

紫苏精油微囊粉的生物活性及结构表征

李会珍^{1,2}, 王琴琴², 张志军^{1,2*}

(1. 中北大学化学工程与技术学院, 山西太原 030051)(2. 中北大学晋中产业技术创新研究院, 山西晋中 030600)

摘要: 以紫苏精油为原料, 研究对比阿拉伯胶、辛烯基琥珀酸淀粉酯两种壁材不同处理制备紫苏精油微囊粉的抗氧化性和抑菌活性, 并通过扫描电镜 (SEM)、傅里叶变换红外光谱 (FT-IR)、热重分析 (TGA) 等对其结构进行表征。结果表明: 随紫苏精油微囊粉用量增加, 抗氧化能力逐步增强, 在微囊粉用量同为 7 mg 时, 辛烯基琥珀酸淀粉酯制备微囊粉对 DPPH 自由基、羟基自由基和 ABTS 自由基的清除能力分别达到 89.19%, 84.58% 和 97.93%。最佳用量为 5 mg 下, 辛烯基琥珀酸淀粉酯壁材紫苏精油微囊粉对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌两种细菌的抑菌效果最好, 用量为 4 mg 下, 对金黄色葡萄球菌的抑菌效果最好, 对番茄早疫病和西瓜枯萎菌两种真菌的抑菌率分别达到 31.58% 和 90.48%。扫描电镜观察及红外光谱、热重分析表明, 辛烯基琥珀酸淀粉酯紫苏精油微囊粉颗粒呈圆球形, 表面完整且有较浅凹陷, 包埋过程仅为物理包被。研究结果表明, 辛烯基琥珀酸淀粉酯制备紫苏精油微囊粉抗氧化性强, 抑菌效果好, 具有广阔的应用前景。

关键词: 紫苏精油; 微囊粉; 抗氧化性; 抑菌性; 结构表征

文章编号: 1673-9078(2021)11-281-287

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.11.0364

Biological Activities and Structure Characterization of *Perilla* Essential Oil Microcapsule Powder

LI Huizhen^{1,2}, WANG Qinqin², ZHANG Zhijun^{1,2*}

(1. College of Chemical Engineering and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

(2. Jinzhong Institute of Industrial Technology Innovation, North University of China, Jinzhong, 030600, China)

Abstract: Using *Perilla* essential oil as raw material, the antioxidant and antibacterial activities of *Perilla* essential oil microcapsule powder prepared by different treatment of two wall materials, gum Arabic and octenyl starch ester, were studied and compared. The structure of the microcapsule powder was characterized by scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and thermogravimetric analysis (TGA). The results showed that with the increase of the amount of microcapsule powder, the antioxidant capacity was gradually enhanced. When the amount of microcapsule powder was 7 mg, the scavenging ability of DPPH radical, hydroxyl radical and ABTS radical prepared by octenyl succinate starch ester reached 89.19%, 84.58% and 97.93%, respectively. When the optimum dosage was 5 mg, the antibacterial effect of the octenyl succinate starch ester wall material *Perilla* essential oil microcapsule powder on *B. subtilis* and *E. coli* was the best; when the dosage was 4 mg, the bacteriostatic effect on *S. aureus* was the best; the antibacterial rates of tomato early disease bacteria and watermelon wilt bacteria reached 31.58% and 90.48% respectively. Scanning electron microscopy (SEM), infrared spectroscopy (IR) and thermogravimetric analysis (TG) showed that the octenyl succinate starch ester perilla essential oil microcapsules were spherical, with a complete surface and shallow depression, and the embedding process was only physical encapsulation. The results showed that the microcapsule powder of *Perilla* essential oil prepared by octenyl succinic acid starch ester had strong oxidation resistance and good antibacterial effect, and had broad application prospect.

引文格式:

李会珍,王琴琴,张志军.紫苏精油微囊粉的生物活性及结构表征[J].现代食品科技,2021,37(11):281-287,+249

LI Huizhen, WANG Qinqin, ZHANG Zhijun. Biological activities and structure characterization of *Perilla* essential oil microcapsule powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 281-287, +249

收稿日期: 2021-04-01

基金项目: 晋中市科技重点研发计划 (工业) (Y201018); 晋中市开发区重点研发项目 (201908)

作者简介: 李会珍 (1974-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 植物功能成分提取及高效利用, E-mail: hzli@nuc.edu.cn

通讯作者: 张志军 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 植物功能成分提取及高效利用, E-mail: zjzhang@nuc.edu.cn

Key words: *Perilla* essential oil; microcapsule powder; antioxidant; antibacterial; structural characterization

