

花椒挥发油化学成分、生物活性及加工利用研究进展

邵红军¹, 程俊侠², 段玉峰¹

(1.陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062; 2.陕西省环境监测中心站, 陕西 西安 710061)

摘 要: 本文综述花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim)挥发油的化学成分、提取制备、生物活性和加工利用研究进展, 并分析其相关存在的问题, 表明花椒挥发油在食品工业和农产品贮藏保鲜等方面应用潜力巨大。

关键词: 花椒; 挥发油; 化学成分; 生物活性

Advance in Chemical Compositions and Biological Activities of Volatile Components from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim

SHAO Hong-jun¹, CHENG Jun-xia², DUAN Yu-feng¹

(1. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Shaanxi Environmental Monitoring Centre, Xi'an 710061, China)

Abstract: In this article, the chemical components, extraction and separation, biological activities and utilization of volatile compounds from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim are reviewed. Meanwhile, the current problems and future work has also been proposed. Therefore, the volatile components of *Z. bungeanum* Maxim have great potentials as the spice additives or food preservatives.

Key words: *Zanthoxylum bungeanum* Maxim; volatile component; chemical composition; biological activities

中图分类号: TS201.22

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)13-0319-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201313067

花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim)是芸香科(Rutaceae)花椒属植物, 英文名Sichuan pepper或Szechuan pepper, 别名巴椒、川椒、大红袍、大花椒和凤椒等^[1]。花椒是我国重要的辛香料和药用植物, 其果皮用作辛香料, 是“八大味”之一, 干燥果皮易入药, 有温中散寒、除湿、杀虫和止痛等功效^[2-3]。现代天然产物化学和药理学研究进一步表明, 花椒各部位含有挥发油、生物碱、酰胺、木质素、香豆素、甾醇和脂肪酸等多种结构类型次生代谢产物, 具有抗氧化活性、抗肿瘤、消炎、杀虫以及抑菌防腐等多种生物活性^[4-7]。

花椒果实、叶、花和根皮等部位均含有挥发油, 其中果实中含量尤其丰富。花椒挥发油多指从果皮中提取的易挥发成分, 是其呈香和药效的物质基础, 也是评价香气强度和生产品质质量的主要指标。国内外众多学者已对花椒挥发油的化学组成、提取制备及其生理功能作了大量的基础研究, 取得了斐然可观的成果。本文就花椒挥发油的化学成分与提取制备、杀虫抑菌活性和加工利用等方面的研究情况进行综合分析, 以期为我国花椒的精深加工与综合利用提供参考。

1 花椒挥发油化学成分与提取制备

花椒挥发油含有烯炔类、醇类、酮类、酯类和环氧类等多种结构类型小分子物质^[8-9]。已有的研究(表1)表明, 不同产地花椒果皮挥发油化学成分组成与含量存在明显差异。干花椒果皮中挥发油含量一般为2%~5%, 最高可达13%。已鉴定的成分多在30种以上, 最多达到120余种^[9]。虽然不同产地花椒果皮中相对含量在3%以上成分各有不同, 但主要以单萜类物质为主, 共有的成分有柠檬烯、月桂烯、桉树脑、桉烯、 α -蒎烯、松油醇、里哪醇和里哪醇乙酸酯等。相比之下, 花椒叶中挥发油含量较低为0.52%, 含有与果皮相近的挥发性成分, 如1,8-桉叶素41.0%、桉烯8.4%、里哪醇4.5%、4-松油醇5.2%、 α -松油醇4.1%和 β -松油醇2.1%等^[10]。这也说明花椒挥发油的含量和组成不仅易受产地环境因子、提取加工方法等外在因素的影响, 而且因品种、提取部位和采收时期等不同呈现差异。此外, 我国花椒资源丰富, 主栽品种多样, 同属亦有多种植物的果皮用作“花椒”辛香料^[3]。

收稿日期: 2012-05-03

基金项目: 教育部博士点基金项目(20100202120009); 中央高校基本科研业务费专项(GK200902042);

陕西师范大学优秀预研项目(200902013)

