

大扁杏杏仁油微胶囊的制备及品质研究

辛相余, 张海生, 李 琴, 薛婉瑞, 许铭芯, 李 瑾

(陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 陕西省果蔬深加工工程技术研究中心, 西安 710119)

摘要: 以大豆分离蛋白(SPI)和麦芽糊精(MD)为壁材, 大豆卵磷脂为乳化剂, 通过喷雾干燥法制备大扁杏杏仁油微胶囊。在单因素实验的基础上, 通过响应面法确定大扁杏杏仁油微胶囊制备的最佳工艺条件, 并对其品质进行分析。结果表明, 大扁杏杏仁油微胶囊制备的最佳工艺条件为芯材与固形物质量比 0.35:1、SPI 与 MD 质量比 0.30:1、固形物质量浓度 0.28 g/mL、大豆卵磷脂质量浓度 0.04 g/mL。在最佳工艺条件下, 微胶囊包埋率为 89.98%。微胶囊化可有效延长大扁杏杏仁油的货架期。所制得的微胶囊产品为乳白色粉末状, 颗粒平均粒径为 13.87 μm , 略有清香, 水分含量为 2.46%, 溶解度为 94.35%, 具有一定流动性, 菌落总数和大肠菌群数满足 GB 7101—2015 要求。

关键词: 大扁杏; 杏仁油; 微胶囊; 喷雾干燥; 制备; 品质

中图分类号: TS201.1; TS207.3 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)06-0076-06

Preparation and quality determination of microcapsules of almond oil from *Prunus armeniaca* Linn.

XIN Xiangyu, ZHANG Haisheng, LI Qin, XUE Wanrui, XU Mingxin, LI Jin

(Research Center of Fruit and Vegetable Deep-Processing Technology, College of Food Engineering and Nutrition Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: With soybean protein isolate (SPI) and maltodextrin (MD) as coating materials and soybean lecithin as emulsifier, microcapsules of almond oil from *Prunus armeniaca* Linn. was prepared by spray-drying technology. The response surface methodology was employed to optimize the preparation conditions of almond oil microcapsules on the basis of single factor experiment, and its quality were determined. The results showed that the optimal preparation conditions of almond oil microcapsules were obtained as follows: mass ratio of core material to solid 0.35:1, mass ratio of SPI to MD 0.30:1, mass concentration of solid 0.28 g/mL and mass concentration of soybean lecithin 0.04 g/mL. Under these conditions, the microcapsule embedding rate was 89.98%. Microencapsulation could effectively prolong the shelf life of almond oil. The product was milky white powder with a particle size of 13.87 μm and light fragrance. The water content and solubility of the product were 2.46% and 94.35% respectively, and it had certain liquidity. The aerobic plate count and coliforms count met the requirement of GB 7101—2015.

Key words: *Prunus armeniaca* Linn.; almond oil; microcapsule; spray-drying; preparation; quality

大扁杏, 蔷薇科杏属植物, 是近年来以‘龙王

帽’及其优良品系为主进行推广种植的甜仁杏的总称, 广泛分布在我国华北、西北及辽宁西北部地区, 是一种特有的经济林作物^[1]。大扁杏的主要产品甜杏仁性平、味甘、无毒, 且含有丰富的脂肪、蛋白质、糖类、多种维生素和微量元素, 有益身心健康, 具有很好的开发潜力^[2]。大扁杏杏仁油中不饱和脂肪酸含量丰富, 油酸、亚油酸占 90% 以上, 具有抗衰

收稿日期: 2019-09-20; 修回日期: 2020-03-01

基金项目: 中央高校科技成果转化培育项目 (GK201906007)

