

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.01.024

张鑫, 耿庆何, 郭超, 等. 植物精油在粮油食品抑菌中的应用[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(1): 180-186.

ZHANG X, GENG Q H, GUO C, et al. The application of plant essential oil in antifungal of grain and oil food[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(1): 180-186.

植物精油在粮油食品抑菌中的应用

张鑫^{1,2}, 耿庆何¹, 郭超², 张逍遥^{1,2}, 王超², 刘艳丽¹✉

(1. 北京城市学院 生物医药学部, 北京 100083;

2. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 食品在生产、加工、贮藏和运输过程中极易受到真菌和真菌毒素的侵染, 不仅会使食品的品质受到影响, 也会对人们的身体健康产生危害。植物精油因其具有对人畜安全, 抑菌活性高以及对环境友好等特点被研发为不同制剂(如微胶囊、复合涂膜剂、脂质体、水凝胶、气雾剂等), 并广泛应用于食品抑菌。围绕真菌和真菌毒素种类、精油抑菌成分、精油制剂的开发与应用等方面进行论述, 为植物精油在食品抑菌中的进一步研究开发及应用提供依据。

关键词: 植物精油; 食品腐败; 真菌; 真菌毒素; 活性物质; 抑菌

中图分类号: TS207.7; S432.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)01-0180-07

The Application of Plant Essential Oil in Antifungal of Grain and Oil Food

ZHANG Xin^{1,2}, GENG Qing-he¹, GUO Chao², ZHANG Xiao-yao^{1,2}, WANG Chao², LIU Yan-li¹✉

(1. Beijing City University, Department of biomedicine, Beijing 100083, China;

2. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: In the process of production, processing, storage and transportation, foods are easily infected by fungi and mycotoxins, which will not only affect the quality of food, but also harm people's health. Plant essential oils have been developed into different preparations (such as microcapsule, compound film, liposome, hydrogel, aerosol etc.) owing to their advantages of high speed of biological degradation in the environment and being safe to people and animals, which could be widely used in food preservation. The types of fungi and mycotoxins, antibacterial components of essential oil, and the development and application of essential oil preparation were discussed in this paper in order to provide the basis for further research, development and application of plant essential oil in food antifungal.

Key words: plant essential oil; food corruption; fungus; mycotoxin; active substrate; antifungal

据联合国粮食及农业组织统计, 每年有 10

亿 t 的农产品在其生产、加工和运输等过程中会受到真菌污染, 这些真菌及真菌毒素的侵害不仅会使食品的质量受到影响, 同时对人们的身体健康也有一定的危害^[1]。研究者们为解决食品中的真菌污染问题, 研究和开发了一系列抑菌产品。合成化学品的抑菌剂, 如吡咯苯类、咪唑类、硫氰酸类等, 虽具有一定抑菌效果, 但是由于其毒性高、残留高以及不可生物降解等问题, 影响其在食品中的应用^[2]。因此, 研发能够广泛应用于各类食品中的新型、绿色、安全、高效的抑菌剂,

收稿日期: 2020-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(21808004); “十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC1600604); 北京城市学院 2019 年度实培计划项目

Supported by: National Natural Science Foundation of China (No.21808004); National Key Research and Development Project of the 13th five-year plan, China (No.2017YFC1600604); ‘Shipei’ Project of Beijing City University

作者简介: 张鑫, 男, 1995 年出生, 在读研究生, 研究方向为防霉活性物质的研发。E-mail: 984545515@qq.com.

通讯作者: 刘艳丽, 女, 1982 年出生, 博士, 副教授, 研究方向为酶制剂开发。E-mail: 66401862@qq.com.

已成为目前研究人员重点关注的领域。

植物精油 (the plant essential oils) 是指萃取自植物不同部位、具有强烈芳香成分的挥发油^[3]。植物精油的抑菌活性来源于主要成分的生物活性, 或者主要和次要成分的整体协同作用, 其中酚类、烯类、萜类和醛酮类等化合物起主要的抑菌作用, 具有广泛的抑菌、杀虫、抗毒素和抗氧化性能^[4]。与化学合成抑菌剂不同, 植物精油的优势是从天然产物中提取、具有广谱的抑菌特性以及对环境和人体危害小, 是化学合成抑菌剂的优良替代品。