作者简介: 邵红军(1977—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为天然产物化学。E-mail: shaohj@snnu.edu.cn

表1 不同产地花椒果皮挥发油中主要化学成分
Table 1 Major constituents and extraction of volatile components in the pericarp of *Z. bungeanum* Maxim from different regions

产地	提取分析方法	化学组成	参考文献
陕西凤县	HD: GC-MS	—:25:β-水芹烯(42.29)、β-月桂烯(10.27)、3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇(6.83)、α-蒎烯(5.62)、α-松油醇(5.03)、4-甲基-β-亚甲基-3-环己烯-1-乙醇酯(4.78)、α-水芹烯(3.70)	[11]
陕西韩城	SE: GC-MS	—:29:柠檬烯(14.82)、β-月桂烯(13.26)、桉树脑(10.69)、桉烯(6.74)、α-蒎烯(5.51)、α-守烯(4.99)、里哪醇(4.51)、α-松油醇(4.32)、α-松油醇乙酸酯(3.36)	[12]
陕西韩城	HD: GC-MS	—:80:桉树脑(15.64)、4-松油醇(15.60)、柠檬烯(13.72)、β-月桂烯(10.20)、α-蒎烯(4.03)、α-松油醇乙酸酯(3.78)、O-甲基异丙基苯(3.20)、里哪醇(3.77)、β-水芹烯(3.16)	[13]
陕西韩城	SFE: GC-MS	—:76:水合松烯乙酸酯(7.93)、柠檬烯(7.46)、β-月桂烯(5.35)、胡椒酮(3.66)、里哪醇(3.57)、桉烯(3.47)、对聚伞花素(3.17)	[14]
四川凉山	HD: GC-MS	—:31:柠檬烯(22.75)、里哪醇(21.70)、罗勒烯(14.27)、2-甲基丙酸乙酯(4.76)、桉树脑(3.92)	[15]
	SFE: GC-MS	—:41:柠檬烯(14.01)、里哪醇(13.18)、罗勒烯(26.23)、2-甲基丙酸乙酯(3.00)、桉树脑(2.89)	
四川茂县	HD: GC-MS	—:41:柠檬烯(18.48)、α-里哪醇(18.27)、里哪醇乙酸酯(12.41)、蒎品烯(5.56)、蒎品烯-4-醇(10.37)、γ-松油烯(3.12)、β-月桂烯(5.10)	[16]
四川汉源	HD: GC-MS	5.6:28:柠檬烯(29.36)、里哪醇(17.02)、β-蒎烯(14.31)、里哪醇乙酸酯(13.84)	[17]
重庆	HD: GC-MS	11:120:里哪醇乙酸酯(15.00)、里哪醇(13.00)、柠檬烯(12.00)、桉烯(5.50)、α-松油醇(3.93)、4-松油醇(7.79)、γ-松油烯(4.86)、月桂烯(5.40)	[9]
重庆	SFME: GC-MS	—:39:按油素(70.50)、里哪醇(2.14)、3-松油醇(8.68)、反式-4-异丙基-1-甲基-2-环己烯-1-醇(5.45)、顺式-4-异丙基-1-甲基-2-环己烯-1-醇(3.37)	[18]
	MAHD: GC-MS	—:52:按油素(56.05)、里哪醇(7.62)、3-松油醇(7.01)、反式-4-异丙基-1-甲基-2-环己烯-1-醇(6.47)、顺式-4-异丙基-1-甲基-2-环己烯-1-醇(5.23)	
	HD: GC-MS	—:59:枞萜(16.59)、4-松油醇(8.92)、β-月桂烯(9.98)、桉树脑(5.89)、α-蒎烯(4.95)、α-松油醇酯(3.22)、桉烯(4.11)、松油烯(3.7)、松油醇(2.59)、β-芳樟醇(3.05)、里哪醇(2.23)	[19]
山东莱芜	MAHD: GC-MS	—:59:枞萜(15.15)、4-松油醇(10.48)、β-月桂烯(8.34)、桉树脑(6.25)、α-蒎烯(4.95)、α-松油醇酯(4.09)、桉烯(3.72)、松油烯(3.65)、松油醇(3.55)、β-芳樟醇(3.05)、β-里哪醇(3.05)	
	HD: GC-MS	—:36:柠檬烯(21.34)、反式-罗勒烯(16.90)、桉烯(9.90)、桉树脑(7.55)、桂烯(6.69)、顺式-罗勒烯(6.07)	[20]
吉林长春	UNE-HS-SDME: GC-MS	—:34:柠檬烯(28.23)、反式-罗勒烯(23.5)、桉烯(9.49)、顺式-罗勒烯(8.70)、月桂烯(7.12)、桉树脑(6.09)	

