

彭娜, 赵鹏, 柴新义. 食(药)用真菌的抑菌效果及其在食品防腐和保鲜中应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(20): 421-429. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090170

PENG Na, ZHAO Peng, CHAI Xinyi. Antibacterial Effect of Edible (Medicinal) Fungi and Its Research Progress in Food Anticorrosion and Preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(20): 421-429. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090170

· 专题综述 ·

食(药)用真菌的抑菌效果及其在食品防腐和保鲜中应用的研究进展

彭娜, 赵鹏, 柴新义*

(滁州学院生物与食品工程学院, 安徽滁州 239000)

摘要:利用微生物源进行生物技术的食品防腐和保鲜研究逐渐成为热门, 其中食(药)用真菌产生的抑菌效果凸显了其在食品防腐和保鲜等方面蕴含的应用潜力。与物理和化学的方法相比, 利用食(药)用真菌抑菌活性物质的生物防腐和保鲜方法具有使用安全、成本低、效果理想、节能环保等特点。本文论述了近年来食(药)用真菌对食品中常见致腐微生物的抑菌效果及在食品防腐和保鲜应用中的研究进展, 主要包括食(药)用真菌发酵液或菌体(提取物)分别对食品中常见的细菌和真菌种类的抑菌效果, 以及其在食品防腐和保鲜中的应用实例、存在的问题和发展前景。食(药)用真菌产生的抑菌活性物质具有较广的抑菌谱和一定的选择性, 其应用于食品防腐与保鲜, 既生态环保, 又绿色安全, 符合社会经济发展需求。

关键词:食(药)用真菌, 抑菌效果, 食品防腐, 食品保鲜

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)20-0421-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090170



本文网刊:

Antibacterial Effect of Edible (Medicinal) Fungi and Its Research Progress in Food Anticorrosion and Preservation

PENG Na, ZHAO Peng, CHAI Xinyi*

(School of Biology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

Abstract: The research on anticorrosion and preservation of biotechnology using microbial sources has gradually become a hot topic. The antibacterial effect of edible (medicinal) fungi highlights its application potential in food anticorrosion and preservation. Compared with the physical and chemical methods, the biological preservative and preservation method using fungi active substances for food has the characteristics of safety, low cost, ideal effect, energy saving and environmental protection. In this paper, the bacteriostatic effects of edible (medicinal) fungi on common rotting microorganisms in food and the research progress in food preservative and preservation applications in recent years are reviewed, including the bacteriostatic effects of edible (medicinal) fungi fermentation broth or mycelium (extract) on bacteria and fungi in food respectively, and its application examples, existing problems and development prospects in food preservation. The antibacterial active substances produced by edible (medicinal) fungi have broad antibacterial spectrum and certain selectivity, which are applied to food preservation and anticorrosion. It not only protects the ecological environment, but also ensures the green security and meets the needs of social and economic development.

Key words: edible (medicine) fungi; antibacterial effect; food anticorrosion; food preservation

收稿日期: 2021-09-14

基金项目: 安徽省科技厅科技成果转化乡村振兴科技项目(202107d06020018); 安徽省教育厅质量工程项目(2020jyxm1322, 2020xsxxkc314); 国家级大学生创新创业训练计划项目(202010377033)。

作者简介: 彭娜(1999-), 女, 本科, 研究方向: 真菌生理学, E-mail: 486588757@qq.com。

* 通信作者: 柴新义(1978-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 菌物资源与生物技术, E-mail: xinyianhui@163.com。

食品在储藏和运输时,极易发生腐败变质或难以维持其新鲜度,因而对食品防腐与保鲜的研究,具有重要意义^[1-4]。防腐和保鲜这两个概念既有区别,又有联系^[5]。防腐主要是围绕致腐微生物的抑制与杀灭,为食品的储存营造良好的微生物环境^[6],从而达到延缓食物腐败的目的,用以防腐的食品多为自身不具生理呼吸作用的食物,如面包、罐头和火腿肠等。而食品的保鲜则是致力于维持食品的新鲜程度,保鲜多用于具有一定生理呼吸作用的食物,如新鲜水果、蔬菜和蘑菇等,保鲜需要考虑的因素较多,如温度、光照、氧气浓度等^[7-10]。

目前,食品生产中主要利用天然防腐剂或人工防腐剂进行食品的防腐,而食品的保鲜则可以采用物理^[11-12]、化学^[13-14]或生物手段^[15-17],其中物理和化学保鲜技术具有较长的应用历史,而生物保鲜技术是伴随着科学技术发展而兴起的新型保鲜技术。对于利用物理和化学手段以达到保鲜目的的研究报道较多^[18-21],而利用动物源^[22]、植物源^[23]以及微生物源^[24]进行生物技术保鲜的研究也逐渐成为热门,其中,食(药)用真菌在营养、抗氧化和抑菌等方面凸显了其绿色、生态、环保等宝贵价值及其在食品防腐和保鲜等方面蕴含的应用潜力。物理保鲜技术虽然安全、简便,且能够最大限度的保持食品色泽和口感,但容易对食品造成机械损伤致使营养流失及引起微生物学污染^[25],对于某些物理技术手段还存在耗资耗能较大等方面的问题^[26];化学保鲜技术虽然投资

小^[27],但化学试剂可能存在潜在的安全风险,对人体可能存在毒害作用^[25];相比于前两者,生物保鲜技术则凸显出其优越性,该技术利用动植物、微生物等来源的材料以达到保鲜的目的^[28],确保了绿色安全和生态环保,符合时代发展的趋势。然而,目前在利用食(药)用真菌的发酵液(提取物)或其菌体提取物(液)中的活性物质进行食品防腐或保鲜应用中的研究至今未见相关的文献综述报道。鉴于此,本文概括了近年来食(药)用真菌的抑菌效果研究及其在食品防腐和保鲜中的应用进展,以期利用食(药)用真菌在食品防腐和保鲜中的应用研究提供有益的参考。

1 食(药)用真菌抑菌效果的研究现状

目前,国内外围绕食(药)用真菌抑菌效果的研究主要包括两个方面,一是食(药)用真菌发酵液(提取物)对细菌或真菌的抑制效果;二是食(药)用真菌菌体提取物对细菌或真菌的抑制效果。

1.1 食(药)用真菌发酵液(提取物)对细菌和真菌的抑菌作用研究

研究发现,多种具生物活性的物质存在于真菌发酵液中,这些活性物质在保健和医药等领域应用广泛^[29],食(药)用真菌发酵液中的功能性物质有多糖、萜类化合物、蛋白质和核酸等^[30],对食品中常见的细菌和真菌表现出了良好的抑菌效果^[31-38](表1)。董蕾等采用纸片法来探究杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)和蛹虫草(*Cordyceps militaris*)的发酵液对食品中常见

