

薄荷油的提取、药理作用及微胶囊化研究进展

Research progress on extraction, pharmacological effects and microencapsulation of peppermint oil

邵佩^{1,2} 张雨迎² 钟琳³ 王盼¹ 苗丽坤¹

SHAO Pei^{1,2} ZHANG Yu-ying² ZHONG Lin³ WANG Pan¹ MIAO Li-kun¹

(1. 武汉黄鹤楼香精香料有限公司, 湖北 武汉 430040; 2. 武汉黄鹤楼新材料科技开发有限公司, 湖北 武汉 430040; 3. 湖北中烟工业有限责任公司, 湖北 武汉 430040)

(1. Wuhan Huanghelou Flavors and Fragrances Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China;

2. Wuhan Huanghelou New Materials Science and Technology Development Co., Ltd., Wuhan,

Hubei 430040, China; 3. Hubei China Tobacco Industry Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China)

摘要:从薄荷油的提取、药理作用、微胶囊制备方法等方面,归纳和总结了近年来国内外对薄荷油的相关研究进展,指出新型微胶囊技术将是其后续研究方向。

关键词:薄荷油;提取方法;药理作用;微胶囊化

Abstract: In this paper, the research progress of peppermint oil at home and abroad in recent years was summarized from the aspects of extraction, pharmacological action and preparation method of microcapsule, and the new microcapsule technology is the follow-up research direction.

Keywords: peppermint oil; extraction method; pharmacological effects; microencapsulation

薄荷属(*Mentha* Linn.)在全球分布广泛,原产于地中海地区,多分布于北半球的温带地区,少数见于南半球,全球约有 30 种,而在中国就有 12 种,主要产于江苏、浙江和安徽等地^[1]。薄荷油是薄荷中的主要挥发性成分,在薄荷干茎叶和鲜叶中含油率分别为 1.3%~2.0%,0.8%~1.0%^[2],可用作牙膏、香水、糖果和烟草工业的原料^[3-5]。薄荷油中的主要挥发性成分是薄荷醇(33%~60%)、薄荷酮(15%~32%)以及其他几个次要成分,包括胡薄荷酮、薄荷脑和柠檬烯等,因植物成熟度、地理区域和加工条件不同其成分含量存在差异^[6]。此外,精油具有较强挥发性,性质不稳定,在氧气、光、湿气和高温存在的情况下容易降解。将薄荷油挥发性成分在使用前微胶囊化是一种常用的方法,以减少加工及贮藏过程中风

味和香气的损失、降解,达到延长贮藏期,方便运输的目的^[7]。

目前对薄荷油的相关研究较多,如薄荷油提取、药理作用和微胶囊制备等,但缺乏对薄荷油研究的系统归纳和总结。文章汇总了薄荷油的提取方法、药理作用及微胶囊化方法,以期为制备稳定的薄荷油及其合理利用提供理论参考。

1 薄荷油的提取

1.1 水蒸气蒸馏法

目前薄荷油的提取多采用水蒸气蒸馏法。该法将植物原料加水蒸馏,其中挥发性成分会随水蒸气一起馏出,经冷凝后即可获得植物精油。蒲维维等^[8]研究了蒸馏时间、粉碎度、加水量和浸泡时间 4 个因素对薄荷油提取率的影响,结果表明,料液比($m_{\text{薄荷饮片粉}}:V_{\text{水}}$)为 1:10 (g/mL),蒸馏 8 h 时,提取率最高,为 0.53%。祖里皮亚·塔来提等^[9]以欧薄荷油得率为指标,选择浸泡时间、加水量和提取时间 3 个因素进行单因素和正交试验,在加水 18 倍,浸泡 12 h 的条件下进行薄荷油的提取,发现加热提取 3 h 后得到欧薄荷挥发油的提取率最高,为 0.80%。

综上,薄荷油提取率的主要影响因素有:蒸馏时间、料液比、提取时间等,因原料来源及研究者设定的工艺参数不同,薄荷油最佳提取率也不相同。

1.2 有机溶剂萃取法

有机溶剂萃取法是用低沸点的有机溶剂浸提植物原料,利用化合物在两种互不相溶的溶剂中分配系数的不同,使化合物从一种溶剂转移到另外一种溶剂中从而实现分离。陈燕^{[10]30-38}采用有机溶剂提取人工种植薄荷精油,以提取溶剂、提取时间、提取温度、料液比和提取次数

