

药食同源植物挥发油的研究进展

张鹏云^{1,2}, 李 蓉^{1,*}, 龙春霞², 杨璐齐^{1,2}, 卢俊文¹, 张 峰³

(1. 中山出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 广东中山 528400;

2. 广东药科大学公共卫生学院, 广东中山 528458;

3. 中国检验检疫科学研究院食品安全研究所, 北京 100176)

摘 要:挥发油是药食同源食品的功能成分之一,对挥发油的深入研究有利于药食同源植物的开发应用。本文综述了挥发油的不同提取方法及现代各种分析手段的特点,为建立挥发油质量控制和鉴定方法提供参考。

关键词:药食同源植物,挥发油,提取方法,质量控制

Research progress in volatile oil from medicine and food dual purposes plants

ZHANG Peng-yun^{1,2}, LI Rong^{1,*}, LONG Chun-xia², YANG Lu-qi^{1,2}, LU Jun-wen¹, ZHANG Feng³

(1. Inspection and Quarantine Technology Center, Zhongshan Entry-Exit

Inspection and Quarantine Bureau, Zhongshan 528400, China;

2. School of public health, Guangdong Pharmaceutical University, Zhongshan 528458, China;

3. Institute of Food Safety, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China)

Abstract: Volatile oil is one of the functional components of medicine and food dual purposes plants. The deep research on volatile oil is beneficial to the development and application of medicine and food dual purposes plants. In this paper, the characteristics and shortcomings of different extraction methods and modern analytical methods of volatile oil were summarized, which provide support for the establishment of quality control and identification methods of volatile oil.

Key words: medicine and food dual purposes plants; volatile oil; extraction methods; quality control

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)12-0320-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.12.058

引文格式: 张鹏云, 李蓉, 龙春霞, 等. 药食同源植物挥发油的研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 320-324, 333.

人类的日常饮食食物包括自然界中的植物、动物及部分矿物质,而天然中药材同样来源于植物、动物和矿物质,因此中药和食物有相同的起源^[1]。根据用途将这些天然物质分为治病的药物和饮食用的饮食食物,而其中大部分物质既可以治病又能当作日常饮食食物,就称为药食两用^[1]。随着人们对保健和养生的关注,传统的“药食两用”倍受重视,卫生部门先后颁布了“既是食品又是药品的物品名单”对此类物质进行规范^[2]。目前,国内多家食品药品企业积极投入药食同源产业,研发了如猴菇饼干、山药酸奶等热门药食同源产品^[3]。但是药食同源产品的销售额依旧很少,主要是由于药食同源食品的基础研究不足,后期研发过程投入较少,技术含量不高,企业发展缓慢,竞争力不足,严重影响了药食同源行业的发展^[4]。目前,药食同源产品主要存在掺假、成分不纯、功效组分不明确等质量和安全问题,建立可重复识别和检测药食同源产品化学成分的分析方法是目前急需解

决的问题。挥发油是药食同源植物重要的活性成分之一^[5-6],开发其鉴别方法是药食同源产品质量控制的重要组成部分。

挥发油也称芳香油或精油,是植物体内的次生代谢物,具有挥发性且不溶于水,可以通过与水一起加热蒸馏得到^[7-8]。挥发油含有多种类型化合物,主要成分有萜类、脂肪族、芳香族化合物及其含氧衍生物等^[9]。其具有芳香气味主要是因为含有大量萜类的含氧衍生物和芳香族化合物^[10]。同种植物挥发油的成分及含量随着产地、加工方式、提取方法或提取部位的不同而存在一定差异^[11]。临床及现代药理实验表明,挥发油在抗肿瘤、解热镇痛、抗病毒、抗炎及促进药物吸收等多方面都具有药理活性^[12]。此外,还常用作矫味剂和促透剂^[13]。

研究挥发油的提取分离技术对药食同源植物的开发利用具有深远意义。在挥发油的提取过程中,最重要的是保障组分活性不被破坏,保证质量的前

收稿日期: 2017-10-30

作者简介: 张鹏云(1993-),女,硕士研究生,研究方向: 食品安全, E-mail: zhangpyun728@163.com。

* 通讯作者: 李蓉(1969-),女,大学本科,研究员,研究方向: 食品安全检测技术, E-mail: lirong828@126.com。

基金项目: 国家重点研发计划项目“进出口药食同源产品质量检测技术研究”(2017YFF0211000)。

提下提高萃取率。近年来,常用的挥发油提取方法有水蒸汽蒸馏法、溶剂萃取法、压榨法、顶空-固相微萃取法、超临界 CO₂ 萃取法等,常见的挥发油组分鉴定方法有薄层色谱法、气相色谱法等,现总结了各方法的原理及优缺点,在具体应用中选择合适的方法进行分析。

