

# 莲固体废弃物中多酚类物质的 喷雾干燥微胶囊化研究

颜征<sup>1</sup>, 张海晖<sup>1</sup>, 李亚群<sup>2</sup>, 段玉清<sup>1,\*</sup>, 张迪<sup>1</sup>, 陆玉洪<sup>2</sup>, 孙冀平<sup>2</sup>

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013;

2. 江苏怡味莲朗伯食品有限公司, 江苏宝应 225800)

**摘要:** 本文为保护莲固体废弃物多酚类物质活性成分免受破坏, 增强多酚稳定性。以莲固体废弃物多酚类物质微胶囊包埋率为指标, 通过单因素、正交和响应面实验, 优选多酚类物质喷雾干燥微胶囊化的工艺参数。结果表明, 多酚微胶囊化的最佳壁材配方为阿拉伯胶:  $\beta$ -环状糊精为 3:1, 芯壁比为 1:5, 单甘酯添加量为 0.10%。多酚类物质喷雾干燥微胶囊化最优条件为: 进料固形物含量 16%, 进料速度 280 mL/h, 进风温度为 185 °C, 出风温度 80 °C。在此条件下, 得到莲固体废弃物多酚微胶囊包埋率为 94.12% + 0.37%, 微胶囊包埋效果较优, 为多酚类物质的喷雾干燥微胶囊化提供了理论依据。

**关键词:** 莲固体废弃物, 多酚, 喷雾干燥, 微胶囊化

## Study on microencapsulation of polyphenols in lotus solid waste by spray drying

YAN Zheng<sup>1</sup>, ZHANG Hai-hui<sup>1</sup>, LI Ya-qun<sup>2</sup>, DUAN Yu-qing<sup>1,\*</sup>, ZHANG Di<sup>1</sup>, LU Yu-hong<sup>2</sup>, SUN Ji-ping<sup>2</sup>

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Jiangsu Yiweilian Langbo food limited company, Baoying 225800, China)

**Abstract:** In order to protect the active ingredients of polyphenols in lotus solid waste from damage, enhance the stability of polyphenols. The embedding rate of polyphenols in lotus solid waste was optimized in the present study. Based on single factor, orthogonal test and response surface methodology, the best wall material formula for microencapsulation of polyphenols in lotus solid waste was optimized as follows: acacia:  $\beta$ -cyclodextrin was 3:1, the ratio of core to wall was 1:5, and the amount of monoglyceride was 0.10%. The optimum conditions for the spray drying were as follows: the content of the solid content was 16%, the feed rate was 280 mL/h, the inlet air temperature was 185 °C and the outlet temperature was 80 °C. Under these conditions, the embedding rate of microcapsules was 94.12%  $\pm$  0.37%, and the embedding effect was better. It would provide a theoretical basis for the spray drying of polyphenols microencapsulation.

**Key words:** lotus solid waste; polyphenols; spray drying; microencapsulation

中图分类号: TS209

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)10-0222-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.10.040

引文格式: 颜征, 张海晖, 李亚群, 等. 莲固体废弃物中多酚类物质的喷雾干燥微胶囊化研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 222-227.

莲为睡莲科水生草本植物, 我国莲资源充足, 莲非可食部分往往被丢弃, 而未被充分利用<sup>[1]</sup>。莲固体废弃物(莲房、莲子壳、藕皮、藕节)富含多酚类物质<sup>[2-5]</sup>。植物多酚具有抗氧化、抗菌、降血脂、抗肿瘤和清除自由基等生物活性<sup>[6-9]</sup>, 在食品和医药卫生领域具有广阔的应用前景。但是多酚中富含活泼羟基基团, 对光照、氧气和温度等极其敏感, 易发生氧化、

聚合、缩合等反应, 从而失去活性, 还可能导致食品发生褐变。因此, 增强多酚的稳定性, 对于多酚开发应用尤为重要<sup>[10]</sup>。

为保护多酚类物质活性成分免受破坏, 增强其稳定性, 常采用微纳米载体、可食用膜包裹、硬胶囊、微胶囊和软胶囊等技术将其包裹起来, 与外界隔绝以增强其稳定性, 其中, 微胶囊作为一种新型包埋技

