

# 植物源抑菌剂的研究进展

陈志迪<sup>1</sup>, 王新宇<sup>1</sup>, 李晴雯<sup>1</sup>, 张瑶<sup>1</sup>, 钟连全<sup>2</sup>, 易欣欣<sup>1</sup>, 高秀芝<sup>1\*</sup>

(1. 北京农学院食品科学与工程学院, 食品质量与安全北京实验室, 农产品有害微生物及农残安全检测与控制北京市重点实验室, 北京 102206; 2. 北京市昌平区种子管理站, 北京 102200)

**摘要:** 植物源抑菌剂是通过物理或化学分离提取方法从天然植物中获得的具有抑菌作用的生物活性物质, 具有安全、高效、毒副作用小等优点, 在抑制病原菌及有害微生物生长繁殖、保障食品安全方面有较高的开发潜力和研究价值。植物源抑菌剂种类丰富, 主要包括多酚、多糖、黄酮、挥发油、生物碱、萜类化合物等。本文分析总结了常见植物源抑菌剂的提取及纯化方法, 讨论了提取方法选择过程中存在的问题, 探究了不同种类植物源抑菌剂的作用机理及在食品保藏、加工中的应用现状。植物源抑菌剂在抑菌防腐领域具有较广阔的应用前景, 未来可在提取工艺优化、有效成分分析及抑菌基因表达等方面进行深入研究, 以期能为植物源抑菌剂的综合利用提供一定的理论依据。

**关键词:** 植物提取物; 提取及纯化方法; 抑菌活性; 抑菌机理

## Research progress of plant-derived antimicrobial agents

CHEN Zhi-Di<sup>1</sup>, WANG Xin-Yu<sup>1</sup>, LI Qing-Wen<sup>1</sup>, ZHANG Yao<sup>1</sup>, ZHONG Lian-Quan<sup>2</sup>,  
YI Xin-Xin<sup>1</sup>, GAO Xiu-Zhi<sup>1\*</sup>

(1. Faculty of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing Key Laboratory of Detection and Control of Harmful Microorganisms and Pesticide Safety of Agricultural Products, Beijing 102206, China; 2. Beijing Changping District Seed Management Station, Beijing 102200, China)

**ABSTRACT:** Plant-derived antimicrobial agents are biologically active substances with bacteriostatic effects obtained from natural plants through physical or chemical separation and extraction methods, they have the advantages of safety, high efficiency, and small toxic and side effects, and have high development potential and research value in inhibiting the growth and reproduction of pathogenic bacteria and harmful microorganisms and ensuring food safety. There are many kinds of plant-derived antibacterial agents, mainly including polyphenols, polysaccharides, flavonoids, volatile oils, alkaloids, and terpenoids and so on. This article analyzed and summarized the extraction and purification methods of common plant-derived antibacterial agents, discussed the problems in the selection process of extraction methods, and explores the mechanism of action of different kinds of plant-derived antibacterial agents and their application status in food preservation and processing. Plant-derived antimicrobial agents had broad application prospects in the field of antimicrobial and anti-corrosion. In the future, further research could be conducted on the optimization of extraction process, analysis of effective components and expression of

基金项目: 现代农业产业技术体系北京市叶类蔬菜创新团队(BAIC07-2021)、北京农学院学位与研究生教育改革与发展项目(2021YJS029)

Fund: Supported by the Modern Agricultural Industrial Technology System Beijing Leaf Vegetable Innovation Team (BAIC07-2021), and the Research Fund for Academic Degree & Graduate Education of Beijing University of Agriculture (2021YJS029)

\*通信作者: 高秀芝, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。E-mail: gxz@bua.edu.cn

\*Corresponding author: GAO Xiu-Zhi, Ph.D, Associate Professor, Beijing University of Agriculture, No.7 Beining Road, Huilongguan Town, Changping District, Beijing 102206, China. E-mail: gxz@bua.edu.cn

antibacterial genes, *etc.* It will provide theoretical references for the comprehensive utilization of plant derived antimicrobial agents.

**KEY WORDS:** plant extracts; extraction and purification methods; antimicrobial activity; antimicrobial mechanism

## 0 引言

植物源抑菌剂是指通过物理萃取或提取法、化学试剂浸提或生物发酵法从天然植物中得到的抑菌活性物质<sup>[1]</sup>。大致可以分为多酚、多糖、黄酮、挥发油、生物碱、萜类化合物等,其化学结构常包含酚、醚、萜和酮等基团<sup>[2]</sup>。近年来,植物提取物抵抗外源性致病菌的研究已成为学者们研究的热点,植物源抑菌剂具有环保、无污染、无残留的特点,同时具有较低的毒副作用<sup>[3]</sup>,因此大量的植物提取物被开发并应用于化妆品<sup>[4-6]</sup>、天然防腐剂<sup>[7-10]</sup>和饲料<sup>[11-14]</sup>等领域。我国地大物博,植物种质资源丰富,各种植物源抑菌物质的种类及含量存在较大差异。因此筛选对食品腐败菌和致病菌具有优良作用效果的植物源抑菌成分,对其提取工艺进行不断优化,探究其抑菌作用机理,逐渐成为生鲜农产品保鲜领域的研究热点。本文主要综述了植物源抑菌剂的提取及纯化方法、作用机理及其在食品防腐保鲜过程中的应用,以期对植物源抑菌剂的综合利用提供一定的理论依据。