作者简介:邵佩,女,武汉黄鹤楼香精香料有限公司助理工程师,硕士。

通信作者:苗丽坤(1984—),女,武汉黄鹤楼香精香料有限公司助理研究员,硕士。E-mail:mlk19840615@163.com

收稿日期:2021-08-02

为考察因素,通过响应面分析法得到薄荷精油的最佳提取工艺为:以正己烷为溶剂,料液比($m_{\text{薄荷}}:V_{\text{正己烷}}$)为 1:7 (g/mL),提取温度 50 ℃,提取时间 40 min,此时薄荷精油的得油率为 1.56%。梁呈元等^[11]采用冷浸法提取薄荷油,以石油醚为溶剂,在料液比($m_{\text{薄荷}}:V_{\text{石油醚}}$)为 1:10 (g/mL),浸泡时间为 3 h 条件下浸泡 3 次,薄荷油的提取率为 1.27%。

综上,影响薄荷油提取率的因素主要有:提取温度、提取时间、料液比及提取次数,与水蒸气蒸馏法相比,有机溶剂萃取法明显缩短了提取时间,薄荷油提取率更高。

1.3 超声波辅助提取法

超声波辅助法是利用超声波的空化作用、机械效应和热效应,加快植物细胞中有效成分的析出,以此显著提高提取率的方法。张国栋等^[12]采用超声波辅助结合水蒸气蒸馏法提取薄荷挥发油,考察粉碎目数、浸泡时间、超声功率、超声时间、蒸馏时间等因素对薄荷油提取率的影响。结果表明,在粉碎 120 目,浸泡 20 h,超声功率 300 W 条件下超声 10 min,蒸馏 135 min,对应的薄荷油得率为 3.42%。高燕^{[13]31-36}采用超声波辅助提取法提取野生薄荷精油,研究萃取时间、液料比、温度和提取功率 4 个因素对薄荷油提取率的影响,结果表明在超声波辐射功率 250 W,料液比 1:4 (g/mL),处理时间 60 min,萃取温度 40 ℃ 时,平均得油率为 2.02%。

综上,与传统提取方法相比,超声波提取法进一步缩短了提取时间,提高薄荷油提取率。当超声功率升高时,薄荷油提取率得到提高。但超声功率过高时,超声波空化作用会影响薄荷油成分的析出,降低提取率。因而选择超声波提取法时,应采用合适的超声功率、超声温度和超声时间,以提高薄荷油提取率。

1.4 超临界 CO₂ 萃取法

超临界 CO₂ 萃取法是利用 CO₂ 对天然产物的溶解作用,通过压力和温度来改变 CO₂ 的溶解能力来实现分离的。梁呈元等^[14]采用超临界 CO₂ 法萃取薄荷油,研究表明萃取压力 20 MPa,萃取温度 60 ℃,CO₂ 流量 30 kg/h,萃取时间 2 h 时,薄荷油萃取率为 7.26%。高宇明等^[15]

以薄荷叶为原料,采用超临界 CO₂ 法进行萃取,研究萃取时间、CO₂ 流量、萃取温度和萃取压力 4 个因素对薄荷油得油率的影响,结果表明,萃取时间为 1.5 h,萃取温度为 50 ℃,萃取压力为 40 MPa,CO₂ 流量为 40 kg/h 时得油率最佳,为 3.32%。陈燕^{[10]342}采用水蒸气蒸馏法、有机溶剂萃取法和超临界 CO₂ 萃取法提取人工种植的薄荷精油,发现超临界 CO₂ 萃取法制备薄荷油得率最高,为 2.24%;而水蒸气蒸馏法制备薄荷油得油率最低,为 1.30%。并且 3 个不同品种薄荷精油得油率高低排序为椒样薄荷>青茎薄荷>香柠檬薄荷。由此可见,不同品种、不同提取方法薄荷油提取率存在差异,一般情况下,各提取方法薄荷油得油率大小排序为:超临界 CO₂ 萃取法>超声波辅助提取法>微波辅助提取法>冷浸法>水蒸气蒸馏法。

