

蒜头果油微胶囊制备工艺优化及性质分析

黄芳丽^{1,2}, 唐婷范^{1,2}, 朱家庆^{1,2}, 任逸^{1,2}, 冯军^{1,2}, 田玉红^{1,2}, 程昊^{1,2}

(1. 广西科技大学生物与化学工程学院, 广西柳州 545006; 2. 广西糖资源绿色加工重点实验室, 广西柳州 545006)

摘要:以阿拉伯胶和麦芽糊精为复合壁材, 采用喷雾干燥法制备蒜头果油微胶囊。通过单因素试验, 考察固形物含量、乳化剂添加量、壁材比、芯壁比、进风温度、进料量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响, 采用 Box - Behnken 设计响应面法优化蒜头果油微胶囊的制备工艺, 并采用扫描电子显微镜(SEM)、粒度分析仪、热重分析仪和体外模拟消化等对蒜头果油微胶囊的性质进行了分析。结果表明: 蒜头果油微胶囊最佳制备工艺条件为乳化剂添加量 1%、阿拉伯胶与麦芽糊精质量比 4:3、芯壁比 1:4、固形物含量 16%、进风温度 160 °C、进料量 4 mL/min, 在最佳条件下蒜头果油微胶囊的包埋率为 76.92%; 蒜头果油微胶囊呈较光滑球形, 其结构完整、粒径均一, 且具有良好的流动性、热稳定性、分散性; 体外模拟胃肠道消化后, 微胶囊芯材几乎完全释放。蒜头果油微胶囊化有利于保护蒜头果油的有效成分, 提高其消化吸收效果, 扩大其应用范围。

关键词:蒜头果油; 微胶囊; 喷雾干燥; 理化性质; 体外模拟消化

中图分类号:TS225.1; TS264.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)12-0088-07

Preparation process optimization and properties of

Malania oleifera oil microcapsules

HUANG Fangli^{1,2}, TANG Tingfan^{1,2}, ZHU Jiaqing^{1,2}, REN Yi^{1,2},
FENG Jun^{1,2}, TIAN Yuhong^{1,2}, CHENG Hao^{1,2}

(1. College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Green Processing of Sugar Resources, Liuzhou 545006, Guangxi, China)

Abstract: The *Malania oleifera* oil microcapsules was prepared via the spray - drying using gum acacia and maltodextrin as wall materials. The effects of solid content, emulsifier dosage, gum acacia/maltodextrin ratio, core/wall ratio, inlet air temperature and feed flow rate on microencapsulation efficiency were investigated by single factor experiment. The selected key parameters were optimized using response surface methodology with Box - Behnken experimental design. The SEM, particle size analyzer, thermogravimetric analyzer, and in vitro simulated digestion etc. were used to analyze the properties of microcapsules. The results showed that the optimal conditions were obtained as follows:

收稿日期: 2020-12-14; 修回日期: 2021-08-10

基金项目: 广西研究生教育创新计划项目(GKYC202012); 国家自然科学基金委员会资助项目地区科学(21662003); 广西壮族自治区中青年骨干教师基础能力提升项目(KY2016YB250); 广西糖资源绿色加工重点实验室主任基金(GXTZY202005); 大学生创新训练计划项目(202010594214); 广西科技大学博士(校科博14Z06)

作者简介: 黄芳丽(1995), 女, 硕士研究生, 研究方向为应用化学(E-mail)1050259127@qq.com。

通信作者: 唐婷范, 高级实验师, 博士(E-mail)tangtingfan@163.com。

solid content 16%, emulsifier dosage 1%, gum acacia/maltodextrin ratio 4:3, core/wall ratio 1:4, inlet air temperature 160 °C and feed flow rate 4 mL/min. Under these conditions, the microencapsulation efficiency was 76.92%. The *Malania oleifera* oil microcapsules had integrious structure, uniform particle size, good fluidity, dispersibility and thermal stability. The encapsulated oil was released from microcapsules after simulated gastrointestinal digestion. Microencapsulation of *Malania oleifera* oil could

protect the effective components in *Malania oleifera* oil, improve its digestion and absorption effect, and expand its application range.