## 1 提取及纯化方法

目前广泛研究的植物源抑菌剂主要来源于中草药及果蔬,提取方法多种多样,其中包括传统提取方法和现代提取方法,不同提取方法各有优缺点,可根据待提取的植物源抑菌剂的特点综合考虑进行选择。

### 1.1 溶剂萃取法

溶剂萃取法是传统提取方法中最经典也是目前应用最为广泛的一种提取方法,水和有机溶剂是常用的萃取溶剂,操作过程简单、成本低廉,但与新技术相比,耗时长、得率低,且溶剂需要量大,有机溶剂不仅污染环境且不利于研究人员的身体健康。

### 1.2 超声辅助提取法

超声辅助提取法是通过超声波的机械快速破坏、空化作用使植物细胞壁及整个生物体快速破裂的提取方法<sup>[15]</sup>,其能够使活性物质快速向溶剂中扩散,缩短提取时间,且超声波设备易于操作。但是超声波功率太大,容易发生局部瞬时高温,可能会破坏待提取物质的抑菌活性,因此超声辅助提取法不适于对温度敏感的活性成分的提取。

### 1.3 微波辅助提取法

微波辅助提取法主要是利用微波加热使植物细胞内的各种极性化学物质迅速吸收微波发出的热能,并通过

微波加热产生热量,植物细胞膜和细胞壁被破坏,加速细胞内活性物质释放,从而大大提高抑菌活性物质的提取效率<sup>[16]</sup>。微波处理绿色环保无污染,使用较为广泛。但是由于微波加热不均匀,可使植物细胞局部温度过高,同时易造成溶剂残留,对细胞结构破坏作用较大,甚至可能引起多糖结构的变化<sup>[17]</sup>。

### 1.4 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法

超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法是一种新型、高效的萃取分离技术。该法同时具备微波法和超声法的优点,而且 CO<sub>2</sub> 容易获得,价格便宜。但是超临界 CO<sub>2</sub> 流体萃取的设备制造要求高、投资大,产能相对有限、产品成本高,因此该方法在实现工业化生产方面依然存在局限性。

### 1.5 酶解法

酶解法是利用酶在反应过程中具有高度专一性的特点,选择一种相应的酶破坏植物细胞壁,使存在于细胞内的某些活性成分经过溶解、混悬或胶凝后溶于溶剂中<sup>[18]</sup>。与传统溶剂萃取法相比,此方法具有条件温和、对活性成分破坏少、绿色环保等优点,适用于对热敏感的活性物质的提取。该方法对设备和技术要求高,应用具有一定的局限性。

### 1.6 纯化方法

从原料中得到的提取物属于粗品,成分不够单一,抑菌效果由于活性物质含量偏低而受到限制<sup>[19]</sup>。要得到高纯度的植物源抑菌剂需要对粗品进行纯化。目前常见的对天然活性植物提取物的纯化方法主要有树脂吸附法、高速逆流色谱纯化法、膜技术纯化法、高效液相色谱法及金属离子沉淀法等<sup>[20]</sup>。树脂吸附法因其产量大、纯度高等特点,是目前植物源抑菌剂纯化工业化生产最常用的方法。高速逆流色谱纯化法、高效液相色谱法等新兴的分离纯化方法因其设备价格昂贵、得率低,目前多用于实验室中活性物质单体的分离鉴定,在工业化中应用较少。

单一方法提取效率低,耗时长。在选择提取方法时就需要综合考虑原料的理化特性及提取方法的利弊,组合利用提取方法可有效缩短提取时间,提高得率。已有研究表明<sup>[21]</sup>,超声辅助提取法较单一溶剂提取法更有优势,可使多酚提取量增加 4.6%,且超声辅助提取法较微波辅助提取法增加 6.0%。将酶解法和超声辅助提取法结合起来,活性物质最终得率达 2.14%<sup>[22]</sup>,比单独使用酶解法或超声辅助提取法时分别增加了 1.61%<sup>[23]</sup>和 1.89%<sup>[24]</sup>。因此,将 2 种或 2 种以上提取方法相结合,可以提高提取效率。不同种

类植物源抑菌物质的提取及纯化方法如表 1 所示。

## 2 植物源抑菌剂中抑菌活性物质及其作用机理

大量研究表明, 植物提取物中的活性成分如多酚、多糖、黄酮、挥发油、生物碱、萜类化合物等具有抑菌作用。但是由于植物源抑菌剂来源和受试菌不同, 很难从单方面阐明其作用机理。目前, 植物源抑菌剂的抑菌机理主要有以下几个方面: (1)直接破坏菌体, 增加菌体细胞膜的通透性, 导致细胞内容物流失<sup>[41-42]</sup>; (2)破坏细菌基因组 DNA<sup>[43]</sup>; (3)破坏细菌细胞内酶系统, 导致多种酶变性失活<sup>[44]</sup>; (4)影响菌体氧化呼吸代谢途径<sup>[45]</sup>。

### 2.1 多酚

多酚类物质分布广泛, 主要分布于植物的皮、根、叶、果中, 按来源可分为茶多酚、葡萄多酚、苹果多酚、石榴多酚、大麦多酚等<sup>[46]</sup>。多酚能有效抑制细菌及真菌的生长繁殖, 并且抑菌效果与其浓度呈正相关<sup>[47]</sup>。

