

Extraction Methods and Related Research of Essential Oil & Antioxidant from Rosemary

Lingxia Chen¹, Haijie Sun¹, Tengteng Xu¹, Ran Chen²

¹School of Chemistry and Chemical Engineering, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou Henan

²Xinyang Longmen Experimental School, Henan Zhengzhou

Email: chenlingxia2120@vip.163.com

Received: Apr. 22nd, 2020; accepted: May 7th, 2020; published: May 14th, 2020

Abstract

This paper introduces various extraction methods and characteristics of rosemary essential oil and antioxidant. Advantages and disadvantages of them were compared, and the content of essential oil, the types and main components of compounds obtained by different extraction methods were compared. The main chemical components in the extracted essential oil are α -pinene, eucalyptus oil, camphor, etc. The main chemical constituents of antioxidants in Rosemary are salvianolic acid, salvianol, rosmarinic acid, etc.

Keywords

Rosemary Essential Oil, Antioxidant, Extraction Method, Main Component

迷迭香精油和抗氧化剂的提取方法及相关研究

陈凌霞¹, 孙海杰¹, 徐滕滕¹, 陈冉²

¹郑州师范学院化学化工学院, 河南 郑州

²荥阳龙门实验学校, 河南 郑州

Email: chenlingxia2120@vip.163.com

收稿日期: 2020年4月22日; 录用日期: 2020年5月7日; 发布日期: 2020年5月14日

摘要

本文介绍了迷迭香精油和抗氧化剂目前使用的各种提取方法及其特点, 比较了这些方法的优缺点, 并对不同提取方法所得的精油含量, 化合物的种类和主要成分做出了对比, 提取的精油中主要的化学成分有 α -蒎烯, 桉叶油素, 樟脑等; 迷迭香中的抗氧化剂的主要化学成分是鼠尾草酸、鼠尾草酚、迷迭香酸等。

关键词

迷迭香精油, 抗氧化剂, 提取方法, 主要成分

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

迷迭香属多年生长的常绿色小灌木植物, 高达 2 米, 原产地是在欧洲, 北非地中海一带, 在欧洲的南部被当作经济作物栽种。曹魏时期, 中国将其引入栽种, 现在大部分种植在我国的南方地区。从迷迭香植物中可提取迷迭香精油和抗氧化剂这两种重要物质。迷迭香精油是液态物质, 具有挥发性, 颜色为无色、或淡黄色。现代研究证明, 迷迭香精油具有优良的生物活性[1] [2] [3] [4], 通过与其他物质配合使用, 具有皮肤调理、生理调节、身体保健、神经舒缓等多种作用。目前, 常用迷迭香精油与薰衣草、百里香、鼠尾草、罗勒、欧薄荷、马郁兰等草药类精油一起调制使用, 可以起到明显的改善记忆力, 抗菌消炎、抗抑郁和催眠的作用, 也可与柠檬、葡萄柚、佛手柑、柚子等柑橘类精油复配, 帮助分解燃烧脂肪。还可以添加到化妆品中, 由于迷迭香精油具有收敛的作用, 可以更好地清洁皮肤, 收敛毛孔, 增强美白保湿的效果。

