

花椒中天然成分提取工艺及在食品中的应用研究进展

Research progress on the extraction process of natural components from *Zanthoxylum bungeanum* and its application in food

屈岩峰^{1,2,3,4}

郭晓婵⁵

唐嘉瞳¹

万芮宁¹

张寒冰⁶

QU Yanfeng^{1,2,3,4} GUO Xiaochan⁵ TANG Jiatong¹ WAN Ruining¹ ZHANG Hanbing⁶

(1. 哈尔滨学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150006;

3. 九三粮油工业集团有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090; 4. 屈岩峰高技能人才(劳模)创新工作室,

黑龙江 哈尔滨 150086; 5. 陕西科技大学, 陕西 咸阳 710021; 6. 黑龙江民族职业学院,

黑龙江 哈尔滨 150066)

(1. Harbin University, Harbin, Heilongjiang 150086, China; 2. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150006, China; 3. Jiusan Oils and Grains Industries Group Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang 150090, China; 4. High-skilled Talents (Model Worker) Innovation Studio of Qu Yanfeng, Harbin, Heilongjiang 150086, China; 5. Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 6. Heilongjiang Minzu College, Harbin, Heilongjiang 150066, China)

摘要:花椒原产于中国,是中国传统的食品调味料与中药药材,在食品加工和疾病预防中发挥着重要作用。文章阐述了近年来花椒及其提取物的研究进展,分别从花椒的活性成分、提取物的提取方法及其在食品加工中的应用等方面进行了探究;主要论述了花椒提取物的生理活性及其提取方法,以及花椒提取物在食品贮藏、调味品及其他食品方面的应用,并对花椒及其提取物在食品行业的前景进行了展望。

关键词:花椒;提取物;活性成分;应用;食品加工

Abstract: *Zanthoxylum bungeanum* is native to China and is a traditional food seasoning and traditional Chinese medicine. It plays an important role in food processing and disease prevention. In this article, the research progress of *Z. bungeanum* and its extracts in recent years is illustrated, the active components, extraction methods of extracts and application in food processing

are analyzed, and the physiological activity, extraction method, and application in food storage, condiment and other food of *Z. bungeanum* extracts are discussed, the *Z. bungeanum* and its extracts in the food industry are prospected.

Keywords: *Zanthoxylum bungeanum*; extracts; active components; application; food processing

花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.)是芸香科花椒属落叶小乔木,截至 2023 年,中国花椒种植面积达到 115.2 万 hm²,产量为 60.27 万 t。花椒全身都是宝,花椒籽可以用来提取花椒油;花椒叶不仅可以作为香精、调料的原料,还可用于制作花椒茶叶;果皮可以制备香料和香精。此外,花椒具有独特的浓烈香气与麻味,为厨房所必备的调味品。随着国内外学者对花椒研究的不断深入,花椒中的一些天然成分也逐渐被广泛重视,主要有生物碱类、挥发油、黄酮类以及酰胺类等,具有降血脂、抗氧化、抗肿瘤、抑菌等作用^[1]。

目前,花椒在食品中的应用主要以原料的初级应用为主,对花椒及其提取物在食品加工中的应用尚处于探索阶段。文章拟着重从花椒的活性成分特点、花椒中活性成分的提取工艺、花椒及其提取物在食品加工中的应用等方面进行阐述与分析,为进一步深化花椒精深加工和提高其综合利用率提供依据。

基金项目:黑龙江省自然科学基金(编号:LH2023C068);哈尔滨市科技计划项目(编号:2022ZCZJCG033);哈尔滨学院乡村振兴博士科研基金(编号:HXC2023002);国家级大学生创新训练项目(编号:202310234073)

作者简介:屈岩峰,男,哈尔滨学院副教授,博士(博士后在站工作)。

通信作者:张寒冰(1980—),女,黑龙江民族职业学院,硕士。

E-mail: 13223937@qq.com

收稿日期:2024-03-27

改回日期:2024-05-17

1 花椒中天然成分的提取工艺

1.1 挥发油提取工艺

挥发油是花椒的主要化学成分之一,其含量约占花椒总量的 0.7%~0.9%,是花椒中香味物质的主要来源,也是评价花椒品质的重要指标。

花椒挥发油中有 50 余种化学成分,在花椒叶、花椒果中均有分布,不同成分其生物活性有所区别,各种挥发油占比因花椒产地和品种不同存在较大差异^[2-3]。花椒挥发油中含有多种化学成分,其主要成分、占比、功能及作用见表 1。

表 1 花椒挥发油中各主要成分占比及其功能作用

Table 1 Proportions, functions, and effects of the main components in volatile oil from *Z. bungeanum*

