

佛手精油及相关产品开发的研究进展

金雯芳^{1,2}, 沈丽红¹, 任加惠¹, 金江淼¹, 沈忆奕³, 朱君俏³, 梁宗锁^{1,2*}, 杨东风^{1,2*}

1. 浙江理工大学生命科学院, 浙江 杭州 310018
2. 浙江省植物次生代谢调控重点实验室, 浙江 杭州 310018
3. 杭州析草生物科技有限公司, 浙江 杭州 310004

摘要: 佛手精油是从新鲜佛手中提取出来的一种气味清新、略带花香的挥发油, 是天然香料精油中的一种。其具有明显的抗菌、抗炎作用, 能治疗晒伤、牛皮癣、粉刺, 改善皮肤等, 还能起到抗抑郁、舒缓情绪的作用。佛手精油在国外一直被认为是一种名贵的香料精油, 并且在食品和化妆品中具有较高的应用价值。目前, 国内外学者对佛手精油的研究主要集中在优化提取工艺、成分分析、药理作用等方面。随着佛手精油及相关产品的不断开发与应用, 佛手精油的研究范围越来越广。主要综述了佛手精油的提取工艺、精油中各种成分的分析、精油的药理作用及其相关应用等方面的研究进展, 并针对佛手精油研究过程中出现的各种问题进行了阐述, 指出了相应的解决方案, 对未来佛手精油的发展进行了展望。

关键词: 佛手; 精油; 提取工艺; 抗菌; 抗炎; 抗抑郁

中图分类号: R284; R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2016)05-0857-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.05.029

Research progress on bergamot essential oil and its related product development

JIN Wen-fang^{1, 2}, SHEN Li-hong¹, REN Jia-hui¹, JIN Jiang-miao¹, SHEN Yi-yi³, ZHU Jun-qiao³, LIANG Zong-suo^{1, 2}, YANG Dong-feng^{1, 2}

1. School of Life Sciences, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China
2. Key Laboratory of Plant Secondary Metabolism and Regulation of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China
3. Hangzhou Xicao Biotechnology Co., Ltd., Hangzhou 310004, China

Abstract: Bergamot essential oil with the fragrance of flowers in pure and fresh smell is a kind of volatile oil extracted from fresh *Citri Sarcodactylis Fructus*. Like orange and lemon, it is a kind of natural perfume oil. Bergamot essential oil, with obvious antibacterial and anti-inflammatory effects, can treat sunburn, psoriasis, acne, improve skin, etc. It also can create a relaxed and pleasant feeling and thereby has the effect of antidepressant. Bergamot essential oil has been considered as rare spice oil, and has high value of application in the food and cosmetics industry in foreign countries. At present, the researches on bergamot essential oil by domestic and foreign scholars mainly focus on the optimization of extraction process, component analysis, pharmacological action, and other aspects. With the continuous developments and applications of bergamot essential oil and related products, the range of study for bergamot essential oil is getting more and more widely. This paper reviews the researches on the extraction technologies, various components analysis, pharmacological effects, and applications of bergamot essential oil. At the same time, all kinds of problems probably occurred in the process of bergamot essential oil researches are discussed and the corresponding solutions are pointed out. Finally, some possible development trends and the prospects of the research on bergamot essential oil are also related. Thus more information about the research progress of various aspects of bergamot essential oil can be obtained and serve the research and product development of bergamot essential oil better in our country.

Key words: *Citri Sarcodactylis Fructus*; essential oil; extraction process; antibacterial; anti-inflammation; antidepression

收稿日期: 2015-06-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81373908, 81403033); 浙江省自然科学基金(LZ16H280001); 浙江省科技厅公益性技术应用研究计划(2014C32108); 浙江省生物学重中之重学科和浙江省植物学高校重点学科

*通信作者 梁宗锁(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事药用植物和中药资源开发研究。E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn
杨东风(1983—), 男, 副教授, 主要从事药用植物和中药资源开发研究。E-mail: ydf807@sina.com

