

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023079

引用格式:徐思宁,刘红波,唐志书,等.沙棘果浆微囊喷雾干燥制备工艺及其理化性质研究[J].食品与发酵工业,2020,46(6):121-126. XU Sining, LIU Hongbo, TANG Zhishu, et al. Preparation of the microcapsules of sea buckthorn pulp by spray drying and the evaluation of its physicochemical properties[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 121-126.

沙棘果浆微囊喷雾干燥制备工艺及其理化性质研究

徐思宁,刘红波,唐志书*,宋忠兴,孙静,崔春利,蔡兴航,于金高,刘世军,孙晓春*

(陕西中医药大学/陕西省中药资源产业化协同创新中心,秦药特色资源研究与开发国家重点实验室
(培育)/陕西省创新药物研究中心,陕西 咸阳, 712083)

摘要 以阿拉伯胶、麦芽糊精为囊材,以进风温度、阿拉伯胶占总囊材质量百分比、壁芯比、固形物含量等为主要考察因素,以微囊维生素C(V_c)包封率与收率为评价指标,优化沙棘果浆微囊喷雾干燥制备工艺;并检测微囊的水分含量、水分活度、微观结构、粒径分布、吸湿性、稳定性等理化性质。优化的工艺条件为:进风温度为160℃,阿拉伯胶占总囊材质量百分比为80%,壁芯比为2:1,固形物含量为20%。优化工艺下制备的沙棘果浆微囊具有较好的溶解性、稳定性,微囊 V_c 包封率为95.48%,收率为57.14%。该研究可为沙棘果浆微囊及相关产品的开发提供参考。

关键词 沙棘果浆;微囊;喷雾干燥;制备工艺;理化性质

Preparation of the microcapsules of sea buckthorn pulp by spray drying and the evaluation of its physicochemical properties

XU Sining, LIU Hongbo, TANG Zhishu*, SONG Zhongxing, SUN Jing, CUI Chunli, CAI Xinghang, YU Jingao, LIU Shijun, SUN Xiaochun*

(Shaanxi University of Chinese Medicine/Shaanxi Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization, Shaanxi Research Centre on Discovery & Innovation of New Medicine, Xianyang 712083, China)

ABSTRACT With acacia gum and maltodextrin as capsule materials, the preparation process of sea buckthorn pulp microcapsules by spray drying was optimized and the encapsulation rate of vitamin c (V_c) and microcapsule yield were taken evaluation index. The main factors including air intake temperature, acacia gum as a percentage of total capsule material, wall-to-core ratio and solid content were examined. The physicochemical properties of microcapsules such as water content, water activity, microstructure, particle size distribution, hygroscopicity and stability were also examined. The optimized process was as follows: inlet air temperature 160℃, acacia gum accounts for 80%, wall-to-core ratio 2:1 and solid content 20%. The microcapsules prepared under optimized conditions had good solubility and stability, and the V_c encapsulation rate and yield was 95.48% and 57.14%, respectively. The research could provide a reference for the development of sea buckthorn pulp microcapsules and related products.

Key words sea buckthorn pulp; microcapsules; spray drying; preparation process; physicochemical properties

第一作者:徐思宁(硕士研究生)和刘红波(硕士,讲师)为共同第一作者(唐志书教授和孙晓春副教授为共同通讯作者, E-mail: tzs6565@163.com, sunxiaochun08@163.com)

基金项目:国家自然科学基金项目(81803744);国家科技重大专项重大新药创制项目(2019ZX09301133);陕西省科技厅重点研发项目(2018SF-326);陕西省中药基础与新药研究重点实验室开放基金(2017KF01);陕西省教育厅重点实验室项目(19JS018);陕西省创新人才推进计划-科技创新团队(2018TD-005)