迷迭香抗氧化剂属于天然多酚类抗氧化剂, 它的特点是具有高强度的抗氧化性和热稳定性, 原料价格低、无毒副作用。因此, 迷迭香抗氧化剂作为一种安全、绿色的食品抗氧化剂, 有逐步替代人工合成的抗氧化剂的趋向, 目前已被大量地使用在各种饮品、化妆品、保健品和一些保护心脏血管的药物及各类食用油脂及富油食品中[5]。王芮东的研究表明: 天然迷迭香抗氧化剂的抗氧化效果, 比维生素 C(Vc) 强很多, 是人工合成抗氧化剂丁基羟基茴香醚(BHA)、二丁基羟基甲苯(BHT)的两倍到四倍, 比叔丁基对苯二酚(TBHQ)的抗氧化效果高两倍左右[6]。天然迷迭香抗氧化剂的分子结构稳定, 在 190℃~240℃ 高温下都不会被分解。与它相比, 常用的合成抗氧化剂有较大的缺点, 如: BHA 具有酚类的特殊的臭味, 而且气味刺鼻; BHT 虽然无臭无味, 但是毒性相对较高; Vc 的水溶液很容易被氧化分解, 易被热、光等显著破坏, 不能与碱性物质、金属等共存; TBHQ 有较大的毒性。随着人们注重健康, 崇尚天然的意识越来越流行, 天然来源、安全无毒的迷迭香抗氧化剂越来越受到追捧。在美国、日本这些国家对维生素 E 及迷迭香抗氧化剂这些天然抗氧化剂的使用量达到了 30%, 预测今后天然抗氧化剂的使用比例还将以每年 10% 的速度继续不断的增长。

迷迭香植物因其特有的价值被大面积栽种, 迷迭香精油在各个领域都能够被使用, 它的应用前景、市场价值非常广阔, 因此被越来越多的研究者所关注。世界上最早开始研究迷迭香抗氧化剂的是日本和欧洲的一些国家, 20 世纪 60 年代末和 70 年代初, 德国和日本的科学家先后从迷迭香中分离出了具有高效抗氧化能力的成分, 随后更多的成分被分离出来并进行了结构鉴定[7] [8], 目前迷迭香精油中主要成分的作用机理, 迷迭香抗氧化剂的药理作用等研究结果不多[9]。根据发表的文献, 本文综述了迷迭香精油及迷迭香抗氧化剂的提取方法, 通过比较不同方法制取的迷迭香提取物的成分和含量的差别, 对比每种方法所得精油或抗氧化剂中含量最高的成分, 分析主要成分的作用, 为迷迭香精油及抗氧化剂的提取研究和相关应用提供参考。

2. 迷迭香提取物的提取方法

迷迭香提取物的提取方法有水蒸气蒸馏法, 有机溶剂萃取法等很多种。

2.1. 水蒸气蒸馏法

水蒸气蒸馏法是迷迭香精油的提取中使用的最多的方法。水蒸气蒸馏法可以简单分为两种: 一种是直接把需要提取的物质原料放到盛满水的容器中, 加热至沸腾后再进行蒸馏, 最后得到需要制取的精油。另一种就需要借助多孔板, 隔水加热, 利用蒸汽对原料进行蒸馏, 蒸汽被冷凝分离后得到的物质就是精油。水蒸气蒸馏法在使用过程中会被溶剂的浓度、配料比、蒸馏时间等因素影响, 可以用来分离那些沸点比较高、不易溶于水的精油物质。

水蒸气蒸馏法虽然很容易进行实验操作、而且实验材料价格便宜, 但是蒸馏需要的时间长, 需要的提取温度也很高, 这就容易使精油中的受热易分解的物质、以及容易被水解的物质挥发、水解[10]。Okoh等采用传统水蒸气蒸馏法提取迷迭香精油, 精油得率为 0.31%, 并且鉴定出了其中的 24 种芳香物质[11]。张俊清等采用正交设计法探讨出了水蒸气蒸馏法提取迷迭香精油的最好的提取方法: 一整株的迷迭香, 添加 30 倍量的水, 提取时间为四个小时, 研究表明, 在此条件下提取的精油最稳定有效[12]。廖俊杰等通过水蒸气蒸馏法从广东生产的迷迭香的茎、叶中提取迷迭香精油, 精油的提取率为 1.1%, 使用 GC-MS 气质联用仪分析迷迭香精油的化学成分, 结果显示, 从迷迭香精油中检测出 32 种化学成分[13]。