在室温下,植物精油呈液态,容易挥发,空气、光照以及温度都可以对精油产生影响^[1-3],微囊化包埋加工可有效避免空气等环境因素对芯材的不良影响,从而使得芯材的色香味以及生物活性被最大限度地保护,进而延长持效期^[4],因此被广泛用于精油领域。目前,植物精油微囊化方面国内已有一些报道,如大蒜精油、甜橙精油、肉豆蔻精油和玫瑰精油等^[5-7]。壁材是目前影响微囊产品性能的主要因素,最典型的微囊材料有壳聚糖、明胶、大豆分离蛋白、改性淀粉和羧甲基纤维素等^[8]。近年来辛烯基琥珀酸淀粉酯,因其具有低成本、生物级配性好、生物相容性高、无毒性等特点,被广泛用于壁材材料^[9]。

紫苏是一年生草本植物,其叶(苏叶)、梗(苏梗)、果(苏子)均可入药,尤其是在韩国、尼泊尔和泰国等国家,是传统的食品和医药两用植物。因紫苏属植物的多样性及产地不同,紫苏精油活性成分种类复杂,有紫苏醛、乙酰基呋喃以及占精油组分种类最多的萜类化合物等^[10],温性无毒,不仅具有极强的抗氧化、杀菌消炎和抗癌等功效,而且还有润肺、化痰、止咳和益气的作用^[11,12],可广泛应用于医药保健、食品添加剂和化妆品美容等行业。

本研究以紫苏叶为研究材料,利用水蒸气蒸馏法提取精油,采用喷雾干燥法制备微囊粉产品,通过研究不同壁材制备的紫苏精油微囊粉的抗氧化性、抑菌性,并通过扫描电镜、傅里叶红外光谱以及热重分析等检测方法对紫苏精油微囊粉进行表征,为紫苏精油微囊粉的推广应用及紫苏资源高效利用提供一定的理论和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

紫苏精油,实验室自制;阿拉伯胶,阿拉丁试剂(上海)有限公司;辛烯基琥珀酸淀粉酯(食品级),西安拉维亚生物科技有限公司;枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、西瓜枯萎菌、番茄早疫病,中国农业微生物菌种保藏管理中心。

高速分散器(XHF-DY),宁波新芝生物科技股份有限公司;实验型喷雾干燥机(SP-1500),上海易研实验设备有限公司;冷冻干燥机(FD-1A-50),北京博医康实验仪器有限公司;紫外可见分光光度计(UV-8000S),上海元析仪器有限公司;红外光谱仪(RXI),铂金埃尔默仪器有限公司;热重分析仪

(TGA-1),瑞士梅特勒-托利多集团;扫描电子显微镜(SU8010),日本日立科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 紫苏精油的制备

筛选优质紫苏叶在常温下阴干至恒重,高速多功能粉碎机粉碎,过80目筛,备用。按料液比1:15加入去离子水,预浸泡4h,再采用水蒸气蒸馏法提取4h,收集挥发油收集器中上层液体,即为精油^[13]。

1.2.2 紫苏精油微囊粉的制备

选择阿拉伯胶、辛烯基琥珀酸淀粉酯两种材料为壁材,在壁芯比3:1,均质时间3min的情况下,将20%固形物(壁材)80℃水浴中糊化10min,冷却到室温后,加入纯度为80%的精油,并用高速分散器以9000r/min搅拌速度均质乳化3min,得到稳定乳化液^[14-16]。采用喷雾干燥方式制备微囊粉^[17,18]。

1.2.3 紫苏精油微囊粉抗氧化能力测定

清除DPPH自由基能力测定:准确量取0.3mL蒸馏水和样品溶液分别置于10mL具塞试管中,再分别加入2.7mL DPPH工作液,混匀,暗反应30min,以无水甲醇作对照,在518nm处测其吸光度,分别记为 A_0 、 A_s ;准确量取0.3mL样品溶液和2.7mL无水甲醇于10mL具塞试管中,混匀,暗反应30min,以无水甲醇作对照,在518nm处测其吸光度,记为 A_r 。按照公式计算自由基的清除率(Y)。

$$Y/\% = (1 - \frac{A_s - A_r}{A_0}) \times 100\%$$

式中:

A_0 —2.7mL DPPH溶液与0.3mL无水甲醇溶液的吸光值之和;

A_r —2.7mL无水甲醇溶液与0.3mL待测工作液的吸光值之和;