收稿日期:2019-12-12, 改回日期:2020-01-15

沙棘为胡颓子科植物沙棘 *Hippophae rhamnoides* L. 的干燥成熟果实, 收载于《中华人民共和国药典》2015 年版, 具有健脾消食、止咳祛痰、活血散瘀等功效^[1]。沙棘果是一种药食两用的植物资源, 除含有丰富的维生素(包括维生素 A、B、C、E、K 等, 其中维生素 C 含量最高)外, 亦含有黄酮、多酚、不饱和脂肪酸、氨基酸、有机酸等多种生物活性成分^[2-4], 是集药用、食用为一体的具有良好开发价值的重要资源^[5-6]。目前, 以沙棘为资源开发的药品、食品等产品得到了较为广泛的研究与应用^[6-13]。

沙棘果浆中含有丰富的维生素类、多酚类等不稳定性的活性成分, 易氧化, 遇光、热不稳定^[14], 通常用密闭不透光的包装材料包装, 且需低温贮藏; 同时沙棘果浆口感酸涩, 难以直接服用。这些问题为沙棘果浆在实际生产、贮藏、应用过程中带来了诸多不便, 影响了沙棘的开发利用。

微囊是指固态或液态物质被辅料包封形成的微小胶囊。物料经微囊化后可提高物料的稳定性, 掩盖不良气味, 使液态物质固态化, 以改善物料的物理化学性质^[15-17]。因此可将沙棘果浆制备成微囊, 以提高沙棘果浆的稳定性, 改善其不良口感, 以利于沙棘果浆后续加工处理及相关产品的开发。

喷雾干燥技术是制备微囊的一种高效制备技术^[18]。目前, 对沙棘果浆进行微囊化处理的研究报道尚少, 本实验拟采用喷雾干燥技术制备沙棘果浆微囊, 对关键制备工艺参数进行筛选、优化, 并研究沙棘果浆微囊的理化性质, 以期能为沙棘果浆微囊的制备及相关产品的开发提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料

沙棘果浆(可溶性固形物含量 11.36%), 购买于陕西艾康沙棘制药有限公司。

1.2 试剂与仪器

偏磷酸、NaHCO₃、无水乙醇、乙酸钾、MgCl₂、NaBr、KI、NaCl、(NH₄)₂SO₄、KCl, 天津市天力化学试剂有限公司, 均为分析纯; 2,6-二氯酚标准品, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 阿拉伯胶, 湖北葛店人福药用辅料有限责任公司, 麦芽糊精, 上海泛科史康医药科技有限公司; 高岭土, 上海麦克林生化科技有限公司; 抗坏血酸标准品, 中国食品药品鉴定研究院, 100425-201504。

YC-1800 实验室喷雾干燥机, 上海雅程仪器设备

有限公司; FJ200-SH 数显高速分散机, 上海标本模型厂制造; AH-Basic 均质机, 德国 ATS 工业系统有限公司; HJ-S8 电热恒温水浴锅, 北京科伟永兴仪器有限公司; TGL-20B 离心机, 上海安亭科学仪器厂; Scout SE 电子天平, 奥豪斯仪器有限公司; HJ-6B 恒温磁力搅拌器, 常州丹瑞实验仪器设备有限公司; 101 电热鼓风干燥箱, 北京科伟永兴仪器有限公司; Mastersizer 3000 激光粒度仪, 英国马尔文仪器有限公司; Lab-Master-AW 水分活度测定仪, 瑞士 Novasina 公司; ZEISS evo 18 扫描电镜, 德国卡尔·蔡司股份公司。

1.3 实验方法

1.3.1 沙棘果浆微囊的制备

取一定量阿拉伯胶、麦芽糊精, 加适量纯化水, 50℃下搅拌均匀后加入适量沙棘果浆。先用高速分散机进行高速搅拌(转速 10 000 r/min, 时间 5 min), 再用高压均质机均质(压力 400 kPa), 制备得到沙棘果浆均质液, 备用。采用实验小型喷雾干燥机对沙棘果浆均质液进行喷雾干燥, 制备得到沙棘果浆微囊。