主要成分	精油(花椒果)百分比/%	功能作用	文献
桉叶油醇	0.23~12.80	抑菌	[4]
芳樟醇	3.06~30.22	具有铃兰香气,抗菌活性、催眠、镇静	[5]
柠檬烯	0.58~32.51	镇咳、祛痰、抑菌	[6]
月桂烯	0.70~11.37	镇痛、抗氧化、抗炎、抗菌	[7]
4-萜烯醇	0.29~22.13	镇痛和镇静、抗氧化、抗炎	[8]
α -蒎烯	0.11~46.24	抗肿瘤、抗真菌、抗过敏、改善溃疡	[9]
罗勒烯	0.37~9.22	提供香气,农业应用中用于害虫防治	[10]
松油醇	0.21~4.31	抗氧、抗菌、驱虫、杀螨作用	[11]

挥发油类物质的提取方法主要有蒸馏法、溶剂萃取法、超临界 CO₂萃取法、微波提取法和超声提取法等。张怀予等^[12]对甘肃武都大红袍花椒中花椒精油提取工艺进行了优化,得到最佳提取工艺条件为料液比 0.11 : 1 (g/mL)、蒸汽用量 73 mL、反应时间 96 min,此时精油得率可达 6.71%。罗凯等^[13]比较了水蒸气蒸馏法、溶剂萃取法以及同时蒸馏萃取法提取花椒挥发油的提取效果,结果表明,溶剂萃取法的花椒挥发油提取率可达 8.37%,但提取物只有 17 种,相比其他方法,其产物种类有所损失。刘琳琪等^[14]通过响应面法优化超临界 CO₂萃取工艺,当提取温度为 42 ℃,压力为 30 MPa,提取时间为 180 min 时,花椒挥发油得率高达 12.70%,远高于水蒸气蒸馏法的。马铃等^[15]利用亚临界流体萃取花椒挥发油,当萃取次数为 3 次,萃取温度为 40 ℃,萃取时间为 40 min,料液比为 1 : 2 (g/mL)时,花椒精油得率可达 15.11%。贾春晓等^[16]采用超高压萃取法提取花椒挥发

油,得到最佳工艺条件为压力 300 MPa,料液比 1 : 40 (g/mL),保压 3 min,此时萃取率高达 24.16%。黄志远等^[17]以无水乙醇为溶剂,将粉碎后的花椒粉于 600 W 的微波反应器中预处理 6 min,所得挥发油萃取率为 8.01%。魏姜勉^[18]采用超声波辅助法提取花椒籽挥发油,得到最佳提取工艺参数为料液比 1 : 26 (mg/mL),超声功率 166 W,超声时间 13 min,花椒籽挥发油得率为 3.29%。综上,从提取率上看,超高压萃取法的提取率最高,各提取方法的主要优缺点及提取率见表 2。

1.2 生物碱类提取工艺

生物碱是一类至少含有一个氮原子的天然存在的碱性有机化合物,是花椒中麻味物质的主要成分,也是一类在中草药中发挥重要作用的化合物。在中国花椒属植物中已确定的生物碱主要以喹啉类、异喹啉类、苯并菲啶类及喹诺酮类主,有 62 种之多,在花椒果、花椒叶、花椒皮中均有不同程度的分布。花椒属植物中苯并菲啶类生物

表 2 花椒挥发油提取工艺的优缺点

Table 2 Advantages and disadvantages of the extraction process of volatile oil from *Z. bungeanum*

方法	优点	缺点	提取率/%	文献
蒸馏法	成本低,易操作	耗时长,热敏性成分易丧失	6.71	[12]
溶剂萃取法	总挥发油损耗较小,成本低,热敏性成分可以保留	挥发油种类损失较大,溶剂易残留,耗时长	8.37	[13]
超临界 CO ₂ 萃取法	耗时短,提取率高,精油纯度高	CO ₂ 气体无法有效回收,一次性投入成本高	12.70	[14]
亚临界流体萃取法	提取率高,热敏性成分可以保留	溶剂回收难度大	15.11	[15]
超高压萃取法	耗时短,耗能低,破坏性小	技术要求高,过程略繁琐,一次性投入大	24.16	[16]
微波辅助提取法	溶剂用量少,耗时短	设备维护成本高	8.01	[17]
超声提取法	耗时短	加工过程中噪音大	3.29	[18]

碱的医用价值最为显著,其抗肿瘤活性最好^[19]。异喹啉类中的小檗碱在抑菌和调节肠道菌群等方面发挥了显著作用。Lyu 等^[20]通过小鼠试验证明,二甲双胍(250 mg/kg)与小檗碱(125 mg/kg)联合作用下,比两者单一使用更能提高胰岛素敏感性,提高降血糖的效果,同时对肠道微生物菌群也起到了调节作用。

目前,生物碱的提取主要集中于总生物碱和新型生物碱提取。张文艳等^[21]以乙醇为溶剂,在超声辅助下对青花椒中的总生物碱进行提取,结果显示,在乙醇体积分数 75%、料液比 1:25 (g/mL)、超声 50 min、温度 30 °C 下,总生物碱得率可达 1.553 μg/mL。Wang 等^[22]以经过 30 min 超声的甲醇为溶剂,从粉碎后的花椒中分离鉴定出一种苯并菲啶类生物碱,命名为 8-羟基-9-甲氧基-2,3-(亚甲二氧基)苯并菲啶。吴蓉蓉等^[23]以 95%乙醇为溶剂,利用正相硅胶、半制备 HPLC、重结晶等色谱方法分离纯化,从青花椒中分离得到了新的生物碱成分 6-甲氧基-咪喃喹诺酮。

