

1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯纳米结构脂质载体 对麝香草酚的包埋与缓释特性

程映雪, 史浩, 贺军波, 韩立娟, 齐玉堂, 张维农

(武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023)

摘要:为了开发基于功能性脂质1,3-甘油二酯的纳米结构脂质载体,研究了以1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯和葵花籽油分别为固液脂质基质的纳米结构脂质载体对麝香草酚的包埋及缓释特性。结果表明:吐温-80与大豆卵磷脂质量比为1:1时能很好地稳定1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯与葵花籽油复合的纳米结构脂质载体,1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯与葵花籽油质量比为4:1、1:1、1:4条件下均能高效包埋麝香草酚,且载药率大于95%,但仅两者质量比4:1条件下能使麝香草酚的载药量达到脂质质量的20%,并具有很好的稳定性;FTIR、荧光光谱和TEM表征表明包埋麝香草酚的1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯纳米结构脂质载体具有很好的分散性和均一度;缓释实验表明,更高含量的1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯会减慢麝香草酚的释放速率,可通过调节1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯与葵花籽油的质量比达到控释效应。

关键词:1,3-甘油二酯;葵花籽油;纳米结构脂质载体;麝香草酚;缓释

中图分类号:TS201.2;R944.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)10-0037-06

Encapsulation and slow release characteristics of thymol loaded nanostructured lipid carriers with 1-laurin-3-palmitin as solid matrix

CHENG Yingxue, SHI Hao, HE Junbo, HAN Lijuan, QI Yutang, ZHANG Weinong

(College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: To develop functional lipid 1,3-diacylglycerols based nanostructured lipid carriers (NLCs), the encapsulation and slow release characteristics of thymol loaded NLCs with 1-laurin-3-palmitin as solid matrix and sunflower seed oil as liquid matrix were studied. The results showed that Tween-80 and soybean lecithin in a mass ratio of 1:1 could be used to stabilize the NLCs, and the NLCs could high efficiently encapsulate thymol with the encapsulation efficiency of above 95% at three different mass ratios of 1-laurin-3-palmitin to sunflower seed oil (4:1, 1:1 and 1:4), but the loading capacity of thymol could reach 20% of mass lipids in a mass ratio of 4:1. FTIR, fluorescence spectroscopy and TEM results showed that the thymol loaded nanostructured lipid carriers had good dispersion and homogeneity. Slow release experiment of thymol showed that higher content of 1-laurin-3-palmitin could slow the release rate of thymol, which indicated that the controlled release could be achieved by adjusting the mass ratio of 1-laurin-3-palmitin to sunflower seed oil.

Key words: 1,3-diacylglycerol; sunflower seed oil; nanostructured lipid carrier; thymol; slow release

收稿日期:2020-11-09;修回日期:2021-05-21

基金项目:湖北省技术创新专项重大项目(2019ABA105);
国家自然科学基金(32072134)

作者简介:程映雪(1996),女,在读硕士,研究方向为食品乳液递送(E-mail)1741733170@qq.com。

通信作者:贺军波,副教授,博士(E-mail)junb112he@whpu.edu.cn。

纳米结构脂质载体(Nanostructured lipid carriers, NLCs)是国际前沿的纳米胶体递送系统之一^[1],以固体脂质与液体脂质混合物为脂质基质,通过对活性物质的包埋不仅可保护其免受不利环境(氧化、酸碱度及酶降解)的影响,也可提高疏水性活性物

质的水溶性、稳定性和生物利用度,调节活性物质释放动力学。纳米结构脂质载体是在固体脂质纳米粒(Solid lipid nanoparticles, SLNs)基础上开发的第二代脂质纳米粒^[2],其不但具有固体脂质纳米粒的性质,还可以解决固体脂质纳米粒在储存期间发生的多晶型转变,避免活性物质因固体脂质转变为更稳定晶型而造成的泄漏和稳定性降低,同时提供了更多的空间包埋活性物质。因此,纳米结构脂质载体比其他脂质纳米载体更具优势^[3]。