表1 不同食(药)用真菌的发酵液(提取物)对细菌和真菌的抑菌效果

Table 1 Bacteriostatic effects of fermentation liquid (extract) of different edible (medicinal) fungi on bacteria and fungi

食(药)用真菌种类	抑菌方法	试验指示菌种类	抑菌效果评价	参考文献
杏鲍菇(<i>Pleurotus eryngii</i>)、蛹虫草(<i>Cordyceps militaris</i>)	纸片法	大肠杆菌(<i>Escherichia coli</i>)、金黄色葡萄球菌(<i>Staphylococcus aureus</i>)、肠炎沙门氏菌(<i>Salmonella enteritidis</i>)	2种食用菌均对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有抑制效果;蛹虫草对肠炎沙门氏菌几乎没有抑制效果	[31]
灵芝(<i>Ganoderma</i> sp.)、猴头菇(<i>Hericium erinaceus</i>)	杯碟法	大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>Bacillus subtilis</i>)	对3种细菌均有抑制作用,且其中猴头的抑菌效果优于灵芝	[32]
茯苓(<i>Wolfiporia cocos</i>)	管碟法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、李斯特杆菌(<i>Listeria monocytogenes</i>)、白色念珠菌(<i>Candida albicans</i>)等6种菌	对金黄色葡萄球菌和白色念珠菌具有较好的抑制作用,但对其余供试细菌的抑菌效果不明显	[33]
香菇(<i>Lentinula edodes</i>)、鸡腿菇(<i>Coprinus comatus</i>)、金针菇(<i>Flammulina velutipes</i>)等7种	管碟法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、肺炎链球菌(<i>Streptococcus pneumoniae</i>)	7种食用菌对金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径和相对抑菌率均较高,但对肺炎链球菌的抑菌效果较差	[34]
香菇(<i>L. edodes</i>)、黑木耳(<i>Auricularia auricula</i>)、血耳(<i>Tremella sanguinea</i>)等5种	分光光度法	蜡样芽孢杆菌(<i>Bacillus cereus</i>)	对蜡样芽孢杆菌的抑制效果有明显差异	[35]
凤尾菇(<i>Pleurotus sajorajii</i>)	纸片法;菌丝生长速率法;载玻片孢子萌发法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)等6种细菌;黑曲霉(<i>Aspergillus niger</i>)、圆规青霉(<i>Penicillium cyclopium</i>)、绿色木霉(<i>Trichoderma viride</i>)等5种真菌	乙酸乙酯和正丁醇萃取物对细菌具较高抑菌活性。两种萃取物对5种供试真菌菌丝生长和孢子萌发有明显的抑制作用,且乙酸乙酯相抑菌菌丝生长和孢子萌发强于正丁醇相	[36]
虎奶菇(<i>Pleurotus tuberregium</i>)	打孔法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)等6种细菌;白色念珠菌(<i>C. albicans</i>)、啤酒酵母(<i>S. cerevisiae</i>)、黑曲霉(<i>A. niger</i>)等4种真菌	乙酸乙酯萃取物对几种细菌指示菌均有较好抑制作用。对酵母菌的抑制作用仅次于钠他霉素;对霉菌的抑制效果较差	[37]
杨树菇(<i>Agrocybe aegerita</i>)	贴块法	大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、痢疾志贺氏菌(<i>Shigella dysenteriae</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)等9种细菌;啤酒酵母(<i>S. cerevisiae</i>)、热带假丝酵母(<i>C. tropicalis</i>)、膜醭毕赤酵母(<i>P. membranaefaciens</i>)等8种真菌	发酵物抑菌谱广,可以有效抑制细菌、酵母和部分霉菌	[38]

细菌的抑制效果,结果表明杏鲍菇对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)和肠炎沙门氏菌(*Salmonella enteritidis*)等均具有抑制效果,其中对金黄色葡萄球菌的抑菌效果最佳,抑菌圈达(2.174±0.117) cm,且杏鲍菇(*P. eryngii*)发酵液的抑菌效果显著高于蛹虫草(*C. militaris*)发酵液^[31]。罗青等^[32]采用杯碟法研究表明,灵芝(*Ganoderma* spp.)和猴头菇(*Hericium erinaceus*)发酵液对于枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、金黄色葡萄球菌(*S. aureus*)和大肠杆菌(*E. coli*)均有抑菌效果,而且,两种食药真菌发酵液对于金黄色葡萄球菌具有更为显著的抑制效果,抑菌圈直径分别达 11.126 mm 和 10.533 mm,抑菌率高达 80% 左右。吴胜莲等^[33]利用茯苓(*Wolfiporia cocos*)发酵液对 6 种细菌进行试验,结果表明茯苓发酵液对金黄色葡萄球菌和白色念珠菌(*Candida albicans*)具有较好的抑制作用,但对其余供试细菌的抑菌效果不明显。窦会娟等^[34]研究了香菇(*Lentinula edodes*)等 7 种常见的食药大型真菌的发酵液对金黄色葡萄球菌等 3 种细菌的抑菌作用,结果发现不同的食用菌种类对不同细菌的抑菌效果存在差异,其中对金黄色葡萄球菌的抑菌率均较高,但对肺炎链球菌的抑菌效果较差。潘昌等^[35]研究发现香菇(*L. edodes*)、黑木耳(*Auricularia auricula-juda*)、血耳(*Tremella sanguinea*)等 5 种不同的食用菌的发酵液对蜡芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)的抑菌作用存在明显差异。曾志恒等^[36]利用凤尾菇(*Pleurotus sajorcaju*)发酵液的不同有机溶剂的萃取物对 6 种细菌和 5 种丝状真菌进行了抑菌试验,结果表明发酵液的乙酸乙酯和正丁醇萃取物对 6 种细菌均具有较高抑菌活性,对 5 种真菌菌丝的生长和孢子萌发亦有明显的抑制作用。然而,林陈强等^[37]在研究虎奶菇(*Pleurotus tuberregium*)发酵液的乙酸乙酯萃取物对丝状真菌的抑菌效果时发现其抑制效果较差,但其对金黄色葡萄球菌(*S. aureus*)等供试的 6 种细菌均表现了较好的抑菌作用。同样,曹惠明等在研究杨树菇(*Agrocybe aegerita*)发酵液对 9 种供试的细菌和 3 种酵母菌表现了良好抑菌效果,而对供试的 5 种霉菌中的部分种类产生抑菌作用,且效果不理想。上述研究仅是对食药真菌的发酵液(提取物)的抑菌效果进行了研究,但尚没有对所起到抑菌作用的活性物质成分和结构等方面进行深入探索。