1 挥发油的传统提取方法

1.1 水蒸汽蒸馏法

水蒸汽蒸馏法是《中国药典》记录的挥发油最经典的提取方法,是指将含有挥发油的原料粉碎后,用水浸泡湿润,再通入水蒸汽蒸馏或用直火加热蒸馏,挥发油随水蒸汽一起蒸出,再经冷凝和分离得到挥发油^[4]。司辉等^[10]研究了物料比和提取时间对挥发油得率的影响,用水蒸汽蒸馏法提取出澄清、透明的万寿菊挥发油,在最佳工艺条件下挥发油得率为 0.54%。周国梁等^[15]采用单因素实验和正交实验来确定水蒸汽蒸馏法提取滁菊挥发油的最佳条件,结果发现粉碎度对滁菊挥发油得率影响显著,在最佳工艺条件下滁菊挥发油提取率可达 0.96%,且实验结果具有重现性。水蒸汽蒸馏法使用的装置简单,易操作,避免了有机溶剂萃取造成的污染,但是温度高、耗时长、易出现焦糊现象,挥发油得率低^[16]。

1.2 溶剂萃取法

溶剂萃取法是将原料与石油醚等低沸点有机溶剂在连续提取器中加热提取,提取液在低温下蒸除溶剂即得挥发油粗品^[17]。邱松山等^[18]以肉桂皮为材料,石油醚为溶剂,对加速溶剂法萃取肉桂皮精油进行工艺优化,对影响精油提取率的主要因素进行研究并建立数学模型,为肉桂皮进一步的开发利用提供科学依据。该法需要消耗大量有机溶剂,且提取的挥发油杂质多,需要进行纯化,此过程可能会造成挥发油的损失和某些组分的变化^[19-20]。

1.3 压榨法

压榨法是将新鲜原材料粉碎后进行压榨,使挥发油从细胞组织中被挤压出来,然后经离心机离心后静置分层即得挥发油粗品^[21]。此方法是最传统的提取方法,使挥发油充分保持了植物原有香气,但是挥发油不能充分提取,而且只适合挥发油含量较多的新鲜原料,如生姜、橘皮等。文红梅等^[22]利用高效液相色谱和气相色谱分别用水蒸汽蒸馏法和压榨法提取的同一批次生姜精油进行了对比分析,结果证明压榨法提取出的生姜挥发油与传统工艺提取的生姜挥发油成分一致,含量相当,所以压榨法可以成分提取生姜挥发油的低能耗、少污染的新方法。

2 挥发油的现代提取方法

2.1 微波辅助萃取法

微波辅助萃取法是利用微波的强穿透力和热效应,使样品内外同时被加热,促使细胞组织破裂,萃取组分自由流出到萃取剂中溶解^[23]。房信剩等^[24]采用微波辅助提取和水蒸汽蒸馏法提取花椒挥发油,并将两种方法进行比较。与水蒸汽蒸馏法相比,该方法所需时间短、挥发油得率高。微波辅助萃取法应用范围广泛,提取时间短,能耗低,节省溶剂,保证

提取挥发油组分更纯正,值得应用和推广。

2.2 超声波辅助萃取法

超声波辅助萃取法利用超声波的空化效应、冲击力和振动等特性增强物质分子在溶剂中的运动频率,提高溶剂中活性成分的溶解能力,缩短萃取时间,增加浸提率^[25],而且避免高温条件下有效成分的挥发。张迪等^[26]以超声温度、超声功率和超声时间为单因素条件,通过单因素实验和正交试验探讨三个因素对抗白菊挥发油提取率的影响并对工艺参数进行优化。研究结果显示,超声时间是影响杭白菊挥发油得率的主要因素。超声波辅助萃取法作为一种新型提取技术具有提取效率高、省时、节约溶剂、低温操作保护有效成分等优点,近几年超声提取技术在挥发油提取方面成效显著^[27-28]。