固体脂质的选择及其混合比例对纳米结构脂质载体的性质具有较大的影响^[4]。极性较高可增加活性物质在脂质中的溶解度,不同混合比例可更好地调节活性物质释放速率。甘油二酯是天然植物油脂的微量成分及体内脂肪代谢的内源中间产物,是公认安全(Generally recognized as safe, GRAS)食品成分,在减肥、降低血脂等方面具有重要生理作用^[5]。甘油二酯有两种同分异构体,即1,3-甘油二酯和1,2-甘油二酯,两者结构上的差异使其存在同质多晶现象,1,3-甘油二酯以稳定的 β 晶型存在,1,2-甘油二酯则以 α 和 β' 晶型存在,1,2-甘油二酯储存过程中会向热力学更加稳定的1,3-甘油二酯转化^[6]。鉴于1,3-甘油二酯优异的晶型稳定性,将其作为制备固体脂质纳米粒或纳米结构脂质载体的脂质基质具有重要的研究价值。

我们前期研究了1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯制备固体脂质纳米载体包埋麝香草酚,并与硬脂酸单甘油酯和三棕榈酸甘油酯固体脂质纳米载体进行了对比,发现1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯在麝香草酚的载药性能和晶型保持方面均具有明显优势^[7]。然而,获得高纯1,3-甘油二酯成本较高,将1,3-甘油二酯与液态油脂混合制备纳米结构脂质载体可减少其用量,但是1,3-甘油二酯的添加量对纳米结构脂质载体的影响规律值得探讨。

本研究基于1,3-甘油二酯的优良结晶特性,研究其添加量对纳米结构脂质载体的载药效率和缓释性质。将1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯与葵花籽油(SFO)混合制备纳米结构脂质载体,对固液脂质质量比对麝香草酚包埋性能和缓释特性的影响进行系统研究,为基于1,3-甘油二酯纳米结构脂质载体的研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

大豆卵磷脂(>90%)、麝香草酚(97%),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;吐温-80(化学纯)、无水乙醇(分析纯),国药集团化学试剂有限公

司;福临门葵花籽油(一级,SFO),中粮集团公司;1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯(1,3-LP),实验室自制。

Zatasizer Nano ZS 纳米激光粒度仪,英国 Malvern Instrument 公司;Waters 高效液相色谱仪,Waters(美国)公司;Frontier 傅里叶红外光谱仪,珀金埃尔默仪器有限公司;F-4600 荧光分光光度计、Hitachi H-7650 透射电子显微镜,日立科学仪器(北京)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 1,3-LP 纳米结构脂质载体包埋麝香草酚

采用微乳液法制备1,3-LP纳米结构脂质载体。称取质量比分别为4:1、1:1、1:4的1,3-LP和葵花籽油混合物(80 mg)于70℃加热至完全熔化,并分别加入脂质质量16%、20%和24%的麝香草酚作为油相。另称取质量比为1:1的吐温-80和大豆卵磷脂(共0.24 g)与水(2 g)混合,于70℃加热搅拌,使表面活性剂均匀分散于水中,作为水相。随后在70℃下将油相与水相迅速混合,加热搅拌10~15 min形成粗乳液,紧接着向粗乳液中加入无水乙醇(0.25 mL),直至形成透明稳定的微乳液,最后按1:5的比例将热的微乳液迅速分散至5~10℃冷水(5 mL)中,使熔融脂质迅速结晶,形成纳米结构脂质载体分散液。

1.2.2 粒径、多分散性指数(PDI)、Zeta-电势的测定

使用 Zetasizer Nano ZS 纳米激光粒度仪进行样品粒径、PDI、Zeta-电势的测定。激光波长633 nm,脂质和水的折光指数分别为1.590、1.330。测定粒径、PDI时样品用蒸馏水稀释80倍,测定Zeta-电势时不稀释,直接进样测量。所有样品均重复测定3次。