收稿日期: 2017-09-27

作者简介: 颜征(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品及其副产物的高附加值产品的开发与利用, E-mail: 2698169574@qq.com。

\* 通讯作者: 段玉清(1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品及其副产物的高值化关键技术研究、药食同源物有效成分、生物活性及其分子机制研究, E-mail: dyq101@ujs.edu.cn。

基金项目: 江苏省重点研发计划(现代农业)重点项目(BE2016350); 扬州市现代农业项目(YZ2016043)。

术,具有包埋率好、生物利用度高、操作简单、成本低和环境友好等优点<sup>[11-13]</sup>,已被应用于多酚类、多糖类、皂甙类大分子化合物的包埋。Aysu等<sup>[14]</sup>研究了葡萄多酚微胶囊的制备和性质;Wang等<sup>[15]</sup>研究了茶多酚微胶囊的特征和贮藏性质;韩路等<sup>[16]</sup>采用复凝聚法制备苹果多酚微胶囊。

目前,微胶囊制备方法有真空冷冻干燥法、凝聚法、粉床法、喷雾干燥法和挤压法等。其中,喷雾干燥具有干燥时间短、干燥温度相对较低的优点<sup>[17]</sup>,干燥过程中可以保持多酚的生物活性;与其他方法相比,喷雾干燥成本低、工艺简单、所得产品颗粒细微均匀,又是一种纯物理的微胶囊加工技术<sup>[18-21]</sup>,因此,适用于莲固体废弃物多酚类物质的微胶囊化。

基于以上,本实验采用亚临界水萃取莲固体废弃物多酚,经 AB-8 大孔树脂分离/富集后,得到多酚类物质。以该多酚的原料,优化出莲固体废弃物多酚微胶囊最佳壁材配方,在此基础上,优选出多酚类物质微胶囊喷雾干燥的最佳工艺参数为多酚的微胶囊化提供理论依据,为莲固体废弃物多酚类物质产品开发提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

莲固体废弃物(莲房、莲子壳、藕节和藕皮) 江苏大学农贸市场;AB-8 大孔树脂 沧州宝恩吸附材料科技有限公司;阿拉伯胶 分析纯,上海国药化学试剂有限公司; $\beta$ -环状糊精 分析纯,上海国药化学试剂有限公司;单甘酯 分析纯,上海国药化学试剂有限公司;乙醇 分析纯,上海国药化学试剂有限公司。

QZR-5 型移动式高速离心喷雾干燥机 江苏省无锡市林洲干燥机制造厂;SGH 型亚临界水反应釜 镇江丹徒环球机电配件厂;ALPHAI-4/2-4 型冷冻干燥机 德国 CHRIST 公司;DL-5C 型离心机 上海安亭科学仪器厂;DHG-9015A 型电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;JA2003 型分析天平 北京赛多利斯科学仪器有限公司;SHZ-D(III)型循环水真空泵 上海锦赋实验仪器设备有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 莲固体废弃物多酚的制备 莲固体废弃物烘干后粉碎,过 100 目筛。按水料比 30:1 (mL/g)加入萃取釜中,加入溶剂 1%的 NaHSO<sub>3</sub> 作为保护剂,控制萃取温度 160 °C 下萃取 15 min。将萃取液经 4000 r/min 离心 8 min,得到多酚粗提液,粗提液过 AB-8 大孔吸附树脂柱分离/富集(上样量为 4 BV,流速 2 mL/min),用 5 BV 的 70% 乙醇洗脱(流速 2 mL/min),收集洗脱液,45 °C 下减压浓缩,将浓缩液真空冷冻干燥,即为多酚粉末。

1.2.2 莲固体废弃物多酚微胶囊的制备过程 首先将阿拉伯胶和  $\beta$ -环状糊精按一定的的质量比溶解于 50~60 °C 蒸馏水中,然后加入单甘酯制作壁材;然后按照一定的芯壁比称取多酚样品用少量无水乙醇溶解,将多酚溶液在不断搅拌的情况下缓慢加入到壁