1.3 黄酮类提取工艺

黄酮类化合物是一种由两个苯环组成的化合物,两个苯环之间通过 3 个碳原子相连接。Yang 等^[24]分析了花椒叶中的化学成分,发现其中含有大量的黄酮类物质并有很强的自由基清除能力。

花椒的皮、叶、果实、籽中均含有黄酮物质,主要为槲皮苷、槲皮黄酮、金丝桃苷和芦丁等,具有抗氧化、清除自由基、抗癌作用等^[25]。其中,槲皮苷是一种典型的黄酮类物质,其结构如图 1 所示。Karmakar 等^[26]通过 HPLC 分析法发现花椒提取物中含有 3 种黄酮类化合物:芦丁、槲皮素和杨梅素,槲皮素不仅具有抗癌、抗氧化作用,还具有抑制血管纤维化等多种作用。赵唯宇等^[27]研究发现,槲皮素对脑卒中小鼠的血小板活化有明显的抑制作用,并能降低炎症因子的释放,从而提高小鼠的存活率,且槲皮素注入剂量越高,对小鼠的保护作用就越强。

Ma 等^[28]使用水、甲醇、乙酸、氯仿、乙醇、乙酸乙酯和苯 7 种常用溶剂提取花椒中的黄酮类物质,当以乙酸为溶剂时,提取物产率最高,达 24.69%;当以甲醇为溶剂时,提取物中类黄酮含量最高,达(110.69±8.49) g/kg 提取物。

此外,Wu 等^[29]采用超声辅助法从花椒叶中提取了 4 种黄酮类物质,确定了最优工艺参数为乙醇体积分数 60%,超声温度 50 °C,超声功率 400 W,所得黄酮含量为

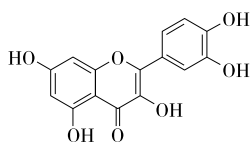


图 1 槲皮素结构式

Figure 1 Structural formula of quercetin

120.84 mg/g。周孟焦等^[30]采用新鲜竹叶花椒果皮为原料,以 60%乙醇为溶剂,在微波辅助下得到黄酮粗提液,并利用聚酰胺—大孔吸附树脂联用法富集纯化处理,总黄酮收率和纯度分别达到了 43.50%和 42.54%。张艳军等^[31]以 7 年生花椒果皮为原料,利用超临界 CO₂萃取分离花椒总黄酮,当萃取温度为 50 °C,压力为 35 MPa,时间为 150 min,夹带剂用量为 4 mL/g 时,总黄酮提取率高,达 19.574%。

1.4 酰胺类提取工艺

酰胺类化合物是花椒属植物的特征性成分,其在花椒果皮中分布较多。酰胺类化合物是花椒“麻”味来源之一,目前,从花椒属植物中分离得到 123 个酰胺类化合物,具有抗炎、镇痛、麻醉、抗肿瘤、降血糖、杀虫等多种生物活性。其中,花椒麻素是一类具有强烈刺激性的物质,其结构中具有链状不饱和脂肪酸酰胺类物质,是花椒在味觉上使人产生麻感的物质基础。Bader 等^[32]在花椒中至少分离并鉴定出 25 种麻味物质,主要包括 α-山椒素、β-山椒素、γ-山椒素、δ-山椒素以其同系物,这类同系物的氨基部分均含有一个羟基,其结构如图 2 所示。多项研究^[33-34]表明,花椒麻素具有麻醉、镇痛、抗炎、除皱和抗癌等多种生理功能。

有关花椒中酰胺类物质的提取,主要是在溶剂萃取法的基础上,结合了硅胶色谱法或柱层析法。Gong 等^[35]将花椒果皮去除精油后,经 95%乙醇回流 4 h 得到粗提液并于真空中脱除乙醇,置于硅胶 CC 色谱柱中通过石油醚梯度洗脱,得到 6 种酰胺类化合物。刘福权等^[36]以甲醇为溶剂,粉碎后的花椒在 43 °C,料液比 1:15 (g/mL) 下提取 4.5 h,再过碱性氧化铝层析柱,最后离心得到 7.68% 的酰胺类物质。此外,赵慧娟等^[37]将花椒渣进行