本文对真菌及真菌毒素的危害、植物精油有效抑菌成分以及植物精油制剂的应用研究进行综

述, 以期对植物精油在食品抑菌方面的研究和应用提供理论依据。

1 粮油食品中真菌的危害

真菌易产生真菌毒素 (mycotoxin), 导致粮油食品的腐败变质, 目前已发现的真菌毒素有 400 多种^[5]。在食品贮藏时期, 食品腐败主要是由曲霉属 (*Aspergillus*)、青霉属 (*Penicillium*) 和镰刀菌属 (*Fusarium*) 等真菌附着在其表面繁殖入侵引起的^[6-7]。真菌所产生的真菌毒素有致畸、致癌和致突变的性质, 进而导致人体生理机能紊乱, 引起肝中毒和免疫系统损害等症^[8]。常见的真菌毒素、主要产毒菌株、易污染基质如表 1 所示^[9-14]。

表 1 常见真菌及真菌毒素
Table 1 Common fungi and mycotoxins

真菌毒素	主要的产毒菌株	易污染基质
伏马毒素	轮状镰刀菌、串珠镰刀菌和多脊镰刀菌等	玉米、小麦、饲料、酒类、桂皮等
黄曲霉毒素	黄曲霉菌、寄生曲霉菌、杂色曲霉菌和温特曲霉菌等	花生、棉籽、甘草、肉豆蔻、干姜等
赭曲霉毒素	赭曲霉菌、黑曲霉菌、炭黑曲霉菌和疣梗青霉菌等	豆类、坚果、葵花籽、人参、枸杞子等
单端孢霉烯毒素	禾谷镰刀菌、黄色镰刀菌、拟孢镰刀菌和腐皮镰刀菌等	大麦、燕麦、马铃薯、谷物、薏苡仁等
玉米赤霉烯酮	禾谷镰刀菌、串珠镰刀菌、黄色镰刀菌和尖孢镰刀菌等	玉米、饲料、肉类、乳制品、人参等
展青霉素	棒曲霉菌、展青霉菌、扩展青霉菌和土曲霉菌等	果汁、小麦、芒果、肉桂、干姜等

2 植物精油抑菌活性物质

植物精油成分复杂, 精油按其化学结构可分为脂肪族化合物、芳香族化合物、萜类化合物及其含氧衍生物。不同植物所含的特有成分都存在不同程度的生物活性。据研究统计植物精油中具有良好抑菌作用的化学物质主要有醛类、酚类、醇类和酮类等。

2.1 醛类物质

植物精油中具有抑菌作用的醛类物质较多, 主要有肉桂醛、柠檬醛、茴香醛和香茅醛等。醛类具有高活泼性的甲酰基结构, 可破坏多种霉菌的细胞壁、改变细胞膜的通透性和影响菌丝的形态结构, 从而具有抑菌作用。李璐等^[15]发现 p-茴香醛可以诱导酸腐病菌病原体菌丝细胞壁和细胞膜的损伤。刘光发等^[16]将肉桂精油和柠檬草精油制备成抑菌膜, 其主要成分肉桂醛和柠檬醛, 对根霉、灰霉、青霉和交链孢霉等均具有良好抑制作用。

2.2 酚类物质

植物精油中的酚类物质多具有特殊芳香气味, 是植物精油气味的来源之一, 主要的抑菌成分有丁香酚、香芹酚、百里香酚等。不同浓度的酚类可使真菌的蛋白质产生变性或沉淀, 还可以降低微生物营养物质可溶性糖的含量。王丹等^[17]发现丁香精油中, 一定浓度的丁香酚能显著抑制致病茵灰葡萄孢菌、链格孢菌和胶孢炭疽菌的菌丝生长和孢子萌发。戚雯雯^[18]等研究香芹酚可以破坏指状青霉菌细胞膜, 使菌体内电解质渗出, 抑制其生长。

2.3 醇类物质

植物精油中的醇类多为单萜醇, 水溶性好, 部分单萜醇具有很强的抑菌性, 包括芳樟醇、香茅醇和香叶醇等。王进等^[19]研究香樟叶精油中的芳樟醇对处理 48 h 后的苹果炭疽菌、番茄灰霉菌和小麦赤霉菌的半抑制浓度分别为: 31.74、35.79 和 38.02 mg/L, 具有显著抑菌作用。杨文等^[20]发

现将香茅醇的两旋光异构体经复配后可以产生协同作用，对茶炭疽病菌抑制作用显著。

2.4 酮类物质

植物精油中的酮类成分含量丰富，多为单萜酮，并具有毒性，包括香芹酮和薄荷酮等，控制其浓度可以在食品中起到抑菌作用。陈硕等^[21]制备了含薄荷酮和薄荷醇的微乳体系，通过复配发现对酿酒酵母菌有抑制作用。王富军等^[22]合成的香芹酮化合物对水稻稻瘟病菌具有抑菌活性。