2.2. 改进的水蒸气蒸馏法

传统的水蒸气蒸馏法制取迷迭香精油, 虽然操作方法容易, 但精油得率低, 因此, 人们在传统水蒸气蒸馏法的基础上, 对水蒸气蒸馏法进行了优化。

2.2.1. 酶法辅助提取法

酶法辅助提取法是在水蒸气蒸馏法的基础上把材料捣碎后加入纤维素酶回流制得精油的一种方法。酶法辅助提取法所得的精油不仅得率高, 品质好, 而且操作简便, 原料便宜, 但是也存在着所用时间太长, 提取所需温度过高的问题。于功明等采用酶法辅助提取法提取迷迭香精油, 出油率比直接水蒸气蒸馏法提高了 69.2% [14]。张琳琳, 吕晓玲等在单因素试验的基础上, 利用正交试验法优化了酶解的工艺条件进行实验, 结果显示, 出油率提高了 68.8% [15] [16]。

2.2.2. 亚临界水萃取法

亚临界水萃取法, 即在一特定的状态下, 使用一定的压力让水在 100℃~374℃的条件下仍然保持着液体状态。当温度升高的时候, 会使水分子之间的氢键作用变小, 水的极性不断下降, 由强变弱, 这一方法可在萃取不同极性的目标物质时使用[17]。亚临界水萃取法大多是在提取天然产物的时候使用的。

2.2.3. 瞬间降压法

瞬间降压法就是使用一台能承受很大压力的仪器, 通水蒸气把盛有迷迭香原料的容器中的压力慢慢升高到 2~3 MPa, 迅速释放, 精油会随着水蒸气的释放而被分离出来[18]。瞬间降压法所得精油品质高, 产率大, 但是在高温高压的环境下, 会把精油中的一部分热敏性成分降解。

2.2.4. 同时蒸馏萃取法

同时蒸馏萃取法就是把水蒸气蒸馏, 萃取馏出液的溶剂这两步在实验时, 放在了一起进行, 一般只能用来提取植物中容易挥发的成分[19]。同时蒸馏萃取法操作简单, 提取所用时间短, 精油产率高, 而且不会使精油粘在器壁上, 但是工业化应用困难, 因此只能在实验室使用。

2.3. 有机溶剂萃取法

有机溶剂萃取法利用的是某一化合物，在两种互相不能溶解、或者只有特别少的物质会被溶解的溶剂中，由于溶解度以及分配系数的不同，让化合物在这两种溶剂内转换，一遍遍的萃取之后，再提取出里面超过 80% 的化合物。因为石油醚、乙醚这些有机溶剂的沸点低，所以用它们反复不间断的回流，或者浸在冷水中，提取迷迭香中的有效成分，得到提取液，再通过减压蒸馏法或者是直接蒸馏法除去其中的溶剂，就能够得到粗制的精油。

有机溶剂萃取法还可以细化分为：1) 煎煮法，可以用来提取耐高温的成分；2) 浸渍法，可以用来提取受热易分解的物质；3) 渗滤法，和浸渍法差不多，也被用来提取受热容易分解的物质，虽然提取效率高，但是浪费时间；4) 回流提取法，不能用来提取受热易分解的物质，虽然提取效率较高，但是会浪费很多的溶剂；5) 连续回流提取法，提取效率最高，所以不会造成溶剂的浪费，但是提取需要的时间长。

有机溶剂提取法一方面能够提取出来植物体中的脂和蜡等一起提出来，表面上看提高了精油的产率，实际上使精油中含有很多没有用的成分，造成精油的品质下降。另一方面使用有机溶剂法所需时间较长，而且溶剂会被溶解在精油中，必须要通过使用一些蒸馏装置除去残留溶剂[9]。郑秋阁采用有机溶剂提取法提取迷迭香中的抗氧化成分，确定了迷迭香提取物的主要成分为精油和抗氧化剂，及其在提取物中所占的比重[20]。

2.4. 超临界 CO₂ 萃取法

超临界 CO₂ 萃取法也可以叫做超临界流体萃取技术，这种高新化工分离技术源于 20 世纪 70 年代。其工作原理是在超临界状态下利用 CO₂ 等物质形成的流体，萃取并且分离植物中那些有效的成分。