材溶液中,溶解完全后形成悬浮液,用高速分散器促进乳化,经喷雾干燥设备干燥,得到多酚微胶囊产品。

### 1.2.3 莲固体废弃物多酚微胶囊壁材配比优化

1.2.3.1 壁材配比对包埋率的影响 本研究选用阿拉伯胶和  $\beta$ -环状糊精为壁材,固定芯材与壁材组合配比为 1:3 (W:W),单甘酯添加量为 0.1%,喷雾干燥条件为进料固形物含量 20%,进风温度 180 °C,进料速度 300 mL/h,出风温度为 80 °C,按照阿拉伯胶与  $\beta$ -环糊精配比为 1:1、2:1、3:1、4:1、5:1 对多酚进行微胶囊化,通过测定包埋率优选出阿拉伯胶与  $\beta$ -环糊精的最佳配比。

1.2.3.2 芯壁比对包埋率的影响 固定阿拉伯胶和  $\beta$ -环状糊精配比为 3:1,单甘酯添加量为 0.1%,喷雾干燥条件为进料固形物含量 20%,进风温度 180 °C,进料速度 300 mL/h,出风温度为 80 °C,按照芯材与壁材配比为 1:1、1:3、1:5、1:7、1:9 对多酚进行微胶囊化,通过测定包埋率优选出芯材与壁材的最佳配比。

1.2.3.3 单甘酯用量对包埋率的影响 固定阿拉伯胶和  $\beta$ -环状糊精配比为 3:1,芯材与壁材的组合配比为 1:5,分别在单甘酯用量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 时对多酚进行微胶囊化,喷雾干燥条件为进料固形物含量 20%,进风温度 180 °C,进料速度 300 mL/h,出风温度为 80 °C,通过测定包埋率,确定单甘酯适宜用量。

包埋率(%) = (1 - 微胶囊表面的芯材质量) / 微胶囊的总芯材质量 × 100

1.2.4 微胶囊壁材配比正交实验设计 在单因素实验基础上,选取壁材比-阿拉伯胶和  $\beta$ -环状糊精配比、芯壁比-芯材与壁材配比、单甘酯用量 3 个因素,每个因素取三个水平,按正交表 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 进行实验,以微胶囊包埋率为指标(见表 1),优化微胶囊化壁材最佳配比。

表 1 微胶囊壁材配比优化实验因素水平表

Table 1 Design of microcapsule wall material ratio optimization

水平	因素		
	A 壁材比	B 芯壁比	C 单甘酯(%)
1	2:1	1:3	0.05
2	3:1	1:5	0.10
3	4:1	1:7	0.15

### 1.2.5 多酚微胶囊喷雾干燥工艺优化

1.2.5.1 进料固形物含量对包埋率的影响 进风温度 180 °C,出风温度 80 °C,进料速度 300 mL/h,分别在进料固形物含量为 5%、10%、15%、20%、25% 时对多酚微胶囊处理,考察进料固形物含量对多酚微胶囊包埋率的影响。

1.2.5.2 进料流量对微胶囊化效率的影响 进风温度 180 °C,出风温度 80 °C,进料固形物含量 20%,分别在进料速度为 100、200、300、400、500 mL/h 时对多酚微胶囊处理,考察进料速度对莲多酚微胶囊包埋率的影响。

1.2.5.3 进风温度对包埋率的影响 进料固形物含

量 20%, 进料速度 300 mL/h, 出风温度 80 °C, 分别在进风温度为 170、180、190、200、210 °C 时对多酚微胶囊处理, 考察进风温度对莲多酚微胶囊包埋率的影响。

1.2.5.1 出风温度对包埋率的影响 进料固形物含量 20%, 进料速度 300 mL/h, 进风温度为 180 °C, 分别在出风温度为 70、75、80、85、90 °C 时对多酚微胶囊处理, 考察进风温度对多酚微胶囊包埋率的影响。

1.2.6 多酚微胶囊喷雾干燥响应面实验设计 在单因素结果的基础上, 依照 Box-Behnken 中心组合实验设计原理, 选进料固形物含量、进料速度、进风温度 3 个因素为自变量, 多酚微胶囊包埋率为响应值, 设计响应面分析实验(表 2), 并优化多酚喷雾干燥微胶囊技术参数和工艺。

表 2 Box-Behnken 实验设计因素水平表  
Table 2 Design of Box-Behnken experimental

因素	水平		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> 进料固形物含量(%)	10	15	20
X <sub>2</sub> 进料速度(mL/h)	200	300	400
X <sub>3</sub> 进风温度(°C)	170	180	190