作者简介: 辛相余 (1996), 女, 在读硕士, 研究方向为农产品加工技术 (E-mail) 421216910@qq.com。

通信作者: 张海生, 副教授, 博士 (E-mail) hshzh1965@snnu.edu.cn。

老和预防心血管疾病等功效,是一种很好的功能性食用油^[3],在医药工业、化妆品行业中也有应用^[4]。油脂的某些特性,如与水互不相溶、易被氧化、部分油脂具有特殊异味等原因制约了其在食品行业中的应用^[5-7]。微胶囊技术运用一些良好的成膜性材料把固、液体物质甚至气体物质包埋起来形成微小的、具有半透性或致密性囊膜结构的颗粒^[8]。将液态油脂制成粉末状微胶囊,可以解决其易被氧化、货架期短及使用和运输不便的难题^[9-10]。在实际生产中,常采用两种或两种以上复合壁材对油脂进行包埋,以提高包埋率及微胶囊稳定性^[11]。喷雾干燥法制备油脂微胶囊具有操作简单、灵活、工作效率高的优点^[12-13],是应用最广泛的方法。

本文通过喷雾干燥法,以大豆分离蛋白和麦芽糊精为壁材对大扁杏杏仁油进行包埋制备大扁杏杏仁油微胶囊,并对其品质进行分析,以期杏仁油的开发利用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

大扁杏杏仁油,实验室超声波辅助提取法提取^[14];大豆分离蛋白(SPI),山东万得福实业集团有限公司;麦芽糊精(MD),山东西王集团有限公司;大豆卵磷脂,山东万得福实业集团有限公司;石油醚、无水乙醇、氨水、冰乙酸等均为分析纯;平板计数琼脂培养基;月桂基硫酸盐胰蛋白胨;煌绿乳糖胆盐;饱和碘化钾溶液;0.002 mol/L 硫代硫酸钠标准溶液;无菌生理盐水;1 mol/L HCl 溶液;1 mol/L NaOH 溶液;淀粉指示剂。

1.1.2 仪器与设备

B-290 喷雾干燥机,瑞士 Buchi 公司;ST310 索氏浸提系统,Foss Scino;800B 小型台式离心机,上海安亭科学仪器厂;DL-CJ-ND 超净工作台,北京东联哈尔有限公司;MLS-3781L 高温灭菌锅,松下株式会社;SHB-III 循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;GSP-9080MBE 恒温培养箱,上海博讯实业有限公司;GZX-9146MBE 数显鼓风干燥箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;BA200 光学显微镜,加拿大 Motic 显微镜公司;CW-Y 显微镜测微尺,上海光学仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 大扁杏杏仁油微胶囊的制备

壁材溶解在 50℃ 的蒸馏水中→恒温搅拌 30 min→缓缓加入杏仁油和大豆卵磷脂,在 390 W、50 Hz、工作 3 s、间隔 1 s 的条件下超声乳化 5 min→喷

雾干燥(进风温度 180℃,抽风风量 100 m³/h,进样速度 300 mL/h)→冷却→微胶囊产品。

1.2.2 微胶囊包埋率测定

微胶囊化效果用包埋率来衡量^[15],包埋率按公式(1)计算。

$$\text{包埋率} = \frac{\text{总油含量} - \text{表面油含量}}{\text{总油含量}} \times 100\% \quad (1)$$

表面油含量测定:用沸程 30~60℃ 石油醚作为溶剂。精确称取 1~2 g 微胶囊(M),用 40 mL 石油醚溶解,振荡 1 min,抽滤,用 20 mL 石油醚冲洗滤渣,将滤液于 3 000 r/min 离心 10 min,转移到恒重称量后的培养皿(M_1)中,于通风橱中蒸出石油醚,105℃ 鼓风干燥至恒重,称重(M_2)。表面油含量按公式(2)计算。

$$\text{表面油含量} = \frac{M_2 - M_1}{M} \times 100\% \quad (2)$$

总油含量测定:采用 Foss Scino ST310 索氏浸提系统,精确称量微胶囊 1 g(M),放于纸筒中,恒重称量浸提杯(M_1),在每个样品杯中加入约 40 mL 沸程 60~90℃ 的石油醚,开启系统,经沸腾、淋洗、回收、干燥后完成提取脂肪。取出浸提杯放入 105℃ 鼓风干燥箱充分干燥至恒重,称重(M_2)。总油含量按公式(3)计算。