Key words: *Malania oleifera* oil; microcapsule; spray - drying; physicochemical property; in vitro simulated digestion

蒜头果 (*Malania oleifera*) 为青皮木科蒜头果属常绿乔木,别名山桐果、猴子果、马兰后(壮语音)等,已被列为我国二级保护植物^[1-2]。蒜头果仅自然分布于云南东南部和广西西部的狭窄地带,广西主要产地为巴马、凤山等县。蒜头果油是从蒜头果仁中提取的油脂,目前国内外关于蒜头果油的报道较少,且主要集中在蒜头果油的提取以及脂肪酸组成方面^[3-4]。Tang等^[5]研究发现,神经酸是蒜头果油中含量最高的一种不饱和脂肪酸,含量达60%。神经酸是维持大脑发育的必需营养物,具有恢复神经末梢活性、促进神经细胞生长和发育,预防阿尔茨海默病等作用;除此之外,神经酸还可作为医药、香料工业的珍贵材料,具有很好的开发和利用潜力^[6-7]。然而蒜头果油中含有大量不饱和脂肪酸,使其易氧化变质。因此,如何提高蒜头果油氧化稳定性是保证蒜头果油品质的关键。

微胶囊技术是利用天然的或合成的高分子化合物的成膜性,将液体、气体或固体包覆在一个封闭的微囊内,避免芯材受外部环境的影响。将油脂微胶囊化,使液态油脂转变为固态粉末,不仅能延缓其氧化酸败,延长油脂的贮藏期,提高其稳定性,还能提高产品的使用、贮藏和运输便捷性。许多微胶囊粉末产品已被大量开发,例如粉末油脂、粉末酒、胶囊饮料、固体饮料、营养强化剂等。近年来,关于粉末油脂如核桃油、亚麻籽油、牡丹籽油等的微胶囊化已有大量研究^[8-10]。喷雾干燥法由于成本低和操作简单的优点成为目前食品工业中制备油脂微胶囊最常用的方法^[11]。本试验以蒜头果油为芯材,以阿拉伯胶和麦芽糊精为壁材,采用喷雾干燥法对蒜头果油进行微胶囊化,以达到延缓蒜头果油氧化变质的目的,同时对微胶囊产品的理化特性进行了分析。通过了解微胶囊在体外模拟消化环境下的释放行为,为蒜头果油的营养强化以及深加工提供科学依据,拓宽蒜头果油在食品工业中的应用范围。

1 材料与方法

1.1 试验材料

蒜头果油,购自云南文山。阿拉伯胶,成都市科隆化学品有限公司;麦芽糊精,山东西王糖业有限公司;SE-15蔗糖酯,柳州爱格富食品科技股份有限

公司;单甘酯,上海麦克林生化科技有限公司。石油醚(60~90℃,分析纯),天津致远化学试剂有限公司;胃蛋白酶和胰蛋白酶,上海源叶生物有限公司。

FJ200-SH型高速分散均质机,上海沪析实业有限公司;ZFD-A5040A鼓风干燥箱,上海智城分析仪器制造有限公司;ZY-8000小型喷雾干燥仪,上海紫裕生物科技有限公司;HH-4B恒温搅拌水浴锅,常州国华电器有限公司;PW-100-517台式扫描电子显微镜(SEM),复纳科学仪器(上海)有限公司;热重分析仪,美国TA仪器公司;Nano-ZS90型激光纳米粒度分析仪,英国马尔文公司。

1.2 试验方法

1.2.1 蒜头果油微胶囊的制备及包埋率测定

参考葛双双等^[12]的方法并作一定修改。称取一定量的阿拉伯胶溶于60℃的蒸馏水中,恒温搅拌30 min,然后加入一定量的麦芽糊精加热搅拌至溶解,随后加入一定质量的乳化剂蔗糖酯和单甘酯(质量比1:1),边搅拌边缓慢加入一定量的蒜头果油,制得粗乳液。将粗乳液用高速分散均质机进行高速剪切乳化5 min(转速为16 000 r/min)得到均匀的乳化液,将乳化液进行喷雾干燥(出风温度为90℃)得蒜头果油微胶囊。

参考刘施琳等^[13]的方法测定微胶囊表面油含量(m),参考Wang等^[14]的方法测定微胶囊总油含量(M)。按下式计算包埋率(Y)。

$$Y = (1 - m/M) \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2 蒜头果油微胶囊产品的性质分析