注：化学组成格式为：得率 %：已鉴定成分数：主要成分(含量%)；—：未测定项目；SE. 溶剂提取；HD. 水蒸气蒸馏；ME. 超声提取；UE. 微波提取；SFE. 超临界 CO₂ 萃取；MAHD. 微波水蒸气蒸馏；UNE-HS-SDME. 超声雾化顶空单滴微萃取；SFME. 无溶剂微波辅助提取。

这不仅造就了其次生代谢产物组成的多样性和复杂性，也给花椒挥发油等产品的品质评价带来了困难，仅测定其含量难以定性表征花椒挥发油等产品的内在品质。因此，在花椒的规范化栽培和挥发油的生产质控中，亟待建立其特征成分的指纹图谱。

目前，用于花椒挥发油的提取方法很多，各有优劣。常用传统方法有SE和HD，现代方法则有ME、UE、SFE和亚临界CO₂萃取等^[21-22]。如表1所示，不同提取方法(如HD与SFE、MAHD与UNE-HS-SDME以及SFME与MAHD)所获挥发油组分差异较小，但各组分的相对含量差别较大，这与提取方法的原理密切相关。HD的提取时间长且温度高，容易提取到低挥发性的高沸点成分。同时，以极性的水分子作为溶剂进行提取，且以挥发油从被提取物扩散至水相为其限速步骤，容易提取到极性的成分^[18]。因此，HD所提挥发油中，大极性、高沸点酯类成分较多，非极性烃类成分较少。相反，SFE和SFME等方法提取的挥发油中，热敏性和含氧成分居多。就这几种方法效率成本而言，HD因其低廉易行应用最为普遍，超声和微波辅助HD进一步提高了精油得率及品质。SFE和亚临界CO₂萃取等方法，则具有短时高效、清洁环保和质量优等优势，是挥发油提取发展的方向。

花椒挥发油的制备工艺多集中在SFE工艺优化。何军等^[23]较早开展了SFE萃取花椒精油的研究。在样品粒度为60目时，采取静态和动态萃取相结合的操作方式，在萃取压力34.48MPa、温度55℃、CO₂体积30mL时，花椒挥发油萃取率高达13.39%。王洪等^[24]优化的提取工艺为萃取温度46℃、萃取压力22MPa、萃取时间120min，经验

证其得率为13.7%。樊振江等^[25]得到的最佳工艺条件为萃取压力30MPa、萃取温度40℃、萃取时间130min，花椒精油得率10.81%。霍文兰^[26]研究表明在萃取温度35℃、萃取压力20MPa、萃取时间2h、夹带剂无水乙醇用量20%、最佳用气比30:1时，花椒精油得率可达13.00%。由此可见，在SFE萃取花椒精油得率均在10%以上，影响萃取率的主要因素有萃取压力、温度、时间以及CO₂体积。郭娟等^[27]确定了亚临界水提取花椒精油的最佳工艺为原料颗粒度0.15mm、提取时间40min、100~150℃的连续程序升温、压力5MPa，花椒精油的得率为5.42%。此外，其他方法提取花椒精油的工艺优化也有部分研究。石雪萍等^[28]通过正交试验优化了花椒水溶性生物碱和精油最佳HD提取工艺条件。李焱等^[29]报道了微波辅助萃取花椒叶挥发油的最佳工艺条件，叶中挥发油提取率为2.29%。如前所述，不同提取方法或制备工艺对花椒挥发油得率、组分与相对含量显然具有重要的影响，但更为重要的是，由此获得的花椒挥发油的感官品质和生物活性等功能变化更值得进一步研究。