超临界 CO₂ 流体萃取技术与传统的萃取技术不一样的地方是：它萃取得到的物质中残留的溶剂很少，而且萃取的速度很快、效率很高、选择性也很高；另外萃取需要的温度不是很高，所以大部分产品中的活性物质能够被完整的保留下来。现在的人们对产品大都要求要天然、无公害，超临界 CO₂ 流体萃取技术作为一种“绿色、可持续发展”的高新技术，满足了人们的这一要求，所以能够被大量的应用在医疗药品、食品、化妆品、生物、环保等领域中[21] [22] [23]。毕良武等采用超临界 CO₂ 萃取法提取迷迭香精油和抗氧化剂，迷迭香精油的平均得率为 1.80%，迷迭香抗氧化剂的平均得率为 11.93% [3]。

2.5. 物理场强化提取法

物理场强化提取是指在一些常用的溶剂萃取中，加入如微波或超声波等物理场，能够起到强化萃取的作用，还能够减少萃取时间，降低活性物质的降解[10]。

2.5.1. 微波辅助提取法

微波辅助提取法是依据微波辐射高频电磁波，细胞可以吸收微波，电磁波能够穿透萃取所需要的介质、萃取原料的内部维管束和腺胞系统的原理，此时细胞在微波的作用下受热膨胀，压力不断变大，大到细胞壁再也无法膨胀时，细胞就会被损坏裂开，流出大量有效成分，这些成分在温度较低的环境中会被介质溶解，从而得到需要的成分[24] [25]。

微波辅助提取法的优点是工作效率高、仪器简单容易操作、重现性好、能够节省成本、而且绿色环保，被大量的使用在各行各业中。王乃馨利用单因素实验，使用 Box-Behnken 试验定量分析了液料比、提取时间、微波功率这三个因素对微波辅助提取迷迭香精油的影响，而且进行了优化，最终得到微波辅助提取法提取迷迭香精油的最佳提取工艺条件：利用 12.3 mL/g 的液料比、使用 500 W 的微波功率，对产品提取 125 s，此时精油得率达到最大值 4.05% [26]。

2.5.2. 超声波辅助提取法

超声波提取技术是最近几年来常常被用来提取中草药活性成分的方法之一,超声波具有空化作用,可以利用这一作用加强对植物中有效物质的浸出和提取,达到理想的提取效果[27] [28]。超声波辅助提取法提取物质所需要的时间很短、所需要的温度也不高,而且使用的仪器很简单、操作起来也很方便,所以在提取受热易分解的物质方面大受欢迎。凌敏等研究了超声波辅助微波萃取法从迷迭香中提取迷迭香酸的工艺条件,迷迭香酸的提取率可达到 94.54% [27]。

2.6. 迷迭香抗氧化剂的提取方法

迷迭香中抗氧化剂的提取方法除可采取上述方法外,还有针对迷迭香抗氧化剂热稳定性好的特点设计的结晶法和过热水提取法。

2.6.1. 结晶法

结晶法是根据迷迭香抗氧化剂在丙酮、乙醚、乙醇、乙酸乙酯、石油醚等有机溶剂中容易溶解,在水中微溶的原理来提取的[29]。结晶法提取迷迭香抗氧化剂的优点是抗氧化剂的提取率高,仪器简单,花钱少,缺点是实验过程复杂,不容易在实验室中使用,而且实验制得的抗氧化剂的抗氧化性低。李海涛等探究了使用结晶法从迷迭香中提取天然抗氧化剂的方法,提取工序为:先提取精油,再粗提抗氧化剂,最后对抗氧化剂进行精提[29]。

2.6.2. 过热水提取法

过热水提取法是指一定条件下保持水在 100℃时不沸腾,此时向水中添加某些物质后,水立即暴沸。过热水提取法利用的就是一些有机物的溶解度在过热水中相比在室温下高很多的特点提取物质[18]。过热水提取中产生大量可以循环使用的热量,水未气化,能耗的成本较低,但是要求仪器精密,需要大量的水,所以实验时要注意安全,防止发生意外事故。Basile 等利用过热水提取迷迭香抗氧化剂,产率高于水蒸气蒸馏法[30]。