1.2.3 储存稳定性研究

所有样品均于25℃避光储存,并分别测定样品储存0、60 d时的粒径和PDI,用以表征样品的储存稳定性。

1.2.4 载药率的测定

通过间接法测定载药率。首先将包埋麝香草酚的1,3-LP纳米结构脂质载体分散液用甲醇适当稀释后,于50 kHz、25℃超声30 min,利用HPLC进行定量检测,得到总麝香草酚质量(m_t);再通过超滤方法分离出游离态的麝香草酚,超滤膜截留相对分子质量为3 500 Da,压力为0.45 MPa,随后用HPLC检测游离态麝香草酚质量(m_f)。载药率(Y)按式(1)进行计算。

$$Y = \frac{m_t - m_i}{m_i} \times 100\% \quad (1)$$

HPLC 条件: C18 色谱柱(250 mm × 4.5 mm × 5 μm), 柱温 25 °C; 流动相为甲醇 - 水(体积比 75:25), 流速 1 mL/min; 检测波长 230 nm。麝香草酚标准曲线拟合方程为 $Y = 20\,166X + 7.895\,7$, $R^2 = 0.999\,8$, 其中 Y 为峰面积, X 为麝香草酚质量浓度。

1.2.5 红外光谱表征

将冷冻干燥的载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体、1,3-LP、葵花籽油、麝香草酚以及制备样品中各个组分(麝香草酚、大豆卵磷脂、吐温-80、葵花籽油、1,3-LP)按比例的物理混合物分别与 KBr 混合进行红外光谱检测。扫描波数范围 4 000 ~ 500 cm^{-1} , 扫描次数 16 次。

1.2.6 荧光光谱表征

将麝香草酚载药量为 16% 的不同固液脂质比(1,3-LP 与 SFO 质量比, 下同)1,3-LP 纳米结构脂质载体分散液以及相应浓度麝香草酚(空白对照)进行荧光强度扫描。固定激发波长(λ_{ex}) 277 nm, 波长范围 570 ~ 690 nm, 激发和发射狭缝宽度均为 5 nm, 扫描电压 600 V, 扫描速率 1 200 nm/min。

1.2.7 形貌表征

将麝香草酚载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结

构脂质载体分散液样品通过透射电镜(TEM)进行形貌观测。样品稀释 80 倍后超声 15 s, 滴加 5 ~ 10 μL 到 0.074 mm(200 目)铜网上晾干, 于 80 kV 电压下观测。

1.2.8 缓释性能研究

将 1,3-LP 纳米结构脂质载体分散液置于预先活化的透析袋(3 500 Da)中, 用缓释媒介液(25% 的乙醇)适当稀释, 保持透析袋中麝香草酚总量为 0.25 mg, 随后将透析袋浸泡于 50 mL 缓释媒介液中, 于 25 °C、100 r/min 水浴摇床振荡, 于 0.5、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、24、48 h 取出 1 mL 缓释媒介液并加入新鲜缓释媒介液以保持总体积不变。取出的缓释媒介液中麝香草酚用 HPLC 进行定量分析, 并计算麝香草酚的释放率。所有样品实验均重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 不同固液脂质比对 1,3-LP 纳米结构脂质载体的影响

在固液脂质比分别为 4:1、1:1 和 1:4, 麝香草酚载药量分别为脂质质量 16%、20% 和 24% 条件下, 表征 1,3-LP 纳米结构脂质载体的粒径、PDI、Zeta-电势及载药率, 结果见表 1。不同固液脂质比和麝香草酚载药量的 1,3-LP 纳米结构脂质载体的样品图见图 1。

表 1 不同固液脂质比和麝香草酚载药量对 1,3-LP 纳米结构脂质载体的粒径、PDI、Zeta-电势及载药率的影响

固液 脂质比	载药 量/%	粒径/nm		PDI		Zeta- 电势/mV	载药率/%	
		0 d	60 d	0 d	60 d		0 d	60 d
4:1	16	220 ± 4	206 ± 6	0.18 ± 0.01	0.28 ± 0.10	-15.9 ± 0.8	97.71	97.21
	20	223 ± 2	195 ± 6	0.19 ± 0.01	0.25 ± 0.01	-13.6 ± 0.6	98.13	97.11
	24	225 ± 4	297 ± 33	0.29 ± 0.01	0.42 ± 0.08	-12.4 ± 0.4	96.08	94.23
1:1	16	203 ± 2	214 ± 7	0.21 ± 0.01	0.26 ± 0.01	-15.8 ± 0.7	99.28	95.73
	20	204 ± 1	211 ± 6	0.51 ± 0.02	0.52 ± 0.05	-14.2 ± 1.3	98.08	98.12
	24	195 ± 3	231 ± 4	0.48 ± 0.01	0.57 ± 0.02	-14.0 ± 0.4	96.93	96.31
1:4	16	19 ± 0	22 ± 1	0.22 ± 0.01	0.23 ± 0.05	-11.6 ± 0.6	98.41	98.05
	24	98 ± 1	96 ± 0	0.44 ± 0.07	0.55 ± 0.05	-14.5 ± 0.4	97.88	97.45