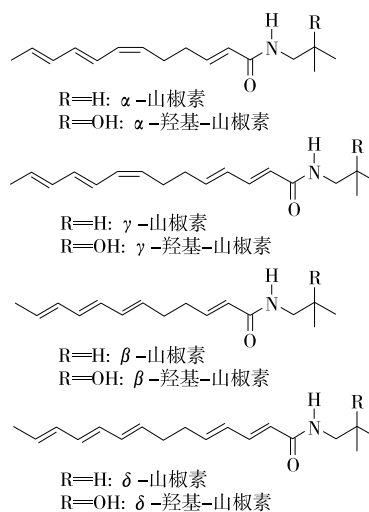


图 2 花椒中主要麻味成分及其结构

Figure 2 Main numb-taste components and structures of *Z. bungeanum*

两次超临界 CO₂ 萃取,萃取条件为压力 25 MPa,温度 40 °C,时间 5 h,得到的产物中检出 4 种酰胺类物质。

1.5 花椒籽蛋白提取工艺

花椒籽是花椒生产加工中的重要副产物之一,脱脂后的花椒饼粕中蛋白质含量高达 48% 以上,脱脂后的花椒仁中蛋白质占比可达 63.41%,甚至超过了大豆、花生等传统植物蛋白原料中的蛋白比例。脱脂花椒仁、花椒饼的蛋白质中,氨基酸种类齐全,其中谷氨酸、天冬氨酸和精氨酸含量最多,且有较高含量的必需氨基酸,尤其是亮氨酸。花椒籽蛋白有充当乳化剂的潜力,翟覆等^[38]分析了不同水解度条件下青花椒籽仁谷蛋白的乳液稳定性,结果显示,在 pH 7~9,水解度 6%,NaCl 浓度 < 200 mmol/L,温度 < 70 °C 条件下,花椒蛋白乳液稳定性最好。

目前,有关花椒籽蛋白的提取方法主要有 Osborne 分级提取法、盐溶法和碱溶酸析法^[39]。Osborne 分级提取法是根据蛋白质溶解特性进行提取分类,用水、稀盐酸、50%~90% 乙醇、稀碱溶液分级提取清蛋白、球蛋白、谷蛋白以及醇溶蛋白。盐溶法是添加一定量的 NaCl 中性盐,增加了蛋白质的表面电荷,从而增强了蛋白分子与水的相互作用力,提高了蛋白溶解度,利用调节溶液 pH 至等电点的方法,进而将蛋白沉淀。碱溶酸析法是经典的植物蛋白提取方法,先利用一定浓度碱性溶液将蛋白溶解,再利用蛋白在等电点时溶解度最小的特点,调节溶液 pH 至等电点,进而使蛋白沉淀。3 种方法中,碱溶酸析法的操作相对简单、提取率高、成本也较低,在工业化生产中被广泛应用。

2 花椒及其提取物在食品中的应用

2.1 花椒及其提取物在食品贮藏中的应用

2.1.1 在食品保鲜中的应用 花椒在食材保鲜方面具有广泛应用,将花椒提取液与其他保鲜物质复合使用,可以达到更好的保鲜效果。郭俊花等^[40]以冬枣为试验材料,用 50 mg/mL 的花椒提取液和 2% 壳聚糖复合涂膜处理冬枣,能有效降低冬枣的腐败率和失重率,保持其优良的硬度,减少可溶性固形物、维生素 C 等营养物质的消耗量。刘倩^[41]研究发现,复合植物精油处理可延长冷鲜羊肉的保鲜期,当复合精油中花椒精油浓度为 5.6% 时,保质期可以延长至 8 d。冯敏等^[42]研究发现,用大蒜、葱白和花椒的复配物涂膜,可使鸡蛋在温度较高时仍具有较好的保鲜效果。其中经花椒原汁涂膜的鸡蛋,存放 20 d 后其感官性状依旧良好。综上,花椒及其提取物与其他保鲜物质复配,可提高农产品、肉制品及畜产品等的保鲜效果。

2.1.2 在食品抗氧化中的应用 花椒中的黄酮化合物广泛分布于花椒果、皮和叶中,赋予了花椒显著的抗氧化作

用。彭青等^[43]通过比较花椒和辣椒在单独使用和联合使用时对亚硝酸盐、DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除作用,得出花椒和辣椒联合使用时具有明显的协同清除作用。李利华^[44]研究发现,花椒提取物对菜籽油和猪油均具有一定的抗氧化作用,将花椒提取物分别与维生素 C 和柠檬酸复配,对抑制油脂的自动氧化具有协同增效作用,且维生素 C 的协同增效作用强于柠檬酸。Li 等^[45]分析了花椒叶醇提取物在脂质氧化方面的应用,在白鲢咸鱼加工过程中加入花椒叶醇提取物,其对白鲢咸鱼的脂质氧化呈抑制作用,且随着花椒叶醇提取物添加量的增大,对脂质氧化的抑制程度也会有所提高。