3. 不同方法提取的迷迭香精油得率及其主要成分的对比

提取迷迭香精油的方法多种多样,其中广泛被人们使用的有水蒸气蒸馏法,超临界 CO₂ 萃取法。根据大量文献实验数据,分别对这两种方法的多位研究者的研究工作进行了比较,主要从迷迭香精油的得率,精油中的主要成分和鉴定出的化合物种类进行对比,结果如表 1、表 2 所示。

Table 1. Comparison of water vapor distillation

表 1. 水蒸气蒸馏法研究工作对比

编号	精油中的主要成分	精油得率	成分种类	参考文献
1	1R- α -蒎烯,1,8-桉树脑,樟脑等	1.87%	31	黄宏妙[31]
2	α -蒎烯,1,8-桉叶油素,樟脑等	2.27%	20	刘昭明[32]
3	α -蒎烯,桉叶油素,樟脑等	1.93%	31	王化[33]
4	α -蒎烯,樟脑,茨烯等	1.10%	32	廖俊杰[13]
5	α -蒎烯,1,8-桉叶素,樟脑等	1.40%	36	黄景荣[34]

注:精油中的主要成分按成分在精油中的含量高低排序。

由表 1 可看出水蒸气蒸馏法提取的精油的主要成分为 α -蒎烯,1,8-桉叶油素,樟脑,茨烯等。其中精油得率最高的是刘昭明的实验,其研究表明,使用水蒸气蒸馏法制取迷迭香精油时,精油得率最高的实

验方法为：称取 100 g 样品放在挥发油提取器中，按常用的水蒸气蒸馏法提取 6 h，静置分层后读取挥发油的体积，得到淡黄色精油 2.54 mL。采用气相色谱—质谱联用和气相色谱法对迷迭香挥发油进行定性定量分析。此时迷迭香精油提取率为 2.27% [32]。王化对水蒸气蒸馏法提取迷迭香精油的工艺进行了优化，当蒸馏时间为 1.5 小时，精油得率最优，为 1.93% [33]。黄宏妙运用正交设计优化水蒸气蒸馏法的提取工艺，得出迷迭香精油的最佳提取条件为：把剪成 1 cm 长的迷迭香小段，浸泡在质量比为 1:15 的料水中 3 小时，之后再提取 4 小时，此时精油得率为 1.870% [31]。廖俊杰从广东产的迷迭香茎叶中使用水蒸气蒸馏法提取迷迭香精油，得率为 1.1% [13]。由此可知，使用水蒸气蒸馏法制取迷迭香精油时，迷迭香精油的得率与迷迭香样品的形状、蒸馏时间、精油提取位置有关。实验时，应根据需要，选取最佳实验方案优化提取工艺来制取迷迭香精油。

Table 2. Comparison of supercritical CO₂ extraction
表 2. 超临界 CO₂ 萃取法研究工作对比

编号	精油中的主要成分	精油得率	成分种类	参考文献
1	1,8-桉叶素, 樟脑, α -松油醇等	1.80%	16	毕良武[3]
2	α -蒎烯, 桉叶油素, 樟脑等	1.20%	43	张冲[35]
3	樟脑, 桉叶油素, 乙酸铵等	1.97%	14	黎乃维[36]
4	α -蒎烯, 桉叶油素, 樟脑等	4.40%	52	黄景荣[34]
5	α -蒎烯, 1,8-桉叶油素, 樟脑等	7.20%	36	乐振穹[37]

