

枳椇子和余甘子提取物共包埋微胶囊的制备及性能研究

张宏源^{1,2}, 张梅^{1*}, 姜本勇¹, 张燕杰¹, 洒荣建¹, 黄志伟^{2*}

¹ 闽江学院 材料与化工学院 福州 350108

² 福建农林大学食品科学学院 福州 350002

摘要 为探究枳椇子和余甘子提取物共包埋微胶囊喷雾干燥工艺,改善它们的加工和贮藏特性,采用层次分析-指标相关性赋权系数法(AHP-CRITIC)确定指标权重系数(黄酮包埋率、多酚包埋率、黄酮载药量、多酚载药量),建立微胶囊综合评价体系,采用响应面法优化微胶囊的制备工艺,同时对制备得到的微胶囊颗粒理化特征、结构表征进行综合分析。结果表明,喷雾干燥法制备提取物微胶囊的最佳工艺条件为:芯壁质量比 2:3.5,进风温度 162.5 °C,壁材配比(麦芽糊精和阿拉伯胶质量比)为 1:1.39,在此条件下的微胶囊综合评分为 67.498,颗粒大小均匀,结构完整,粒径为 3.833 μm。微胶囊性能研究表明,麦芽糊精+阿拉伯胶作为复合壁材能很好地包埋枳椇子和余甘子提取物,提高其热稳定性、防潮性以及贮藏稳定性。

关键词 枳椇子; 余甘子; 微胶囊; AHP-CRITIC; 稳定性

文章编号 1009-7848(2025)02-0224-14 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2025.02.020

枳椇子为鼠李科植物枳椇 (*Hovenia dulcis* Thunb.) 的干燥成熟种子,主要含有多种具有抗氧化、解酒保肝、抗炎症活性的黄酮类成分^[1]。余甘子为大戟科叶下珠属余甘子 (*Phyllanthus emblica* L.) 的干燥成熟果实,多酚类化合物是余甘子的主要活性成分,具有清热凉血,生津止咳,消食健胃等功效^[2]。以枳椇子和余甘子为原料复配的产品具有清热生津、解酒保肝、抗氧化、抗肿瘤、抗糖尿病等多种保健功能,市场前景广阔^[3-4]。然而,枳椇子及余甘子的提取物易受外界温度、氧、光照、pH 值等条件影响,导致活性成分不稳定^[4],且提取物流动性差、易受潮结块、热稳定性差,从而限制了枳椇子和余甘子提取物相关产品的工业化生产和开发利用。

喷雾干燥法因工艺简单、操作方便、生产效率高、成本效益优,制备出的产品性能稳定,且易于工业化生产,从而被广泛应用于微胶囊的生产^[5-8]。微胶囊(Microcapsule)是指用成膜性较好的高分子化合物做为壁材对芯材中的活性成分进行包

埋,形成微型包合物,从而通过微囊化技术保护芯材活性成分免受环境因素影响,改善产品性能^[9-11]。本试验采用喷雾干燥法,通过微胶囊技术将枳椇子和余甘子提取物 (*Hovenia dulcis* and *Phyllanthus emblica* extractive, HPE) 共包埋,制备枳椇子和余甘子提取物微胶囊(Microcapsule of *Hovenia dulcis* and *Phyllanthus emblica* extractive, MHP),旨在探究一种新型的微胶囊制备工艺,改善 HPE 的理化性质、加工特性,为药食同源微胶囊产品的开发应用提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

余甘子、枳椇子,豪州仙太生物药业有限公司;单硬脂肪酸甘油酯、麦芽糖糊精,上海麦克林生化科技股份有限公司;阿拉伯树胶,上海阿拉丁生化科技股份有限公司; β -环糊精,国药集团化学试剂有限公司;乳清蛋白,上海源叶生物科技有限公司;乙醇等试剂为分析纯级。

1.2 主要仪器

AH-NANO 型高压均质机,ATS 工业系统有限公司;YC-501 喷雾干燥机,上海雅程仪器设备有限公司;MASTERSIZER 3 000 激光粒度仪,Malvern 公司;SU8000 扫描电子显微镜,日本日立高新技术公司;IS5 傅里叶变换红外光谱仪,Nicolet 公司;TG 209 F3 热重分析仪、DSC 214 Nevio

收稿日期: 2024-05-24

基金项目: 福建省科技厅计划项目(2023Y0076,2024S0006,2024S0009);福州市科技局计划项目(2022-P-005)

第一作者: 张宏源,男,硕士

通信作者: 张梅 E-mail: zhangmei11@163.com

黄志伟 E-mail: hzwfau@163.com

差示扫描量热仪,德国耐驰科学仪器有限公司;MW-T 卤素水分仪,常州市幸运电子有限公司;Intrinsic Plus 动态水蒸气吸附仪, Surface Measurement System 公司;LHH-150SD 综合药品稳定性试验箱,上海一恒科学仪器有限公司;SHH-100GD-2 药品强光照射试验箱,重庆市永生实验仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 枳椇子和余甘子提取物(HPE)的制备 将余甘子和枳椇子中药材分别粉碎,过 60 目筛,按余甘子和枳椇子粉末质量比 1:1 混合,加入适量 60%的乙醇溶液,恒温超声提取,抽滤、旋转蒸发、醇沉,离心,取上清液,再旋转蒸发、冷冻干燥,得到 HPE^[12-13]。

1.3.2 枳椇子和余甘子提取物微胶囊(MHP)的制备 采用喷雾干燥法制备 MHP。将适量 HPE 和 0.1%芯材质量的单甘脂混合,加去离子水,搅拌溶解,形成初乳;加入适量的复合壁材溶液,60℃下,恒温搅拌 30 min,在 800 Pa 压力下,高压均质形成复乳,喷雾干燥,即得 MHP^[13]。

1.3.3 微胶囊化效果评价

1.3.3.1 微胶囊总黄酮的测定 参照 Zhu 等^[14]的方法,采用 $\text{NaNO}_3\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 法测定总黄酮含量,选择波长 510 nm 测定,以吸光度(Y)为纵坐标,芦丁浓度(X)为横坐标,绘制标准曲线,得到标准曲线回归方程: $Y=8.8057X+0.0308, R^2=0.9975$ 。

1.3.3.2 微胶囊总多酚的测定 参照 Santos^[15]的方法,采用福林酚法并稍作调整测定总多酚含量,选择波长 765 nm 测定,以吸光度(Y)为纵坐标,没食子酸浓度(X)为横坐标,绘制标准曲线,得到标准曲线回归方程: $Y=59.634X+0.005, R^2=0.9992$ 。

1.3.3.3 微胶囊包埋率及载药量的计算 参照余金橙等^[6]的方法,测得微胶囊总黄酮、总多酚、表面黄酮、表面多酚含量,按式(1~2)计算微胶囊的黄酮、多酚包埋率,按式(3~4)计算微胶囊的黄酮、多酚载药量^[13]。

$$\text{黄酮包埋率}(\%) = [(H_1 - H_2) / H_1] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{多酚包埋率}(\%) = [(G_1 - G_2) / G_1] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{黄酮载药量}(\%) = [(H_1 - H_2) / m] \times 100 \quad (3)$$

$$\text{多酚载药量}(\%) = [(G_1 - G_2) / m] \times 100 \quad (4)$$

式中: H_1 为微胶囊总黄酮含量,mg; H_2 为微胶

囊表面黄酮含量,mg; G_1 为微胶囊总多酚含量,mg; G_2 为微胶囊表面多酚含量,mg; m 为微胶囊总质量,mg。

1.3.4 枳椇子和余甘子混合提取物微胶囊的制备工艺优化

1.3.4.1 复合壁材组合的选择 基于相关研究^[17-19],分别选择麦芽糊精+阿拉伯胶(MD+GA)、 β -环糊精+阿拉伯胶(β -CD+GA)、麦芽糊精+乳清蛋白(MD+WP)、 β -环糊精+乳清蛋白(β -CD+WP)4种复合壁材(质量配比 1:1),按固形物含量 20%,芯材壁材质量比 1:2,进料速度 8 r/min,进风温度 180℃的条件喷雾干燥,制备 MHP^[13]。