A_s —2.7mL DPPH溶液与0.3mL待测工作液的吸光值之和。

清除羟基自由基能力测定:取3个10mL具塞试管记为1、2、3,在每个试管中依次加入1mL邻菲罗啉、0.5mL硫酸亚铁和1mL PBS缓冲液,在1号试管中加入7.5mL蒸馏水,在2号试管中加入7mL蒸馏水,0.5mL H_2O_2 溶液,在3号试管中加入1mL样品溶液,6mL蒸馏水和0.5mL H_2O_2 溶液,混匀,在37℃水浴锅中保温1h,以蒸馏水作参比,在536nm处测定吸光度,分别记为 A_0 、 A_r 、 A_s 。按照公式计算自由基的清除率(Y)。

$$Y/\% = \left(\frac{A_s - A_r}{A_0 - A_r} \right) \times 100\%$$

式中:

$A_s - A_r$ ——加抗氧化剂前后溶液的吸光度差值;

$A_0 - A_r$ ——未加抗氧化剂时溶液的吸光度。

清除 ABTS 自由基能力测定: 准确量取 1 mL 去离子水和 1 mL 样品溶液分别置于 10 mL 具塞试管中, 再分别加入 3 mL ABTS 工作液于试管中, 混匀, 暗反应 6 min, 以 70% 乙醇做参比, 在 734 nm 处测吸光度, 分别记为 A_0 、 A_s ; 准确量取 1 mL 样品溶液和 3 mL 70% 乙醇于 10 mL 具塞试管中, 混匀, 暗反应 6 min, 以 70% 乙醇做参比, 在 734 nm 处测吸光度, 记为 A_r 。按照公式计算自由基的清除率 (Y)。

$$Y/\% = \left(1 - \frac{A_s - A_r}{A_0} \right) \times 100\%$$

式中:

A_0 ——1.0 mL 去离子水与 3.0 mL ABTS 工作液吸光值之和;

A_s ——1.0 mL 样品溶液与 3.0 mL ABTS 工作液吸光值之和;

A_r ——1.0 mL 样品溶液与 3.0 mL 70% 乙醇吸光值之和。

1.2.4 微囊粉抑菌活性测定

选用枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌作为供试菌株。通过在培养基表面放置微囊粉所产生的抑菌圈大小来测定其抑菌性。在无菌条件下, 将以上供试菌种以 2% 的接种量接种在牛肉膏蛋白胨 (液体) 培养基中, 在气浴恒温振荡器中以 28 °C, 150 r/min 的条件活化培养, 并用液体培养基稀释配成菌悬液, 使其含菌数约为 10^6 CFU/mL, 摇匀。无菌条件下, 各取 100 μ L 不同供试菌种菌悬液用涂布器以画同心圆的方式均匀涂布于牛肉膏蛋白胨 (固体) 培养基上, 制成含菌平板。分别将 3 mg、4 mg、5 mg 不同的紫苏精油微囊粉放置在含菌平板上, 以未放置微囊粉的含菌平板作空白对照, 将含菌平板放于 28 °C 培养箱中倒置恒温培养, 12 h 后以十字交叉法测定其抑菌圈直径。

选用西瓜枯萎菌、番茄早疫菌作为供试菌株。将以上供试菌种接至 PDA 培养基上, 放于 28 °C 培养箱中恒温培养 72 h。无菌条件下, 用孔径为 7 mm 的打孔器在事先用 PDA 培养基平板培养好的待测真菌菌落边缘取菌饼, 然后将菌饼依次接种在放置有 3 mg、4 mg、5 mg 紫苏精油微囊粉的 PDA 培养平板中央, 以未放置微囊粉的平板作为空白对照, 放于 28 °C 培养箱中恒温培养 72 h 后, 以十字交叉法测定菌落直径,

计算抑制率 (Y)。

$$Y/\% = \frac{d_0 - d_1}{d_1} \times 100\%$$

式中:

Y——抑制率, %;

d_0 ——对照生长直径, mm;

d_1 ——处理生长直径, mm。

1.2.5 结构表征

SME 扫描电镜: 在 SME 样品台上贴上一层双面胶, 将紫苏精油微囊粉样品粉末撒于此双面胶上, 轻轻吹去多余粉末, 然后加速电压为 10~15 kV, 扫描电子显微镜在不同视野时观察包合物颗粒^[19]。

FT-IR 红外光谱: 分别取 1~2 mg 辛烯基琥珀酸淀粉酯粉末、紫苏精油微囊粉和紫苏精油与 100 mg 干燥的 KBr 粉末一起研磨混匀, 倒入专用的压片器, 一边抽真空, 一边加压, 制成透明的薄片。在相同的实验条件、温度和湿度, 光谱范围 4000~400 cm^{-1} , 分辨率 4 cm^{-1} , 每份样品平行测定 3 次, 取平均值^[20]。