佛手 *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* (Noot.) Swingle 是芸香科植物的成熟果实, 又名九爪木、五指橘、佛手柑, 为芸香科常绿小乔木。其主要分布于热带、亚热带, 我国浙江、福建、广东、广西、四川、云南等地均有栽培。佛手根、茎、叶、花、果均可入药。20 世纪 80 年代以来, 各国对于佛手的研究工作全面展开, 研究方法和手段不断改进, 研究领域不断扩大。佛手中富含挥发性精油, 是一类应用较多的天然香料精油。佛手中的挥发油量可达 1.6%, 是重要的高档香料植物^[1]。佛手精油无色透明, 气味清香淡雅, 能使人产生放松和愉悦的感觉, 在食品、药品以及化妆品行业具有广泛的应用价值。佛手精油的主要成分是萜烯类、倍半萜烯类以及高级醇类、醛类、酮类、酯类等多种生理活性物质^[2], 具有较高的药用价值。综观国内外对佛手精油的研究工作, 主要包括佛手精油的提取工艺、佛手精油的成分鉴定分析、佛手精油的药理作用及其相关的应用性产品开发研究等方面。

1 佛手精油的提取工艺研究

1.1 佛手精油主要的提取方法

目前, 对于佛手精油的提取方法主要有水蒸气蒸馏法、冷榨法、有机溶剂回流法、同步蒸馏-萃取法和超临界 CO₂ 萃取法等^[3]。这些方法都有各自的优点和缺点, 需要通过一系列的实验寻找最佳的提取工艺。

1.1.1 水蒸气蒸馏法 对于像佛手这种柑橘属植物来说, 水蒸气蒸馏法是目前最常用的提取精油的方法。王晓杰等^[4]以新鲜佛手为研究对象, 通过正交试验确定了水蒸气蒸馏法提取佛手精油的最佳工艺条件: 蒸馏时间 1.5 h, 颗粒直径 7 mm, 水蒸气流量 600 mL, 料液比为 2:1。但是水蒸气蒸馏对精油中的某些热敏成分有一定的破坏作用, 从而影响香气的完整性和精油的品质。

1.1.2 压榨法 压榨法一般适用于含油量高的新鲜植物药材的提取。近年来国外有很多关于佛手冷榨油分析的报道。Belsito 等^[5]采用冷榨法提取不同时期 2 种品种佛手精油。其最大特点是生产过程可以在室温下进行, 确保产品质量, 防止热不稳定成分分解。谢练武等^[6]发现利用压榨法生产的精油, 其香气更自然。但压榨法提取精油出油率较低, 所得的产品不纯, 再加上操作复杂, 不适于工业推广。

1.1.3 有机溶剂萃取法 有机溶剂萃取法即用石油醚、乙醇、甲醇、二氯乙烷等^[7]有机溶剂将精油浸

提出来, 也是一种较为常用的提取方法。用此法提取时, 精油的出油率高, 条件温和^[8]。但是由于大多数有机溶剂都有一定毒性且有可能残留, 使得所得精油含杂质较多。朱岳麟等^[9]用溶剂萃取法提取金柚果皮精油时就发现得到的精油呈浅黄色, 且含少量蜡状沉淀物。

1.1.4 其他方法 超临界流体技术是近年来迅速发展起来的一种分离分析技术。目前, 该技术已经广泛应用于医药、食品、环保等领域^[10]。超临界 CO₂ 萃取特别适用于提取像佛手精油这种不稳定、易氧化、受热易分解的成分^[11]。马越等^[12]已经运用超临界 CO₂ 萃取技术提取佛手精油, 并确定了最佳的工艺条件: 萃取温度 60 °C, 萃取压力 40 MPa, 分离温度 35 °C, 分离压力 10 MPa。但是超临界 CO₂ 萃取技术所用的设备是高压设备, 设备一次性投资费用较高^[13], 且对操作技能要求较高。

