L L, ZHOU P, WANG Y D, et al. Antimicrobial activity of cyanidin-3-O-glucoside-lauric acid ester against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*[J]. Food Chemistry, 2022, 383: 132410.
- [4] DAHMER J, MARANGON P, ADOLPHO L O, et al. Alkaloids from the stem barks of *Scutia buxifolia* Reissek (Rhamnaceae):

- structures and antimicrobial evaluation[J]. *Phytochemistry*, 2022, 196: 113071.
- [5] 陈阳, 廖子蔚, 陶娟娟, 等. 超声波结合酶法提取艾叶总生物碱工艺优化及其抑菌活性[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(12): 197-205.
- CHEN Y, LIAO Z W, TAO J J, et al. Optimization of ultrasonic combined with enzymatic extraction process of total alkaloids from *Artemisia argyi* leaves and its antibacterial activity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(12): 197-205.
- [6] 赵海桃, 吴小杰, 钟明旭, 等. 细叶小檗不同生长部位生物碱抑菌活性研究[J]. *北京林业大学学报*, 2022, 44(7): 126-134.
- ZHAO H T, WU X J, ZHONG M X, et al. Antibacterial activity of alkaloids from different growth parts of *Berberis poiretii*[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2022, 44(7): 126-134.
- [7] GAO N B, ZHANG W J, HU D J, et al. Study on extraction, physicochemical properties, and bacterio-static activity of polysaccharides from *Phellinus linteus*[J]. *Molecules*, 2023, 28(13): 5 102.
- [8] WANG Q, ZHOU X Y, GOU H Q, et al. Antibacterial activity of a polysaccharide isolated from *Artemisia argyi* leaf against *Staphylococcus aureus* and mechanism investigation[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 253(P1): 126636.
- [9] CHEN B J, QIAO Y J, YU G, et al. Sulfation, characterization, antibacterial activity, and action mechanism of rice bran polysaccharides[J]. *Food Bioscience*, 2024, 59: 103953.
- [10] LIU G S, LIU A J, YANG C, et al. *Portulaca oleracea* L. organic acid extract inhibits persistent methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in vitro and in vivo[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 13: 1076154.
- [11] AKBULUT H F, AKBULUT M. Mineral composition, the profile of phenolic compounds, organic acids, sugar and in vitro antioxidant capacity, and antimicrobial activity of organic extracts of *Juniperus drupacea* fruits[J]. *Food Science & Nutrition*, 2023, 11(10): 6 435-6 446.
- [12] SHARMA P, WICHAPHON J, KLANGPETCH W. Antimicrobial and antioxidant activities of defatted *Moringa oleifera* seed meal extract obtained by ultrasound-assisted extraction and application as a natural antimicrobial coating for raw chicken sausages[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2020, 332: 108770.
- [13] BUGHIO S H, BHATTI S, MEMON S, et al. Phytochemical and antibacterial assessment of essential oils extracted from aerial parts of *cordia dichotoma* G. Forst[J]. *International Journal of Food Properties*, 2024, 27(1): 632-640.
- [14] 张潇雪, 杜慧慧, 胡武静, 等. 万州尤力克柠檬果皮精油的提取工艺及其抗氧化、抑菌、抗肿瘤活性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(24): 198-205.
- ZHANG X X, DU H H, HU W J, et al. Study on extraction process of essential oil from Wanzhou eureka lemon peel and its antioxidant, antibacterial, and antitumor activities[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(24): 198-205.
- [15] 马金璞, 施生玲, 张钰璇, 等. 超声微波协同萃取法提取兰州苦水玫瑰精油及抑菌活性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(12): 151-157.
- MA J P, SHI S L, ZHANG Y X, et al. Optimized extraction parameters of essential oil from Lanzhou kushui rose by ultrasonic microwave synergistic extraction method using RSM and its antibacterial activities[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38(12): 151-157.
- [16] EFENBERGER-SZMECHTYK M, NOWAK A, CZYZOWSAK A. Plant extracts rich in polyphenols: antibacterial agents and natural reservates for meat and meat products[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(1): 149-178.