$$\text{总油含量} = \frac{M_2 - M_1}{M} \times 100\% \quad (3)$$

1.2.3 微胶囊品质分析

1.2.3.1 微胶囊加速氧化稳定性

将大扁杏杏仁油微胶囊放于(60±1)℃ 的恒温培养箱中,每隔 48 h 取样测定其过氧化值^[16-17],考察微胶囊加速氧化稳定性。过氧化值按 GB 5009.227—2016 测定。

1.2.3.2 流动性

称取 5 g 左右微胶囊粉末加入带刻度的玻璃量筒((10±0.2) mL)中,轻敲量筒,使粘到壁上的粉末落下,直接读取量筒刻度,得微胶囊的体积,计算微胶囊的疏松密度。继续不断敲击量筒,使微胶囊粉末的体积保持恒定,计算微胶囊的振实密度。利用疏松密度和振实密度计算微胶囊粉末的卡尔指数(C),评价粉末油脂的流动性^[18]。当 $C > 38$ 时粉末流动性很差。 C 按公式(4)计算。

$$C = \frac{\rho_T - \rho_B}{\rho_T} \times 100\% \quad (4)$$

式中: ρ_B 为微胶囊的疏松密度,g/cm³; ρ_T 为微胶囊的振实密度,g/cm³。

1.2.3.3 微生物指标

菌落总数测定依据 GB 4789.2—2010; 大肠菌群测定依据 GB 4789.3—2010。

1.2.3.4 水分含量

水分含量测定参照 GB/T 5009.3—2010 中直接干燥法进行。

1.2.3.5 溶解度

称取 5 g 左右微胶囊粉末样品, 倒入烧杯中, 用蒸馏水将样品完全溶解, 移入离心管, 在 4 000 r/min 条件下离心 20 min, 弃去上清液, 再加入蒸馏水, 在振动机上振动, 使离心管中的沉淀悬浮, 继续以相同条件离心, 去上清液, 将沉淀移入已恒重称量的培养皿中, 置于干燥箱干燥至恒重。溶解度按公式(5)计算。

$$\text{溶解度} = \left[1 - \frac{m_2 - m_1}{m(1 - A)} \right] \times 100\% \quad (5)$$

式中: m 为微胶囊质量, g; m_1 为培养皿质量, g; m_2 为培养皿与沉淀质量, g; A 为微胶囊水分含量。

1.2.3.6 颗粒平均粒径

称取 0.5 g 左右微胶囊粉末样品于干净的玻璃板上, 通过多次四分法使其达到 0.01 g, 置于载玻片上, 滴蒸馏水, 覆上盖玻片后揉研使样品分散。用光学显微镜和显微镜测微尺进行统计测量。

1.2.3.7 气味、色泽

采用感官法对微胶囊产品的气味和色泽进行测定。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验

2.1.1 芯材与固形物(芯固)质量比对微胶囊包埋率的影响

在固形物质量浓度 0.30 g/mL、SPI 与 MD 质量比 1:2、大豆卵磷脂质量浓度 0.03 g/mL、不同芯固质量比的条件下包埋大扁杏杏仁油, 对其包埋率进行测定, 结果见图 1。

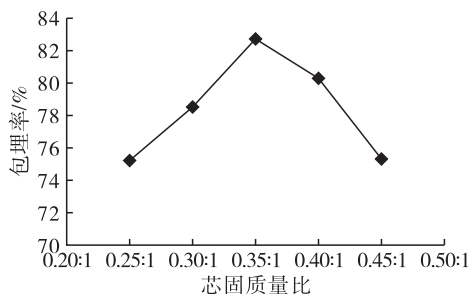


图 1 芯固质量比对微胶囊包埋率的影响

从图 1 可以看出, 随着芯固质量比的增加, 包埋率先增加后下降, 当芯固质量比低于 0.35:1 时, 包

埋率随芯固质量比的增加呈上升趋势, 芯固质量比 0.35:1 时包埋率达到最大值, 为 82.75%, 继续增加芯固质量比包埋率反而降低。这是因为芯材含量过高时, 壁材量不足以完全包埋芯材, 导致包埋率下降。故最佳的芯固质量比为 0.35:1。