1.3.4.2 单因素实验 设置进料速度为 8 r/min,固形物含量为 20%,选择芯壁比、复合壁材配比、进风温度 3 个因素,改变其中一个因素,固定其它因素不变,进行单因素实验,各单因素变量分别为:芯壁比 2:2,2:3,2:4,2:5,2:6;复合壁材配比为(MD+GA)3:1,2:1,1:1,1:2,1:3;进风温度 150,160,170,180,190℃。分析各单因素对 MHP 包埋率及载药量的影响。

1.3.4.3 响应面试验优化工艺条件 在单因素实验的基础上,采用 Box-Behnken 进行试验设计,选取芯壁比(A)、进风温度(B)、复合壁材配比(C)为因素自变量,根据微胶囊的黄酮、多酚包埋率及载药量建立 AHP-CRITIC 加权评分体系,以微胶囊综合评分(Y)为响应值,采用三因素三水平的响应面法优化工艺,因素水平设计见表 1^[13]。

表 1 响应面试验因素与水平表

Table 1 Factors and levels of Box-Behnken response surface experiments

水平	因素		
	芯壁比(A , HPE:MD+ GA)	进风温度 (B)/℃	复合壁材配 比(C ,MD: GA)
-1	2:3	150	2:1
0	2:4	160	1:1
1	2:5	170	1:2

1.3.5 微胶囊结构特性表征

1.3.5.1 微胶囊粒径分析 称取一定质量 MHP,使用激光粒度分析仪测定样品粒径,测量条件采

用分散剂折射率为 1.000,颗粒折射率为 1.520,颗粒吸收率为 0.100,料斗间隙 1.00 mm,散射模型为 Mie 模型,空气压力 0.25 MPa,使用标准文丘里管^[13]。

1.3.5.2 扫描电子显微镜 (SEM) 分析 将少许 MHP 和 HPE 撒在样品台上的导电胶面上,在真空条件下对样品喷金,进行 SEM 观察。

1.3.5.3 傅里叶变换红外光谱 (FT-IR) 检测 将待测样品与干燥的 KBr 充分研磨,进行压片,采用 FT-IR 检测,分辨率为 4 cm^{-1} ,在 $500\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ 波长范围内,扫描 32 次数检测。

1.3.6 微胶囊理化性质测定

1.3.6.1 热重分析法 (TG) 检测 5~10 mg 待测样品采用 TGA 测试,氮气流速为 40 mL/min,温度范围为 $30\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率 10 K/min。

1.3.6.2 差示扫描量热法 (DSC) 检测 称取 3~6 mg 待测样品进行 DSC 测试,氮气流速为 40 mL/min,温度范围为 $30\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率为 10 K/min^[13]。

1.3.6.3 微胶囊含水率的测定 称 2.0 g 的待测样品,将样品均匀平铺在铝盘上,置于卤素水分仪中进行水分含量测定。

1.3.6.4 动态引湿性考察 依照《药物引湿性试验指导原则》^[20],取干燥的具塞称量瓶,置于相对湿度 80% 的 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、恒温干燥器中 24 h,24 h 后称其质量 (m_1),将待测样品置于称量瓶内称其质量 (m_2)。将装有样品的称量瓶敞口置于恒温干燥器中 24 h,称其质量 (m_3),计算引湿率,每组样品平行测定 3 份,并按式(5)计算引湿率。

$$\text{引湿率}(\%) = [(m_3 - m_2) / (m_2 - m_1)] \times 100 \quad (5)$$

1.3.6.5 动态水蒸气吸附 (DVS) 检测 称取 30~50 mg 待测样品进行 DVS 检测,模式选择为 0%~95%~0% 相对湿度 (RH) 吸附、脱附水蒸气全循环,温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,氮气流速为 200 mL/min^[13]。

1.3.7 微胶囊稳定性试验

1.3.7.1 温度对微胶囊稳定性的影响 考察不同温度条件对 MHP 及 HPE 稳定性的影响,在热稳定箱底部放置饱和 MgCl_2 溶液 (RH 33%) 保持湿度稳定,将 MHP 和 HPE 分别组置于 $4, 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中,存放 60 d,间隔 10 d 测定一次总多酚含量和总黄酮含量,并按式(6~7)计算多酚及黄

酮保留率^[13]。

$$\text{总多酚保留率}(\%) = (g/g_0) \times 100 \quad (6)$$

$$\text{总黄酮保留率}(\%) = (h/h_0) \times 100 \quad (7)$$

式中: g 为一定时间样品中总多酚含量,mg; g_0 为第 0 天样品中总多酚含量,mg; h 为一定时间样品中总黄酮含量,mg; h_0 为第 0 天样品中总黄酮含量,mg。

1.3.7.2 光照对微胶囊稳定性的影响 考察不同光照条件对 MHP 及 HPE 稳定性的影响。光稳定箱光照强度设置为 $(4\,500 \pm 500)\text{ lx}$,并在底部放置饱和 MgCl_2 溶液 (RH 33%) 维持湿度稳定,将 MHP 和 HPE 分别置于透明玻璃瓶和棕色玻璃瓶中,存放 60 d,间隔 10 d 测定一次总黄酮和总多酚含量,并按上述公式计算保留率^[13]。

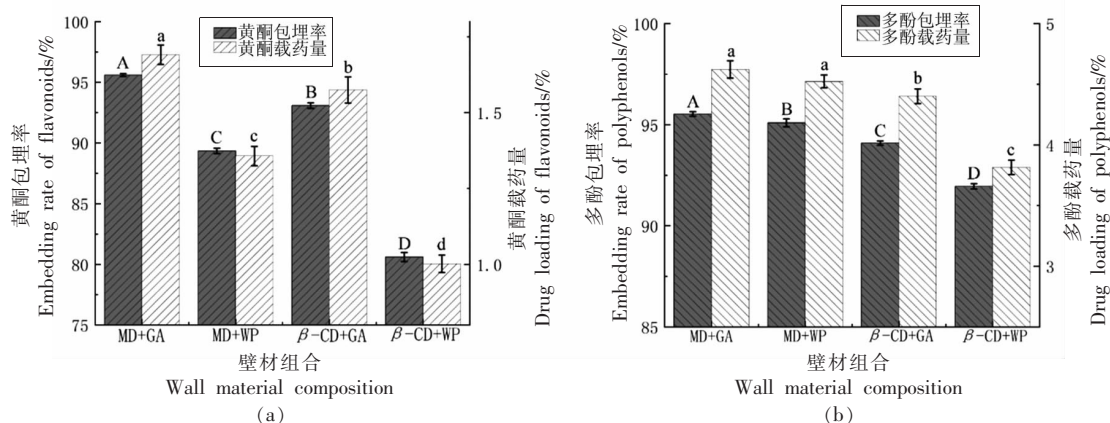
2 结果与讨论

2.1 枳椇子余甘子组合物微胶囊的制备工艺优化

2.1.1 组合壁材的选择 由图 1 可知,以 MD+GA 为复合壁材的微胶囊具有更好的黄酮和多酚的包埋效果,其中 MD+GA 微胶囊的黄酮和多酚的包埋率分别为 95.600% 和 95.534%,黄酮和多酚的载药量分别为 1.691% 和 4.622%。由于麦芽糊精具有低黏度,耐热性能、溶解性能和成膜能力良好的优点,同时添加麦芽糊精可以降低微胶囊粉末在储藏过程中的吸湿性和结块性,改善其储藏稳定性^[21]。虽然糊精的乳化能力较弱,但阿拉伯胶具有良好的乳化性、成膜性、水溶性且封装效率高。通过 MD 和 GA 进行复配,能有效提高乳液的稳定性和微胶囊壁材的致密性,使产品获得更好的 pH 值、温度及氧化稳定性^[22]。因此,本试验选择 MD+GA 作为 MHP 的复合壁材。