综上所述,不同种类的食(药)用真菌发酵液对细菌的抑菌效果存在一定差异,这种抑菌效果的差异可能来自食用菌品种差异、发酵液中抑菌作用的物质成分及含量不同、指示菌细胞壁成分及构造差异、作用机制不同等。另外,同一种食用菌对不同指示菌的抑菌作用差别较大,可能是不同细菌的致病机制不同而引起的,也可能是由于不同细菌的耐药机制不同而引起的。迄今,食药大型真菌的发酵方法比较成熟,其发酵液中产生的抑菌活性物质也表现了较广的

抑菌谱,并且具有一定的选择性,但其抑菌机理尚有待进一步研究。另外,由于食用菌发酵液是由多糖、蛋白质、核酸、酶、生物碱、萜类化合物、甾醇及维生素等多种化合物组成的混合物,目前,对于食用菌发酵液抑菌活性的评价基本以发酵液混合物为主,因此,对食用菌发酵液的主要抑菌活性成分的分离、纯化、鉴定、抑菌效果评价等方面的研究应是今后关注的重点。

1.2 食(药)用真菌菌体提取物对细菌和真菌的抑菌作用研究

食(药)用真菌子实体或其发酵菌丝体的提取物也具有多种功效,其中抑菌效果方面的研究是较为深入的领域之一,其中发挥抑菌作用的有效生物活性成分有挥发油、有机酸、萜类化合物和多糖等物质^[39]。食(药)用真菌提取物对食品中常见的细菌和真菌均有一定的抑菌效果^[40-50](表 2)。段小明等^[40]概述了竹荪(*Dictyophora*)水提取物和乙酸乙酯提取物的抑菌效果,其对细菌和真菌均表现出良好的抑制作用,而且对细菌的抑菌效果普遍好于对真菌的抑制作用。这可能与细菌和真菌的细胞壁的组分和构造不同有关,也可能与不同抑菌活性物质对细菌和真菌的抑菌作用机制存在差异有关。张虎成等^[41]采用 3 种不同的方法对猴头菇(*Hericium erinaceus*)菌丝体中的生物活性物质进行提取,抑菌试验结果表明不同方法的提取物对细菌的抑菌作用存在差异,其中超声提取法得到的提取物对大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)抑制效果最好,其次为乙醇提取法。这可能是因为超声破碎将菌丝细胞壁和细胞内几乎所有的物质释放出来,因此抑菌效果较其他几种提取方法好。可见,抑菌物质大部分存在于细胞内,只有很少量的释放到细胞外,有些抑菌物质能用有机溶剂抽提。李冉等^[42]研究发现木蹄层孔菌(*Fomes fomentarius*)和斑褐孔菌(*Fuscoporia punctata*)的子实体提取物对金黄色葡萄球菌(*S. aureus*)和枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)有较好的抑菌效果。蔡程山^[43]利用超声波提取桑黄(*Phellinus linteus*)菌丝体中的三萜类物质,当三萜类物质浓度为 30 mg/mL 时,其对金黄色葡萄球菌的抑菌能力最强,对大肠杆菌的抑制作用最弱。

食(药)用真菌子实体或发酵菌丝体的提取物对食品中常见的真菌也有较好的抑菌效果。檀东飞等研究发现棘托竹荪(*Dictyophora indusiata*)子实体乙酸乙酯提取物除对细菌有着良好的抑菌作用外,其对黑曲霉(*Aspergillus niger*)、桔青霉(*Penicillium citrinum*)和啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)等真菌有较好的抑菌作用,然而对白色假丝酵母、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌等的抑菌作用却表现的要逊色一些^[44]。这可能通过乙酸乙酯提取得到的生物活性物质与棘托竹荪主要抑菌化学成分一致,然而长裙竹荪

表 2 不同食(药)用真菌菌体提取物对细菌和真菌的抑菌效果

Table 2 Antibacterial effects of different food (medicinal) fungal extracts on bacteria and fungi

食(药)用真菌种类	提取方法	抑菌方法	试验指示菌种类	抑菌效果评价	参考文献
猴头菇(<i>H. erinaceus</i>)	沸水、乙醇、超声波法	琼脂扩散	大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)、金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)	提取物抑菌从大到小为: 超声波法、乙醇法、沸水提取法	[41]
木蹄层孔菌(<i>Fomes fomentarius</i>)、斑褐孔菌(<i>Fuscoporia punctata</i>)	水浴加热浸提法	96孔板微量法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)等4种细菌	两种孔菌对金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌具有良好抑制作用	[42]
桑黄(<i>Phellinus igniarius</i>)	超声波提取	琼脂打孔法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)等4种细菌	在相同的三萜类物质浓度下对4种细菌的抑菌作用的效果不同	[43]
棘托竹荪(<i>Dictyophora echinovolvata</i>)	乙酸乙酯提取物	牛津小杯法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、啤酒酵母(<i>S. cerevisiae</i>)、黑曲霉(<i>A. niger</i>)、桔青霉(<i>P. citrinum</i>)	提取物对青霉、曲霉、啤酒酵母等真菌的抑制效果较好	[44]
金针菇(<i>Flammulina velutipes</i>)、平菇(<i>Pleurotus ostreatus</i>)、香菇(<i>L. edodes</i>)、木耳(<i>Auricularia auricula</i>)	蒸馏水提取法	菌丝生长速率法	西瓜炭疽(<i>Colletotrichum orbiculare</i>)、辣椒疫霉(<i>Phytophthora capsici</i>)	金针菇、平菇和木耳对2种真菌的生长抑制率与提取物浓度呈正相关	[45]
龟裂马勃(<i>C. utriformis</i>)、茶褐拟迷孔菌(<i>D. tricolor</i>)和桦附毛孔菌(<i>T. argamenum</i>)等11种真菌	乙醇提取法	菌丝生长速率法	小麦纹枯病菌(<i>Rhizoctonia cerealis</i>)、番茄早疫病菌(<i>Alternaria solani</i>)、小麦根腐病菌(<i>Bipolaris sorokinian</i>)等6种真菌	11种真菌子实体的粗提取物对6种真菌有抑菌作用, 但抑菌效果存在较大差异	[46]
桑黄(<i>S. sanhuang</i>)	沸水提取	琼脂扩散; 菌丝生长速率法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)、枯草芽孢杆菌(<i>B. subtilis</i>)等9种细菌; 青霉和白霉2种霉菌; 啤酒酵母(<i>S. cerevisiae</i>)	对牛乳中有害细菌、真菌能有有效的抑制	[47]
滑子菇(<i>Pholiota nameko</i>)	沸水提取	平板对峙法	水稻纹枯病菌(<i>Rhizoctoria solani</i>)、荔枝炭疽菌(<i>Colletotrichum sp.</i>)、辣椒炭疽病菌(<i>Gloeosporium piperatum</i>)等	滑子菇对水稻纹枯病菌的抑菌率最高, 抑菌率为 23%	[48]
链格孢菌(<i>Alternaria alternata</i>)	醋酸乙酯	二倍稀释法	金黄色葡萄球菌(<i>S. aureus</i>)、大肠杆菌(<i>E. coli</i>)	最小抑菌浓度分别为 50和25 $\mu\text{g/mL}$	[49–50]