杨慧等^[14]以广佛手为原料, 采用低温连续相变萃取技术提取精油, 并确定了其最佳提取工艺条件: 原料堆密度 0.4 kg/L, 萃取温度 60 °C, 萃取压力 0.6 MPa, 萃取时间 75 min, 颗粒度 10 目。目前还未见报道采用低温连续相变萃取技术来提取佛手精油, 因此, 可以开展应用此项技术提取佛手精油的研究。

1.2 佛手精油辅助提取方法

除了上述佛手精油的主要提取方法, 一般都会加以一些辅助提取方法以克服佛手精油提取过程中的一些问题, 从而提高精油的产量和质量, 如超声波辅助提取、微波辅助提取、酶法辅助提取等。

1.2.1 超声波辅助提取 超声波辅助提取是近年来兴起的一项新技术^[15], 在食品以及相关行业中对中药、挥发油等活性成分的提取分离起到了非常重要的作用^[16], 现已广泛应用于佛手挥发油的提取和分离。严赞开等^[17]以新鲜的佛手果为原料, 采用超声波辅助水蒸气蒸馏法提取佛手果精油, 并且通过实验优化了提取工艺条件, 实验证明采用超声波辅助提取法明显提高了佛手精油的提取率, 缩短了提取时间, 提高了精油的质量。

1.2.2 酶法辅助提取 为提高佛手精油的提取率, 采用纤维素酶^[18]辅助提取佛手精油无疑是一种可尝试的有效方法。欧阳辉等^[19]在 2010 年以湘西椴柑皮为原料采用酶法辅助提取法进行精油的提取和工艺研究。于功明等^[20]也采用纤维素酶对迷迭香叶进行精油的辅助提取, 并通过单因素实验确定了最

佳辅助提取工艺条件。酶法辅助提取还具有操作简单、条件温和、环保无毒等优势^[21],使其在精油提取中的应用越来越广泛。

除上述辅助提取法之外,还有微波辅助提取、添加助剂等方式提高佛手精油的提取率。通常提取佛手精油并不仅仅使用一种方式,而是采用复合提取方式,对佛手精油最佳提取工艺的探索也是当前的研究热点。相比于单一的提取方式,复合式提取法能够明显提高精油的产量和质量,同时也能对各自提取方式的不足加以弥补,达到互补的目的。

2 佛手精油的化学成分和药理作用

2.1 佛手精油化学成分分析

对佛手精油的研究和相应产品的开发,最重要的是要分析其中的成分。目前对于佛手精油化学成分分析主要运用的是气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)。早在 2002 年,高幼衡等^[22]就采用 GC-MS 技术分析了经水蒸气蒸馏法得到的广佛手精油中的化学成分,分离出 42 个成分,鉴定了其中 25 个化合物,其精油成分以萜类为主,主要成分为柠檬烯、邻异丙基苯甲烷、 γ -松油烯、蒎烯、 β -月桂烯。王卿^[23]采用 GC-MS 分析技术,从水蒸气蒸馏法提取的佛手精油中鉴定出 54 种主要组分,分别为烯烃类、酸类、醇类等,鉴定出的成分中量较高的有柠檬烯(45.20%)、 α -蒎烯(21.26%)等。佛手精油化学成分的分析结果对进一步研究佛手精油的药理作用提供了一定的科学依据。

2.2 佛手精油的药理作用

近年来,随着佛手精油市场需求和应用范围的扩大,国内外许多学者对其药理作用进行了多方面的研究。佛手精油能很好地改善焦虑、抑郁等情绪,减缓慢性疼痛^[24],同时在抗菌、抗炎和清除自由基等方面也具有一定的药用价值。麻艳芳等^[25]发现佛手精油对 MDA-MB-435 癌细胞的增殖有明显的抑制作用,且呈剂量依赖性。吕学维等^[26]研究了佛手精油对 B16 黑色素瘤细胞体外增殖的抑制作用,得到了类似的结果。高洪元等^[27]探讨了佛手挥发油的抗抑郁作用机制。韩林等^[28]发现佛手精油富含的多酚和黄酮类物质具有一定的抗氧化活性。侯滨滨^[29]则以橄榄油和猪油等食用油脂为介质对柑橘类植物精油的抗氧化活性进行了研究,结果表明佛手精油具有一定的抗氧化活性。同时,张安强等^[30]在研究中也发现佛手精油具有一定的