1.2.2.1 水分含量的测定

参照GB 5009.3—2016测定微胶囊水分含量。

1.2.2.2 堆积密度的测定

将微胶囊倒入5 mL量筒中摇匀振实,使微胶囊填充至量筒刻度线处,记录填充的微胶囊质量(m)以及量筒的填充体积(V),按下式计算微胶囊的堆积密度(d)^[15]。

$$d = m/V \quad (2)$$

1.2.2.3 休止角的测定

称取10 g微胶囊于漏斗中,使微胶囊下落堆积在圆形玻璃板上,测定微胶囊的堆高度(H)及堆覆盖半径(R),按下式计算微胶囊休止角(θ)^[16]。

$$\theta = \arctan(H/R) \quad (3)$$

1.2.2.4 粒径分布的测定

将微胶囊溶于蒸馏水中(料液比 1:9),采用激光纳米粒度分析仪测定其粒度分布曲线。

1.2.2.5 SEM 观测

将微胶囊样品进行喷金处理后用 SEM 观察其形态,设置加速电压为 10 kV。

1.2.2.6 X-射线衍射(XRD)分析

采用 X-射线衍射仪对微胶囊样品进行 XRD 分析。

1.2.2.7 热重(TG)分析

采用热重分析仪对微胶囊样品进行热重分析。分析条件:氮气流速 30 mL/min,升温范围 50 ~ 600 °C,升温速率 10 °C/min。

1.2.2.8 体外模拟消化

胃肠道模拟消化液的配制参考 Wang 等^[14]的方法并稍作修改。模拟胃液(SGF):称取 2 g NaCl 溶解于 900 mL 蒸馏水中,用 HCl 调节 pH 至 1.2,加 3.2 g 胃蛋白酶并定容至 1 000 mL。模拟肠液(SIF):称取 6.8 g 磷酸二氢钾溶解于 800 mL 蒸馏水中,用 0.1 mol/L NaOH 调节 pH 至 6.8,用适量蒸馏水将 10 g 胰蛋白酶溶解,与前面的磷酸二氢钾溶液混合后定容至 1 000 mL。消化液均在 4 °C 下保存,防止酶失活。

体外模拟消化:称取 5 g 蒜头果油微胶囊于 50 mL SGF 中,于(37 ± 0.5)°C 水浴下以 100 r/min 搅拌 2 h,模拟胃消化。模拟胃消化结束后,用 1 mol/L NaOH 调节 pH 至 6.8 使胃蛋白酶失活,随后添加 50 mL SIF,在同一条件下模拟肠消化 4 h。期间定时取混合均匀的消化液 5 mL,灭酶活后测定芯材释放率。

1.2.2.9 芯材释放率的测定

将灭酶活的消化液转入分液漏斗中,加入 25 mL 石油醚进行萃取,萃取过程重复 3 次,合并有机相,旋蒸除去石油醚,即得到消化过程中释放的油脂,按下式计算芯材释放率(Y)。

$$Y = m/M \times 100\% \quad (4)$$

式中: m 为微胶囊消化后释放的油脂质量; M 为微胶囊总油质量。

1.2.3 数据处理与分析

各指标重复测定 3 次,取平均值,试验数据运用 Design - Expert V8.06 软件进行分析处理,使用 Origin 8.0 进行数据记录、初步处理和绘制图表。

2 结果与分析

2.1 蒜头果油微胶囊制备的单因素试验

2.1.1 固形物含量对微胶囊包埋率的影响

在阿拉伯胶与麦芽糊精质量比(以下简称壁材

比)4:3、芯壁比 1:4、乳化剂添加量 1%、进风温度 160 °C、进料量 4 mL/min 条件下,考察固形物含量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响,结果见图 1。

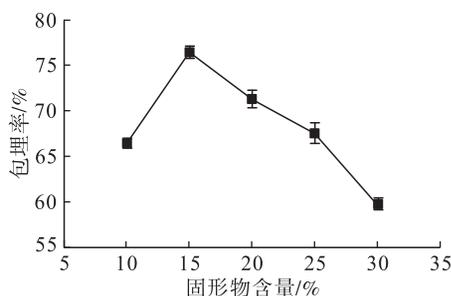


图 1 固形物含量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响

由图 1 可知,蒜头果油微胶囊的包埋率随着固形物含量的增加而升高,在固形物含量为 15% 时达到最大值,之后随着固形物含量的继续增加,包埋率降低。可能原因是固形物含量较低时,水分含量过多,导致喷雾干燥时液滴水分不能及时蒸发,不能形成致密的微胶囊,当固形物含量过高时,乳化液黏度增大,液滴雾化速度下降,使物料雾化的停滞时间延长,从而使微胶囊的包埋率下降^[12]。