2.1.2 单因素实验

2.1.2.1 芯壁比对微胶囊包埋率及载药量的影响 由图 2 可知,MHP 的黄酮及多酚包埋率均呈现随芯壁比值下降,先急剧上升后趋于平缓的趋势,当芯壁比为 2:6 时,MHP 的黄酮和多酚包埋率达到最大,分别为 95.543%,94.975%;而 MHP 的黄酮及多酚载药量随芯壁比值下降而下降,当芯壁比为 2:2 时,MHP 的黄酮和多酚载药量达到最大,分别为 2.587%,6.117%^[13]。这是因为包埋的壁材含



注:不同大写字母表示包埋率存在显著性差异,不同小写字母表示载药量存在显著性差异, $P<0.05$,下同。

图 1 复合壁材组成对微胶囊黄酮(a)及多酚(b)的包埋率和载药量的影响

Fig.1 The effect of wall material composition on the embedding rate and drug loading of flavonoids (a) and polyphenols (b) in microcapsules

量过低时,形成微胶囊壳体脆弱,芯材无法被包裹完全,包埋效果不佳,干燥过程中易破裂;随着壁材添加量增加,微胶囊的载药量则下降。因此,选

择 2:3,2:4,2:5 3 个芯壁比作为响应面设计的 3 个水平。

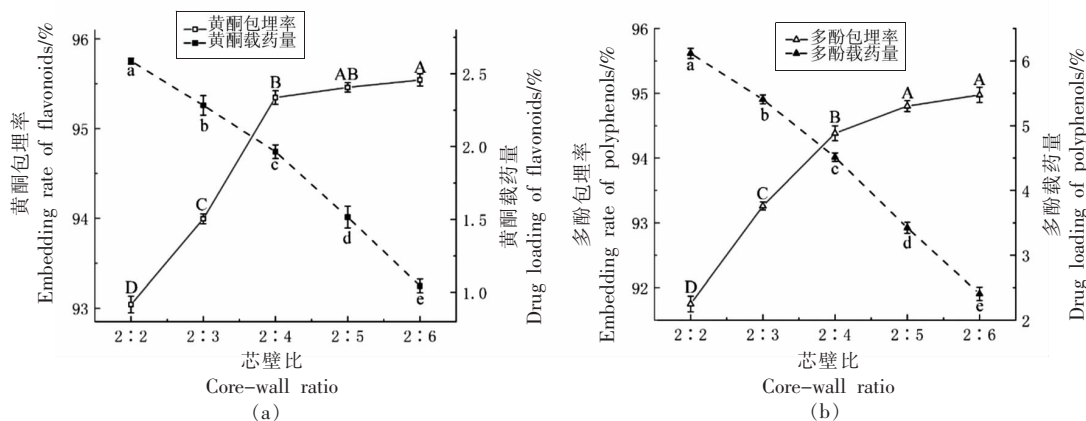


图 2 芯壁比对微胶囊黄酮(a)及多酚(b)的包埋率和载药量的影响

Fig.2 The effects of core-wall ratio on the embedding rate and drug loading of flavonoids (a) and polyphenols (b) in microcapsules

2.1.2.2 进风温度对微胶囊包埋率及载药量的影响 由图 3 可知,MHP 包埋率呈现随进风温度的升高,先升高后降低的趋势。当进风温度为 160 $^{\circ}$ C 时,MHP 的黄酮包埋率及载药量达到最高,分别为 95.874%,1.867%,呈现极显著差异($P<0.01$);当进风温度为 170 $^{\circ}$ C 时,MHP 的多酚包埋率及载药量达到最高,分别为 95.511%,4.795%,但无显著性差异($P>0.05$)^[13]。这可能是因为当进风温度过高时,水分蒸发速度过快,导致微胶囊表面产生皱缩甚至开裂,从而影响微胶囊的包埋率和载药量,

而温度过低则会产生雾珠,干燥器内出现黏壁现象,同样影响微胶囊的包埋效果和生产效率^[23]。因此,选择 150,160,170 $^{\circ}$ C 3 个进风温度作为响应面设计的 3 个水平。

2.1.2.3 壁材比对微胶囊包埋率及载药量的影响 由图 4 可知,随着复合壁材中阿拉伯胶含量的增加,MHP 的包埋率及载药量呈现先上升后下降的趋势。当 MD+GA 比值为 1:2 时,MHP 的黄酮和多酚包埋率最高,分别为 96.024%和 94.819%^[13]。这是因为在喷雾干燥过程中,阿拉伯胶含量较低

时,乳液成膜性较差,降低了微胶囊的包埋率^[13],同时暴露在微胶囊外的提取物中黄酮、多酚成分在较高环境温度下易受热降解,导致微胶囊的载药量降低;而随着阿拉伯胶含量提高,乳液的黏度

增大,容易堵塞喷头,导致喷雾干燥出粉率降低,不利于工业化生产^[24]。因此,选择 2:1,1:1,1:2 3 个壁材配比作为响应面设计的 3 个水平。

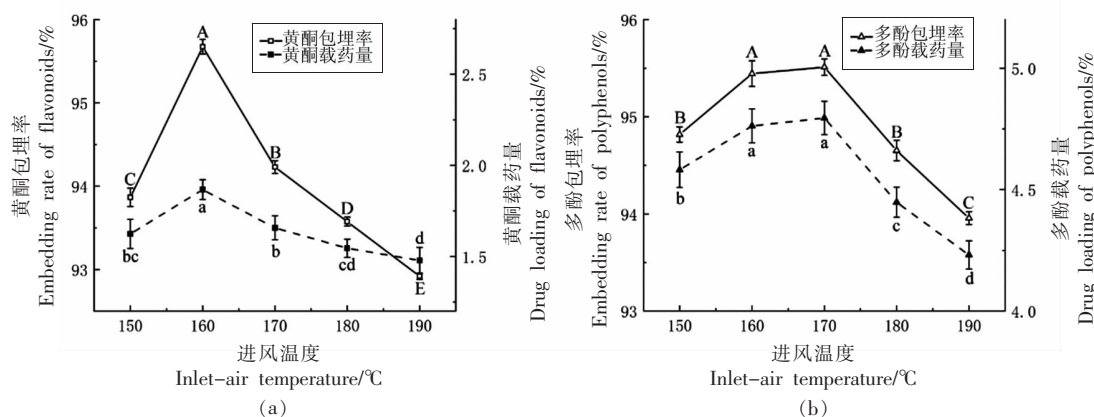


图3 进风温度对微胶囊黄酮(a)及多酚(b)的包埋率和载药量的影响

Fig.3 The effect of inlet-air temperature on the embedding rate and drug loading of flavonoids (a) and polyphenols (b) in microcapsules

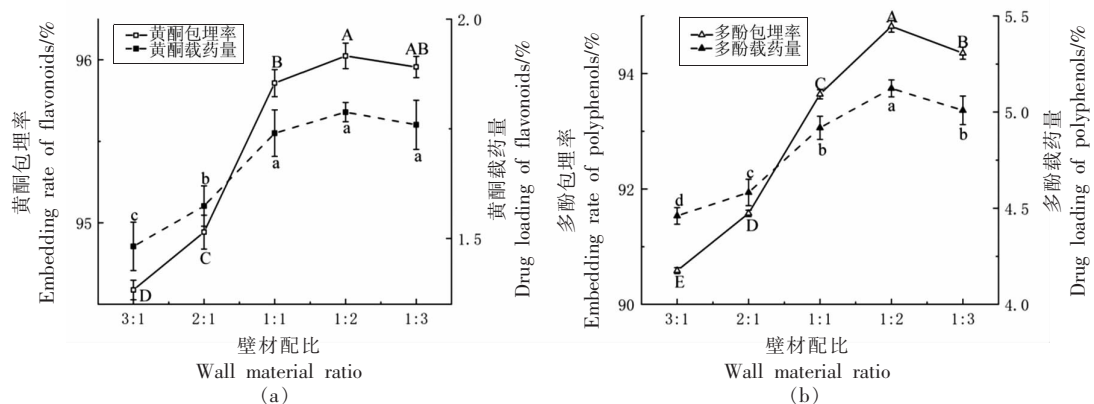


图4 壁材对比对微胶囊黄酮(a)及多酚(b)的包埋率和载药量的影响

Fig.4 The effect of wall material ratio on the embedding rate and drug loading of flavonoids (a) and polyphenols (b) in microcapsules