茶多酚是目前应用最为广泛的一种植物多酚, 其中发挥作用的以儿茶素为主, 是一类亲脂性化合物, 能够穿透细菌细胞, 发挥其抑菌作用。陈琛等<sup>[41]</sup>以茶多酚和细菌作用前后细菌培养液中的电导率、蛋白质浓度及碱性磷酸酶活性的变化为指标, 证实了茶多酚能够作用于细菌菌体的细胞壁, 使细胞膜通透性增大, 导致细胞内容物流出, 进而使细胞电导率、蛋白质浓度发生改变。因此多酚可以作为天然防腐剂添加到食品中起到保鲜效果, 延长食品保质期<sup>[8-9]</sup>。

### 2.2 多糖

多糖存在范围广泛, 通常认为它是由多个相同或不同的单糖以糖苷键的形式连接起来所组成的聚合度大于

10 的一种有机化合物。多糖是中药的有效成分之一, 具有抗氧化、抑菌、降血糖、降血脂等多种功能活性。食用菌多糖具有较强的抑菌活性<sup>[48]</sup>。灰树花多糖对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌均具有抑制作用<sup>[49]</sup>。

多糖可附着在细胞膜上, 结合卵磷脂, 使细胞膜脂肪酸游离, 从而改变细胞膜的渗透性并伴随内容物外溢。当细胞膜被破坏之后, 植物源防腐剂中的部分物质能与细胞中的蛋白质或遗传物质结合, 从而抑制细菌各种功能的表达, 导致细胞失去生长、发育和繁殖的能力。经过白芨多糖作用后的大肠杆菌培养液中检测到了碱性磷酸酶, 并呈现先增大后减小的趋势, 说明白芨多糖破坏了大肠杆菌的细胞壁<sup>[42]</sup>。三叶青多糖进入细菌细胞后, 可以通过干扰糖酵解和糖异生的过程, 增加大肠杆菌细胞中 6-磷酸果糖的水平, 并降低 1,6-二磷酸果糖的水平以抑制大肠杆菌的增殖<sup>[43]</sup>。

### 2.3 黄酮

黄酮类化合物作为植物细胞产生的次级代谢产物而广泛分布, 具有多种生物学活性, 例如抗氧化、消炎、抗癌、抗菌和抗病毒活性<sup>[50]</sup>。黄酮提取物的抑菌活性也与其浓度呈正相关, 与粗提黄酮相比, 纯化后的黄酮浓度升高, 而且不存在其他干扰物质, 具有更好的抑菌效果<sup>[51]</sup>。苦参黄酮对细菌、真菌均有抑制作用<sup>[52]</sup>。

黄酮类化合物通过影响菌体细胞膜通透性而发挥其抑菌作用。雒江茵等<sup>[53]</sup>在探究地胆草黄酮的抑菌机理时通过扫描电镜观察到菌体形态的变化, 并通过电导率的变化证实了地胆草黄酮能够破坏细菌的细胞膜。这与陈国妮等<sup>[54]</sup>对马齿苋黄酮类抑菌机理的研究结果一致。

表 1 植物源抑菌剂的来源、提取及纯化方法

Table 1 Source, extraction and purification method of plant-derived antimicrobial agents

活性成分	来源	提取方法	纯化方法	参考文献
多酚	百香果叶、葡萄、苹果等	超声辅助提取法、溶剂萃取法、微波辅助提取法	大孔吸附树脂法、高效液相色谱法等	[25-27]
多糖	松露、枸杞等	溶剂萃取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法、酶解法	大孔吸附树脂法、硅胶柱层析、膜分离法等	[28-30]
黄酮	文冠果叶、夏枯草、八角等	微波辅助提取法、超声辅助提取法、溶剂萃取法	大孔吸附树脂法、高效液相色谱法等	[31-32]
挥发油	连翘叶、红蓼、丁香花等	超声辅助提取法、超临界 CO <sub>2</sub> 萃取法	分子蒸馏法、大孔吸附树脂法等	[33-34]
生物碱	碱蓬根、藜麦、苦参等	溶剂萃取法、超临界 CO <sub>2</sub> 萃取法、微波辅助提取法、超声辅助提取法	大孔吸附树脂法、固相萃取法、高效液相色谱法等	[35-36]
萜类化合物	艾叶、核桃楸外果皮、细风轮菜、炒王不留行等	超声辅助提取法、溶剂萃取法、微波辅助提取法	大孔吸附树脂法、硅胶柱层析等	[37-40]

## 2.4 挥发油

挥发油一般是指来源于芳香植物且有特殊香味的精油,其成分复杂,多由几十至上百种化合物组成,通常具有多种生物活性<sup>[55-57]</sup>。植物精油可以抑制大多数致病微生物的生长繁殖,丁香精油对铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等都有抑制作用<sup>[58]</sup>。艾蒿精油对革兰氏阳性菌的抑制作用比对革兰氏阴性菌强<sup>[59]</sup>。

植物精油可通过破坏细菌细胞膜进而影响其能量代谢。CUI等<sup>[44]</sup>从扫描电镜图像观察到菊花精油处理后大肠杆菌和金黄色葡萄球菌细胞膜受损,并通过 $\beta$ -半乳糖苷酶活性的变化反映菊花精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌细胞膜通透性的破坏作用。聚丙烯酰胺凝胶电泳证实了菊花精油破坏受试菌的细胞膜后导致了细胞蛋白质的泄漏,并通过氧化呼吸代谢测定发现菊花精油可能影响大肠杆菌的戊糖磷酸途径,并降低6-磷酸葡萄糖脱氢酶的活性。