- [17] 陈梦涵, 于立辉, 李丽爽, 等. 生物碱类化合物抗菌及逆转细菌耐药性研究进展[J]. *动物医学进展*, 2023, 44(4): 109-113.
- CHEN M H, YU L H, LI L S, et al. Progress on antibacterial and drug resistance reversal effects of alkaloids[J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2023, 44(4): 109-113.
- [18] QIAO Y Y, SHEN Y X, JIANG H Z, et al. Structural characterization, antioxidant and antibacterial activity of three pectin polysaccharides from blueberry[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 262: 129707.
- [19] ZHOU C K, HUANG C Q, LI L, et al. Apricot polysaccharides as new carriers to make curcumin nanoparticles and improve its stability and antibacterial activity[J]. *Journal of Food Science*, 2024, 89(2): 881-899.
- [20] ADAMCZAK A, OZAROWSKI M, KARPINSKI T M. Antibacterial activity of some flavonoids and organic acids widely distributed in plants[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2019, 9(1): 109.
- [21] 刘巨钊, 鲜梦雪, 孔伟华, 等. 草果精油提取工艺优化与成分分析[J]. *天然产物研究与开发*, 2023, 35(5): 766-780.
- LIU J Z, XIAN M X, KONG W H, et al. Optimization of extraction process and composition analysis of essential oil from *Amomum tsao-ko*[J]. *Natural Product Research and Development*, 2023, 35(5): 766-780.
- [22] 陈文丹, 白玉莹, 郭成虎, 等. 黄花蒿精油抑菌、抗氧化及毒理学特性研究[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(7): 44-50.
- CHEN W D, BAI Y Y, GUO C H, et al. Antibacterial, antioxidant and toxicological properties of *Artemisia annua* essential oil[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(7): 44-50.
- [23] BUST S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 94(3): 223-253.
- [24] 李兆亨, 陈文学, 韩迎洁, 等. 胡椒油中萜类化合物对单增李斯特菌抑菌机理及在冷鲜肉中的应用[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(19): 89-93.
- LI Z T, CHEN W X, HAN Y J, et al. Antibacterial mechanism of terpenoids in pepper oil against *Listeria monocytogenes* and its application in cold meat[J]. *Science and Technology of*

- Food Industry, 2019, 40(19): 89-93.
- [25] HE R R, CHEN H M, WU H, et al. Proteomics reveals energy limitation and amino acid consumption as antibacterial mechanism of linalool against *Shigella sonnei* and its application in fresh beef preservation[J]. Food Chemistry: X, 2023, 19: 100837.
- [26] HE J, QIAO W L, AN Q, et al. Dihydrofolate reductase inhibitors for use as antimicrobial agents[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2020, 195: 112268.
- [27] WANG Y Q, WANG Y, LUO Q, et al. Molecular characterization of the effects of ganoderma lucidum polysaccharides on the structure and activity of bovine serum albumin[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2019, 206: 538-546.
- [28] WU Y, LIANG S, ZHANG M, et al. The effect of chlorogenic acid on *Bacillus subtilis* based on metabolomics[J]. Molecules, 2020, 25(18): 4 038.
- [29] 陈熙, 苏宇萌, 郭家如, 等. 基于能量代谢探究不同温度下马铃薯贮藏品质变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(6): 159-168.
- CHEN X, SU Y M, SONG Y N, et al. The changes of storage quality of potato at different temperatures were studied based on energy metabolism[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(6): 159-168.
- [30] 王晓芸, 张婷, 黄剑, 等. 3 种多酚对腐败希瓦氏菌的抑菌效果和机理[J]. 食品科学, 2024, 45(16): 1-9.
- WANG X Y, ZHANG T, HUANG J, et al. Study on antibacterial effect and mechanism of three polyphenols against *Shewanella putrefaciens*[J]. Food Science, 2024, 45(16): 1-9.
- [31] ZHANG X Z, WANG Y, WANG D, et al. Synergistic stabilization of garlic essential oil nanoemulsions by carboxymethyl chitosan/Tween 80 and application for coating preservation of chilled fresh pork[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 266: 131370.