2.3 超临界流体萃取法

超临界流体同时具备气体和液体的特质,其粘度和渗透性与气体相近,而密度和溶解能力与液体相当^[29]。在超临界条件下,样品中的有效成分溶于超临界流体中,通过调节温度和压力,使超临界流体的密度降低,溶解度减小,溶质析出。如果存在多种有效成分,则采取逐级降低压力,使溶质逐步析出,整个过程兼有蒸馏和萃取两种作用^[30]。CO₂ 的临界温度低,临界压力为 7.38 MPa,而且安全、无味、不燃烧,化学性质稳定,所以在实际中 CO₂ 是一种较理想的超临界流体^[30]。刘伟等^[31]利用超临界 CO₂ 技术萃取雪菊挥发油,并通过正交实验确定最优提取条件。超临界流体萃取技术是最干净的提取技术,效率高、操作温度低,耗能少,节约成本,全过程不用有机溶剂,防止有机溶剂对人体的伤害和对环境的污染^[32]。

2.4 亚临界水萃取法

亚临界水是指将水加热到 100 ℃ 和临界温度 374 ℃ 之间,通过控制压力使水仍为液态,也有称它为超热水和高温水^[33]。常温常压下水是强极性,但在亚临界条件下,随着温度上升,水的极性逐渐降低成为非极性^[34]。通过控制温度和压力,改变亚临界水的极性和黏度,从而实现水溶性物质到脂溶性物质的选择性连续萃取^[35]。郭娟等^[36]对亚临界水萃取肉桂精油进行了研究,在适当条件下,肉桂精油萃取率可达 1.83%。与传统水蒸汽蒸馏法相比,亚临界水萃取法的肉桂精油得率提高了 15.8%,萃取时间缩短了 6 倍。亚临界水萃取法以纯水作萃取剂,具有操作简便、高效、油质干净、对环境危害小等特点,但在高温高压条件下热敏性物质易分解、变性,所以需要进行预实验明确其温度范围^[37]。

2.5 固相微萃取法

固相微萃取法 (Solid - phase microextraction, SPME) 是利用由石英光导纤维和其表面高分子固定相涂层构成的萃取头,对样品中待测物用直接或顶空方式进行提取和收集,然后使用色谱分析仪器对目标物进行脱附和解析^[38]。固相微萃取法是集取样、萃取、浓缩、进样于一体,具有快速、高效、安全等特点,成为目前应用最普遍的样品预处理方法之一^[39]。孙丰义等^[40]采用固相微萃取 (SPME) 和溶剂

表1 挥发油提取方法优缺点对比

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of extraction methods of volatile oil

提取方法	优点	缺点	应用程度
水蒸汽蒸馏法	易操作,挥发油纯净	温度高、耗时长、易出现焦糊现象,挥发油得率低	非常普遍
溶剂萃取法	挥发油得率高,耗时短	挥发油杂质多	普遍
压榨法	挥发油纯净	不能充分提取,提取率低	一般
微波辅助萃取法	时间短,能耗低,节省溶剂	会使热不稳定物质分解	普遍
超声波辅助萃取法	效率高、节约溶剂、低温操作保护有效成分	超声波能量分布不均匀,会随时间衰减	普遍
超临界流体萃取法	操作温度低,耗能少,节约成本,全过程不用有机溶剂	采用高压系统,对技术的要求较高,设备费用较大	一般
亚临界水萃取法	操作简便、高效	高温高压条件下热敏性物质易分解、变性	普遍
固相微萃取法	集取样、萃取、浓缩、进样于一体,快速、高效、安全	定量检测精确度不高,可重复性低	非常普遍
酶解提取法	不需要特殊设备和溶剂,操作安全、提取效率高、成本低	实验条件要求很严格	一般

辅助风味蒸发 (SAFE) 两种萃取方法对炸花椒油的挥发性成分进行分析。结果表明,两种方法的萃取成分存在差异。SPME 法测定结果有浓郁的辛香味,该法萃取成分中独有的醚类化合物使其更接近炸花椒油的风味。