综上,与超声辅助提取法相比,超临界 CO₂ 萃取法提取效率高。而薄荷油的提取工艺均存在着不同的优缺点(见表 1),在生产中可以根据具体情况进行选择。

2 薄荷油的药理作用

目前,国内外针对薄荷油药理作用的相关研究较多。大量体外和动物试验^[16-17]研究表明,薄荷油营养价值丰富,具有抗炎、抗氧化、抗菌和抗病毒等药理作用。

2.1 抗氧化作用

关于薄荷油抗氧化作用的研究是当前比较热门的话题,薄荷油因含有大量抗氧化活性物质,达到一定质量浓度时可抑制并清除自由基。吕爽等^[18]采用水蒸气蒸馏法提取椒样薄荷精油,并进行了清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和铁离子还原法(FRAP)测定,结果表明,椒样薄荷精油提取后残渣的醇提取物有较强的清除 DPPH 自由基能力,质量浓度为 1.25 mg/mL 时抑制率为 93.5%。高燕^{[13]37-42}研究表明,在一定的质量浓度范围内,野生薄荷精油的总抗氧化性、清除超氧阴离子和羟基自由基能力随质量浓度升高而逐渐增强,这可能是因抗氧化物质增多导致的;而野生薄荷精油清除 DPPH 自由基的能力较低,主要是因为野生薄荷精油所含的黄酮类化合物大多为水溶性,影响了 DPPH 自由基的稳定性。Abdellatief 等^[19]测定了薄荷油的 DPPH 自由基清除能

表 1 薄荷油提取工艺优缺点比较

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of essential oils extracted from peppermint oil

制备工艺	主要优点	主要缺点
水蒸气蒸馏法	操作简单,设备成本低	蒸馏耗时长,产品杂质多,提取率低
有机溶剂萃取法	工艺操作安全,低温萃取,不会破坏热敏性成分	提取精油纯度低,有机溶剂使用量大,溶剂残留会污染环境
超声波辅助提取法	提取时间短、提取率高,适用工业化生产	超声过程噪声大,易使样品温度升高,需要采取降温措施
超临界 CO ₂ 萃取法	低温萃取,能保护易氧化分解成分及热敏性物质不被破坏,产品纯度高	生产成本较高

力,并与抗坏血酸和丁基羟基茴香醚(BHA)进行了比较,结果表明薄荷油的 IC_{50} (测试样品的质量浓度导致初始 DPPH 浓度降低 50%) 为 $(45.0 \pm 3.2) \mu\text{g/mL}$,而抗坏血酸和 BHA 分别为 (32.0 ± 3.5) , $(53.0 \pm 3.1) \mu\text{g/mL}$ 。综上,薄荷油具有较强的抗氧化活性,但薄荷生长环境中的光照、温度、湿度等因素,都会影响薄荷精油的提取率,进而影响其抗氧化能力。

2.2 抗菌作用

薄荷油具有较好的抗菌性,除可作为香料外,还可以作为天然防腐剂,被应用于食品领域。有研究^[20]表明薄荷油可以剂量依赖性地抑制细菌、真菌等的生长和繁殖。周露等^[21]研究了云南薄荷精油对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、烟曲霉菌和白念珠球菌 4 种菌的最低抑菌浓度(MIC)和最低杀菌浓度(MBC),发现薄荷精油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和白念珠菌有明显的抗菌效果,而对烟曲霉菌的抗菌效果不明显。杨倩^{[22]50-56}测定了 4 种化学型薄荷油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、肺炎克雷伯菌、表皮葡萄球菌和铜绿假单胞菌 5 种供试菌的 MIC 和 MBC,结果表明 *L*-薄荷醇型薄荷油和胡薄荷酮型薄荷油对 5 种供试菌有明显的抑制作用,而香芹酮型薄荷油和 *L*-薄荷酮型薄荷油的抑制作用较弱。Rajinder 等^[23]研究了椒样薄荷精油对不同菌株的抗菌作用,结果表明,薄荷油对两种革兰氏阳性菌金黄色葡萄球菌和酿脓链球菌比较敏感,抑菌圈直径为 17.2, 13.1 mm;而对革兰氏阴性菌的敏感性略差,抑菌圈直径范围为 5.1~12.4 mm。由此可见,薄荷油对细菌的抗菌效果较好,且对革兰氏阳性菌的抗菌活性优于革兰氏阴性菌,这可能是由于革兰氏阴性菌中有脂多糖,增强了它们对抗菌物质的抵抗力;另外,抗菌效果与薄荷油不同产地或地理环境、栽培品种类型、季节性和植物生理年龄和提取方法存在相关性。