2.5 其他成分

植物中的其他活性物质如蛋白质类、生物碱类、多糖类和醌类等也具有高效抑菌作用^[23]。近年来发现的植物多肽，如植物防卫素等，也都具有抑菌作用。除上述物质外，有些植物的提取物虽无抑菌作用，但是经过酶解过程后会得到有较好抑菌作用的产物，如琼胶，来自于海洋植物，琼胶经酶解后生成的琼胶寡糖具有抑菌作用^[24]。

3 植物精油抑菌剂的应用

植物精油作为天然抑菌剂的原料，具有很高的利用价值，但其活性物质也具有化学性质不稳定和不易保存等缺点，使植物精油作为抑菌剂在

应用时受到限制。根据实际应用环境，科研人员将植物精油开发为微胶囊、涂膜剂、脂质体、气雾剂等制剂，可以在食品的生产 and 保鲜中起到更好的抑菌作用。

3.1 精油微胶囊抑菌剂

采用天然或合成的高分子材料作为囊膜壁壳，将固态或液态药物包裹成密封囊膜的微小固体颗粒药库，即微胶囊^[25]。微胶囊化可以解决精油的化学成分性质不稳定、不易储存和易挥发等问题。刘香军^[26]等以丁香精油为芯材制备抑菌保鲜微胶囊，抑菌效果好且释放缓慢。黎星辰^[27]等将肉桂精油制成微胶囊，发现添加微胶囊的大豆与对照组大豆含霉菌量有显著性差异。以辛烯基琥珀酸酐改性淀粉和麦芽糊精为壁材包裹玫瑰精油制备微胶囊，实现了对精油中酯类、醇类和酚类物质的控制释放，如图 1 所示^[28]。

但是目前微胶囊较多使用单层结构，在应用中常面临稳定性、抗湿性以及氧化性等问题，利用双层微囊制备技术可以进一步解决这些问题。同时，如何简化复杂制备操作，减少材料化学残留等也是微胶囊制剂研究的热点问题^[29]。

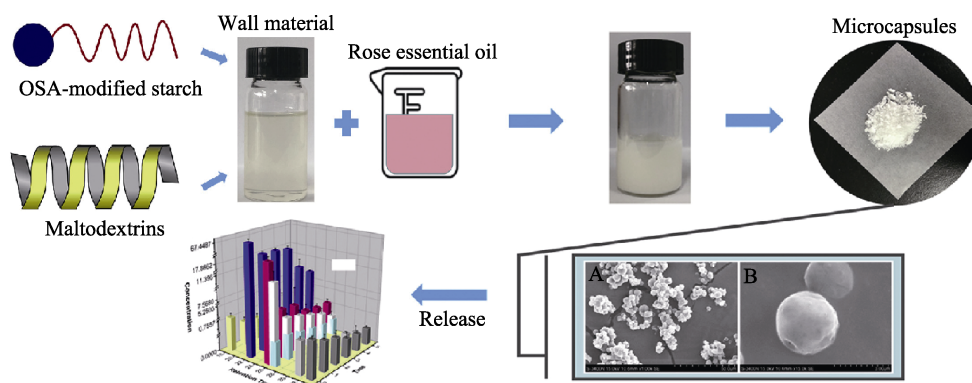


图 1 辛烯基琥珀酸酐改性淀粉和玫瑰精油微胶囊^[28]

Fig.1 Microencapsulation of starch and Rose essential oil modified by octenylsuccinic anhydride

3.2 精油复合涂膜剂

精油复合涂膜是指将植物精油作为抑菌剂加入天然可食用材料制成涂膜液，再将食品农作物等浸泡风干成膜。研究表明经植物精油涂膜后的食品表面可以有效防止细菌、真菌等微生物侵染导致的腐烂变质。杨震宇^[30]利用 1.5% 的壳聚糖和不同浓度肉桂精油制成的复合膜，能够减缓雪莲

果的呼吸作用，具有抑菌的效果。Guerra 等^[31]研究发现壳聚糖复合薄荷精油涂膜可有效防止樱桃番茄果实在贮藏期间黑曲霉、灰霉病菌、扩展青霉和黑根霉引起的霉菌侵染。Marjan 等制备的百里香、夏香精油与罗勒籽胶抑菌膜能显著降低鸡肉片中总活菌数和嗜冷菌数，如图 2 所示^[32]。

涂膜剂虽然具有良好的抑菌效果，但是涂膜

过程中易导致果蔬菜叶损害萎焉和营养物质损坏等问题,故不适用于体积小,叶菜类等物质保鲜抑菌。

3.3 精油脂质体缓释抑菌剂

脂质体是一种新型的载体,其结构类似于生物膜^[33]。脂质体是将物质包封于类脂质双分子层薄膜中间而制成的超微型球状载体制剂。脂质体可包封水溶性或脂溶性药物,具有靶向性缓释性