2.6 酶解提取法

酶解提取法是在样品中加入适宜的酶来提取其有效成分,适当的酶能够降解植物的细胞壁,除去细胞间质中的纤维素、果胶等物质,破坏细胞构造,增加细胞组织中油的流动性,有利于油脂释放^[41]。酶解法不需要特殊设备和溶剂,操作安全、提取效率高、成本低,但是它的实验条件要求严格,需要确定酶的种类和用量、最适温度、pH、最佳处理时间等^[42]。裴小娜等^[43]采用酶法辅助提取生姜挥发油,研究了酶种类、酶用量、pH、温度对生姜挥发油提取率的影响。在最佳提取条件下生姜挥发油提取率高达 3.86%。

3 挥发油成分的鉴定方法

研究与分析挥发油成分是为了明确其功效控制其质量,同时可鉴别药食同源植物的真伪。常用的挥发油分析方法有薄层色谱法 (Thin layer chromatography, TLC)、气相色谱法 (Gas chromatography, GC)、气相色谱-质谱法 (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、红外光谱法 (Infrared spectrum, IR) 等。药食同源植物挥发油不同分析方法的特点和不足见表 2。

3.1 薄层色谱法

薄层色谱法 (Thin layer chromatography, TLC) 是利用同一吸附剂对不同成分吸附能力不同,使移动相溶剂流过固定相吸附剂时,实现吸附、解吸、再吸附、再解吸的过程,从而使各成分相互分离^[44]。薄层色谱法能够同时分离多个样品、操作简单、成本低、分析速度快,在药物、生化、食品和环境检测等方面应用广泛,在定性定量分析中发挥着重要作用^[45]。龙兰艳等^[46]采用薄层色谱法建立了益智仁挥发油的

指纹图谱,该方法简单、直观、专属性强和重复性高,为益智仁的鉴别和质量的评价提供了科学支持。

3.2 气相色谱法

气相色谱法 (Gas chromatography, GC) 是色谱分析方法中的一种,它的流动相是气体。当样品汽化后随着流动相进入色谱柱,由于色谱柱的固相涂层对不同组分的溶解或吸附能力不同,其在色谱柱中的运行速度也不同,使各组分依次离开色谱柱,然后经检测器检测,以色谱峰的形式在记录仪上显示^[47]。气相色谱法的样品用量少,而且具有快速、高效、选择性高等优点,在中药的质量鉴定和控制方面应用广泛^[48]。宋青坡等^[49]用气相色谱法对不同产地野菊花挥发油进行了检测分析,建立了野菊花挥发油成分气相色谱指纹图谱,并指出异龙脑、樟脑、侧柏酮等成分的峰位,为鉴定野菊花药材真伪提供了科学基础。古丽江·马合苏提汗等^[50]建立了气相色谱法测定雪菊中柠檬烯含量的方法,通过多次实验验证,该方法可靠、精确、重现性良好,为制定雪菊质量标准提供了技术支持。

3.3 气相色谱-质谱法

气相色谱-质谱联用技术 (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 结合了气相色谱法的高分离能力和质谱法的高鉴别能力,大大提高了样品分离鉴定的速度。样品经前处理后进入气相色谱,得到分离度较高的总离子流图,然后结合质谱图以及保留值对化合物的组分进行定性鉴定和分子结构的准确判定,通过内标法、外标法和面积归一化法 etc 对某组分进行定量分析。目前,气-质联用技术是对 300 ℃ 以下能汽化样品进行定性定量分析最常用且有效的手段^[11]。蒲凤琳等^[51]运用 GC-MS 对四川汉源青、红花椒挥发油成分进行分析鉴定,对这两种花椒香气存在差异的原因进行了深入的分析,为花椒的生产应用和质量控制提供了更好的理论基础。卢金清等^[52]用气相色谱-质谱法结合 NIST 谱库对沙棘

表2 药食同源植物挥发油分析方法的特点和不足

挥发油分析方法	特点	不足
薄层色谱法(TLC)	操作简单、成本低、分析速度快	重现性差、精密度低
气相色谱法(GC)	选择性好、灵敏度高、进样量少、 分析速度快、操作简便、结果准确、重现性好	难以分析沸点太高的 物质或热稳定性差的物质
全二维气相色谱法 (GC×GC)	灵敏度高、分辨率高、峰容量大分析、 时间短、工作效率高、定性分析可靠性显著增强	新技术,有待深入研究
气相色谱-质谱联用 (GC-MS)	集气相色谱法的分离效率高、灵敏度高和质谱的 选择性好等特点于一体,定性、定量准确, 适合分析微量或痕量物质	限于 300 ℃ 以下能汽化样品
气相色谱-红外光谱法 (GC-IR)	可以提供化合物的结构信息, 提高了定性的准确度	GC 较小的柱容量、复杂的样品基体 与 IR 要求的较大进样浓度之间存在冲突