2.3 抗炎作用

现代研究表明薄荷油还具有一定的抗炎活性。苑如等^[24]用高、中、低剂量的薄荷油乳化剂喂养 40 只雄性小白鼠,发现薄荷油乳化剂高、中、低剂量组均有一定的消炎效果,其中高剂量组消炎效果最明显,且薄荷油对小鼠耳肿胀有减轻作用。杨倩^{[22]44-49}研究表明 4 种不同化学型的薄荷挥发油对二甲苯致小鼠耳肿胀与蛋清致大鼠足肿胀模型具有不同程度的炎症抑制活性,且活性大小为:胡薄荷酮型>*L*-薄荷醇型>*L*-薄荷酮型>香芹酮型,胡薄荷酮型薄荷挥发油抗炎效果最显著。综上,薄荷油类型不同时,其抗炎效果存在差异,而其作用主要是通过显著降低大鼠炎症组织中的 PGE2 含量,并能够降低血脂中的 MDA 与 NO 含量,从而达到炎症的抑制作用。

2.4 其他

此外,薄荷油还有祛痰、利胆、解痉和促渗透等多方面药理作用。Vo 等^[25]发现一次性给大鼠灌服 830 mL/kg 薄

荷油时,可以使胆汁分泌流量增加 70%,这表明薄荷油有明显的利胆作用,可以促进胆汁分泌增加。另外,刘红杰等^[26]给小鼠口服 2.3 mL/kg 薄荷油,在 6~48 h 血清中 TB、ALP、ALT、AST 值均显著升高,并且给药 12 h 后小鼠出现肝脏肿大,肝脏指数显著升高,表明薄荷油剂量过高时会导致急性肝损伤,甚至加速肝脏细胞死亡。Abdellatif 等^[19]通过在大鼠腹膜内施用烟酰胺然后用单剂量的链脲佐菌素(STZ)在禁食过夜诱导糖尿病,72 h 后,进行薄荷油(PEO)治疗后观察到糖尿病引起的贫血得到纠正,白细胞和血小板计数增加,血糖水平降低,血清胰岛素和 C 肽水平升高,大鼠的抗氧化状态增加。组织学分析显示肝和胰腺组织再生,退行性变化程度减少。免疫组织化学检查显示 Bcl-2 和胰岛素表达上调,这些发现证明了 PEO 的潜在抗糖尿病能力。

3 薄荷油的微胶囊化制备技术

薄荷油是最受欢迎和使用最广泛的精油之一,但由于易挥发、水溶性差,导致其在医药和食品领域的应用受限。微胶囊是指其中一种材料或材料的混合物(即核或活性成分)被另一种壁材或壳包覆或夹带在其中,保护活性成分(精油)免受外部环境影响的成熟技术^[27]。目前已有多种微胶囊化方法被应用于香料和香气的封装,这些方法可分为三类:物理法、物理化学法和化学法,在生产中常用的薄荷油微胶囊化技术主要有喷雾干燥法^[28]、复凝聚法^[29]、界面聚合法^[30]和包结络合法^[31]等。

3.1 喷雾干燥法

喷雾干燥法是目前使用最广泛的微胶囊制备方法,指将芯材均匀分散在液化的壁材溶液中,然后雾化料液并快速蒸发溶剂,从而使壁材固化并最终包埋芯材^[32]。董志俭^{[33]97-105}采用喷雾干燥法制备复合凝聚球状多核薄荷油微胶囊,发现当芯壁质量比为 1:2, 1:1, 2:1 时,制备的微胶囊呈球状、多核结构,并且应用于曲奇中的风味强度明显优于直接加入薄荷油的曲奇。朱卫红^{[34]34-45}以辛烯基琥珀酸酯化淀粉 HI-CAP100 和 N-LOK 作为壁材,采用喷雾干燥法优化薄荷油微胶囊制备工艺,在固形物质量分数 45%,均质压力 35 MPa,进风温度 195 °C,薄荷油载量高达 40%时,采用 HI-CAP100 制备的微胶囊化薄荷油产品的微胶囊化产率和效率均高于 95%。另外,气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)和扫描电子显微镜结果显示微胶囊能有效避免薄荷油中主要风味成分发生变化^{[34]33}。

3.2 复凝聚法

与喷雾干燥法相比复凝聚法可提供更高的有效载荷(高达 99%),有更好的耐水热性和控释性能^[35]。该法以带相反电荷的水溶性高分子溶液为壁材,在适当条件下由于电荷中和使壁材从溶液中凝聚,从而包裹芯材形成微胶囊^[36]。通常是蛋白质和多糖通过复凝聚产生的微胶