### 1.3 数据处理

每组实验平行三次, 通过正交设计助手 V3.1 和 Design Expert 7.05 软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 莲固体废弃物多酚微胶囊壁材配比优化实验结果

2.1.1 壁材比对包埋率的影响 阿拉伯胶和  $\beta$ -环状糊精是常用的壁材, 阿拉伯胶成膜性和乳化稳定性较好,  $\beta$ -环状糊精由于具有环内疏水、环外亲水的特性, 能将多酚包合, 减少多酚的氧化, 钝化多酚的光敏性和热敏性<sup>[22]</sup>。结果如图 1 所示, 随着壁材配比的增大, 多酚微胶囊包埋率呈上升趋势, 当壁材配比为 3:1 时包埋率最高, 之后再增加壁材配比包埋率则呈下降趋势。这是由于阿拉伯胶具有一定的乳化性和成膜性, 有助于提高微胶囊产品的包埋率, 然而阿拉伯胶含量过高, 则会造成料液粘度过大, 不仅不利于喷雾干燥的顺利进行, 还会造成包埋率下降<sup>[23]</sup>, 故选取阿拉伯胶与  $\beta$ -环状糊精的配比为 3:1 左右

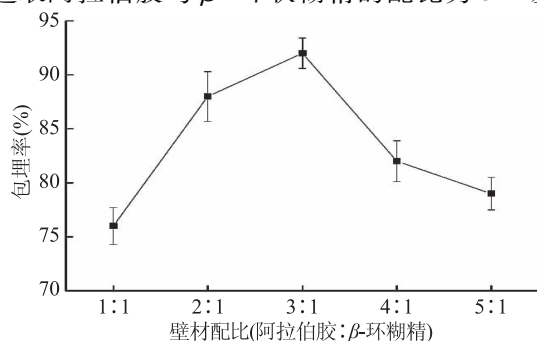


图 1 壁材比对多酚微胶囊包埋率的影响  
Fig.1 Effect of Proportion of Wall Materials on Embedding Rate of Polyphenol Microcapsules

为宜。

2.1.2 芯壁比对包埋率的影响 随着芯材与壁材比例的减少, 包埋率呈上升趋势, 当芯材与壁材比例为 1:5 时达到最高, 随后开始下降, 当包埋率达到最大值后, 继续增加芯材添加量, 多酚微胶囊的包埋率降低(如图 2)。因此, 芯材与壁材比例为 1:5 左右为宜。

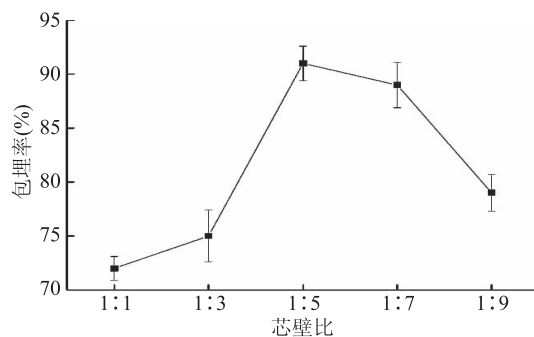


图 2 芯壁比对多酚微胶囊包埋率的影响  
Fig.2 Effect of Ratio of Core to Wall on Embedding Rate of Polyphenol Microcapsules

2.1.3 单甘酯用量对包埋率的影响 单甘酯作为乳化剂, 当它分散在分散质表面时, 形成薄膜或双电层, 可使分散相带有电荷, 这样就能阻止分散相的小液滴相互凝结, 使形成的乳状液比较稳定<sup>[24]</sup>。如图 3 所示, 随着单甘酯用量的增加, 微胶囊的包埋率上升, 当达到 0.10% 后, 再增加其用量, 其包埋率反而下降, 这是由于单甘酯可以使料液稳定性提高, 用量过高, 乳化液粘度也随之变大, 会产生絮凝现象<sup>[25]</sup>, 易造成喷头堵塞, 影响喷雾干燥的顺利进行, 因此选取 0.10% 左右的单甘酯为宜。