2.1.3 多指标组合赋权建立评分体系

2.1.3.1 AHP法确定权重 层次分析法(AHP法)是指将与决策有关的复杂元素层次化和系统化,在此基础之上将定性和定量分析相结合的决策方法^[25]。采用SPSSAU软件分析,通过1~9标度法将多酚包埋率(Y_1)、黄酮包埋率(Y_2)、多酚载药量(Y_3)、黄酮载药量(Y_4)4个权重指标构建指标成对判断优先矩阵,结果见表2。根据和积法计算各指标的权重 W_{ji} ,根据公式 $CR=CI/RI$ 得到 $CR=0.011<$

表2 AHP指标成对判断优先矩阵

Table 2 Judgment priority matrix of indexes pairwise comparison in AHP method

指标	多酚包埋率	黄酮包埋率	多酚载药量	黄酮载药量
多酚包埋率	1	1	5	7
黄酮包埋率	1	1	7	5
多酚载药量	1/5	1/7	1	1
黄酮载药量	1/7	1/5	1	1

0.10,说明指标成对判断优先矩阵具有很好的
一致性,权重系数有效,得到 4 个分权重分别为
 $W_{AHPY1}=42.770\%$ 、 $W_{AHPY2}=42.770\%$ 、 $W_{AHPY3}=7.230\%$ 、
 $W_{AHPY4}=7.230\%$ ^[13]。

2.1.3.2 CRITIC 法确定权重 基于指标相关性的
权重确定法(CRITIC 法)是一种以评价指标之间的
对比强度和冲突性为基础的客观权重赋权方
法^[26]。采用 SPSSAU 软件将数据进行线性差值归一
化处理,通过公式计算结果见表 3。

2.1.3.3 AHP-CRITIC 混合权重确定 AHP-CRITIC
方法是将 AHP 和 CRITIC 的优点进行结
合,使评价结果更科学、合理^[27]。根据公式 $W_{混合-ij} = W_{AHP-ij}W_{CRITIC-ij} / \sum W_{AHP-ij}W_{CRITIC-ij}$, 得到多酚和黄酮包
埋率、多酚和黄酮载药量的混合权重系数分别为
40.056%、28.766%、19.506%、11.669%。

2.1.4 响应面试验优化工艺条件 根据单因素试
验结果,以芯壁比(A)、进风温度(B)、壁材配比

表 3 CRITIC 法中各指标变异性、冲突性、
信息量及客观权重情况

Table 3 Variability, conflict, information content
and objective weight of each index in CRITIC method

指标	多酚包埋率	黄酮包埋率	多酚载药量	黄酮载药量
指标变异性	0.02	0.02	0.08	0.05
指标冲突性	3.659	2.558	2.751	2.673
信息量	0.008	0.006	0.023	0.014
客观权重/%	15.82	11.36	45.57	27.26

(C)为自变量,微胶囊综合评分(Y)为因变量,利
用 Design-Expert 软件设计响应面试验,结果见表
4。通过对表 4 中 Y 值进行拟合,得到模拟回归方
程为: $Y=24.12205+2.85905A+0.497435B+1.66022C-0.00755AB+0.321032AC+0.0042BC-0.5487A^2-0.001499B^2-2.16673C^2$ 。

表 4 响应面试验设计与结果

Table 4 Design and results of response surface experiment

试验号	A ($m_{HPE}:$ m_{MD+GA})	B/°C	C ($m_{MD}:$ m_{GA})	Y	试验号	A ($m_{HPE}:$ m_{MD+GA})	B/°C	C ($m_{MD}:$ m_{GA})	Y
1	2:3	150	1:1	67.204	10	2:4	160	1:1	67.373
2	2:4	160	1:1	67.425	11	2:3	160	2:1	67.311
3	2:4	170	2:1	67.057	12	2:3	170	1:1	67.395
4	2:5	160	1:2	67.147	13	2:4	160	1:1	67.413
5	2:4	170	1:2	67.397	14	2:5	160	2:1	66.881
6	2:4	150	2:1	66.996	15	2:5	170	1:1	66.946
7	2:4	160	1:1	67.416	16	2:4	160	1:1	67.371
8	2:5	150	1:1	66.905	17	2:3	160	1:2	67.470
9	2:4	150	1:2	67.308					

表 5 回归模型方差分析

Table 5 Analysis of variance on regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	0.6616	9	0.0735	51.9600	< 0.0001 **
A	0.2816	1	0.2816	199.0500	< 0.0001 **
B	0.0182	1	0.0182	12.8900	0.0089 **
C	0.1450	1	0.1450	102.4800	< 0.0001 **
AB	0.0056	1	0.0056	3.9800	0.0864
AC	0.0029	1	0.0029	2.0200	0.1979
BC	0.0002	1	0.0002	0.1385	0.7208
A ²	0.0792	1	0.0792	56.0000	0.0001 **
B ²	0.0946	1	0.0946	66.8900	< 0.0001 **
C ²	0.0152	1	0.0152	10.7800	0.0134 *

(续表 5)

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
残差	0.0099	7	0.0014		
失拟项	0.0073	3	0.0024	3.7100	0.1189
纯误差	0.0026	4	0.0007		
总和	0.6715	16	$R^2=0.9853$	$R^2_{adj}=0.9663$	

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

由表 5 可知, 该模型 $R^2=0.9853$, $R^2_{adj}=0.9663$, 模型的 $P<0.0001$, 极显著, 失拟项 >0.05 , 不显著, 说明回归方程拟合良好, 该模型能够反映出各因素与 Y 值的关系; 一次项 A 、 B 、 C 对 Y 值的影响极显著 ($P<0.01$), 二次项 A^2 、 B^2 对 Y 值的影响极显著 ($P<0.01$), 二次项 C^2 对 Y 值的影响显著 ($P<0.05$); 通过比较 F 值可知, 各因素对 Y 值影响程

度的大小为: $A>C>B$ ^[13]。

响应曲面的坡度反映响应值对于因素改变的敏感程度, 坡度越大, 说明响应值对于因素的改变越敏感, 由图 5 可知, 芯壁比与进风温度和芯壁比与壁材配比的三维图坡度较大, 说明响应值对这两个因素的改变较敏感, 这与方差分析结果一致^[28]。

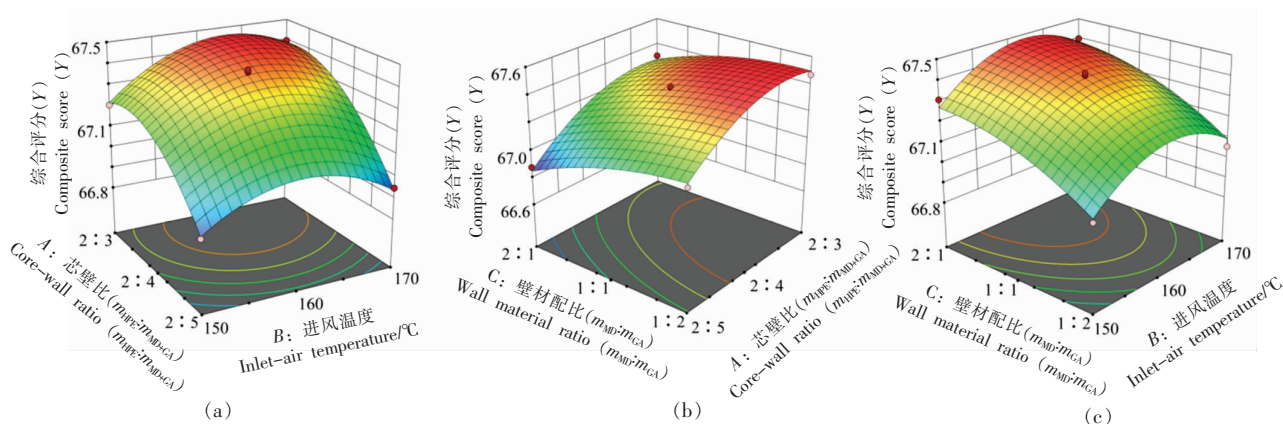


图 5 各因素交互作用的响应面图

Fig.5 Response surface of the interaction of various factors

2.1.5 验证试验 以微胶囊综合评分为响应值, 经 Design Expert 软件分析, 预测 MHP 的最佳制备工艺为: HPE 和 MD+GA 芯壁质量比为 2:3.498, MD 和 GA 壁材质量比为 1:1.395, 进风温度为 162.483 °C, Y 值为 67.513。在验证试验时, 对微胶囊制备工艺进行调整, 取 HPE 和 MD+GA 芯壁质量比为 2:3.5, MD 和 GA 壁材质量比为 1:1.39, 进风温度为 162.5 °C, 制备 MHP, 得到 Y 值为 67.498 ± 0.064 , 与理论预测值接近, 说明响应面优化的结果具有可信度。