囊形成核壳结构^[37-38]。由于核心在外相中不受水的影响,因此复凝聚法非常适合封装疏水性物质,如精油等。壁材材料通常是选择明胶作为蛋白质,结合阿拉伯胶^[39]、果胶^[29]或含有壳聚糖的混合物^[28],明胶和金合欢胶的蛋白质-多糖组合是目前研究最广泛的一组壁材材料^[35]。Glomm 等^[40]使用牛血清白蛋白(BSA)和阿拉伯胶为壁材,通过复凝聚作用封装薄荷油,结果表明复凝聚法过程产生分散良好的球形单核微胶囊,其尺寸与母体乳液相似,最高微胶囊化产率为 54%。董志俭^{[38]30-46}采用复合凝聚法制备薄荷油微胶囊,发现以明胶和阿拉伯胶为壁材时,能够生成球状多核结构的微胶囊,得到最佳制备工艺条件为芯壁质量比低于 2:1,壁材浓度 1%,明胶与阿拉伯胶质量比 1:1,pH 值 4.0,搅拌速度 400 r/min,此时微胶囊产率为 90%,并具有较好的贮藏稳定性。李宏英等^[41]以明胶和海藻酸钠为壁材,薄荷油为芯材用复凝聚法制备微胶囊。在复凝聚 pH 值为 4.3, $m_{\text{明胶}}:m_{\text{海藻酸钠}}$ 为 4:1,乳化剂体积分数为 0.5%,均质时间为 9 min,壁材浓度为 1.75%,复凝聚速度为 600 r/min 条件下制备得到的微胶囊形态为规则、完整的圆球状,具有较好的热稳定性,产率为 85.64%,包埋率为 50%,壁材利用率为 78.75%。

3.3 包结络合法

包结络合法主要是以 β -环糊精作为壁材材料,将疏水性芯材束缚在其内部疏水空腔中,形成牢固稳定的络

合物,即分子水平的微胶囊化。陈燕^[10]选用 β -环状糊精包埋薄荷精油制备微胶囊,通过单因素和正交试验,确定了 $m_{\beta\text{-环状糊精}}:m_{\text{精油}}$ 为 8:1,搅拌时间为 2 h,温度为 40℃时,薄荷精油的包埋率为 78.18%,微胶囊化产率为 85.13%。朱卫红^{[34]13-21}以 β -环状糊精为壁材,薄荷油为芯材制备微胶囊,进行正交试验得到最佳工艺条件:芯壁比($m_{\text{薄荷油}}:m_{\beta\text{-环状糊精}}$)为 1:8,反应温度为 50℃,反应时间为 4 h,此时微胶囊化产率为 93.16%,包埋量为 10.35%,对微胶囊进行热重分析结果表明囊壁具有较好的保护作用,在温度不超过 200℃时,能阻止薄荷油受热时挥发损失,提高薄荷油的热稳定性。

3.4 纳米微胶囊法

纳米微胶囊法主要包括乳液聚合法、界面聚合法、层层自组装等,其中乳液聚合法是指将芯材溶解到含有乳化剂的壁材中,通过搅拌形成稳定的乳化液,经加热后形成微胶囊的方法。邹雨辰^[42]采用高压微射流优化制备橙皮纳米乳液,并通过控制粒径大小制备不同的微胶囊,发现初始乳液粒径越小,微胶囊性质越稳定,芯材的损失就越小。李景彤^[43]采用乳液聚合法制备松仁油微胶囊,在固形物质量分数为 15.5%,壁芯材质量比为 2.1:1.0,乳化剂体积分数为 3.4%时,包埋率为 60.79%,平均载油量为 21.60%。

综上所述,薄荷油微胶囊的制备工艺存在着不同的优缺点(见表 2),实际应用中可以结合具体情况选择。

表 2 薄荷油微胶囊制备工艺优缺点比较

Table 2 Comparison of advantages and disadvantages of essential oils extracted frompeppermint oil microcapsules

制备工艺	主要优点	主要缺点
喷雾干燥法	操作简单,成本低,产品分散性和复水性好,适于连续化和工业化生产	囊壁致密性差,香料易氧化,且高温对挥发性香料损失大
复凝聚法	产率高,产品稳定性佳	加工过程复杂,生产成本高
包结络合法	产品稳定性好,避免芯材挥发性成分损失	芯材载量低,产品得率低
纳米微胶囊法	能避免芯材挥发,产品稳定性佳,包埋率高,便于储藏及运输	芯材载入量低