TGA 热重分析: 分别取适量辛烯基琥珀酸淀粉酯粉末、紫苏精油微囊粉和紫苏精油于陶瓷坩埚中, 实验气体为氮气, 气体流量为 20 mL/min, 反应温度区间设置为 25~600 °C, 在 10 °C/min 的升温速率下进行热重实验^[21,22]。

1.3 数据处理

所有结果至少测定三个独立的样本以平均值和标准误差表示, 通过 SPSS 22.0 (Statistical Product and Service Solutions) 软件对数据进行多重比较分析, 平均值则选用置信度 95% 的最小显著性差异 ($p < 0.05$) 来比较。Origin Pro 8.0 软件用于数据整理和作图分析。

2 结果与分析

2.1 紫苏精油微囊粉抗氧化能力测定结果

由图 1 中可知, 阿拉伯胶和辛烯基琥珀酸淀粉酯两种壁材制备的紫苏精油微囊粉对 DPPH 自由基、羟基自由基和 ABTS 自由基均有一定的清除能力, 且用量的逐步增加, 清除率逐步增大, 抗氧化能力也逐步增强。在微囊粉用量同为 7 mg 时, 辛烯基琥珀酸淀粉酯制备微囊粉对 DPPH 自由基、羟基自由基和 ABTS 自由基均的清除能力分别达到 89.19%、84.58% 和 97.93%, 比阿拉伯胶壁材分别高 7.03%、9.14% 和 10.16%, 这可能是与同等质量下辛烯基琥珀酸淀粉酯为壁材的微囊粉中精油含量相对较高有关。

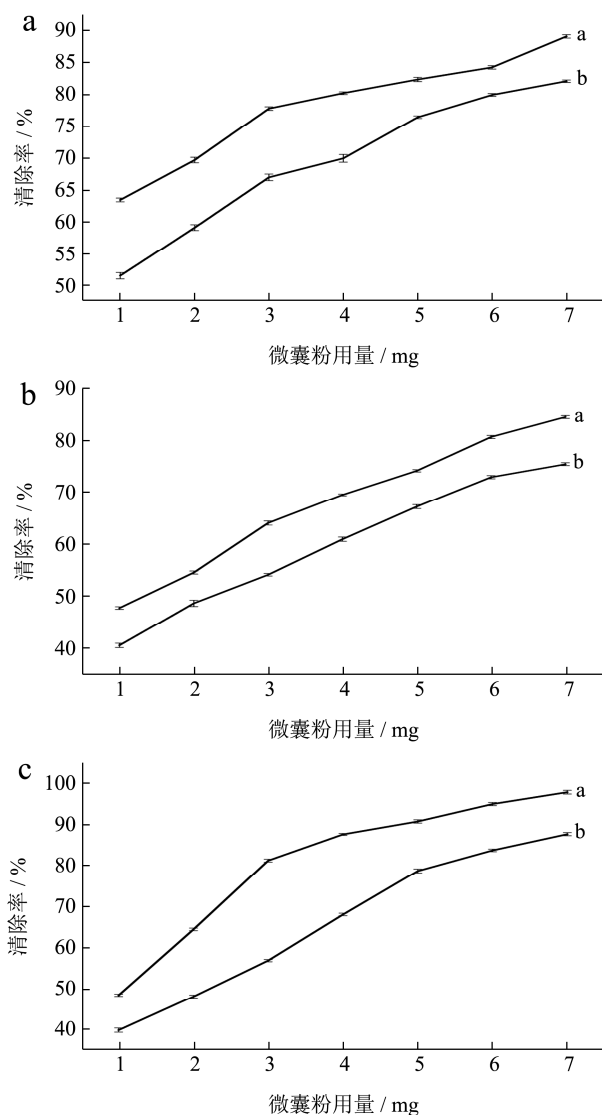


图1 紫苏精油微囊粉对 DPPH、羟基、ABTS 自由基的清除率
Fig.1 The scavenging rate of *Perilla* essential oil microcapsule powder to, hydroxyl group and ABTS radical

注: a: 辛烯基琥珀酸淀粉酯; b: 阿拉伯胶。

2.2 紫苏精油微囊粉的抑菌结果

不同用量阿拉伯胶和辛烯基琥珀酸淀粉酯两种壁材制备紫苏精油微囊粉对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌三种细菌抑制效果见表 1。在微囊

表 1 不同用量微囊粉对各供试细菌菌种的抑菌圈直径 (mm)

Table 1 Diameters of inhibition zone (mm) of different dosages of microcapsule powder on each tested bacterial strain