的乙酸乙酯提取物对细菌的抑菌效果较好, 而对酵母菌和霉菌基本无抑制作用^[40]。这些可能表明不同种类的竹荪其脂溶性化学成分存在差异或生产条件的差异所造成的抑菌成分在子实体内的积累量存在差异, 所以, 今后有必要对这些造成差异的原因进行深入研究。吴丽萍等研究发现 4 种常见的食用菌子实体的水提取物对西瓜炭疽(*Colletotrichum orbiculare*)和辣椒疫霉(*Phytophthora capsici*)存在抑菌作用, 但其抑菌效果有明显差异, 其中木耳(*Auricularia auricula*)对 2 种供试真菌的抑菌率达 100%, 而香菇(*L. edodes*)提取物对西瓜炭疽菌的抑制率较低, 对辣椒疫霉甚至有促进菌丝生长作用^[45]。这可能与不同种类的食用菌子实体或发酵菌丝体中所含有的抑菌活性物质成分或含量有所不同有关。刘晓凤等^[46]研究发现桦附毛孔菌(*Trichaptum pargamenum*)、龟裂马勃(*Calvatia utriformis*)和茶褐拟迷孔菌(*Daedaleopsis tricolor*)等 11 种真菌子实体的粗提取物对 6 种病原真菌具有抑菌作用, 且它们之间的抑菌效果存在明显差异。这种差异除了各食用菌子实体本身和供试的病原真菌具有的特性外, 还可能与子实体提取物的处理过程或保藏等因素有关, 例如子实体提取液与冷冻干燥物抑菌能力的差异, 其原因可能与提取液有效成分受热损失有关, 这些需要深入研究。王钦博等^[47]研究显示桑黄(*Sanghuangporus lonicericicola*)水提取物在 1~10 mg/mL 浓度下对牛乳中的真菌具有抑制作用, 可使白霉(*Geotrichum candidum*)生长圈直径减少 5.7 cm, 青霉(*Penicillium codidum*)生长圈直径

减少 3.5 cm, 能显著控制巴杀牛乳中菌群总数的变化。林佩华等研究滑子菇(*Pholiota nameko*)提取物对荔枝炭疽病菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)、辣椒炭疽病菌(*Gloeosporium piperatum*)和水稻纹枯病菌(*Rhizoctoria solani*)等 4 种真菌具有良好的抑制效果, 其中对水稻纹枯病菌的抑菌率最高, 并且随着培养时间的延长, 其抑菌效果越明显^[48]。王永刚等^[49–50]采用二倍稀释法研究植物白毛蛇(*Humata tyermanni*)的内生真菌链格孢菌(*Altenarria alternata*)发酵产物的醋酸乙酯提取物(B06e)对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*)的抑菌效果, 发现其最小抑菌浓度(MIC)存在明显差异, 分别为 50 和 25 $\mu\text{g/mL}$ 。这种差异可能来自链格孢菌的醋酸乙酯提取物(B06e)对革兰氏阳性细菌(金黄色葡萄球菌)和革兰氏阴性细菌(大肠杆菌)的细胞膜的通透性和完整性的破坏程度存在不同, 造成外源物质的流入和细胞质的外泄, 从而改变菌体细胞内的渗透压和代谢调控紊乱, 最终导致细菌丧失了生长繁殖能力。

综上, 研究不同食(药)用真菌的主要抑菌活性成分、提取工艺及其对细菌、酵母菌和霉菌的抑菌作用机制是今后的主攻方向, 也是将其更好应用于食品、医学、环保等领域的重要基础。

2 食(药)用真菌在食品防腐和保鲜中应用的现状

2.1 食(药)用真菌在食品防腐中的应用现状

运用食(药)用真菌进行食品防腐时, 其原理主要

是利用其发酵液或子实体或菌丝体提取物中具有抑制或杀灭食物中致腐菌的活性物质,以达到防腐的效果。桦树汁液在储存运输时,因受到致腐菌枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)的影响易变质发臭,刘建荣从 5 种多孔菌中筛选出了对枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)有抑制作用的菌株 B1,利用菌株 B1 的发酵液与桦树汁液混合(1/100 体积比),结果显示桦树汁液在 2 d 内延缓发生变质,延长了其保质期^[51-52]。秦王阁等研究发现从疏花水柏(*Myricaria laxiflora*)枝内分离的真菌菌株(SG-4)发酵液的水相粗提物能有效抑制从腐败柑橘中分离出 2 种致腐菌——镰刀菌(*Fusarium* sp.)和橘青霉(*Penicillium citrinum*),能够延长柑橘保质期^[53]。王钦博等^[47]研究结果显示桑黄(*Sanghuangporus lonicericola*)水提取物在 1~10 mg/mL 浓度下对牛乳中的真菌具有抑制作用,能显著控制巴杀牛乳中菌群总数的变化。纪丽莲等^[54]研究发现芦竹(*Arundo donax*)中分离的木霉属(*Trichoderma*)内生真菌(F0238)的 4~6 d 发酵液可有效抑制西红柿致腐菌的增殖,且效果与化学试剂相当。赵鲁宁等^[55]从无病无腐的枇杷(*Eriobotrya japonica*)中分离出的季也蒙毕赤酵母(*Pichia guilliermondii*)(Y35-1)可明显抑制柑橘致腐菌胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*);随后,对 Y35-1 酵母菌液体菌剂和活性冻干粉菌剂均采用浸泡法分别处理枇杷果实,结果表明,储藏至第 20 d 时,经 Y35-1 菌株菌悬液处理的果实,其腐烂指数仅为 2.25% 和 3.60%,且对于色泽、品质等均具有良好的维持作用。综上所述,利用食(药)用真菌发酵液或子实体或菌丝体的提取物进行食品防腐能够达到延缓食品腐败变质的目的,与化学防腐剂相比更绿色、生态、安全。所以,以食(药)用真菌为材料开发食品生物防腐剂符合时代发展趋势,具有巨大潜力。