1.3.2 微囊 V_C 包封率及收率测定

采用二氯酚滴定法测定 V_C 含量^[19]。

微囊中总 V_C 含量测定: 精确称取沙棘果浆微囊 5 g, 加入 100 mL 偏磷酸溶液中, 搅拌溶解, 再加入 2 g 高岭土进行脱色, 过滤, 滤液于 10 000 r/min 下离心 15 min, 取上清液 10 mL, 用 2,6-二氯酚溶液滴定, 记录滴定体积, 计算 V_C 含量(mg/100g)。

微囊表面未包封 V_C 含量测定: 精确称取沙棘果浆微囊 5 g, 用无水乙醇反复充分洗涤, 合并过滤液。精确量取滤液 10 mL, 加入 10 mL 偏磷酸溶液后用 2,6-二氯酚溶液滴定, 记录滴定体积, 计算 V_C 含量(mg/100g)。

微囊 V_C 包封率计算如公式(1)所示:

$$\text{包封率} / \% = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100 \quad (1)$$

式中: X_1 , 微囊中总 V_C 含量, mg/100g; X_2 , 微囊表面未包封 V_C 含量, mg/100g。

微囊收率计算如公式(2)所示:

$$\text{微囊收率} / \% = \frac{\text{喷雾干燥所得微囊质量}}{\text{喷雾干燥料液中总固体含量}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.3 工艺优化

1.3.3.1 单因素试验

以进风温度、进料速度、阿拉伯胶占总囊材质量百分数、壁芯比(囊材与果浆固含质量比)、固形物含量等为主要因素, 进行单因素考察试验, 以微囊 V_C

包封率与收粉率为评价指标。

1.3.3.2 正交优化试验

在单因素试验的基础上,采用正交实验设计,优化沙棘果浆微囊的制备工艺。

1.3.4 微囊理化性质检测

1.3.4.1 水分及水分活度

精密称取沙棘果浆微囊 1.0 g,平行 3 份,置于已干燥至恒重的称量瓶中,于 105 ℃ 下烘干至恒重,计算水分含量。

采用水分活度测定仪检测样品 25 ℃ 下的水分活度,平行测定 3 次。

1.3.4.2 溶解度指数

根据参考文献^[20],精密称取沙棘果浆微囊 2.0 g,平行 3 份,加入到 100 mL 纯化水中,37 ℃ 下磁力搅拌 30 min,于 10 000 r/min 离心 10 min。离心后,将离心管内的沉淀于 105 ℃ 下干燥至恒重,利用公式(3)计算溶解度指数:

$$\text{溶解度指数} / \% = \frac{(\text{微囊初始质量} - \text{沉淀物质量})}{\text{微囊初始质量}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.4.3 吸湿性

采用静态称量法进行吸湿性测试^[21]。取微囊约 0.2 g,平行 3 份,精密称量(记作 m_0),置于已烘干至恒重的称量瓶中,其中微囊与称量瓶的初始总质量记作 m_1 。将称量瓶敞口分别置于底部盛有不同过饱和盐溶液的干燥器中。饱和盐溶液分别为乙酸钾、氯化镁、溴化钠、碘化钾、氯化钠、硫酸铵与氯化钾的饱和溶液,其形成的空气湿度分别为 20.4%、32.8%、43.2%、57.6%、62.4%、75.3%、81.0%、84.3%。将干燥器置于温度为 25 ℃ 的环境中,定期精密称量微囊与称量瓶的总质量,直至前后 2 次称量值相差不超过 $\pm 0.001\text{g}$,即认为达到吸湿平衡。将吸湿平衡后微囊与称量瓶的总质量记作 m_2 ,如公式(4)所示:

$$\text{平衡吸湿率} / \% = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (4)$$

式中: m_0 ,为囊质量,g; m_1 ,微囊与称量瓶的初始总质量,g; m_2 ,吸湿平衡后微囊与称量瓶的总质量,g。

1.3.4.4 显微结构

取沙棘果浆微囊适量,用导电双面胶将微囊固定于样品台上,用扫描电子显微镜观察微囊表面形态特征。电压 5 kV。

1.3.4.5 稳定性

将沙棘果浆微囊于室温条件下避光放置 6 个月,分别于第 0、1、2、3、4、5、6 个月取样,检测微囊 Vc 含

量,计算 V_c 保留率如公式(5)所示:

$$V_c \text{ 保留率} / \% = \frac{C_n}{C_0} \times 100 \quad (5)$$

式中: C_n ,不同时间点微囊样品中 Vc 含量,mg/100g; C_0 ,微囊中 Vc 初始含量,mg/100g。

2 结果与分析

2.1 微囊制备工艺研究

2.1.1 单因素考察

2.1.1.1 囊材对比对微囊 Vc 包封率与收率的影响

囊材对微囊的制备及性能具有重要影响^[22]。阿拉伯胶、麦芽糊精是制备微囊常用的囊材材料。阿拉伯胶成膜性好,但抗氧化能力差;麦芽糊精成膜性差,但抗氧化能力强。因此二者常联合复配应用,以获得性能良好的微囊。二者不同对比对微囊 Vc 包封率与微囊收率的影响见图 1。当阿拉伯胶占总囊材比例从 0% 增至 70% 时,微囊 Vc 包封率呈不断增大趋势;而微囊收率则逐渐降低。实验结果显示,增大阿拉伯胶配比可提高微囊 Vc 包封率;增大麦芽糊精配比则可提高微囊收率,但提高程度有限。综合考虑,本实验中阿拉伯胶占总囊材百分比在 60% ~ 80% 较为适宜。

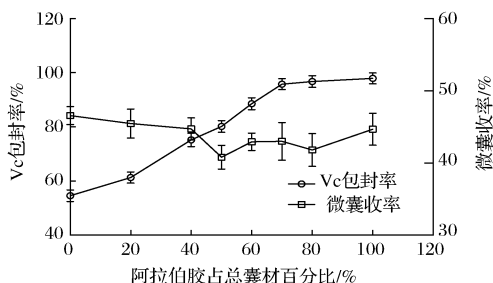
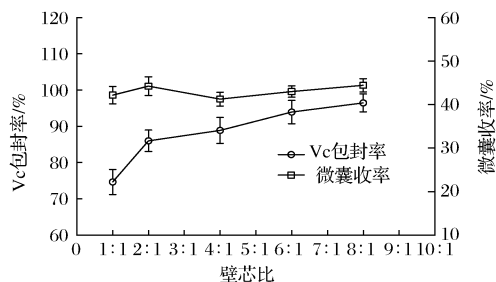


图 1 囊材对比对微囊 Vc 包封率与收率的影响

Fig. 1 Effect of capsule material ratio on encapsulation efficiency of Vc and yield

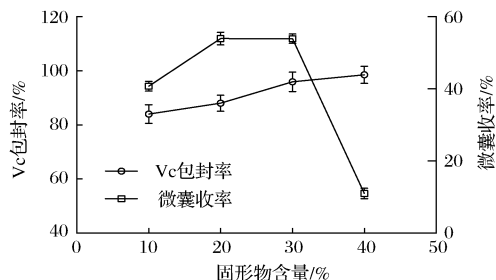
2.1.1.2 壁芯对比对微囊 Vc 包封率与收率的影响

壁芯比即是囊材与包裹物二者间的比例。壁芯比对微囊制备具有重要影响。当壁芯比较低时,较少的囊材不能将包裹物完全包裹,导致物料包封率较低;当壁芯比较高时,不仅会浪费囊材,亦会降低微囊中物料的含量。因此,需要将壁芯比控制在适宜的范围。由图 2 可知,本实验中壁芯对比对微囊收率影响较小,而对微囊 Vc 包封率影响较大。当壁芯比从 1:1 增大至 6:1 时,微囊 Vc 包封率随壁芯比的增大而增大;再继续增大壁芯比时,包封率则趋于稳定。综合考虑,本实验中将壁芯比控制在 2:1 ~ 6:1 较为适宜。