壁材	微囊粉用量/mg	枯草芽孢杆菌	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
辛烯基琥珀酸淀粉酯	3	13±0.01	14±0.01	11±0.02
	4	12±0.03	18±0.03	15±0.02
	5	15±0.01	22±0.02	9±0.04
阿拉伯胶	3	10±0.02	10±0.01	9±0.01
	4	13±0.01	12±0.03	11±0.01
	5	13±0.04	14±0.01	13±0.03

粉用量 3~5 mg 范围内, 随辛烯基琥珀酸淀粉酯制备的微囊粉用量增加, 对三种菌的抑菌效果分别呈先减小后增加, 一直增加和先增大后减小的趋势, 而阿拉伯胶制备的微囊粉, 随着用量的增加, 整体呈增加趋势。本试验结果中, 除辛烯基琥珀酸淀粉酯对金黄色葡萄球菌最佳抑菌微囊粉用量为 4 mg 外, 两种壁材对试验菌种抑制效果最佳的微囊粉用量均为 5 mg, 此时抑菌圈直径达到最大, 抑菌效果最佳。

选用西瓜枯萎菌、番茄早疫病作为供试菌株, 通过测定菌丝长度、抑菌率鉴定不同壁材制备紫苏精油微囊粉对真菌的抑制效果, 结果见表 2。由表 2 可知, 以阿拉伯胶为壁材时, 在 4 mg 最佳微囊粉用量下, 对番茄早疫病和西瓜枯萎病抑菌率均较高, 分别为 31.58%和 25.00%。微囊粉用量 4 mg 条件下, 两种壁材处理对番茄早疫病抑制效果相同, 微囊粉用量为 3 mg 时, 辛烯基琥珀酸淀粉酯壁材处理菌落直径小 1 mm, 抑菌率达到 38.89%, 高于阿拉伯胶壁材。两种壁材处理对西瓜枯萎病最佳抑制微囊粉用量均为 4 mg, 在此用量下, 辛烯基琥珀酸淀粉酯壁材处理比阿拉伯胶处理菌落直径小 11 mm, 抑菌率达到 90.48%, 显著优于阿拉伯胶处理。

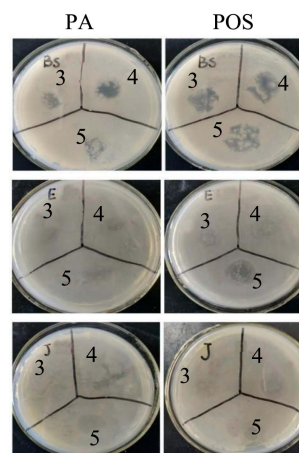


图 2 不同微囊粉对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌效果

Fig.2 Antibacterial effects of different powders on *B. subtilis*, *E. coli* and *S. aureus*

表 2 不同用量的微囊粉对各供试真菌菌种的抑制率

Table 2 Inhibition rates of different dosages of microcapsule powder on each tested fungus species

壁材	微囊粉用量/mg	番茄早疫菌		西瓜枯萎菌	
		菌落直径/mm	抑菌率/%	菌落直径/mm	抑菌率/%
辛烯基琥珀酸淀粉酯	3	18±0.11	38.89±0.20	22±0.13	81.82±0.04
	4	19±0.09	31.58±0.02	21±0.16	90.48±0.34
	5	20±0.08	25.00±0.12	28±0.14	42.86±0.12
阿拉伯胶	3	24±0.15	4.17±0.16	36±0.12	11.11±0.31
	4	19±0.14	31.58±0.38	32±0.13	25.00±0.23
	5	20±0.13	25.00±0.23	33±0.15	21.21±0.15

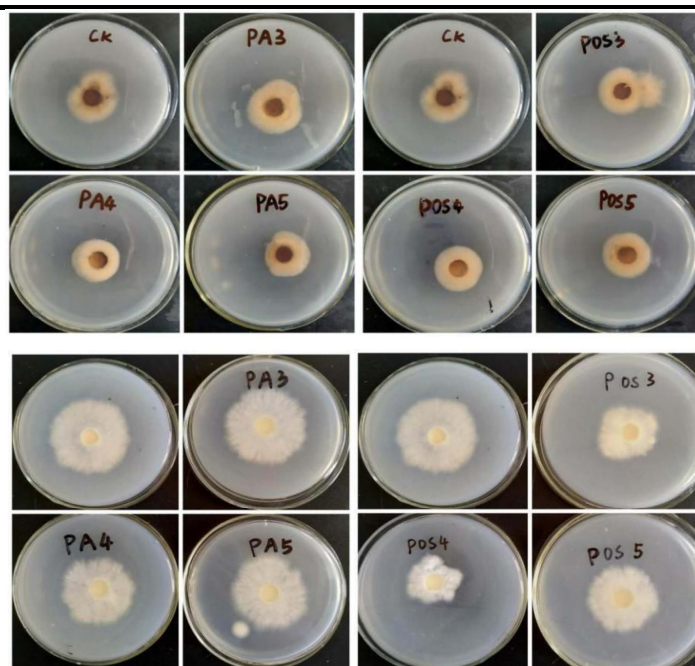


图 3 不同微囊粉对番茄早疫菌、西瓜枯萎菌的抑菌效果

Fig.3 The bacteriostatic effects of different microcapsule powders on tomato early-pestilence and watermelon *Fusarium oxysporum*