注：精油中的主要成分按成分在精油中的含量高低排序。

由表 2 可看出超临界 CO₂ 萃取法所制得的迷迭香精油主要成分为 α -蒎烯, 桉叶油素, 樟脑等。乐振穹研究的超临界 CO₂ 萃取法最佳提取工艺是：在 40 MPa 压力、80℃ 温度下、水携带剂含量为 20%，萃取 2.5 h 时，得到的有效成分含量和得率最好，最大得油率可达 7.2% [37]。张冲用超临界 CO₂ 流体萃取技术提取研究了福建产的迷迭香精油，萃取过程利用程序加压和升温，精油得率为 1.2%。此后采用 GC-MS 联用技术，分析萃取得到的迷迭香精油组分，鉴定出其中 43 个化学成分，占精油总量的 97.83% [35]。黄景荣把人工解析质谱图与计算机谱库检索相结合，对超临界 CO₂ 萃取法萃取的迷迭香精油进行化学成分分析，鉴定出了其中的 52 种化学物质[34]。

由表 1 和表 2 的对比可知，使用水蒸气蒸馏法和超临界 CO₂ 萃取法制取的迷迭香精油的主要成分相同，但使用超临界 CO₂ 萃取法制得的迷迭香精油的得率比使用水蒸气蒸馏法要高、鉴定出的化学成分的种类也要多。这是因为与水蒸气蒸馏法相比，超临界 CO₂ 萃取法能萃取出高沸点的精油成分。

4. 不同方法提取的迷迭香抗氧化剂的得率，主要成分及其含量

迷迭香抗氧化剂的主要成分为：鼠尾草酸，鼠尾草酚，迷迭香酸，迷迭香酚等。利用不同的方法提取的迷迭香抗氧化剂的得率不同，同一成分在抗氧化剂中的含量也不同，结果如表 3 所示。

Table 3. Comparative study on antioxidant of Rosemary
表 3. 迷迭香抗氧化剂的研究工作对比

编号	提取方法	得率	主要成分及其含量	参考文献
1	极性溶剂和非极性溶剂的两步提取法	16.08%	鼠尾草酸(17.78%), 鼠尾草酚(6.23%), 迷迭香酸(3.37%)	毕良武[1]
2	极性和非极性混合溶剂一步提取法	16.98%	鼠尾草酸(15.17%), 鼠尾草酚(2.51%), 迷迭香酸(5.62%)	毕良武[2]

Continued

3	超临界 CO ₂ 萃取法	11.93%	鼠尾草酸(23.61%), 鼠尾草酚(7.33%), 迷迭香酸(5.13%)	毕良武[3]
4	结晶法	4.5%	—	李海涛[29]
5	超声波辅助热回流法	—	纯化后迷迭香酸(96.82%)	张春艳[38]
6	超临界 CO ₂ 萃取法	10.81%	鼠尾草酸(15.6%), 鼠尾草酚(8.4%), 迷迭香酚(3.5%)	张文成[39]
7	溶剂回流提取法	—	鼠尾草酸(30.66%), 鼠尾草酚(5.12%)	王勇[40]

注: 精油中的主要成分按成分在精油中的含量高低排序。

由表 3 可看出, 极性和非极性混合溶剂一步提取法提取的迷迭香抗氧化剂与两步提取法相比, 抗氧化剂的得率有所提高, 但主要成分中鼠尾草酸、鼠尾草酚的含量明显变少了, 这是因为鼠尾草酸和鼠尾草酚在极性溶剂和非极性混合溶剂中的溶解度, 高于在单个溶剂中的溶解度。95%乙醇, 以及非极性溶剂石油醚等都能起到促进酸和酚的溶解的作用。超临界 CO₂ 萃取法与极性溶剂和非极性溶剂相结合的两步提取法和一步提取法相比, 所得鼠尾草酸和鼠尾草酚的含量较高, 说明极性溶剂和非极性溶剂相结合影响二者的溶解度。同是超临界 CO₂ 萃取法, 张文成所做实验中鼠尾草酸的含量要比毕良武所做实验中鼠尾草酸含量低很多, 这说明鼠尾草酸的提取不仅与实验条件中萃取压力, 萃取时间有关, 与极性溶剂 95%乙醇有关, 对比二人的实验条件, 发现乙醇的使用有利于鼠尾草酸的提取。