2.1.2 乳化剂添加量对微胶囊包埋率的影响

在壁材比 4:3、芯壁比 1:4、固形物含量 15%、进风温度 160 °C、进料量 4 mL/min 的条件下,考察乳化剂添加量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响,结果见图 2。

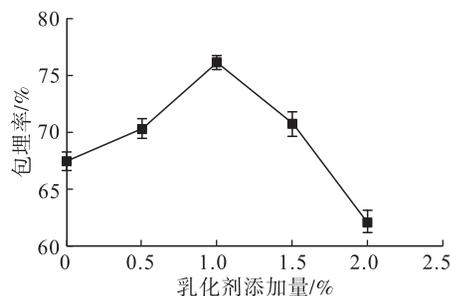


图 2 乳化剂添加量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响

添加适量的乳化剂能提高乳化液体系的稳定性,使油脂均匀分散在乳化液中,形成稳定的 O/W 型颗粒,有利于后续喷雾干燥的进行^[17]。由图 2 可知,蒜头果油微胶囊的包埋率随着乳化剂添加量的增大呈先升高后降低的趋势,当乳化剂添加量为 1% 时包埋率达到最大值。当乳化剂添加量较低时,乳化液体系稳定性较差,造成微胶囊包埋率较低,当乳化剂添加量过多时,乳化液黏度增大,增加了喷雾干燥的难度,造成微胶囊包埋率下降^[18]。

2.1.3 壁材比对微胶囊包埋率的影响

在芯壁比 1:4、乳化剂添加量 1%、固形物含量 15%、进风温度 160 °C、进料量 4 mL/min 的条件下,

考察壁材比对蒜头果油微胶囊包埋率的影响,结果见图3。

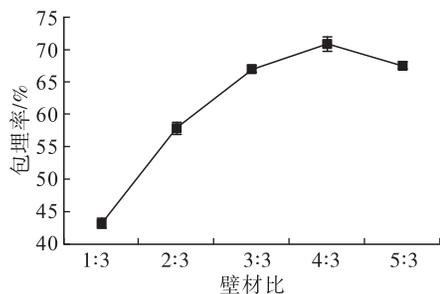


图3 壁材比对蒜头果油微胶囊包埋率的影响

由图3可知,随着阿拉伯胶用量的增加,蒜头果油微胶囊的包埋率呈先上升后下降的趋势,当阿拉伯胶与麦芽糊精的质量比为4:3时包埋率达到最大值。当阿拉伯胶用量较少时,壁材的成膜性较差,壁材不足以包埋芯材,导致微胶囊包埋率低;随着阿拉伯胶用量的增加,壁材成膜性较好,乳化液体系稳定性较高,微胶囊包埋率升高;当阿拉伯胶用量过多时,乳化液黏度增大,喷雾干燥过程中容易堵塞喷头,增加喷雾干燥的难度^[12,19],降低了微胶囊包埋率。

2.1.4 芯壁比对微胶囊包埋率的影响

在壁材比4:3、固形物含量15%、乳化剂添加量1%、进风温度160℃、进料量4 mL/min的条件下,考察芯壁比对蒜头果油微胶囊包埋率的影响,结果见图4。

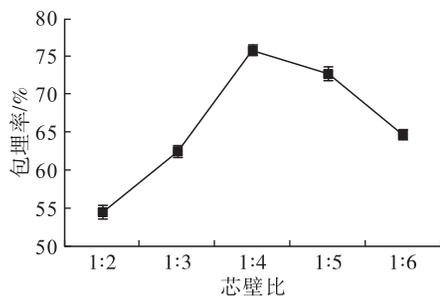


图4 芯壁比对蒜头果油微胶囊包埋率的影响

由图4可知,随着芯壁比的增大,蒜头果油微胶囊的包埋率先升高后降低,在芯壁比为1:4时达到最大值。当芯壁比过小时,壁材含量过多使得乳化液黏度过高,喷雾干燥过程易堵塞喷头,降低微胶囊的包埋率;当芯壁比过大时,较少的壁材无法将芯材完全包埋,导致微胶囊包埋率降低^[20]。

2.1.5 进风温度对微胶囊包埋率的影响

在壁材比4:3、芯壁比1:4、乳化剂添加量1%、固形物含量15%、进料量4 mL/min的条件下,考察进风温度对蒜头果油微胶囊包埋率的影响,结果见图5。由图5可知,蒜头果油微胶囊的包埋率随进风温度的升高呈先升高后下降的趋势,在进风温度