2.1.3 在食品抑菌中的应用 有研究^[46-47]表明,花椒及其提取物具有一定的抑菌作用。花椒提取物在肉制品加工中的应用比较多,尤其是对加工过程中形成有害物质的控制方面的应用。花椒提取物不仅能够抑制牛肉饼中总杂环胺的形成,且在牛肉饼中也具有良好的抑菌效果,对肉饼品质有较大的改善作用^[48]。此外,花椒精油可以抑制苹果、梨采摘后青霉病的生长繁殖,保持果实的质地,延长保质期^[49]。姜太玲等^[50]发现,用胃蛋白酶水解花椒籽蛋白可获得具有抗菌活性的抗菌肽,该抗菌肽对大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌均具有抑制作用,且抗菌肽的抑菌活性随浓度的升高而增强,在肉制品中添加少量的抗菌肽,可以控制细菌的生长。

2.2 花椒酰胺独特香气的应用

花椒作为中国的一种传统调味料,在调料“十三香”中位居第一,被称为“调味之王”,具有一定麻味、增香辛、除腥减膻等作用^[51]。袁小钧等^[52]利用电子鼻和气相色谱质谱联用测定了不同的烹饪方式下椒麻味的差别,结果表明,油炸对花椒风味影响较大,汽蒸和水煮能较好地保留花椒原有风味。有研究^[53]显示,花椒中的酰胺基团电子云密度增高,与质子结合力增强,进而刺激舌黏膜和触觉神经,可能是人们产生辛辣感受的主要原因。花椒复合调味料由于其富含酰胺类物质、生物碱等成分,可以使菜肴口感更佳,其在川菜中应用较多,比如在烤鱼、火锅以及麻辣鸭脖等香辣味食品中被广泛应用。

2.3 花椒及其提取物在其他食品中的应用

花椒及其提取物具有抗氧化、增强免疫力、调节肠道菌群等多种保健功效,具有较好的应用价值。花椒籽中富含 α -亚麻酸,是人体不能合成的必需脂肪酸,必须从食物中获取,其可作为营养补充剂添加到面包、饼干、蛋糕、果汁和婴幼儿奶粉等食品和饮品中。目前,用花椒果皮调和的酸奶、以花椒芽为主料调配的花椒茶等均占有一定的市场份额。此外,花椒籽中还含有大量的蛋白质,除了赖氨酸含量较低外,其他氨基酸含量较为丰富,是生产

抗氧化肽的最佳原料。抗氧化肽具有保护细胞正常结构与功能、减少体内自由基含量、预防脂质过氧化等作用,还可以提高肌肤品质、抗衰老,因此被广泛应用于食品行业中。

3 总结与展望

花椒中挥发油类、酰胺类、生物碱、黄酮类、花椒蛋白等提取物均有丰富的生理活性和开发利用价值,对挥发油类、酰胺类等物质的提取主要采用溶剂法、超声提取法、微波辅助法和超临界流体提取法等,各方法在不同的反应条件下体现出独特优势。花椒及其提取物在食品加工中可以起保鲜、抗菌、抗氧化、提香等作用,但花椒及其提取物的精深加工尚处于摸索阶段,后续可以开发花椒提取物的功能性食品。此外,休闲食品也是重要的研究领域,目前花椒休闲食品主要集中于花椒锅巴等极少数产品。花椒在中国有着悠久历史和文化传统,其发展空间大,应用前景广阔,延伸花椒产业链,提高产品附加值,对于乡村振兴、发展国民经济具有积极意义。