图 1 不同固液脂质比和麝香草酚载药量的 1,3-LP 纳米结构脂质载体的样品图

由表 1 可知, 随着葵花籽油量的增加, 体系粒径显著减小($p < 0.05$), 同时样品也由浑浊逐渐变为透明(图 1), 说明液体脂质的量对 1,3-LP 纳米结构脂质载体粒径有显著影响, 这与之前的研究一致,

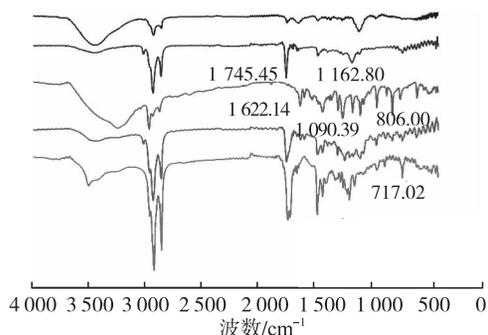
主要是由于液体脂质导致脂质基质具有更高的流动性, 易形成小的粒径^[8-9]。对比样品的 PDI 发现, 对于固液脂质比为 4:1 的体系, 在载药量小于 24% 时, 储存期间体系的 PDI 始终保持在 0.3 以内, 说明

体系仍为均一稳定的分散体系,且稳定性良好,储存 60 d 载药率变化不大,粒径出现一定程度的降低。对于固液脂质比为 1:1 和 1:4 的体系,当载药量超过 16% 时,体系的 PDI 均迅速变大 (>0.3),说明体系分散性较差。考虑到尽可能大地提高载药能力,选择最佳的固液脂质比为 4:1,麝香草酚载药量为脂质质量的 20%。

与 Shi 等^[7]报道的 1,3-LP 固体脂质纳米粒体系最适载药量不超过 16% 相比,本文引入葵花籽油的纳米结构脂质载体的载药能力进一步增强,这可能与麝香草酚易溶于葵花籽油有直接联系。对于其他在 1,3-甘油二酯中有更高溶解度的活性物质而言,1,3-LP 与葵花籽油质量比为 4:1 体系也可能更具优越性。

2.2 红外光谱(FTIR)表征

为了研究麝香草酚与 1,3-LP 纳米结构脂质载体的相互作用,分别对载药量为 16% 的冻干 1,3-LP 纳米结构脂质载体(固液脂质比 4:1)、麝香草酚、葵花籽油、1,3-LP 以及各个组分物理混合物(麝香草酚、大豆卵磷脂、吐温-80、葵花籽油、1,3-LP)进行红外光谱分析,结果如图 2 所示。



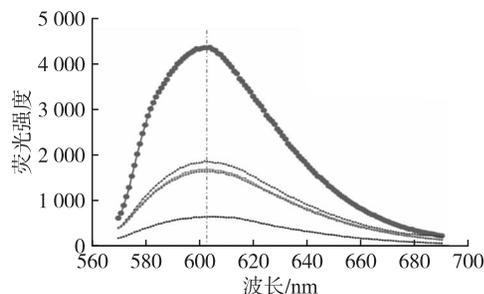
注:从上到下依次为载药量 16% 的冻干 1,3-LP 纳米结构脂质载体、葵花籽油、麝香草酚、物理混合物、1,3-LP。