2.2 食(药)用真菌在食品保鲜中的应用现状

食(药)用真菌运用于食品保鲜领域时,常以膜的形式喷施于待保鲜食品表面,从而隔绝不利于维持食品新鲜度的外界因素,以达到保鲜的目的^[56-59]。秦丹丹等^[56]将黑木耳多糖添加到单一的壳聚糖膜中,并将该膜运用于冷鲜牛肉的储藏中,经 10 d 的储存后,较之于 PET/PE(聚对苯二甲酸乙二醇酯/聚乙烯)包装和 CS(壳聚糖)包装,黑木耳(*Auricularia auricula*)多糖/壳聚糖包装的牛肉延缓发生变质,有效延长了鲜牛肉的保质期。路源等^[57]将桦褐孔菌(*Inonotus obliquus*)的多糖提取液按照 2%~6% 的质量分数施于新鲜苹果表面,并置于 5 ℃ 下储藏,当质量分数为 6% 时最佳,可以抑制苹果的呼吸强度,有效抑制菌落生长(保鲜期间 $<10^5$ CFU/g),具有良好的保鲜功效。邓文静等^[58]研究了以银耳(*Tremella fuciformis*)不同浓度的多糖提取液对南美白对虾的保鲜效果,结果表明银耳多糖处理后可有效减缓虾肉感官品质的下降,虾肉中 TVB-N(挥发性盐基氮)值的升高得到了有效延

缓,菌落总数也显著低于对照组。孙业刚^[59]将灵芝、猴头菇和蛹虫草等食药真菌中提取的多糖溶液按照一定剂量喷洒在待保鲜的肉类表面,与传统 4 ℃ 保鲜和冰温保鲜技术相比,对微生物生长的抑制效果显著,有效维持了肉类的新鲜度。综上所述,利用食药真菌产生的抑菌活性物质进行食品的保鲜应用,涉及到肉类、虾类、水果等有限的种类,但其保鲜结果不仅很好地维持了食品原有的营养和感官品质,而且在延长保质期方面亦见其良好的效果。因此,今后应逐步扩大其食品保鲜的应用范围,考察其最佳的使用方法和探索其保鲜机制等方面的内容。

3 结论与展望

食(药)用真菌对食品中常见的细菌和真菌的抑菌作用具有良好的效果(表 1 和表 2),因而,可以以其为原材料,通过其发酵培养液或其相关提取物应用于食品的防腐和保鲜,已有的研究表明食药真菌产生的抑菌活性物质不仅能维持食品原有的营养和感官品质,而且在延长保质期方面有着良好的作用^[56-59]。食(药)用真菌一般本身就具有较高的营养保健和药用价值,富含多糖、核苷类和三萜类等多种功效成分^[60],因此,通过加工处理将其运用于食品的保鲜和防腐上,既生态环保、又绿色安全,符合社会经济发展需求。与此同时,利用食(药)用真菌进行发酵培养和提取活性物质,具有周期短、成本低,易于工厂化、机械化和智能化生产等优势。

通过分析食(药)用真菌的抑菌效果及其在食品防腐和保鲜中的应用现状,提出目前食(药)用真菌在食品防腐和保鲜研究中存在的主要问题,以期为进一步深入研究提供参考:a. 对于食(药)用真菌抑菌效果的研究已经取得了相对较多的研究成果,但将理论运用于生产实际的实例仍较少,存在理论研究和生产实践发生一定程度的脱节,究其原因可能存在成果转化主体驱动力不足、产研信息对接不对称、转化过程复杂、技术成熟度不够等原因所造成的研究成果不能及时在市场上转化和应用。今后,应加强和深化食(药)用真菌的科研成果在食品防腐和保鲜应用中的转化应用,可重点围绕可转化成果的评估和转化机制、坚持市场导向,提高成果对称度和成熟度等方面进行;b. 现有研究表明,食(药)用真菌中含有多种活性物质,其中多糖、生物碱类化合物、萜类化合物等均存在抑菌活性^[61],然而,目前的研究更多的是研究药用植物中的活性物质成分和抑菌效果及其在食品防腐和保鲜中的应用^[62-63],从食(药)用真菌出发进行此类研究的文献报道仍然相对较少,今后可拓展和深化所研究的食(药)用真菌的种类范围及其更多的活性物质类型及其在食品防腐和保鲜中的应用效果;c. 目前,在围绕食(药)用真菌抑菌成分的研究方面仍较窄,大多集中研究多糖的抑菌效果,而对于食(药)用真菌中生物碱类化合物、萜类物质和黄酮等其它成分的研究较少,致使宝贵的食(药)用真菌资源未能得

到充分的开发利用,所以,研究人员应加强食(药)用真菌各类生物活性物质的提取、分离、鉴定和开发应用研究;d.目前,大多数学者在研究中,将防腐与保鲜视为同一概念,二者虽然有联系,但两者的研究侧重点还是存在一定差异。当前,对于利用食(药)用真菌进行食品防腐和保鲜的作用机制及生物防腐及保鲜技术的研究尚不深入,需要进一步根据主要应用目的,精准开发配套的相关生物防腐和保鲜技术及系列产品制剂等。

综上所述,食品保鲜发展至今,人们对防腐剂和保鲜剂的要求也愈来愈高,不再仅仅追求食物不腐败,开始关注食品防腐、保鲜剂对人体的健康问题;化学防腐保鲜剂虽然在现今市面上流通最为广泛,但在未来的发展中,更为健康、绿色的生物源保鲜剂终会取代化学保鲜剂的地位;生物源保鲜剂的普及,也会给消费者带来更为安全、美味、放心的新鲜食品。因此,大力开展食(药)用真菌在食品防腐和保鲜方面的应用研究意义重大、前景广阔。