2.2 微胶囊理化性质的测定

2.2.1 微胶囊形貌特征分析 由图 6 可知, 最佳制备工艺制备的 MHP 的粒径呈正态分布且较狭窄, 平均粒径 (D_{v50}) 为 $3.833 \mu\text{m}$, 比表面积为

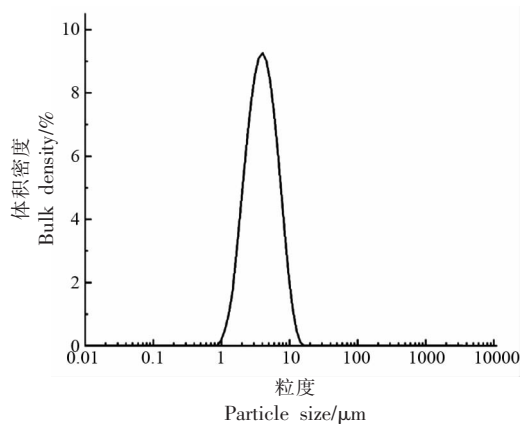


图 6 MHP 的粒径分布

Fig.6 Particle size distribution curves of MHP

$4\ 239 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。由图 7 可知, HPE 颗粒形态不规则, 粒径较大, 约为 $100 \mu\text{m}$ 。MHP 基本呈现均匀的球

状颗粒,粒径约为 $4\ \mu\text{m}$,颗粒表面相对光滑、无孔洞,无裂痕、少量出现褶皱,这是由于喷雾干燥中水分迅速蒸发,微胶囊失水过快导致壁材表面不均匀收缩而形成的褶皱^[29]。冷冻干燥制备的 HPE

流动性差,易吸潮、粘黏;喷雾干燥制备的 MHP 则具有更好的分散性和流动性,不易吸潮结块。因此相对于 HPE 而言,MHP 具有较好的品质,更适合于工艺生产和产品保存。

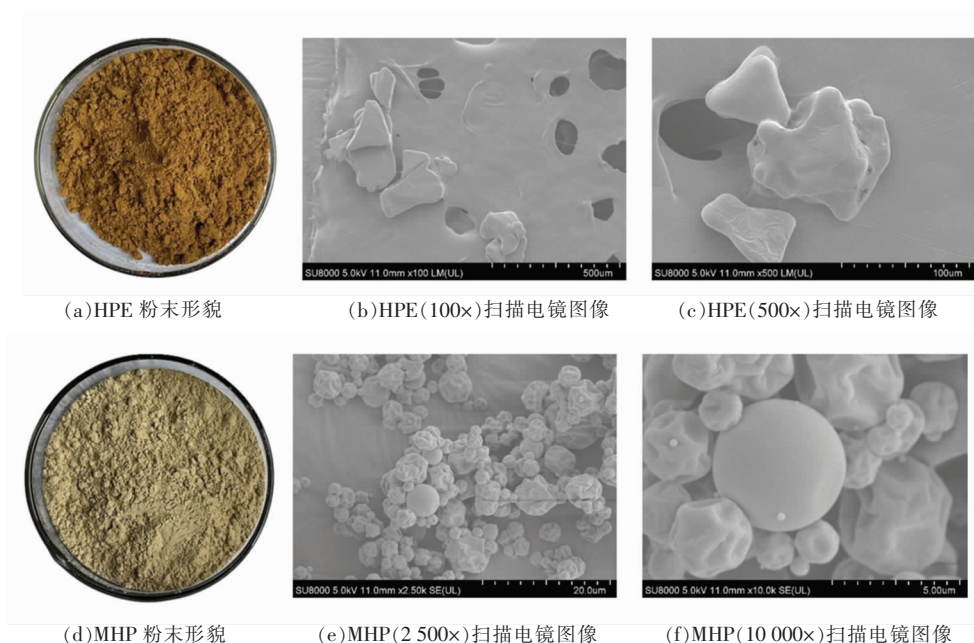


图 7 HPE 和 MHP 的 SEM 图像及粉末形貌

Fig.7 SEM images and powder morphology of HPE and MHP

2.2.2 微胶囊的红外光谱(FT-IR)分析 由图 8 可知,MD+GA 在 $3\ 310\ \text{cm}^{-1}$ 处有宽而明显的 O-H 特征伸缩振动峰,表明有酚羟基或糖上羟基的存在^[30]。在 $2\ 190\ \text{cm}^{-1}$ 处有 C-H 拉伸振动峰,在 $1\ 610\ \text{cm}^{-1}$ 处有 C=O 伸缩振动以及 N-H 弯曲振动峰^[31]。MHP 和 MD+GA 的红外图谱基本保持一致,而在 $1\ 724\ \text{cm}^{-1}$ 处 MHP 存在和 HPE 一样的醛酮上 C=O 拉伸振动峰,这说明组合壁材对 HPE 进行了包埋,并形成了一种新的物相,证明微胶囊已形成。相较于 HPE 的红外图谱,MHP 在 $2\ 865\ \text{cm}^{-1}$ 处的 $-\text{CH}_2$ 伸缩振动峰消失,在 $1\ 545\ \text{cm}^{-1}$ 处的芳烃上 C=C 骨架振动消失,这是因为 HPE 被包埋进微胶囊里,导致化学键伸缩振动受限,说明 MD+GA 复合壁材能够很好的包埋了 HPE。

2.3 微胶囊理化性质的测定

2.3.1 微胶囊热稳定性分析 由图 9 可知,HPE 在 $30\sim 100.78\ ^\circ\text{C}$ 范围内失水,在 $116.51\sim 232.25\ ^\circ\text{C}$ 范围内发生热分解。MHP 的失水阶段在 $30\sim$

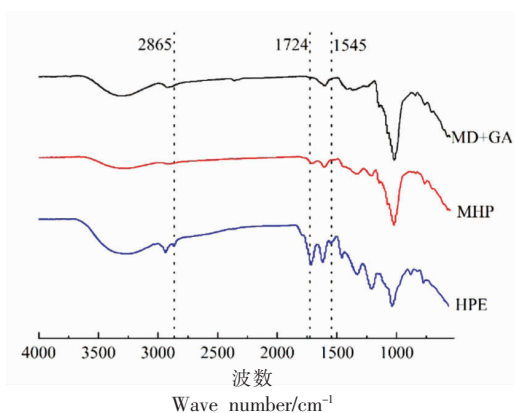


图 8 MD+GA、MHP 和 HPE 的傅里叶变换红外光谱图

Fig.8 FT-IR spectra of MD+GA, MHP and HPE

$110.61\ ^\circ\text{C}$,热分解阶段发生 $157\sim 318\ ^\circ\text{C}$,这说明微胶囊化处理使 HPE 的热分解温度提高了,显著改善了其热稳定性。由图 10 可知,HPE、MHP 及 MD+GA 分别在 $101, 118\ ^\circ\text{C}$ 和 $113\ ^\circ\text{C}$ 处有一个放热宽峰,这可能是样品水分蒸发引起的。在 HPE 在 $134\sim 220\ ^\circ\text{C}$ 范围内存在吸收热现象,这可能是