2.3 结构表征结果

2.3.1 SEM 扫描电镜

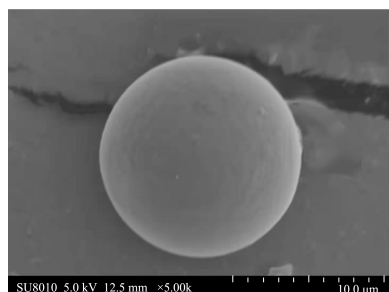


图 4 紫苏精油微囊粉扫描电镜图

Fig.4 Scanning electron micrograph of *Perilla* essential oil microcapsule powder

通过扫描电子显微镜 (SEM) 对辛烯基琥珀酸淀粉酯壁材制备紫苏精油微囊粉进行表征。由图 4 扫描电子显微镜 (SEM) 图可知, 紫苏精油微囊粉颗粒呈球形, 囊壁表面完整, 没有裂缝, 仅有较浅的凹陷,

这可能是微囊粉在雾化后冷却过程中收缩形成的, 或是喷干干燥后紫苏精油的挥发导致。国内外研究也表明, 微囊粉颗粒呈球形, 可增加表面积与体积比, 从而更利于紫苏精油的释放, 本研究结果与 Maryam^[23] 及陈敏杰^[24] 植物油包埋结果一致。

2.3.2 FT-IR 红外光谱

辛烯基琥珀酸淀粉酯, 紫苏精油, 紫苏精油微囊粉 3 个样品的红外光谱分析结果 (FT-IR) 见图 5。辛烯基琥珀酸淀粉酯的 FT-IR 光谱在 3427 cm^{-1} (O-H 伸缩振动), 2926 cm^{-1} (C-H 伸缩振动), 1647 cm^{-1} (C=C 伸缩振动), 1420 cm^{-1} (C-H 弯曲振动) 和 1019 cm^{-1} (C-O 伸缩振动) 显示出特征峰。纯紫苏精油光谱显示出特征峰 3419 cm^{-1} (O-H 伸缩振动), 2962 cm^{-1} (C-H 伸缩振动), 2740 cm^{-1} (C-H 伸缩振动), 1678 cm^{-1} (C=C 伸缩振动), 1448 cm^{-1} (C-H 弯曲振动), 1382 cm^{-1} (C-H 弯曲振动), 1123 cm^{-1} (C-O 伸缩振动) 和 747 cm^{-1} (C-H 弯曲振动)。精油所有的特征峰都出现在紫苏精油微囊

粉光谱中,表明紫苏精油被成功包被于辛烯基琥珀酸淀粉酯壁材中。其特征峰位置略有偏移,可能是由于紫苏精油的各种官能团与辛烯基琥珀酸淀粉酯的相互作用,但紫苏精油微囊粉没有形成新的特征吸收峰,表明没有生成新的化学键或基团,微囊粉加工仅为物理包被过程。本研究结果与徐单单对柠檬精油^[25],程建华等^[26]对广藿香精油微胶囊的表征结果一致。