保护被包封物等特点^[34]。脂质体可提高挥发油稳定性,同时增强其溶解性,与作物相结合达到长效抑菌。崔海英等^[35]将豆蔻精油包裹在纳米脂质体里面,测定其在肉制品中对大肠杆菌及单核细胞增生李斯特菌的生长具有长效抑制作用。Laura 等研制的三叶丹参和迷迭香脂质体在 4 °C 条件下贮存一个月,具有明显的抗氧化、抗炎和抑菌活性,如图 3 所示^[36]。



图 2 罗勒籽胶与百里香、夏香精油复合抑菌膜延长冷冻鸡肉片货架期^[32]

Fig.2 Compound film of basil seed gum, *Thymus* and *Summer Fragrant* oil prolongs shelf life of frozen chicken slices

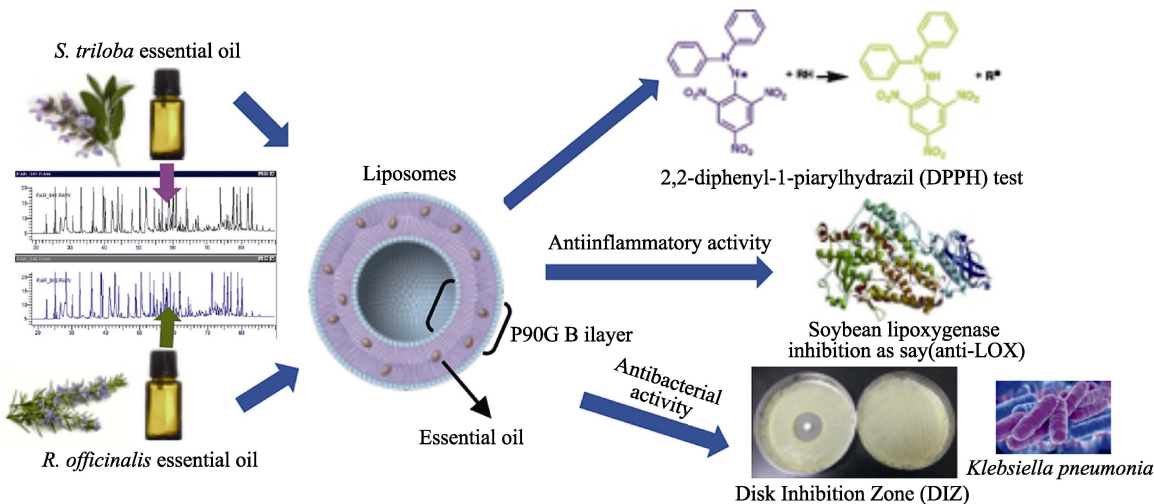


图 3 三叶丹参和迷迭香精油脂质体^[36]

Fig.3 Liposomes loaded with *Salvia triloba* and *Rosmarinus officinalis* essential oils

但目前脂质体主要用于人体内的靶向制剂,且制备工艺较复杂,尤其在包封率的控制方面较为困难,应用到抑菌领域中易受到溶剂影响,故可将脂质体冻干成粉使用。

3.4 精油水凝胶抑菌剂

水凝胶是一类极为亲水的三维网络结构凝

胶,它在水中迅速溶胀并在此溶胀状态下可以保存大量的水而不溶解。相比于其他传统的包埋材料,水凝胶具有生物相容性好、易于合成以及 pH 响应等优点^[37]。梁乐谊等^[38]将辛夷油制成微乳凝胶发现对金黄色葡萄球菌大肠杆菌与绿脓杆菌的抑菌圈直径分别为 (15.97±0.29)、(15.07±0.12)、

(15.73±0.25) mm, 并具有良好的稳定性。张琳等利用 Fmoc-F (Phe) 多肽水凝胶包埋丁香精油, 随着环境 pH 的变化, 水凝胶会产生不同响应而控制精油的释放, 如图 4 所示^[39]。

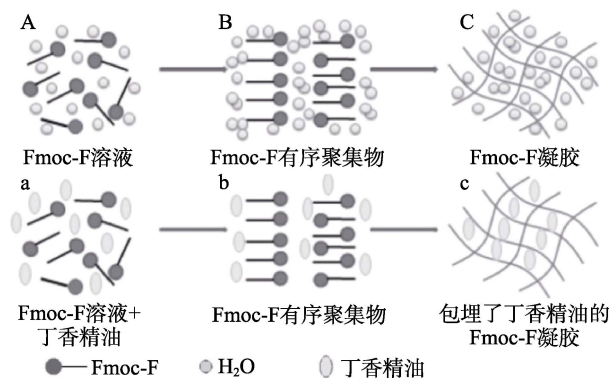


图 4 Fmoc-F 凝胶形成示意图^[39]