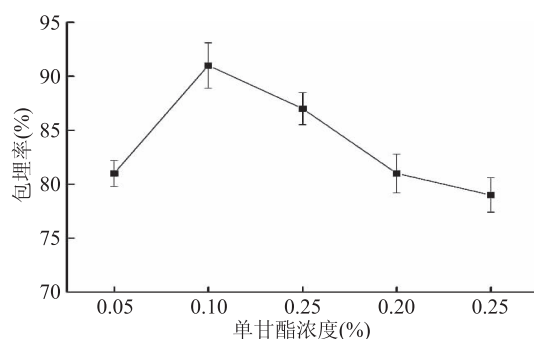


图 3 单甘酯浓度对多酚微胶囊包埋率的影响  
Fig.3 Effect of Monoglyceride Concentration on Embedding Rate of Polyphenol Microcapsules

2.1.4 微胶囊壁材配比正交实验结果 由表 3 和 4 分析可以看出, 影响多酚微胶囊包埋率因素的主次顺序是: B > A > C, 即芯材与壁材的配比对微胶囊包埋率的影响最大, 壁材比(阿拉伯胶: $\beta$ -环状糊精)次之, 单甘酯浓度对微胶囊化效率影响最小, 但三种因素对微胶囊包埋率的影响均达到显著水平( $p < 0.01$  或  $p < 0.05$ )。得出多酚微胶囊化的最佳壁材组合配比为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, 即壁材比(阿拉伯胶: $\beta$ -环状糊精)为 3:1, 芯壁比为 1:5, 单甘酯用量为 0.10%, 经验证实验得到多酚的平均包埋率为 93.28%  $\pm$  0.52%。



表3 正交实验结果

Table 3 Analysis of orthogonal test

编号	A	B	C	空白	包埋率(%)
1	1	1	1	1	82.26
2	1	2	2	2	92.87
3	1	2	3	3	90.31
4	2	1	2	3	90.75
5	2	2	3	1	93.18
6	2	3	1	2	91.61
7	3	1	3	2	84.59
8	3	2	1	3	92.62
9	3	3	2	1	88.26
K <sub>1</sub>	88.77	85.87	88.83	87.90	
K <sub>2</sub>	91.85	93.18	90.92	89.98	
K <sub>3</sub>	88.49	90.06	89.36	91.23	
R	3.36	7.31	2.09	3.33	

表4 壁材配比优化实验方差分析表

Table 4 Analysis of variance of experiment with wall-material ratio optimization

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
A	3.423	2	20.62	19	*
B	58.966	2	355.217	19	**
C	10.591	2	63.801	19	*
空白	0.166	2	1	19	

注:\*\*为F检验法中极显著( $p < 0.01$ ); \*为F检验法中显著( $p < 0.05$ )。

## 2.2 多酚微胶囊喷雾干燥工艺优化实验结果

2.2.1 进料固形物含量对包埋率的影响 由图4可见,当固形物含量为15%时,微胶囊包埋率可达92.13%,在继续增加进料固形物含量,则微胶囊包埋率开始下降。这是由于进料固形物含量升高,乳状液粘度增加,芯材向壁材表面的迁移量减少,使芯材能够被更好的包埋,在干燥过程中能够促进囊壁的形成和提高产品的致密性,但进料固形物含量太高会导致乳状液过于黏稠,不利于雾滴的形成<sup>[26]</sup>。因此将进料固形物含量定为15%左右。

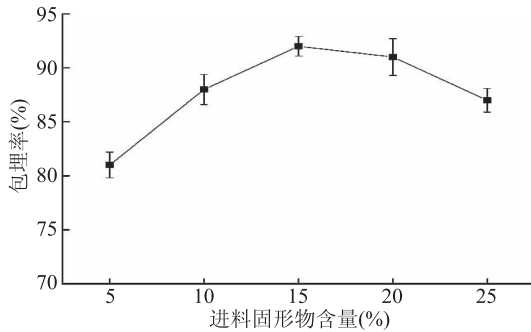


图4 进料固形物含量对多酚类物质包埋率的影响  
Fig.4 Effect of Feed Solid Content on the Embedding Rate of Polyphenols