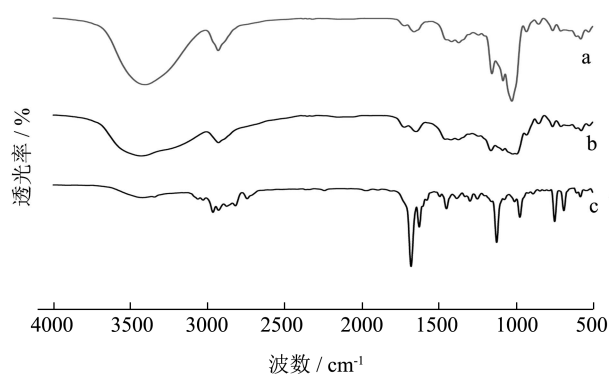


图5 红外光谱分析

Fig.5 Infrared spectrum analysis

注: a: 紫苏精油微囊粉; b: 紫苏精油; c: 辛烯基琥珀酸淀粉酯。

2.3.3 TGA 热重分析

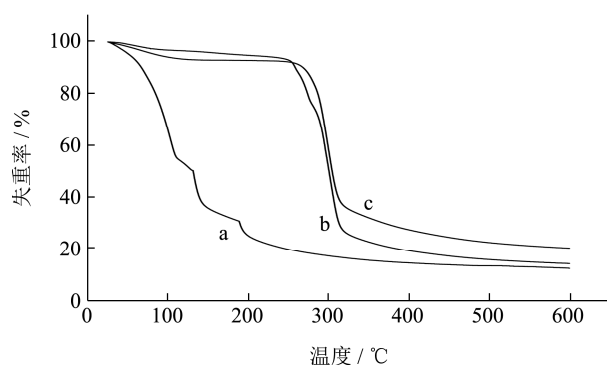


图6 热重分析

Fig.6 Thermogravimetric analysis

注: a: 紫苏精油; b: 紫苏精油微囊粉; c: 辛烯基琥珀酸淀粉酯。

辛烯基琥珀酸淀粉酯,紫苏精油,紫苏精油微囊粉3个样品的热重分析结果见图6。随着温度的升高,样品质量逐渐减少,紫苏精油的TG曲线可分为2个阶段:第一阶段从25~300 °C,样品失重剧烈,主要由低沸点精油组分的挥发所致,第二阶段为300~600 °C,失重率达到12.05%,精油组分进一步发生分解。辛烯基琥珀酸淀粉酯的TG曲线分为3个阶段,第一阶段出现在25~240 °C,质量减少7.41%,当温度继续升高达到第二阶段240~302 °C时,损失了39.77%,到600 °C时,失重率达到19.90%。紫苏精油微囊粉的TG曲线分为3个阶段,总失重率为86.11%,

第一阶段从25~236 °C,失重比较缓和;第二阶段为236~306 °C,损失了54.39%,第三阶段是从306~600 °C,失重率达到13.89%。

由上述可知,紫苏精油微囊粉的失重率介于精油和辛烯基琥珀酸淀粉酯之间。对比紫苏精油微囊粉和辛烯基琥珀酸淀粉酯的曲线可知,两者形状大致相同,样品的起始降解温度和终止降解温度相近,但是由于紫苏精油的加入,微囊粉的失重过程比辛烯基琥珀酸淀粉酯较快,因此说明辛烯基琥珀酸淀粉酯对紫苏精油只有包埋作用,并没有造成两种材料理化性质的改变。与彭莹芸等报道的葡萄柚精油纳米微胶囊^[27],Yang等^[28]报道的香草油微囊粉结果一致,表明微囊化包埋技术能有效延缓精油挥发速度,提高精油的稳定性。

3 结论

食品变质是食品加工和储存过程中的重要问题,天然防腐剂近年来逐渐走进国内外大众的视线。植物精油因其自身独特的优点,强大的抗氧化性和抑菌性而逐步受到青睐。其中,紫苏精油在抗氧化性和抑菌性方面表现优异,但其对光敏感、易挥发、易分解和易被氧化等特点限制了在食品、医药等领域的应用,而微囊化技术可以有效解决这一难题。本研究结果表明,采用辛烯基琥珀酸淀粉酯壁材制备紫苏精油微囊粉,抗氧化性强,对细菌、真菌抑菌性好,SEM、FTIR和TG对紫苏精油微囊粉结构表征结果证明,紫苏精油微囊粉加工仅为物理包被,形态呈圆球形,表面有较浅的凹陷,可有效延缓紫苏精油的挥发,提高稳定性。本研究制备紫苏精油微囊粉作为天然防腐剂和抗菌剂可应用于食品和制药领域,开发前景广阔。

参考文献

- [1] 汤友军,鲁晓翔.植物精油稳定性的改善及其在食品中应用研究进展[J].食品工业科技,2020,41(7):353-357
TANG Youjun, LU Xiaoxiang. Research progress on stability improvement of plant essential oil and its application in food [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(7): 353-357
- [2] Neha Upadhyay, Vipin Kumar-singh, Abhishek Kumar-dwivedy, et al. *Cistus ladanifer* L. essential oil as a plant based preservative against molds infesting oil seeds, aflatoxin B1 secretion, oxidative deterioration and methylglyoxal biosynthesis [J]. LWT, 2018, 92: 395-403
- [3] Akanksha Singh, Abhishek Kumar-dwivedy, Vipin Kumar-singh, et al. Essential oils based formulations as safe preservatives for stored plant masticatories against fungal and