挥发油化学成分进行定性和定量分析,为沙棘的研究开发提供了科学支持。

3.4 全二维气相色谱法

全二维气相色谱(GC×GC)是在两根性质不同的色谱柱之间串联一个调节器,样品先通过第一根色谱柱进行组分分离,然后所有组分进入调节器进行浓缩或聚焦,再进入第二根色谱柱继续分离,最后进入检测器进行检测^[53]。全二维气相色谱的灵敏度和分辨率相对于一维气相色谱都显著提高,而且它的分析时间短,能够实现族分离,大大提高了复杂体系的分析质量^[54]。吴晶品等^[55]将全二维气相色谱和飞行时间质谱结合来分析广西八角茴香的挥发油成分。结果发现,全二维气相色谱能够分离出在一维气相色谱中无法分离的组分。研究为深入了解八角茴香挥发油成分和功能食品的开发提供依据。韩婷等^[56]利用飞行时间质谱谱图和全二维色谱特有的结构信息,对滁菊挥发油进行定性分析,建立了全二维气相色谱飞行时间质谱检测滁菊挥发性成分的方法,为滁菊保健食品的开发提供理论支持。

3.5 气相色谱-红外光谱法

红外光谱法(Infrared spectrum, IR)是分子吸收光谱的一种,当用红外光照射有机物时,分子吸收红外光会发生振动能级跃迁,不同的化学键和官能团吸收频率不同,得到的红外吸收光谱也不同,因此可以知道未知物的化学键和官能团信息,是分析有机物结构的良好方法,但是红外光谱不能用于混合物的定性分析^[57]。可以利用气相色谱先分离混合物,再用红外光谱进行定性分析,将两者结合实现优势互补^[58]。向丽等^[59]采用傅里叶变换红外光谱法及二阶导数红外光谱法考察肉桂不同部位(树皮、嫩枝、叶)挥发油的红外指纹图谱差异。通过红外宏观指纹分析,探讨红外整体宏观表征,建立了肉桂不同部位挥发油快速、有效的鉴别方法。刘燕等^[60]利用傅立叶变换红外光谱数据对金银花和山银花挥发油样品进行聚类分析,建立了鉴定金银花挥发性成分的方法。该法为鉴别金银花、山银花挥发油提供依据,同时对其他原料挥发油的分析研究具有参考价值。

4 展望

本文综述了药食同源植物功效成分挥发油的提

取分离技术,为药食同源植物的开发利用提供理论支持。常见的挥发油提取方法有水蒸汽蒸馏法、溶剂萃取法、顶空-固相微萃取法、超临界 CO₂ 萃取法等,将这些前处理方法与薄层色谱、气相色谱等现代分析技术联用可以明确挥发油的成分及其含量。但是,这些提取方法仍停留在实验室的研究阶段,与工厂生产设备严重脱节,当把实验室开发的方法应用到实际工业生产中,受到装备的影响,挥发油提取率低、质量差。所以,挥发油的提取不应局限于实验室研究,更应该结合生产实际情况开展研究,并对生产中现有的提取设备进行完善和优化。研究者应将研究成果结合现实生产设备进行转化,并开发应用配套装备,实现工艺与生产设备的融合。

随着人们生活质量的不断提高,“药食同源”的养生理念被广泛认同,国家对药食同源产业的发展也越来越重视。我国曾每次修订既是食品又是药品物品分单。2002 年卫生部公布的《关于进一步规范保健食品原料管理的通知》中,把药食同源名单增加到了 86 种,2014 年国家卫计委发布的《按照传统既是食品又是中药材物质目录管理办法》征求意见稿,在原有的 86 种药食同源目录基础上,又新增了 15 种,这是药食同源药材在不断发展的体现。药食同源植物成分复杂,而挥发油是其重要的功能组分之一,对挥发油的深入研究,为药食同源植物的药理研究和临床应用等奠定基础,推动药食同源植物在医药、保健品、美容等方面的开发和应用。目前相关研究还处于基础阶段,应结合工业生产进一步完善提取分离技术,探索新方法,在此基础上研究挥发油的作用机理、作用部位,更加有针对性的加以利用,为药食同源产品的发展提供支持。

参考文献

[1]王玲.关于促进药食同源产业发展的几点思考[J].中国新药杂志,2017,26(15):1755-1757.
[2]单峰,黄璐琦,郭娟,等.药食同源的历史和发展概况[J].生命科学,2015,27(8):1061-1069.
[3]赵维婷.药食同源产业须“施肥”“修枝”[N].中国中医药报,2015-09-30(003).
[4]刘曦.我国药食同源食品行业发展研究[J].世界最新医学

信息文摘,2015,15(54):29.