图 2 麝香草酚载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体的红外光谱图

由图 2 可知,载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体中 717 cm^{-1} (表征 1,3-LP 中烷基链面外变形振动)和 $1\ 162$ 、 $1\ 745\text{ cm}^{-1}$ (表征葵花籽油中酯基)处的特征峰基本完全消失,这表明固液脂质在形成 1,3-LP 纳米结构脂质载体时基本上被卵磷脂以及吐温-80 所包埋。同样,对比麝香草酚、载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体以及物理混合物的图谱发现,麝香草酚图谱中 $1\ 622$ 、 $1\ 090$ 、 806 cm^{-1} 处表征 $\text{C}=\text{C}$ 、 $\text{C}-\text{O}$ 伸缩振动的特征峰在 1,3-LP 纳米结构脂质载体中基本消失,表明麝香草酚也被较好地包埋在纳米结构脂质载体中^[7]。

2.3 荧光光谱表征

为比较麝香草酚在不同固液脂质比的 1,3-LP 纳米结构脂质载体包封分布情况,探讨药物分子与脂质之间的相互作用,采用荧光光谱法对麝香草酚载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体进行了表征,结果如图 3 所示。



注:从上到下依次为麝香草酚溶于无水乙醇、纳米结构脂质载体 3、纳米结构脂质载体 2、纳米结构脂质载体 1、麝香草酚溶于水。纳米结构脂质载体 1 为固液脂质比 4:1,纳米结构脂质载体 2 为固液脂质比 1:1,纳米结构脂质载体 3 为固液脂质比 1:4。下同

图 3 麝香草酚载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体荧光光谱

含有麝香草酚样品的最大发射波长基本都在 603 nm ,而相应浓度的表面活性剂溶液和脂质在该条件下都未表现出显著的荧光效应,因而可以排除乳液体系中其他组分荧光的影响。由图 3 可知,麝香草酚溶解于无水乙醇中的荧光强度要远大于其溶解于水中,说明极性环境会造成麝香草酚的荧光淬灭,这与已报道水分子会造成荧光淬灭效应一致^[10]。而在 3 组纳米结构脂质载体样品中,随着液体脂质比例的增加,样品的荧光强度也表现出了增强的趋势,这说明随着液体脂质的增加,麝香草酚更易溶解于其中,疏水环境增大了麝香草酚的荧光强度,进一步说明麝香草酚分散于 1,3-LP 和葵花籽油形成的纳米结构脂质载体体系中^[7]。

2.4 形貌表征

为了直观分析 1,3-LP 纳米结构脂质载体的形貌特征,将固液脂质比 4:1、载药量 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体进行透射电镜观察,结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出,载药量为 16% 的 1,3-LP 纳米结构脂质载体颗粒都呈现为规整的圆球形颗粒,表现出了非常好的分散性和均一度,这可能是因为液体脂质的增加使得纳米结构脂质载体更易以球形微粒形式存在。

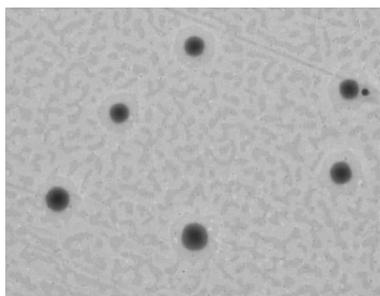


图4 麝香草酚载药量为16%的1,3-LP纳米结构脂质载体的透射电镜图

2.5 缓释性能比较

为比较葵花籽油用量对麝香草酚的缓释性能的影响,将3种麝香草酚载药量为16%的1,3-LP纳米结构脂质载体分散液在透析袋中进行体外缓释研究,结果如图5所示。

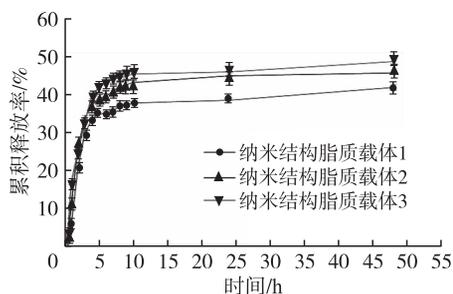


图5 麝香草酚在1,3-LP纳米结构脂质载体中的缓释性能

由图5可知,浸泡48 h后,麝香草酚在纳米结构脂质载体1、纳米结构脂质载体2和纳米结构脂质载体3的累积释放率分别为(41.76 ± 0.77)%、(45.55 ± 0.76)%和(48.55 ± 0.88)%,表明葵花籽油含量更高的样品中麝香草酚释放速率更快,主要是因为液体脂质对麝香草酚的束缚能力较差,具有更高的扩散效率,释放速率也更快,这与前人研究结论一致^[11]。缓释性能研究结果也表明1,3-LP纳米结构脂质载体在性质上更接近于纳米乳液,而且液体脂质比例越高,其理化特性也越接近纳米乳液,相较于固体脂质纳米粒而言,药物的缓释性能效果稍差^[12-13]。