图2 壁芯比对微囊 V_c 包封率与收率的影响Fig. 2 Effect of wall-to-core ratio on encapsulation efficiency of V_c and yield

2.1.1.3 料液总固体物含量对微囊 V_c 包封率与收率的影响

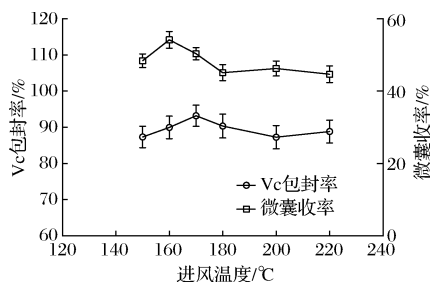
在喷雾干燥过程中,当固体物含量较低时,喷雾干燥形成的微囊质地较轻,易随气流排出,降低了微囊收率,同时亦延长了料液喷雾干燥时间;当固体物含量过高时,则会使料液黏度过大,不易利于喷雾干燥操作。由图3可知,固体物含量对微囊 V_c 包封率影响较小,而对微囊收率影响较大。当固体物含量在10%~30%时,微囊收率随固体物含量的增大而增大;但当增大至40%时,由于黏度较大,料液均质及喷雾干燥困难,黏壁现象较为严重,导致微囊收率急剧降低。综合考虑,本实验中将料液固体物含量控制在10%~30%较为合适。

图3 固体物含量对微囊 V_c 包封率与收率的影响Fig. 3 Effect of the solid content of the feed on encapsulation efficiency of V_c and yield

2.1.1.4 进风温度对微囊 V_c 包封率与收率的影响

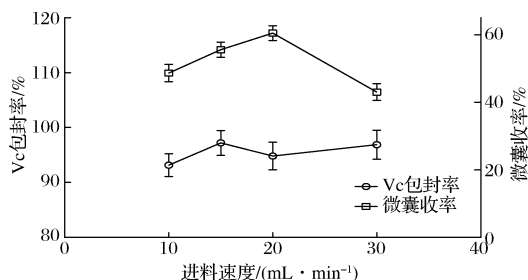
进风温度决定了微囊水分蒸发及囊膜形成速度。当进风温度较低时,微囊水分蒸发速度较慢,易出现微囊黏壁现象;当进风温度较高时,会增大物料中热不稳定性成分损失,同时过高的温度也易使微囊产生热黏壁现象,导致物料损失。由图4可知,随着进风温度的升高,微囊 V_c 包封率及收率都呈现出先增大后降低的趋势。根据实验结果综合考虑,将进风温度

控制在160~180℃较为适宜。

图4 进风温度对微囊 V_c 包封率与收率的影响Fig. 4 Effect of inlet air temperature on encapsulation efficiency of V_c and yield

2.1.1.5 进料速度对微囊 V_c 包封率与收率的影响

喷雾干燥进料速度对微囊 V_c 包封率与收率的影响见图5。随着进料速度的增大,微囊 V_c 包封率和收率亦都呈现先增大后降低的趋势,但其对微囊收率的影响较为明显。当进料速率较低时,喷雾干燥形成的粉粒小而轻,易随空气排出而降低收率;当进料速度较高时,过多物料在短时间内不能被充分雾化干燥,易产生黏壁现象,亦会使收率降低。在实验过程中发现,当进料速率增大至30 mL/min时出现了较为严重的黏壁现象。根据实验结果综合考虑,本实验中将物料进料速度确定为20 mL/min。

图5 进料速度对微囊 V_c 包封率和收率的影响Fig. 5 Effect of feed speed on encapsulation efficiency of V_c and yield