## 2.5 生物碱

生物碱是一类化学结构类型复杂多样的次生代谢产物<sup>[60]</sup>。目前,已有10000多种生物碱被分离出来,而且都具有良好的抑菌作用。生物碱对热稳定,苦豆子生物碱浸提物对供试的细菌和霉菌都可以具有良好的抑制作用,浸提物在高温条件下仍然具有抑菌活性,并且其抑菌效果与浸提时间呈正相关,抑菌效果持续性好<sup>[61]</sup>。辣椒生物碱<sup>[62]</sup>对细菌及真菌都有抑菌活性。

生物碱主要是通过作用于细胞壁和细胞膜,破坏其结构从而达到抑菌效果。周琦等<sup>[63]</sup>通过扫描电子显微镜观察研究了魔芋飞粉生物碱对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌作用机理,扫描电子显微镜结果表明经过魔芋飞粉生物碱处理后的受试菌形态发生了明显的改变,细胞膜表面出现褶皱、凹陷,导致细胞内大量内容物流失,造成细胞之间发生聚集、黏连,进而发生细胞代谢紊乱或死亡。

## 2.6 萜类化合物

萜类化合物是构成某些植物香精、树脂、色素等的主要成分,具有抗炎、抗肿瘤、抗人类免疫缺陷病毒(human immune deficiency virus, HIV)和降血脂等多种生物活性<sup>[64-65]</sup>。苔藓植物中含有丰富的萜类化合物,尤其是地蒿,这些萜类化合物可以抑制细菌的生长繁殖,使苔藓植物免受细菌的侵袭<sup>[66]</sup>。炒王不留行总三萜提取物具有较强的广谱抑菌活性<sup>[40]</sup>,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌抑制作用尤为突出。胡椒油中的萜类化合物能抑制单核细胞增生李斯特氏菌生长<sup>[67]</sup>,使单核细胞增生李斯特氏菌细胞膜通透性发生变化,细菌内容物大量流失,菌体相互黏连、衰亡,可应用于冷鲜肉的贮藏与保鲜。

## 3 植物源抑菌剂的应用

食品在储藏、加工过程中容易附着或滋生微生物,从而造成食品污染。植物源抑菌剂具有广谱抑菌活性,又具有安全、高效、纯天然的优点,在食品加工、保藏领域中得到广泛应用。植物源抑菌剂能够提高包装膜的有效性,改善包装性能,有效防止食品污染,延长保质期。ESPOSITO等<sup>[68]</sup>用植物提取物制成的生物薄膜抑菌效果显著。RIAHI等<sup>[69]</sup>研制的葡萄籽-明胶薄膜对大肠杆菌和单细胞增生李斯特氏菌表现出一定的抑菌活性,几乎能够完全阻挡紫外线投射。植物源抑菌剂也可以作为防腐剂,抑制微生物生长,延长食品保质期。SALEH等<sup>[70]</sup>将橄榄叶提取物作为天然抑菌防腐剂,在冷藏条件下禽肉的保质期延长了15 d。另外,植物源抑菌剂也可以通过熏蒸、喷淋、复合涂膜等方式对果蔬进行保鲜处理<sup>[71]</sup>。

## 4 结束语

我国植物种质资源丰富,相较于其他化学防腐剂而言,植物源抑菌剂具有安全环保的优势,植物源抑菌剂应用于抑菌防腐已成为研究热点,但仍然存在一些有待深入研究的问题,同时也是今后研究的重点方向:(1)提取工艺的优化问题、提取率低等仍然是瓶颈问题,要根据待提取物质自身特性进行选择,以免在提取过程中由于条件不适造成提取物活性成分失活或者得率下降;(2)大部分植物源抑菌剂的研究还停留在粗提阶段,具体发挥抑菌作用的主要成分尚不明确;(3)有关植物提取物抑菌机制的研究仍处于初级阶段,其中大部分是基于细胞壁组成的变化和细胞形态的变化,即通过电镜观察细胞形态、膜电位变化、抗氧化酶活性等指标来验证细胞膜的变化,对抑菌基因表达的影响因素尚未明确。植物源抑菌剂具有较高的应用价值,因此,随着研究不断深入,植物源抑菌剂将会逐步取代化学合成保鲜剂,在抑菌防腐尤其是食品保鲜、包装等方面展现出更广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] NABAVI SM, MARCHESE A, IZADI M, *et al.* Plants belonging to the genus *Thymus* as antibacterial agents: From farm to pharmacy [J]. *Food Chem*, 2015, 173: 339-347.
- [2] SHEN YW, SUN ZL, SHI PY, *et al.* Anticancer effect of petroleum ether extract from *Bidens pilosa* L and its constituent's analysis by GC-MS [J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 217: 126-133.
- [3] BHATIA A, SINGH B, ARORA R, *et al.* *In vitro* evaluation of the alpha-glucosidase inhibitory potential of methanolic extracts of traditionally used antidiabetic plants [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2019, 19(1): 74.
- [4] CEFALI LC, ATAIDE JA, SOUSA IMO, *et al.* *In vitro* solar protection factor, antioxidant activity, and stability of a topical formulation containing Benitaka grape (*Vitis vinifera* L.) peel extract [J]. *Nat Prod Res*,