5. 总结

迷迭香作为一种具有丰富使用价值的植物, 被越来越多的研究者所关注。迷迭香抗氧化剂作为一种天然抗氧化剂也备受人们的喜爱。本文对迷迭香提取物的提取方法进行了综述, 并列表对比了水蒸气蒸馏法, 超临界 CO₂ 萃取法对迷迭香精油的提取结果。研究表明, 水蒸气蒸馏法和超临界 CO₂ 萃取法制得的迷迭香精油的主要化学成分均为 α -蒎烯, 桉叶油素, 樟脑等。水蒸气蒸馏法虽然操作容易, 但耗时长, 而且实验过程中需要的温度也高, 不适合用来提取受热易分解的物质, 容易被水解的物质等。超临界 CO₂ 萃取法方法简单, 萃取物质得率高, 提取所需温度低, 适合在大规模的工业化生产中使用, 而且此法提取的精油得率, 化合物种类, 主要活性物质含量最高。本文还比较了使用极性溶剂和非极性溶剂的两步提取法, 极性和非极性混合溶剂一步提取法, 以及超临界 CO₂ 萃取法对迷迭香抗氧化剂的提取结果。结果显示迷迭香抗氧化剂的主要成分为: 鼠尾草酸, 鼠尾草酚, 迷迭香酸, 不同方法, 不同工艺制取的各成分的含量略有差异。

参考文献

- [1] 毕良武, 赵振东, 李冬梅, 等. 迷迭香抗氧化剂和精油综合提取技术研究(I)——两步提取法[J]. 林业化学与工业, 2007, 27(4): 21-25.
- [2] 毕良武, 赵振东, 李冬梅, 等. 迷迭香抗氧化剂和精油综合提取技术研究(II)——一步提取法[J]. 林业化学与工业, 2007, 27(5): 11-14.
- [3] 毕良武, 赵振东, 李冬梅, 等. 迷迭香抗氧化剂和精油综合提取技术研究(III)——超临界 CO₂ 萃取法[J]. 林业化学与工业, 2007, 27(6): 8-12.
- [4] 贾佳, 吴艳, 苏莉芬, 等. 迷迭香精油的研究进展[J]. 黑龙江医药, 2015, 28(4): 724-728.
- [5] 刘先章, 赵振东, 毕良武, 等. 天然迷迭香抗氧化剂的研究进展[J]. 林业化学与工业, 2004, 24(s1): 132-138.
- [6] 王芮东. 采用微波对绿茶南瓜蛋糕进行烘烤的研究[J]. 粮食加工, 2004(3): 49-51.