参考文献

- [1] 杨成峻, 陈明舜, 刘成梅, 等. 花椒果皮多酚类成分鉴定及降血糖活性[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 271-278.
YANG C J, CHEN M S, LIU C M, et al. Chemical composition and hypoglycemic activity of phenolic extract from *Zanthoxylum bungeanum* pericarps[J]. Food Science, 2023, 44(2): 271-278.
- [2] 余丽. 花椒化学型与其结构发育相关性的研究[D]. 兰州: 西北民族大学, 2021: 25-30.
YU L. Study on the correlation between the chemical type and structure development of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim [D]. Lanzhou: Northwest Minzu University, 2021: 25-30.
- [3] 李东, 张琼, 何新益, 等. 花椒风味油茶籽油制备及挥发性物质分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 166-172.
LI D, ZHANG Q, HE X Y, et al. Preparation and volatile compounds analysis of Camellia seed oil with *Zanthoxylum flavor* [J]. Food & Machinery, 2023, 39(5): 166-172.
- [4] 王曼笛. 艾草精油主要化合物桉叶油醇的抑菌机理及艾草精油 Pickering 乳液抑菌作用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
WANG M D. Antibacterial mechanism of the main compounds in *Artemisia argyi* essential oil-eucalyptol and antibacterial effect of *Artemisia argyi* essential oil Pickering emulsion [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022.
- [5] SINGH A, DHAMI A, PALARYA D, et al. Methyl nonyl ketone and linalool rich essential oils from three accessions of *Zanthoxylum armatum* (DC.) and their biological activities [J]. Aki Nik Publications, 2019, 7(3): 20-28.
- [6] 刘洋, 吉燕华, 雒珂昕, 等. 柠檬烯应用的研究现状[J]. 中药药理与临床, 2021, 37(5): 244-248.
LIU Y, JI Y H, LUO K X, et al. Research status of application of limonene[J]. Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica, 2021, 37(5): 244-248.
- [7] 李潮俊, 何鑫柱, 陈凯, 等. 花椒挥发油的生物活性及提取方法研究进展[J]. 农产品加工, 2022(17): 102-106.
LI C J, HE X Z, CHEN K, et al. Research progress on the biological activity and extraction methods of volatile oil from *Zanthoxylum bungeanum* maxim [J]. Farm Products Processing, 2022 (17): 102-106.
- [8] LIU S, ZHAO Y, CUI H F, et al. 4-Terpineol exhibits potent in vitro and in vivo anticancer effects in Hep-G2 hepatocellular carcinoma cells by suppressing cell migration and inducing apoptosis and sub-G1 cell cycle arrest[J]. Journal of BUON: Official Journal of the Balkan Union of Oncology, 2016, 21(5): 1 195-1 202.
- [9] ZHANG Z, GUO S, LIU X, et al. Synergistic antitumor effect of α -pinene and β -pinene with paclitaxel against non-small-cell lung carcinoma (NSCLC)[J]. Drug Res: Stuttg, 2015, 65(4): 214-218.
- [10] XIAO M, LIU R, LONG C F, et al. Using beta-ocimene to increase the artemisinin content in juvenile plants of *Artemisia annua* L[J]. Biotechnol Lett, 2020, 42(7): 1 161-1 167.
- [11] GARDÊNIA M D S, CINTHIA B B C, MÁRIO R M J, et al. The effect of α -terpineol enantiomers on biomarkers of rats fed a high-fat diet[J]. Heliyon, 2020, 6: e03752.
- [12] 张怀予, 王军节, 陈园凡, 等. 水蒸气蒸馏法提取花椒精油及挥发性成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(7): 166-172.
ZHANG H Y, WANG J J, CHEN Y F, et al. Optimization of steam distillation extraction of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil by response surface methodology and essential volatile components analysis [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40 (7): 166-172.
- [13] 罗凯, 朱琳, 阚建全. 水蒸汽蒸馏、溶剂萃取、同时蒸馏萃取法提取花椒挥发油的效果比较[J]. 食品科技, 2012, 37(10): 234-236, 240.
LUO K, ZHU L, KAN J Q. Comparison on extraction of steam distillation, solvent, simultaneous distillation for *Zanthoxylum* essential oil[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(10): 234-236, 240.
- [14] 刘琳琪, 赵晨曦, 李佩娟, 等. 花椒挥发油超临界 CO₂ 萃取的工艺优化及 GC-MS 分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 73-80.
LIU L Q, ZHAO C X, LI P J, et al. Optimization of supercritical CO₂ extraction process of essential oil from *Zanthoxylum bungeanum* maxim. and its chemical composition[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 73-80.
- [15] 马铃, 郭川川, 张峰轶, 等. 花椒精油亚临界流体萃取工艺优化及 GC-MS 分析[J]. 中国酿造, 2022, 41(10): 201-206.
MA L, GUO C C, ZHANG F T, et al. Optimization of subcritical fluid extraction process and GC-MS analysis of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil[J]. China Brewing, 2022, 41(10): 201-206.
- [16] 贾春晓, 张瑾洁, 贾蓓蕾, 等. 超高压萃取花椒精油及其化学成分分析[J]. 中国调味品, 2015, 40(7): 51-55.