2.1.2 SPI 与 MD 质量比对微胶囊包埋率的影响

在芯固质量比 0.35:1、固形物质量浓度 0.30 g/mL、大豆卵磷脂质量浓度 0.03 g/mL、不同 SPI 与 MD 质量比的条件下包埋大扁杏杏仁油, 对其包埋率进行测定, 结果见图 2。

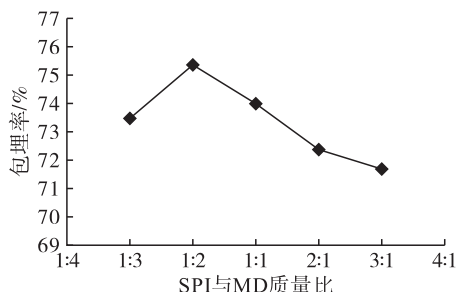


图 2 SPI 与 MD 质量比对微胶囊包埋率的影响

从图 2 可以看出, 随着 SPI 与 MD 质量比的增大包埋率先增大后减小, 当 SPI 与 MD 质量比为 1:2 时, 包埋率达到最大值, 为 75.88%。这是由于麦芽糊精黏度小, 乳状液黏度较小, 利于进料及喷雾, 一定浓度的 SPI 起到乳化作用, 但添加过多会使料液黏度过高, 堵塞喷雾干燥器喷头, 不利于微胶囊制备过程中的脱水。因此, 最佳 SPI 与 MD 质量比为 1:2。

2.1.3 固形物质量浓度对微胶囊包埋率的影响

在芯固质量比 0.35:1、SPI 与 MD 质量比 1:2、大豆卵磷脂质量浓度 0.03 g/mL、不同固形物质量浓度的条件下包埋大扁杏杏仁油, 对其包埋率进行测定, 结果见图 3。

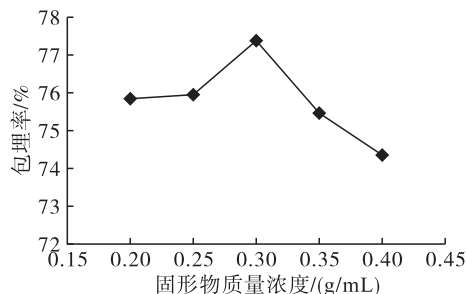


图 3 固形物质量浓度对微胶囊包埋率的影响

由图 3 可以看出, 在固形物质量浓度低于 0.25 g/mL 时, 固形物质量浓度增加对包埋率影响较平缓, 在固形物质量浓度大于 0.25 g/mL 时, 包埋率增大, 在 0.30 g/mL 时包埋率达到最大, 而由于固形物质量浓度过高, 乳状液黏度大, 流动性差, 不利于喷

雾干燥,使得在其固形物质量浓度 0.30 g/mL 后包埋率略有下降。因此,最佳的固形物质量浓度为 0.30 g/mL。

2.1.4 大豆卵磷脂质量浓度对微胶囊包埋率的影响

在芯固质量比 0.35:1、SPI 与 MD 质量比 1:2、固形物质量浓度 0.30 g/mL、不同大豆卵磷脂质量浓度的条件下包埋大扁杏杏仁油,对其包埋率进行测定,结果见图 4。