参考文献

- [1] 潘怡丹,于曼,过叶青,等.气调冷藏集装箱对蔬菜贮藏的保鲜效果[J].食品工业科技,2021,42(12):313-320. [PAN Yidan, YU Man, GUO Yeqing, et al. Preservation effect of modified atmosphere refrigerated container on vegetable storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 313-320.]
- [2] 程丽林,吴波,袁海君,等.鲜切果蔬贮藏保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2019,19(1):147-152. [CENG Lilin, WU Bo, YUAN Haijun, et al. Research progress on storage and preservation technology of fresh cut fruits and vegetables[J]. Preservation and Processing, 2019, 19(1): 147-152.]
- [3] 曾金兴,黎忠杰,佟硕秋,等.火龙果致腐菌的分离鉴定及生物拮抗防腐措施[J].微生物学通报,2021,48(6):2008-2020. [ZENG Jinxing, LI Zhongjie, TONG Shuoqiu, et al. Isolation and identification of pyrophora rot causing bacteria and biological antagonistic anti-corrosion measures[J]. Microbiology China, 2021, 48(6): 2008-2020.]
- [4] 李全瑞,壹图.夏季食品安全头号杀手——食源性疫病[J].中老年保健,2021(6):14-15. [LI Quanrui, YI Tu. The number one killer of food safety in summer-foodborne diseases[J]. Health Care for the Middle Aged and Elderly, 2021(6): 14-15.]
- [5] 沈久明.食品的防腐与保鲜[J].科技信息(学术版),2006(4):51-50. [SHEN Jiuming. Food preservation and preservation[J]. Science and Technology Information (Academic Edition), 2006(4): 51-50.]
- [6] 相洋.几种天然保鲜剂对冷却猪肉保鲜效果的研究[D].厦门:集美大学,2015. [XIANG Yang. Effect of several natural preservatives on preservation of chilled pork[D]. Xiamen: Jimei University, 2015.]
- [7] 黄振喜,王明友,潘恩敬,等.影响冬枣贮藏保鲜的关键因素分析[J].现代农村科技,2021(3):107-108. [HUANG Zhenxi, WANG Mingyou, PAN Enjing, et al. Analysis of key factors affecting the storage and preservation of winter jujube[J]. Modern Rural
- Science and Technology, 2021(3): 107-108.]
- [8] 张平,朱志强,集贤.鲜食葡萄保鲜潜力表达关键影响因素和控制技术解析及其贮藏期潜力预警[J].保鲜与加工,2021,21(1):1-6. [ZHANG Ping, ZHU Zhiqiang, JI Xian. Analysis of key influencing factors and control technology of fresh grape preservation potential expression and early warning of storage potential[J]. Preservation and Processing, 2021, 21(1): 1-6.]
- [9] 罗政,许超群,陈飞平,等.LED光照对气调保鲜菜心叶绿素合成代谢的影响[J].保鲜与加工,2021,21(7):8-16. [LUO Zheng, XU Chaoqun, CHEN Feiping, et al. Effect of LED light on chlorophyll synthesis and metabolism of modified atmosphere fresh-keeping cabbage[J]. Preservation and Processing, 2021, 21(7): 8-16.]
- [10] 王志华,王文辉,佟伟,等.高O₂和高CO₂浓度以及近冰温贮藏对樱桃保鲜效果的影响[J].辽宁农业科学,2010(5):28-32. [WANG Zhihua, WANG Wenhui, TONG Wei, et al. Effects of high O₂ and CO₂ concentrations and near ice temperature storage on cherry preservation[J]. Liaoning Agricultural Science, 2010(5): 28-32.]
- [11] 张维,黄余年,张群,等.猕猴桃采后贮藏保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2021,21(5):139-145. [ZHANG Wei, HUANG Yunian, ZHANG Qun, et al. Research progress on postharvest storage and preservation technology of kiwifruit[J]. Preservation and Processing, 2021, 21(5): 139-145.]
- [12] 谢海伟,吴琳芝,黄欲菲,等.食品保鲜剂研究进展[J].安徽农业科学,2019,47(15):13-17. [XIE Haiwei, WU Linzhi, HUANG Yufei, et al. Research progress of food preservatives[J]. Anhui Agricultural Science, 2019, 47(15): 13-17.]
- [13] FALLAH Z, ZARE E N, KHAN MA, et al. Ionic liquid-based antimicrobial materials for water treatment, air filtration, food packaging and anticorrosion coatings[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2021, 294: 102454.
- [14] SRIDHAR A. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices[J]. Environmental Chemistry Letters, 2020, 9: 1-21.
- [15] DAVIDE G, DANKA B, SAHDEO P et al. Beneficial effects of spices in food preservation and safety[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 1394.
- [16] LAURA E, TILAHUN K G, SILVIA L C, et al. Mechanism of bacterial inactivation by (+)-limonene and its potential use in food preservation combined processes[J]. PLoS One, 2013, 8(2): e56769.
- [17] VEENSTRA, JACOB P, JEREMY J J. Oregano (*Origanum vulgare*) extract for food preservation and improvement in gastrointestinal health[J]. International Journal of Nutrition, 2019, 3: 43-52.
- [18] 胡强,王燕,张欣,等.超高压处理大型竹笋贮藏加工[J].包装工程,2021,42(3):40-46. [HU Qiang, WANG Yan, ZHANG Xin, et al. Storage and processing of large bamboo shoots treated by ultra-high pressure[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(3): 40-46.]
- [19] STINCO C M, SZCZEPANSKA J, MARSZALEK K, et al. Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice[J]. Food

Chemistry, 2019, 299(30): 125112.

[20] LI S, LI B, MA B, et al. Research progress on physical storage methods of *Toona sinensis* [J]. E3S Web of Conferences, 2021, 233(5): 2050.

[21] MUHAMMAD N, NUMRA U, TAHIR M Q, et al. Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 45: 1–6.

[22] 钱霄晨, 简凯丽, 黄琦, 等. 肉桂醛熏蒸处理对香菇采后抗氧化能力及多胺的影响 [J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 263–269.

[QIAN Xiaochen, LIN Kaili, HUANG Qi, et al. Effects of cinnamaldehyde fumigation on postharvest antioxidant capacity and polyamines of *Lentinus edodes* [J]. *Food Science*, 2019, 40(17): 263–269.]

[23] 陈晓宁. 壳聚糖、聚赖氨酸对滑菇保鲜的影响 [J]. *轻纺工业与技术*, 2020, 49(2): 164–166. [CHEN Xiaoning. Effects of chitosan and polylysine on the preservation of *Pleurotus ostreatus* [J]. *Light Textile Industry and Technology*, 2020, 49(2): 164–166.]

[24] 徐冬颖, 顾思彤, 周福慧, 等. 纳他霉素处理对鲜切双孢菇褐变的抑制机理 [J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 255–262. [XU Dongying, GU Sitong, ZHOU Fuhui, et al. Inhibition mechanism of natamycin treatment on browning of fresh cut *Agaricus bisporus* [J]. *Food Science*, 2019, 40(17): 255–262.]

[25] 李光荣, 刘欢, 张文祥, 等. 生物保鲜剂结合物理技术在果蔬保鲜中应用的研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(12): 383–388. [LI Guangrong, LIU Huan, ZHANG Wenxiang, et al. Research progress of biological preservatives combined with physical technology in fruit and vegetable preservation [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(12): 383–388.]

[26] 白亚乡, 胡玉才, 徐建萍. 物理技术在食品贮藏与果蔬保鲜中的应用 [J]. *物理*, 2003, 4(3): 171–175. [BAI Yaxiang, HU Yucan, XU Jianping. Application of physical technology in food storage and fruit and vegetable preservation [J]. *Physics*, 2003, 4(3): 171–175.]

[27] 吕成军. 浅谈化学保鲜剂在果蔬贮藏保鲜中的应用 [J]. *南方农机*, 2020, 51(9): 86–87. [LÜ Chengjun. Application of chemical preservatives in fruit and vegetable storage and preservation [J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2020, 51(9): 86–87.]

[28] SANTOSH K, AVIK M, JOYDEEP D. Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 97: 196–209.