4 展望

薄荷精油作为一种非常有潜力的生物资源,选择合适的方法,制备薄荷油微胶囊,对延长其贮藏期、保持生物活性作用具有重大的意义。目前对薄荷油微胶囊制备方法的研究主要集中在传统微胶囊技术,如喷雾干燥、复凝聚法、锐孔法等,而对于新型微胶囊技术的研究鲜有报道。因此,后续可对薄荷精油纳米微胶囊的制备和表征展开研究。

参考文献

[1] SPIRLING L, DANIELS I. Botanical perspectives on health pep-

permint: More than just an after-dinner mint[J]. Journal of the Royal Society for the Promotion of Health, 2001, 121(1): 62-63.
[2] 刘群群. 薄荷属植物的化学成分及药理学作用研究[J]. 现代食品, 2016(7): 44-45.
LIU Qun-qun. Studies on the chemical constituents and pharmacological effects of the plants of the genus mint[J]. Modern Food, 2016: 44-45.
[3] CHAWDA Punit-jatin, SHI John, XUE Sophia, et al. Co-encapsulation of bioactives for food applications[J]. Food Quality and Safety, 2017(1): 302-309.
[4] ZORA Dajic-stevanovic, JASNA Bosnjak-neumüller, IVANA Pajic-lijakovic, et al. Essential oils as feed additives: Future perspectives[J]. Molecules, 2018, 23(7): 1 717.