- JIA C X, ZHANG J J, JIA B L, et al. Analysis of chemical components of essential oil from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim extracted by ultra-high pressure method [J]. China Condiment, 2015, 40(7): 51-55.
- [17] 黄志远, 刘长玲. 响应面优化微波辅助提取花椒精油的工艺研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(2): 103-107.
- HUANG Z Y, LIU C L. Study on process optimization of microwave assisted extraction of essential oil from *Zanthoxylum bungeanum* by response surface methodology [J]. China Condiment, 2018, 43(2): 103-107.
- [18] 魏姜勉. 超声波辅助提取花椒籽挥发油工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(8): 125-133.
- WEI J M. Study of ultrasonic-assisted extraction process and extracorporeal anti-oxidation activity of *Zanthoxylum bungeanum* seed volatile oil[J]. China Food Additives, 2021, 32(8): 125-133.
- [19] KUMAR S, DEEPAK P, ACHARYA A. A benzophenanthridine alkaloid, chelerythrine induces apoptosis in vitro in a Dalton's lymphoma[J]. J Cancer Res Ther, 2013, 9(4): 693-700.
- [20] LYU Y, LI D, YUAN X, et al. Effects of combination treatment with metformin and berberine on hypoglycemic activity and gut microbiota modulation in db/db mice [J]. Phytomedicine, 2022, 101: 154099.
- [21] 张文艳, 陈茜, 李俊杰, 等. 花椒总生物碱提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品安全导刊, 2022(30): 141-144.
- ZHANG W Y, CHEN Q, LI J J, et al. Study on extraction technology and activity of alkaloids from *Zanthoxylum bungeanum*[J]. China Food Safety Magazine, 2022(30): 141-144.
- [22] WANG C F, YOU C X, YANG K, et al. Antifeedant activities of methanol extracts of four *Zanthoxylum* species and benzophenanthridines from stem bark of *Zanthoxylum schinifolium* against *Tribolium castaneum* [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 74(11): 407-411.
- [23] 吴蓉蓉, 田书璿, 陈勇, 等. 青花椒生物碱类化学成分及生物活性研究[J]. 中草药, 2019, 50(6): 1 305-1 309.
- WU R R, TIAN S Y, CHEN Y, et al. Studies on chemical constituents and bioactivities of alkaloids from *zanthoxylum schinifolium*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(6): 1 305-1 309.
- [24] YANG L C, LI R, TAN J, et al. Polyphenolics composition of the leaves of *Zanthoxylum bungeanum* grown in Hebei, China, and their radical scavenging activities[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(8): 1 772-1 778.
- [25] 周孟焦, 何鑫柱, 李朝俊, 等. 竹叶花椒黄酮抗氧化性及协同效应研究[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 139-143.
- ZHOU M J, HE X Z, LI C J, et al. Study on antioxidant activity and synergistic effect of flavonoids from *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Food & Machinery, 2021, 2023, 39(5): 139-143.
- [26] KARMAKAR I, HALDAR S, CHAKRABORTY M, et al. Regulation of apoptosis through bcl-2/bax proteins expression and DNA damage by *Zanthoxylum alatum* [J]. Pharm Biol, 2016, 54(3): 503-508.
- [27] 赵唯宇, 李世一, 辛光, 等. 槲皮素对高血压小鼠缺血性脑卒中的保护作用及其机制[J]. 华西药学杂志, 2021, 36(2): 173-177.
- ZHAO W Y, LI S Y, XIN G, et al. Protective effects of quercetin on hypertensive mice and its mechanism[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2021, 36(2): 173-177.
- [28] MA Y, LI X, HOU L X. Extraction solvent affects the antioxidant, antimicrobial, cholinesterase and HepG2 human hepatocellular carcinoma cell inhibitory activities of *Zanthoxylum bungeanum* pericarps and the major chemical components[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 142: 111872.
- [29] WU Z C, WANG W, HE F Y, et al. Simultaneous enrichment and separation of four flavonoids from *Zanthoxylum bungeanum* leaves by ultrasound-assisted extraction and macroporous resins with evaluation of antioxidant activities [J]. Journal of Food Science, 2018, 83(8): 2 109-2 118.
- [30] 周孟焦, 何鑫柱, 陈凯, 等. 竹叶花椒中总黄酮提取及富集试验研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(21): 69-73.
- ZHOU M J, HE X Z, CHEN K, et al. Investigation on extraction and enrichment of flavonoids from *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Food Research and Development, 2021, 42(21): 69-73.
- [31] 张艳军, 杨途熙, 魏安智, 等. 超临界 CO₂ 萃取花椒果皮总黄酮的工艺[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 188-191.
- ZHANG Y J, YANG T X, WEI A Z, et al. Supercritical fluid extraction of total flavonoids from *Zanthoxylum bungeanum* maxim pericarp [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 188-191.
- [32] BADER M, STARK T D, DAWID C, et al. All-trans-configuration in *Zanthoxylum* alkylamides swaps the tingling with a numbing sensation and diminishes salivation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(12): 2 479-2 488.
- [33] TSUNOZAKI M, LENNERTZ R C, VILCEANU D, et al. A 'toothache tree' alkylamide inhibits A δ mechanonociceptors to alleviate mechanical pain[J]. The Journal of Physiology, 2013, 591(13): 3 325-3 340.
- [34] DEVKOTA K P, WILSON J, HENRIC H C J, et al. Isobutylhydroxyamides from the pericarp of Nepalese *Zanthoxylum armatum* inhibit NF1-defective tumor cell line growth[J]. Journal of Natural Products, 2013, 76(1): 59-63.
- [35] GONG Y, SUN W H, XU T T, et al. Chemical constituents from the pericarps of *Zanthoxylum bungeanum* and their chemotaxonomic significance [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2021, 95: 104213.
- [36] 刘福权, 巫碧清, 赵志峰, 等. 花椒中典型酰胺类物质的提取工艺优化研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(8): 25-29.
- LIU F Q, WU B Q, ZHAO Z F, et al. Research on optimization of extraction process of typical amides in *Zanthoxylum bungeanum*