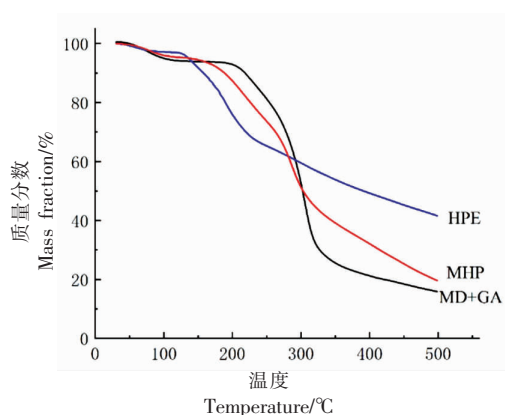


图9 MD+GA、MHP 和 HPE 的热重曲线图

Fig.9 TG curves of MD+GA, MHP and HPE

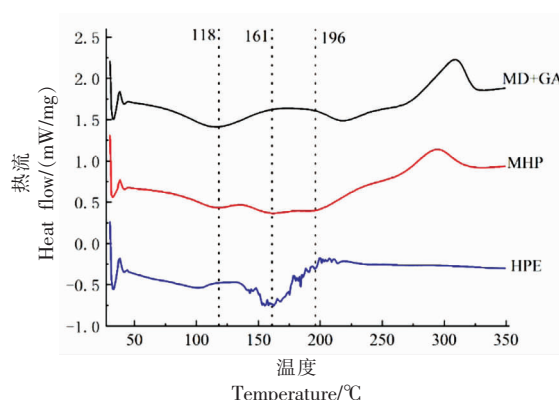


图10 MD+GA、MHP 和 HPE 的差示扫描量热图

Fig.10 DSC thermograms of MD+GA, MHP and HPE

因为HPE 中黄酮和多酚类成分发生了熔化;MHP 在这一温度范围内的大部分的放热峰消失了,这表明复合壁材对 HPE 起到了明显的热保护作用,减少其主要活性成分的熔化分解。MD+GA 的 TG 曲线相较于 MHP,热分解阶段发生的温度升高了,不同的热分解现象说明 MHP 具有不同于 MD+GA 的新物相。MHP 与 MD+GA 比较,在 196 °C 处,MHP 的放热峰前移,在 161 °C 处,出现新的放热峰,熔点、沸点和升华点的移动或消失预测了新络合物的形成^[32]。因此这些现象表明 HPE 已经被包裹进复合壁材内,并形成了新的复合物。

2.3.2 微胶囊的引湿性考察 由图 11 可知,当相对湿度小于 60%时,HPE 和 MHP 的解吸等温线呈直线状,吸附等温线无法闭环,存在迟滞现象,这是因为 HPE 和 MHP 经过一轮吸附-解吸循环后,样品发生潮解、结块,部分水分被新形成的结晶相或者水合物包裹,导致解析过程无法完全脱离^[33]。HPE 和 MHP 的吸湿等温线均随着相对湿度的增加,平衡含水率增加。HPE 在相对湿度为 35%时,开始出现明显的吸潮现象,相对湿度为 95%时,平衡含水率达到最大为 58.17%。MHP 在相对湿度为 50%时,平衡含水率开始明显增加,相对湿度为 95%时,平衡含水率达到最大为 45.08%。

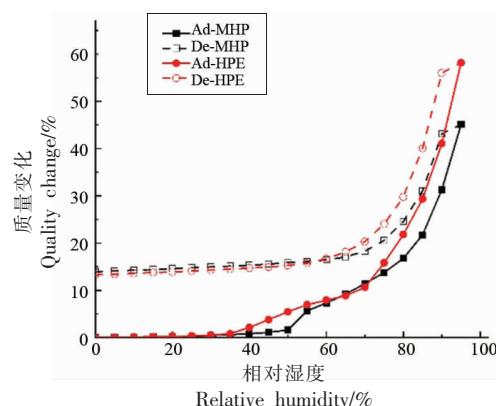


图11 MHP 和 HPE 的水分吸湿-解吸等温线

Fig.11 Moisture adsorption-desorption isotherm of MHP and HPE

由表 6 可知,在设定条件下,MHP 的引湿率为 $(9.05 \pm 0.53)\%$,而 HPE 样品出现了吸收足量水分形成液体,发生潮解的现象。结果表明,微胶囊化处理能改善 HPE 的引湿情况,提高防潮能力。这是因为 HPE 含有黄酮、多酚、蛋白质、多糖等成分,这类成分含有大量的羟基、氨基等极性基团,易与水分子中的极性羟基结合,极易吸湿^[34]。麦芽糊精有更少的亲水基团,不易受潮,同时复合壁材能致密的对芯材进行包埋,避免 HPE 与外界水分的接触^[35]。

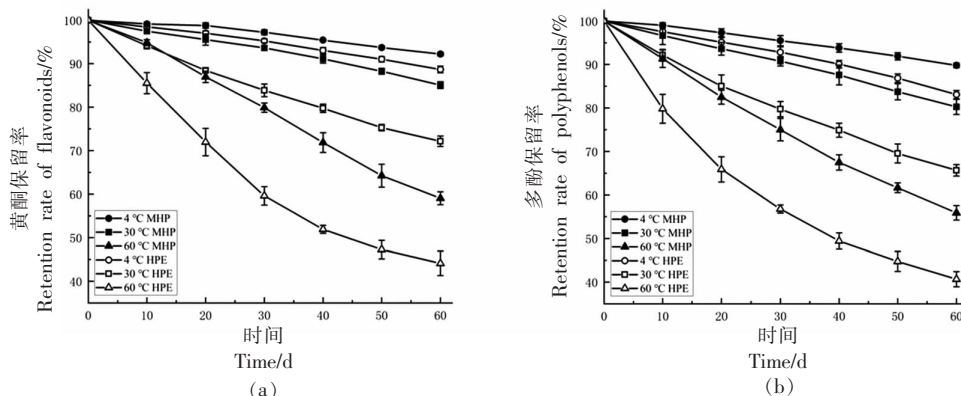
表 6 MHP 和 HPE 的含水率及引湿性考察结果($\bar{x} \pm s, n=3$)Table 6 Moisture content and absorption results of MHP and HPE ($\bar{x} \pm s, n=3$)

样品名	含水率/%	引湿率/%	引湿性特征描述
HPE	4.12 ± 0.59	16.17 ± 0.44	潮解
MHP	5.36 ± 0.42	9.05 ± 0.53	有引湿性

2.4 微胶囊稳定性考察

2.4.1 环境温度对微胶囊稳定性的影响 由图 12 可知, 4 ℃贮藏 60 d, MHP 和 HPE 的黄酮及多酚保留率较高, 损失较少; 30 ℃贮藏 60 d, MHP 还能保持良好的黄酮、多酚稳定性, 其中黄酮和多酚保留率分别为 85.07%, 80.26%, 而 HPE 中黄酮和多酚保留率则显著降低; 在 60 ℃极端高温(条件

下, MHP 和 HPE 的黄酮、多酚保留率急剧降低, 而 MHP 的黄酮、多酚包埋率则仍显著优于 HPE。这可能是因为温度升高, 加剧了提取物中分子间的运动, 使得 HPE 中黄酮和多酚类成分的分解速率加快, 而通过微胶囊技术能有效的保护芯材中活性成分, 减轻高温导致活性成分的分解, 提高其热耐受性^[36]。



注: 4 ℃ MHP. 在 4 ℃条件下贮藏的 MHP; 30 ℃ MHP. 在 30 ℃条件下贮藏的 MHP; 60 ℃ MHP. 在 60 ℃条件下贮藏的 MHP; 4 ℃ HPE. 在 4 ℃条件下贮藏的 HPE; 30 ℃ HPE. 在 30 ℃条件下贮藏的 HPE; 60 ℃ HPE. 在 60 ℃条件下贮藏的 HPE。