为160℃时包埋率最高。当进风温度较低时,液滴表面成膜的时间长,干燥速率变慢,在喷雾干燥过程中易出现粘壁现象,导致微胶囊包埋率降低。当进风温度过高时,会加速水分蒸发,微胶囊囊壁表面出现凹陷现象,使得已成型的产品出现破裂或囊壁出现小气孔,囊壁结构变得疏松,包埋率降低^[21],导致微胶囊品质下降。

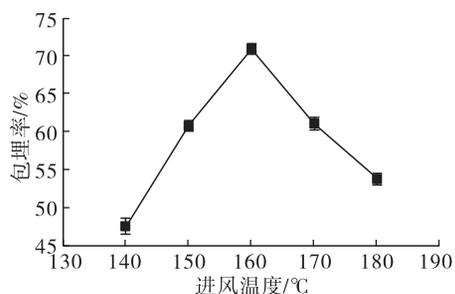


图5 进风温度对蒜头果油微胶囊包埋率的影响

2.1.6 进料量对微胶囊包埋率的影响

在壁材比4:3、芯壁比1:4、乳化剂添加量1%、固形物含量15%、进风温度160℃的条件下,考察进料量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响,结果见图6。

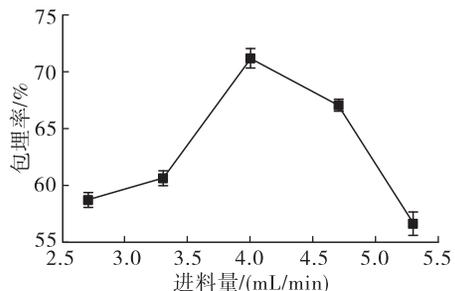


图6 进料量对蒜头果油微胶囊包埋率的影响

由图6可知,蒜头果油微胶囊包埋率随进料量的增加呈先上升后下降的趋势,在进料量为4 mL/min时包埋率最高。进料量直接决定着喷雾干燥雾滴的速度^[22],进料量过多容易导致干燥不完全,产生严重的粘壁现象,降低微胶囊产品产率的同时影响微胶囊包埋率。

2.2 蒜头果油微胶囊制备的响应面优化试验

2.2.1 模型的建立及显著性检验

在单因素试验的基础上,采用Box-Behnken设计响应面试验优化蒜头果油微胶囊制备的工艺条件。在阿拉伯胶与麦芽糊精质量比4:3、乳化剂添加量1%、进料量4 mL/min的条件下,以蒜头果油包埋率为响应值,选取固形物含量、芯壁比、进风温度为考察因素,进行三因素三水平响应面试验,响应面试验因素与水平见表1,响应面试验设计及结果见表2,方差分析见表3。

表1 响应面因素与水平

水平	A 固形物含量/%	B 芯壁比	C 进风温度/°C
-1	10	1:3	150
0	15	1:4	160
1	20	1:5	170

表2 响应面因素设计及结果

试验号	A	B	C	包埋率(Y)/%
1	1	-1	0	59.94
2	0	0	0	73.33
3	0	-1	1	61.30
4	-1	1	0	60.67
5	0	1	1	60.50
6	0	-1	-1	55.63
7	0	1	-1	60.66
8	1	0	-1	62.56
9	0	0	0	76.73
10	0	0	0	76.69
11	0	0	0	76.19
12	1	1	0	69.50
13	1	0	1	60.67
14	0	0	0	74.50
15	-1	-1	0	55.70
16	-1	0	-1	55.67
17	-1	0	1	54.56

表3 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	1 033.97	9	114.89	25.59	0.000 2**
A	84.96	1	84.96	11.92	0.003 4**
B	43.99	1	43.99	9.80	0.016 6*
C	0.79	1	0.79	0.18	0.687 9
AB	5.27	1	5.27	1.17	0.314 6
AC	0.15	1	0.15	0.03	0.859 2
BC	8.50	1	8.50	1.89	0.211 3
A ²	242.98	1	242.98	54.12	0.000 2**
B ²	174.57	1	174.57	38.88	0.000 4**
C ²	382.12	1	382.12	85.11	<0.000 1**
残差	31.43	7	4.49		
失拟项	22.31	3	7.44	3.26	0.141 5
纯误差	9.11	4	2.28		
总误差	1 065.39	16			