2.1.2 正交优化设计

在单因素试验的基础上,选择阿拉伯胶占总囊材百分比(A)、壁芯比(B)、固体物含量(C)、进风温度(D)为主要考察因素,以微囊 V_c 包封率与收率为评价指标,采用 L₉(3⁴) 正交表设计实验,优化沙棘果浆微囊的喷雾干燥制备工艺。因素水平见表1,正交试验结果见表2,方差分析结果见表3。

表 1 因素水平

Table 1 The levels of factors

水平	因素			
	A/%	B	C/%	D/℃
1	80	6:1	10	160
2	70	4:1	20	170
3	60	2:1	30	180

表 2 正交设计结果

Table 2 Results of orthogonal test

试验号	A	B	C	D	微囊 V _C 包封率/%	微囊收率/%
1	1	1	1	1	86.84	45.27
2	1	2	2	2	92.77	55.48
3	1	3	3	3	96.92	59.25
4	2	1	2	3	87.21	42.56
5	2	2	3	1	84.87	54.68
6	2	3	1	2	77.39	37.34
7	3	1	3	2	89.55	34.31
8	3	2	1	3	85.41	35.92
9	3	3	2	1	96.99	48.74
K1	92.17787	86783.21389	567			
K2	83.15787	68392.32386	570			
K3	90.65090	43390.47789	847			
R	9.020	2.750	9.110	3.277		
K1	53.33340	17339.51049	563			
K2	44.86048	69348.92742	377			
K3	39.65748	44349.41345	910			
R	13.676	7.980	9.903	7.186		

表 3 方差分析

Table 3 Variance analysis

指标	方差来源	偏差平方和	自由度	F 值	F _{0.05}
包封率	A	139.841	2	9.859	19.000
	B	14.184	2	1.000	19.000
	C	138.835	2	9.788	19.000
	D	19.795	2	1.396	19.000
	误差	14.18			
收率	A	285.923	2	3.690	19.000
	B	123.496	2	1.594	19.000
	C	77.479	2	2.413	19.000
	D	77.479	2	1.000	19.000
	误差	77.48	2		

由表 2 极差分析结果可知,影响微囊 V_C 包封率的因素主次顺序是:A>C>D>B,优化的工艺条件为 A₁B₃C₂D₃。影响微囊收率的因素主次顺序是:A>C>B>D,优化的工艺条件为 A₁B₂C₃D₁。

由表 3 方差分析结果可知,各因素各水平间没有显著性差异,综合考虑,将优化的工艺条件确定为:A₁B₃C₂D₁,即:阿拉伯胶占总囊材百分比为 80%,壁芯比为 2:1,料液固含量为 20%,进风温度为 160℃。

在优化工艺条件下平行 3 次试验,微囊 V_C 包封率分别为 96.25%、95.21%、94.98%,包封率均值为 95.48%;微囊收率分别为 55.49%、58.21%、57.73%,收率均值为 57.14%。结果表明优化的工艺稳定、可行。

2.2 沙棘果浆微囊理化性质研究

由表 4 可知,沙棘果浆微囊含水量低,溶解性能较好。水分活度 a_w 反映了物质中水的能量状态,表示水与物质间的结合紧密程度,也是微生物赖以生存的自由水量度。 a_w 介于 0~1,数值越大,表示物质中水的自由度越高,越容易被微生物利用。当 $a_w < 0.6$ 时,包括最耐受高渗的酵母菌和耐旱真菌在内的所有微生物将不会增殖^[23]。沙棘果浆微囊的 a_w 为 0.43,表明其具有良好的耐微生物性。