- 2020, 34(18): 2677–2682.
- [5] FACCIO G. Plant complexity and cosmetic innovation [J]. *iScience*, 2020, 23(8): 101358.
- [6] 赵露露. 几种植物提取物的防腐功效及其在化妆品中的应用研究[D]. 湖北: 湖北大学, 2017.
- ZHAO LL. The antiseptic effect of several plant extracts and their application in cosmetics [D]. Hubei: Hubei University, 2017.
- [7] 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 TT, FAN YH, XU XY, *et al.* Antibacterial activity of aquatic vegetable extracts and its application in the preservation of chilled duck meat [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(7): 146–153.
- [8] 李应洪, 李忠海, 付湘晋, 等. 樟树叶多酚抑菌活性及在冷藏草鱼肉保鲜中的应用[J]. *食品与机械*, 2018, 34(5): 128–130, 141.
- LI YH, LI ZH, FU XJ, *et al.* Antibacterial activity of camphor tree leaf polyphenols and its application in fresh-keeping grass carp meat [J]. *Food Mach*, 2018, 34(5): 128–130, 141.
- [9] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2017, 38(3): 220–226.
- YU L, CHEN SS, WANG JJ, *et al.* The fresh-keeping effect of tea polyphenol-modified collagen-chitosan composite film on *Epinephelus obliquus* under cold storage [J]. *Food Sci*, 2017, 38(3): 220–226.
- [10] 王当丰, 李婷婷, 国竞文, 等. 茶多酚-溶菌酶复合保鲜剂对白鲢鱼丸保鲜效果[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 224–229.
- WANG DF, LI TT, GUO JW, *et al.* The fresh-keeping effect of tea polyphenol-lysozyme compound antistaling agent on silver carp balls [J]. *Food Sci*, 2017, 38(7): 224–229.
- [11] 马国红, 宋理平, 张延华, 等. 两种复方中草药添加剂对鲤鱼生长性能和肌肉品质的影响[J]. *山东师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 34(4): 456–462.
- MA GH, SONG LP, ZHANG YH, *et al.* Effects of two compound Chinese herbal additives on the growth performance and muscle quality of carp [J]. *J Shandong Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2019, 34(4): 456–462.
- [12] FU YW, WANG B, ZHANG QZ, *et al.* Combined effects of Chinese medicine feed and ginger extract bath on co-infection of *Ichthyophthirius multifiliis* and *Dactylogyrus ctenopharyngodonis* in grass carp [J]. *Parasitol Res*, 2017, 116(7): 2017–2025.
- [13] 尚书凤, 路宏朝, 王琦, 等. 复方中草药超微粉添加剂对草鱼生长和肌肉成分的作用[J]. *饲料工业*, 2019, 40(24): 41–45.
- SHANG SF, LU HC, WANG Q, *et al.* Effects of compound Chinese herbal medicine superfine powder additives on the growth and muscle composition of grass carp [J]. *Feed Ind*, 2019, 40(24): 41–45.
- [14] ZOU Y, XIANG Q, WANG J, *et al.* Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model [J]. *Biomed Res Int*, 2016, (2016): 1–11.
- [15] 张倩, 李书启. 不同提取方法对枸杞多糖提取率及抗氧化活性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(3): 169–173.
- ZHANG Q, LI SQ. The effect of different extraction methods on the extraction rate and antioxidant activity of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2019, 47(3): 169–173.
- [16] ELEZ GI, KRUK V, MARTIC A, *et al.* Evaluation of polyphenolic profile and antioxidant activity of *Pistacia lentiscus* L. leaves and fruit extract obtained by optimized microwave-assisted extraction [J]. *Foods*, 2020, 9(11): 1556.