Fig.4 The process of Fmoc-F hydrogel formation

但水凝胶在应用时面临溶胀率高, 易损坏, 残留高等弊端, 通过加入不同凝胶因子改善这些问题也是当下研究的热点。

3.5 精油抑菌气雾剂

气雾剂是指将药液乳液或混悬液与适宜的抛射剂共同封装于具有特制阀门系统的耐压容器中, 使用时借助抛射剂的压力将内容物呈雾状物喷出的制剂。将精油直接喷洒挥散于空中进行气调, 可以直接抑制贮藏时空气中霉菌的繁殖和生长。李炆^[40]将姜黄、苦参及花椒挥发油和适当的表面活性剂混合制备药效好、稳定性高、符合现代药物储藏特点的微乳, 并灌装至 100 mL 棕色喷壶内, 制备挥发油喷雾剂, 有良好抑菌杀虫功效。YanjunLi 等研究八角精油主要成分为反式茴香醚 (91.32%)、D-柠檬烯 (2.0%) 和雌二醇 (2.0%), 发现八角精油具有对黄曲霉体外抑菌活性, 最低抑菌浓度为 2.0 μL/mL, 最低杀菌浓度为 4.0 μL/mL, 如图 5 所示^[41]。

但喷雾剂在使用中需加入稳定剂, 同时调节仓储的温度和湿度, 来达到控制更好的抑菌效果。

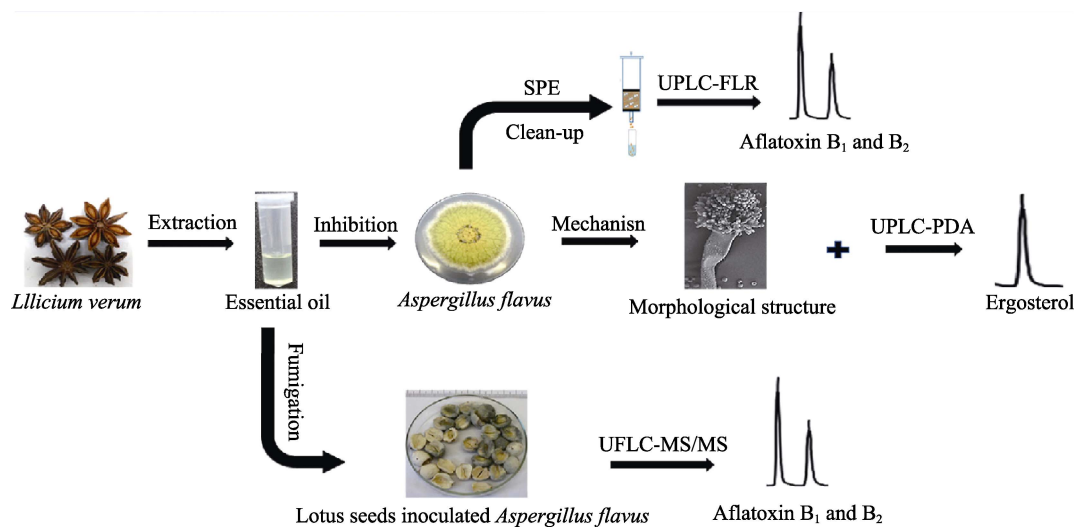


图 5 八角精油熏蒸剂^[41]

Fig.5 A natural fumigant of *Illiciumverum* essential oil

4 结论与建议

植物精油作为一种天然绿色抑菌剂应用于食品抑菌中, 已成为国内外研究的热点。但天然植物抑菌剂的开发还需要更深层次的研究, 如何解决以下问题也是未来深入研究的关键。

4.1 植物精油中有效成分研究有待于进一步开展

植物精油中成分复杂, 虽然研究表明现有已知的一些醛类、酮类等精油成分已经具有很好的

抑菌作用, 但目前的研究与应用中使用的精油, 大部分是粗提物, 还有很多能够起到抑菌作用的有效成分还是未知的, 应当尽快建立快速高效的提取分离、纯化和筛选鉴定有效抑菌成分的方法, 以便植物精油更好应用于食品抑菌中。