表 4 沙棘果浆微囊理化性质

Table 4 Physicochemical properties of sea buckthorn pulp microcapsules

性质	结果
水分/%	4.86 ± 0.11
溶解度指数/%	82.92 ± 1.30
水分活度 a_w	0.43 ± 0.02
临界相对湿度/%	73

物质的临界相对湿度值越大,表明物质的吸湿性越低。不同湿度环境下沙棘果浆微囊的吸湿性见图 6。根据实验结果,图 6 中曲线两端的切线交点对应的横坐标即为临界相对湿度(critical relative humidity, CRH),用解析几何算法求得微囊的 CRH 为 73%,其 CRH 值较高,表明沙棘果浆微囊的吸湿性较低。

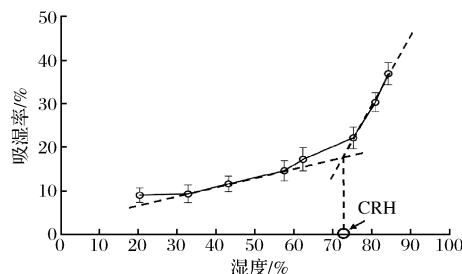


图 6 沙棘果浆微囊的吸湿性

Fig. 6 Hygroscopicity of sea buckthorn pulp microcapsules

不同放大倍数下的沙棘果浆微囊扫描电镜显微结构见图 7。图 7 可看到,沙棘果浆微囊呈不规则圆球形,表面光滑且未见裂纹与孔隙,表明微囊结构良好,可有效保护微囊中的物质。

沙棘果浆微囊粒径分布情况见图 8。沙棘果浆微囊粒径分布较为均匀,大部分粒径集中分布在 1~10 μm。

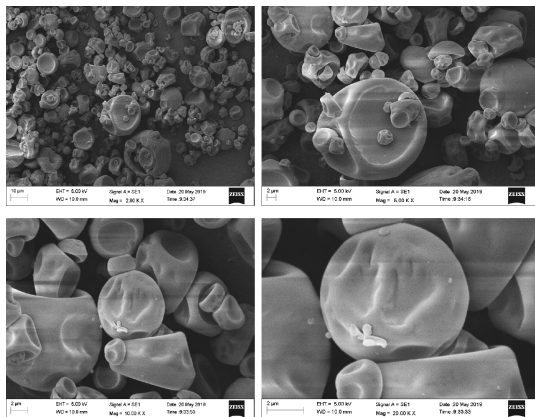


图7 沙棘果胶微囊显微结构

Fig. 7 Micromorphology of sea buckthorn pulp microcapsules

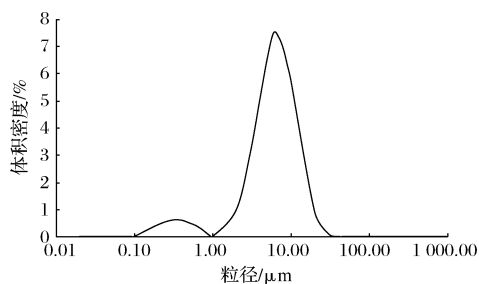


图8 沙棘果浆微囊粒径分布

Fig. 8 Particle size distribution of Sea buckthorn pulp microcapsules

图9为沙棘果浆微囊稳定性实验结果。从结果中可知,沙棘果浆微囊室温下避光放置6个月,微囊中 V_C 保留率达到了80%,表明沙棘果浆微囊化后,有效地提高了果浆中 V_C 的稳定性。

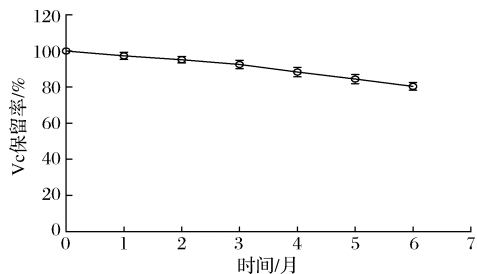


图9 沙棘果浆微囊稳定性

Fig. 9 Stability of sea buckthorn pulp microcapsules

3 结论

本实验以阿拉伯胶、麦芽糊精为囊材,采用喷雾干燥法制备沙棘果浆微囊,优化的制备工艺为:阿拉伯胶占总囊材质量百分比为80%,壁芯比为2:1,料

液固含量为20%,进风温度为160℃。制备的沙棘果浆微囊 V_C 包封率达95.48%,收率为57.14%。沙棘果浆微囊具有较好的溶解性、稳定性,可为沙棘果浆微囊的制备及相关产品的开发提供研究基础。