抗氧化活性,并指出其主要的成分为 *D*-柠檬烯,对酵母菌具有很强的抑菌活性。靖丽^[31]在对柑橘类植物精油的主要成分 *D*-柠檬烯的研究中发现,*D*-柠檬烯对糖脂代谢紊乱具有一定的预防作用,主要表现在缓解胰岛素抵抗、抑制前脂肪细胞分化、预防肝脏中脂肪细胞堆积等方面。

3 佛手相关产品开发

针对佛手不同成分的多种药理作用,各类佛手相关产品的开发越发成为目前的研究热点,以佛手为主要原料的相关产品相继问世。在国外,佛手精油通常被认为是一种名贵的香料油,并且已经被广泛应用于食品、化妆品行业中。其中,佛手精油在芳香疗法中的应用最为广泛。佛手的根、叶、花、果均可入药。佛手是萼铃胃痛颗粒、胃苏冲剂等数十种中成药的主要原料。佛手果实际药用外,还可提取香料、加工成糖果蜜饯等多种果脯、生产饮料和保健食品。因此,目前开发佛手中药材饮片、保健食品、精油等系列精深加工产品、提高佛手产品附加值、延伸佛手产业链对现代佛手的工业生产具有重要意义。已有研究报道,以 β -环糊精和阿拉伯胶为壁材,可以将佛手精油进行喷雾干燥制备成佛手精油微胶囊^[32],使其具有缓释、控释、提高靶向性等作用,对佛手精油应用范围的扩大和应用能力的提高具有重要意义。

具有创新性的研究发现,精油可以用于开发高香气低焦油卷烟产品。在生产低焦油卷烟时会导致其香味大大降低,而若将精油这种致香物质添加到低焦油卷烟中,可弥补生产中香味物质的损失。虽然佛手在卷烟中的应用还没有研究,但是佛手中精油含量高,如能对佛手精油进行进一步的分析研究,并将其运用到卷烟中,将具有十分重要的实际意义和广阔的应用前景。

4 佛手研究过程中发现的问题及解决方法

4.1 佛手精油光毒性及脱敏技术

柑橘类植物精油都含有呋喃香豆素类化合物。这类化合物的存在使得该类精油具有一定的光敏毒性。Kuske 早在 1938 年就率先从佛手果实中分离出佛手苷内酯(属于呋喃香豆素类化合物),并首次指出呋喃香豆素具有光敏性。如果在敏感的皮肤上直接使用这种含有光敏性成分的佛手精油,并暴露于明亮的灯光、紫外灯或者阳光下,会引发光敏性接触性皮炎、色素沉淀,严重的会导致皮肤癌。根据国外芳香疗法研究资料显示,佛手苷内酯所引起的

黑斑在皮肤上可持续数年,且不易痊愈。

鉴于佛手精油具有较强的光毒性,各界学者陆续展开了对于佛手精油的脱敏、抗氧化等安全性研究。刘易鑫等^[33]对 4 种不同的佛手精油进行研究发现许多市售的佛手精油为了降低消费者使用时光毒性的伤害都已经去除了香豆素类(柠檬油素)和呋喃香豆素类(佛手柑内酯)等光敏性成分。陈常青等^[34]采用 UV 技术测定了包括佛手柑精油在内的 4 种市售芳香疗法用柑橘类植物精油中呋喃香豆素的量,并使用液-液萃取分离技术对这 4 种精油进行了脱呋喃香豆素类化合物实验,开发研制了 4 种安全可靠的脱敏精油。除此之外,陈菲等^[35]发现利用水蒸气蒸馏法和共水蒸馏法不能提取出佛手柑内酯。随着佛手精油的应用越来越广泛,研制更加安全、有效、稳定、可控的精油产品还需做进一步的研究。