- [7] 张堂. 迷迭香抗氧化剂的高效分离与抗氧化活性研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [8] Sehwarz, K. and Temes, W. (2002) Antioxidative Constituents of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis*. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, **195**, 99-103. <https://doi.org/10.1007/BF01201766>
- [9] 吴蒙, 徐晓军. 迷迭香化学成分及药理作用最新研究进展[J]. 生物质化学工程, 2016, 50(3): 51-57.
- [10] 王秀环, 孙伟卫, 季新燕, 等. 迷迭香精油提取工艺研究进展[J]. 山西中医学院学报, 2015, 16(1): 73-76.
- [11] Zhang, Y. and Wang, Z.Z. (2008) Comparative Analysis of Essential Oil Components of Three Phlomis Species in Qinling Mountains of China. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **47**, 213-217. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2007.12.027>
- [12] 张俊清, 李海龙, 赖伟勇, 等. 迷迭香精油水蒸气蒸馏最佳提取工艺筛选研究[J]. 海南医学院学报, 2011, 17(1): 8-10.
- [13] 廖俊杰, 杨伟柱, 廖鹏程, 等. 粤产迷迭香的精油提取及其主要成分分析[J]. 中成药, 2007, 29(7): 1035-1038.
- [14] 于功名, 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): 54-58.
- [15] 张琳琳. 酶法辅助提取迷迭香精油及其抗炎作用[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2010: 122-127.
- [16] 吕晓玲, 张琳琳, 马立强, 等. 迷迭香挥发油的酶法辅助提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2010, 32(7): 233-234, 238.
- [17] 应丽亚, 苏平. 亚临界水萃取技术在植物精油提取中的应用潜力[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(5): 142-145.
- [18] 彭伟. 迷迭香精油和抗氧化剂的提取工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [19] 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.
- [20] 郑秋闯. 迷迭香抗氧化剂的提取和鉴定[J]. 潍坊学院学报, 2010, 10(4): 95-98.
- [21] 韩小金, 张荣, 毕继诚. 超临界 CO₂ 萃取红花挥发油的实验研究[J]. 中成药, 2009, 31(2): 212-216.
- [22] Shen, Q., Cai, G.M. and He, G.X. (2008) Constituent of Essential Oil from Hemp Seed by Supercritical-CO₂ Fluid Extraction and Steam Distillation. *Central South Pharmacy*, **6**, 669-671.
- [23] Wang, X., et al. (2009) Bergamot Essential Oil Extracted with Technological Study and GC-MS Analysis on Supercritical Fluid CO₂. *Food Science*, **30**, 221-223.
- [24] 王萌, 樊博强, 王拓, 等. 微波辅助法提取精油和果胶[J]. 化学工程与装备, 2013, 41(4): 5-7.
- [25] 胡位荣, 刘顺枝, 谢伟文, 等. 无溶剂微波提取法提取柚皮精油的初步研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(1): 93-95.
- [26] 王乃馨. 微波辅助提取迷迭香挥发油的工艺研究[J]. 农业机械, 2011, 54(29): 58-60.
- [27] 凌敏, 翟婷, 李利明. 超声波微波辅助萃取法提取迷迭香酸的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2008, 30(4): 194-195, 198.
- [28] 孙增博, 张飞飞, 祝子坪. 超声辅助溶剂法提取橘皮精油的研究[J]. 台州学院学报, 2014, 36(3): 30-35.
- [29] 李海涛, 张群, 郭红, 等. 结晶法从迷迭香中提取天然抗氧化剂的生产工艺研究[J]. 玉溪师范学院学报, 2001, 17(s1): 249-251.
- [30] Basile, A., Jimenez-Carmona, M. and Clifford, A. (1998) Extraction of Rosemary by Superheated Water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**, 5205-5209. <https://doi.org/10.1021/jf980437e>
- [31] 黄宏妙. 迷迭香挥发油提取工艺优化及其化学成分分析[J]. 湖南农业科学学报, 2012, 51(11): 2321-2324.
- [32] 刘昭明, 田玉红, 黄翠姬, 等. 迷迭香挥发油成分及抑菌活性研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 654-656.
- [33] 王化. 迷迭香天然活性成分的提取及应用研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [34] 黄景荣, 周泉城, 周婷, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取与水蒸气蒸馏法提取的迷迭香油的化学成分研究[J]. 食品工业科技, 2009, 31(2): 102-104, 107.
- [35] 张冲, 李嘉诚, 周雪晴, 等. 超临 CO₂ 萃取迷迭香精油及其化学成分分析[J]. 精细化工, 2008, 25(1): 62-67.
- [36] 黎乃维, 马丽杰, 金海珠, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取法提取迷迭香中主要挥发性成分研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(14): 47-49.
- [37] 乐振窍, 刘文美. 超临界二氧化碳萃取天然迷迭香抗氧化剂有效成分工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 32(20): 283-285.

- [38] 张春艳. 迷迭香酸的提取与分离纯化工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2009, 97(6): 184-186.
- [39] 张文成, 张海涛, 郑仁娟, 等. 迷迭香精油及抗氧化剂的提取与成分分析[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(11): 2723-2725.
- [40] 王勇. 迷迭香精油和抗氧化剂提取工艺及其活性研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.