2 花椒挥发油生物活性

现代药理学研究表明，花椒挥发油具有抗肿瘤、抗炎镇痛、抑杀人体蠕形螨等多种生理活性，刘媛媛^[6]、狄科^[30]等对其药理功能已有详尽论述，在此就其医药保健功能不再赘述。随着人们对天然食品添加剂和农药的重视，挥发油在此方面的研究与应用也颇受关注^[31-32]。为进一步阐释花椒挥发油在食品贮藏保鲜和农药研究

中的应用情况,下面对其杀虫和抑菌防腐活性作较为系统的介绍。

2.1 杀虫活性

我国早有应用花椒杀虫防腐的实践,现代对花椒挥发油的杀虫抑菌活性研究成果亦证实和丰富了这一点。花椒挥发油对多种储粮害虫具有明显的防控作用,且作用方式多样。SFE萃取的花椒精油粗流分对赤拟谷盗有明显的触杀活性^[33]。聂霄艳等^[34]则发现花椒挥发油对赤拟谷盗的驱避和熏蒸效果优于触杀效果。其中,单体成分里哪醇和 β -水芹烯均对杂拟谷盗成虫有明显的熏蒸效果,以 β -环糊精包和花椒精油包裹可延长药效^[35]。他们还测定了4种提取物对玉米象成虫熏蒸活性,发现花椒挥发油比麻素的作用效果好,高温条件有利于药效的发挥。王步江等^[36]的研究表明花椒挥发油对米象有很强的熏蒸作用和触杀作用,0.10mL/L的花椒挥发油处理18h,米象的死亡率达到90%。花椒挥发油亦对绿豆象和四纹豆象的卵、幼虫、蛹及成虫均表现出熏蒸控制作用,其中对绿豆象卵的控制作用显著(LD_{50} 为28.49 μ L/L)^[37]。李会新等^[38]发现花椒精油对四纹豆象具有明显防效,虫口减退率、防蛀效果和挽回损失率均在90%以上。

此外,花椒挥发油对朱砂叶螨具有良好的熏蒸、触杀和趋避效果^[5,39],对小菜蛾2龄幼虫具有较弱的触杀活性,但对其乙酰胆碱酯酶和羧酸酯酶抑制效果明显。同时,花椒挥发油可对毒死碑、丁硫克百威和阿维菌素等农药起到增效作用^[40]。

2.2 抑菌防腐活性

相比花椒挥发油的杀虫活性研究,其抑菌防腐活性与机制研究则更为深入。花椒挥发油抑菌谱宽,活性显著,作用机制较为明确。其对多种食品致病、致病真菌或细菌均有不同程度的抑制效果。蒋小龙等^[41]比较了花椒精油和部分单体对7种储粮曲霉和青霉的抑菌效果,0.5L/cm³剂量的精油与被测单体均可抑制霉菌孢子萌发和青霉菌。以SFE制备的陕西韩城大红袍花椒挥发油对黑曲霉菌、米曲霉菌、白色念珠菌和大肠杆菌都有较好的抑制效果^[42]。干信等^[43]报道了花椒挥发油不仅能抑制革兰氏阴性菌,也能抑制革兰氏阳性菌,同时对霉菌和真菌也有抑制活性,尤其对青霉和黑曲霉的抑菌效果最好。花椒挥发油对细菌最小抑菌浓度>2%;对啤酒酵母的最小抑菌浓度为2%;对面包酵母和霉菌最小抑菌浓度 $\geq$ 2%。最新的抑菌活性研究显示花椒精油对细菌(金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、蜡样芽孢杆菌、侧孢芽孢杆菌和大肠杆菌)的最小抑制质量浓度和最高杀菌质量浓度分别介于1.25~5.00、2.50~20.00mg/mL,对供试细菌生长和形态结构具有明显抑制破坏作用^[17]。