4.2 佛手中的苦味物质及脱苦技术的研究

到目前为止,对于佛手中苦味物质的研究报道甚少,但是对于其他柑橘属植物包括橘、柑、柚、橙、柠檬等果实中苦味物质的研究则非常热门。佛手也属于柑橘属,因此,可以根据目前对柑橘、柠檬、柚等这类果实中苦味物质的研究对佛手中的苦味物质的研究提供借鉴。

4.2.1 苦味物质分析 据研究显示,佛手这种柑橘类果实中的苦味物质主要由 2 类物质组成:一类是以柠檬苦素为主的三萜类化合物及其衍生物;另一类是以柚皮苷为主的黄烷酮糖苷类化合物。通常柑橘类果实的果肉鲜食时苦味并不明显,但经榨汁、杀菌等加工处理后就表现出苦味,使加工产品(果汁、果酒、果醋等)带有明显的苦味,即所谓的“延迟苦味”^[36]。出现延迟苦味的原因主要是在柑橘类果实内存在的是柠檬苦素的非苦味前体物质——柠檬苦素 A 环内酯,当果实组织因冰冻或机械损害而遭到破坏时,在酸性条件和柠檬苦素 D 环内酯水解酶的催化下,柠檬苦素 A 环内酯转变成了具有强烈苦味的柠檬苦素^[37]。

4.2.2 苦味物质的脱除 由于经加工后的产品中的苦味严重影响了佛手饮料、蜜饯等相关食品的口感,因此,对于脱苦技术的研究也是不断地推陈出新。目前研究的主要脱苦技术包括吸附法、代谢脱苦法、包埋法、超临界 CO₂ 脱苦法、生物技术脱苦法、膜技术脱苦法、基因工程脱苦法等。

贺红宇^[38]以柠檬汁为实验对象,对柚皮苷酶法、 β -环糊精包埋法和树脂吸附法 3 种脱苦技术进

行了研究对比。结果表明,3 种脱苦方法中,树脂吸附法对于柠檬苦素和柚皮苷都有去除作用,脱苦效果最好且脱苦成本最低,适用于工业生产。梁秀媚等^[39]发现利用 β -环糊精对佛手果汁进行脱苦效果明显,并确定了最佳的脱苦条件: β -环糊精的添加量为 7.8 mg/mL,温度为 44 °C,作用时间为 42 min。此条件下,佛手果汁中的柚皮苷和柠檬苦素脱除率可分别达到 22.12%和 19.32%。

另外,利用酶的专一性、高效性以及条件温和等特性,酶法脱苦技术也越来越受到青睐。王鸿飞等^[40]利用柚皮苷酶对柑橘类果汁进行了脱苦研究,并确定了最适工艺条件:柚皮苷酶用量为 0.5 g/L、果汁温度为 60 °C、pH 4、作用时间为 90 min。目前对柠檬苦素苦味问题的研究重点放在微生物脱苦上,以微生物产生的酶或固定化细胞来脱除苦味。酒威等^[41]经分离、筛选和鉴定,发现了一株产生柚果汁脱苦酶的青霉菌,对利用微生物进行脱苦的研究具有重要意义。

21 世纪是基因工程技术蓬勃发展的时代,也可以借助基因工程这项前沿技术使佛手达到自然脱苦的目的。早在 1995 年,就发现了编码柠檬类苦素-UDP-葡萄糖转移酶的基因,并将该基因引入柑橘细胞中,以期达到植物细胞自身降解柠檬苦素,自然脱苦的目的。Zverlov 等^[42]已于 2000 年将编码 α -L-鼠李糖苷酶基因进行克隆后导入埃希氏大肠杆菌并成功表达,目前此研究正在进行中。

随着现代科学技术的不断进步,各种脱苦技术也日益成熟。虽然脱苦技术在柠檬、柚等柑橘类果实中的研究非常活跃,但对于佛手中苦味物质以及脱苦技术的研究还有较多空白。可以借鉴以上各种技术对佛手脱苦技术进行进一步的研究。