[5]姜程曦,程锦国,罗婷.药食同源植物的营养价值分析[J].安徽农业科学,2015,43(11):282-284.

[6]薛立英,高丽,秦雪梅,等.药食同源中药抗衰老研究进展[J].食品科学,2017,38(15):302-309.

[7]张庆华,王志萍.中药挥发油提取技术研究进展[J].食品与药品,2009,11(3):62-64.

[8]何颖.中药挥发油提取方法分析[J].天津药学,2015,27(1):47-50.

[9]李欧,金尧,蔡小燕,等.中药挥发油提取技术研究概况[J].中兽医医药杂志,2017,36(2):30-32.

[10]伍振峰,王赛君,杨明,等.中药挥发油提取工艺与装备现状及问题分析[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(14):224-228.

[11]谢占芳.八种菊花挥发性成分及其抑菌活性研究[D].开封:河南大学,2016.

[12]黄罗生,顾燕飞,李红.中药挥发油及芳香性药物的研究进展[J].中国中药杂志,2009,34(12):1605-1611.

[13]李扬,王阳,刘科攀.中药挥发油作为透皮吸收促进剂的研究进展[J].药物评价研究,2011,34(6):474-477.

[14]司辉,李晓,王娜,等.万寿菊挥发油的制备及其成分分析[J].香料香精化妆品,2016(1):28-32.

[15]周国梁,张娜,刘汉珍,等.滁菊挥发油提取工艺研究[J].中兽医医药杂志,2012,31(2):5-8.

[16]刘继鑫,王克霞,李朝品.水蒸气蒸馏法提取中药挥发油存在的问题及解决方法[J].时珍国医国药,2008,19(1):97-98.

[17]李建新,孙于庆,高雪琴,等.植物精油的提取技术及在食品工业中的应用研究[J].安徽农业科学,2011,39(5):3070-3071,3074.

[18]邱松山,陈芳玲,姜翠翠,等.肉桂皮精油提取工艺的优化及成分分析[J].中国调味品,2015,40(8):111-115,122.

[19]于贇,陈川.中药挥发油提取技术及生物活性的研究进展[J].上海中医药大学学报,2014,28(2):75-78.

[20]张志军,刘西亮,李会珍,等.植物挥发油提取方法及应用研究进展[J].中国粮油学报,2011,26(4):118-122.

[21]曹明宇.中药挥发油绿色提取技术的研究[D].石家庄:河北科技大学,2011.

[22]文红梅,王跃飞,王永山,等.压榨法提取生姜挥发油的工艺研究[J].中华实用中西医杂志,2006,19(21):2605.

[23]曹洪斌,申明金,陈莲惠.微波萃取在中药提取中的应用[J].广州化学,2013,38(1):72-76.

[24]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.

[25]高梅,潘久香,贾茹.挥发油提取方法的研究进展[J].生命科学仪器,2012,10(5):3-7.

[26]张迪,赵铭钦,姬小明,等.超声波辅助萃取杭白菊挥发油工艺研究[J].西南农业学报,2010,23(6):2046-2048.

[27]张国栋,严科丹,胡博然.超声波辅助提取薄荷挥发油的工艺优化[J].农产品加工(学刊),2013(16):44-46+50.

[28]杨月云,王小光,苏洪立.超声辅助萃取-气相色谱-质谱分析桔皮挥发成分[J].食品工业,2015,36(7):265-268.

[29]梁磊,彭瑞光.超临界流体萃取技术在中草药提取中的应用[J].亚太传统医药,2013,9(10):61-63.

[30]杨频,韩玲军,张立伟.超临界流体萃取技术在中草药有效成份提取中的应用[J].化学研究与应用,2001,13(2):128-132.

[31]刘伟,潘晓博,刘继国,等.超临界CO₂萃取天山雪菊工艺研究及成分分析[J].中国食物与营养,2014,20(10):55-59.