图 12 不同环境温度下微胶囊黄酮保留率(a)、多酚保留率(b)随贮藏时间的变化情况
Fig.12 Changes of flavonoids retention (a) and polyphenol retention (b) of microcapsules with storage time at different ambient temperatures

2.4.2 光照强度对微胶囊稳定性的影响 由图 13 可知, MHP 及 HPE 的黄酮、多酚包埋率在 $(4\ 500 \pm 500)lx$ 的光照下贮藏 60 d, 都出现了显著的下降, 说明 HPE 中黄酮、多酚含量受光照条件的影响较大。在相同光照条件下贮藏 60 d, 微胶囊

的黄酮和多酚保留率分别为 77.57%, 68.01%, 而提取物的黄酮和多酚保留率分别仅为 68.14%, 58.15%, 说明 MHP 的光照稳定性要好于 HPE。这表明通过微胶囊化处理能在一定程度上降低光照对提取物中黄酮和多酚类成分的降解作用^[37]。

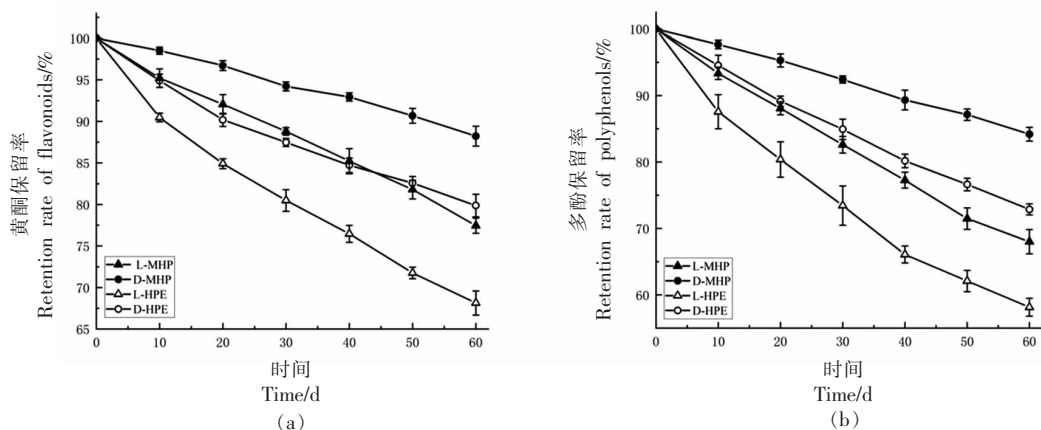


图 13 不同光照强度下微胶囊黄酮保留率(a)、多酚保留率(b)随贮藏时间的变化情况
Fig.13 Changes of flavonoids retention (a) and polyphenol retention (b) in microcapsules with storage time under different light intensity

3 结论

通过综合比较不同复合壁材微胶囊的黄酮、多酚包埋率及载药量,选择麦芽糊精、阿拉伯胶组合作为喷雾干燥制备 MHP 的壁材。以黄酮和多酚包埋率、黄酮和多酚载药量为考察指标,采用 AHP-CRITIC 法确定各指标权重系数,建立微胶囊综合评分体系。通过单因素试验和 Box-Behnken 试验,确定了喷雾干燥法制备 MHP 的最佳工艺条件为,芯壁质量比为 2:3.5,进风温度为 162.5 °C,壁材配比(MD 和 GA 质量比)为 1:1.39,此条件下的微胶囊综合评分为 67.498±0.064,与理论预测值接近,这就说明响应面优化的结果具有可信度,此方法制备 MHP 可行。

微胶囊结构特性表征试验结果表明,通过喷雾干燥 HPE 能被有效的包埋在 MD+GA 复合壁材中,形成的致密复合壁材外壳能很好对芯材起到保护作用。MHP 颗粒呈表面有褶皱的球型,结构完整,无裂痕,无孔洞。MHP 粒径大小均一,平均粒径为 3.833 μm,分散性良好,不易粘黏。微胶囊理化性质测定试验结果表明,微胶囊化处理能显著提高 HPE 的热稳定性,改善其防潮能力。稳定性试验结果表明,HPE 的黄酮、多酚保留率受外界温度和光照条件影响严重,而微胶囊化处理后 HPE 在高温、强光环境下的贮藏稳定性得到了显著提高。以上研究为枳椇子及余甘子相关产品的综合开发、工业化生产提供了参考。后续可以对 MHP 的体内生物利用度、缓释性能、护肝功效及作用机理进行更深入的研究,从而为相关产品的开发利用提供更全面的科学理论依据。

参 考 文 献

[1] XU W, CHEN S H, ZHONG G S, et al. Effects of a combination of Japanese raisin tree seed and flower of lobed kudzu vine against acute alcohol-induced liver injury in mice[J]. Journal of Traditional Chinese Medical Sciences, 2020, 7(1): 59-67.

[2] HUANG Y N, CHEN S Y, LIN J A, et al. *Phyllanthus emblica* L. extract alleviates leptin resistance and lipid accumulation by inhibiting methylglyoxal production[J]. Food Bioscience, 2023, 53: 102619.

[3] 李志满, 邵紫君, 李珊珊, 等. 人参枳椇子提取物

对小鼠酒精性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 302-306, 313.

LI Z M, SHAO Z J, LI S S, et al. Protective effect of extract from *Panax ginseng* and *Hovenia dulcis* Thunb against alcohol-induced liver injury in mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(14): 302-306, 313.

[4] 尹可欢, 罗晓敏, 丁翼, 等. 余甘子及其活性成分肝保护作用及机制的研究进展[J]. 中草药, 2022, 53(1): 295-307.

YIN K H, LOU X M, DING Y, et al. Research progress on hepatoprotective effect and mechanism of *Phyllanthus emblica* and its active components[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(1): 295-307.

[5] 李海龙, 马子龙, 米帅, 等. 黑果腺肋花楸花色苷纳米微胶囊的制备及其表征[J]. 中国食品学报, 2022, 22(12): 191-199.

LI H L, MA Z L, MI S, et al. Preparation and characterization of anthocyanin nano-microcapsules of *Sorbus melanocarpa*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(12): 191-199.

[6] TANG L Q, LIU H C, HUANG G D, et al. The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules[J]. LWT, 2022, 162: 113507.

[7] ZHANG H, ZHU L S, SHAO Y C, et al. Microencapsulation of monascus red pigments by emulsification/internal gelation with freeze/spray-drying: Process optimization, morphological characteristics, and stability[J]. LWT, 2023, 173: 114227.

[8] RODRÍGUEZ-CORTINA A. Microcapsules of sachalin seed oil (*Plukenetia volubilis* L.) obtained by spray drying as a potential ingredient to formulate functional foods [J]. Food Research International, 2023, 170: 113014.

[9] WANG Y, LI M F, WANG L, et al. Improvement of the stabilities and antioxidant activities of polyphenols from the leaves of chinese star anise (*Illicium verum* hook. f.) using beta-cyclodextrin-based metal-organic frameworks[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(1): 287-296.