注: *表示 $P < 0.05$ 显著; **表示 $P < 0.01$ 极显著。

对表2数据进行回归分析,得到各因素与包埋率之间的多元二次回归方程: $Y = 76.20 + 3.26A - 2.34B + 0.31C - 1.15AB - 0.20AC + 1.46BC - 7.96A^2 - 6.80B^2 - 9.88C^2$ 。

由表3可知,模型 $P < 0.01$,表明该模型具有极显著性,失拟项不显著,一次项A具有极显著性,B

具有显著性,二次项均具有极显著性,其余项均不显著。各个因素对蒜头果油微胶囊包埋率的影响主次顺序为固形物含量(A) > 芯壁比(B) > 进风温度(C)。回归模型方程的相关系数(R^2)为0.957 0,校正确定系数(R_{Adj}^2)为0.901 6,表明该模型拟合度较好,可靠性高,可用于对蒜头果油微胶囊包埋率的理论预测与分析。

2.2.2 验证试验

采用 Design - Expert V8.06 软件对工艺条件进行分析,得到制备蒜头果油微胶囊最佳工艺条件为:壁材比 4:3,乳化剂添加量 1%,固形物含量 16.15%,芯壁比 1:4.1,进风温度 159.98 °C,进料量 4 mL/min。在最佳工艺条件下,蒜头果油微胶囊包埋率的预测值为 76.09%。为方便实际操作,将工艺条件修正为壁材比 4:3、乳化剂添加量 1%、进料量 4 mL/min、芯壁比 1:4、固形物含量 16%、进风温度 160 °C,在此条件下进行 3 组验证试验,得到蒜头果油微胶囊包埋率的平均值为 76.92%,与预测值接近,表明响应面优化得到的最佳工艺条件可行。

2.3 蒜头果油微胶囊的性质

2.3.1 基本指标(见表4)

表4 蒜头果油微胶囊基本指标测定结果

水分含量/%	堆积密度/(g/cm ³)	休止角/(°)
2.58 ± 0.32	0.49 ± 0.09	34.15 ± 2.98

由表4可知:蒜头果油微胶囊的水分含量为 2.58%,满足微胶囊产品水分含量在 2% ~ 5% 之间的要求;堆积密度为 0.49 g/cm³。微胶囊的休止角越小,摩擦力越小,微胶囊流动性越好。当休止角小于 30° 时,表明粉末流动性好;当休止角在 30° ~ 45° 之间时,表明粉末流动性良好;当休止角在 45° ~ 60° 之间时,表明粉末流动性一般;当休止角大于 60° 时,表明粉末流动性差^[16]。蒜头果油微胶囊的休止角为 34.15°,表明蒜头果油微胶囊具有良好的流动性和分散性。

2.3.2 粒径

图7为蒜头果油微胶囊的粒径分布。

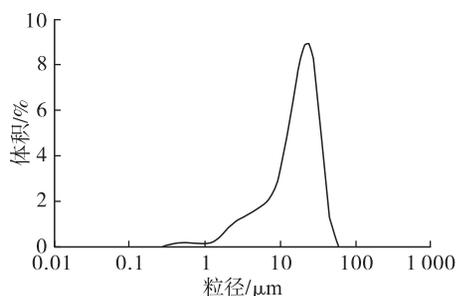


图7 蒜头果油微胶囊的粒径分布

由图7可知,微胶囊粒径分布曲线基本呈正态分布,平均粒径为20 μm 左右,粒径分布范围小于50 μm ,说明蒜头果油微胶囊粒径大小分布均匀且集中。

2.3.3 SEM分析(见图8)

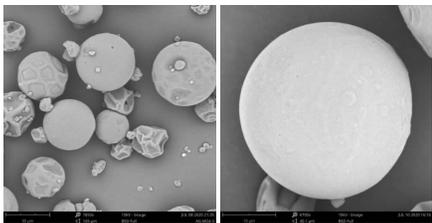


图8 蒜头果油微胶囊 SEM图

由图8可知,蒜头果油微胶囊基本呈表面光滑的球形,颗粒较均匀,完整性较好且无明显裂纹,少量微胶囊表面出现凹陷,这是喷雾干燥制备微胶囊的普遍特性,喷雾干燥过程温度升高,导致微胶囊水分快速收缩从而出现凹陷^[23]。