- [5] WANG Shu-jie, SHI Yan, HAN Li-peng. Development and evaluation of microencapsulated peony seed oil prepared by spray drying: oxidative stability and its release behavior during in-vitro digestion[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 231: 1-9.
- [6] MCKAY Diane L, BLUMBERG Jeffrey B. A review of the bioactivity and potential health benefits of peppermint tea (*mentha piperita* L.)[J]. Phytotherapy Research, 2006(20): 619-633.
- [7] ESSER-KAHN Aaron P, SOTTOS Nancy R, WHITE Scott R, et al. Programmable microcapsules from self-immolative polymers [J]. Journal of the American Chemical Society, 2010, 132(30): 10 266-10 268.
- [8] 蒲维维, 杨万政, 王捷. 薄荷挥发油提取工艺的研究[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(22): 6-7.
PU Wei-wei, YANG Wang-zheng, WANG Jie. Study on extraction process of volatile oil from peppermint[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2011, 37(22): 6-7.
- [9] 祖里皮亚·塔来提, 库尔班尼沙·买提卡思木, 玉素甫江·艾力, 等. 欧薄荷挥发油提取工艺及主要成分的研究[J]. 中医药导报, 2018, 24(3): 64-66.
TALAITI Zulipiya, MAITIKASIMU Kuerbannisha, AILI Yusufujiang, et al. Study on extraction process and chemical constituents of essential oil in oubohe(*mentha longifolia* linn)[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2018, 24(3): 64-66.
- [10] 陈燕. 薄荷精油的分离、鉴定及微胶囊化研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
CHEN Yan. Study on extraction, purification and microencapsulation of peppermint essential oil[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014.
- [11] 梁呈元, 傅晖, 李维林, 等. 薄荷油不同提取方法的比较[J]. 时珍国医国药, 2007(9): 2 085-2 086.
LIANG Cheng-yuan, FU Hui, LI Wei-lin, et al. Comparison of different extraction methods of volatile oil from *mentha haplocalyx* briq[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2007(9): 2 085-2 086.
- [12] 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.
ZHANG Guo-dong, YAN Ke-dan, HU Bo-ran. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of volatile oil from wild *mentha haplocalyx* briq[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2013(16): 44-46, 50.
- [13] 高燕. 野生薄荷精油的提取分离及其抗氧化活性研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2015.
GAO Yan. Study on the extraction and separation of wild mint essential oil and its antioxidant activity[D]. Shihezi: Shihezi University, 2015.
- [14] 梁呈元, 李维林, 汪泓江, 等. 薄荷油超临界二氧化碳萃取技术研究[C]// 药用植物研究与中药现代化: 四届全国药用植物学与植物药学术研讨会论文集. 南京: 东南大学出版社, 2004: 4.
LIANG Cheng-yuan, LI Wei-lin, WANG Hong-jiang, et al. Study on supercritical carbon dioxide extraction technology of peppermint oil[C]// Research on Medicinal Plants and Modernization of Traditional Chinese Medicine: Proceedings of the 4th National Symposium on Medicinal Botany and Botanicals. Nanjing: Southeast University Press, 2004: 4.
- [15] 高宇明, 刘健, 李国栋, 等. 二氧化碳超临界萃取薄荷油的工艺研究[J]. 皮革与化工, 2020, 37(3): 33-37.
GAO Yu-ming, LIU Jian, LI Guo-dong, et al. Study on the technology of supercritical carbon dioxide extraction of peppermint oil[J]. Leather and Chemicals, 2020, 37(3): 33-37.
- [16] YADEGARINIA Davod, GACHKAR Latif, REZAEI Mohammad-Bagher, et al. Biochemical activities of iranian *mentha piperita* L. and *myrtus communis* L. essential oils[J]. Phytochemistry, 2006, 67(12): 1 249-1 255.
- [17] NEDA Mimica-Dukic, BILJANA Bozin, MARINA Sokovic, et al. Antimicrobial and antioxidant activities of three *mentha* species essential oils[J]. Planta Medica, 2003, 69(5): 413-419.
- [18] 吕爽, 田呈瑞, 韩莎莎. 薄荷属植物精油和多酚类的抑菌性及抗氧化性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(6): 827-831.
LU Shuang, TIAN Cheng-rui, HAN Sha-sha. Studies on the chemical constituents and pharmacological effects of the plants of the genus mint[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(6): 827-831.
- [19] ABDELLATIEF Suhair A, BEHEIRY Rasha R, EL-MANDRAWY Shefaa A M. Peppermint essential oil alleviates hyperglycemia caused by streptozotocin-nicotinamide-induced type 2 diabetes in rats[J]. Biomedicine & pharmacotherapy, 2017, 95: 992.
- [20] EDRIS A E, FARRAG E S. Antifungal activity of peppermint and sweet basil essential oils and their major aroma constituents on some plant pathogenic fungi from the vapor phase[J]. Nahrung, 2003, 47(2): 117-121.
- [21] 周露, 谢文申. 云南薄荷精油的化学成分及其抗菌活性研究[J]. 香料香精化妆品, 2011(5): 1-3.
ZHOU Lu, XIE Wen-shen. Studies on chemical constituents and antimicrobial activity of *mentha arvensis* oil of yunnan[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2011(5): 1-3.
- [22] 杨倩. 薄荷挥发油的化学型分析及抑菌、抗炎活性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.
YANG Qian. Preliminary study on the composition and biological activity of *menthae herba*[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2017.
- [23] RAJINDER Singh, MUFTAH A M Shushni, ASMA Belkheir. Antibacterial and antioxidant activities of *mentha piperita* L.[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2015, 8(3): 3-4.
- [24] 苑如, 王喆, 宋小莉, 等. 薄荷油乳剂经皮给药对小鼠耳肿胀的保护作用[J]. 山东中医杂志, 2014, 33(4): 296-298.
YUAN Ru, WANG Zhe, SONG Xiao-li, et al. Protective effect of peppermint oil emulsion on ear swelling in mice by percutaneous administration[J]. Shangdong Journal of Traditional Chinese Medicine, 2014, 33(4): 296-298.
- [25] VO Liem T, CHAN David, KING Roger G. Investigation of the