花椒挥发油还对植物病原真菌具有杀菌活性。其对15种供试植物病原真菌菌丝生长具有明显抑制作用(IC_{50}

均低于1.0mg/mL),其中水稻纹枯病菌和小麦纹枯病菌对其最为敏感^[44]。进一步的研究揭示花椒挥发油可导致水稻纹枯病菌菌丝分支增多,菌丝分支间距明显变短。在1.5 μ L/mL其对菌丝中的多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲基半乳糖醛酸酶和果胶甲基反式消除酶等3种细胞壁降解酶的活性抑制率分别达到95.12%、85.94%和100.00%。以MAHD提取花椒挥发油对黄瓜和菜豆中致腐菌亦有抑制效果^[45]。

另外,花椒挥发油也用于食品防腐提味。如当花椒挥发油为1.5 μ L/mL时,用生姜、大蒜、八角和花椒复配得到的精油,按0.5%的添加量添加到肉肠中,不仅对产品风味具有重要作用,而且可起到防腐和抗氧化的作用^[46]。花椒和大蒜挥发油亦对牛奶和圣女果有很好的防腐保鲜作用^[47]。

因此,花椒精油对储粮害虫熏蒸作用显著,对食品致病、致病真菌或细菌抑制效果明显,在食品或粮食储藏保鲜应用方面拥有巨大潜力。

3 花椒挥发油的加工利用

花椒精油易挥发、化学稳定性较差且难溶于水,这限制了其在食品和药品等中的应用。近年来,为保真和缓释其香气、提高稳定性与水溶性,以 β -环糊精包埋花椒精油的微胶囊研究得到重视。张华等^[48]发现液-液 β -环糊精包合可明显提高花椒精油包合率,其最佳工艺为花椒精油与 β -环糊精的投料比15:10、包合温度95℃、包合时间60min。张璇等^[49]优化了 β -环糊精固定花椒精油条件(加水80倍、精油: β -环糊精1:8、搅拌时间45min),获得了68.28%的包埋率。樊振江等^[50]则研究了以 β -环糊精为壁材超声制备花椒精油微胶囊的最佳包埋工艺,即超声功率200W、包埋温度35℃、包埋时间30min、精油: β -环糊精1:5,包埋率80.1%,并且精油在包埋前后成分无变化。另外,以多孔淀粉^[51]和混合壁材^[52]也用于花椒挥发油的包埋。史劲松等^[53]研究表明由Span60和白芨多糖胶合理配伍,可增强花椒精油的乳化液的稳定性,并赋予产品较好的表观稠度和厚重感。

4 结 语

花椒挥发油是花椒中重要的功能成分,国内外已对其化学组成、制备工艺及生物活性有系统的研究,在医药、食品和农药等领域无疑有着巨大的应用潜力。就在食品工业中的应用而言,结合已有的化学成分研究,花椒挥发油特征性总成分的指纹图谱亟待建立,其主效成分与单体成分间的相互作用关系及其呈香、抑菌和熏蒸杀虫等作用机制有待明确。花椒挥发油的品质安全性、毒性以及对食品感官的影响等研究,特别是以其作为食

品呈香或防腐剂的制剂研发仍需加强。此外,从花椒生产过程中的大量副产物中提取制备花椒挥发油等,将有助于提升花椒综合利用效率和延伸花椒产业链。

参考文献:

- [1] 黄成就. 中国植物志[M]. 第40卷第2分册. 北京: 科学出版社, 1997: 44.
- [2] SEIDEMANN J. World spice plants: economic usage, botany and taxonomy[M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005: 399.
- [3] 张卫明, 肖正春. 中国辛香料植物资源开发利用[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007: 640.
- [4] EPIFANO F M. Searching for novel cancer chemopreventive plants and their products: the genus *Zanthoxylum*[J]. Curr Drug Targets, 2010, 12(13): 1895-1902.
- [5] NEGII J S, BISHTI V K, BHANDARI A K, et al. Chemical constituents and biological activities of the genus *Zanthoxylum*: a review[J]. Afr J Pure Appl Chem, 2011, 5(12): 412-416.
- [6] 刘媛媛, 曹蔚, 张雅, 等. 花椒属植物化学成分及其活性研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2012(3): 28-30.
- [7] 付陈梅, 阚建全, 陈宗道, 等. 花椒的成分研究及其应用[J]. 中国食品添加剂, 2003(4): 83-85.
- [8] TIRILLINI B, MANUNTA A, STOPPINI A M. Constituents of the essential oil of the fruits of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Planta Med, 1991, 57(1): 90-91.
- [9] YANG Xiaogen. Aroma constituents and alkylamides of red and green huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* and *Zanthoxylum schinifolium*)[J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(5): 1689-1696.
- [10] LUONG N X, HAC L V, DUNG N X. Chemical composition of the leaf oil of *Zanthoxylum alatum* Roxb. from Vietnam[J]. J Essent Oil Bearing Plants, 2003, 3: 179-184.
- [11] 崔炳权, 郭晓玲, 林元藻. 陕西凤县大红袍花椒挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 中国医药导报, 2006(36): 21-22.
- [12] 王利平, 李占杰. 陕西韩城大红袍花椒挥发油化学成分的研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(12): 20-23.
- [13] 袁娟丽, 王四旺, 崔雪娜. 花椒挥发油的化学成分分析及体外抑菌活性研究[J]. 现代生物医学进展, 2009, 19(21): 4108-4112.
- [14] 莫彬彬, 万固存, 刘毅, 等. 超临界CO₂萃取九叶青花椒和大红袍花椒挥发油的化学成分分析及香气比较[J]. 中国调味品, 2009, 34(3): 102-105.
- [15] 石雪萍, 张卫明. 花椒挥发油的超临界CO₂萃取法与水蒸气蒸馏法提取的比较[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(6): 46-51.
- [16] 陈训, 贺瑞坤. 顶坛花椒和四川茂县大红袍花椒挥发油的GC-MS分析比较[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1879-1880.
- [17] ZHU Ruixue, ZHONG Kai, ZENG Weicai, et al. Essential oil composition and antibacterial activity of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Afri J Microbiol Res, 2011, 5(26): 4631-4637.
- [18] 邹小兵, 陶进转, 喻彦林, 等. 微波辅助提取花椒挥发油的动力学及成分分析[J]. 高校化学工程学报, 2011, 25(4): 703-707.
- [19] 房信胜, 王超, 马伟志, 等. 微波辅助提取-气相色谱-质谱联用快速分析花椒挥发油[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 262-266.
- [20] WANG Lu, WANG Ziming, LI Xueyuan, et al. Analysis of volatile compounds in the pericarp of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. by ultrasonic nebulization extraction coupled with headspace single-drop microextraction and GC-MS[J]. Chromatographia, 2010, 71(5/6): 455-459.
- [21] 张英, 张卫明, 石雪萍. 花椒精油提取的研究进展[J]. 中国调味品, 2009, 34(5): 39-42.
- [22] THOLL D, BOLAND W, HANSEL A, et al. Practical approaches to plant volatile analysis[J]. Plant J, 2006, 45(4): 540-560.
- [23] 何军, 郭红祥, 陈毓荃, 等. 超临界二氧化碳萃取花椒挥发油研究[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(5): 66-70.