4.2 植物精油抑制真菌的作用机理研究相对较少

研究精油抑菌不应只研究效果, 在如何抑菌方面也是重点。研究时需要微生物学、生物化学和食品科学等多学科的技术和理论支持, 从细胞

水平和分子生物学水平研究多种有效成分的抑菌机理和与真菌的相互作用入手。

4.3 研发应用的植物精油抑菌谱窄

单一植物精油很难完全抑制多种真菌的生长,通过研究不同精油复配增效,开发出抑菌谱广和使用剂量低的抑菌精油,是未来植物精油研究的方向。

4.4 植物精油制剂开发具有局限性

且现有加工技术不够先进。精油制剂在当前应用中,具有成本高、包埋率低、释放性差等缺点,因此应在完善现有抑菌制剂工艺基础上,开发具有稳定性好、抑菌时间长和低残留的新制剂,同时开展抑菌剂在食品中的安全性研究,从而使精油作为绿色无公害的抑菌剂在食品领域广泛应用。

参考文献:

- [1] 李燕君, 孔维军, 李梦华, 等. 植物精油抑制真菌及真菌毒素的研究进展[J]. 中草药, 2016, 47(11): 2011-2018.
LI Y J, KONG W J, LI M H, et al. Advance in study on plant essential oils for their inhibitory effects on fungal growth and mycotoxin synthesis[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2016, 47(11): 2011-2018.
- [2] PRAKASH B, KEDIA A, MISHRA P K, et al. Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities – potentials and challenges[J]. Food Control, 2015, 47(47): 381-391.
- [3] NICHOLAS S, GRAHAM J. A contemporary introduction to essential oils: chemistry, bioactivity and prospects for australian agriculture[J]. Agriculture, 2015, 5(1): 48-102.
- [4] 李金寒, 商博, 梁丹丹, 等. 活性氧在柠檬醛抑制黄曲霉产毒过程中的作用[J]. 核农学报, 2016, 30(7): 1316-1322.
LI J H, SHANG B, LIANG D D, et al. The role of reactive oxygen species in the inhibition of *Aspergillus flavus* production by Citral[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(7): 1316-1322.
- [5] 高小明, 胡斌, 李皖光. 小麦粒霉变病原菌的初步鉴定及防控措施研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(2): 69-72.
GAO X M, HU B, LI W G. Preliminary identification of pathogen causing wheat to mildew and exploration of control method[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(2): 69-72.
- [6] 李燕君, 孔维军, 胡一晨, 等. 植物源抑真菌剂在中药材养护中的应用前景及展望[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(19): 3729-3736.
LI Y J, KONG W J, HU Y C, et al. Application prospect and expectation of fungistatic agents of plants in preservation of Chinese herbal medicines[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2015, 40(19): 3729-3736.
- [7] 刘程惠. 鲜切苹果腐败霉菌侵染生物学机理及其臭氧防控研究[D]. 沈阳农业大学, 2016.
- [8] LIU C H. Biological mechanisms of the Spoilage Mould Infection of Fresh-cut Apple and its Prevention-control by ozone[D]. Shenyang Agricultural University, 2016.
- [9] ARROYO N, HUERATS J F, GAMIZ L, et al. Simple and efficient methodology to determine mycotoxins in cereal syrups [J]. Food Chemistry, 2015, 177(15): 274-279.
- [10] TRUCKSESS M W, SCOTT P M. Mycotoxins in botanicals and dried fruits: a review[J]. Food Additives & Contaminants, 2008, 25(2): 190-192.
- [11] KUANG Y, QIU F, KONG W, et al. Natural occurrence of ochratoxin a in wolfberry fruit wine marketed in China[J]. Food Additives & Contaminants Part B, 2012, 5(1): 70-74.
- [12] ABDIN M Z, AHMAD M M, JAVED S. Advances in molecular detection of aspergillus: an update[J]. Archives of Microbiology, 2010, 192(6): 420-425.
- [13] AMEZQUETA S, SCHORR S, MURILLO M, et al. Ota-producing fungi in foodstuffs: a review[J]. Food Control, 2012, 26(2): 259-268.
- [14] 姜淑贞, 杨维仁, 杨在宾. 玉米赤霉烯酮的代谢、毒性及其预防措施[J]. 动物营养学报, 2011, 23(2): 196-202.
JIANG S Z, YANG W R, YANG Z B. Metabolism, toxicity and preventive measures of zearalenone[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(2): 196-202.
- [15] 江曙, 杨美华, 段金廛, 等. 展青霉素研究现状及其对中药安全性的影响[J]. 南京中医药大学学报, 2010, 26(5): 398-400.
JIANG S, YANG M H, DUAN J A, et al. Research status of patulin and its influence on safety of traditional Chinese Medicine [J]. Journal of Nanjing TCM University, 2010, 26(5): 398-400.
- [16] 李路, 李蔚, 车金鑫, 等. p-茴香醛抑制柑橘酸腐病菌的作用机制[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 133-138.
LI L, LI W, CHE J X, et al. Antifungal activity and mechanism of p-Anisaldehyde against *Geotrichum citri-aurantii*[J]. Food Science, 2020, 41(9): 133-138.
- [17] 刘光发, 司汶, 高文华, 等. 肉桂/柠檬草精油抑菌膜对甜樱桃的保鲜效果[J]. 包装工程, 2018, 39(7): 65-71.
LIU G F, SI W, GAO W H, et al. Effects of antimicrobial Film containing combined essential oil of cinnamon and lemon grass on preservation of sweet cherry[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(7): 65-71.
- [18] 王丹, 张静, 贾晓曼, 等. 丁香精油对甜樱桃采后优势致腐真菌的控制及其抑菌机理[J]. 核农学报, 2020, 34(6): 1221-1229.
WANG D, ZHANG J, JIA X M, et al. Control and antibacterial mechanism of clove essential oil on Postharvest rot fungi of sweet cherry[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(6): 1221-1229.
- [19] 戚雯雯, 沈玉婷, 陈楚英, 等. 江香薷活性成分香芹酚对指状青霉的抑菌作用[J]. 现代食品科技, 2018, 34(11): 70-75.
QI W W, SHEN Y T, CHEN C Y, et al. Antifungal mechanisms of the active ingredients carvacrol of mosla chinensis' Jiangxiangru' against penicillium digitatum[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(11): 70-75.
- [20] 王进, 曹先爽, 宋丽, 等. 吹扫捕集-热脱附-气相色谱-质谱联用法分析不同产地香樟叶精油成分及抑菌活性比较[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 131-136.
WANG J, CAO X S, SONG L, et al. Comparative chemical composition and antifungal activity of the essential oils of cinnamomum camphora L. Presl Leaves from three geographic origins[J]. Food Science, 2017, 38(12): 131-136.
- [21] 向晓龙, 杨文, 刘惠芳, 等. 香茅醇不同旋光异构体对抑制茶