2.3.4 XRD分析

图9为蒜头果油微胶囊、壁材阿拉伯胶(GA)、混合壁材阿拉伯胶/麦芽糊精(GA/MD)以及麦芽糊精(MD)的XRD图。

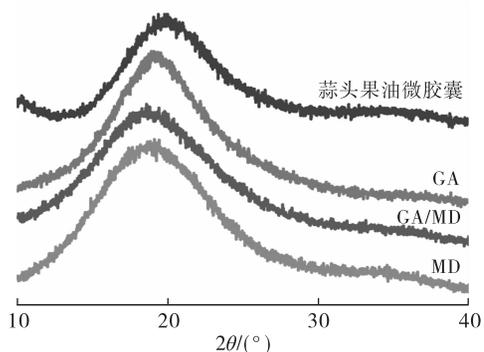


图9 蒜头果油微胶囊、GA、GA/MD和MD的XRD图

由图9可知,壁材阿拉伯胶和麦芽糊精分别在 2θ 为 19° 和 17.9° 处出现明显特征峰。蒜头果油为液体,不能观察到其相应谱图。与壁材阿拉伯胶和麦芽糊精不同,蒜头果油微胶囊在 2θ 为 20° 处出现明显特征峰,表明蒜头果油微胶囊的形成并且蒜头果油微胶囊中存在新的结晶相^[24]。

2.3.5 TG分析

图10为微胶囊产品及其壁材、蒜头果油的TG曲线。由图10可知,在温度为 100°C 左右,蒜头果油微胶囊曲线开始下降,出现一个台阶,质量损失为2.95%,从微胶囊的质量和失重的温度范围可知,此时应该是由于温度的升高导致产品水分的蒸发而出现的失重。随着温度的继续上升,在 200°C 后,曲线又开始下降,在 303.7°C 左右,质量损失较多,随着

温度继续上升,微胶囊进一步失重。当温度低于 380°C 时,微胶囊的变化趋势与壁材的变化趋势类似,这可能是壁材的热解导致。温度高于 400°C ,失重曲线趋于平缓,蒜头果油基本完全失重,而微胶囊产品还保留一定的质量,表明壁材有效地包埋蒜头果油,同时微胶囊化后蒜头果油的热稳定性提高。

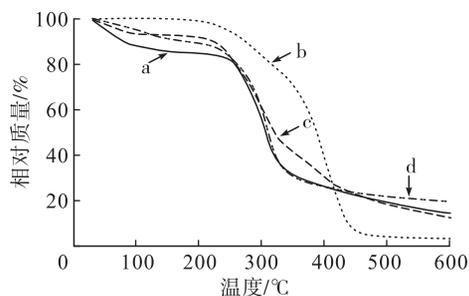


图10 阿拉伯胶(a)、蒜头果油(b)、蒜头果油微胶囊(c)、麦芽糊精(d)的TG曲线

2.3.6 体外模拟消化

微胶囊的形态、粒径分布以及包埋率都影响芯材在胃肠道中的释放。考察了蒜头果油微胶囊在体外模拟胃肠液中的释放情况,结果见图11。

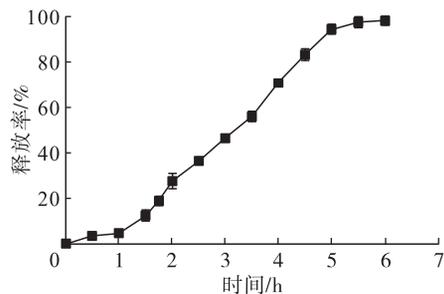


图11 体外模拟消化过程中蒜头果油微胶囊芯材释放率

由图11可以看出,在体外模拟胃液消化2 h,蒜头果油释放缓慢,释放率为27.59%,在模拟肠液消化过程中,芯材释放速度加快。在肠道环境中,肠液中的胰蛋白酶进一步水解微胶囊壁材,囊壁结构瓦解,导致蒜头果油的大量释放^[25]。在胃肠消化6 h后,微胶囊中蒜头果油几乎完全释放。

3 结论

本研究利用喷雾干燥法制备了蒜头果油微胶囊,通过单因素试验及响应面优化试验得到蒜头果油微胶囊的最佳制备工艺条件为:乳化剂添加量1%,阿拉伯胶与麦芽糊精质量比4:3,芯壁比1:4,固形物含量16%,进风温度 160°C ,进料量4 mL/min。在最佳条件下,蒜头果油微胶囊包埋率为76.92%。蒜头果油微胶囊呈较光滑球形,其结构完整、粒径均匀,且具有良好的流动性、热稳定性和分散性。体外模拟胃肠道消化后,微胶囊芯材几乎完全释放。