5 佛手精油开发的前景展望

佛手精油是一种名贵的香料。在国外,佛手精油被广认为是高雅的香料,对佛手精油的研究也比较深入。目前我国对佛手精油的研究主要是针对佛手精油的提取工艺、药用价值等方面,试将其应用在各种药品、化妆品、食品、日用品等行业。如芳香疗法,作为空气清新剂、香薰、洗涤剂、口香糖、饮料、调味品等。虽然佛手精油在国内的熟知度略有欠缺,但随着国内精油市场的开拓以及研究范围的不断扩大,再加上其本身独特的作用,佛手精油无论是在市场上还是在各个领域的研究将越来越受到人们的追捧,具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 金晓玲. 佛手挥发油的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2002(2): 20-23.
- [2] 周露, 陈剑昌, 任洪涛, 等. 佛手油化学成分研究 [J]. 香料香精化妆品, 2000(2): 7-10.
- [3] 温悦. 挥发油提取方法研究概况 [J]. 中国药业, 2010, 19(12): 84-85.
- [4] 王晓杰, 马越, 杨国伟, 等. 水蒸气蒸馏法提取佛手挥发油的工艺研究 [J]. 食品科技, 2009, 34(3): 86-88.
- [5] Belsito E L, Carbone C, Gioia M L D, *et al.* Comparison of the volatile constituents in cold-pressed bergamot oil and a volatile oil Isolated by vacuum distillation [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(19): 7847-7851.
- [6] 谢练武, 郭亚平, 周春山, 等. 压榨法与蒸馏法提取柑橘香精油的比较研究 [J]. 化学与生物工程, 2005, 22(5): 15-17.
- [7] 赵华, 张金生, 李丽华. 植物精油提取技术的研究进展 [J]. 辽宁石油化工大学学报, 2006(4): 137-140.
- [8] 张跃平. 用溶剂萃取法提取蒜精油 [J]. 林产化工通讯, 1994(6): 34-35.
- [9] 朱岳麟, 常增花, 郑晓梅, 等. 蒸馏法与溶剂萃取法提取金桔果皮精油成分的比较分析 [J]. 植物科学学报, 2011, 29(1): 130-133.
- [10] 董明, 齐树亭. 超临界 CO₂ 萃取的研究进展 [J]. 化工自动化及仪表, 2006, 33(4): 1-4.
- [11] 易化森. 超临界二氧化碳萃取技术用于天然香料的分离 [J]. 四川日化, 1991(2): 28-30.
- [12] 马越, 王利明, 王晓杰, 等. 超临界 CO₂ 萃取佛手挥发油的工艺研究及 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2009, 30(2): 221-223.
- [13] 王忠华, 张钟宪. 超临界二氧化碳萃取技术 [J]. 化学工程与装备, 2007(1): 57-61.
- [14] 杨慧, 周爱梅, 夏旭, 等. 低温连续相变萃取广佛手精油及其组成分析 [J/OL]. 食品工业科技, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20150309.1417.025.html>.
- [15] 郭孝武. 超声提取分离 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [16] 叶陈丽, 贺帅, 曹伟灵, 等. 中药提取分离新技术的研究进展 [J]. 中草药, 2015, 46(3): 457-464.
- [17] 严赞开, 潘妍, 李灏. 超声波辅助提取佛手精油的工艺研究 [J]. 食品科技, 2011, 36(11): 215-217.
- [18] 韩章远, 韩永龙, 孟祥乐, 等. 酶解技术在中药提取中的应用进展 [J]. 广州化工, 2009, 37(6): 12-14.
- [19] 欧阳辉, 余佶, 张永康. 酶法辅助提取湘西椴柑精油的工艺优化研究 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 152-154.
- [20] 于功明, 刘克胜, 秦大伟, 等. 酶法辅助提取对迷迭香精油出油率的影响 [J]. 山东轻工业学院学报, 2012, 26(4): 58-60.