- 炭疽病菌活性的比较及其协同作用[J]. 茶叶科学, 2019, 39(4): 425-430.
- XIANG X L, YANG W, LIU H F, et al. Fungicidal activity comparison and synergetic effect of citronellol optical isomers against colletotrichum gloeosporioides[J]. Journal of Tea Science, 2019, 39(4): 425-430.
- [21] 陈硕, 徐马俊坤, 张赟彬, 等. 薄荷精油微乳体系的构建及其抑菌性[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 104+139-144.
- CHEN S, XUMA J K, ZHANG B B, et al. Construction of a microemulsion system and the antibacterial performance of peppermint essential oil[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 104+139-144.
- [22] 李凝, 王富军, 李明. L-香芹酮醚类化合物的合成及其对三种植物病原真菌的活性研究[J]. 山地农业生物学报, 2010, 29(4): 330-334.
- LI N, WANG F J, LI M. The chemical modification of L(-)-carvone and its biological activity to three fungal pathogens plant[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2010, 29(4): 330-334.
- [23] 张媛媛, 李艳利, 李书国. 植物源食品防腐剂抑菌机理和效果及在食品保鲜中的应用[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(4): 48-53.
- ZHANG Y Y, LI Y L, LI S G. Antibacterial mechanism and effects of botanical food preservatives and their application in food fresh-keeping[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(4): 48-53.
- [24] 梁家铭, 邱洁瑜, 林文雄, 等. 酶解法制备琼胶寡糖的抑菌性证明[J]. 广州化工, 2019, 47(18): 63-65+120.
- LIANG J M, QIU J Y, LIN W X, et al. Study on antibacterial properties of agaro-oligosaccharides prepared by enzymatic hydrolysis[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2019, 47(18): 63-65+120.
- [25] 龙娅, 胡文忠, 萨仁高娃, 等. 鲜切果蔬精准保鲜包装技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 249-256.
- LONG Y, HU W Z, SARENGAOWA, et al. Research progress of precision packaging technology for fresh cut fruits and vegetables [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(12): 249-256.
- [26] 刘香军, 高凯, 高玉敏, 等. 成品粮丁香精油微囊化防霉保鲜剂的研制[J]. 食品工业, 2015, 36(5): 156-160.
- LIU X J, GAO K, GAO Y M, et al. Preparation of clove essential oil microencapsulated mildew preservatives for refined grain[J]. The Food Industry, 2015, 36(5): 156-160.
- [27] 黎星辰, 伍彦婷, 张大凤, 等. 肉桂精油微胶囊保鲜剂对大豆储藏过程中品质指标影响[J]. 食品工业, 2016, 37(9): 4-7.
- LI X C, WU Y T, ZHANG D F, et al. Study on effects of cinnamon essential oil microcapsule preservative in quality indexes of soybean during storage period[J]. The Food Industry, 2016, 37(9): 4-7.
- [28] XIAO Z, KANG Y, HOU W, et al. Microcapsules based on octenyl succinic anhydride (osa)-modified starch and maltodextrins changing the composition and release property of rose essential oil[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 137(15): 132-138.
- [29] 卢延霞, 张岩, 姜文利, 等. 低压等离子体改性淀粉用于精油微胶囊的制备研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(2): 17-20.
- LU Y X, ZHANG Y, JIANG W L, et al. Preparation of garlic oil microencapsulation with modified corn starch by low pressure plasma[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(2): 17-20.
- [30] 杨震宇, 文卓琼, 谢川, 等. 壳聚糖-肉桂精油复合膜对鲜切雪莲果保鲜效果的影响[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(6): 50-52.