- effects of peppermint oil and valerian on rat liver and cultured human liver cells[J]. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 2003, 30(10): 799-804.
- [26] 刘红杰, 金若敏, 张文斌, 等. 薄荷油致小鼠肝毒性时—量关系及其机理研究[J]. *时珍国医国药*, 2007(12): 2 954-2 956.
- LIU Hong-jie, JIN Ruo-min, ZHANG Wen-bin, et al. Study on time-dose relationship and mechanism of hepatotoxicity induced by peppermint oil in mice[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2007(12): 2 954-2 956.
- [27] DORDEVIC Verica, BALANC Bojana, BELSCAK-CVITANOVIC Ana, et al. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds[J]. *Food Engineering Reviews*, 2015, 7(4): 452-490.
- [28] IRMA K K, QURROTA A, HANINA M, et al. Encapsulation of peppermint oil with carboxymethyl kappa carrageenan-gelatin-chitosan[J]. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2019, 515(1): 012096.
- [29] MUHOZA Bertrand, XIA Shu-qin, ZHANG Xiao-ming. Gelatin and high methyl pectin coacervates crosslinked with tannic acid: The characterization, rheological properties, and application for peppermint oil microencapsulation[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 97: 105174.
- [30] JIAO Xin, ZHAO Di, ZHANG Yao, et al. Synthesis and studies of poly (ethylene glycol dimethacrylate) microcapsule[J]. *Colloid and Polymer Science*, 2016, 294: 639-646.
- [31] 王凯, 冯涛, 雷声, 等. 薄荷油微胶囊的制备及其性能研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(17): 5 822-5 826.
- WANG Kai, FENG Tao, Lei Sheng, et al. Study on the preparation and performance of peppermint oil microcapsules[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(17): 5 822-5 826.
- [32] 杨一. 薄荷油微胶囊的制备及其应用[D]. 上海: 东华大学, 2015: 12-13.
- YANG Yi. Preparation and application of the peppermint oil microcapsules[D]. Shanghai: Donghua University, 2015: 12-13.
- [33] 董志俭. 复合凝聚薄荷油微胶囊的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- DONG Zhi-jian. Study on compound coagulation peppermint oil microcapsules[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [34] 朱卫红. 微胶囊化薄荷油的制备[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- ZHU Wei-hong. Microencapsulation of mint oil [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [35] XIAO Zuo-bing, LIU Wan-long, ZHU Guang-yong, et al. Production and characterization of multinuclear microcapsules encapsulating lavender oil by complex coacervation [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2014, 29(3): 166-172.
- [36] GOUIN S. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2004, 15: 330-347.
- [37] DE KRUIF Cornelus G, WEINBRECK Fanny, DE VRIES Renko. Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides[J]. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 2004, 9(5): 340-349.
- [38] LEMETTER C Y G, MEEUSE F M, ZUIDAM N J. Control of the morphology and the size of complex coacervate microcapsules during scale-up[J]. *Aiche Journal*, 2009, 55(6): 1 487-1 496.
- [39] DONG Z J, MA Y, HAYAT K, et al. Morphology and release profile of microcapsules encapsulating peppermint oil by complex coacervation[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 104(3): 455-460.
- [40] GLOMM Wilhelm-Robert, MOLEWORTH Peter-Patrick, SANDRU Eugenia-mariana, et al. Microencapsulation of peppermint oil by complex coacervation and subsequent spray drying using bovine serum albumin/gum acacia and an oxidized starch crosslinker[J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(9): 3 956.
- [41] 李宏英, 王鸿博, 傅佳佳, 等. 明胶—海藻酸钠制备薄荷油微胶囊的工艺优化[J]. *高分子材料科学与工程*, 2019, 35(9): 142-149.
- LI Hong-ying, WANG Hong-bo, FU Jia-jia, et al. Optimization of gelatin-sodium alginate preparation of peppermint oil microcapsules[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2019, 35(9): 142-149.
- [42] 邹雨辰. 橙皮精油纳米乳液和纳米胶囊的制备和表征[D]. 广州: 暨南大学, 2018: 30-41.
- ZOU Yu-chen. Preparation and characterization of orange peel essential oil nanoemulsion and nanocapsules[D]. Guangzhou: Jinan University, 2018: 30-41.
- [43] 李景彤. 红松松仁油微胶囊的制备及生理功能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015: 36-54.
- LI Jing-tong. The preparation and physical function of korean pine seed oil microcapsules[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015: 36-54.
-
- (上接第 179 页)
- [20] 高悦, 江依, 赖璐莹, 等. 超高压和热处理酸辣藕丁菜肴品质变化及货架期预测[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(22): 134-141.
- GAO Yue, JIANG Yi, LAI Lu-ying, et al. Quality change and shelf life prediction of hot and sour lotus root dish by high hydrostatic pressure and heat treatment[J]. *Food & Industries*, 2020, 46(22): 134-141.
- [21] 张秀凤, 魏秀妍. 菜肴中亚硝酸盐含量变化的研究[J]. *食品安全导刊*, 2021(25): 102-103, 105.
- ZHANG Xiu-feng, WEI Xiu-yan. Study on the change of nitrite content in dishes[J]. *Food Safety Guide*, 2021(25): 102-103, 105.
- [22] 戴瀚铨, 成纪予. 不同品种鲜切桃贮藏期品质变化与主成分分析[J]. *包装工程*, 2021, 42(19): 85-92.
- DAI Han-cheng, CHENG Ji-yu. Quality change and principal component analysis of fresh-cut peach varieties during storage [J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(19): 85-92.