[32]嵇江宁.超临界CO₂萃取技术在中草药提取中的应用[J].科技创新导报,2010(20):26.

[33]Kus N S.Organic reactions in subcritical and supercritical water[J].Tetrahedron,2012,68(4):949-958.

[34]高荫榆,赵强,张彬.亚临界水萃取技术应用于中药挥发油提取的研究[J].食品科学,2008,29(1):379-382.

[35]Go A, Liu Y T, Ju Y H. Applicability of subcritical water treatment on oil seeds to enhance extractable lipid[J].Bio Energy Research,2014,7(2):711-719.

[36]郭娟,杨日福,范晓丹,等.肉桂精油的亚临界水提取[J].林产化学与工业,2014,34(3):92-98.

[37]李振梅,黎继烈,肖志红,等.亚临界水萃取技术在植物油料中的应用研究进展[J].中国油脂,2016,41(10):19-23.

[38]李佳钰,吴雨杭,李昊原,等.固相微萃取技术与应用研究进展[J].山东化工,2016,45(1):43-45.

[39]肖丹.顶空固相微萃取技术的应用与展望[J].中国卫生工程学,2015,14(1):88-92.

[40]孙丰义,王丹,陈海涛,等.SPME和SAFE对比分析炸花椒油挥发性风味成分[J].精细化工,2016,33(1):49-54,61.

[41]王瑛瑶,贾照宝,张霜玉.水酶法提油技术的应用进展[J].中国油脂,2008,33(7):24-26.

[42]郭兴凤,陈定刚,孙金全,等.水酶法提油技术概述[J].粮油加工,2007(5):70-72.

[43]裴小娜,黄山.酶法辅助提取生姜挥发油及其抗氧化活性研究[J].应用化工,2014,43(10):1788-1792.

[44]冯雅斌,杜靛,温静.薄层色谱法在药物分析中的应用及研究进展[J].疾病监测与控制,2011,5(1):60-63.

[45]汪媛,朱若华,陈惠.薄层色谱分析法及其进展[J].大学化学,2006,21(3):34-40.

[46]龙兰艳,胡昌江,李文兵,等.益智仁挥发油薄层指纹图谱研究[J].成都中医药大学学报,2012,35(1):58-59,73.

[47]黄凤丽.气相色谱在医药检测中应用的研究进展[J].安徽农业科学,2012,40(33):16035-16037.

[48]付小梅,彭水梅,罗光明,等.气相色谱法新进展及其在中药研究中的运用[J].中国现代中药,2013,15(3):195-199.

[49]宋青坡,韩永成,陈宁,等.不同产地野菊花挥发油成分气相指纹图谱研究[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(11):79-82.

[50]古丽江·马合苏提汗,李新霞,李琳琳,等.气相色谱法测定新疆昆仑雪菊挥发油中柠檬烯的含量[J].中国医药导报,2014,11(17):96-99.

[51]蒲凤琳,孙伟峰,车振明,等.水蒸气蒸馏结合GC-MS法分析比较四川汉源青、红花椒挥发性香气成分[J].中国调味品,2017,42(1):23-27.

(下转第333页)

cerevisiae: Relationship with Vitisin A and B formation in red wines[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(25): 7402-7409.

[46] 刘宁. 本土酿酒酵母对葡萄酒质量的影响及优良菌株的筛选[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.

[47] Muselík J, García-Alonso M, Martín-López M P, et al. Measurement of antioxidant activity of wine catechins, procyanidins, anthocyanins and pyranoanthocyanins [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2007, 8(8): 797-809.

[48] Aaby K, Hvattum E, Skrede G. Analysis of flavonoids and other phenolic compounds using high-performance liquid chromatography with coulometric array detection: Relationship to antioxidant activity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(15): 4595-4603.

[49] Jordheim M, Aaby K, Fossen T, et al. Molar absorptivities and reducing capacity of pyranoanthocyanins and other anthocyanins

(上接第319页)

食物与营养, 2005(12): 25-27.

[30] 谢皓, 杨柳, 饶文婷, 等. 大豆萌发过程中蛋白质和脂肪的动态分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 21-24.

[31] 张端莉, 桂余, 方国珊, 等. 大麦在发芽过程中营养物质的变化及其营养评价[J]. 食品科学, 2014(1): 229-233.