- [32] 邹欣洋, 计瑶, 张晶, 等. 复合香辛料提取物对冷藏猪肉氧化及品质特性的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(10): 23-31, 39.
- ZOU X Y, JI Y, ZHANG J, et al. Effects of compound spice extracts on oxidation and quality characteristics of refrigerated minced pork[J]. Storage and Process, 2022, 22(10): 23-31, 39.
- [33] 郑欧阳, 孙钦秀, 刘书成, 等. 香辛料提取物复配对风干肠品质和生物胺的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 90-95.
- ZHENG O Y, SUN Q X, LIU S C, et al. The effect of spice extracts on the quality and biogenic amines of dry sausage[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 90-95.
- [34] 单恬恬, 范艳慧, 徐筱莹, 等. 水生蔬菜提取物抑菌活性研究及其在冷鲜鸭肉保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 146-153.
- SHAN T T, FAN Y H, XU X Y, et al. Research on antibacterial activity of aquatic vegetable extracts and application in duck meat preservation[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(7): 146-153.
- [35] LI Y, ZHUANG S, LIU Y Y, et al. Effect of grape seed extract on quality and microbiota community of container-cultured snakehead (*Channa argus*) fillets during chilled storage[J]. Food Microbiology, 2020, 91: 103492.
- [36] LI X L, XIAO N Y, XIAO G S, et al. Lemon essential oil/vermiculite encapsulated in electrospun konjac glucomannan-grafted-poly (acrylic acid)/polyvinyl alcohol bacteriostatic pad: Sustained control release and its application in food preservation[J]. Food Chemistry, 2021, 348: 129021.
- [37] 洪军, 李文玉, 卫夏怡, 等. 石榴皮提取物的抑菌活性及其对冷却鸡肉保鲜效果[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 73-76, 82.
- HONG J, LI W Y, WEI X Y, et al. Antibacterial activity of pomegranate peel extracts and their preservation effect on cooled chicken[J]. China Condiment, 2020, 45(3): 73-76, 82.
- [38] BOEIRA C P, PIOVESAN N, FLORES D C B, et al. Phytochemical characterization and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* extract for application as natural antioxidant in fresh sausage[J]. Food Chemistry, 2020, 319: 126553.
- [39] FORGIONE G, DE CRISTOFARO G A, SATERIALE D, et al. Pomegranate peel and olive leaf extracts to optimize the preservation of fresh meat: natural food additives to extend shelf-life[J]. Microorganisms, 2024, 12(7): 1 303.
- [40] 王倩, 纠敏, 孟媛媛, 等. 冬凌草甲素/壳聚糖复合膜对冰鲜鸡胸肉的保鲜效果[J]. 食品与机械, 2021, 37(3): 125-130.
- WANG Q, JIAO M, MENG Y Y, et al. Preservation effects of oridonin/chitosan composite film on chilled chicken breast meat[J]. Food & Machinery, 2021, 37(3): 125-130.
- [41] MASOOMIAN M, SARMAST E, SALMIERI S, et al. Application of nano-encapsulated antimicrobial compounds combined with MAP for bio-preservation of ground meat[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(6): 6 552-6 565.
- [42] GU Y J, LAN W Q, XIE J. Antibacterial mechanism of ultrasound combined with thymol against *Shewanella putrefaciens*: implications for cell integrity and biofilm control [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2024, 59(5): 3 045-3 055.
- [43] ROOBAB U, CHEN B R, MADNI G M, et al. Enhancing chicken breast meat quality through ultrasonication: physicochemical, palatability, and amino acid profiles[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 104: 106824.
- [44] DINI H, FALLAH A A, BONYADAIN M, et al. Effect of edible composite film based on chitosan and cumin essential oil-loaded nanoemulsion combined with low-dose gamma irradiation on microbiological safety and quality of beef loins during refrigerated storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 164: 1 501-1 509.
- [45] CHEN Y A, HSU H Y, CHAI H E, et al. Combination effect of papaya extract and high pressure processing on *Salmonella* inactivation on raw chicken breast meat and meat quality assessment[J]. Food Control, 2022, 133: 108637.