- [J]. China Condiment, 2017, 42(8): 25-29.
- [37] 赵慧娟, 许腾腾, 赵楠, 等. 花椒渣超临界 CO₂ 萃取物成分及其活性分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(24): 256-262.
- ZHAO H J, XU T T, ZHAO N, et al. Composition and activity analysis of supercritical CO₂ extract from *Zanthoxylum bungeanum* residue[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(24): 256-262.
- [38] 瞿媛, 侯晓艳, 黎杉珊, 等. 酶解青椒籽仁谷蛋白的乳液稳定性研究[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 146-153.
- QU Y, HOU X Y, LI S S, et al. Emulsion stability of *Zanthoxylum armatum* DC. seed kernel glutelin by enzymatic hydrolysis[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 146-153.
- [39] 吕俊霞. 花椒籽蛋白提取及体外模拟消化产物的鉴定与分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020: 2-3.
- LU J X. Extraction of *Zanthoxylum* seed protein and identification and analysis of simulated digestion products in vitro[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2020: 2-3.
- [40] 郭俊花, 张增帅, 马欣, 等. 花椒提取液与壳聚糖复合膜对冬枣保鲜效果的影响[J]. 食品工程, 2021(1): 20-24.
- GUO J H, ZHANG Z S, MA X, et al. The effect of *Zanthoxylum bungeanum* extract and chitosan composite film on the preservation of winter jujube[J]. Food Engineering, 2021(1): 20-24.
- [41] 刘倩. 孜然、花椒、肉桂精油复配对冷鲜羊肉保鲜效果的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019: 44-48.
- LIU Q. Study on the fresh-keeping effect of cumin, pepper and cinnamon essential oil on chilled mutton[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019: 44-48.
- [42] 冯敏, 孔淑贞, 杨青青. 大蒜、葱白和花椒复配物涂膜对鸡蛋在高温下贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 43-47.
- FENG M, KONG S Z, YANG Q Q. Effects of the combination of garlic, fistular onion stalk and pepper coating on eggs under high temperature storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 43-47.
- [43] 彭青, 卢云浩, 何强. 花椒与辣椒协同抗氧化作用评价研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 40-45.
- PENG Q, LU Y H, HE Q. Evaluation on the synergistic antioxidant effects of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. and *Capsicum annum* L.[J]. China Condiment, 2022, 47(1): 40-45.
- [44] 李利华. 花椒提取物对油脂的抗氧化性能研究[J]. 中国调味品, 2014, 39(11): 38-40, 55.
- LI L H. Antioxidant properties of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim extracts on edible oils[J]. China Condiment, 2014, 39(11): 38-40, 55.
- [45] LI J, LIU Q, WANG J, et al. Effect of red pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) leaf extract on volatile flavor compounds of salted silver carp[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(3): 1 355-1 364.
- [46] DIAO W R, HU Q P, FENG S S, et al. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from green Huajiao (*Zanthoxylum schiniifolium*) against selected foodborne pathogens[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(25): 6 044-6 049.
- [47] LI R, YANG J J, SHI Y X, et al. Chemical composition, antimicrobial and anti-inflammatory activities of the essential oil from Magian (*Zanthoxylum myriacanthum* var. *pubescens*) in Xishuangbanna, SW China[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2014, 158(10): 43-48.
- [48] 王未, 任晓璞, 鲍英杰, 等. 花椒叶提取物对烤牛肉饼杂环胺形成的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 40-47.
- WANG W, REN X P, BAO Y J, et al. Effect of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. leaf extract on the formation of heterocyclic amines in roast beef patties[J]. Food Science, 2021, 42(24): 40-47.
- [49] 王聪, 沈浩, 蒲国顺, 等. 花椒精油对苹果梨采后青霉病的控制及感官和质地品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 219-225.
- WANG C, SHEN H, PU G S, et al. Control of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil on postharvest blue mold of *Pyrus bretschneideri* cv. Pingguoli and its effect on sensory and texture quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(24): 219-225.
- [50] 姜太玲, 吴红洋, 申光辉, 等. 花椒籽蛋白抗菌肽的抑菌作用及其稳定性研究[J]. 现代食品科技, 2015(8): 129-135.
- JIANG T L, WU H Y, SHEN G H, et al. Antibacterial activity and stability of antimicrobial peptides in Chinese prickly ash seed proteins[J]. Modern Food Science and Technology, 2015(8): 129-135.
- [51] 高夏洁, 钟葵, 赵镭, 等. 不同产区花椒油的椒麻感官特性及物质组成[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 281-287.
- GAO X J, ZHONG K, ZHAO L, et al. Sensory numb taste characteristics and numb taste-active components of pepper oil produced in different areas of China[J]. Food Science, 2022, 43(8): 281-287.
- [52] 袁小钧, 钟世荣, 易宇文, 等. 基于电子鼻和气质联用分析烹饪方式对青花椒挥发性特征风味的影响[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(10): 127-139.
- YUAN X J, ZHONG S R, YI Y W, et al. Analysis of the influence of cooking methods on volatile flavor of green prickly ash by E-nose and GC-MS[J]. China Food Additives, 2021, 32(10): 127-139.
- [53] 徐丹萍, 蒲彪, 叶萌, 等. 花椒中麻味物质的呈味机理及制备方法研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 304-309.
- XU D P, PU B, YE M, et al. A review on the mechanism of the perception of pungent compounds in prickly ash and methods for their preparation[J]. Food Science, 2018, 39(13): 304-309.