- [17] 杜萌, 李晓花. 秦艽多糖的提取工艺研究进展[J]. *中外企业家*, 2019, (11): 133.
- DU M, LI XH. Research progress on the extraction process of *Gentiana macrophylla* polysaccharide [J]. *Chin Foreign Ent*, 2019, (11): 133.
- [18] MICHALAK I, DMYTRYK A, SMIESZEK A, *et al.* Chemical characterization of *Enteromorpha prolifera* extract obtained by enzyme-assisted extraction and its influence on the metabolic activity of Caco-2 [J]. *Int J Mol Sci*, 2017, 18(3): 479.
- [19] 许先猛, 张增帅, 郭俊花, 等. 苹果多酚提取和纯化关键技术研究进展[J]. *食品与机械*, 2021, 37(2): 211–214, 228.
- XU XM, ZHANG ZS, GUO JH, *et al.* Research progress on key technologies of extraction and purification of apple polyphenols [J]. *Food Mach*, 2021, 37(2): 211–214, 228.
- [20] 彭茹洁, 汪佳丹, 韩伟. 植物多酚提取、分离纯化及其分析方法的研究进展[J]. *机电信息*, 2016, (14): 21–29.
- PENG RJ, WANG JD, HAN W. Research progress on extraction, separation and purification and analysis methods of plant polyphenols [J]. *Electromech Inform*, 2016, (14): 21–29.
- [21] 徐树来, 金慧荣, 任红波, 等. 酶解-超声组合提取蒲公英中绿原酸的工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(8): 160–166.
- XU SL, JIN HR, REN HB, *et al.* Process optimization of extraction of chlorogenic acid from dandelion by combination of enzymatic hydrolysis and ultrasound [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(8): 160–166.
- [22] 倪悦, 徐达, 孙强, 等. 蒲公英绿原酸的酶法提取及其在卷烟中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(17): 107–110, 226.
- NI Y, XU D, SUN Q, *et al.* Enzymatic extraction of chlorogenic acid from dandelion and its application in cigarettes [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2016, 44(17): 107–110, 226.
- [23] 李立顺, 时维静, 方婷, 等. 多种提取方法比较野生与栽培蒲公英绿原酸含量[J]. *中兽医医药杂志*, 2007, (6): 24–26.
- LI LS, SHI WJ, FANG T, *et al.* Comparison of chlorogenic acid content between wild and cultivated dandelion by various extraction methods [J]. *J Trad Chin Vet Med*, 2007, (6): 24–26.
- [24] 赵丽, 顾燕雯, 赵忆菲, 等. 3 种叶菜多酚提取条件的研究[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2017, 35(5): 89–94.
- ZHAO L, GU YW, ZHAO YF, *et al.* Study on the extraction conditions of three leaf vegetable polyphenols [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ (Agric Sci Ed)*, 2017, 35(5): 89–94.
- [25] 齐岩, 孙金月, 程安玮, 等. 葡萄皮多酚的提取、纯化及组成研究[J]. *中国食物与营养*, 2016, 22(8): 58–62.
- QI Y, SUN JY, CHENG AW, *et al.* Study on extraction, purification and composition of grape skin polyphenols [J]. *Food Nutr China*, 2016, 22(8): 58–62.
- [26] 张兆英, 赵峥桦, 陈新, 等. 不同方法提取金丝小枣多酚比较研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(12): 153–159.
- ZHANG ZY, ZHAO ZH, CHEN X, *et al.* Comparative study on the extraction of polyphenols from Jinsixiaozao with different methods [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(12): 153–159.
- [27] WANG L, BOUSSETTA N, LEBOVKA N, *et al.* Ultrasound assisted purification of polyphenols of apple skins by adsorption/desorption procedure [J]. *Ultrason Sonochem*, 2019, 55: 18–24.