[32] 郑丽娜, 曲颖. 发芽对绿豆营养成分的影响[J]. 现代食品科技, 2011(2): 144-146.

[33] 鲍会梅. 大豆发芽过程中成分变化及营养特性的研究[J]. 食品工业, 2015(4): 293-296.

[34] 鲍会梅. 黑豆发芽过程中成分的变化[J]. 食品工业, 2016(5): 1-4.

[35] 侯文彬, 许艳萍. 维生素E功能研究进展[J]. 中国医学工程, 2015(2): 199-199.

[36] 张钟, 程美林, 王丽, 等. 发芽对小麦品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(1): 11-16.

[37] 刘兆庆, 王曙文, 姜媛媛. 豆谷类发芽前后营养变化及评

(上接第326页)

[52] 卢金清, 唐瑶头, 杨珊, 等. 沙棘挥发油化学成分 GC-MS 分析[J]. 中国现代中药, 2011, 13(7): 35-37.

[53] 许国旺, 叶芬, 孔宏伟, 等. 全二维气相色谱技术及其进展[J]. 色谱, 2001, 19(2): 132-136.

[54] 鹿洪亮, 赵明月, 刘惠民, 等. 全二维气相色谱/质谱的原理及应用综述[J]. 烟草科技, 2005(3): 22-25.

[55] 吴晶晶, 李小兰, 陈志燕, 等. 全二维气相色谱飞行时间质谱分析八角茴香油挥发性成分[J]. 安徽农业科学, 2014, (1): 216-218.

[56] 韩婷, 毛健, 姬中伟, 等. 滁菊挥发性成分的全二维气相色谱/飞行时间质谱研究[J]. 食品科学, 2013, 34(2):

[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(26): 10591-10598.

[50] Goupy P, Bautista-Ortin A B, Fulcrand H, et al. Antioxidant activity of wine pigments derived from anthocyanins: hydrogen transfer reactions to the dpph radical and inhibition of the heme-induced peroxidation of linoleic acid [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(13): 5762-5770.

[51] 邱敬杰. 甲基吡喃花色苷的制备及功能性质研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.

[52] Oliveira H, Wu N, Zhang Q, et al. Bioavailability studies and anticancer properties of malvidin based anthocyanins, pyranoanthocyanins and non-oxonium derivatives [J]. Food and Function, 2016, 7(5): 2462-2468.

[53] Peng Y, Zhang H, Liu R, et al. Antioxidant and anti-inflammatory activities of pyranoanthocyanins and other polyphenols from staghorn sumac (*Rhus hirta* L.) in Caco-2 cell models [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 20: 139-147.

价[J]. 农产品加工, 2004(11): 35-36.

[38] 周婷. 糙米发芽过程中营养成分变化规律及新产品开发[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.

[39] 赵晓娟. 人体必需矿物质与营养强化剂[J]. 广州化工, 2011, 39(5): 29-30.

[40] 寇向龙, 徐美蓉, 张建平, 等. 响应面法优化亚麻籽氢氰酸提取条件[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21).

[41] 李笑春. 不同脱毒方法对木薯氢氰酸含量的影响[J]. 饲料研究, 2011(5): 34-35.

[42] GB 2715-2016《食品安全国家标准 粮食》

[43] 国家质量监督检验检疫总局, 欧盟发布杏仁中氢氰酸标准 [EB/OL]. http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/tzdt/gzdt/201702/t20170220_483047.htm, 2017-02-17/2017-07-15.

[44] 于立梅, 钟惠曾, 于新, 等. 大豆发芽过程中营养成分变化规律的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(8): 19-22.

159-164.

[57] 黄翼飞, 蔡赞, 胡静, 等. 气相色谱-红外光谱联用技术及应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(8): 2130-2135.

[58] 苏婷婷, 王锐, 宫红. GC/FTIR 联用技术及其在化学反应研究中的应用进展[J]. 现代仪器, 2004, 10(4): 28-30.

[59] 向丽, 张贵君, 赵保胜, 等. 肉桂不同部位及其挥发油的红外光谱宏观表征[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(8): 57-61.

[60] 刘燕, 唐铁鑫, 邱新华, 等. 傅立叶变换红外光谱法鉴别金银花挥发油[J]. 中国中医药信息杂志, 2013, 20(11): 63-65.

《食品工业科技》
愿为企业铺路、搭桥！