- YANG Z Y, WEN Z Q, XIE C, et al. Preservative effect of chitosan- cinnamon essential oil compound coating on fresh-cut yacon[J]. Cereals&Oils, 2019, 32(6): 50-52.
- [31] GUERRA I C D, DEO P D L, LIMA D S P A, et al. Coatings comprising chitosan and mentha piperita l. or mentha x villosa huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherry tomato fruit[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 214(2): 168-178.
- [32] MAJDINASAB M, NIAKOUSARI M, SHAGHAGHIAN S, et al. Antimicrobial and antioxidant coating based on basil seed gum incorporated with shirazi thyme and summer savory essential oils emulsions for shelf-life extension of refrigerated chicken fillets[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 106011.
- [33] 吴广通, 张夏华, 李凤前. 改善中药挥发油稳定性的制剂学研究进展[J]. 药学服务与研究, 2008, 8(3): 197-200.
- WU G T, ZHANG X H, LI F Q. Advances in pharmaceutical studies on improvement of stability of volatile oils of Chinese materia medica[J]. Pharm Care & Res, 2008, 8(3): 197-200.
- [34] SEBAALY C, JRAIJ A, FESSII H, et al. Preparation and characterization of clove essential oil-loaded liposomes[J]. Food Chemistry, 2015, 178(1): 52-62.
- [35] 崔海英, 袁璐, 黎雅婷, 等. 豆蔻精油纳米脂质体的制备及在不同肉制品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2016(10): 107-111.
- CUI H Y, YUAN L, LI Y T, et al. Preparation of nutmeg oil encapsulated in liposome and its application in meat products[J]. China Food Additives, 2016(10): 107-111.
- [36] RISALITI L, KEHAGIA A, DAOULTZI E, et al. Liposomes loaded with salvia triloba and rosmarinus officinalis essential oils: in vitro assessment of antioxidant, antiinflammatory and antibacterial activities[J]. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 2019, 51: 493-498.
- [37] 朱钦麟, 李英, 水凝胶在药物缓释中的应用[J]. 比较化学, 2018, 2(3): 110-113.
- ZHU Q L, LI Y. Application of hydrogels in drug delivery[J]. Journal of Comparative Chemistry, 2018, 2(3): 110-113.
- [38] 梁乐谊, 蔡慧娟, 邓静茹, 等. 辛夷油微乳凝胶的研制及其药效学研究[J]. 中国新药杂志, 2019, 28(23): 2899-2908.
- LIANG L Y, CAI H X, DENG J R, et al. Preparation and pharmacodynamic study of Flos Magnoliae oil-based microemulsion gel[J]. Chinese Journal of New Drugs, 2019, 28(23): 2899-2908.
- [39] 张琳, 周天啸, 王奔, 等. Fmoc-F 多肽水凝胶对丁香精油的控释作用研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 8-11+79.
- ZHANG L, ZHOU T X, WANG B, et al. Fmoc-F hydrogel for clove oil controlled-release[J]. Food Machinery, 2016, 32(9): 8-11+79.
- [40] 李扬. 当归防霉防虫新剂型的制备[D]. 甘肃中医学院, 2014.
- LI Y. The development of a new preparation for Angelica mould proof and insect-resistant[D]. Gansu University Of Chinese Medicine, 2014.
- [41] LI Y, WANG Y, KONG W, et al. Illiciumverum essential oil, a potential natural fumigant in preservation of lotus seeds from fungal contamination[J]. Food and Chemical Toxicology, 2020, 141: 111347. 完

备注：本文的彩色图表可从本刊官网（<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>）、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。