[10] 章智华, 钟舒睿, 彭飞, 等. 微胶囊壁材及制备技

- 术的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 246–253.
- ZHANG Z H, ZHONG S R, PENG F, et al. Progress in microcapsule wall materials and preparation techniques [J]. Food Science, 2020, 41(9): 246–253.
- [11] 彭茜, 戴志远, 宋恭帅, 等. 壳聚糖微胶囊对鱼油品质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(5): 222–230.
- PENG X, DAI Z Y, SONG G S, et al. Effect of chitosan microcapsules on the quality of fish oil[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(5): 222–230.
- [12] 叶焯, 李东亮, 耿宗泽, 等. 基于AB-8大孔吸附树脂制备余甘子果实精制物及其在卷烟中的应用[J]. 烟草科技, 2021, 54(2): 52–57.
- YE Y, LI D L, GENG Z Z, et al. Preparation and refinement of *Phyllanthus emblica* extract on macroporous resins and its application to cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2021, 54(2): 52–57.
- [13] 张梅, 张宏源, 娄本勇, 等. 一种余甘子和枳椇子组合提取物微胶囊制备方法及其产品: CN202311634763.7[P]. 2024-04-12[2024-05-24].
- ZHANG M, ZHANG H Y, LOU B Y, et al. A method for preparing microcapsules of a combination extract of *Hovenia dulcis* and *Phyllanthus emblica* and its product: CN202311634763.7[P]. 2024-04-12[2024-05-24].
- [14] ZHU H, XING Y, AKAN O D, et al. Ultrafine comminution-assisted ultrasonic-microwave synergistic extraction of *Pueraria mirifica* (kudzu flower and root) flavonoids[J]. Heliyon, 2023, 9(11): e21137.
- [15] SANTOS L G. Optimization of the green extraction of polyphenols from the edible flower *Clitoria ternatea* by high-power ultrasound: A comparative study with conventional extraction techniques [J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2023, 34: 100458.
- [16] 余金橙, 王淑玉, 崔楠, 等. 山楂多酚微胶囊制备及理化性质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 222–231.
- YU J C, WANG S Y, CUI N, et al. Preparation and physicochemical properties of hawthorn polyphenol microcapsules [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 222–231.
- [17] LI Y B, WU L, WENG M J, et al. Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* Lindl.) [J]. Powder Technology, 2018, 340: 459–464.
- [18] NORKAEW O, THITISUT P, MAHATHEERANONT S, et al. Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules [J]. Food Chemistry, 2019, 294: 493–502.
- [19] LI D L, ZHU M J, LIU X M, et al. Insight into the effect of microcapsule technology on the processing stability of mulberry polyphenols [J]. LWT – Food Science And Technology, 2020, 126: 109144.
- [20] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 (四部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 485–486.
- Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Vol IV [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020: 485–486.
- [21] ZHANG L Q, ZENG X H, FU N, et al. Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides [J]. Food Research International, 2018, 106: 383–393.
- [22] 葛双双, 李坤, 涂行浩, 等. 余甘子核仁油微胶囊的制备及其稳定性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 253–259.
- GE S S, LI K, TU X H, et al. Preparation and stability of *Phyllanthus emblica* L. seed oil microcapsules [J]. Food Science, 2018, 39(20): 253–259.
- [23] 余金橙, 王淑玉, 崔楠, 等. 山楂多酚微胶囊制备及理化性质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 222–231.
- YU J C, WANG S W, CUI N, et al. Preparation and physicochemical properties of hawthorn polyphenol microcapsules [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 222–231.
- [24] TOLUN A, ALTINTAS Z, ARTIK N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization [J]. Journal of Biotechnology, 2016, 239: 23–33.
- [25] 吴斯宇, 曾盈蓉, 唐聘, 等. RGD环肽修饰的姜黄素/黄芩苷靶向共递送纳米脂质体的制备工艺优化及表征[J]. 中草药, 2021, 52(22): 6834–6844.
- WU S Y, ZENG Y R, TANG P, et al. Preparation process optimization and characterization of RGD cyclopeptide modified curcumin/baicalin co-delivery

- targeted liposomes[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021, 52(22): 6834–6844.
- [26] 张锐, 顾志荣, 吕鑫, 等. 基于球面对称设计和 GA-BP 模型结合 AHP-CRITIC 优化清咽止痛方提取工艺[J]. 中药材, 2022, 45(7): 1683–1690.
- ZHANG R, GU Z R, LÜ X, et al. Optimization of extraction process of Qingyan Zhitong prescription based on spherical symmetry design and GA-BP model combined with AHP-CRITIC [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2022, 45(7): 1683–1690.
- [27] 焦金英, 姬星宇, 李自波, 等. 基于 AHP-CRITIC 优选清热灵口服液提取工艺[J]. 中国兽药杂志, 2023, 57(8): 50–55.
- JIAO J Y, JI X Y, LI Z B, et al. Optimization of extraction process of qingreling oral liquid based on AHP-CRITIC analysis[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2023, 57(8): 50–55.
- [28] 米帅, 靳雅茹, 李军, 等. 黑果腺肋花楸花色苷微胶囊制备及稳定性研究[J]. 食品科技, 2022, 47(7): 195–203.
- MI S, JIN Y R, LI J, et al. Preparation and stability of anthocyanin microcapsules of *Aronia Melanocarpa*[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(7): 195–203.
- [29] JIA C S, CAO D D, JI S P, et al. Whey protein isolate conjugated with xylo-oligosaccharides via maillard reaction: Characterization, antioxidant capacity, and application for lycopene microencapsulation[J]. LWT, 2020, 118: 108837.
- [30] 赵梦月, 段续, 任广跃, 等. 山茱萸黄酮微胶囊制备工艺及性质[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(7): 181–189.
- ZHAO M Y, DUAN X, REN G Y, et al. Preparation and properties of flavonoid microcapsules from *Cornus officinalis* [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(7): 181–189.
- [31] LAUREANTI E J G, PAIVA T S, DE MATOS JORGE L M, et al. [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253(4): 126969.
- [32] SOUSDALEFF M, BAESSO M L, NETO A M, et al. Microencapsulation by freeze-drying of potassium norbixinate and curcumin with maltodextrin: Stability, solubility, and food application[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(4): 955–965.
- [33] PAI D A, VANGALA V R, NG J W, et al. Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 161: 68–74.
- [34] 金慧臻, 狄留庆, 汪晶, 等. 中药浸膏粉体吸湿及改性技术研究进展[J]. 中成药, 2011, 33(11): 1960–1964.
- JIN H Z, DI L Q, WANG J, et al. Research progress on hygroscopicity and modification technology of Chinese herbal extract powder [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2011, 33(11): 1960–1964.
- [35] FERNANDES R V D B, BORGES S V, SILVA E K, et al. Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 94: 413–423.
- [36] 李秀, 马利, 张圣卓, 等. 枸杞叶黄酮微胶囊的制备及其贮藏稳定性研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(6): 10–18.
- LI X, MA L, ZHANG S Z, et al. Study on preparation and storage stability of microcapsules of flavonoids from *Lyciumbarbarum* leaves [J]. China Food Additives, 2020, 31(6): 10–18.
- [37] RAMAKRISHNAN Y, ADZAHAN N M, YUSOF Y A, et al. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation[J]. Powder Technology, 2018, 328: 406–414.

Studies on Preparation and Properties of Co-encapsulated Microcapsule of *Hovenia dulcis* and *Phyllanthus emblica* Extractive

ZHANG Hongyuan^{1,2}, ZHANG Mei^{1*}, LOU Benyong¹, ZHANG Yanjie¹, SA Rongjian¹, HUANG Zhiwei^{2*}

¹College of Materials and Chemical Engineering, Minjiang University, Fuzhou 350108

²College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002)

Abstract In order to optimize the process of *Hovenia dulcis*-*Phyllanthus emblica* extract co-encapsulated microcapsules and improve the processing and storage characteristics of *Hovenia dulcis*-*Phyllanthus emblica* extract, the microcapsule was made by spray drying method. Taking flavonoid embedding rate, polyphenol embedding rate, flavonoid drug loading and polyphenol drug loading as investigation indexes, the analytic hierarchy process-criteria importance through intercriteria correlation (AHP-CRITIC) method was used to determine the weight coefficients of each index and establish a comprehensive scoring system for microcapsules. Response surface methodology was used to optimize the preparation conditions of microcapsules. The physicochemical properties and structural characterization of microcapsules were analyzed. The results showed that the optimum conditions for the preparation of extract microcapsules by spray drying method of core-wall ratio, inlet-air temperature and wall material mass ratio (maltodextrin and gum arabic) were 2:3.5, 162.5 °C and 1:1.39, respectively. Under this condition, the microcapsules had uniform particle size and complete structure, with a particle size of about 3.833 μm and a comprehensive score of 67.498. The study on microcapsule performance showed that the wall material composition of maltodextrin and gum arabic could be a good co-encapsulate on the *Hovenia dulcis*-*Phyllanthus emblica* extractive, and improve the heat stability, moisture resistance and storage stability of the extractive.

Keywords *Hovenia dulcis*; *Phyllanthus emblica*; microcapsule; AHP-CRITIC; stability