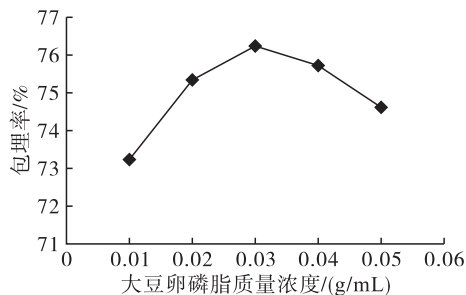


图 4 大豆卵磷脂质量浓度对微胶囊包埋率的影响

从图 4 可以看出,大豆卵磷脂质量浓度低于 0.03 g/mL 时,随其质量浓度的增加,包埋率快速增大,质量浓度为 0.03 g/mL 时包埋率最大,为 76.21%,超过 0.03 g/mL 后,包埋率下降。这是因为过高的大豆卵磷脂用量使料液黏度过高,阻碍进料喷雾,同时也会影响微胶囊风味,生产成本增大。因此,最佳的大豆卵磷脂质量浓度为 0.03 g/mL。

2.2 大扁杏杏仁油微胶囊制备工艺条件的优化

2.2.1 Box - Behnken 实验设计及结果

在单因素实验基础上,根据 Box - Behnken 中心组合设计原理^[19],以芯固质量比、SPI 与 MD 质量比、固形物质量浓度、大豆卵磷脂质量浓度 4 个因素为响应变量,以包埋率(R)为响应值,设计四因素三水平共 29 组实验,通过响应面分析对大扁杏杏仁油微胶囊制备的工艺条件进行优化。响应面实验因素水平见表 1,响应面实验方案与结果见表 2。

利用 Design Expert 软件对实验结果进行多元回归拟合分析,得到二次回归方程模型:

$$R = 86.84 - 1.22A + 4.51B + 2.01C + 2.41D + 1.43AB + 3.68AC - 1.18AD + 0.53BC - 0.69BD - 2.32CD - 4.02A^2 - 4.33B^2 - 0.15C^2 - 1.50D^2$$

表 1 响应面实验因素水平

水平	A 芯固质量比	B SPI 与 MD 质量比	C 固形物质量浓度/(g/mL)	D 大豆卵磷脂质量浓度/(g/mL)
-1	0.30:1	1:3	0.25	0.02
0	0.35:1	1:2	0.30	0.03
1	0.40:1	1:1	0.35	0.04

表 2 响应面实验方案与结果

实验号	A	B	C	D	包埋率/%	
					实际值	预测值
1	0	-1	0	1	78.21	79.61
2	1	0	-1	0	74.79	75.75
3	-1	0	1	0	83.54	82.22
4	-1	0	0	1	87.44	86.13
5	1	1	0	0	84.13	83.21
6	0	-1	1	0	78.03	79.33
7	1	0	0	1	82.52	81.33
8	0	0	-1	1	87.03	87.91
9	0	1	1	0	88.12	89.41
10	0	0	1	-1	88.05	87.11
11	0	-1	0	-1	74.92	73.41
12	0	1	0	1	86.10	87.25
13	-1	-1	0	0	75.78	76.64
14	0	0	0	0	87.57	86.84
15	0	0	0	0	83.72	86.84
16	-1	1	0	0	81.67	82.79
17	0	0	0	0	87.65	86.84
18	0	-1	-1	0	77.24	76.37
19	0	1	0	-1	85.57	83.81
20	0	0	-1	-1	77.59	78.45
21	0	0	1	1	88.22	87.30
22	-1	0	0	-1	77.35	78.96
23	1	-1	0	0	72.51	71.33
24	-1	0	-1	0	86.51	85.56
25	0	1	-1	0	85.21	84.33
26	0	0	0	0	87.51	86.84
27	1	0	0	-1	77.13	78.87
28	0	0	0	0	87.77	86.84
29	1	0	1	0	86.55	87.14

2.2.2 响应面实验方差分析(见表 3)

由表 3 可见,模型极显著($P < 0.0001$),失拟项不显著($P = 0.5046 > 0.05$),说明该模型对实验拟合较好。模型的校正决定系数(R_{Adj}^2)为 0.8723,相关系数(R^2)为 0.9362,说明该模型拟合程度良好,实验误差小,该模型可以用来分析和预测大扁杏杏仁油微胶囊的包埋率。