- [24] 王洪, 桂向东. 二氧化碳超临界流体萃取花椒精油工艺的研究[J]. 中国调味品, 2010, 35(9): 90-91.
- [25] 樊振江, 纵伟. 超临界CO₂提取花椒精油的研究[J]. 江苏调味副食品, 2008, 25(1): 10-12.
- [26] 霍文兰. 超临界CO₂萃取花椒挥发油的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 153-155.
- [27] 郭娟, 邢晓阳, 孔令会, 等. 亚临界水提取干花椒中精油的研究[J]. 化学与生物工程, 2009, 26(2): 18-21.
- [28] 石雪萍, 张宇思, 张卫明. 水溶性花椒生物碱及精油同时提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 74-76.
- [29] 李焱, 黄筑艳. 微波萃取花椒叶挥发油的工艺研究[J]. 贵州化工, 2005, 30(3): 17-18.
- [30] 狄科, 石雪萍, 张卫明. 花椒精油研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2011, 30(4): 7-12.
- [31] RAJENDRAN S, SRIRANJINI V. Plant products as fumigants for stored-product insect control[J]. J Stored Prod Res, 2008, 44(2): 126-135.
- [32] JUNEJA V K, DWIVEDI HARI P, YAN X. Novel natural food antimicrobials[J]. Annu Rev Food Sci Technol, 2012, 3: 81-403.
- [33] 郭红祥, 刘全军, 张慧珍, 等. 花椒精油杀虫活性物质的初步分离及抑菌作用[J]. 江西农业学报, 2008, 20(1): 39-40.
- [34] 聂霄艳, 邓永学, 王进军, 等. 花椒精油和麻素对赤拟谷盗成虫的控制作用[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(4): 185-188.
- [35] 刘传云, 姜永嘉. 花椒挥发油组分的分离鉴定包结对拟谷盗毒力测定的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1994, 15(3): 1-13.
- [36] 王步江, 李宁. 花椒精油的制备及其对米象生物活性的影响[J]. 天津农学院学报, 2010, 17(3): 17-20.
- [37] 沈思. 花椒精油及甲酸乙酯对两种豆象的熏蒸活性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [38] 李会新, 魏木山, 易平炎, 等. 25种植物精油对四纹豆象的防治效果[J]. 粮食储藏, 2001, 30(6): 7-9.
- [39] 魏杰, 丁伟. 花椒果实及其精油对朱砂叶螨的生物活性[C]//公共植保与绿色防控, 北京: 中国植物保护学会, 2010: 454-455.
- [40] 孙红霞. 植物精油对几种杀虫剂触杀毒力的影响及增效机理的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [41] 蒋小龙, 杨嘉谷, 刘文斌, 等. 花椒对玉米象、储粮曲霉和青霉防效的初步研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1992, 13(3): 30-39.
- [42] 弭向辉, 龚祝南, 张卫明, 等. 花椒挥发油的提取、分离和抗菌实验[J]. 南京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27(4): 63-66.
- [43] 干信, 吴士筠, 高雯琪. 花椒挥发油抑菌作用研究[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 128-130.
- [44] GONG Youwen, HUANG Yongfu, ZHOU Ligang, et al. Chemical composition and antifungal activity of the fruit oil of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. (Rutaceae) from China[J]. J Essent Oil Res, 2009, 21(2): 174-178.
- [45] 代亨燕, 刘春梅, 谭书明. 不同方法提取香辛料精油对蔬菜抑菌效果的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 23(11): 146-148.
- [46] 刘艳芳, 张贺俊. 复配香料精油对巴氏杀菌香肠货架期的影响[J]. 肉类研究, 2008, 22(7): 59-61.
- [47] 钱骅, 赵伯涛, 夏劲, 等. 九种精油的抗菌活性及其防腐特性研究[J]. 中国调味品, 2010, 35(4): 69-72.
- [48] 张华, 齐香君, 史卓强. β -环糊精包合花椒挥发油的新工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(27): 11630.
- [49] 张璇, 田呈瑞. 固体花椒精油加工关键技术的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 23(8): 307-309.
- [50] 樊振江, 纵伟. 超声法制备花椒精油微胶囊的研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(5): 469-471.
- [51] 刘勋, 宋正富, 胡敏, 等. 多孔淀粉制备微胶囊化粉末花椒精油的研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(4): 408-410.
- [52] 万婷婷, 罗爱平, 张小永, 等. 乳化包埋法制备花椒精油微胶囊的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(2): 34-39.
- [53] 史劲松, 孙达峰, 张卫明, 等. 白芨多糖胶对花椒精油乳液稳定性研究[J]. 中国调味品, 2008, 33(7): 77-80.