- [28] 李美凤, 袁明昊, 邹仕赞, 等. 松露多糖的提取、分离纯化和结构鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(16): 5.  
LI MF, YUAN MH, ZOU SY, *et al.* Extraction, isolation and purification and structure identification of truffle polysaccharides [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(16): 5.
- [29] ZHOU LS, HUANG LL, YUE H, *et al.* Structure analysis of a heteropolysaccharide from fruits of *Lycium barbarum* L. and anti-angiogenic activity of its sulfated derivative [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 108(2018): 47–55.
- [30] 王博, 程国才, 王财林, 等. 膜技术纯化枸杞多糖的试验研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(3): 420–424.  
WANG B, CHENG GC, WANG CL, *et al.* Experimental study on purification of *Lycium barbarum* polysaccharides by membrane technology [J]. J Shandong Agric Univ (Nat Sci Ed), 2019, 50(3): 420–424.
- [31] 王慧芳, 赵飞燕, 刘勇军, 等. 文冠果叶总黄酮微波辅助酶提取工艺的优化及其抗氧化、抑菌活性[J]. 中成药, 2020, 42(2): 290–296.  
WANG HF, ZHAO FY, LIU YJ, *et al.* Optimization of microwave-assisted enzyme extraction process for total flavonoids from the leaves of Wenguan fruit and its antioxidant and antibacterial activities [J]. Chin Patent Med, 2020, 42(2): 290–296.
- [32] 陈仕学, 万鹏, 杨双双, 等. 八角莲中黄酮类化合物的分离纯化工艺研究[J]. 云南化工, 2015, 42(3): 1–5.  
CHEN SX, WAN P, YANG SS, *et al.* Study on the separation and purification process of flavonoids in octagonal lotus [J]. Yunnan Chem Ind, 2015, 42(3): 1–5.
- [33] 秦楠, 刘浩浩, 丁琨, 等. 连翘叶精油提取、GC-MS 分析及其活性研究[J]. 北方园艺, 2019, (23): 113–121.  
QIN N, LIU HH, DING K, *et al.* Essential oil extraction, GC-MS analysis and activity study of *Forsythia suspensa* leaves [J]. Northern Horticult, 2019, (23): 113–121.
- [34] 贺红宇, 朱永清, 李敏, 等. 分子蒸馏技术纯化柠檬精油工艺研究[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(6): 186–190.  
HE HY, ZHU YQ, LI M, *et al.* Research on the purification of lemon essential oil by molecular distillation technology [J]. Storage Process, 2019, 19(6): 186–190.
- [35] 吕梦迪, 郭斌, 韩冠英, 等. 响应面法优化碱蓬根总生物碱的提取工艺及其抑菌活性[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 121–125, 132.  
LV MD, GUO B, HAN GY, *et al.* Optimization of the extraction process and antibacterial activity of total alkaloids from *Suaeda salsa* root by response surface methodology [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(12): 121–125, 132.
- [36] MA X, LIN H, ZHANG J, *et al.* Extraction and identification of matrine-type alkaloids from *Sophora moorcroftiana* using double-templated molecularly imprinted polymers with HPLC-MS/MS [J]. J Sep Sci, 2018, 41(7): 1691–1703.
- [37] 段丽萍, 孙炜炜, 苗雨坤, 等. 艾叶总三萜的提取工艺优化及其抑菌活性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 88–95.  
DUAN LP, SUN WW, MIAO LK, *et al.* Optimization of extraction process and antibacterial activity of total triterpenes from mugwort leaves [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(5): 88–95.
- [38] 檀琪, 阮文辉, 杨官娥, 等. 大孔吸附树脂纯化桦褐孔菌三萜类化合物工艺优化[J]. 食品工业, 2021, 42(3): 142–146.  
TAN Q, RUAN WH, YANG GE, *et al.* Purification process optimization of *Inonotus obliquus* triterpenoids by macroporous adsorption resin [J]. Food Ind, 2021, 42(3): 142–146.
- [39] 项振锋, 许清遥, 程宏, 等. 微波辐射预处理提取细风轮菜三萜皂苷工艺及生物活性研究[J]. 丽水学院学报, 2020, 42(2): 24–32.  
XIANG ZF, XU QY, CHENG H, *et al.* Study on the technology and biological activity of extracting triterpene saponins from *Campanulaceae* by microwave radiation pretreatment [J]. J Lishui Univ, 2020, 42(2): 24–32.
- [40] 景炳年, 魏磊, 王学方, 等. 超声波提取炒王不留行总三萜的工艺优化及其抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 157–163.  
JING BN, WEI L, WANG XF, *et al.* Technology optimization and antibacterial activity of total triterpenoids extracted from Fried Wang Buliu by ultrasonic wave [J]. Food Ind Sci Technol, 2018, 39(24): 157–163.
- [41] 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 YM, LIN BB, *et al.* Research on antibacterial activity and mechanism of polyphenols of Qinling green tea [J]. J Sichuan Agric Univ, 2019, 37(6): 821–827.
- [42] ZHANG LL, ZHANG LF, XU JG. Chemical composition, antibacterial activity and action mechanism of different extracts from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.) [J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 8876.
- [43] HU W, LI CZ, DAI JM, *et al.* Antibacterial activity and mechanism of *Litsea cubeba* essential oil against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) [J]. Ind Crop Prod, 2019, 130(2019): 34–41.
- [44] CUI HY, BAI M, SUN YH, *et al.* Antibacterial activity and mechanism of Chuzhou chrysanthemum essential oil [J]. J Funct Foods, 2018, 48(2018): 159–166.
- [45] CHEN X, TAO L, RU Y, *et al.* Antibacterial mechanism of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg's polysaccharides by metabolomics based on HPLC/MS [J]. Int J Bio Macro, 2019, 140(2019): 206–215.
- [46] LIU JY, SANDAHL M, SJOBERG PJR, *et al.* Pressurised hot water extraction in continuous flow mode for thermolabile compounds: Extraction of polyphenols in red onions [J]. Anal Bioanal Chem, 2014, 406(2): 441–445.
- [47] 张兆英, 王君, 宋立立, 等. 金丝小枣多酚的提取及抗氧化性和抑菌活性研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 42–47.  
ZHANG ZY, WANG J, SONG LL, *et al.* Extraction, antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from *Jinsixiaozao* [J]. China Condiment, 2020, 45(3): 42–47.
- [48] 李依霖, 姜明, 谭明琪. 食用菌多糖的药用价值研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(5): 24–26, 39.  
LI YL, JIANG M, TAN MQ. Research progress on the medicinal value of edible fungus polysaccharides [J]. Ningxia Agric Forest Sci Technol, 2020, 61(5): 24–26, 39.
- [49] 付佳乐, 耿直. 灰树花多糖体外抑菌及抗氧化活性研究[J]. 中国现代应用药学, 2020, 37(8): 945–948.  
FU JL, GENG Z. *In vitro* antibacterial and antioxidant activities of *Grifola frondosa* polysaccharide [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2020, 37(8): 945–948.
- [50] HOVAKIM Z, ERIK A, ADRIAN O, *et al.* Flavonoids: Promising natural compounds against viral infections [J]. Arch Virol, 2017, 162(9): 2539–2551.