参考文献

- [1] 国家药典委员会.《中华人民共和国药典》2015年版一部[M].北京:中国医药出版社,2015:184-185.
- [2] 卢顺光,卢健,温秀凤.沙棘植物资源分布与营养学应用综述[J].中国水土保持,2019(7):45-49.
- [3] 冉贝贝,李卫东.沙棘果与沙棘叶化学成分及其差异的研究进展[J].中国中药杂志,2019,44(9):1767-1773.
- [4] 李淑珍,武飞,陈月林,等.沙棘活性成分及功效研究进展[J].中国民族民间医药,2015,24(1):51-53.
- [5] 刘勇,廉永善,王颖莉,等.沙棘的研究开发评述及其重要意义[J].中国中药杂志,2014,39(9):1547-1552.
- [6] 梁国栋,赵粉荣.蒙药沙棘概况及其现代研究开发现状[J].中国民族医药杂志,2019,25(2):41-44.
- [7] 姜培,康健,王玲,等.新疆沙棘原浆的综合利用[J].食品与发酵工业,2011,37(5):234-238.
- [8] 刘花花,康健,李彩云,等.沙棘原浆口服液加工工艺的研究[J].食品工业,2015,36(7):73-75.
- [9] 杨静,阿古拉.五味沙棘泡腾片的提取工艺考察[J].中国民族民间医药,2019,28(6):20-24.
- [10] 蔡文超,唐凤仙,单春会,等.沙棘葡萄复合饮料发酵工艺初探[J].中国酿造,2017,36(12):176-180.
- [11] 邓梦婕,李丽,刘庆,等.沙棘红曲酒发酵工艺的优化[J].食品工业科技,2018,39(6):130-134.
- [12] 蔡文超,单春会,李文新,等.响应面法优化沙棘酒的发酵工艺[J].中国酿造,2018,37(1):133-138.
- [13] 刘维沙,张存莉.沙棘果渣膳食纤维咀嚼片的工艺[J].食品工业,2019,40(10):120-123.
- [14] 郝秦锋,许洪高,高彦祥.沙棘原浆贮藏期间的品质变化规律[J].食品工业科技,2009,30(11):277-281.
- [15] 徐姗姗,刘文颖,陆路,等.猕猴桃籽油微胶囊的制备及稳定性研究[J].食品与发酵工业,2018,44(9):136-141.
- [16] 伍亚华,石亚中,钱时权.怀远石榴籽油微胶囊的制备及稳定性研究[J].中国油脂,2017,42(5):23-27.
- [17] 张雯雯,郑华,冯颖,等.正交试验优化余甘子果汁微胶囊化工艺[J].食品科学,2015,36(2):25-29.
- [18] 杨净尧,王仁广,王畅,等.喷雾干燥研究进展[J].亚太传统医药,2018,14(9):97-99.
- [19] GB5009.86—2016.食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定[S].
- [20] TAN S P, KHA T C, PARKS S, et al. Optimising the encapsulation of an aqueous bitter melon extract by spray-drying[J]. Foods, 2015,4(3):400-419.
- [21] 桂卉,严航,李静,等.乙肝宁水提取物中糖类成分吸湿性考察[J].中国实验方剂学杂志,2012,18(14):32-35.
- [22] 朱晓路,谢岩黎,邹军军,等.壁材对微胶囊物化性质的影响[J].食品科技,2015,40(7):99-102.
- [23] 绳金房,李辉,马仕洪,等.浅析水分活度测定在非无菌制剂微生物控制中的应用[J].药物分析杂志,2018,38(10):1837-1841.