3 结论

对1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯与葵花籽油为基质的纳米结构脂质载体包埋麝香草酚的构建、表征与缓释性能进行了研究。吐温-80与卵磷脂质量比为1:1时可以稳定1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯与葵花籽油为基质的纳米结构脂质载体,3种固液脂质比(4:1、1:1、1:4)下均能高效包埋麝香草酚且载药率达95%以上,仅在固液脂质比4:1的条件下能使麝香草酚载药量达到脂质质量的20%,且60 d的储藏期内保持稳定。红外光谱、荧

光光谱和透射电镜表征表明,包埋麝香草酚的1-月桂酸-3-棕榈酸甘油二酯纳米结构脂质载体具有很好的分散性和均一度。麝香草酚缓释实验表明,固液脂质比4:1时具有更慢的释放速率,葵花籽油比例的增加会加速麝香草酚的释放。因此,可调节1,3-甘油二酯与液体油脂的比例实现控释效应。本研究为基于1,3-甘油二酯纳米结构脂质载体的研究和应用提供了基础,可用于食品体系生理功能活性物质的包埋和递送。

参考文献:

- [1] TAMJIDI F, SHAHEDI M, VARSHOSAZ J, et al. Nanostructured lipid carrier (NLC): a potential delivery system for bioactive food molecules [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2013, 19:29-43.
- [2] WEBER S, ZIMMER A, PARDEIKE J. Solid lipid nanoparticles (SLN) and nanostructured lipid carriers (NLC) for pulmonary application: a review of the state of the art [J]. *Eur J Pharm Biopharm*, 2014, 86: 7-22.
- [3] MEHNERT W, KÄDER K. Solid lipid nanoparticles: production, characterization and applications [J]. *Adv Drug Deliv Rev*, 2001, 47: 165-196.
- [4] 李怡,伍振峰,况弯弯,等. 纳米结构脂质载体提高精油稳定性及其应用研究 [J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(3):523-530.
- [5] YAUNAGE T, YASUNAGE K. Nutritional functions of dietary diacylglycerols [J]. *J Oleo Sci*, 2001, 50(5): 427-432.
- [6] LO S K, TAN C P, LONG K, et al. Diacylglycerol oil - properties, processes and products: a review [J]. *Food Bioproc Technol*, 2008, 1:223-233.
- [7] SHI H, HUANG S S, HE J B, et al. 1-Laurin-3-palmitin as a novel matrix of solid lipid particles: higher loading capacity of thymol and better stability of dispersions than those of glyceryl monostearate and glyceryl tripalmitate [J/OL]. *Nanomaterials*, 2019, 9(4): 489 [2020-11-09]. <https://doi.org/10.33901/nan09040489>.
- [8] PUGLIA C, BLASI P, RIZZA L, et al. Lipid nanoparticles for prolonged topical delivery: an in vitro and in vivo investigation [J]. *Int J Pharm*, 2008, 357: 295-304.
- [9] PATLOLLA R R, CHOUGULE M, PATEL A R, et al. Formulation, characterization and pulmonary deposition of nebulized celecoxib encapsulated nanostructured lipid carriers [J]. *J Control Release*, 2010, 144(2):233-241.
- [10] HUANG S S, HE J B, CAO L, et al. Improved physicochemical properties of curcumin-loaded solid lipid nanoparticles stabilized by sodium caseinate-lactose Maillard conjugate [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68: 7072-7081.