- [21] 韩伟, 马婉婉, 骆开荣. 酶法提取技术及其应用进展 [J]. 中国制药装备, 2010, (17): 15-18.
- [22] 高幼衡, 黄海波, 徐鸿华. 广佛手挥发性成分的 GC-MS 分析 [J]. 中草药, 2002, 33(10): 883-884.
- [23] 王卿. 佛手香气成分及其精油的提取和应用研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [24] 杨慧, 周爱梅, 林敏浩, 等. 佛手挥发精油提取及其药理研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(5): 1347-1352.
- [25] 麻艳芳, 邵邻相, 张均平, 等. 佛手挥发油对 MDA-MB-435 人乳腺癌细胞体外增殖的影响 [J]. 中国药学杂志, 2010, 45(22): 1737-1741.
- [26] 吕学维, 邵邻相, 张均平, 等. 佛手挥发油对 B16 黑色素瘤细胞体外增殖的抑制作用 [J]. 中国粮油学报, 2011, 26(8): 50-54.
- [27] 高洪元, 田青. 佛手挥发油的抗抑郁作用机制探讨 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(7): 231-234.
- [28] 韩林, 夏兵, 丁博, 等. 川佛手精油抗氧化及抑菌活性的研究 [J]. 中国调味品, 2014, 39(12): 55-62.
- [29] 侯滨滨, 李悦. 柑橘类精油对食用油脂的抗氧化研究 [J]. 食品研究与开发, 2010, 31(11): 234-236.
- [30] 张安强, 李燕平, 李雪青, 等. 佛手精油的化学成分及生物活性研究 [A] // 中国食品科学技术学会第十一届年会论文摘要集 [C]. 杭州: 中国食品科学技术学会, 2014.
- [31] 靖丽. 柑橘精油的代谢图谱及其主要成分 d-柠檬烯对糖脂代谢紊乱的防治作用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [32] 许杭琳. 佛手精油的加工及综合利用技术的研发 [D]. 杭州: 浙江师范大学, 2013.
- [33] 刘易鑫, 吴文宏, 詹锦丰. 佛手柑精油光敏性成分分析与光毒性评估 [J]. 弘光学报, 1999, 60: 9-19.
- [34] 陈常青, 钟山, 鲁冰山, 等. 呋喃香豆素光化学毒性及其脱敏柑橘类精油的研制 [J]. 香料香精化妆品, 2008(6): 8-10.
- [35] 陈菲, 李群力, 盛柳青, 等. 佛手中挥发油不同提取方法的比较研究 [J]. 中药材, 2008, 31(8): 1242-1244.
- [36] 孙志高, 黄学根, 焦必宁, 等. 柑桔果实主要苦味成分的分布及橙汁脱苦技术研究 [J]. 食品科学, 2005, 26(6): 146-148.
- [37] 赵天瑞, 樊建, 覃宇悦. 柠檬汁中苦味物质的脱除试验 [J]. 昆明理工大学学报, 2007, 32(5): 100-103.
- [38] 贺红宇. 三种脱苦方法对柠檬汁脱苦效果的研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2013.
- [39] 梁秀媚, 周爱梅, 杨慧, 等. 响应面优化环糊精对佛手果汁脱苦效果的研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(6): 1847-1854.
- [40] 王鸿飞, 李和生, 董明敏, 等. 柚皮苷酶对柑橘类果汁脱苦效果的研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 174-177.
- [41] 洒威, 焦迎春, 尹瑶, 等. 一株产生柚果汁脱苦酶的青霉菌的筛选及初步鉴定 [J]. 中国南方果树, 2012, 41(2): 47-49.
- [42] Zverlov V V, Hertel C, Bronnenmeier K, *et al.* The thermostable α -L-rhamnoside aseram A of clostridium stercorarium: biochemical characterization and primary structure of a bacterial α -L-rhamnoside hydrolase, a new type of inverting glycoside hydrolase [J]. *Mol Microbiol*, 2000, 35(1): 173-179.