同时,从表 3 回归方程系数显著性检验可知,B、C、D 极显著,A 显著,AC、 A^2 、 B^2 极显著,CD 显著,其余不显著。此外,还可以看出各因素对微胶囊包埋率影响的主次顺序为 SPI 与 MD 质量比(B) > 大豆卵磷脂质量浓度(D) > 固形物质量浓度(C) > 芯固质量比(A)。去除不显著项后的回归方程为: $R = 86.84 - 1.22A + 4.51B + 2.01C + 2.41D + 3.68AC - 2.32CD - 4.02A^2 - 4.33B^2$ 。

表3 响应面实验方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
模型	673.495 8	14	48.106 8	14.663 9	<0.000 1**
A	17.909 6	1	17.909 6	5.459 2	0.034 8*
B	243.991 0	1	243.991 0	74.373 3	<0.000 1**
C	48.561 6	1	48.561 6	14.802 6	0.001 8**
D	69.649 0	1	69.649 0	21.230 4	0.000 4**
AB	8.208 2	1	8.208 2	2.502 0	0.136 0
AC	54.243 2	1	54.243 2	16.534 4	0.001 2**
AD	5.522 5	1	5.522 5	1.683 4	0.215 5
BC	1.123 6	1	1.123 6	0.342 5	0.567 7
BD	1.904 4	1	1.904 4	0.580 5	0.458 8
CD	21.483 2	1	21.483 2	6.548 5	0.022 7*
A ²	105.037 3	1	105.037 3	32.017 5	<0.000 1**
B ²	121.492 8	1	121.492 8	37.033 4	<0.000 1**
C ²	0.154 0	1	0.154 0	0.046 9	0.831 6
D ²	14.552 5	1	14.552 5	4.435 9	0.053 7
残差	45.928 7	14	3.280 6		
失拟项	33.691 6	10	3.369 2	1.101 3	0.504 6
纯误差	12.237 1	4	3.059 3		
总和	719.424 5	28			

注: * 差异显著($P < 0.05$); ** 差异极显著($P < 0.01$)。

2.2.3 优化条件的确定及验证

通过软件分析得出:在芯固质量比 0.37:1、SPI 与 MD 质量比 0.31:1、固形物质量浓度 0.28 g/mL、大豆卵磷脂质量浓度 0.04 g/mL 条件下,大扁杏杏仁油微胶囊包埋率理论值为 92.46%,为最佳值。考虑实际可操作性,将优化条件适当修正为芯固质量比 0.35:1、SPI 与 MD 质量比 0.30:1、固形物质量

表4 微胶囊产品理化指标

组织形态	气味	色泽	水分含量/%	溶解度/%	流动性(C)	颗粒平均粒径/ μm
粉末状	略有清香	乳白色	2.46	94.35	34.87	13.87

从表4可以看出,微胶囊呈粉末状,略有清香,溶解性好,颗粒平均粒径 13.87 μm ,具有一定流动性,表明所得产品具有较好的品质,响应面优化所得的大扁杏杏仁油微胶囊制备工艺具有生产价值。相比孔令明等^[20]采用羧甲基纤维素钠和 SPI 作壁材制备杏仁油微胶囊,本文采用 SPI 和麦芽糊精作壁材包埋率、溶解度、流动性更好。这是因为 SPI 具有很好的凝胶性,其所形成的凝胶网络结构可以吸附包埋脂肪,既能降低水和油的表面张力又能降低水和空气的表面张力,能形成稳定的乳状液。另外,麦芽糊精不易吸水、黏度低、水溶性好,是微胶囊工艺中常用的配伍壁材。SPI 和麦芽糊精复合使用比单一壁材更具优势,而且麦芽糊精价格便宜,节约了生产成本。

2.3.3 微胶囊产品微生物指标(见表5)