例与含量上有着很大的差异。

3 结论

本文选取了不同产地的 13 个成品沙棘油及 3 份以沙棘全果粉和干果为原料提取的全果油,按照产品包装所标示的原料及样品各参数的实际测定结果分为籽油、全果油、果油 3 类,对其部分质量指标和特征指标进行了对比研究。结果表明:所有沙棘油的酸值和过氧化值均在国标范围内;折光指数(n_{40}^{40})、相对密度(d_{20}^{20})、碘值 3 个特征指标基本是按籽油、果油、全果油的顺序依次减小,皂化值则较为接近;沙棘籽油以亚油酸、亚麻酸、油酸、棕榈酸 4 种脂肪酸为主,不饱和脂肪酸含量为 87.4% ~ 88.1%;全果油以棕榈酸、棕榈油酸、油酸、亚油酸为主,不饱和脂肪酸含量为 62.9% ~ 70.4%;果油以亚油酸、油酸、棕榈酸为主(棕榈油酸含量很低,与常规认知不同,具体原因有待分析),不饱和脂肪酸含量为 81.9% ~ 89.1%。沙棘油与橄榄油在脂肪酸组成上基本相同,但是在脂肪酸的比例与含量上有着很大的差异。

研究表明沙棘油是一种营养丰富,极具开发潜力的植物油。目前,沙棘油的药理功能及保健功效已被国内消费者所认可和接受,但以沙棘油为原料的食品和保健品开发利用还相对较少。对沙棘油化学成分及药理功能的研究,对我国丰富的沙棘资源的开发利用可产生积极的影响。我们将在后续的研究中,对沙棘油的药理功效及生育酚、类胡萝卜素、多酚、角鲨烯和甾醇等活性成分及污染物含量做进一步的研究,以期对沙棘油的开发利用提供一定的理论基础。

参考文献:

- [1] 方文培,张泽荣. 中国植物志:第 52 卷第 2 分册[M]. 北京:科学出版社,1983:64.
- [2] 程康华,高拥军. 沙棘油的综合开发利用[J]. 林产化工通讯,2004,38(6):42-46.
- [3] 薄海波,秦榕. 沙棘果油与沙棘籽油脂肪酸成分对比研究[J]. 食品科学,2008,29(5):378-381.
- [4] KALLIO H P, YANG B. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries of different origins [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(4): 1939-1947.
- [5] 臧茜茜,邓乾春,从怀仁,等. 沙棘油功效成分及药理功能研究进展[J]. 中国油脂,2015,40(5):76-81.
- [6] 董诗婷,陈云,高群玉. 沙棘果生物活性成分及其功能的研究进展[J]. 中国酿造,2020,39(2):26-32.
- [7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 2015 版. 北京:中国医药科技出版社,2015:184-185.
- [8] ZHENG L, SHI L K, ZHAO C W, et al. Fatty acid, phytochemical, oxidative stability and in vitro antioxidant property of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) oils extracted by supercritical and subcritical technologies[J]. LWT - Food Sci Technol, 2017,86:507-513.
- [9] CIESAROVÁ Z, MURKOVIC M, CEJPEK K, et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review[J/OL]. Food Res Int, 2020,133: 109170 [2020-12-22]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109170>.
- [10] 陈衍斌,王浩仁,卢新义,等. GC 法测定沙棘果油中棕榈酸、棕榈油酸和油酸的含量[J]. 西北药学杂志, 2017,32(5):545-547.
- [11] KHALIL R M, ABD - ELBARY A, KASSEM M A, et al. Nanostructured lipid carriers (NLC) versus solid lipid nanoparticles (SLN) for topical delivery of meloxicam [J]. Pharm Dev Technol, 2014, 19(3): 304-314.
- [12] TEERANACAIDEEKUL V, SOUTO E B, JUNYAPRASERT V B, et al. Cetyl palmitate - based NLC for topical delivery of coenzyme Q10 development, physicochemical characterization and in vitro release studies [J]. Eur J Pharm Biopharm, 2007, 67(1): 141-148.
- [13] SOUTO E B, WISSING S A, BARBOSA C M, et al. Development of a controlled release formulation based on SLN and NLC for topical clotrimazole delivery[J]. Int J Pharm, 2004, 278(1): 71-77.

(上接第 41 页)