[29] 魏滔, 张长生, 陈琼华, 等. 灵芝真菌液体发酵及其产物应用的研究进展 [J]. *微生物学通报*, 2022, 49(1): 336–351. [WEI Tao, ZHANG Changsheng, CHEN Qionghua, et al. Research progress on liquid fermentation of *Ganoderma lucidum* fungi and its product application [J]. *Microbiology China*, 2022, 49(1): 336–351.]

[30] 许莹莹, 廖烨, 李德海, 等. 食用菌发酵液中功能性成分研究及应用 [J]. *包装与食品机械*, 2018, 36(1): 57–62. [XU Yingying, LIAO Ye, LI Dehai, et al. Research and application of functional components in edible fungus fermentation broth [J]. *Packaging Food*

Machinery, 2018, 36(1): 57–62.]

[31] 董蕾, 韩明, 梁华婉, 等. 常见食用菌发酵液及菌糠提取液的抑菌效果比较研究 [J]. *广州城市职业学院学报*, 2019, 13(2): 26–30. [DONG Lei, HAN Ming, LIANG Huawan, et al. Comparative study on antibacterial effect of common edible fungus fermentation broth and fungus bran extract [J]. *Journal of Guangzhou City Polytechnic*, 2019, 13(2): 26–30.]

[32] 罗青, 杨玉珍, 王国霞. 灵芝与猴头菇发酵液的抑菌性测定 [J]. *现代牧业*, 2017, 1(3): 34–36. [LUO Qing, YANG Yuzhen, WANG Guoxia. Determination of bacteriostasis of *Ganoderma lucidum* and *Hericium erinaceus* fermentation broth [J]. *Modern Farming(Group)Co., Ltd.*, 2017, 1(3): 34–36.]

[33] 吴胜莲, 邵晨霞, 唐少军, 等. 茯苓发酵液的抑菌和抗肿瘤活性 [J]. *食用菌学报*, 2016, 23(1): 63–66. [WU Shenglian, SHAO Chenxia, TANG Shaojun, et al. Antibacterial and antitumor activities of *Poria cocos* fermentation broth [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2016, 23(1): 63–66.]

[34] 赛会娟, 孙连海, 郭文涛. 食用菌发酵液对耐药菌的抑菌活性研究 [J]. *中国酿造*, 2015, 34(7): 40–42. [DOU Huijuan, SUN Lianhai, GUO Wentao. Study on antibacterial activity of edible fungus fermentation broth against drug-resistant bacteria [J]. *China Brewing*, 2015, 34(7): 40–42.]

[35] 潘昌, 范秀芝, 姚芬, 等. 食用菌发酵液对热干面中蜡样芽孢杆菌的抑制作用 [J]. *现代食品科技*, 2020, 36(5): 170–177. [PAN Chang, FAN Xiuzhi, YAO Fen, et al. Inhibitory effect of edible fungus fermentation broth on *Bacillus cereus* in hot and dry noodles [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(5): 170–177.]

[36] 曾志恒, 郑怡, 刘艳如, 等. 凤尾菇深层发酵液抗细菌抗真菌活性的研究 [J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 26(3): 72–77. [ZENG Zhiheng, ZHENG Yi, LIU Yanru, et al. Study on antibacterial and antifungal activity of *Pleurotus ostreatus* submerged fermentation broth [J]. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2010, 26(3): 72–77.]

[37] 林陈强, 林戎斌, 蔡海松, 等. 虎奶菇抑菌物质与食品防腐剂抑菌活性的比较 [J]. *食用菌学报*, 2007, 14(3): 62–66. [LIN Chenqiang, LIN Rongbin, CAI Haisong, et al. Comparison of antibacterial activity between antibacterial substances of *Pleurotus ostreatus* and food preservatives [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2007, 14(3): 62–66.]

[38] 曹惠明, 李德舜, 苏忠锐, 等. 从杨树菇中开发新型食品防腐剂的初步研究 [J]. *菌物学报*, 2003, 22(3): 445–451. [CAO Huiming, LI Deshun, SU Zhongrui, et al. Preliminary study on the development of new food preservatives from poplar mushroom [J]. *Mycosystema*, 2003, 22(3): 445–451.]

[39] 倪锦虹, 彭亮聪, 陈乐, 等. 食用菌提取物的抑菌作用研究进展 [J]. *食品安全导刊*, 2021(9): 150–151. [NI Jinhong, PENG Liangcong, CHEN Le, et al. Research progress on antibacterial effect of edible fungus extract [J]. *China Food Safety Magazine*, 2021(9): 150–151.]

[40] 段小明, 刘升, 贾丽娥, 等. 竹荪属食用菌国内研究进展 [J].