从表5可以看出,微胶囊产品的菌落总数与大肠菌群测定结果都符合 GB 7101—2015 要求。

浓度 0.28 g/mL、大豆卵磷脂质量浓度 0.04 g/mL,在此条件下大扁杏杏仁油实际包埋率为 89.98%。验证值与理论值的匹配度达 97.32%,说明得到的二次回归方程能较好拟合本实验中各参数。

2.3 微胶囊产品品质

2.3.1 微胶囊产品加速氧化稳定性

对油样和微胶囊样品在 $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下进行加速氧化实验,结果见图5。

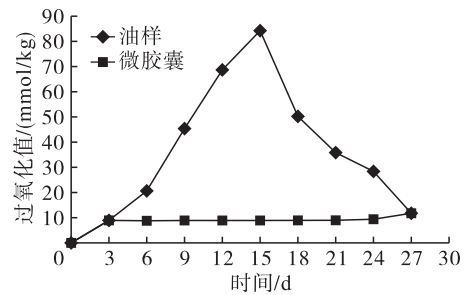


图5 微胶囊产品加速氧化实验结果

从图5可以看出,在 60°C 下大扁杏杏仁油的过氧化值先上升且在 15 d 时达到最大值 (83.5 mmol/kg),之后由于氢过氧化物分解而使过氧化值降低。微胶囊过氧化值在实验期间一直稳定在 10 mmol/kg,24 d 之后有所上升。这是由于微胶囊表面具有壁材的保护能够阻止氧气、水分与油脂的接触,有效减缓了油脂氧化的速率。由此可见微胶囊可以有效延长产品的货架期。

2.3.2 微胶囊产品理化指标(见表4)

表5 微胶囊产品微生物指标

项目	cfu/g	
	菌落总数	大肠菌群
微胶囊样品	53	<3.0
GB 7101—2015	<1 000	<10

3 结论

通过单因素实验和响应面优化实验,得到大扁杏杏仁油微胶囊制备的最佳工艺条件:芯固质量比 0.35:1、SPI 与 MD 质量比 0.30:1、固形物质量浓度 0.28 g/mL、大豆卵磷脂质量浓度 0.04 g/mL。在最佳工艺条件下,微胶囊包埋率为 89.98%。所制得的微胶囊产品为乳白色粉末状,颗粒平均粒径 13.87 μm ,略有清香,水分含量 2.46%,溶解度 94.35%,具有一定流动性,菌落总数与大肠菌群数满足 GB 7101—2015 要求。微胶囊化能够有效延长大扁杏杏仁油的货架期。响应面优化所得的大扁杏杏仁油微胶囊制备工艺具有生产价值。

参考文献:

- [1] 王树杞. 大扁杏——甜杏仁栽培与利用[M]. 北京:中国林业出版社,1993:5-20.
- [2] 王筠默. 中药药理学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983:87.
- [3] 杨海涛. 甜杏仁油的提取研究与应用[J]. 中国油脂,2008,33(4):20-21.
- [4] 李志东,张洪林,邱峰. 杏仁油的提取研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(17):4389-4390.
- [5] 丁洁,李博生. 微胶囊技术及其在食品工业中的应用[J]. 中国食物与营养,2010(3):29-31.
- [6] 王宝琴,徐泽平. 微胶囊化粉末油脂制品的技术研究[J]. 粮油加工,2010(7):8-11.
- [7] 钱列生,芮汉明. 食品微胶囊技术[J]. 中山大学学报论丛,2007(9):201-205.
- [8] 姚辉,于才渊. 喷雾干燥制备微胶囊技术在食品工业中的应用[J]. 干燥技术与设备,2004(1):8-11.
- [9] DRUSCH S, SCHWARZ K. Microencapsulation properties of two different types of *n*-octenylsuccinate-derivatised starch[J]. Eur Food Res Technol,2006,222(1/2):155-164.
- [10] 孙兰萍,马龙,张斌,等. 杏仁油微胶囊制备工艺的优化[J]. 农业工程学报,2008(9):253-257.
- [11] 刘凡. 油脂微胶囊壁材主要成分相互作用研究及微观结构分析[D]. 南昌:南昌大学,2013.