2.2.2 进料流速对微胶囊化效率的影响 从图5可见,适当增加进料流速,可以提高包埋率,当进料流速为300 mL/h时,微胶囊包埋率达到最高为

93.27%,当超过300 mL/h时,包埋率开始下降并趋于平稳,故选择进料速度为300 mL/h左右。

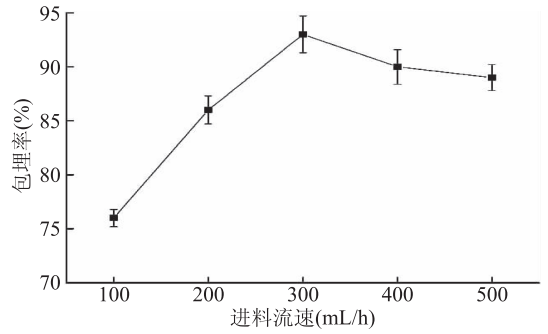


图5 进料速度对多酚类物质包埋率的影响  
Fig.5 Effect of Feed Rate on the Embedding Rate of Polyphenols

2.2.3 进风温度对包埋率的影响 如图6所示,进风温度升高,微胶囊化包埋率提高,当进风温度升高到180℃时,微胶囊包埋率最高达93.71%。但是,随着进风温度的继续升高,微胶囊包埋率呈下降趋势。所以选进风温度为180℃左右适宜。

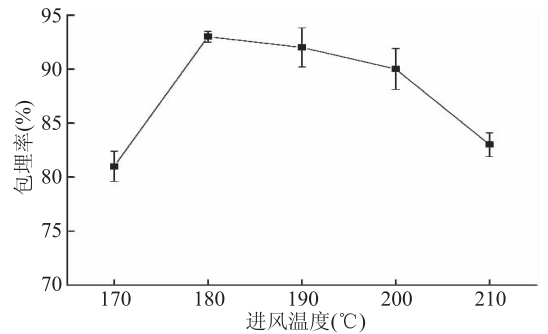


图6 进风温度对多酚类物质包埋率的影响  
Fig.6 Effect of Entering Air Temperature on the Embedding Rate of Polyphenols

2.2.4 出风温度对包埋率的影响 出风温度低于80℃时,包埋率随温度升高而升高,但温度高于80℃并继续升高时,则包埋率反而下降(见图7)。这是由于适度提高出风温度,有利于缩短产品颗粒的降速干燥过程,迅速形成完整致密的壁结构,从而提高包埋率。但出风温度过高,会导致产品因过度热而开裂,微胶囊包埋率下降。因此,将出风温度设定为80℃左右为宜。

2.2.5 多酚微胶囊喷雾干燥响应面实验结果 采用Design Expert 7.05软件对表5数据处理和分析,建立多酚微胶囊包埋率与进料固形物含量、进料速度、进风温度的二次多项数学回归方程为: $Y = 92.86 + 1.93X_1 + 0.41X_2 + 5.81X_3 - 2.30X_1X_2 - 0.33X_1X_3 - 3.70X_2X_3 - 5.06X_1^2 - 3.53X_2^2 - 8.57X_3^2$ 。从表6可以看出,响应值和各因素之间的关系显著,模型的显著水平小于0.01,回归方差模型极显著,各因素对包埋率均有显著影响。由响应面方差分析结果可以看出,方程的失拟项不显著( $p > 0.05$ ),修正相关系数平方 $R^2 = 0.9914$ , $R^2_{Adj} = 0.9827$ ,表明此方程对实验拟合程度良好、误差小,因此可以作为对喷雾干燥制备多酚工艺进行分析预测。影响包埋率的各因素由高至低

表6 回归方程系数显著性检验和结果

Table 6 Test and Results of Regression Equations Coefficient

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	1009.26	14	112.14	369.74	<0.0001	**
X <sub>1</sub>	29.88	1	29.88	98.51	<0.0001	**
X <sub>2</sub>	1.32	1	1.32	4.35	<0.0001	**
X <sub>3</sub>	269.93	1	269.93	890	<0.0001	**
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	21.11	1	21.11	69.62	<0.0001	**
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.43	1	0.43	1.41	0.2647	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	54.76	1	54.76	180.55	<0.0001	**
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	114.64	1	114.64	377.98	<0.0001	**
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	55.7	1	55.7	183.65	<0.0001	**
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	329.12	1	329.12	1085.13	<0.0001	**
残余	2.73	9				
失拟项	0.44	3	0.15	0.38	0.7692	不显著
纯误差	2.29	6	0.38			
总和	1011.99	18				