- mycotoxin contamination: a review [J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2019, 17: 313-317
- [4] 马涛,孙哲,张小军.微胶囊释放机制概述[J].*现代农药*,2017, 16(5):1-6
MA Tao, SUN Zhe, ZHANG Xiaojun. Overview of microcapsule release mechanism [J]. *Modern Pesticide*, 2017, 16(5): 1-6
- [5] 毛田野,余红伟,陆刚,等.微胶囊技术应用及展望[J].*弹性体*, 2018,28(2):75-79
MAO Tianye, YU Hongwei, LU Gang, et al. Application and prospect of microcapsule technology [J]. *Elastomer*, 2018, 28(2): 75-79
- [6] LI Dahu, WU Houjun, DOU Huating, et al. Microcapsule of sweet orange essential oil changes gut microbiota in diet-induced obese rats [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2018, 505(4): 991-995
- [7] DONG Xuyan, WU Bangfu, HUANG Fenghong. Microencapsulation of nutmeg essential oil by spray-drying with different wall materials [J]. *Oil Crop Science*, 2018, 3(4): 258-269
- [8] SUN Cui, FENG Yaqing, ZHANG Bao, et al. Preparation and application of microcapsule-encapsulated color electrophoretic fluid in Isopar M system for electrophoretic display [J]. *Optical Materials*, 2013, 35(7): 1410-1417
- [9] WANG Xueyu, LI Xiaoxi, CHEN Ling, et al. Preparation and characterisation of octenyl succinate starch as a delivery carrier for bioactive food components [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(3): 1218-1225
- [10] LI Na, ZHANG Zhijun, LI Xiaojun, et al. Microcapsules biologically prepared using *Perilla frutescens* (L.) Britt essential oil and their use for extension of fruit shelf life [J]. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98: 1033-1041
- [11] JI Weiwei, LI RuiPeng, LI Meng, et al. Antidepressant-like effect of essential oil of *Perilla frutescens* in a chronic, unpredictable, mild stress-induced depression model mice [J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2014, 12(10): 753-759
- [12] Nurhayat Tabanca, Betül Demirci, Abbas Ali, et al. Essential oils of green and red *Perilla frutescens* as potential sources of compounds for mosquito management [J]. *Industrial Crops & Products*, 2015, 65: 36-44
- [13] 李娜.紫苏精油提取及其防腐复合材料的制备和性能研究[D].太原:中北大学,2018
LI Na. Extraction of essential oil from *Perilla* and preparation and properties of antiseptic composite [D]. Taiyuan: North University of China, 2018
- [14] 方浩标,李春海,张钟.响应面试验优化饱和水溶液法制备紫苏精油 β -环糊精包合物工艺及其理化性质[J].*绿色包装*, 2019,1:47-54
FANG Haobiao, LI Chunhai, ZHANG Zhong. Optimization of process and physicochemical properties of β -cyclodextrin inclusion complex of *Perilla* essential oil by saturated aqueous solution method using response surface test [J]. *Green Packaging*, 2019, 1: 47-54
- [15] Marques Clara-suprani, Carvalho Suzana-goncalves, Bertoli Larissa-diirr, et al. β -Cyclodextrin inclusion complexes with essential oils: obtention, characterization, antimicrobial activity and potential application for food preservative sachets [J]. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 2019, 119: 499-509
- [16] 卢惠敏,杨海英,李春海,等.茶树精油 β -环糊精包合物的制备及其贮存稳定性分析[J].*包装与食品机械*,2019,37(6):31-36
LU Huimin, YANG Haiying, LI Chunhai, et al. Preparation and storage stability analysis of β -cyclodextrin inclusion complex of tea tree essential oil [J]. *Packaging & Food Machinery*, 2019, 37(6): 31-36
- [17] 刘双双,张彦军,徐飞,等.香草兰精油微胶囊的制备工艺优化及缓释性分析[J].*热带作物学报*,2018,39(7):1423-1430
LIU Shuangshuang, ZHANG Yanjun, XU Fei, et al. Preparation process optimization and sustained-release analysis of *Vanilla orchid* essential oil microcapsule [J]. *Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(7): 1423-1430
- [18] 王月月,段续,任广跃,等.洋葱精油微胶囊喷雾干燥制备工艺优化及释放性能分析[J].*食品与机械*,2019,35(11):198-205
WANG Yueyue, DUAN Xu, REN Guangyue, et al. Preparation process optimization and release performance analysis of onion essential oil microcapsule by spray drying [J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(11): 198-205
- [19] 刘香军,高凯,高玉敏,等.成品粮丁香精油微囊化防霉保鲜剂的研制[J].*食品工业*,2015,36(5):156-159
LIU Xiangjun, GAO Kai, GAO Yumin, et al. Preparation of microencapsulated antimildew and preservative agent for refined grain clove essential oil [J]. *Food Industry*, 2015, 36(5): 156-159