- [12] 戴燕红. 《现代干燥技术》(第2版)编写工作会议纪要[J]. 干燥技术与设备,2004(4):9.
- [13] GHARSALLAOUI A, ROUDAUT G, CHAMBIN O, et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview[J]. Food Res Int, 2007, 40(9):1107-1121.
- [14] 薛焕焕,张海生,赵鑫帅,等. 不同提取方法对大扁杏仁油品质的影响[J]. 江苏农业学报,2018,34(2):439-446.
- [15] 张莉,杨有林,张靖,等. 扁杏仁油微胶囊的制备及质量评价[J]. 食品工业科技,2012,24(9):246-249.
- [16] 王梦泽,薛少平,王佳,等. 草莓浑油汁维生素C降解动力学模型[J]. 农业工程学报,2010,26(3):353-357.
- [17] 吴晓霞,李建科,张研宇. 蚕蛹油超声波辅助萃取及其抗氧化稳定性[J]. 中国农业科学,2010,43(8):1677-1687.
- [18] QUISPE-CONDORI S, SALDAÑA M D A, TEMELL F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying[J]. LWT - Food Sci Technol, 2011, 44(9):1880-1887.
- [19] DENIZ B, BOYACI I H. Modeling and optimization I: usability of response surface methodology[J]. J Food Eng, 2007,78(3):836-845.
- [20] 孔令明,李芳,陈士利,等. 杏仁油微胶囊的制备[J]. 农产品加工,2012(1):74-75,78.

(上接第71页)

3.3 小鼠精子畸形试验(见表4)

由表4可见,阳性(环磷酰胺)对照组与溶剂(大豆油)对照组比较,差异有统计学意义($P <$

0.01),而样品各剂量组与溶剂对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),可见样品对小鼠精子畸形率未产生明显改变,提示该样品对小鼠精子不产生畸变作用。

表4 样品小鼠精子畸形试验结果($\bar{x} \pm s$)

组别	剂量/ (g/kg)	动物数 (只)	观察精子 数(个)	畸形数(个)							畸形 率/%	
				无定型	无钩	香蕉	胖头	双尾	双头	尾折叠		总量
溶剂对照	5	5	5 000	63	13	7	3	0	0	0	86	1.72 ± 0.22
	4.35	5	5 000	61	10	6	3	0	0	0	80	1.60 ± 0.19
受试物	8.70	5	5 000	67	14	6	3	0	0	0	90	1.80 ± 0.23
	17.40	5	5 000	65	11	6	4	0	0	0	86	1.72 ± 0.18
阳性对照	5	5	5 000	197	150	69	14	4	2	1	437 *	8.74 ± 0.65

3 结论

采用反映基因突变的 Ames 试验、反映染色体损害的小鼠骨髓细胞微核试验和反映生殖细胞突变的小鼠精子畸形试验研究薏苡仁油的致突变性。结果发现,薏苡仁油对小鼠骨髓细胞微核无明显增多作用,对雄性小鼠生殖细胞无遗传损伤作用,也不具有基因致突变作用。因此,在本试验条件下,薏苡仁油未显示有致突变性。试验表明薏苡仁油对人体无致突变作用。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:376-377.
- [2] 张栋霞,张涛. GC/MSD 分析薏苡仁油组份[J]. 粮食与油脂,2001(1):42-43.
- [3] 谢春英,林乐维. 超临界 CO₂ 流体萃取薏苡仁油的 GC-MS 分析[J]. 中药材,2011,34(8):1234-1236.
- [4] 周岩飞,金凌云,王琼,等. 薏苡仁油对小鼠免疫功能影响的研究[J]. 中国油脂,2018,43(8):77-81.
- [5] 张明发,沈雅琴. 薏苡仁油抗消化系统肿瘤的基础和临床研究[J]. 中国执业药师,2011,8(8):19-22.