- [51] 武彦辉, 杨静, 原倩倩, 等. 树莓干果粗黄酮纯化和活性研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 676-682.  
WU YH, YANG J, YUAN QQ, *et al.* Purification and activity of crude flavonoids from dried raspberry fruits [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci Ed), 2016, 38(4): 676-682.
- [52] HADADI Z, NEMATZADEH GA, GHAHARI S. A study on the antioxidant and antimicrobial activities in the chloroformic and methanolic extracts of 6 important medicinal plants collected from north of Iran [J]. BMC Chem, 2020, 14(1): 33.
- [53] 雒江蕊, 崔琳琳, 李敏, 等. 地胆草总黄酮的提取、纯化及抑菌机理研究[J]. 食品工业科技, 2020, (18): 1-10.  
LUO JH, CUI LL, LI M, *et al.* Study on the extraction, purification and antibacterial mechanism of total flavonoids from *Radix chinensis* [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, (18): 1-10.
- [54] 陈国妮, 孙飞龙, 闫亚茹, 等. 马齿苋黄酮类化合物抑菌机理的研究[J]. 化学与生物工程, 2015, 32(10): 34-37.  
CHEN GN, SUN FL, YAN YR, *et al.* Study on the antibacterial mechanism of *Portulaca* flavonoids [J]. Chem Bioeng, 2015, 32(10): 34-37.
- [55] KHORSHIDIAN N, YOUSEFI M, KHANNIRI E, *et al.* Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese [J]. Inno Food Sci Emerg, 2018, 45: 62-72.
- [56] LIDIANE DDN, DE MAAB, DA CKS, *et al.* Bioactive natural compounds and antioxidant activity of essential oils from spice plants: New findings and potential applications [J]. Biomolecules, 2020, 10(7): 988.
- [57] 李文茹, 施庆珊, 谢小保, 等. 植物精油化学成分及其抗菌活性的研究进展[J]. 微生物学通报, 2016, 43(6): 1339-1344.  
LI WR, SHI QS, XIE XB, *et al.* Research progress on the chemical constituents and antibacterial activities of plant essential oils [J]. Microbiol Bull, 2016, 43(6): 1339-1344.
- [58] 曲颖, 高原, 邹奇缘, 等. 三种药用植物精油的提取及抑菌活性研究[J]. 化学工程师, 2020, (12): 71-73.  
QU Y, GAO Y, ZOU QY, *et al.* Extraction and antibacterial activity of essential oils from three medicinal plants [J]. Chem Eng, 2020, (12): 71-73.
- [59] 段伟丽, 刘艳秋, 包怡红. 艾蒿精油的抑菌活性和稳定性[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(12): 1332-1337.  
DUAN WL, LIU YQ, BAO YH. Antibacterial activity and stability of mugwort essential oil [J]. J Food Sci Biotechnol, 2015, 34(12): 1332-1337.
- [60] 张育浩, 张得钧, 张本印. 具有降血糖活性的生物碱及其作用机制[J]. 中草药, 2018, 49(15): 3692-3702.  
ZHANG YH, ZHANG DJ, ZHANG BY. Alkaloids with hypoglycemic activity and their mechanism of action [J]. Chin Herb Med, 2018, 49(15): 3692-3702.
- [61] 余永婷, 冯作山. 苦豆子生物碱浸提物的抑菌性研究[J]. 农产品加工, 2018, (10): 22-24.  
YU YT, FENG ZS. Study on the antibacterial activity of the alkaloid extract of *Sophora vulgaris* [J]. Agric Prod Process, 2018, (10): 22-24.
- [62] 胡侍侠, 初侨, 白若熙, 等. 辣椒生物碱的活性与利用度改进技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 412-419.  
HU FX, CHU Q, BAI RX, *et al.* Research progress in improving the activity and utilization of capsaicin alkaloids [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(15): 412-419.
- [63] 周琦, 张宝善, 韦露莎, 等. 魔芋飞粉生物碱的抑菌活性及抑菌机理研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 121-128.  
ZHOU Q, ZHANG BS, WEI LS, *et al.* Antibacterial activity and antibacterial mechanism of alkaloids from konjac fly flour [J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 2019, 47(3): 121-128.
- [64] CÖR D, KNEZ Ž, KNEZ HM. Antitumor, antimicrobial, antioxidant and antiacetylcholinesterase effect of *Ganoderma lucidum* terpenoids and polysaccharides: A review [J]. Molecules, 2018, 23(3): 649.
- [65] 姚秋娟, 冯璐, 王玉启, 等. 圆齿野鸦椿果皮总三萜的提取工艺及其抗肿瘤活性[J]. 中国现代中药, 2020, 22(10): 1689-1695.  
YAO QJ, FENG H, WANG YQ, *et al.* Extraction technology and anti-tumor activity of total triterpenoids from the peel of *C. serrata* [J]. China Mod Chin Med, 2020, 22(10): 1689-1695.
- [66] YOSHINORI A, AGNIESZKA L. Chemical constituents of bryophytes: Structures and biological activity [J]. J Nat Prod, 2018, 81(3): 641-660.
- [67] 李兆亭, 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 ZT, CHEN WX, HAN YJ, *et al.* Antibacterial mechanism of terpenoids in pepper oil against *Listeria monocytogenes* and their application in chilled meat [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(19): 89-93.
- [68] ESPOSITO T, SILVA NHCS, ALMEIDA A, *et al.* Valorisation of chestnut spiny burs and roasted hazelnut skins extracts as bioactive additives for packaging films [J]. Ind Crop Prod, 2020, 151: 112491.
- [69] RIAHI Z, PRIYADARSHI R, RHIM JW, *et al.* Gelatin-based functional films integrated with grapefruit seed extract and TiO<sub>2</sub> for active food packaging applications [J]. Food Hydrocolloid, 2021, 112: 106314.
- [70] SALEH E, MORSHDY AE, EL-MANAKHLI E, *et al.* Effects of olive leaf extracts as natural preservative on retailed poultry meat quality [J]. Foods, 2020, 9(8): 1017.
- [71] 何丽芳, 阳美, 刘最, 等. 芒果皮提取液与羧甲基壳聚糖复合涂膜对葡萄保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 50-54.  
HE LF, YANG M, LIU Z, *et al.* Effects of composite coating of mango peel extract and carboxymethyl chitosan on the preservation of grapes [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(10): 50-54.

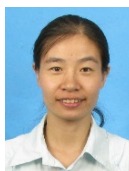
(责任编辑: 张晓寒 郑丽)

## 作者简介



陈志迪, 硕士研究生, 主要研究方向为食品微生物。

E-mail: zhidic416@126.com



高秀芝, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品微生物与生物技术。

E-mail: gxz@bua.edu.cn