- 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4433-4440. [DUAN Xiaoming, LIU Sheng, JIA Lie, et al. Domestic research progress of edible fungi of *Dictyophora*[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2015, 6(11): 4433-4440.]
- [41] 张虎成, 杨国伟, 杨军, 等. 猴头菇提取液抑菌及抗氧化活性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2013, 5: 114-120. [ZHANG Hucheng, YANG Guowei, YANG Jun, et al. Study on antibacterial and antioxidant activities of *Hericium erinaceus* extract[J]. *China Food Additives*, 2013, 5: 114-120.]
- [42] 李冉. 木蹄层孔菌和斑褐孔菌的化学成分及其生物活性研究[D]. 海口: 海南大学, 2019. [LI Ran. Study on chemical constituents and biological activities of *Fomes fomentarius* and *Fusco-poria punctata*[D]. Haikou: Hainan University, 2019.]
- [43] 蔡程山. 桑黄液体发酵菌丝体总三萜的提取及活性分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2018. [CAI Chengshan. Extraction and activity analysis of total triterpenes from liquid fermentation mycelium of *Phellinus igniarius* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.]
- [44] 檀东飞, 苏燕卿, 吴若菁, 等. 棘托竹荪乙酸乙酯提取物的抑菌作用研究[J]. *海峡药学*, 2002, 14(5): 101-103. [TAN Dongfei, SU Yanqin, WU Yanjing, et al. Antibacterial effect of ethyl acetate extract from *Dictyophora spinosa*[J]. *Strait pharmacy*, 2002, 14(5): 101-103.]
- [45] 吴丽萍, 袁建赣, 李飞, 等. 4种食用菌提取物对2种植物病原真菌的抑制作用[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(8): 3587-3589. [WU Liping, YUAN Jiangang, LI Fei, et al. Inhibitory effect of four edible fungus extracts on two plant pathogenic fungi[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(8): 3587-3589.]
- [46] 刘晓凤, 卢玉君, 王孝先, 等. 林芝11种大型真菌子实体粗提取物的抑菌作用研究[J]. *中国食用菌*, 2020, 39(10): 77-81. [LIU Xiaofeng, LU Yujun, WANG Xiaoxian, et al. Study on the bacteriostatic effect of crude extracts from 11 macrofungi fruiting bodies of Nyingchi[J]. *Edible fungi of China*, 2020, 39(10): 77-81.]
- [47] 王钦博, 杨焱, 齐晓彦. 桑黄水提物抑菌作用的研究与应用[J]. *上海农业学报*, 2016, 32(6): 64-68. [WANG Qinbo, YANG Yan, QI Xiaoyan. Study and application of antibacterial effect of *Phellinus igniarius* water extract[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2016, 32(6): 64-68.]
- [48] 林佩华, 张坚, 廖美德. 滑子菇提取物的抗真菌活性相关研究[J]. *中国食用菌*, 2014, 33(4): 48-49. [LIN Peihua, ZHANG Jian, LIAO Meide. Study on antifungal activity of *Pholiota nameko* extract[J]. *Edible fungi of China*, 2014, 33(4): 48-49.]
- [49] 王永刚, 杨光瑞, 陈凯, 等. 内生真菌链格孢菌醋酸乙酯提取物对金黄色葡萄球菌抑菌机制的研究[J]. *中草药*, 2018, 49(3): 619-625. [WANG Yonggang, YANG Guangrui, CHEN Kai, et al. Study on antibacterial mechanism of ethyl acetate extract of endophytic fungus *Alternaria* against *Staphylococcus aureus*[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2018, 49(3): 619-625.]
- [50] 王永刚, 杨光瑞, 马雪青, 等. 内生真菌链格孢菌醋酸乙酯提取物对大肠杆菌抑菌机制的研究[J]. *中草药*, 2018, 49(2): 374-381. [WANG Yonggang, YANG Guangrui, MA Xueqing, et al. Study on antibacterial mechanism of ethyl acetate extract of endophytic fungus *Alternaria* on *Escherichia coli*[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2018, 49(2): 374-381.]
- [51] 盛艳, 吴泽柱. 桦树汁营养成分及功能利用研究进展[J]. *农产品加工*, 2017(7): 49-52. [SHENG Yan, WU Zezhu. Research progress on nutritional components and functional utilization of birch juice[J]. *Agricultural Products Processing*, 2017(7): 49-52.]
- [52] 刘建荣. 利用多孔菌开发桦树汁生物保鲜剂的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020. [LIU Jianrong. Study on the development of biological preservative for birch juice using porous bacteria [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2020.]
- [53] 秦王阁, 蒋维, 黄炜诚, 等. 几株内生真菌对三峡地区柑橘的生物保鲜作用[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(9): 1717-1720. [QIN Wangge, JIANG Wei, HUANG Weicheng, et al. Biological preservation effect of several endophytic fungi on *Citrus* in the Three Gorges Area[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(9): 1717-1720.]
- [54] 纪丽莲, 张强华. 芦竹内生真菌 F0238 对西红柿的生物保鲜研究[J]. *江苏农业科学*, 2005, 4(4): 111-112. [JI Lilian, ZHANG Qianghua. Study on biological preservation of tomato by endophytic fungus F0238 of *Asparagus*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2005, 4(4): 111-112.]
- [55] 赵鲁宁, 周秋阳, 杨慧慧, 等. 季也蒙毕赤酵母 Y35-1 菌株对枇杷采后炭疽病的抑菌效果及保鲜作用[J]. *食品科学*, 2019, 40(4): 170-177. [ZHAO Luning, ZHOU Qiuyang, YANG Huihui, et al. Bacteriostatic effect and preservation of *Pichia pastoris* y35-1 strain on postharvest *Anthraco-nose* of loquat[J]. *Food Science*, 2019, 40(4): 170-177.]
- [56] 秦丹丹, 吴琼, 白洋, 等. 黑木耳多糖/壳聚糖可食性复合膜的制备及对鲜牛肉的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2021, 42(5): 246-251. [QIN Dandan, WU Qiong, BAI Yang, et al. Preparation of edible *Auricularia auricula* polysaccharide/chitosan composite film and its fresh-keeping effect on fresh beef[J]. *Food Science*, 2021, 42(5): 246-251.]
- [57] 路源, 李建光, 孟楠, 等. 桦褐孔菌多糖涂膜对苹果保鲜效果的研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(4): 133-135. [LU Yuan, LI Jianguang, MENG Nan, et al. Study on the preservation effect of *In-onotus obliquus* polysaccharide coating on apples[J]. *Food and Machinery*, 2011, 27(4): 133-135.]
- [58] 邓文静, 钱磊, 张军, 等. 银耳多糖对南美白对虾储藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2021(9): 7-12, 20. [DENG Wenjing, QIAN Lei, ZHANG Jun, et al. Effect of *Tremella* polysaccharide on storage quality of *Penaeus vannamei*[J]. *Storage and Process*, 2021(9): 7-12, 20.]
- [59] 孙业刚. 合肥众驰天下网络科技有限公司. 生鲜肉的保鲜方法: 中国, 201710852249.9[P]. 2017-12-15. [SUN Yegang. Hefei Zhongchi Tianxia Network Technology Co., Ltd. Preservation method of raw and fresh meat: China, 201710852249.9 [P]. December 15, 2017.]
- [60] 张信仁, 张云, 陈泽宇. 食(药)用真菌深加工及其在饮料工业上的应用[J]. *饮料工业*, 2020, 23(5): 74-77. [ZHANG Xin-

ren, ZHANG Yun, CHEN Zeyu. Deep processing of edible (pharmaceutical) fungi and its application in beverage industry[J]. *Beverage Industry*, 2020, 23(5): 74-77.]

[61] 王菲, 霍笑康, 汪嘉麒, 等. 苍耳子黄酮微胶囊的制备及其在冷鲜肉涂膜保鲜中的应用[J]. *应用化工*, 2020, 49(10): 2541-2544, 2548. [WANG Fei, HUO Xiaokang, WANG Jiaqi, et al. Preparation of *Xanthium sibiricum* flavone microcapsules and its application in coating preservation of cold fresh meat[J]. *Applied Chemical Industry*, 2020, 49(10): 2541-2544, 2548.]

[62] 李楠, 吴婧, 单林鲜, 等. 壳聚糖-三七叶黄酮复合保鲜剂对

冷鲜黄牛肉的保鲜效果[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 71-76. [LI Nan, WU Jing, SHAN Linxian, et al. Preservation effect of chitosan *Panax notoginseng* leaf flavone composite preservative on cold fresh yellow beef[J]. *Meat Research*, 2020, 34(4): 71-76.]

[63] 杨宇华, 黄艳, 郑伟鹏. 艾草黄酮抗氧化及对鸡胸肉保鲜效果的研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(11): 122-127, 142. [YANG Yuhua, HUANG Yan, ZHENG Weipeng. Study on antioxidation and preservation effect of *Artemisia flavonoids* on chicken breast[J]. *Food and Machinery*, 2020, 36(11): 122-127, 142.]