蒜头果油富含有益大脑发育所需的神经酸,是潜在的保健油脂资源。将蒜头果油微胶囊化,可降低外界环境对蒜头果油的影响,有效保护其活性成分,同时可根据粉末油脂的性能需求,控制芯材的释放,以达到提高营养的目的,为蒜头果油高值加工及其下游产业发展提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 李洪潮, 常征, 高明菊, 等. 蒜头果研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17):8-10,14.
- [2] 张茜, 谭瑜, 李雁群, 等. GC-MS 测定蒜头果油中的脂肪酸含量[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(5):15-17.
- [3] 刘祥义, 叶志恒, 胡翔飞, 等. 蒜头果挥发油化学成分研究[J]. 云南化工, 2019, 46(8):73-74.
- [4] 赖福兵, 李伟光, 赖芳, 等. 高效液相色谱法测定蒜头果油分离出的神经酸含量[J]. 中国油脂, 2018, 43(6):144-146,160.
- [5] TANG T F, LIU X M, LING M, et al. Constituents of the essential oil and fatty acid from *Malania oleifera*[J]. Ind Crops Prod, 2013, 43:1-5.
- [6] LIU S S, HU Y H, MAGHULY F, et al. The complete chloroplast genome sequence annotation for *Malania oleifera*, a critically endangered and important bioresource tree[J]. Conserv Genet Resour, 2019, 11(3):271-274.
- [7] 黄林华, 刘雄民, 李伟光, 等. 蒜头果油中长链脂肪酸选择性合成大环内酯[J]. 应用化工, 2011, 40(1):58-61.
- [8] ZHOU D, PAN Y, YE J, et al. Preparation of walnut oil microcapsules employing soybean protein isolate and maltodextrin with enhanced oxidation stability of walnut oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2017, 83:292-297.
- [9] PHAM L B, WANG B, ZISU B, et al. Microencapsulation of flaxseed oil using polyphenol-adducted flaxseed protein isolate-flaxseed gum complex coacervates[J/OL]. Food Hydrocolloid, 2020, 107:105944 [2020-12-14]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105944>.
- [10] 张玉, 罗婧文, 马燕卿, 等. 不同干燥技术对牡丹籽油微胶囊品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(15):128-133.
- [11] BURHAN A M, ABDEL-HAMID S M, SOLIMAN M E, et al. Optimisation of the microencapsulation of lavender oil by spray drying[J]. J Microencapsul, 2019, 36(3):250-266.
- [12] 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.
- [13] 刘施琳, 李天骄, 林圣楠, 等. 海藻油微胶囊化技术研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(11):90-98.
- [14] WANG S J, SHI Y, HAN L P. Development and evaluation of microencapsulated peony seed oil prepared by spray drying: oxidative stability and its release behavior during in-vitro digestion[J]. J Food Eng, 2018, 231:1-9.
- [15] SHAMAEI S, SEHEDLOU S S, AGHBASHLO M, et al. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules[J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2017, 39:101-112.
- [16] 唐婷范, 黄芳丽, 梁杰婷, 等. 葛根素微胶囊的制备及其性质研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8):179-185.
- [17] 刘树兴, 郑灿辉, 何颖, 等. 喷雾干燥法制备紫苏油微胶囊[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7):29-33.
- [18] 王月月, 段续, 任广跃, 等. 洋葱精油微胶囊制备工艺优化及其品质分析[J]. 食品科学, 2018, 39(12):232-238.
- [19] RIBEIRO A M, SHAHGOL M, ESTEVINHO B N, et al. Microencapsulation of vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin[J/OL]. Food Hydrocolloid, 2020, 106029 [2020-12-14]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106029>.
- [20] BAI X, LI C X, YU L, et al. Development and characterization of soybean oil microcapsules employing kafirin and sodium caseinate as wall materials[J]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 111:235-241.
- [21] 韩爱芝, 蒋卉, 贾清华, 等. 响应面试验优化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.
- [22] 包珍, 鲁青, 张良, 等. 响应面法优化油茶籽油微胶囊喷雾干燥工艺的研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(4):19-23.
- [23] PIECZYKOLAN E, KUREK M A. Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry[J]. Int J Biol Macromol, 2019, 129:665-671.
- [24] BOTREL D A, DE BARROS FERNANDES R V, BORGES S V, et al. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil[J]. Food Res Int, 2014, 62:344-352.
- [25] KARACA A C, NICKERSON M, LOW N H. Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil[J]. Food Chem, 2013, 139(1/2/3/4):448-457.