$$R^2 = 0.9973; R_{Adj}^2 = 0.9946$$

注: \*\*  $p < 0.01$  极显著。

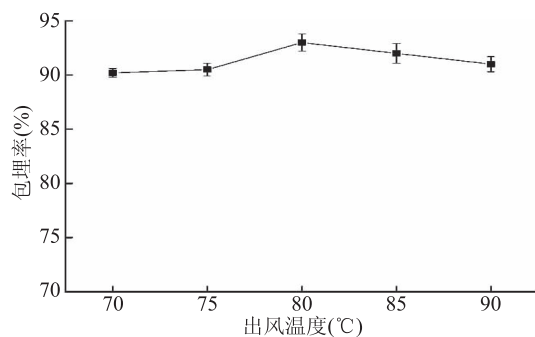


图7 出风温度对多酚类物质包埋率的影响

Fig.7 Effect of Leaving Air Temperature on the Embedding Rate of Polyphenols

的排列顺序为:  $X_3 > X_1 > X_2$ , 即进风温度 > 进料固形物含量 > 进料速度, 且影响程度均达到显著水平。其中, 二次项  $X_1 X_2$ 、 $X_2 X_3$  两两交互作用极显著 ( $p < 0.01$ ), 而  $X_1 X_3$  因素之间无交互作用。根据响应面法优化实验参数得到的多项式回归方程, 利用 Design Expert 7.05 软件对优化后的回归方程进行求解, 得出喷雾干燥制备多酚微胶囊最优条件为: 进料固形物含量 16.14%, 进料速度 278 mL/h, 进风温度为 186 °C, 出风温度 80 °C, 此时包埋率的预测值为 94.89%。结合实际, 将预测的最优条件调整为: 进料固形物含量 16%, 进料速度 280 mL/h, 进风温度为 185 °C, 出风温度 80 °C。此条件下进行 3 次平行实验验证模型方程的有效性, 得到喷雾干燥平均包埋率为  $94.12\% \pm 0.37\%$ , 与预测值误差仅为 0.81%, 因此, 可以选择调整后的实验条件进行生产。

### 3 结论

通过单因素和正交实验, 优选出莲固体废弃物中多酚类物质微胶囊化的最佳配方: 阿拉伯胶:  $\beta$ -环糊精为 3:1, 芯壁比为 1:5, 单甘酯添加量为 0.1%; 在此基础上, 进行单因素和响应面实验, 优选莲固体

表5 响应面实验结果

Table 5 Results of Box-Behnken experiments

实验号	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	包埋率(%)
1	1	0	-1	75.68
2	0	0	0	92.43
3	0	0	0	91.85
4	1	0	1	86.57
5	-1	0	1	83.43
6	0	0	0	93.67
7	-1	-1	0	79.83
8	0	0	0	93.12
9	-1	1	0	84.78
10	0	1	1	83.54
11	0	-1	1	89.67
12	1	-1	0	88.36
13	0	0	0	92.64
14	1	1	0	84.12
15	0	-1	-1	70.58
16	0	0	0	92.87
17	0	1	-1	79.25
18	0	0	0	93.42
19	-1	0	-1	71.23

废弃物多酚类物质微胶囊喷雾干燥最佳工艺为: 进料固形物含量 16%, 进料速度 280 mL/h, 进风温度 185 °C, 出风温度 80 °C。莲固体废弃物多酚微胶囊包埋率为  $94.12\% \pm 0.37\%$ , 包埋效果较优, 为多酚类物质的喷雾干燥微胶囊化提供了理论依据, 同时还可减少资源浪费, 保护环境, 对莲固体废弃物多酚的合理开发利用具有重要现实意义。

### 参考文献

[1] 钟怡平, 夏道宗, 黄岚, 等. 莲房多酚提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 235-239.

- [2]周芸,张晓玲,吴永江,等.近红外漫反射光谱法快速测定莲房原花青素及多酚含量[J].中国药学杂志,2013,48(3):220-224.
- [3]Liu Y, Ma S S, Ibrahim S A, et al. Identification and antioxidant properties of polyphenols in lotus seed epicarp at different ripening stages [ J ] . Food Chemistry, 2015, 185: 159-164.
- [4]徐燕燕.莲藕不同部位多酚组成及抗氧化活性研究[D].武汉:武汉轻工大学,2015.
- [5]周玮婧,李书艺,王文娟.莲藕节中多酚提取物体外抗氧化活性研究[J].食品科技,2016,41(12):158-162.
- [6]Sage F L, Meilhac O, Gonthier M P. Anti-inflammatory and antioxidant effects of polyphenols extracted from antirhea borbonica medicinal plant on adipocytes exposed to porphyromonas gingivalis and escherichia coli lipopolysaccharides [ J ] . Pharmacological Research, 2017, 119: 303-312.
- [7]Niedzwiecki A, Roomi M W, Kalinovsky T, et al. Anticancer efficacy of polyphenols and their combinations [ J ] . Nutrients, 2016, 8(9): 552.
- [8]Meo F D, Lemaure V, Cornil J. Free radical scavenging by natural polyphenols: atom versus electron transfer [ J ] . The Journal of Physical Chemistry, 2013, 117(10): 2082-2092.
- [9]Suzana S, Raja K S. Polyphenols and sunburn [ J ] . International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(9): 1521.
- [10]郑文龙,郭玉蓉,李帅,等.多酚微胶囊化技术应用研究进展[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(12):120-125.
- [11]Simon - brown K, Solval K M, Chotiko A, et al. Microencapsulation of ginger ( Zingiber officinale ) extract by spray drying technology [ J ] . LWT - Food Science and Technology, 2016, 70: 119-125.
- [12]Tolun A, Altinas 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.
- [13]Busch V M, Pereyra - Gonzalez, Segatin N, et al. Propolis encapsulation by spray drying: characterization and stability [ J ] . LWT Food Science and Technology, 2017, 75: 227-235.
- [14]Aysu T, Zeynep A, Nevzat A, et al. 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.
- [15]Wang J Y, Li H Y, Chen Z Q, et al. Characterization and storage properties of a new microencapsulation of tea polyphenols [ J ] . Industrial Crops and Products, 2016, 89: 152-156.
- [16]韩路,吕春茂,赵明慧,等.复凝聚法制备苹果多酚微胶囊[J].食品科学,2013,34(20):342-346.
- [17]刘建学.全藕粉喷雾干燥工艺实验研究[J].农业工程学报,2006,22(9):229-231.
- [18]韩爱芝,韩卉,贾清华,等.响应面实验黑果枸杞花色苷微胶囊制备工艺及其稳定性分析[J].食品科学,2016,37(10):82-87.
- [19]Abedi A S, Rismanchi M, Shahdoostkhany M, et al. Microencapsulation of Nigella sativa seeds oil containing Thymoquinone by spray - drying for functional yogurt production [ J ] . Food Science and Technology, 2016, 51(10): 2280-2289.
- [20]Villela - Castrejón J, Acosta - Estrada B A, Gutiérrez - Uribe J A. Microencapsulation of Corn Wastewater ( Nejayote ) Phytochemicals by Spray Drying and Their Release Under Simulated Gastrointestinal Digestion [ J ] . Journal of Food Science, 2017, 82(7): 1726-1734.
- [21]Edris A E, Kalembe D, Adamiec J, et al. Microencapsulation of nigella sativa oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications [ J ] . Food Chemistry, 2016, 204: 326-333.
- [22]韩爱芝,韩卉,贾清华,等.响应面实验黑果枸杞花色苷微胶囊制备工艺及其稳定性分析[J],食品科学,2016,37(10):82-87.
- [23]焦岩,孙巧,刘井权,等.喷雾干燥法制备玉米黄色素微胶囊工艺研究[J].中国调味品,2016,41(3):139-141.
- [24]刘玉兵.山葡萄籽油微胶囊的生产工艺研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2011.
- [25]张焕新,臧大存,刘靖,等.喷雾干燥法制备银杏油微胶囊的研究[J].食品科学,2009,30(14):87-90.
- [26]张雯雯,郑华,冯颖,等.正交实验优化余甘子果汁微胶囊化工艺[J].食品科学,2015,36(2):25-29.

## 一套《食品工业科技》在手， 纵观食品工业发展全貌